

第31回試錐研究会

講演資料集

期 日：平成5年3月18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)

第31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5年3月18日(木) (10:00~17:00)
- 場 所** 札幌サンプラザ (Tel. 011-758-3111)
2F 金枝の間
(札幌市北区北24条西5丁目)

あいさつ

北海道立地下資源調査所長 早川 福利

特別講演 (10:15~12:00)

“北海道における石油開発の歴史・現状および将来”

石油資源開発株式会社

札幌鉱業所長

猪間 明俊

昼 食 (12:00~13:00)

講演 <13:00 ~ 17:00>

1. 石油ボーリングにおける最近の機器と技術
石油資源開発(株)札幌鉱業所 佐々木 芳 朗
2. 道内で開発された高濃度塩水について
北海道立地下資源調査所 松 波 武 雄
3. 羅臼町温泉3号井の掘削について
(株)ドリリング計測 宮 田 厚
4. 最近遭遇した湧水および逸水現象について
トキワ地研(株) 大 石 正 博
" 川 瀬 勝 男
" 新 屋 勝 男
5. 美幌町温泉井の掘削について
北海道立地下資源調査所 川 森 博 史

あいさつ

北海道地質調査業協会理事長 斎 藤 昌 之

懇 親 会 (17:30 ~ 19:30)

会場 札幌サンプラザ
(高砂の間)



特 別 講 演

北海道における石油開発の歴史・現状および将来

石油資源開発株式会社

札幌鉱業所長 猪間 明俊

1、はじめに

20世紀は石油文明の時代であったが、世紀末に至って環境問題が大きくクローズアップされるようになって、CO₂排出の少ない天然ガスが石油に代わってエネルギー源として重要視されることになった。21世紀は天然ガス文明の時代と呼ばれることになるかも知れない。そうした趨勢の中で、北海道にも本格的ガス田が生まれようとしている。1989年に苫小牧東部の勇払地域の深度4000mを越えるところで見つかった鉱床がそれである。

札幌市に都市ガスを供給している北海道ガス(株)と、このガス田を発見した石油資源開発(株)との間でこのガスの売買に向けての基本合意書が1月に取り交わされたが、この機会にこのガス田の発見に至るまでの北海道における石油、天然ガス開発の長い歴史を振り返り、将来への展望を述べるとともに、勇払地域における探鉱の現況をその地質状況を含めて紹介する。

2、北海道における石油開発史

石油探査を目的とした調査が最初に行われた1872年以来121年の歴史があるが、これを大きく6つの時期に分けることができる。

(1) 第1期 調査期 1872年(明治5年) - 1902年(明治35年)

北海道開拓使に招かれた米人地質家ライマンが道南を調査したのが最初の石油調査で、その後1888-1892年に神保小虎、1893-1896年に石川貞治、横山壯一が鉱物調査を行い多くの油徴地を報告している。1888年には石油試掘許可を得た北海石油組合が厚田、振老で試掘をしている。1899年にはスタンダード系のインターナショナル社が北海道に進出し1901年から石狩丘陵地、栗山、恵岱別等で試掘を開始したが、いずれも不成功に終わっている。この時期に振老で手掘井から細々と採油されていたらしいが詳しい記録はない。

この時期の掘削は、手掘、上総掘が主で、末期に至って綱掘が導入された。掘削深度は概ね300m以浅であるが、1902年インターナショナルが掘った清真布C-4は637.87mに達している。

(2) 第2期 発見期 1903年(明治36年) - 1925年(大正14年)

1903年インターナショナルが俊別C-1で成功、次いで掘った五ノ沢C-1で大噴油し石狩油田が成立してから、1907年輕舞、1914-1922年の間に天北で稚内、目梨、声

間、増幌と油田が発見された。しかし、生産は低迷しており、ようやく1923年に年産2500KLを越えてから急速に上昇し始めた。

掘削地点はこの期に至っても油徴を目当てに選定され、そのため大部分が丘陵地である。前半は石狩丘陵、後半は天北に試掘が集中しているほか、胆振地方、留萌地方にも探鉱が行われている。掘削リグは綱式が全盛を極めており、1913年日本石油がロータリー式を導入したが、主として石狩油田の開発に用いたようで、試掘にはほとんど利用されていない。掘削深度は1918年に至って1000mを越えるようになったが概ね500-600mである。

(3) 第3期 開発・生産期 1926年(大正15年) - 1945年(昭和20年)

第2期までに発見された油田の開発が主として日本石油により積極的に行われ、前半で生産量が年産18500KL(1931年)とピークに達した。石狩、振老、軽舞の3大油田が少しずつずれてピークを示したが、1935年以降急速に生産量が低下している。

この期には物理探査が始まったが、まだ実験的なものである。掘削地点は、背斜説が取り入れられたことで、油徴の認められない背斜にも掘られているものの、その数は少なく、地表で背斜が認められる丘陵地のみが対象とされている。天北、胆振一日高地域のほか、岩見沢背斜から馬追背斜に至る丘陵地が注目されている。

リグはロータリー式が普及しだし、帝国石油(株)が創立された1941年以降は綱掘はほとんど姿を消している。掘削深度は1000m以上のものが珍しくなくなり、1926年に1500m、1938年に1700mを越えた。

(4) 第4期 雌伏期 1946年(昭和21年) - 1954年(昭和29年)

太平洋戦争後の資機材も人員も不足していた時期で、試掘は僅か8坑しか掘られていない。このため、新規発見はなく、従って生産も低迷し、年産4000KL程度で推移している。帝国石油の他、道が1坑、長万部町が1坑試掘している。

GHQの強力なバックアップによる組織的、かつ大規模な地質調査が行われ、次期への準備がなされた。詳細な柱状図、地下構造図、テクトニックマップ、アイソバックマップ等の手法が一般化すると共に、微古生物による地層対比が取り入れられるようになった。また、地化学調査、物理探鉱も散発的ながら実施されている。

掘削は天北中心である。綱式は完全に姿を消した。掘削深度は1951年に掘られた川口R-3で初めて2000mを越え2316mを記録したが、1000m級のものが中心である。

(5) 第5期 近代的探鉱期 1955年(昭和30年) - 1969年(昭和44年)

1955年に石油資源開発(株)が設立され、石油開発促進審議会(PEAC)の答申に基づき北海道の探鉱を精力的に行ったが、茨戸油田と平取油田を発見したに止まり、

後半は探鉱が低迷した。茨戸油田は道内では石狩油田に次ぐ油田であるが、1957年に発見され、1958年に生産開始し、4年目にして年産15600KLとピークに達したもののその後急速に減退した。この時期は生産量の点からいうと第3期に次ぐ黄金時代と言えるが、いかんせん絶対量が小さい。

この期には石油鉱床成因論の発展による理論的探鉱手法と相俟って物理探鉱全盛となり、地震探鉱、重力探鉱、磁力探鉱が精力的に行われた。このため平野部の探鉱が進み、多くの坑井が平野に掘削された。茨戸油田はその最大の成果である。しかし、地震探鉱はまだシングルショットの時代で、良好な記録は例外を除き深度2000m程度までしか得られなかった。物理検層もどの坑井でも実施されたが、比抵抗検層以外のものは全く行われていない。

3000m級のリグ(N-3000)が持ち込まれ3000mを越える坑井が4坑掘られている。そのうち1960-61年に掘られた勇払SK-1は4010mまで掘削され、当時日本最深井となった。石油資源開発(株)分についてのみ言うと、この間に掘られた試掘井は48坑、平均深度1578mである。同社以外にも帝石、長万部町、道などが探鉱を行い、北海道石油史上最も華々しく試掘が行われた時代である。なお石油資源開発(株)は、1964-1969年の間は1坑も掘削を行っていない。

本期間中は石狩平野、胆振一日高丘陵地が探鉱対象の中心であったが、それまで試掘されたことのない道東部にも、失敗に終わったものの何坑かの試掘が実施された。

(6) 第6期 現代的探鉱期 1970年(昭和45年) - 現在

前期末の低迷のあと、1970年から始まった第四次から第七次の「石油および可燃性天然ガス資源開発5ヵ年計画」に基づき、国による強力なバックアップの下で探鉱が進められたが、この間茨戸油田が1971年に閉山して以来、豊富、長万部の2ガス田で細々とガスの商業生産が続けられた以外に石油、天然ガスの産出がない。

この期間の探鉱活動の中で特筆すべきは、海域の探鉱であろう。海域の物理探鉱は1970年に始まり、試掘は1977-1980年に集中して行われた。その後掘られた3坑を含め、合計17坑が天北、オホーツク、胆振一日高、十勝の4海域に掘られたが、採算性のある鉱床は発見されなかった。

国による基礎試錐も精力的に行われ、陸域で10坑、海域で2坑、平均深度4117mに及ぶ。地域も天北、留萌、石狩・空知、道南、胆振一日高、オホーツク海、十勝(海陸)と広く行われ、有用な基礎データを提供しているが、まだまだその掘削密度は低い。

探鉱深度が大きくなって来たために、陸上の探鉱についてはほとんど石油資源開発(株)の独壇場となっている。同社はこの期間に陸上で31坑試掘を行い、その

平均深度は3414mである。

この期の探鉱では重合法による地震探鉱、各種の地化学的測定、堆積学的研究、ケロゲン根源説に基づくコンピューターシミュレーション、各種の物理検層、MWDなどといった最新鋭の技術が用いられている。

掘削リグは4000M級のT-130、6000m級の1320-M、7500m級の1625DEなどの重掘削機が用いられ、期初の1970年に4017mで道内最深記録を破って以来、その後4度記録を塗りかえ、現在は、1992年に5087mに達した南勇払SK-3Dが最深井となっている。

石狩平野が探鉱対象の中心となり1980年以降北部で南金沢、峰延の2ガス田、南勇払ガス田が発見されているが、前2社は現在の所生産段階移行への目途がついていない。石狩平野以外では、天北、胆振一日高丘陵部、道南（長万部地区）に多くの試掘が掘られている。

3、探鉱の現況

今年度は国の第七次5ヵ年計画の第4年目に当たる。この第七次計画の中で、北海道では1993年度に天北で5500m、1994年度に石狩湾で4200mの基礎試錐が掘られることになっている。天北というのは具体的には豊富背斜であり、白亜系上部までの探鉱価値の評価資料を得ることを目的としている。国による調査としてはこの他に、1991年度までに陸上の長測線地震探鉱が宗谷、留萌、石狩、空知、胆振、網走の各地域に合計306.3km実施されている。

石油資源開発（株）では、1989年にガスを発見した南勇払地区の探鉱に全力を傾注し、以後1320Mを貼り付けて試掘を行っており、昨年十月からは更に1625DEをも投入してその北方延長の探鉱を行っている。地震探鉱もここ数年苫小牧周辺だけで37km実施している。これらは深度5000mないし6000Mまでの記録を得ることを目指し、受振点間隔25m、18-24受振器／受振点、48-60重合というスペックで行われている。勇払地域の他、千歳、長沼、天北などでも地震探鉱を実施している。なお海域については1988年の国による調査を最後にその後探鉱作業は行われていない。

地表調査は堆積学的あるいは地化学的および古生物学的調査が主で、天北から日高までの道央部や根釧、十勝、など道東部に投入し、将来に備えている。それらのうち、石狩・樺戸山地における調査は、1985年に発見した南金沢ガス田、1987年に発見した峰延ガス田の付近に同じようなタイプの鉱床を探すために実施しているもので、最近はやりの地震層序学、シークエンス層序学とのコンビネーションで行われている。

4、南勇払ガス田について

勇払地域は昭和30年代初期から注目され、数次にわたる地震探鉱を経て1960-61年に白亜系を主目的として掘削された勇払SK-1が最初の試掘井である。当初の予定深度は3000mで、2600mから白亜系に入るものと予想されていたが、上位層が厚く、結局4010mまで掘ったものの古第三系幌内層までしか到達できず、その後ずっと探鉱はなされていなかった。

1978-79年にその沖合で掘られた勇払沖B-2で、幌内層の下位の石狩層群の夾炭層中で行ったDSTで7万M³/日のガスと9KL/日の油が産出したが、続いて掘られたB-3、B-4でその広がり不十分なことが判り開発には至らなかった。しかし、この結果は陸上での再挑戦の気運を生み、1983年勇払SK-2が掘られることになった。

同井は4550mまで掘られ、石狩層群の下部礫岩層中で認められたガス徴候を頼りにDSTを行ったが、4000M³/日程度の産ガスを見ただけであった。しかし、セメンチングに疑問があったため廃坑されずに残された。

この結果、本地域深部構造を究明するため1985年地震探鉱を行ったところ、深部構造の頂部はもっと西側にあることが判り、1988年南勇払SK-1が掘削されることになった。同井は3968m以下石狩層群に入り4610mで掘り止められた。掘進中の徴候と検層結果に基づき石狩層群礫岩層中で上下2回のDSTを行ったところ、それぞれ12万M³/日のガス+60KL/日の油、12万M³/日のガス+80KL/日の油が産出し、本構造の有望性が明らかになった。

この結果を見て、先に掘った勇払SK-2付近の探鉱をやり直すことにし、翌年同井の3240mからサイドトラックを行い南西方に410mの偏距をもって4805mまでSK-3Dを掘削し、礫岩層中で4回のDSTを行ったが、いずれも1000M³/日程度の産ガスしかなかった。

以上の結果本命は南勇払構造ということになり、1990年にSK-1の基地から北西に1000mの傾斜井SK-2D、1991年に同じく真西に1600mの傾斜井SK-3Dを掘削した。両井とも石狩層群の下の白亜紀花崗岩に入り大逸泥があり、前者は4825m、後者は5087mまで掘削されテストに入った。それぞれ花崗岩および石狩層群の礫岩部で2回ずつのDSTを行ったところ、合計でSK-2Dではガス17.8万M³/日+油142KL/日、SK-3Dではガス7.8万M³/日+油53KL/日の産出があり、花崗岩も良好な貯留岩になっていることが明らかになった。

現在はこの敷地の北西方約3kmおよび更にその北方約2.5kmに基地をとり、それぞれ沼ノ端SK-1D、あけぼのSK-1という坑井を掘進中である。

これらのガスは、その産状およびそれに伴うワックス分の多いコンデンセートの同位体組成やバイオマーカーなどから、石狩層群の夾炭層起源の炭化水素であることは間違いないところであり、コアの観察などから、その主要貯留空間はテクトニッ

ク・フラクチャー、クーリング・ジョイント、風化ジョイントなどのフィッシャー孔隙で、そのほかに鉱物の溶脱空間なども寄与しているものと思われる。今の所いわゆる端水がとらえられていず、礫岩上限が最も浅いSK-2Dと最も深いテスト深度との垂直深度差は340m程あり、貯留岩体の容積は極めて大きいものと考えられる。

これらの坑井を掘削するにはいくつもの難関がある。すなわち、①滝ノ上層中に3層の火山岩-凝灰岩層があるが、そのうち中部のものは極めて高压である、②約600mある幌内層の泥岩は掘進率が悪いが、粘質な上押し出し気味でドッグレグを作りやすい、③石狩層群夾炭層は崩壊性著しく高比重泥水を必要とする上④垂直的に岩質の変化が激しくビットの選択が難しい、⑤礫岩、花崗岩の地層圧は静水圧の1.2-1.3倍であるため、夾炭層と同じ比重の泥水を用いると大逸泥を起こし、これが貯留岩にダメージを与える恐れがある。このため、開坑から掘り止めまで7-8ヵ月もかかり、1坑の掘削に総額約30億円という莫大な費用がかかっている。

5、将来

以上述べてきたところから判るように、道内での石油・天然ガス開発活動は地域により疎密の差が大きい。これは当然のことながら、考えられる探鉱価値の高低を反映したものであり、天北から日高に至るいわゆる道央部が、白亜系から第三系までの堆積物が厚く、その中に石油鉱床成立に欠かせない根源岩層、貯留岩層が認められる上、大型の背斜構造が多数あり、それらの多くが油徴を伴うという利点を備えていたことで、常に注目を浴びてきたわけである。

しかるに、120年に及ぶ探鉱史の中で発見された油田は、総生産量5万KLを越えるものが僅か4油田しかなく、その中で最大の石狩油田でさえ、小型油田しかない日本の油田の中で25位程度のものでしかない上、ここ20年以上も油の産出がないという現状にある。

探鉱密度だけから言うと確かに裏日本油田地帯に比較するとかなり疎だとはいうものの、掘削深度が4000mを越えるものだけでも22坑に及ぶようになった(因みに秋田山形地域の陸上で4000mを越えた坑井はない)現実を見ると、かなり悲観的な見方がなされても致し方ないように思われる。

しかしながら、1985年以降石狩平野下で相次いで3つのガス田が発見され、石油についてはともかく、ガスであればまだまだ新しい鉱床が発見されるのではないかという期待を持たされる状況になってきた。特に南勇払ガス田は生産への移行が実現しつつあるが、本ガス田はこれまで主探鉱対象とされてきた新第三系、海成根源岩、砂岩貯留岩(粒間孔隙)、背斜構造トラップ、上方(ないし側方)移動という組み合わせとは全く異なり、古第三系プラス白亜系、陸成根源岩、花崗岩・礫岩(フラクチャー孔隙)、断層ブロック(?), 下方(ないし断層通過)移動という

新しいタイプの鉱床であり、今後は後者のような鉱床成立条件をも念頭においた探鉱が必要であることを示したと言ってよいだろう。

そうした観点に立つと、古第三系の石炭層が分布する宗谷地域（海域を含む）、苫前地域、そして空知・石狩地域の深部が探鉱対象として甦って来ることになる。

フラクチャー孔隙ということになれば、貯留岩は別に花崗岩・礫岩に限ったことでなく、粒間孔隙を失った古期堆積岩であろうと、変成岩であろうと、或いは他の火成岩であろうとよいわけで、問題はそのようなフラクチャーがどのような所に発達するかということになってくる。探鉱法もおのずからそういう方向で考えられて行くことになるだろう。

さしあたっては南勇払周辺へ探鉱エリアを伸ばして行くことになる。苫小牧の沖合についても既に探鉱が行われたものの、南勇払ガス田の貯留岩層相当層についてはガス徴候を認めながらテストをせずに関わっており、南勇払の結果と勇払沖B-2で夾炭層からかなりのガスが産出した事実とを考え合わせると、南勇払よりも構造が浅いだけに再度試掘をする価値が十分にあるものと判断される。

古第三系の陸成層（夾炭層）は根釧地域にも分布しており、同様の観点からの評価作業が必要であろう。

道央の山岳地域には古第三系—白亜系が過褶曲を示して広く分布しており、未だに基礎試錐空知を除いては石油坑井は掘られていないが、このような地域ではアメリカのロッキー山脈のオーバースラスト帯のように、低浸透率貯留岩に胚胎した深いガス田の存在が期待される。

石狩平野北部で発見された南金沢、峰延の両ガス田は、旧来の対象であった新第三系の砂岩の構造トラップであるが、いわゆる層位トラップの要素もあり、これと同様の鉱床を発見するためには綿密な堆積学的検討作業が必要である。幸いなことに地震探鉱によって未試掘の構造がそれらの近くにいくつか摘出されており、深度もそれ程深くないところから、比較的早い時期に試掘される運びになろう。

今年掘られる基礎試錐天北は南勇払タイプの鉱床を発見することになるかも知れないが、たとえ直接発見できなくとも、深部までの基礎データを得ることで将来の天北地域の探鉱価値評価に寄与することになろう。深部まで探鉱が進んでいるとは言い難い地域だけに、何らかのきっかけが掴めれば発展の余地が十分ある。むしろガスが発見された場合に、それを消化するだけの経済的基盤がないことが問題になるのではなかろうか。

来年初めて掘られる石狩湾については、道内1、2位の油田が南東に控えておりポテンシャルは高いが、ベーズンが小さい点が問題である。

道南については、各地に油徴はあるものの、裏日本脊梁山地に近い地質状況であり、全く未探鉱である噴火湾以外の所はあまり期待できない。

オホーツク海沿岸は、北部樺太に大油ガス田があるために有望ではないかと期待する向きが多いが、北部樺太とは地質状況が全く異なり、特に西北部では坑井により基盤が浅く新第三系中に貯留岩が発達しないことが確かめられており、可能性は極めて小さい。北見大和堆で掘られた坑井では厚い新第三系があり、その中に油徴が認められているので、この堆の周辺あるいは延長部は更に検討を要しよう。網走-斜里沖は既に2坑の試掘が実施されて不成功に終わっているが、その地質情報は明らかにされておらず、なお可能性があるのかどうか判らない。知床半島沿いあるいは北方領土の北側はバックアークのグリンタフ地域で裏日本産油地帯と成因的に似ており、評価のためのデータの集積が望まれる。

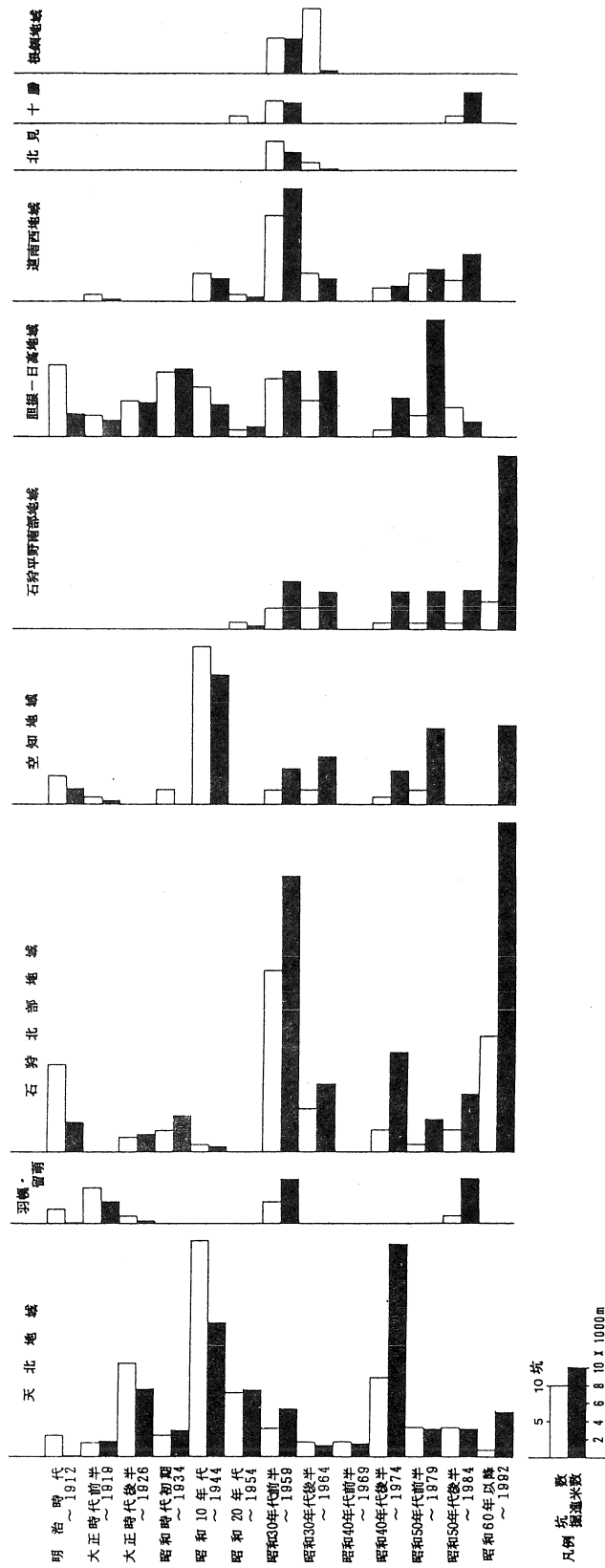
十勝の広い平野下の地質についてはよく判っておらず、近年北見地域との境界部の地質の知識が著しく変わったので、新しい考え方で見直すことで試掘価値が出て来ることもあり得よう。

根釧地域は、先に述べたとおり古い第三系を根源岩とする南勇払タイプの油ガス田が期待される他、新第三系が厚くなるとされる北部地域もポテンシャルを有していると思われるので、全域にわたって基礎試錐に始まる組織的な探鉱を投入する必要があるだろう。

年	主要探鉱域	探鉱法	掘削リグ	掘削深度	発見油田		生産		主要事業体	総合区分									
					油ガス田名	発見鉱量	大区分	小区分											
1880	丘陵地帯	地表地質調査	手掘り+上総掘り	500m級	● 振老	x1000 KL 75	I (少産期)	産少期	ナショナル インター	1	調査期								
1890																			
1900																			
1910												● 石狩 ● 野賀	174 74	II (多産期)	少産期	日本石油	2	発見期	
1920												● 稚内 ● 稚目	1 3						
1930												● 同幌 ● 豊富 ○ 豊田 ○ 長万部 ● 厚田	8 9 ? ? 5						上昇期 ピーク期
1940	背斜説	1500m級	● 取戸 ● 平次	1 93	減退期	帝国石油	4	確伏期											
1950																			
1960	平原	物理探鉱	ロータリー式	2000m級	● 取戸 ● 平次	1 93	III (多産期)	上-昇 ピーク	石油資源開発	5	近代的探鉱期								
1970	海城			3000m級								4000m級	減退期	石油資源開発	6	現代的探鉱期			
1980				5000m級													○ 南金沢 ○ 越延 ○ 南興札		
1990	深部	重油 重油 重油																	

① 北海道石油開発史総括表

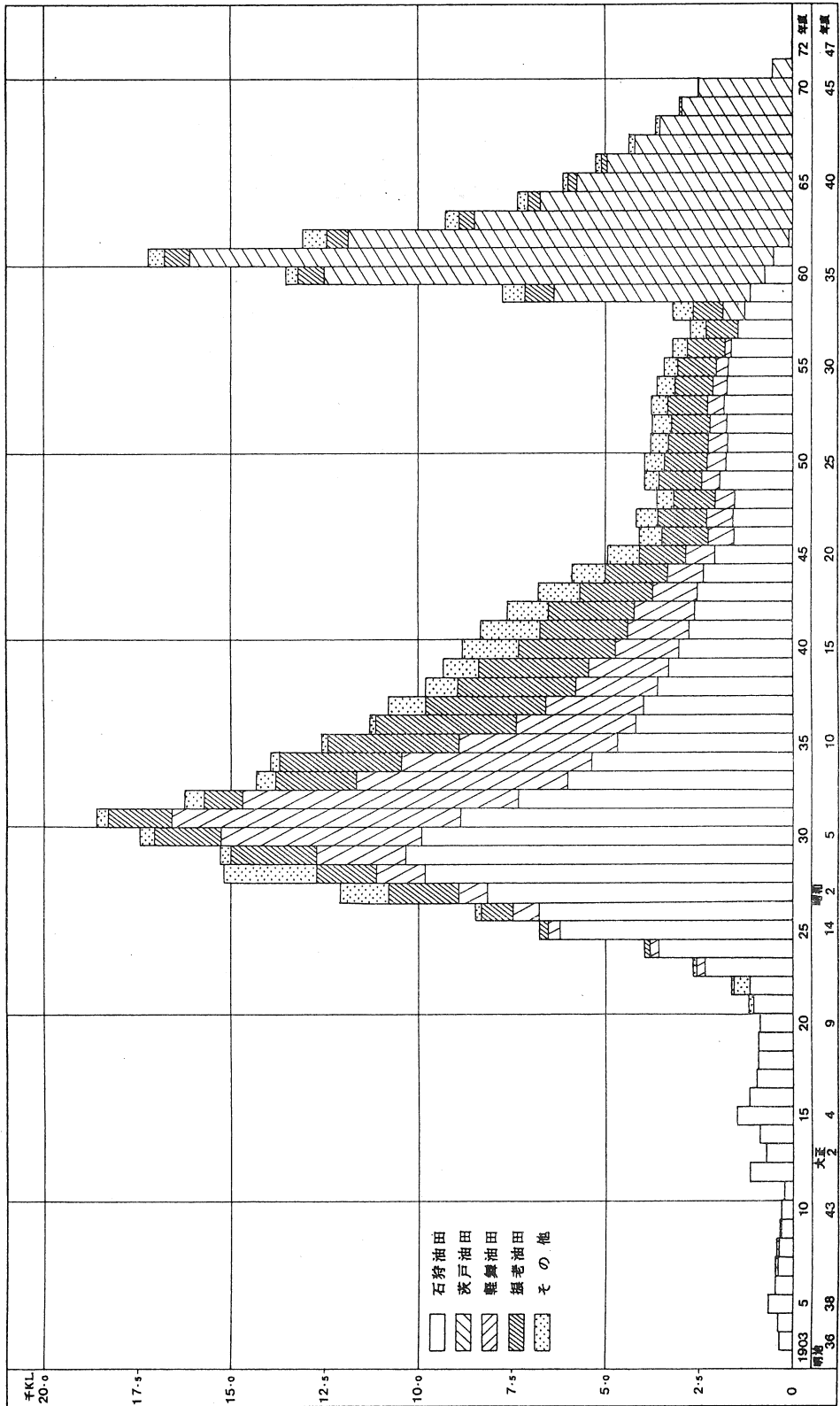
陸域地域別試掘状況（坑井数及び掘進米数）



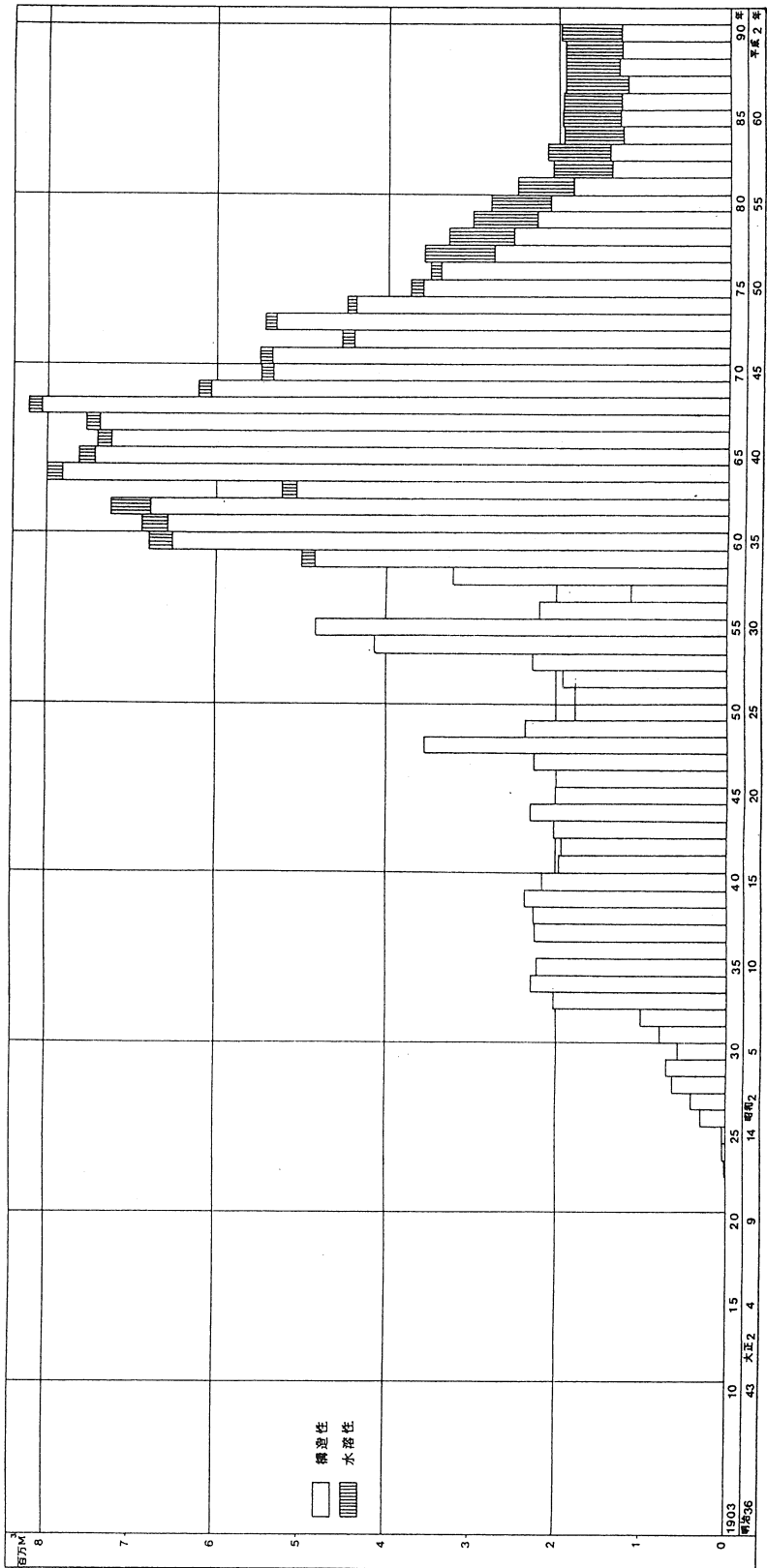
北海道掘削深度記録の変遷

<u>掘削年</u>	<u>掘削深度 (m)</u>	<u>坑井名</u>
1995	171.50	萌別 SP-3
1998	273.00	萌別 K-1
1902	637.87	清真布 C-4
1904	690.00	野安部 C-1
1915	907.46	鶴川 C-1
1918	1112.70	稚内 C-1
1921	1114.50	鶴川 C-3
1929	1524.00	東振老 CR-1
1938	1746.70	岩見沢 R-2
1951	2316.00	川口 R-3
1957	3003.50	野幌 SK-1
1961	4010.00	勇払 SK-1
1971	4017.00	基礎試錐 空知
1972	4520.91	基礎試錐 浜勇知
1983	4550.00	勇払 SK-3
1986	5023.00	基礎試錐 留萌
1992	5087.00	南勇払 SK-3D

北海道油田別原油生産量図



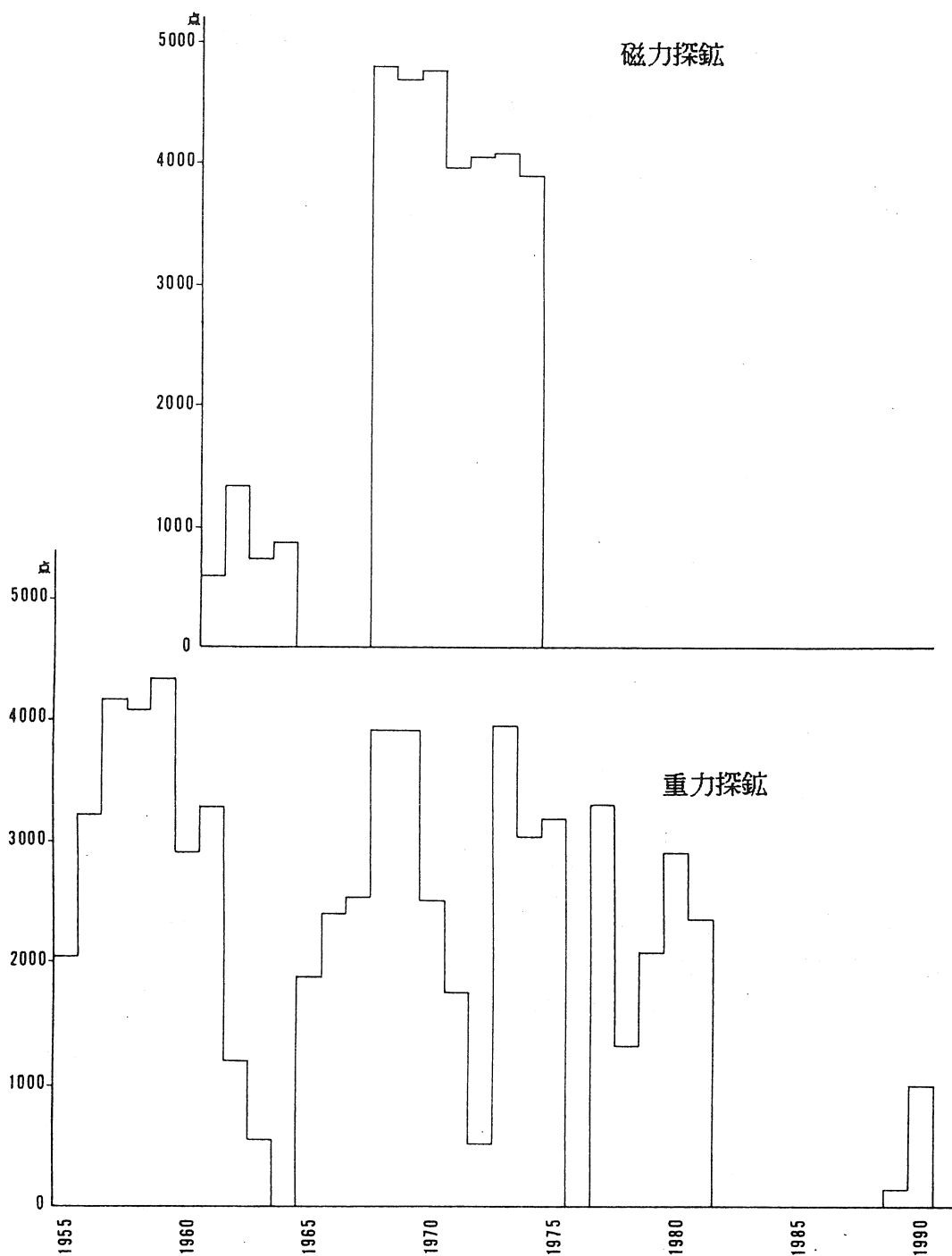
北海道天然ガス生産量図



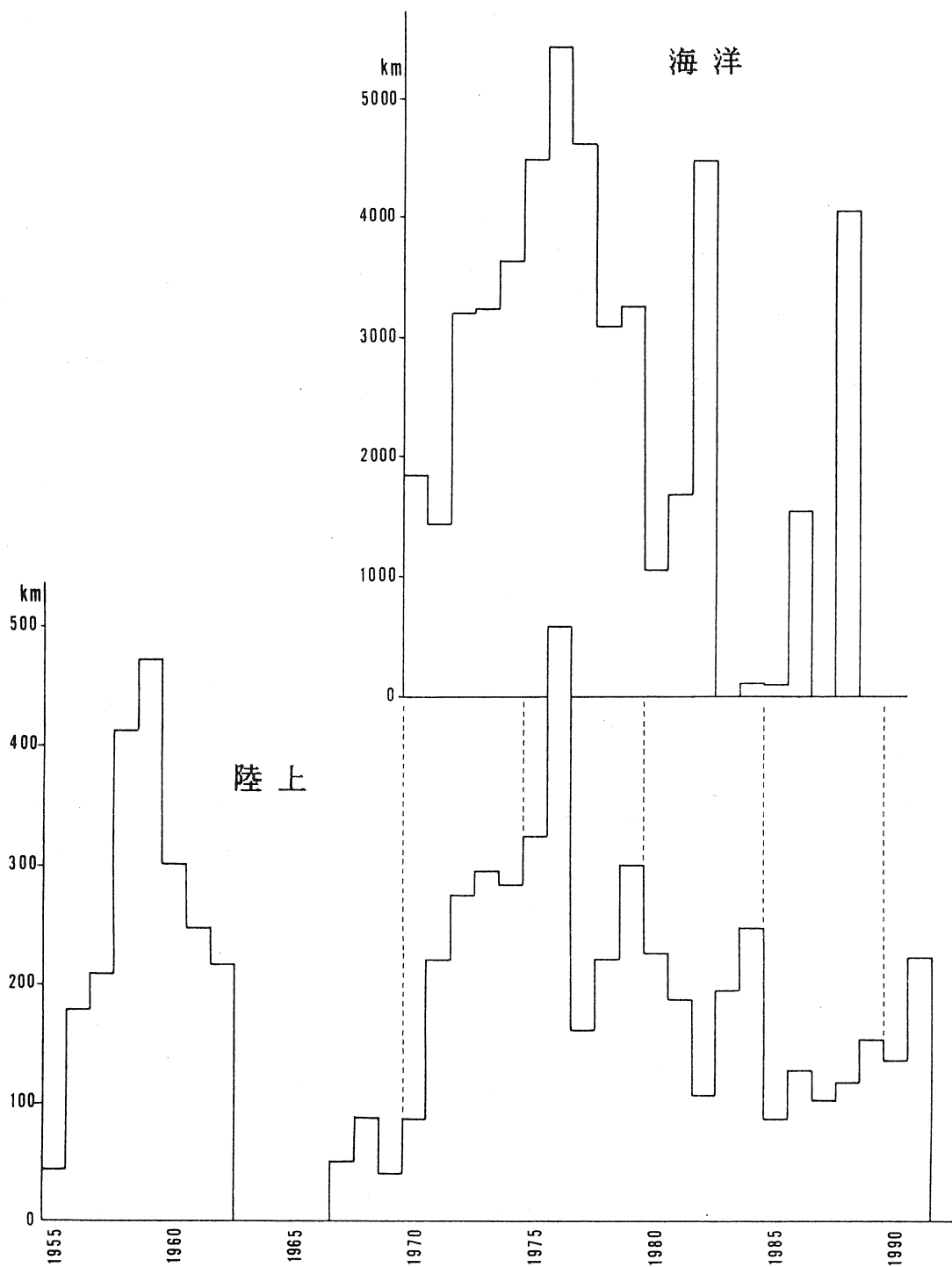
北海道油田ランク

順位	油田名	油総生産量 (KL)	ガス総生産量 (m3)	油換算総生産量 (KL)
1	石 狩	155,167.85	19,196,448	174,364.30
2	茨 戸	84,702	8,742,000	93,444
3	振 老	64,500	20,708,923	74,854.46
4	軽 舞	63,298		73,652.46
5	増 幌	約 8,500	86,810	約 8,590
6	声 問	約 6,900	1,325,083	約 8,230
7	厚 田	4,765.52		4,765.52
8	目 梨	2,711.95	161,598	2,873.55
9	平 取	1,330		1,330
10	稚 内	1,147.68		1,147.68
11	北豊富	915.53	19,171	934.67
12	勇 知	686.86		686.86

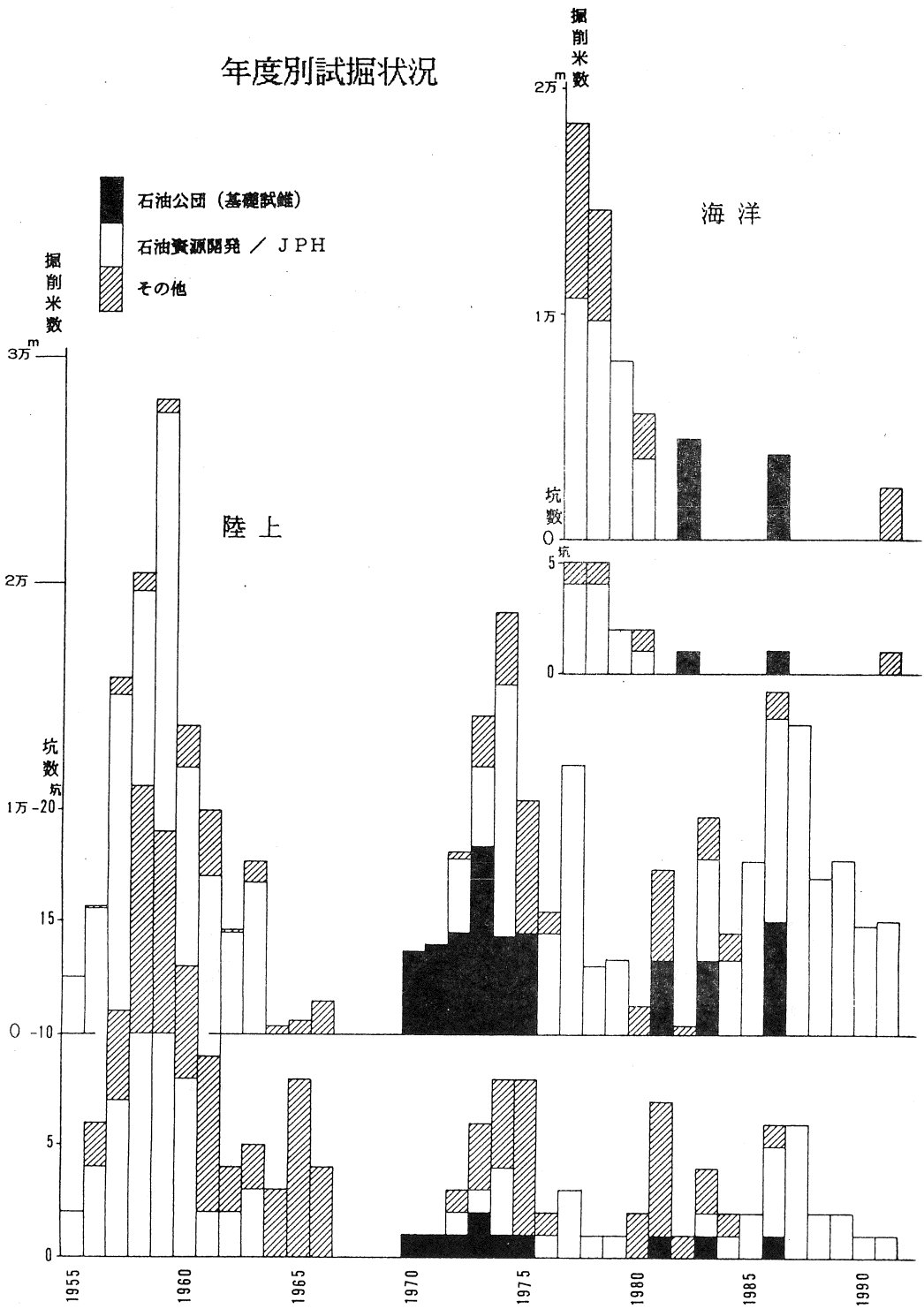
陸上重・磁力探鉱実施状況(1955-1991)



地震探鉱実施状況(1955-1991)

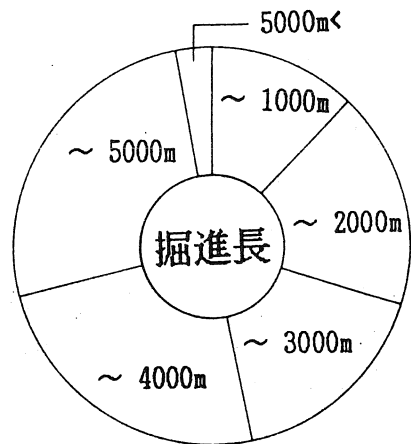
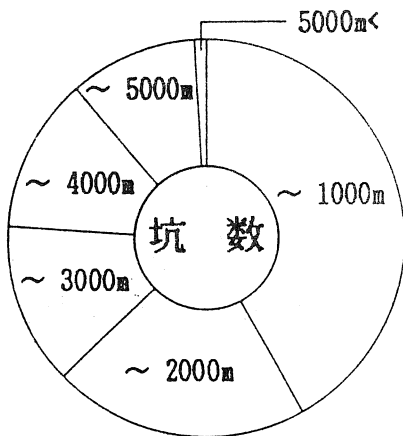


年度別試掘状況

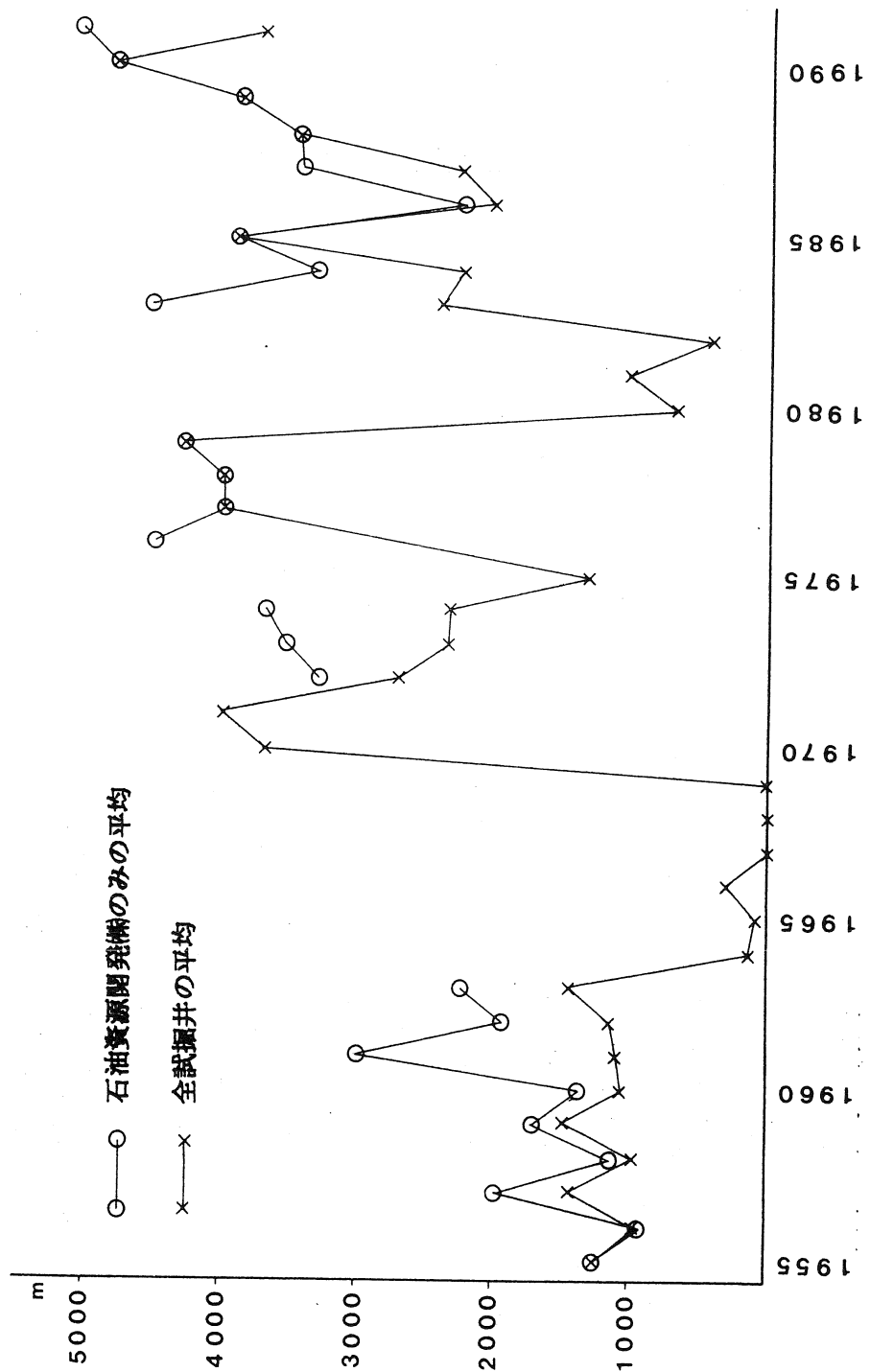


掘削深度別試掘実施状況(1955-1991)

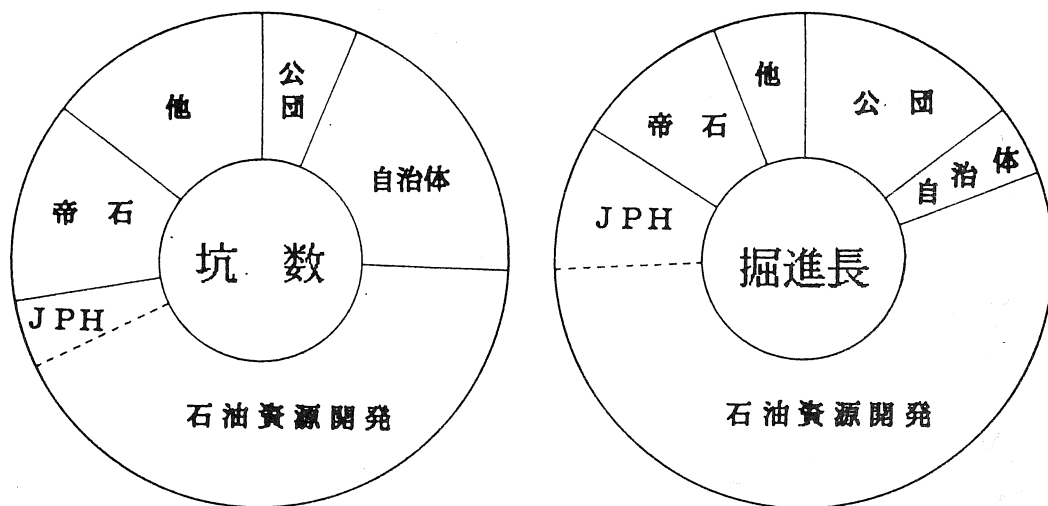
深度区分	坑 数			掘進長(m)	平均深度(m)
	陸	海	計		
0 ~ 500m	39		39	8,787.59	214.3
~ 1000m	41		41	31,659.51	811.8
~ 1500m	19		19	21,079.98	1109.5
~ 2000m	20	1	21	38,097.84	1814.2
~ 2500m	20	2	22	47,251.70	2147.8
~ 3000m	3	1	4	10,986.86	2746.7
~ 3500m	9	5	14	44,770.08	3197.9
~ 4000m	4	6	10	36,728.08	3672.8
~ 4500m	9	2	11	45,871.96	4170.2
~ 5000m	9		9	41,328.69	4592.1
~ 5000m<	2		2	10,110.00	5055.0
計	175	17	192	336,882.29	1603.8

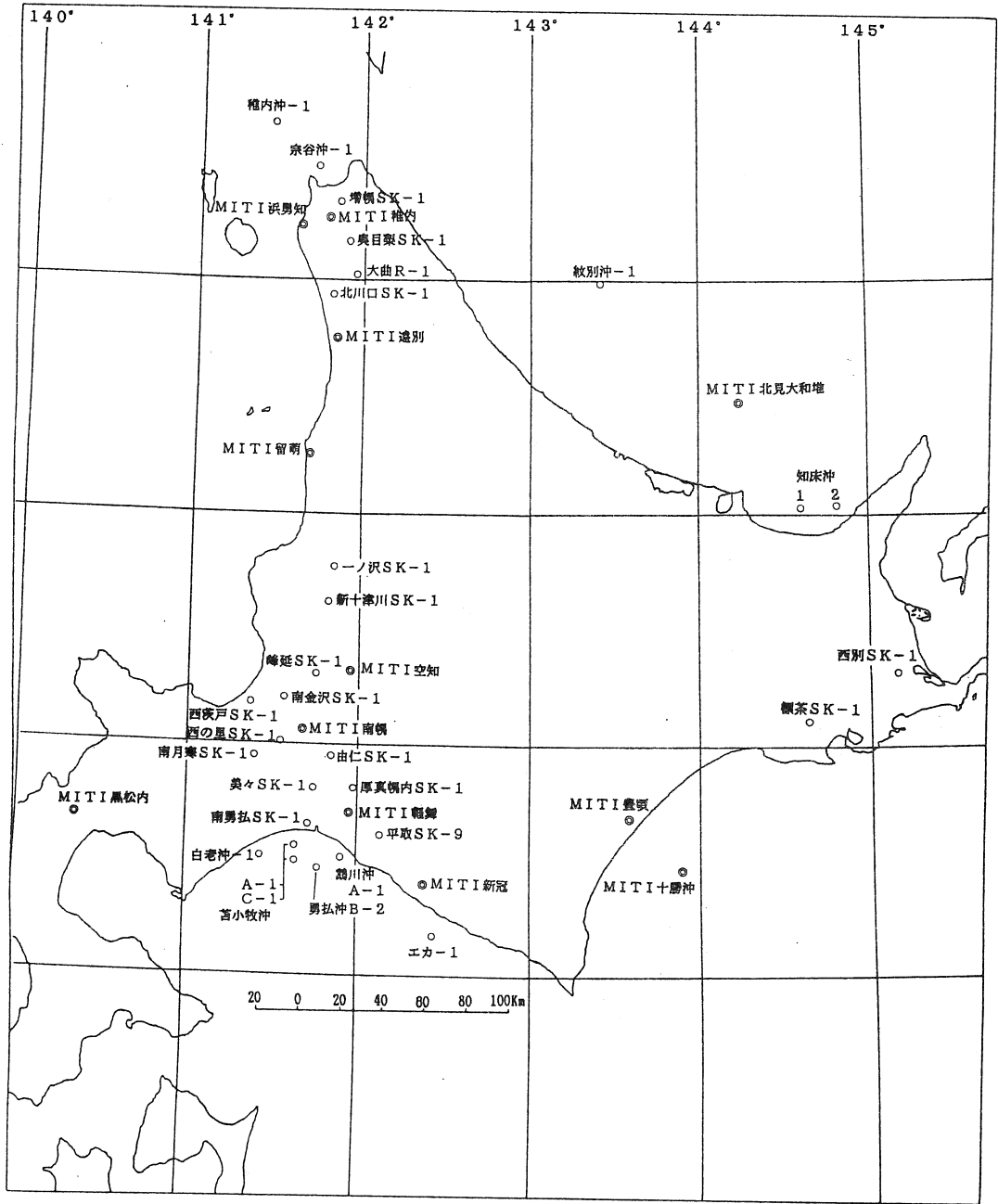


試掘平均深度の推移 (1955-1991)

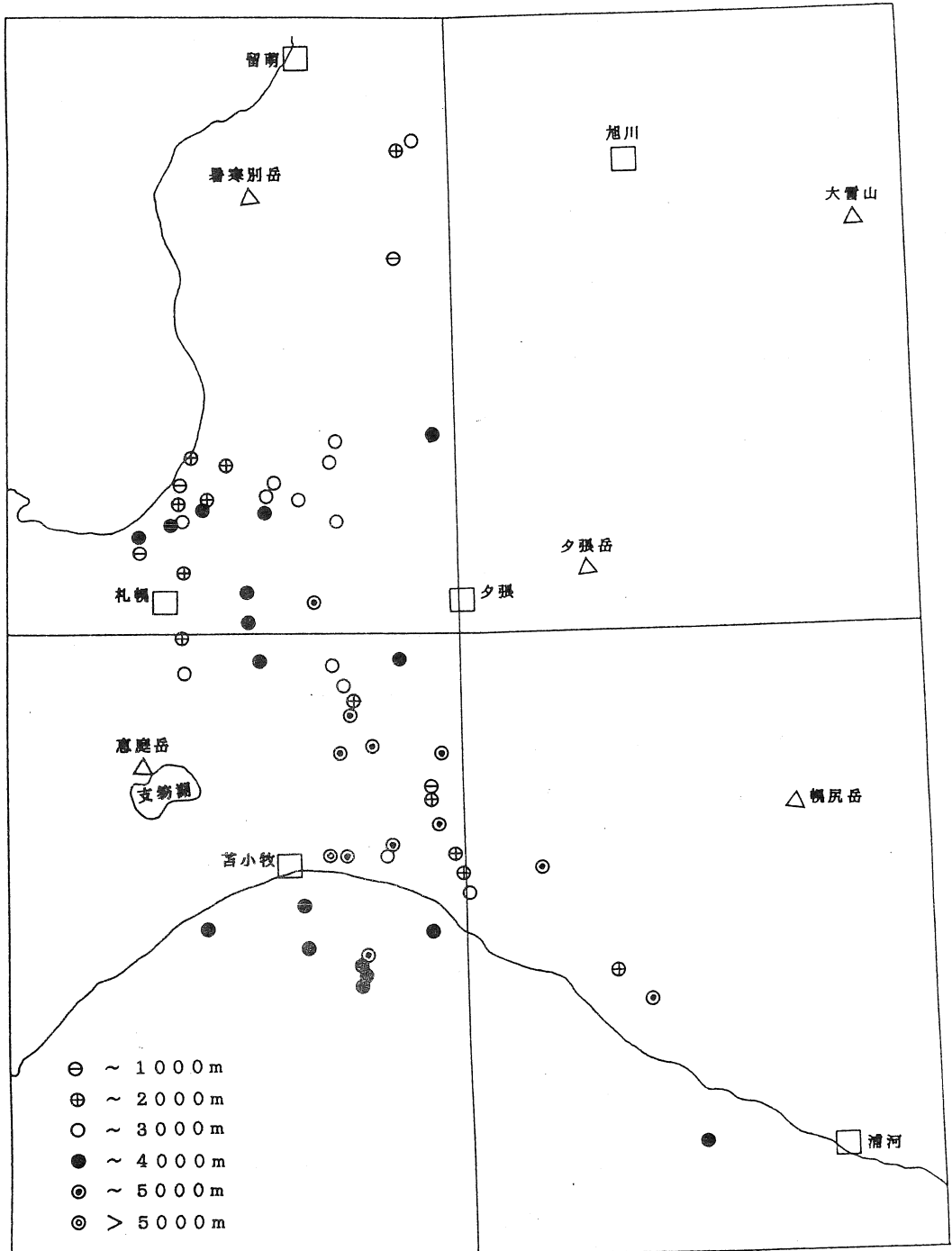


事業者別試掘実施状況(1955-1991)

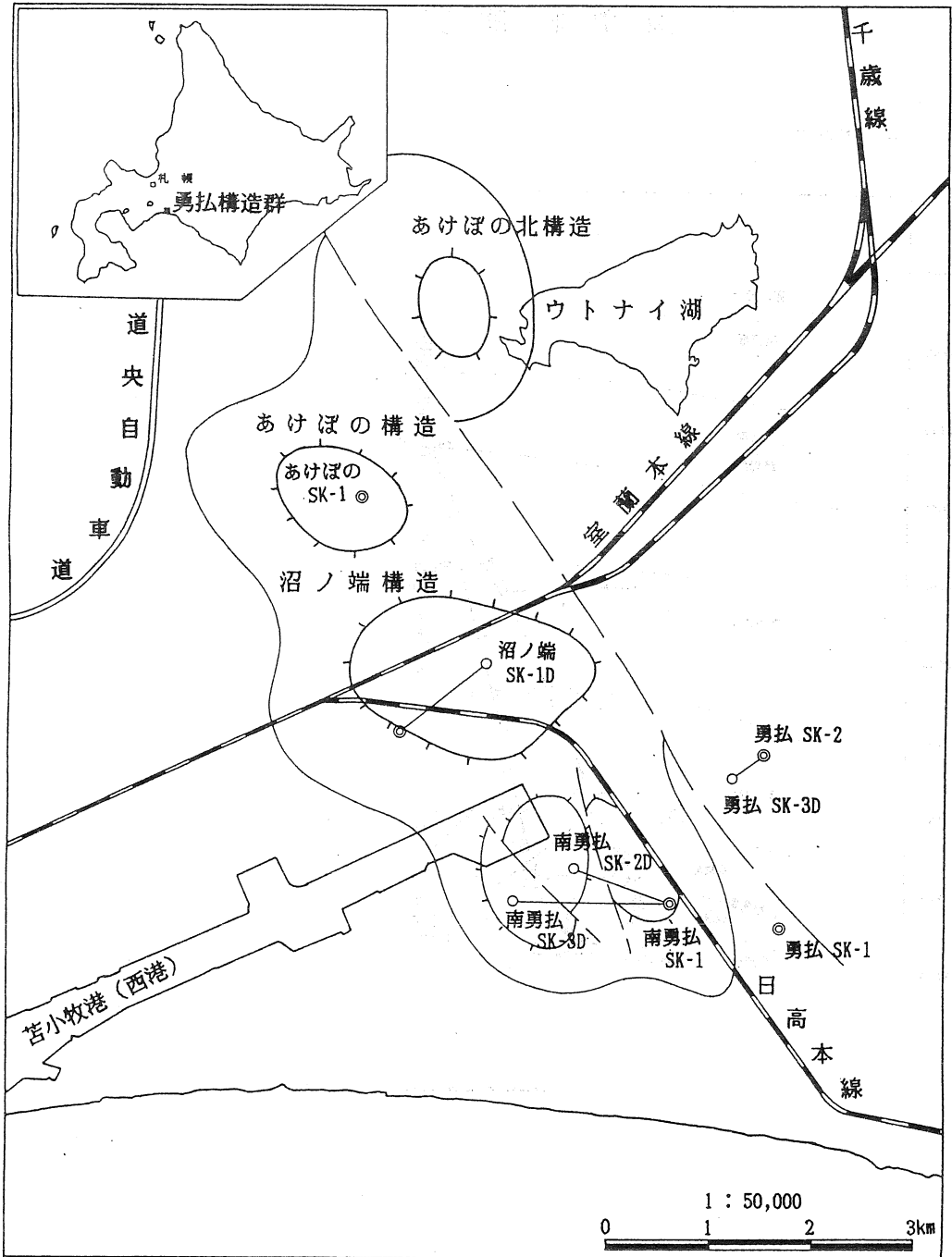




主要坑井位置図

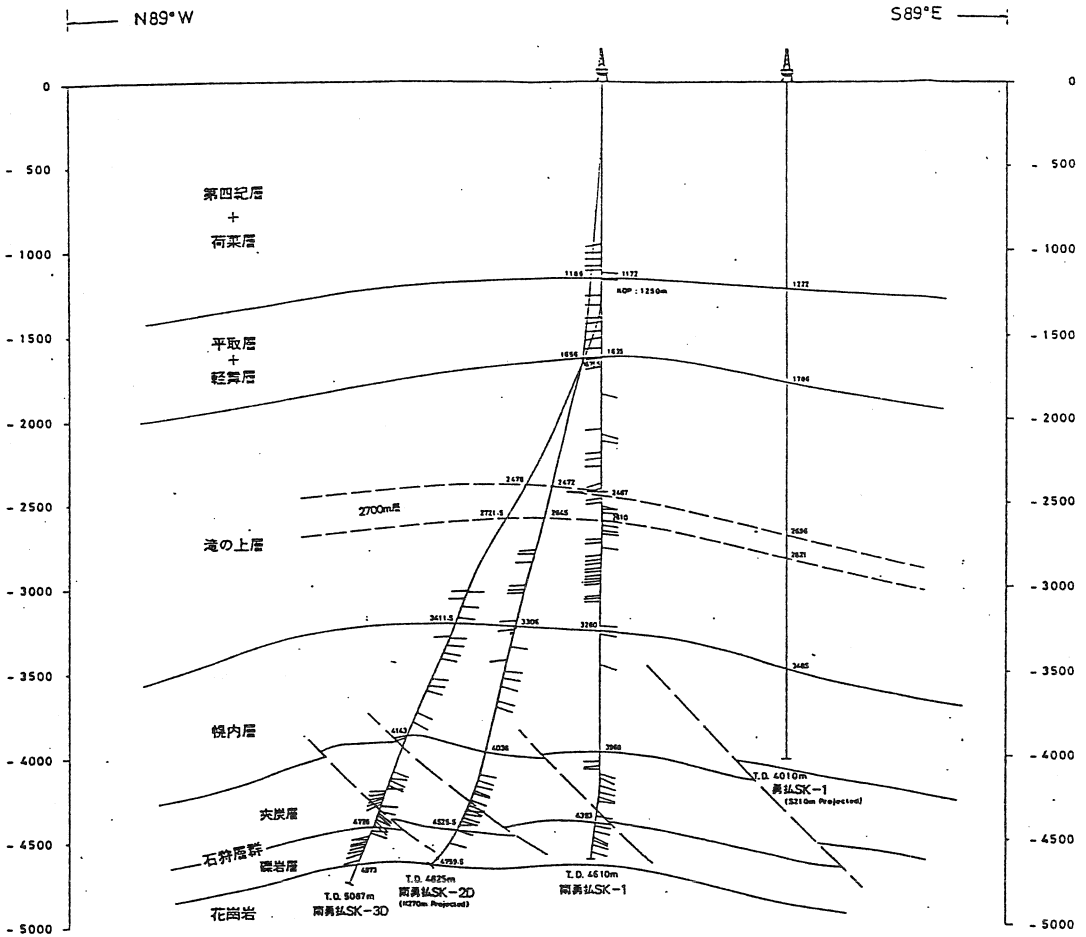


道央南部主要坑井位置図



勇払構造群構造概念図

南勇払地質断面図

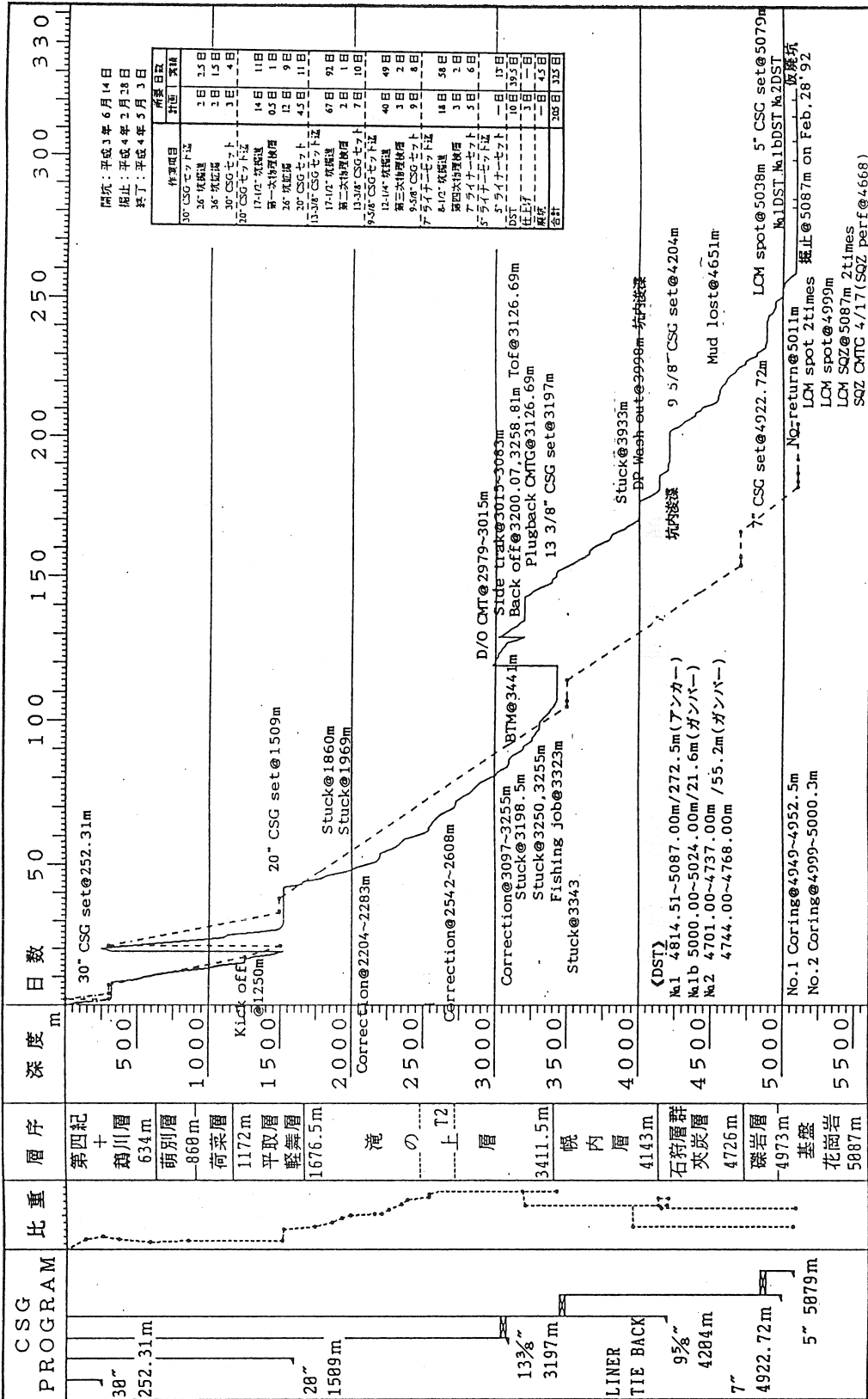


SAPPHORO	JAPEX Co. Ltd	WELL
地質断面図		
南勇払SK-3D (Loc.A)		
REPORTER	SHEET No.	<input checked="" type="checkbox"/>
REPORT No.	DRW No.	

南勇払地域DST結果一覧

	SK-1		SK-2D		SK-3D	
	1	2	1	2	1	2
DST No.						
テスト深度 (m)	4,492.27-4,601.69	4,397.00-4,426.00	4,737.73-4,825.00	4,659.00-4,723.00	4,814.51-5,087.00	4,701.00-4,768.00
インタバル (m)	99.42	29.00	87.27	64.00	272.49	60.00
地層	礫岩	礫岩	(礫岩) + 花崗岩	礫岩	礫岩 + 花崗岩	礫岩
パーフォレーション	アンカー	ガンパー	アンカー	ガンパー	アンカー	ガンパー
チヨーク (mm)	7.5	8.2	5.0	5.0	19	19
ガス量 (m ³ /D)	120,000	120,000	94,000	84,000	39,000	39,000
油量 (KL/D)	60	80	74	68	26	27

DRILLING CHART 南勇払SK-3D



講

演

1. 石油ボーリングにおける最近の機器と技術

石油資源開発株式会社 札幌鉱業所
佐々木芳朗

はじめに

当社では、苫小牧市の沼ノ端地区とあけぼの地区で白亜紀層の探鉱を目的として2基の掘削リグを使用して、掘削予定深度4,900mのボーリングを実施している。

このうち、あけぼの地区で稼働しているリグは平成元年に購入した1625-DE リグで最新の掘削設備を備えている。代表的なものとしてトップドライブシステム(TDS)とオートラフネック(AR)があるので以下に紹介する。

又、最近採用されている技術として世界中で実施されている水平掘と掘削しながら坑井の方位と傾斜、場合によってはドリリングパラメーター、物理検層の一部の測定ができるMWD(Measurement While Drilling)があるのでこれについても紹介する。

1. トップドライブシステム(TDS)

現在、最も多く使用されている掘削方式はロータリーテーブルを回転させケリーを回転させることで、先端に付けたビットを回転させ掘削する方法であるがトップドライブ式掘削はロータリーテーブルとケリーの代わりにスイベルの直下に直流モーターを設置し、ギアを経由してシャフトとドリルパイプを回転させビットを回転させ掘削する方法である。この装置全体をトップドライブシステム(TDS)と呼ぶ。

TDSが石油掘削の現場に初めて登場したのは1970年代のことで、アブダビの海洋掘削で使用された。類似のシステムはそれ以前から使用されていたが、1981年に米国の Varco社が改良をし、信頼性を確保したため広く使用されることになった。

TDSの利点はドリルパイプを3本つなぎにして掘進できるため、ケリーを使用した場合の3倍の距離を連続して掘ることができる等、作業能率の大幅な向上による掘削コストの削減が可能になったことと、作業員に対する安全性が認められたことである。このため、高価な設備ではあるが主として掘削コストの高い海洋リグや大深度の陸上リグに使用されてきている。1992年11月現在、旧ソ連圏を除き世界で427基が使用されている。このうち海洋リグで399基、陸上リグで28基である。設備費用は1～2億円である。日本企業としては1978年に日本海洋掘削株式会社(第6白竜)が最初であり、1989年には当社が陸上の1625-DEリグに、1990年には海洋プラットフォームにそれぞれ導入した。

(1) 構造

本体の構造はドリルストリングを回転させるモーター部と減速装置、ドリルパイプを接続するパイプハンドリング部及びスイベル部からなる。回転反力を支えるためにガイドレールとガイドローラーが必要である。

動力用のモーターは1000馬力の直流モーターで出力軸に取り付けたピニオンギアからクイルシャフト下端のブルギアを経由して、メインシャフトに回転が伝わる。

モーター運転時のコイルの発熱を冷却するために密閉回路内に乾燥空気を循環させ、熱交換器内の清水で冷却する。これは石油鉱山保安規則に規定された防爆構造となっている。

パイプハンドリング部はエレベーター、油圧トルクレンチ、インサイドBOP及びリンクチルト機構から成っている。エレベーターを除く3機構はドリラーが遠隔操作できる。

スイベル部は従来のものが使用できる。

(2) 仕様

当社のTDSシステムはTDS-3型で、概略は次の通りである。

- ①モーター：1000HP トルク：2000rpm 連続で3542kgf-m エアブレーキ付
- ②パイプハンドラー：吊り能力：500米トン 最大トルク：8295kgf-m
操作油圧：140KSC コネクション：4"～7 $\frac{3}{8}$ " OD

(3) 利点

- (イ) ケリーを接続する必要がないのでどの位置でも循環、回転強引を即座に実施できるため、抑留発生の軽減に大いに寄与する。
- (ロ) ドリルパイプをスタンド(27m)で掘削できるので作業時間が節約できる。
- (ハ) ダウンホールモーターの指向が簡単なため、傾斜掘が効率よくできる。

(4) 欠点

- (イ) システムが高価である。
- (ロ) ユニットの重量が重くなり、ドリリングラインの摩耗が早くなる。

2. オートラフネック(AR)

ドリルフロアでの作業、特にロータリーテーブル上で行う作業の自動化と省力化及び作業員に対する安全性を目的として1975年頃に初代モデルとしてアイアンラフネックが導入されたが、その後改良を重ね1985年にオートラフネック(AR-3000型)が実用化された。これにより、掘削作業で最も危険で労力を要する人力によるトンクを操作してのドリルカラーやドリルパイプの捻子の締め戻し作業がなくなった。

又、スイッチを切り替えることにより自動運転が可能である。

又、適正トルクでパイプが締められ、ネジの痛みが減少しパイプ寿命が延びた。当社では1985年と1988年に導入し、使用している。1991年3月末で世界に54基が稼働している。

(1) 構造

高さ 341cm, 巾 162cm, 奥行 134cmで総重量は9tである。

上部にSSW-50スピニングレンチ, 下部にトルクレンチがあり、これを本体で支えている。油圧パワーユニットで作動する。スピニングレンチはパイプサイズが3½" ODから9¾" ODまでの範囲で使用が可能で、井戸芯とスピニングレンチとの芯振れと高さの自動調整ができる様にフレームに対してフロートマウントされている。

スピナーのローラーアームは全開にすると、18" ODのウイングスタビライザーを通すことができる。締付トルクは 270kg・mでありローラーで150rpmの回転ができる。

トルクレンチはパイプサイズが3½" ODから9¾" ODまでの範囲で使用が可能で上段が締付及び締め戻しレンチ, 下段がバックアップレンチとなっている。

締付トルクは 13800kg・mであり、戻しトルクは 16600kg・mである。

油圧パワーユニットは、圧力175KSC, 流量 170ℓ/minで必要電源は交流115V, 50W 60HZである。

(2) 操 作

従来は、ドリルパイプ等の捻子の締め戻しに2名の作業員が上下2式のトングを操作し、ドローワークスの力でトングに接続されたワイヤーを引張り、ネジを締めたり戻したりしていた。しかし、オートラフネックは1名の作業員がボタンを操作するだけで、トルクレンチによる捻子の締め戻しや、スピニングレンチによるパイプを回転することができる。ドリルストリングスの揚降管作業前に、あらかじめ締付トルクの設定値とツールジョイント部の長さを、コンピューターにインプットさせておけばトルク管理が正確でかつ容易である。

又、マウスホールでの捻子の締め戻しに7°までチルトさせることが可能な機能がついている。

3. 水平掘

水平掘とは、坑井を水平に掘ることである。概念は1920年代に米国のテキサス州で油層を横方向に掘り、坑壁面積を増やすことで油の増産を目的に考案されたが、掘削するための機器や方位と傾斜をコントロールするための傾斜掘技術が未熟なため、実用化ができなかったこととフラクチャリング技術が発達したため、水平掘は一時姿を消した。

1970年代後半に海洋油・ガス田での数多くの偏距の長い坑井(Extended reach drilling)の要求により傾斜掘機器や技術が急速に進歩したことから水平掘が見直され、Exxon社、Elf社及びTexaco社等のメジャーオイルカンパニーやArco社が水平掘技術を確立した。

近年、ダウンモーターやMWDが改良され傾斜掘技術が発達したことと、多くの水平坑井が垂直坑井の3倍から5倍の生産ルートを実現したため、1985年以降水平掘ブームが起こった。現在、米国のみならず世界中で水平掘が実施されており、今後も飛躍的に増加することが予想される。当社も来年、秋田で水平掘を予定している。

(1) なぜ水平掘か？

垂直井や傾斜井は、いずれも地下にある油・ガス層を垂直か傾斜をつけて縦方向に掘り抜くため油・ガス層の層厚分のみ坑壁面積を持つことになる。

これに対して水平掘は、油・ガス層を横方向に掘るので坑壁面積が大幅に増えることになり生産量の増加が期待できる。

しかし、一般的には試掘井では地下の油・ガス層の状態が不明であるので水平掘は採用されない。又、開発井でも坑内トラブル等、作業リスクが大きいことや採算検討に問題がある場合は、水平掘は採用されない。

生産量を増加させるためには①縦方向のフラクチャー層を横切る②タイトフォーメーションでの坑壁面積を大きくする③ウォーターコーニングやガスコーニングを減少させる等が考えられるが水平掘でのみ、これらが可能となる。

米国の統計では、①が46%②が37%③が11%で①②③の合計が94%である。世界的に見てもこれとほぼ同じ結果である。

(2) 水平掘の種類

水平掘には、長半径法、中半径法及び小半径法の3種類の方法がある。長半径法とは増角レートが $1 \sim 6^\circ / 100\text{ft}$ のものであり1200m程度の水平掘ができる。中半径法とは増角レートが $8 \sim 20^\circ / 100\text{ft}$ のもので1000m程度の水平掘ができる。小半径法とは増角レートが $1 \sim 3.5^\circ / \text{ft}$ のもので150m程度の水平掘ができる。

どの方法を選択するかは油・ガス層の深度や必要水平距離等を考慮の上決定する。

例えば、通常の掘進編成による掘削は長半径法と中半径法が可能であるが小半径法は不可能である。又、ワイヤーラインロギングは、水平掘区間では不可能である。

(3) 水平掘計画

油・ガス層に正しく掘り込むことが水平掘で最も大切なことであるので地層の深度、厚さ、地層の傾斜等が正確に把握されない場合は、垂直井や傾斜井で一度目的層を掘り抜き埋立作業を行った後、坑内の浅い深度の場所から改めて水平掘をすることが多い。長半径法を例にとって説明すると、キックオフポイントから1回目の増角掘を行い、その後沿角掘、2回目の増角掘を行い、水平掘が開始される。

(4) 水平掘の方法

ビット上に角度調整ができるベントサブ(AK0)とステアラブルモーターとMWDを取付け、ステアラブル方式で掘削する。キックオフする場合は、希望する方向にベントサブの向きを合わせドリルストリングを回転させないで泥水をポンプすることで増角掘となる。この方式ではドリルストリングを回転させることも可能で、沿角掘もできる。又、希望する方向に掘りたい時は増角掘の要領で行う。

この様にして、水平掘を掘進する。

水平掘は、掘進時のビット荷重、ビット回転をコントロールしながら予定の計画線から外れない様にするのが大切であるが、更に増角部や沿角部や水平部分を掘るためトルクとドラッグの問題が常に発生するため、坑内安定を確保するための十分な注意が必要である。

その他、水平坑井掘進中や泥水循環中はアニュラス内で圧力損失が生じるため水平坑の長さが増すにつれて坑内圧力が増大することにも注意が必要である。

4. MWD(Measurement While Drilling)

掘進中に地下の情報を地上でリアルタイムで知ることができるシステムをMWDシステムと呼ぶ。

従来の方位、傾斜やツールフェイス測定は測定器をピアノ線で降下し、測定器内のフィルムで写真を撮り地上まで巻き上げた後フィルムを現像し値を得ていたが、この方法では測定を行うたびに掘進作業を停止しなければならなかった。測定時間内はストリングスを停止するため、抑留の危険性があったし大深度掘削や海洋掘削等のリグコストが高いものは測定時間が長くなると掘削コストに影響するため、掘削をしながら同時に方位、傾斜を測定できるMWDが開発され、世界中の石油会社で多く採用されている。

MWD本体は、非磁性のドリルカラー内部に測定器、マイクロプロセッサー、発信器及び小型タービンを内蔵したもので、作動原理は測定器で得られた方位、傾斜値をマイクロプロセッサーで二進法に変換し、圧力信号を泥水中を通して地上に送る。

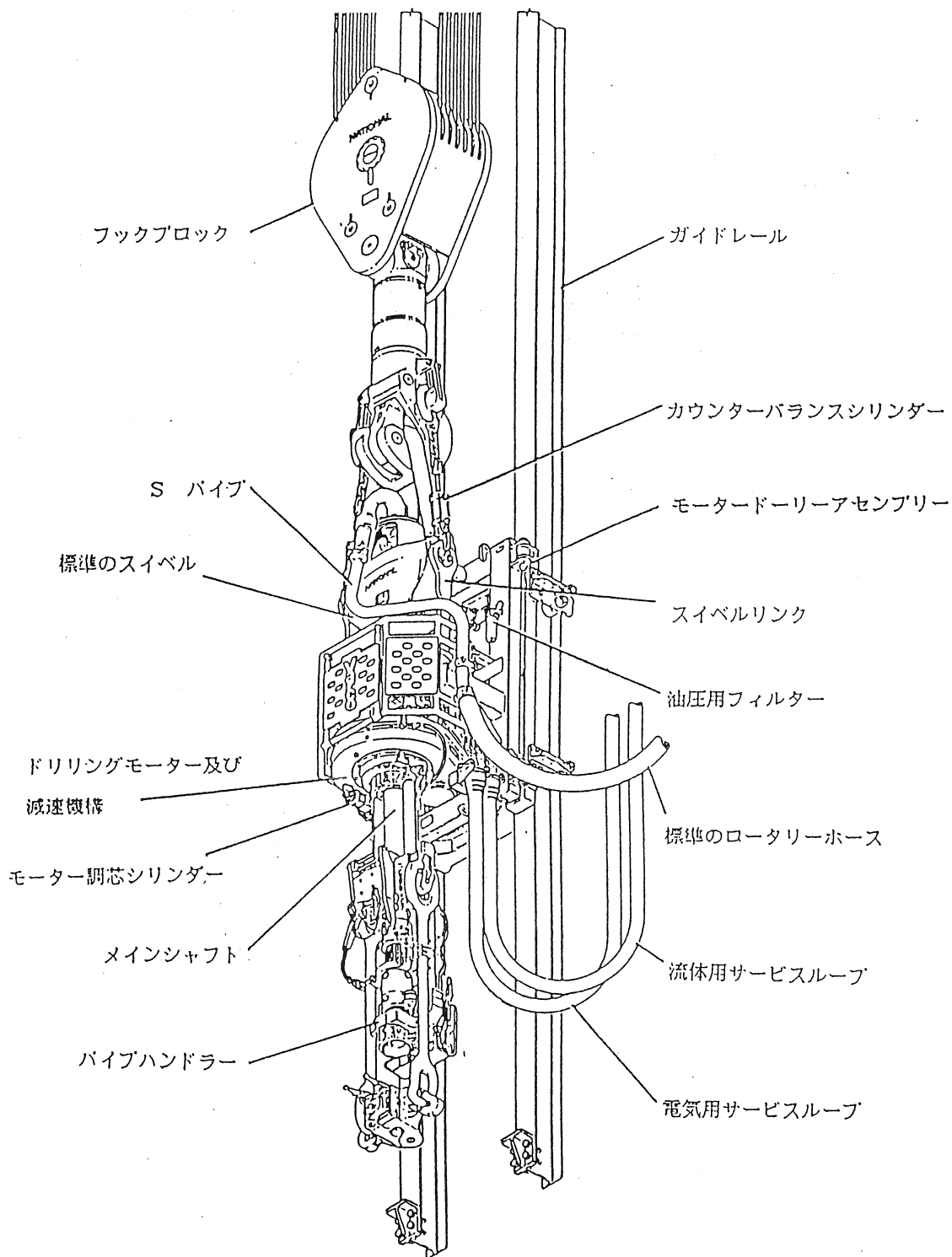
信号伝達方法は、会社によりまちまちだが、正パルス、負パルス及び連続波によるものがある。

地上ではスタンドパイプマニホールドに取り付けた圧力変換器で信号を受信し、コンピュータ処理して地下の情報を知る。ドリラー元にディスプレイがあり、ドリラーは計測値を見ながらビット荷重を調整し、希望する方向に掘進をすることができる。MWD本体は6½" ODから9" ODまで各サイズのものがあり、長さは約10mでドリルカラーねじ接続で耐圧 15,000psi～20,000psi , 耐温 150° Cである。測定精度は、傾斜値で± 0.1° , 方位値で± 0.5° ～± 1° である。全データの計測から地上受信まで90秒間で済む。

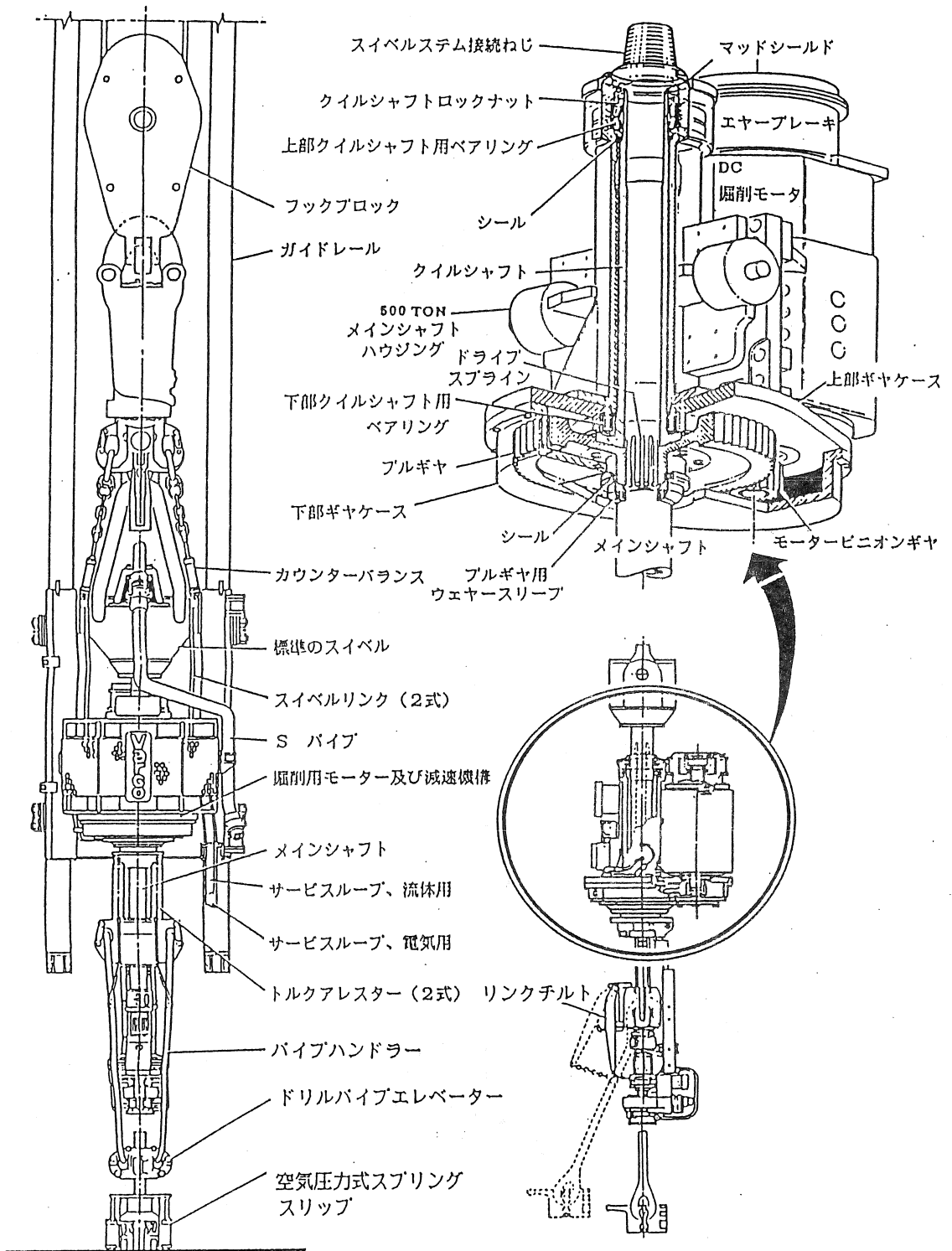
MWDは掘進編成の中に組み込まれて降下して使用されていたが、電気系統等の故障が発生し、回復が不可能な場合はMWDを取り換えるため掘進作業を中止し、揚管しなければならなかったが、最近ワイヤーラインで地下に降下できるバッテリー作動の小径(1¾")のMWDが開発されたため、揚管する必要がなくなり大幅な時間の節約が可能となった。最近では、傾斜とツールフェースを測定する他に、地下のビット荷重や地下のトルクを測定する機能や、比低坑ログやニュートロンログ等の検層の機能(Logging While Drilling)も実用化されている。

又、日本でも石油公団が電磁波を伝達手段に用いたEM-MWD(Electro-Magnetic)を開発中である。

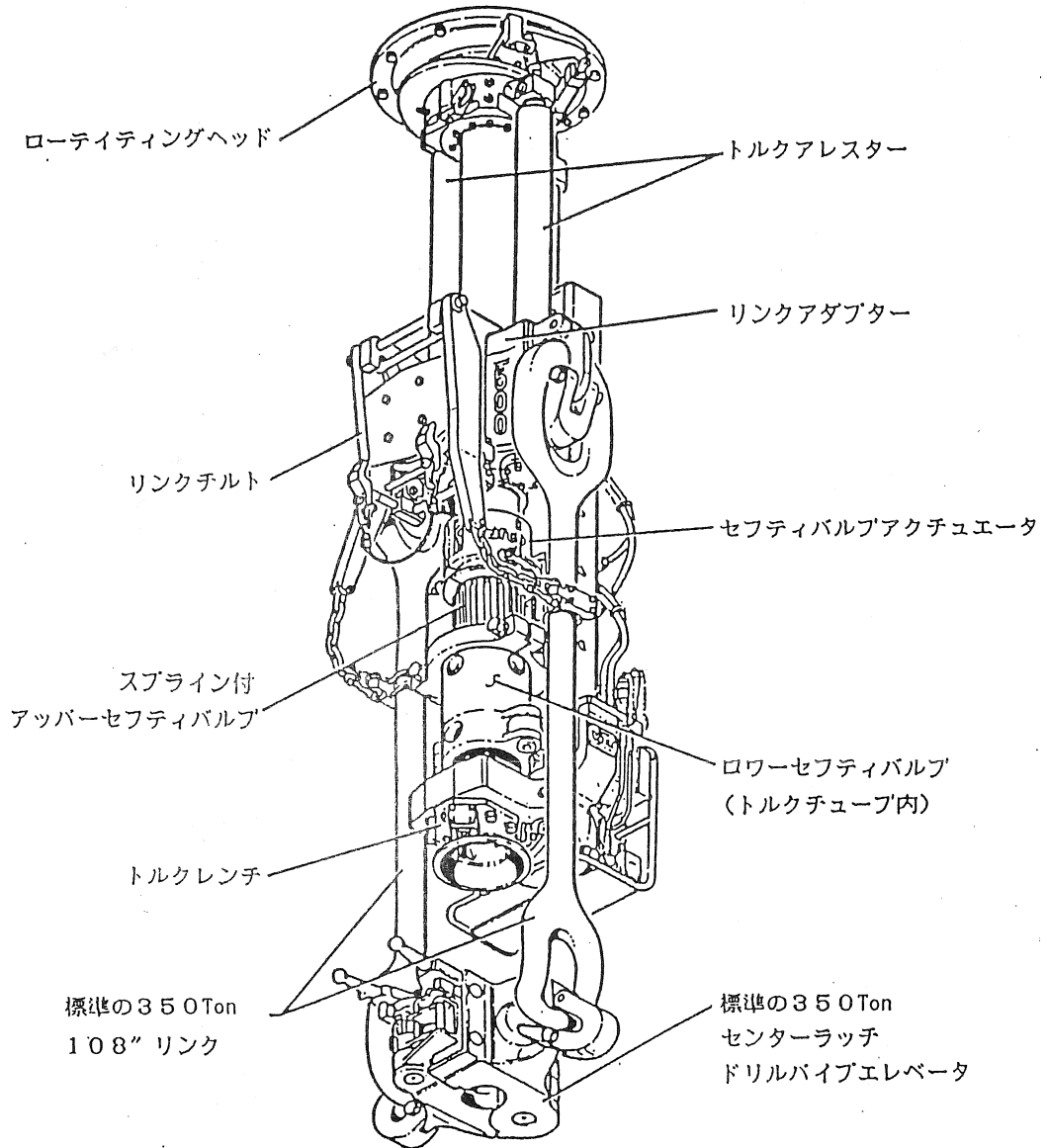
トップドライブシステム全体概略図

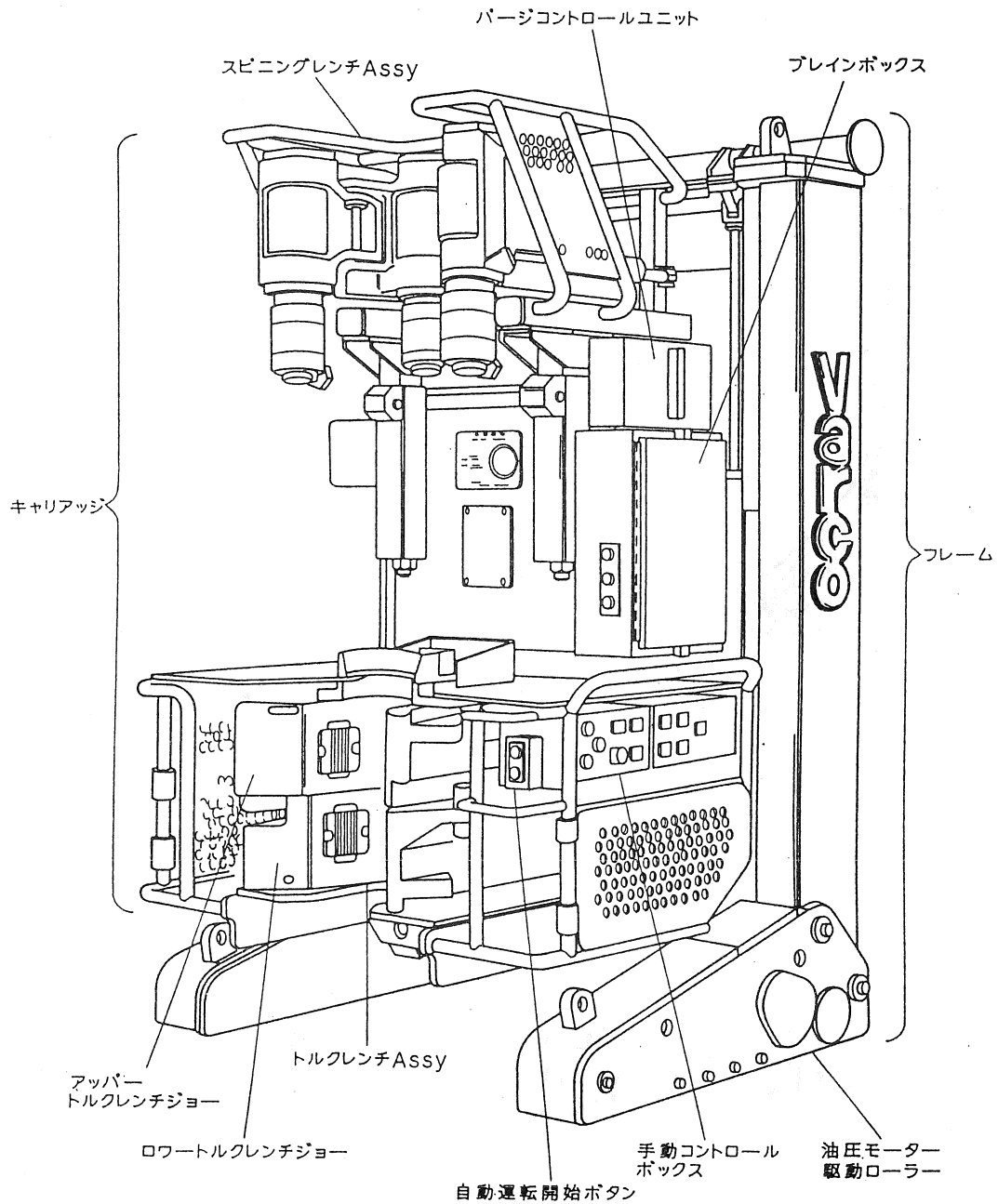


トップドライブ主要部品名

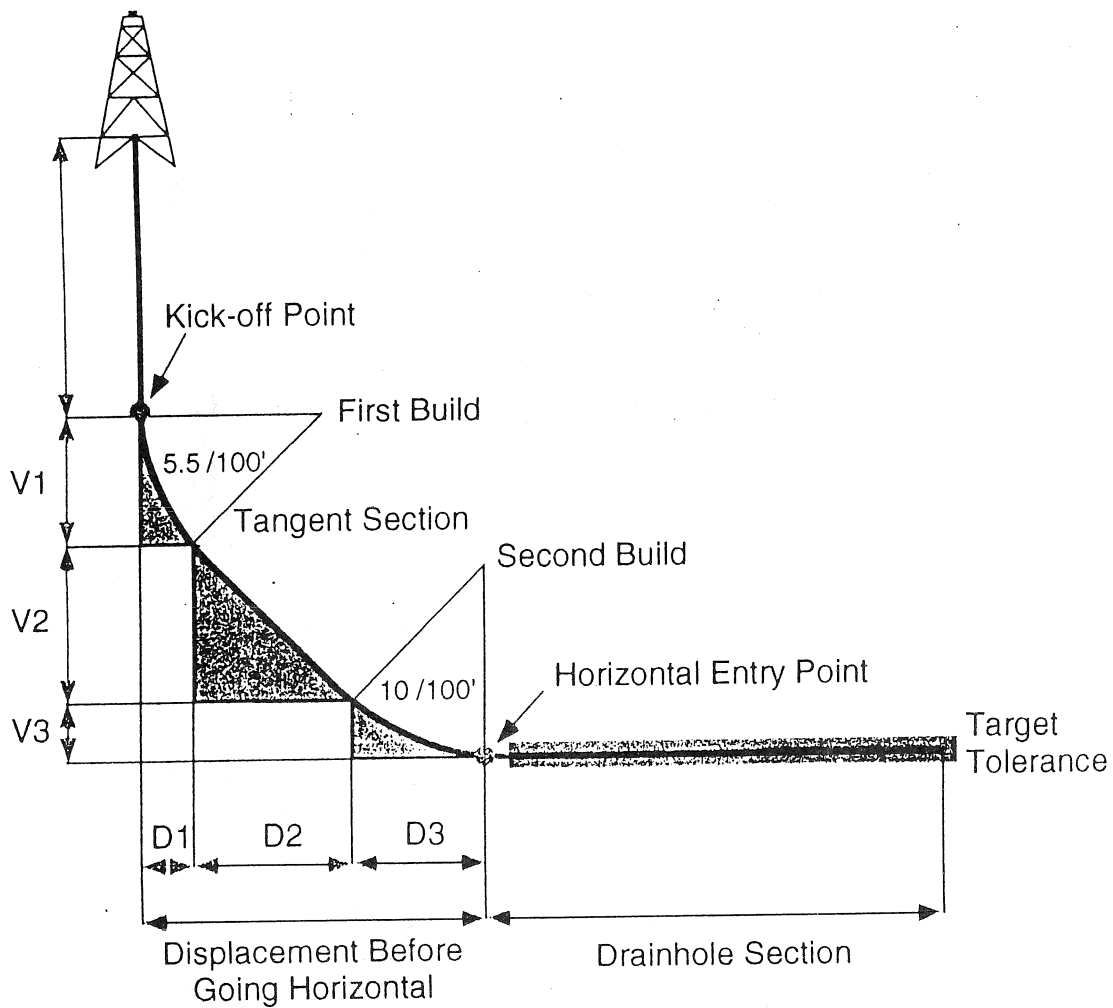


パイプハンドラーアセンブリー概観図



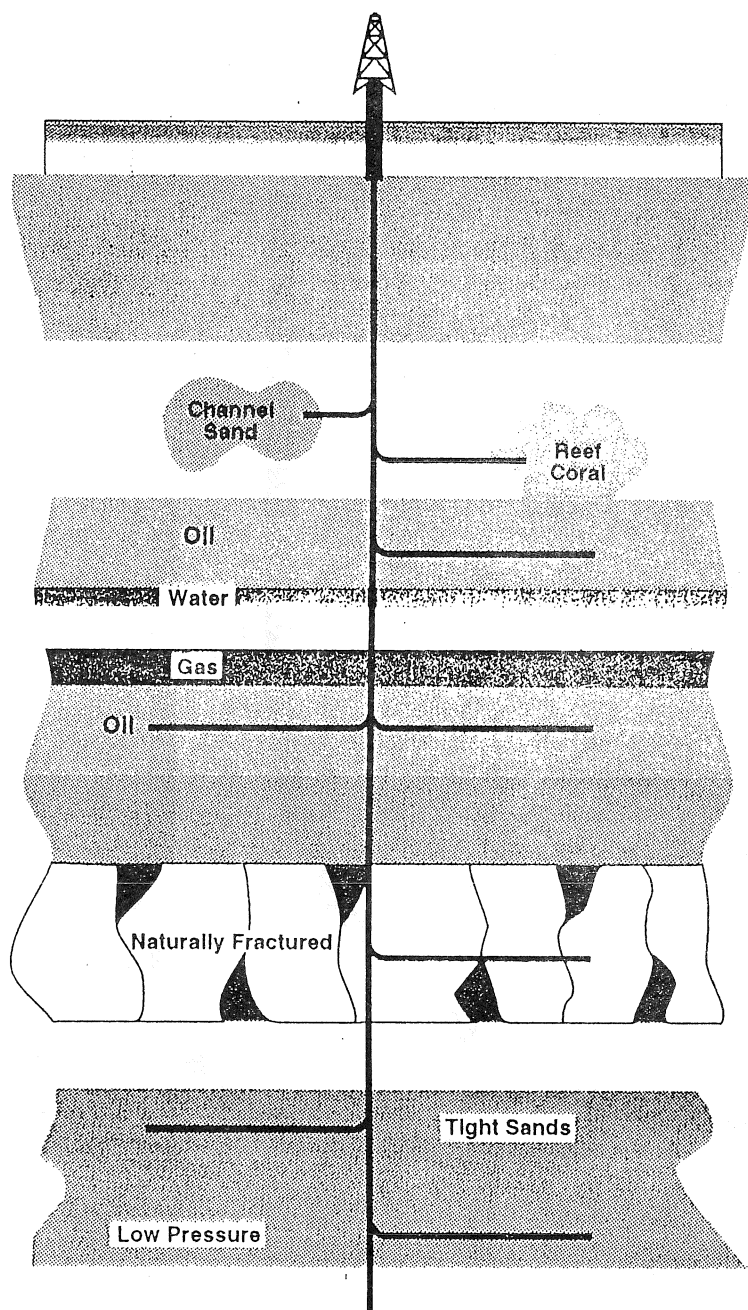


AR-3000 アイアンラフネック



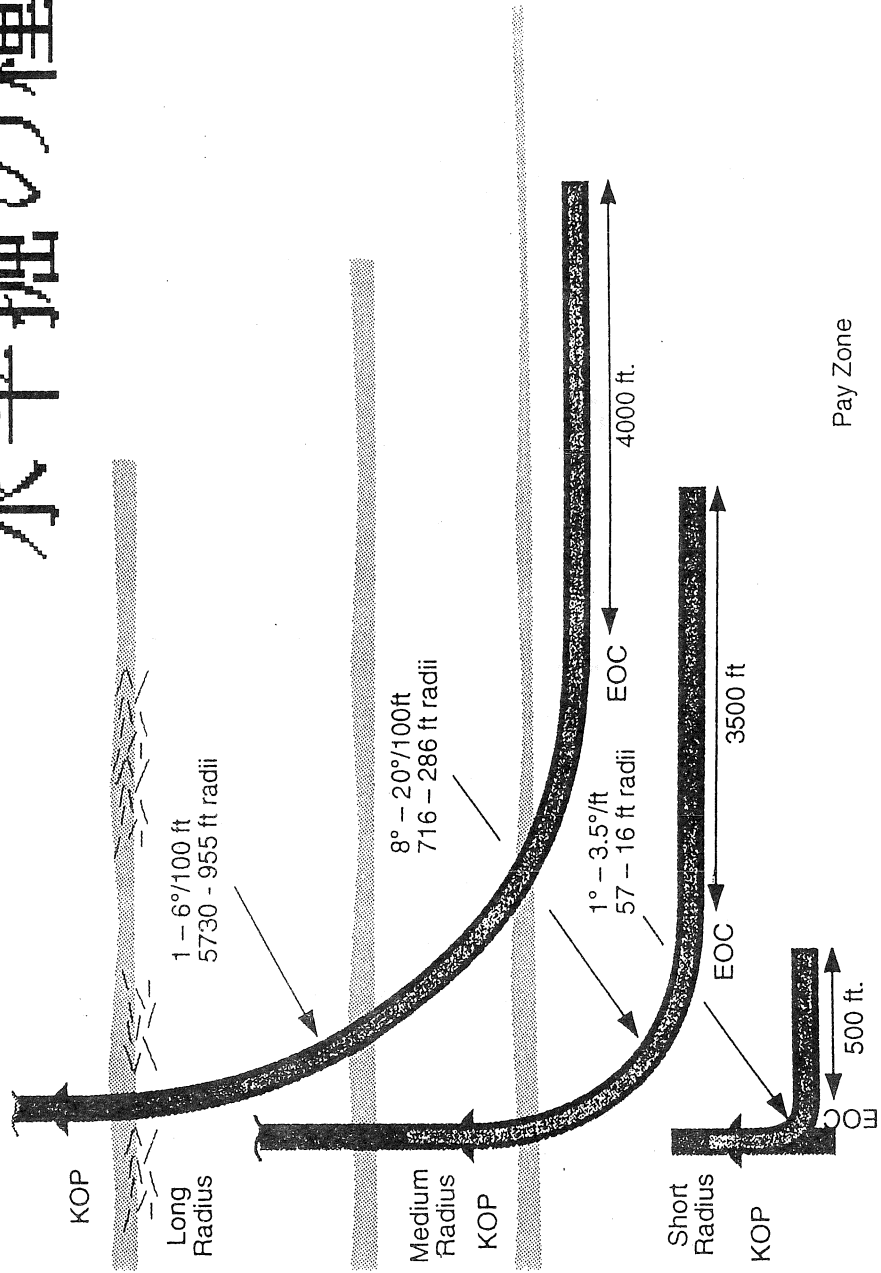
水平掘概念图

水平掘の応用例

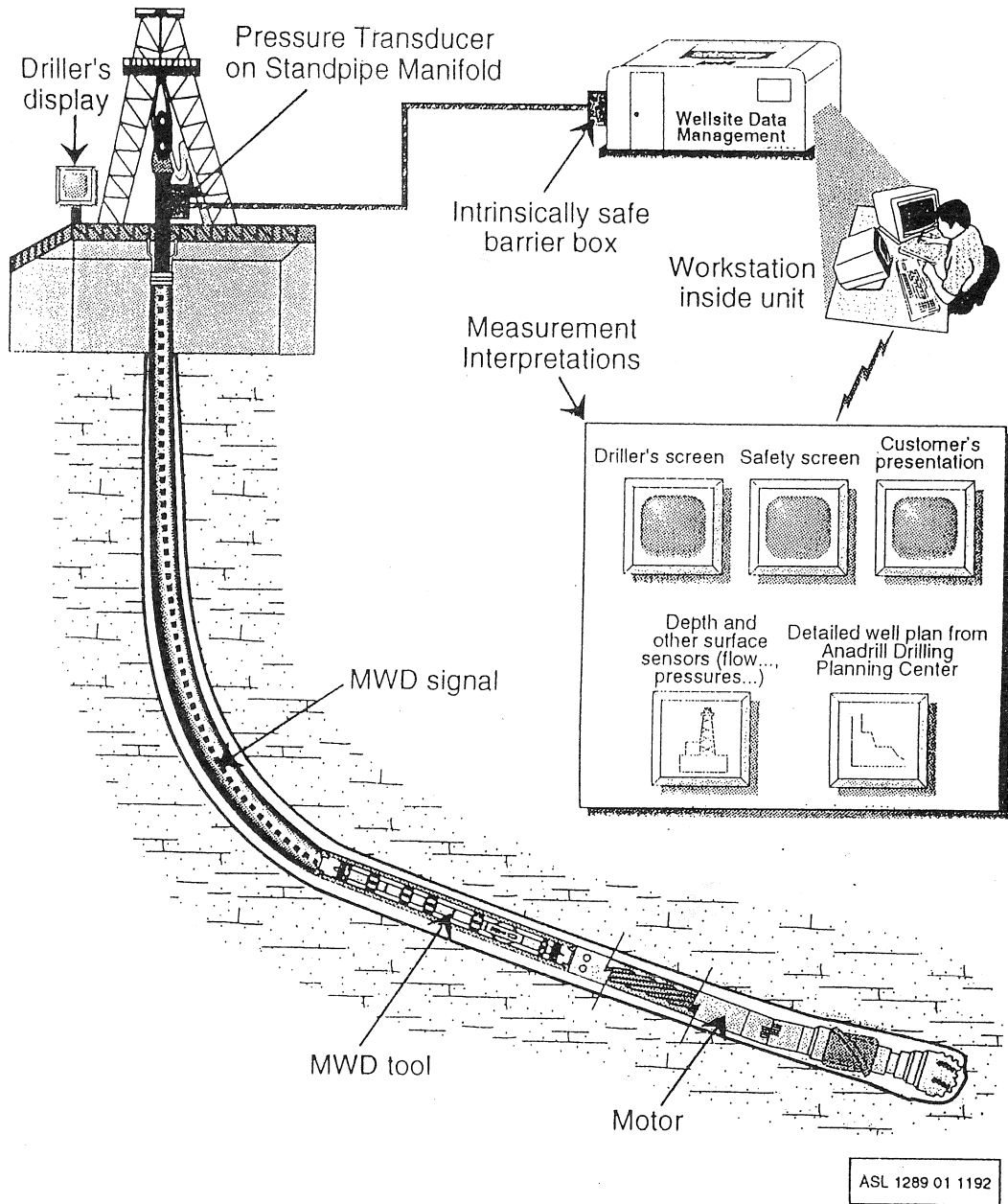


ART 1354 01 0293

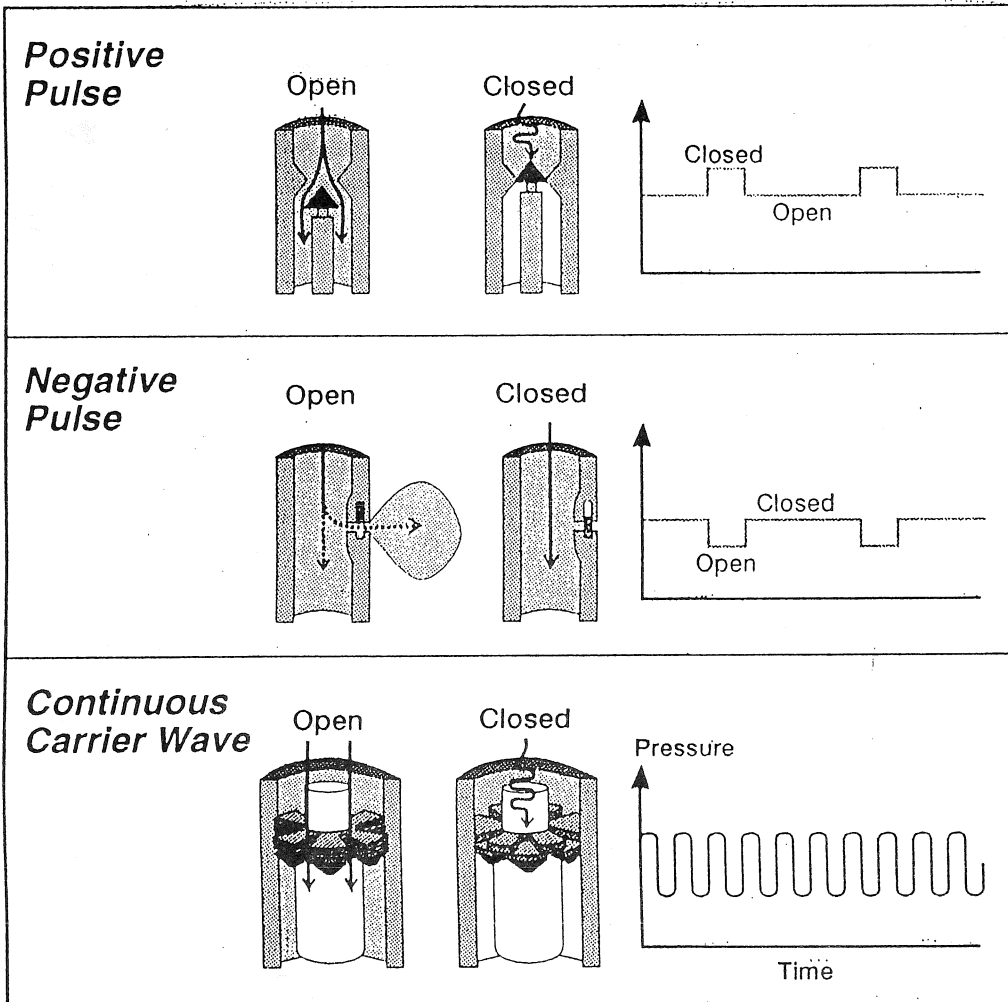
水平掘の種類



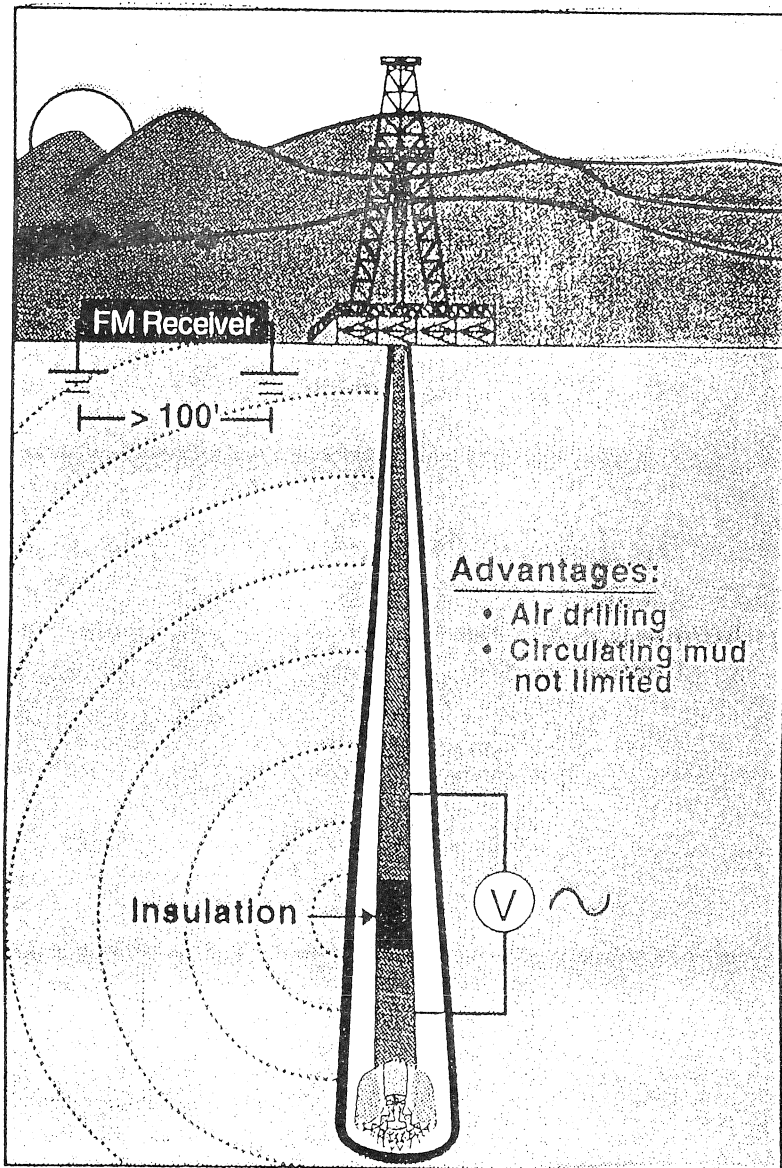
ART 1354 03 0293



MWD 概念図



パルス発生機構



EM - MWD

2. 道内で開発された高濃度塩水について

北海道立地下資源調査所 松波 武雄

はじめに

1970年代以降、深度1,000mクラスの深部温泉開発が、道内各地で盛んに行なわれるようになり、蒸発残留物が20g/ℓを越える中性～弱アルカリ性高濃度塩水が多く地域で見いだされてきた。高濃度塩水は、今後の開発によりますます増加することが予想される。

高濃度塩水の開発・利用に当たっては、1)可燃性ガス対策、2)スケール対策、3)熱交換器対策、4)廃湯対策など多くの留意すべき点がある。高濃度塩水の胚胎が予想される地域の開発においては、これらの点を念頭におく必要がある。

ここでは、道内での高濃度塩水（蒸発残留物20g/ℓ以上の塩水に対して使用し、議論は主として30g/ℓ以上を対象とする）の分布・塩水の起源および貯留層との関係について総括し、今後の開発における基礎資料の提供としたい。

I. 高濃度塩水の分布と地質

道内で蒸発残留物20g/ℓ以上の塩水が取り出された坑井は50坑を越えている。これらの坑井の分布を図1にしめした。図中の番号は、蒸発残留物30g/ℓ以上の15坑（表1）について、上位から順にしめしている（以下、図表中の番号は同様に使用する）。なお、八雲町鉛川地区（NEDO, 1990）の塩水については番号表示をしていない。この塩水については別途述べることとする。

北海道西部；海底火山活動に特徴づけられるいわゆるグリーン・タフ地域であり、先新第三系はブロック的な隆起体を形成して散在する。高濃度塩水は、津軽海峡西部・噴火湾・積丹半島の海岸線に点在して湧出する。内陸部に湧出するのは八雲町鉛川のみである。塩水貯留層は中～後期中新統の堆積岩類および火砕岩類からなる。このうち、津軽海峡に面した地域では、函館山・恵山の第四紀火山の基底を構成する後期中新統火砕岩類が貯留層となっている。

北海道中央部西半部；日高変成帯の西側は、東から西に向かってジュラ系・白亜系・古第三系・新第三系が順次分布する褶曲帯を形成している。高濃度塩水は、先新第三系分布域の西縁から西側で湧出する。特に、札幌を含む石狩低地帯周辺では多くの坑井から湧出している。塩水貯留層の一つは古第三系堆積岩類であり、他の一つは中期中新統～鮮新統堆積岩類である。

北海道中央部東半部；先新第三系が広範囲に分布し、新第三系は、十勝地域以外は主として瀕海～内陸の堆積盆を形成している。高濃度塩水は、十勝構造盆地の東縁部とサロマ湖南で湧出する。塩水貯留層は、前者が中期～後期中新統堆積岩類、後者が白亜系堆積岩類である。

北海道東部；白糠丘陵から太平洋岸にかけての先新第三系と、内陸部からオホーック海にかけての新第三系～第四系堆積盆からなる。知床半島から阿寒湖にかけての脊梁部分では新第三系の火砕岩類が卓越する。高濃度塩水は、釧路周辺・尾岱沼周辺・網走周辺で湧出する。塩水貯留層は、釧路周辺は古第三系～白亜系堆積岩類、尾岱沼・網走周辺は中期～後期中新統堆積岩類である。

以上から、高濃度塩水は、海岸に隣接する第四紀火山地域、油・ガス徴をもつ新第三系堆積岩地帯および古第三系堆積岩地帯に卓越しているといえる。

II. 高濃度塩水の化学組成およびガス組成

蒸発残留物30g/ℓ以上の塩水の化学組成を表1にしめした。主要イオン組成は大部分がNa-Clタイプである(図2)。ただし、古第三系を貯留層とする塩水は、新第三系を貯留層とする塩水に比べCaに富み、Ca・Na-ClあるいはNa・Ca-Clタイプとなる傾向が顕著である。なお、津軽海峡に面した函館・恵山の塩水は海水組成に近接してプロットされる。

Br/Cl比は、古第三系を貯留層とする塩水で海水値に比べやや低い値をしめすが、新第三系を貯留層とする塩水は海水値に極めて類似する。一方、I/Cl比は海水に比べ遥かに低い値となっている(表2)。また、B/Clモル比は0.02以下であり、海水の関与が示唆される(茂野, 1992など)。

蒸発残留物20g/ℓ以上の塩水の付随ガス組成を図3にしめした。付随ガスの大部分はCH₄ガスを主体としており、次いでCH₄とN₂ガスの混合系が主体となる傾向がみられる。古第三系を貯留層とする塩水の付随ガスは後者の傾向が顕著である。N₂ガスやCO₂ガスを主体とする塩水は稀で

ある。特に、CO₂ガスを主体とする塩水は神恵内村泉源のみである。ガス組成から、高濃度塩水の多くは石油・天然ガスあるいは炭田ガスの付随水と関係をもつことが予想される。

Ⅲ. 高濃度塩水の起源について

温泉水の起源の検討に最も有効な方法は、熱水の同位体比をてがかりとすることである（松葉谷, 1991など）。表1の高濃度塩水の同位体データは十分に得られていないため、付近で高濃度塩水が得られている地域のデータも加えている（表3）。図4に δD と $\delta^{18}O$ および δD とCl濃度の関係をしめした。

恵山町泉源 (No. 8) は、同位体比からもCl濃度からも現海水 ($\delta D=0\%$, $\delta^{18}O=0\%$, $Cl=19g/l$) が主体となっていることが示唆される。

海水と天水 ($\delta D=-70\%$, $\delta^{18}O=-10\%$, $Cl=0g/l$ と仮定) の混合系からなる塩水は、同位体相関図および $\delta D-Cl$ 図において、海水と天水を結ぶ線上にプロットされるであろう。八雲・小樽・釧路・稲富(網走)などの塩水には、同位体相関図・ $\delta D-Cl$ 図ともこのような関係が認められる。

一方、夕張・函館(谷地頭)の塩水は、 $\delta D-Cl$ 図では海水と天水を結ぶ線上にプロットされるが、同位体相関図では天水と $\delta D=0\%$, $\delta^{18}O=+2.5\%$ を結ぶ線上にプロットされる。これは海水が貯留層中の鉱物と反応し、 $\delta^{18}O=+2.5\%$ に酸素シフトした海水(変質海水)と天水の混合系で説明される(松葉谷, 1991など)。

なお、 $\delta D-Cl$ 図の上では海水と天水の混合系とみられる天北地域の塩水(蒸発残留物 $15\sim 20g/l$)は、同位体相関図の上では天水と $\delta D=0\%$, $\delta^{18}O=+10\%$ を結ぶライン上にプロットされる(図5)。天北地域の塩水が、他地域と異なり大きく酸素シフトすることは、今後の検討課題である。

浦臼 (No. 1) および神恵内 (No. 2) の塩水は、同位体相関図の上では先にのべた変質海水と天水の混合系を示唆している(図4)。しかし、 $\delta D-Cl$ 図では、Cl濃度は海水濃度を上回り、天水と $\delta D=0\%$, $Cl=44g/l$ を結ぶ線上にプロットされる。この関係は、特異な高濃度塩水である有馬型温泉の領域(松葉谷ほか, 1991など)と天水を結ぶ線とは明らかに異なっている。この点については後述する。

同位体比からみて、道内の高濃度塩水の大部分は、現海水あるいは変質した海水(化石海水)と天水の混合系とみてよいと思われる。

IV. 海水（化石海水）と貯留層について

道内の高濃度塩水の大部分は海水あるいは化石海水（変質海水）を起源としていると推定された。しかし、それらは、貯留層との反応により本来の海水組成とは異なった組成になっていることが予想される。図6にClと主要成分の関係をしめした。図中の直線の傾きは、海水の希釈ラインをしめしている。

海水からの主要成分の過不足分を ΔX 値として以下のように定義する。

$$\Delta X = (C_{x, sea} / C_{Cl, sea} \times C_{Cl, sample} - C_{x, sample}) / E_x$$

C_x, C_{Cl} ; 試料と現海水のXとCl濃度 (mg/l)

E_x ; Xのmg当量

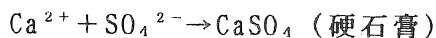
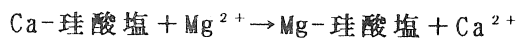
各塩水の計算結果を表5にしめした。図7および表4から、高濃度塩水は大きく4つのグループに分けられ、それぞれ海水組成からの変化を異にしている。

1. 津軽海峡沿いの高濃度塩水 (No. 6, 8, 9, 10, 12)

Clと主要成分の関係は、いずれも海水の希釈ラインに接近してプロットされる。このうち、恵山 (No. 8) の塩水は同位体比から現海水と推定された。希釈ラインからの変化幅は小さく、一定の変化方向もみられないことから、海水と貯留層の反応は十分に平衡に達していないと推定される。

2. 新第三系堆積岩地域の高濃度塩水 (No. 5, 7, 11, 13, 14, 15)

共通してみられる海水組成からの成分変化は、 $SO_4^{2-} \cdot Mg^{2+}$ の減少、 Ca^{2+} の増加であり、 Na^+ は増加するものと減少するものがあり、増加するものは同時に HCO_3^- も増加している。この変化は、以下の反応によることが多くの研究者によって指摘されている（酒井・大木, 1978など）。



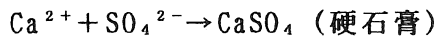
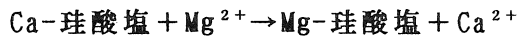
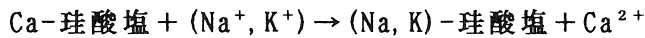
しかし、硬石膏が普遍的に形成されている証拠はなく、 SO_4^{2-} の減少は硫酸還元細菌によるものとみの方が妥当であろう（酒井, 1975など）。

3. 古第三系堆積岩地帯の高濃度塩水 (No. 1, 3, 4)

蒸発残留物は海水濃度を越えている。同位体比の上からは海水起源とすることに矛盾はない。しかし、Clは海水濃度を遥かに越えている。付近に活発な火山活動がほとんどないことから、火山物質の関与は考えにくい。海水以上の高濃度塩水は兵庫県有馬温泉などで知られている（松葉谷, 1991など）。しかし、 δD とClの関係は有馬型温泉とは異なっている（図4）。乾燥地帯では蒸発による濃縮やエバポライト（蒸発残留岩）

の溶出などによる高濃度塩水がみられるが、そのような条件は考えがたい。現状では、厚く堆積した地層が半透膜に似た働きをし高濃度塩水を形成したとするのが妥当と思われる。しかし、確定的なことはいえず、今後の課題である。

共通した海水組成からの変化（単純に海水と比較することに問題はあろうが）は、 $\text{Na}^+ \cdot \text{K}^+ \cdot \text{Mg}^{2+} \cdot \text{SO}_4^{2-}$ の減少、 Ca^{2+} の増加である。予想される反応は以下であろう。

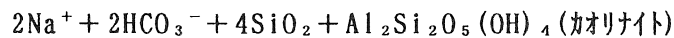
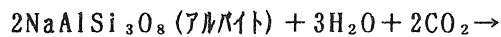


しかし、 SO_4^{2-} の減少の主体は先に述べた硫酸還元バクテリアによると推定される。

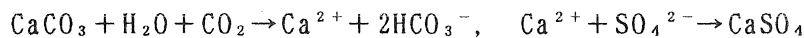
4. 神恵内村の高濃度塩水 (No. 2)

当地域の塩水も海水濃度を越えている。多量の CO_2 ガスを伴い、短時間で炭酸カルシウムスケールを析出させるなど、他の塩水と異なった点も多い。しかし、同位体比の上からは海水起源とすることに矛盾は少ないとみられる。

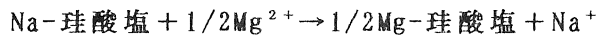
海水組成からの変化は、 $\text{Mg}^{2+} \cdot \text{SO}_4^{2-}$ の減少、 $\text{Na}^+ \cdot \text{HCO}_3^-$ の増加で特徴づけられる。 HCO_3^- の増加は、塩水が CO_2 ガスを吸収することによると推定される。例えば、以下の反応である。



HCO_3^- の増加・ SO_4 の減少には以下の反応が考えられる。



Mg^{2+} の減少と Na^+ の増加には以下の反応が考えられる。



5. 海水と貯留層の平衡について

Giggenbach (1988) は、鉱物/溶液間の平衡関係の考察から、Na-K温度計とK-Mg温度計の平衡化時間の相違から、熱水と貯留層の平衡関係を視覚的にしめすNa-K-Mg geoindicatorを提案した。道内の高濃度塩水をこのgeoindicatorにプロットして図7にしめした。

当図から、津軽海峡隣接第四紀火山地域→新第三系堆積岩地帯→神恵内地域→古第三系堆積岩地帯の順で、海水と貯留層の平衡関係が進展していることが示唆される。

V. 八雲町鉛川地域の高濃度塩水

NEDOによる地熱開発促進調査“八雲地域”において、道内に相当する高濃度塩水が見いだされた(表2)。YK-4の塩水のCl濃度は39g/l(噴気試験では最大42.7g)に達している。当地域の塩水の同位体相関図および $\delta D-Cl$ 図を図8にしめした。

NEDO(1990)は、 $\delta D-Cl$ 図で海水と天水の希釈ラインにのらないこと、同位体比が天水と高温の火山ガスの領域(松葉谷, 1991など)を結ぶライン上にプロットされることなどから、当地域の高濃度塩水は、火山ガス、特にHClガスによって生成されたものと推定した。当地域には、約2Maの多くの斑岩類が分布し、火山ガスはこの火成活動に関連づけられている。

道内では、過去十勝岳噴気孔の熱水において100g/lのCl濃度(吉田ほか, 1968)が、旭岳火口の熱水で21g/lのCl濃度が報告されている。また、火山ガスの凝縮水が高Cl濃度(数10~数100g/l)をもつことが報告されている(岩崎, 1970)。これらのことから、当地域の塩水の起源を火山ガスと関連づけることには矛盾はないようにも思われる。しかし、当地域の地表部には噴気帯などの火山徴候はみられない。有馬型温泉との関連などを含め、なお検討の余地があるものと考えられる。

あとがき

高濃度塩水問題は、地質調査業界・鑿井業界の方々にとっては、いまさらの感もなきにしもあらずであろう。しかし、温泉開発では依頼主に対する適切なアドバイスが業界には求められており、これに対する基礎資料を提供することは意義があると考え、浅学を省みず現時点の高濃度塩水の総括を行った。不備な点について、ご教示・ご意見をいただければ幸いである。

主な参考文献

Giggenbach W. F. (1988): Geothermal solute equilibria, Derivation of Na-K-Mg-Ca geothermometers. *Geochim et Cosmochim Acta*, Vol. 52, 1705-1715.

2.

岩崎 岩次(1970):火山化学. 講談社.

松葉谷 治(1991):熱水の地球化学. 裳華房.

茂野 博(1992):熱水系の深部環境を地球化学から予測する. 地質ニュース, No. 457.

酒井 均(1975):大洋中央海嶺に温泉を探る-熱水地球化学序論. 科学, Vol.45.

—————・大木靖衛(1978):日本の温泉. 科学, Vol. 48.

新エネルギー・産業技術総合開発機構(1990):地熱開発促進調査報告書, No. 19, 八雲地域.

吉田 稔ほか(1968):固化する温泉, 十勝岳新々噴火口温泉と温泉固化生成物(温泉の固まり). 温泉科学. Vol, 19.

ボーリング井

No	市町村名	所有者	水温℃	pH	TSM*	Ca*	Mg*	Na*	K*	Cl*	HCO ₃ *	CO ₃ *	SO ₄ *	Br*	I*	HBO ₂ *	H ₂ SiO ₃ *	CO ₂ *	H ₂ S*
1	浦臼町	町鶴沼公園井	38.3	7.3	63,280	11,864	23.7	8,161	182.4	34,244	28.2	0.0	0	87.7	9.1	33.7	37.8	17.6	0
2	神恵内村	神恵内村4号井	59.4	6.8	48,300	492.3	286.0	17,202	486.8	28,088	4,146	2.0	1,294	88.7	2.2	347.2	7.0	291.3	0.0
3	浦臼町	ウツリ開発公社	20.1	7.9	40,290	1,226	466.0	13,140	78.5	23,680	111.6	15.0	0	52.2	23.3	23.0	4.3	27.5	0.0
4	滝川市	えべおつ温泉2号井	38.0	7.0	39,730	5,189	59.2	9,060	120.4	23,366	63.1		12.9			139.1	802.8	37.2	0.0
5	苫小牧市	樽前マツド1号井	46.5	7.8	38,248	1,235	390	11,265	715	19,525	1,592		1,386			58.2	248	22	1.02
6	函館市	紺田観光(株)	26.7	7.2	35,350	385.3	1,295	11,000	389.5	19,613	160.5		2,680			15.3	91.2	23.8	0.0
7	苫小牧市	ランチョ牧場	50.5	7.1	33,430	975.7	353.8	10,544	585.2	18,921	307.2	0.3	729.0	64.6	0.7	27.9	192.0	73.5	0.2
8	恵山町	恵山町3号井	55.5	7.2	33,370	582.1	879.7	10,046	469.7	17,638	205.4	0.2	2,232	59.9	0.4	37.1	181.0	37.8	0.0
9	函館市	蓬来温泉3号井	34.7	6.9	32,400	501.3	1,218	9,320	525.3	17,358	272.4		2,471			20.8	184.1	69.5	0.3
10	"	" 4号井	35.0	7.3	32,260	495.8	1,134	9,167	511.5	16,826	318.8		2,311	55.4		22.1	10.9	83.8	0.3
11	北村	北村1号井	42.2	7.5	31,420	1,799	317.2	9,180	284.6	18,365	132.8		0	57.4	21.6	122.7	164.5	26.8	0.0
12	函館市	蓬来温泉1号井	31.0	7.7	31,240	224.0	824.0	9,690	29.3	16,200	133.0		2,135			39.0	162.0		
13	"	" 2号井	42.2	7.4	31,200	1,978	232.9	9,290	257.2	18,720	104.9		0	63.8	26.3	149.4	119.5	50.8	0.0
14	長万部町	OR-6号井	53.2	7.6	30,795	1,273	80.3	9,625	335.0	17,669	86.5		0.0			193.4	** 129.6	15.4	0.02
15	豊頃町	豊頃温泉	28.5	7.8	30,260	265.4	219.8	10,500	312.0	16,650	1,538		81.5			197.1	113.3	110.0	0.9
	八雲町	N62-YK-4	91.0	6.4		1,100	144	22,000	1,740	39,000	387		51.9			***92	** 184	650	<0.1
	八雲町	N63-YK-7	62.0	6.3		613	94.2	12,100	960	20,800	581		219			***65	** 142	1,120	<0.1

自然湧出泉

1	標津町	ルベス温泉(湯の沢)	41.8	6.3	14,550	1,224	189.8	2,961	186.0	5,883	1,227		1,123			1,204	** 75.9	206.8	0.00
2	"	川北温泉	74.3	6.5	13,398	144.7	27.3	4,545	325.0	7,380	431.9		92.0			669.4	** 136.1		5.92
3	登別市	登別7号源泉	95.0	6.9	12,232	933.5	19.0	3,122	261.2	6,624	48.8		49.6			672.4	** 237.6	64.7	0.31
4	長万部町	二股温泉	42.1	6.5	10,344	684.5	148.3	2,579	307.0	4,918	1,495		113.2			232.3	** 39.5	270.2	0.00
	知内町	森越川冷泉	14.	6.4	29,089	883.3	312.9	9,020	966.0	15,904	1958.8		313.0					1,760	
	美瑛町	十勝岳新々噴火口	>100	<0.3	800,000	<1,000	24,000	11,100	3,200	100,000			370,000						

表 1

*mg/l, **SiO₂, ***B

NO	市町村	泉源名	Br/Cl × 10 ⁻³	I/Cl × 10 ⁻⁴	主たる開発対象地層
1	浦臼町	浦臼町鶴沼公園井	2.56	2.66	古第三系堆積岩類
2	神恵内村	神恵内村4号井	3.32	0.84	中新統火砕岩類・流紋岩
3	浦臼町	浦臼リゾート開発公社	2.20	9.84	古第三系堆積岩類
7	苫小牧市	ランチョ牧場井	3.41	0.37	中新統～鮮新統堆積岩類
8	恵山町	恵山町3号井	3.40	0.23	中新統火砕岩類
10	函館市	蓬来温泉4号井	3.29		中新統火砕岩類
11	北村	北村1号井	3.13	11.76	鮮新統堆積岩類
13	北村	北村2号井	3.41	14.05	鮮新統堆積岩類
		海水	3.4	0.026	
		油田塩水	2～8	20～70	(太秦・那須,1960)

表 2

(重量比)

NO	市町村	泉源名	δD	δ ¹⁸ O	Cl(mg/l)	分析およびデータ
	八雲町	N62-YK-4	-26.2	+3.7	39,000	NEDO(1990)
1	浦臼町	浦臼町鶴沼公園井	-16.3	-0.8	34,244	三菱マテリアル(株)
2	神恵内村	神恵内村4号井	-26.6	-1.5	26,098	"
	八雲町	N63-YK-7	-39.7	-0.9	20,800	NEDO(1990)
8	恵山町	恵山町3号井	-0.3	-0.4	17,638	三菱マテリアル(株)
	夕張市	夕張市2号井	-20.2	-1.64	14,560	"
	釧路町	釧路川温泉	-23.9	-3.3	12,514	"
	小樽市	銀鱗荘	-12.2	-1.7	12,493	"
	網走市	オホーック温泉	-24.4	-3.5	12,019	"
	八雲町	八雲町泉源	-12.2	-1.7	11,328	"
	遠別町	旭温泉6号	-11.4	+5.6	9,755	"
	函館市	谷地頭温泉	-36.6	-3.8	9,690	松葉谷ほか(1978)
	稚内市	稚内温泉	-22.8	+4.5	9,099	三菱マテリアル(株)
	積丹町	美国温泉	-54.9	-8.47	8,454	"
	古平町	古平温泉	-52.1	-7.6	6,720	"
	別海町	辻口商店	-58.0	-8.5	6,474	"
	岩内町	岩内町3号井	-53.6	-8.8	5,150	NEDO(1985)
	長万部町	二股温泉	-57.4	-7.8	5,040	松葉谷ほか(1978)
	長万部町	長万部	-57.4	-8.2	4,660	"
	豊富町	豊富温泉1	-34.4	-0.2	4,630	"
	豊富町	豊富温泉2	-41.6	-0.9	4,580	"

表 3

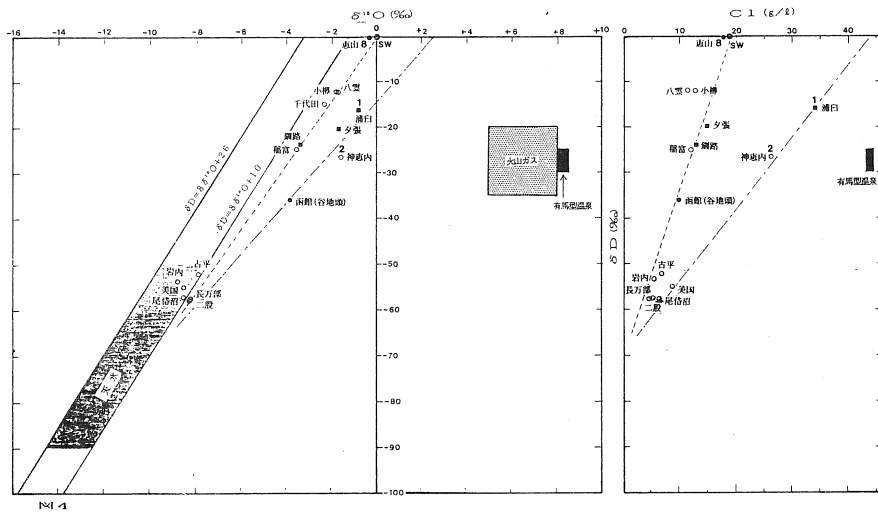


図4

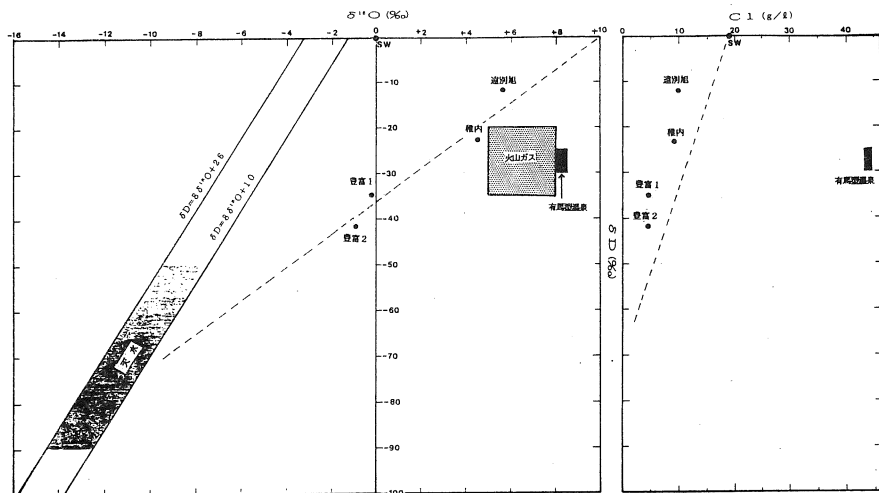


図5

天北(油・ガス藏)地域

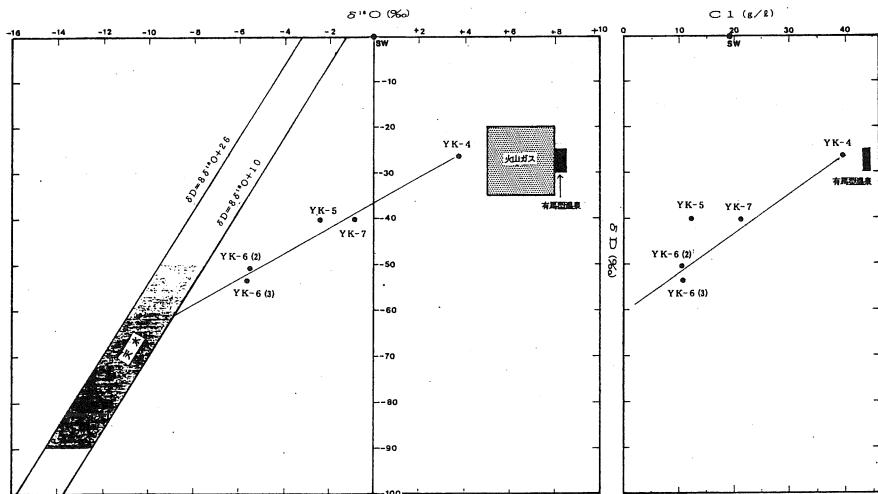


図6

地熱開発促進調査(八雲地域) NEDO(1990)

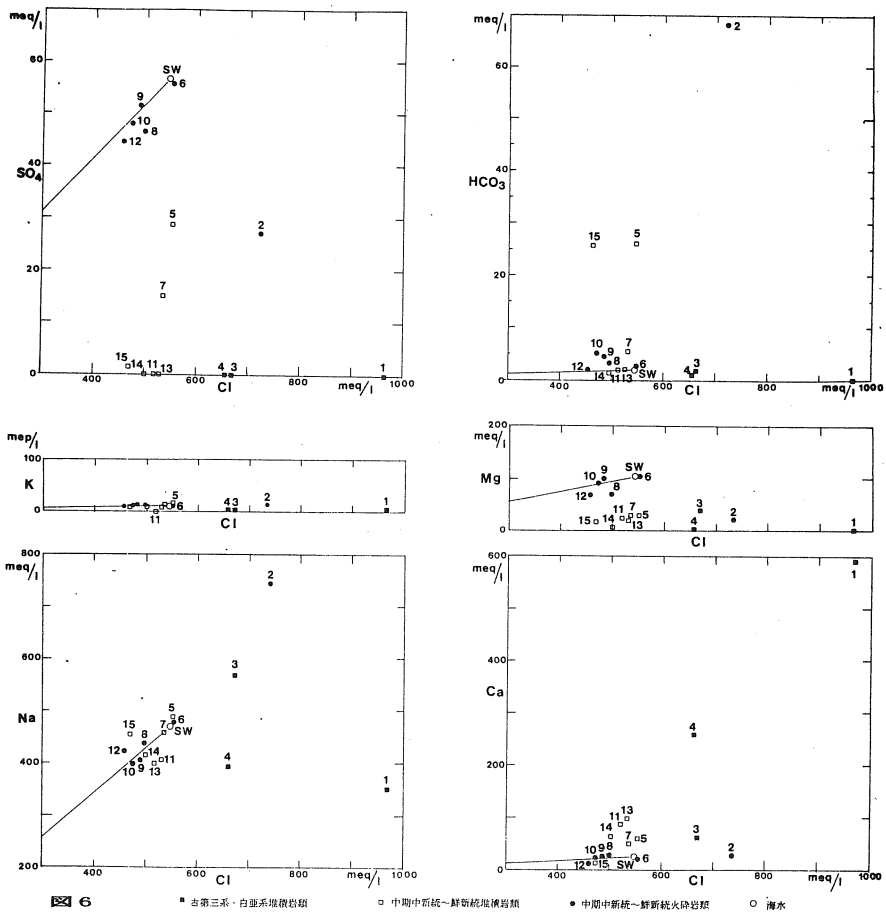
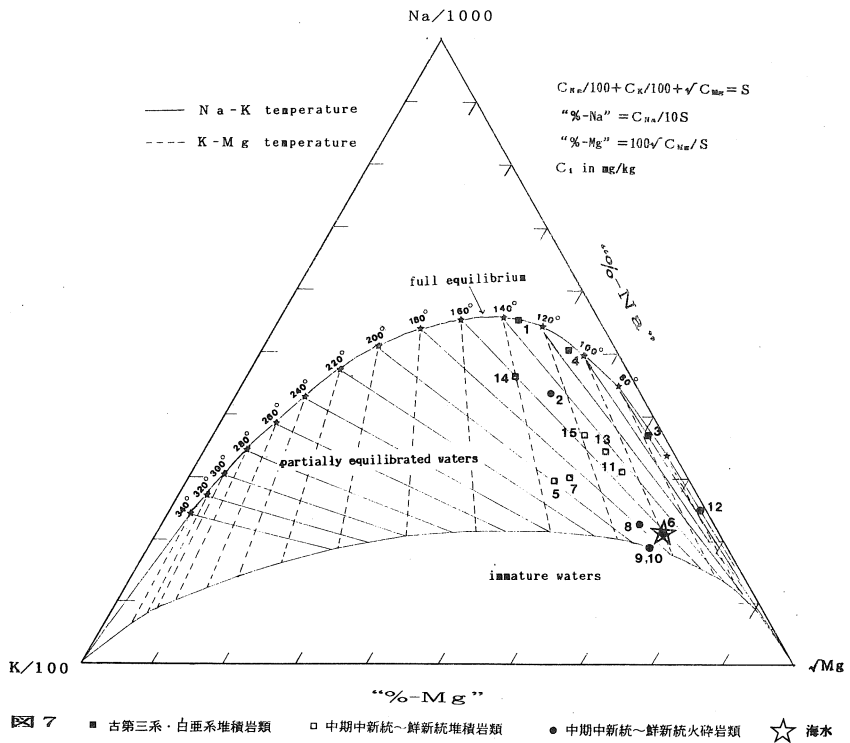
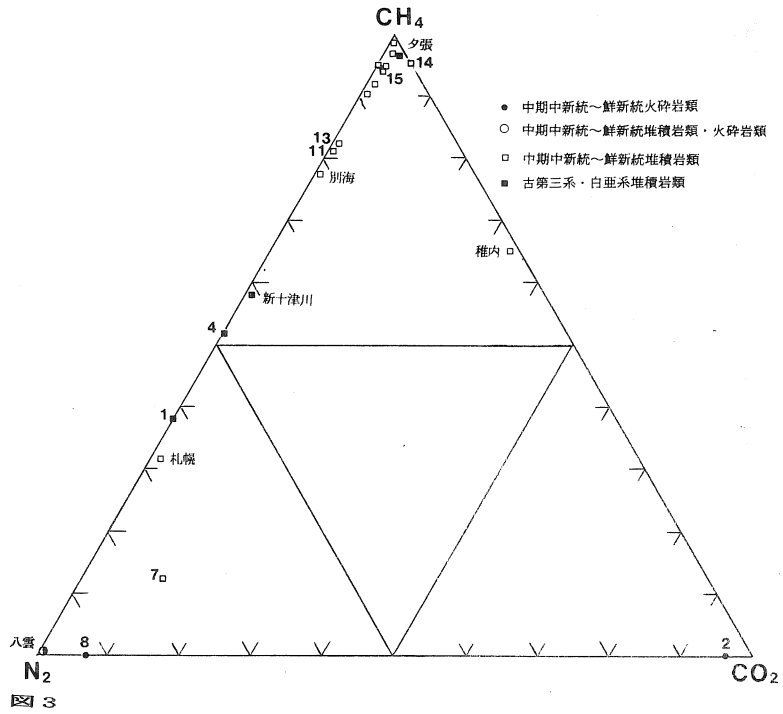


図 6 ■ 古第三系・白亜系堆積岩類 □ 中期中新統-鮮新統堆積岩類 ● 中期中新統-鮮新統火砕岩類 ○ 海水

NO	市町村	泉源名	△Na	△K	△Mg	△Ca	△SO ₄	△HCO ₃
6	函館市	紺田観光(株)井	3.8	-0.2	-1.1	-1.5	-1.4	0.3
8	恵山町	恵山町3号井	10.1	2.9	-24.4	10.4	-4.9	1.2
9	函館市	蓬来温泉3号井	-8.5	4.5	6.0	6.7	0.8	2.4
10	"	蓬来温泉4号井	-8.4	4.4	1.0	6.9	-1.0	3.2
12	"	蓬来温泉1号井	29.4	-7.6	-21.1	-6.0	-2.8	0.3
5	苫小牧市	樽前ハイランド1号井	17.5	8.2	-75.1	41.0	-28.1	23.8
7	苫小牧市	ランチヨ牧場井	0.7	5.2	-74.7	28.7	-40.0	2.8
11	北村	北村1号井	-45.1	-2.2	-74.7	68.8	-53.6	0.0
13	"	北村2号井	-48.9	-3.1	-83.6	79.0	-54.6	-0.5
14	長万部町	OR-6号井	-8.9	-0.5	-92.0	44.8	-51.5	-1.0
15	豊頃町	豊頃温泉	53.8	-0.6	-73.3	-4.4	-46.9	23.2
1	浦臼町	浦臼町鶴沼公園井	-473.6	-13.0	-186.0	555.8	-99.9	-3.6
3	"	浦臼リゾート開発公社	-1.5	-10.2	-91.6	36.1	-69.1	-1.0
4	滝川市	江部乙温泉3号井	-170.5	-8.9	-123.4	233.2	-67.9	-1.7
2	神恵内村	神恵内村4号井	116.6	-1.0	-119.7	-3.0	-49.2	64.9

表 4



3. 羅臼町温泉3号井の掘削について

(株)ドリリング計測 宮田 厚

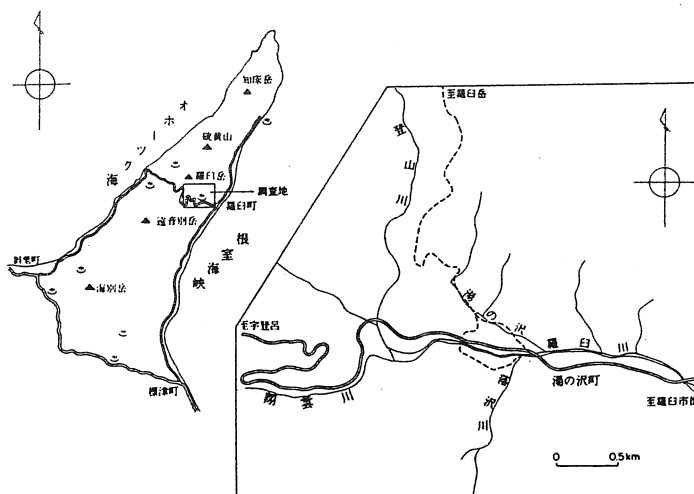
はじめに

羅臼温泉地域は昭和51年度より道立地下資源調査所によって本格的な地熱調査が実施され地質学調査、地球化学及び地球物理的調査及びボーリング調査などの分野にわたって報告がなされている。

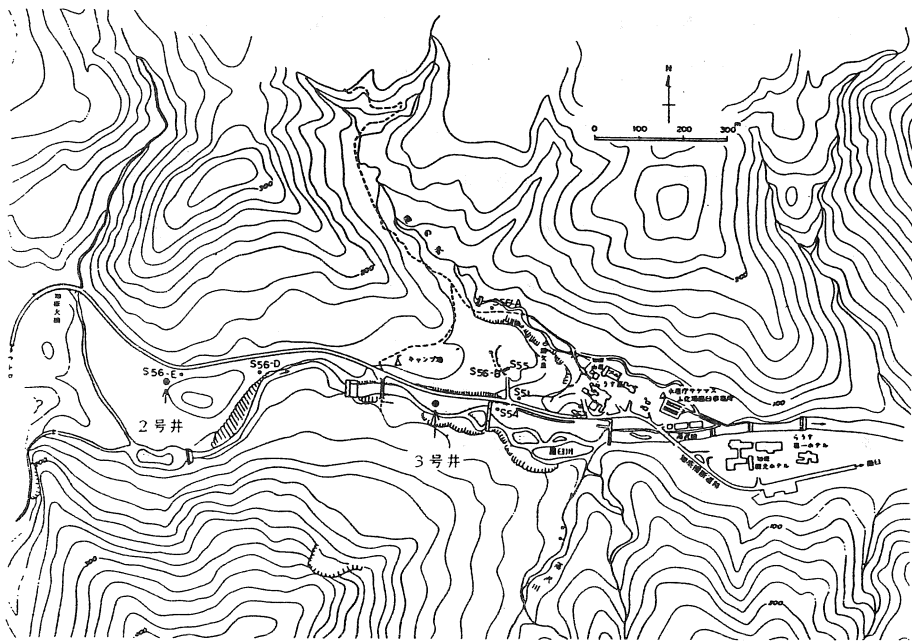
特に昭和54年調査井では大量の熱水蒸気が噴出したことから羅臼町ではこれをもとに、羅臼町1号井(昭和58井)から約1km下流の温水プール間に引湯設備を設置し、数軒の温泉ホテルの浴用・暖房や町営温水プールで利用された。更に昭和61年に掘削された2号井では深度200mの計画で実施したところ、96~105m間で優秀な地熱脈に達しこれを仕上げて成功裡に終了している。

現在では引湯設備は羅臼市街まで延長され更に役場庁舎の暖房や駐車場の融雪に利用されている。今回の3号井掘削は保育園、公民館、病院の暖房や国道の融雪など熱利用を拡大するための湯量を確保する目的として実施された。深度100mの掘削が計画され、深度66.5mから89m間で極めて優秀な地熱脈に達した。その後の噴出試験の結果、3号井の能力は1号井(58年井)及び2号井(61年井)をはるかに越える当地域としては最大級のものであることが明らかになった。

掘さく地点の位置図を図-1(a・b)に示した。



第1図 a 位置図



第1図b

で対策に日数を要した。最終的には深度25.3mまで12"SGPコアチューブにて拡孔して12"SGPをケーシングした。セメンチングは、坑底部はチュービング法、上部は圧入によってセメントを充填した。

- (3) 9 5/8" トリコンビットでセメントを浚渫。逸溢現象が全くないことを確認し、更に加圧試験を行ったところ全く異常がなかったので深度25.3m以深を掘込んだ。

掘さく地質は非常に硬質な角閃石斑岩で掘進率も0.1~0.6m/hrであった。

深度39.9mまで掘さくして温度・電気検層を実施して8"STPG管を挿入した。管側は2栓式セメンチングにて完全に密閉した。

- (4) 7 5/8" トリコンビットでセメントを浚渫後、泥水比重を1.46にして掘進を開始した。深度59.2mでは10ℓ/minの溢泥が生じ排泥温度も5℃上昇したので、ただちに非常用泥水(SG1.95)を送入して抑圧した。それ以深、泥水比重を1.92前後に維持して掘進したが、深度66.5mでそれまで硬質(掘進率で0.3m/hr)

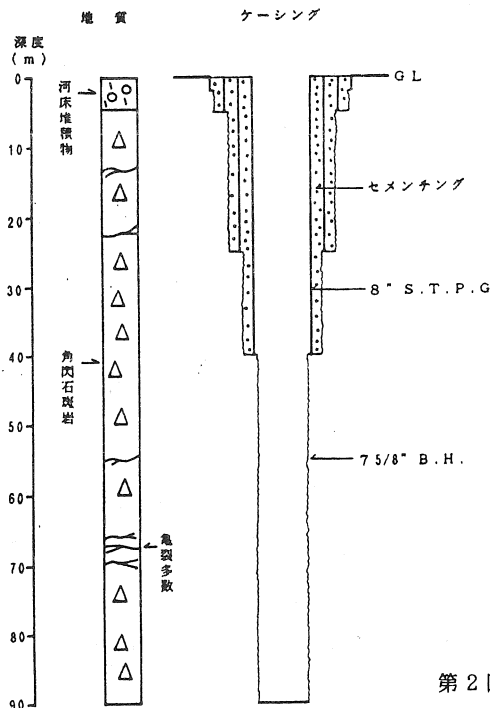
であったのが軟質層に変化した。(軟質層を10cm掘りこんでいる)

そこでただちに掘進を中止して泥水状況を観察しようとした直後、泥水が吹き上げ一瞬にして蒸気混じりとなって暴噴した。その後B・O・Pを締め清水を制限循環して坑内冷却ののち全閉した。坑口圧力は13kg/cm²で地熱流体圧力は20kg/cm²程度と推定した。高比重泥水で抑圧するには比重3.0以上が必要となるが実質的には不可能なので、それ以深の掘さくはB・O・Pを開放して暴噴状態のなかで清水送入によって行った。深度67.8m及び70.5mでは噴出量の増大をみた。それ以深深度88.6mにて掘り止めとした。

掘さく結果

当地域は地下浅部で高温・高圧の地熱水が胚胎することから、掘さく深度は100mと浅いが、大容量の泥水設備や能力的に余裕のある機械設備及びB・O・P等を準備した。また泥水調整及びケーシング・セメンチング作業は浅い深度から十分に留意して行った。工法は普通ロータリー工法である。ケーシングプログラム及び地質柱状を図-2に示した。

結果としては、深度66.5mにて暴噴されそれ以深、深度88.6mにて掘り止めとなった。経過の概略は以下の通りである。



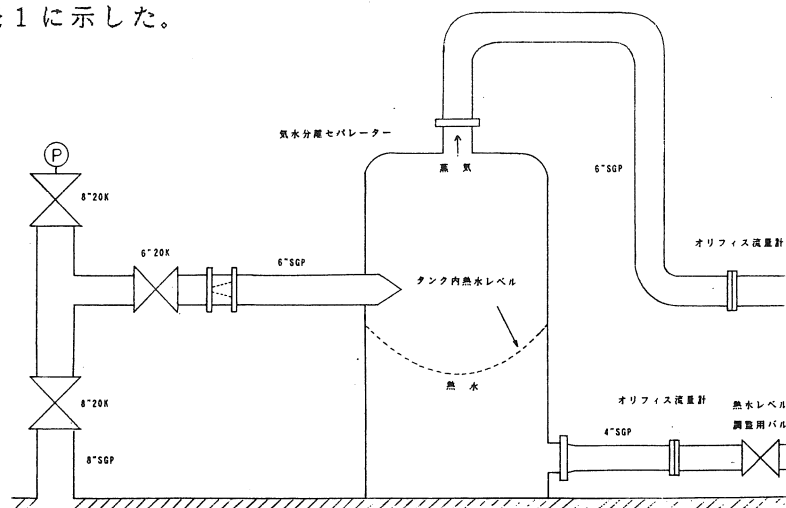
第2図 ケーシングプログラム及び地質柱状図

- (1) 付近の既存井の坑井地質から上部に極硬質の巨礫を混じえた河床堆積物が覆っていると推定されたので、深度2.0 mまではφ600 mmヒューム管を埋設し生コンクリートを管側に充填した。それ以深は14" SGP管にコンボジットを盛りコアチューブとして深度10.1 mまで掘さくし、そのまま14" SGP管をケーシングして管側にセメントミルクを充填した。
- (2) 14" SGPを挿入後、まず12 1/4" トリコンビットにて掘さくした。
深度22.8～23.5 m間は流れのある逸泥層（温度は70℃程度）

噴出試験

掘り止め後、暴噴状態のなかで掘管及びドリルカラーを揚管した。その後噴出状況を観測し相当量の噴出を確認した。締め切り圧力14 kg/cm²の条件から坑口バルブを全開して噴出させたところ、バルブ解放直後で坑口圧力9 kg/cm² 2時間経過後でも7 kg/cm²までしか降下しないという多量の蒸気・熱水の噴出をみた。

噴出流量の測定は、ボーリング資材を搬出のうえ気水分離セパレーターを設置し、熱水及び蒸気ラインを配管してオリフィス流量計にて測定した。なお噴出量の制限はノズルを接続して調整した。装置の略図を図-3に及び測定結果を表1に示した。



第3図 噴出量測定装置図

表 1

噴出量測定結果例

坑口圧力	14.41 kg/cm ² ab		14.02 kg/cm ² ab	
ノズル径	φ25.4 mm		φ38.1 mm	
	熱水	蒸気	熱水	蒸気
ライン圧力	1.276 kg/cm ²	1.115 kg/cm ²	1.466 kg/cm ²	1.361 kg/cm ²
飽和温度	106.0℃	102.2℃	111.0℃	108.0℃
噴出量	17.5t/hr	3.7t/hr	31.9t/hr	6.5t/hr
換算値	坑口圧力の元で			
飽和温度	196.4℃		194.0℃	
噴出量	21.2t/hr	0.05t/hr	38.1t/hr	0.2t/hr

熱水造成試験

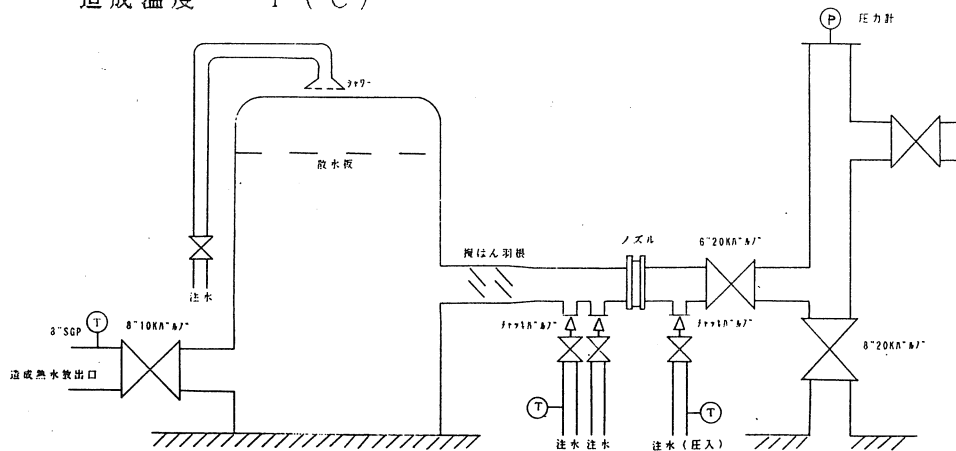
3号井から噴出する熱水及び蒸気に河川水を混合させ実際に熱水を造成してみた。装置の概略を図-4に示す。造成試験における計測値は

注水量 G_w (kg/min ≒ ℓ/min)

注水温度 T_w (℃)

造成量 G (kg/min)

造成温度 T (℃)



第4図 熱水造成装置図

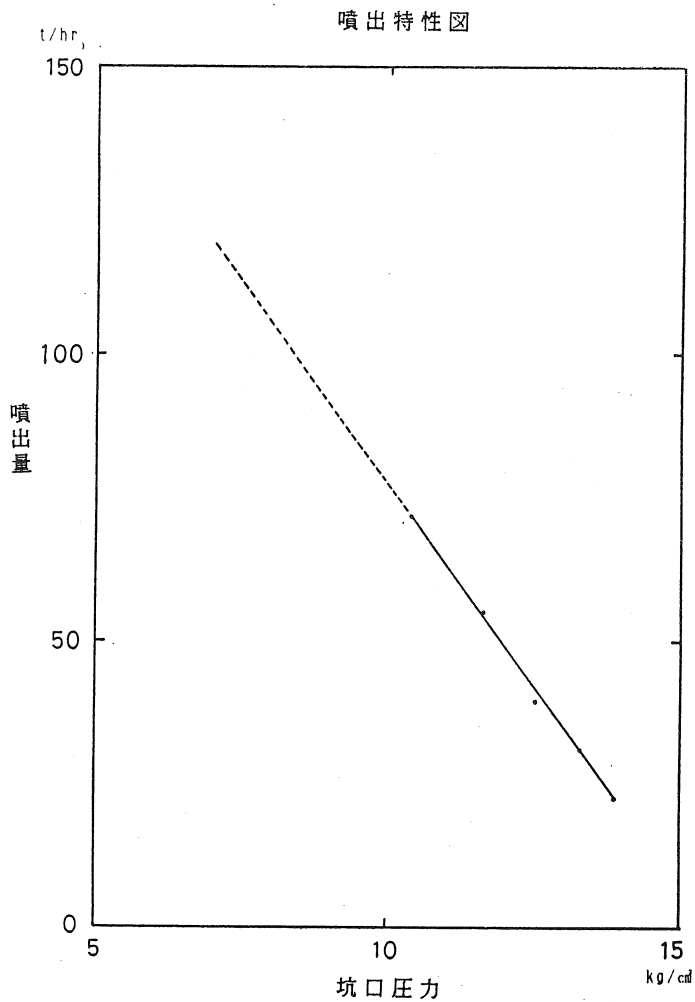
であり、坑井からの噴出量 G_o 、熱出力を Q_o とするとこれらの関係は次式となり、計測値より G_o 、 Q_o が求められる。

$$G_o = G - G_w$$

$$Q_o = G \cdot T - G_w \cdot T_w$$

また噴出流体の比エンタルピーは $\frac{Q_o}{G_o}$ にて求めた。

測定結果を表 2 と図 - 5 に示した。



第 5 図 噴出特性図

坑口圧力 P (kg/cm ² G)	噴出量 G _o		比エンタルピー I _o (Kcal/kg)	熱水造成量 G (kg/min)
	(kg/min)	(t/hr)		
13.90	377.0	22.6	166.3	760
13.30	535.0	32.1	191.9	1250
12.55	658.0	39.5	203.3	1631
11.65	920.0	55.2	204.3	2292
10.40	1192.0	71.5	219.9	3189

* 熱水造成量は造成温度85℃、注水温度5℃の条件に換算した。

図5で示される噴出量特性では、坑口圧力に対して噴出量はほぼ直線的に増加しているが、掘さく直後の噴出観測では坑口圧力が7 kg/cm²まで低下したので限界量はこの付近になるものと推定される。

また熱量についてみると、熱水造成試験で得られた坑井からの熱出力は $15700 \times 10^3 \text{ kcal/hr}$ であり、一方現在利用されている1号井の正常な状態での熱出力は $5530 \times 10^3 \text{ kcal/hr}$ となっており、約2.8倍の熱量が得られた。また、この熱量は灯油1ℓ当たりの熱量を9000 kcalとして、単純に換算すると時間当たり1750ℓの灯油の熱量に相当する。1日当たりでは42000ℓとなり200ℓドラム缶では210本分に相当する。

4.最近遭遇した湧水および逸水現象について

トキワ地研株式会社

大石 正

川瀬 勝博

新屋 勝男

・はじめに

最近、当社が胆振支庁管内で施工した、2本の温泉ボーリング探査で、大規模な湧水と逸水現象に遭遇しましたのでその概要と対策について紹介します。

1. 大規模の湧水

1-1. ボーリングの位置・地質および仕様

ボーリング地点は、図-1の位置図にしめすように、伊達市の北東山麓部の緩傾斜地である。

この地区の地質は、図-2の伊達地区地質柱状図にも示すように、新第三紀鮮新世～中新世の鹿ノ沢層・室蘭層の火山碎屑岩類が主体で、これを覆って第四紀の新时期火山熔岩類、さらに扇状地堆積物が分布している。

このボーリングは、図-2にしめしたケーシングプログラムで、深度1,200mの地熱開発ボーリングである。



1-2. 湧水状況

i) 本ボーリングでの湧水は、①深度125.00m、②深度135.50m～150.00mおよび③深度231.50mでみられた。

①は12 1/4" 孔径で砂礫層を掘削中、湧水量200ℓ/分、孔口圧力2.3 kg/cm²であった。

ここで、バライトを混入した濃泥水(SG1.2+)を用いたが効果がなかったため、6m³のモルタルスライズで抑止した。

②は前者同様12 1/4" 孔径で砂礫層掘削中1.0～1.5 m³/分の湧水量、孔口圧力3.0 kg/cm²であった。前後4回、総セメントミルク量16.7 m³のスライズセメンチングを行いながら深度165.00mまで掘削し、湧水量がやや減少したため、計画の10" SGPの装管および管外のフルホールセメンチングを行い遮水した。

ii) ③深度231.50mの湧水状況は、10" SGPセット後、9 5/8" 孔径で安山岩質熔岩の火山角礫岩層を掘削中に突然湧出したもので、湧水量20 m³+/分、孔口圧力5 kg/cm²であった。

湧水は5～10cm大から人頭大の熔岩塊片を伴って噴出し、現地の道路側溝に流れて町道の欠損が生じたため、急ぎょ孔口をバルブで密閉した。

1-3. 湧水抑止対策

この対策として、スクイズセメンチングを数回行ったが止まらず延12回におよんだ。

その湧水状況と注入内容および注入結果をとりまとめて別表に示す。

スクイズセメンチングの大半は、10" 孔口管からの直接圧入である。

No. 9、No. 10およびNo. 12は“ロッド圧入”を行った。

No. 10の圧入時に排水ホース(8" サニーホース、1000m)の敷設を終了し、湧水の排水処理が可能となったこと、また、これまでの圧入によって湧水量の減少がみられたことにより、湧水状態のままでの掘削の方針をとった。

セメント浚渫および掘削中の湧水量は、深度231.50m(孔底)で3.4 m³/分となる。ロッド揚管のところ湧水量は15 m³/分に増量した。このため再度No. 11で4.4 m³、さらにNo. 12で9.97 m³の圧入を行った。

これ以降の掘削では、2~3 m³/分の湧水量で作業が進められ、深度445.70mまで掘進できた。

次に当初計画の通り、深度445.70mまでの8" STPGの装管および管外のセメンチング(計量の1.45倍のミルク量)を行ったが8" と10" の間隙から110 l/分の湧水が見られたため、この間隙からスクイズセメンチング(6.83 m³、6.0 kg/kg)を行い、遮水を完成した。(使用セメントミルク総量約61 m³、セメント量77.5 t)

1-4. 8" STPG装管後の状況

本ボーリングは上述の湧水層の下部、深度260.0m以深は、火砕岩の室蘭層および鹿ノ沢層の掘削であったが、湧水も逸水もなく、所定深度の1,200mまでの掘削が完了した。

なお、ストレーナーは深度600m以深の数ヶ所に設置し、泉温57℃、最大揚湯量600 m³/日(416 l/分)の成果が得られた。泉質はナトリウム-塩化物泉である。

2. 全量逸泥

ここに紹介するのは、予定深度のほぼ中間部で全量逸泥層にあたり、仕上げ層としては、深度660mで浅いうえ、孔底温度も40℃程度と低い。しかし、本層以深に良好な貯留層がない場合には、仕上げ層として生かさねばならない状況にあった。

このため、セメンチングや逸泥防止効果が高いといわれる特殊高分子材料等の使用を避け、一般的に使われている各種逸泥防止剤やソリッドスクイズによって不完全ながらも、この逸泥層を掘削した例である。

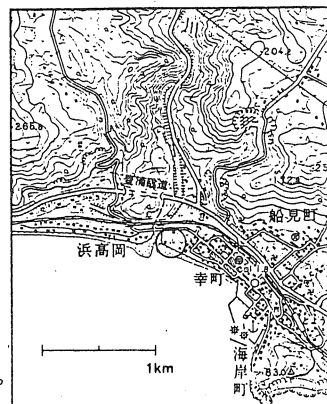
図-3 豊浦地区

2-1. ボーリングの位置・地質および仕様

ボーリングは図-3の位置図に示すように豊浦町の市街地西側、貫別川河口部の平坦面上である。

この地区の地質は、新第三紀中新世の豊浦層(火砕岩)が分布し、さらに第四紀堆積物が覆っていると考えられていた。しかし、本ボーリングでは、深度771.00mで石英斑岩の貫入岩体に入った。

ボーリング仕様は、図-4豊浦地区地質柱状図にしめすようなケーシングプログラムで深度1,200mまでの掘削である。



2-2. (湧) 逸泥状況

本ボーリングでは、2か所で少量(1~2.5ℓ/分)の湧水と11か所での逸泥があった。ここに紹介するものは、深度656.30m、豊浦層の凝灰角礫岩を7 5/8"孔径で掘削中に突然発生した全量(800ℓ/分+)逸泥である。

2-3. 逸泥対策

この逸泥層に対しては、上述のような理由でセメンチングや特殊高分子材料等の使用を避け、一般的なLCM泥水とソリッド(高脱水スラリー)スクイズを採用した。

i) LCM混入泥水注入

LCMとしては、「テルストップ(G)および(P)」、「テルプラグ」、「テルシール」、「マッドシール」、「シークレー」等を、濃泥水に約10~15%混入し、これを孔口から流し込み、後押し泥水で逸泥層まで圧入した。LCM泥水12m³~13m³を4回に分けて注入した。(合計量50m³)

この結果、泥水頭がGL-60.00mであったものが-39.60mにまで上昇した。

ii) ソリッドスクイズ

次にソリッドスクイズとして、「珪藻土」および「アスベスト」、さらに「火山灰」や「碎石小片」をLCM混入泥水に加えて投入し、後押し泥水によるスクイズを行った。

圧入は、合計4回、1回当たりソリッド混入泥水量4m³、合計16m³を投入し、排泥水により後押しスクイズを行った。

その効果としては、圧入直後の泥水頭は、GL-5.0m~-6.0mまで上昇したが、孔内残留ソリッドを浚渫すると、泥水頭はGL-27.00mに降下した。

したがって、これ以上の回復は困難と考へて逸泥のまま“盲掘り(ブラインドロリング)”で掘削し、ケーシング装管で逸泥層を突破することとした。

iii) “盲掘り”とLCM泥水投入

“盲掘り”は、作泥しながらの掘削が困難なため泥溜内の泥水の送泥が主体となったが、ツールの抑留防止のためLCM濃泥水を随時送泥し、慎重な掘削を続けた。

逸泥層下部約40m、深度697.50mまで掘進のところ孔内にカッタリングスの残留が多くなったため掘削を中止した。

“盲掘り”期間(5日間)のLCM濃泥水は15m³~20m³を5回に分け、計80m³を投入した。最終時の泥水頭は、GL-8.70mであった。

iv) 装管による逸泥層の遮蔽処置

次にケーシングプログラムを変更して6"SGPの装管を行い、6"管頭部と8"管尻部分のパッカー取り付けおよび6"管尻のセメンチングにより逸泥層の遮蔽を完了した。その後は、小規模な逸泥層に遭遇したが、5 7/8"孔径で所定深度である1,200mまで掘削し、4"SGPの装管を完了した。

揚湯試験では、泉温53℃、576m³/日(400ℓ/分)、の成果が得られた。泉質はカルシウム-硫酸塩泉である。

以上述べたように、湧水および逸泥対策としては、多量のセメンチングを行ったり、I CMや泥剤を投入した結果、止められず最終的にはケーシングパイプの装管で“逃げ切った”感がある。

両現場とも不幸中の幸いは孔内状態が比較的安定していたため、“湧水掘り”や“盲掘り”に耐えられた点にあった。

最後に、ここに出席の諸先輩からご批判やご指導が得られれば幸いに思います。

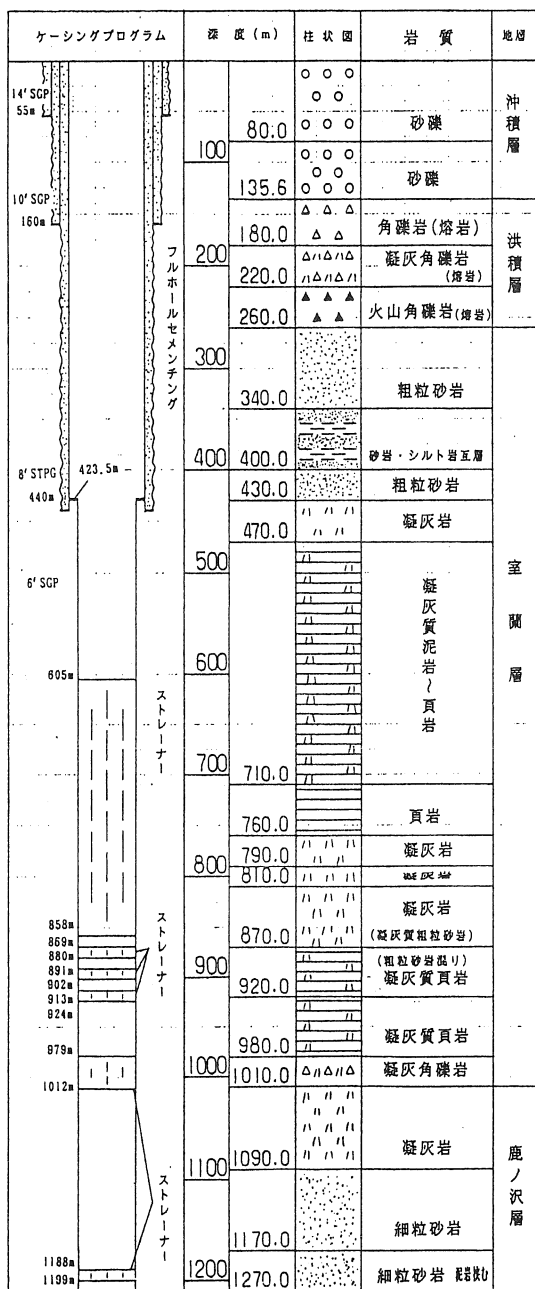


図-2 伊達地区地質柱状図

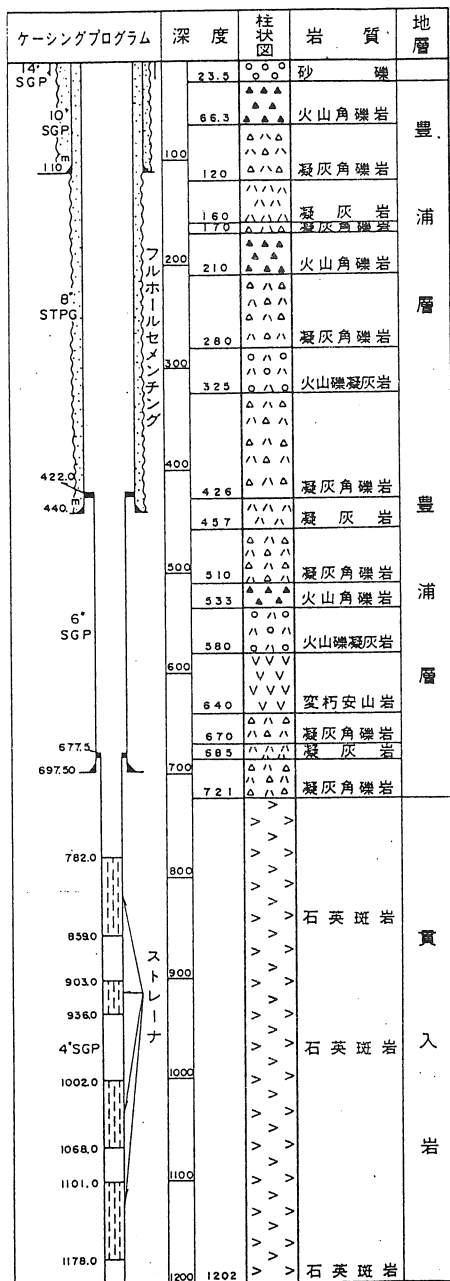


図-4 豊浦地区地質柱状図

湧水対策 スタイブセメンチンゲンダ—覽表

No.		1	2	3	4	5	6	7
注 入 前 状 況	湧水量 (m ³ /分)	20	20	0.15	7	0.3	2.5	0.6
	湧水圧力 (kg/cm ²)	5	5					
注 入 状 況	注 入 方 法	直接圧入	直接圧入	直接圧入	直接圧入	直接圧入	直接圧入	直接圧入
	セメントミルキ量 (m ³)	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25	2.2
	後押泥水量 (m ³)	1.10	1.10	1.20	1.10	1.10	10.7	8.25
	注入圧力 (kg/cm ²)	20	26	18	28	25	50	25
注 入 後 状 況	湧水量	20	0.15	0	0.30	0	0	
	セメント浸透後 (m)			5~7	200m-0.2 214m-2.5	200m-0.8 216m-1.6		
そ の 他 状 況	セメント浸透深度 (m)	浸透ナシ	浸透ナシ	185~213	浸透ナシ	160-214.3	145-216.3	
	そ の 他	ほとんど 効果なし						硬化後引き続 きNo. 8へ
No.		8	9	10	11	12		
注 入 前 状 況	湧水量 (m ³ /分)		7	0.38	15	3		
	湧水圧力 (kg/cm ²)		4.8		5			
注 入 状 況	注 入 方 法	直接圧入	ロッド入(216.0m)	ロッド入(175m)	直接圧入	ロッド入(100m)		
	セメントミルキ量 (m ³)	2.2	2.2	1.71	4.4	9.97		
	後押泥水量 (m ³)	8.85	0.9	0.93	11.0	1.7		
	注入圧力 (kg/cm ²)	48	10~70	18	35	34		
注 入 後 状 況	湧水量	0	0.003	0.03	0	0		
	セメント浸透後 (m)	200m-0.1 227m-7.0	202m-0.38	209m \pm 3.4	239.7m-3.0	239.7m-2.5		
そ の 他 状 況	セメント浸透深度 (m)	160~227	164~202.3	177~231.5	195.4~239.7	181~		
	そ の 他	セメント浸透は フラットホール削孔	フラットホール内での 注入	湧水掘りで 233m-15 μ	掘削中の湧水 2.5 m ³	445.7mまで掘 進湧水量4.5 μ		

(註)

孔 径 : 9 5/8"

孔内容量 : 4 8 0/m

湧水深度 : 3 2 1 . 5 0 m

セメント比 : 1 . 8

No. 10 の注入後、

湧水のままの掘進となる。

5. 美幌町温泉井の掘削について

北海道立地下資源調査所

川森 博史

はじめに

本年度、北海道立地下資源調査所条例に基づく試すい探査事業で実施した、美幌町地熱試すい調査の結果について報告する。

美幌町が位置する網走管内北網地区は、近年、民間や市町村による深度1000mを越える深部ボーリングによって多数の温泉が開発されている。

特に、美幌町に隣接する女満別町・津別町・東藻琴村・弟子屈町では、それぞれ各町村独自の温泉開発を実施し、各種施設で暖房・浴用等多目的に利用されている。

美幌町管内には、女満別町に接する瑞治地区で1981年と1982年に深度410mと深度1003mの掘削によって開発された温泉が、唯一浴用および温水プールに利用されている。(大野種苗 1号・2号井)

美幌町では、こうした現況とともに基幹産業である農業への熱利用も射程にいった振興計画の推進を図るため、温泉開発事業を計画した。事業の具体化に先立ち、平成元年度、開発可能性の調査を当所に依頼した。

この受託調査報告書【美幌町における温泉資源調査報告書(1989)】では、地下地質構造・地下温度状況・地層の透水性および温泉の化学成分など既存資料を広域的に再検討し、これに基づいて現地調査(電気探査)を実施し、管内の温泉賦存概念図として開発可能性の高い地域・やや低い地域および困難な地域等に区分して報告された。

本調査は、平成4年度、この報告書を検証し美幌町の振興計画に資する目的で、条例に基づく試すい探査事業として実施したものである。

I. 調査概要

受託調査報告書を受けて、掘削調査位置を検討し、第1図にしめした都橋小学校跡地に調査位置を選定した。

調査地点は、美幌町市街地から約4km東方の美幌峠にいたる国道243号線沿いに位置する。周囲は、美幌川流域に開けた畑地が広がり畑作農家が点在する。

掘削調査地点を含む電気探査より推定された地下構造の一断面を第2図にしめした。BHR1では、浅部(深度12mまで)の130~500Ω・mの

高比抵抗層は河川堆積物に対比される。その下位の $5\sim 25\ \Omega\cdot m$ の低～中比抵抗層は津別層と推定される。BHR 2では、津別層が深度18m以深と推定されBHR 1からほぼ水平に潜在すると判断される。BHR 3においては、深度65m以浅の高比抵抗層（一部に $55\ \Omega\cdot m$ の中比抵抗層を挟む）は第四紀火山噴出物に対比される。その下位層は、層厚535mで $75\ \Omega\cdot m$ の中比抵抗値をしめし網走層相当層である上里層群に対比されるが、上部層・下部層を明確に分離することはできなかつた。深度600m以深の最深部は $3\ \Omega\cdot m$ の低比抵抗値であり津別層と推定される。つまり、BHR 2とBHR 3の間で津別層が急激に沈み込み、BHR 4以東の測点ではこれを追跡できないことから、測点BHR 3とBHR 4の間で断層等の構造運動が推定される。掘削調査地点は、測点BHR 5とほぼ一致するが、探査結果からみると深度240mまでが第四紀火山噴出物、以深およそ500mまでが上里層群上部層と推定された。いずれにしても、調査地点では解析可能な深度内で本地域におけるいわゆる基盤岩として考えられる津別層はとらえることができなかった。このことは、調査地点が重力異常図から想定される福住～豊富地区を中心として直径約15km程度の沈降盆の北西端に位置することとも調和的である。また、この沈降盆を形成していると考えられる重力基盤を新第三紀中新世の津別層（不透水性基盤）および同程度の密度をもつ地層と考えた場合、第一次近似的には重力基盤の最も沈降していると考えられる地区でその上面深度はおよそ1500m程度と見積もられた。

II. 掘削調査

掘削調査地点は、基盤岩上面深度が1500m程度と見積もられる沈降盆の北西端に位置する。調査目標を基盤岩の捕捉とした場合、掘削深度はこの位置的条件からみると1500mで到達可能と考えられるが、この深度が重力値から第一次近似的に見積もられたものであり、不確実な要素を考慮すれば調査深度は条例で定められた上限深度の1500mは必要であると考えられた。また、予想される地質・岩相からも掘削上大きな困難や問題は少ないと判断された。しかし、ここで対応可能な職員数の不足など調査体制上の問題から掘削調査深度を1300mとした。この深度では、基盤岩の捕捉は困難であるとしても位置的な条件から開発対象となる網走層相当層の下部を十分捕らえられると判断した。

掘削調査深度を1300mとしたケーシングプログラムおよび計画工程

を実績とともに第3図にしめした。

図にしめしたように、ケーシングは55m・10吋SGP ; 220m・8吋SGP ; 660m・6吋SGP ; 以深を外径130mmSGPアンカ-仕上げとし、アンカーのスリットストレーナーパイプは250mとした。また、計画段階では660mのケーシング時にその近傍で40℃を越える温泉資源の可能性があれば一時的に汲みあげテストを実施することとし、これを含めた全工程を155日とした。

工程実績でしめしたように、掘削中のトラブルは深度300m付近および深度660m時点での2回の湧水と深度950m付近での差圧抑留があげられる。これらの対策を含めて、実調査期間は140日間を要した。

掘削調査全般の結果をまとめて、第4図総合柱状図にしめした。

坑井地質は、深度261mまでが第四紀火山噴出物（屈斜路軽石流堆積物；阿寒火砕流堆積物？）、深度794.5mまでが新第三紀鮮新世～後期中新世（東藻琴層～里美層）、深度1203mまでが中期中新世（美都層上部相当層）、以深が中期中新世（美都層下部相当層）と判断される。掘進率は、坑井地質をよく反映し深度約800mまではビット荷重をかなり抑制しても平均5m/hr程度の高掘進率であったが、深度800m以深では一部を除き1～2m/hrの低掘進率であった。温度検層の結果、最高温度は坑底で81℃をしめし、各ケーシング深度での回復温度を結ぶと深度とともにほぼ直線状に上昇し、およそ5.7℃/100mの上昇率がえられた。

Ⅲ. 仕上げと揚湯結果

仕上げは、明瞭な逸泥等がなかったことから掘削状況や電気・温度検層の結果から、坑内温度52℃以上をしめす深度916m以深の384m間に250m分のスリットストレーナーパイプを配置した。

仕上げの130mmSGPアンカ-を挿入後、工程上一時中断の時期にあたったため、温泉湧出の成否の確認を急ぎ坑内水洗い後引き続きエア-リフトを実施した。数時間のエア-リフトテストにより、湧出量175L/min; 泉温44.2℃を確認して作業を一時中断した。

再開作業は、ジェットノズルによる水洗いと引き続きウエルクリーナーによる坑内洗浄を十分におこなうことからはじめた。これらの作業後、再び先と同じ条件でエア-リフトテストを実施したところ、湧出量77L/min; 泉温39.0℃と前回に比べ湧出量、泉温とも極端に低下した。このため、坑内状況確認の意味も含めて温度検層を実施し、湧出量の極端な低下現象が

坑内埋没等のトラブルではないことを確認した。ここで、深度916m以深仕上げ対象とした部分からの湧出能力は非常に小さいとの判断から、自噴状態や汲みあげながら等数回の温度検層を実施した後、上部のスプリッターによる開孔作業に移った。

スプリッターによる開孔作業は、2回に分けて実施し第4図にしめしたように深度775m以深を仕上げる結果となった。

最終仕上げ後、水中モーターポンプによる揚湯試験結果を第5図にしめした。図にしめしたように、4点の段階試験を実施したが最大値として揚湯量192L/min; 泉温47.7℃(動水位GL-177m)を確認した。この結果、比湧出量は0.7~0.8L/min/mが得られるが、この値は女満別や小清水など網走層相当層を仕上げた坑井に比べると約1/20と非常に小さい。これは、同じ網走層相当層である美都層下部の岩相・岩質等地層の堆積環境の違いからくる水理地質的相違によるものと判断される。

IV. 湧水について

掘削工程の中で触れたように、本坑井掘削中に2回の大湧水に遭遇した。以下に、この湧水状況と対応作業経過について概要を報告する。

第1回目 深度300m付近 湧水温度23.2℃

D P 追管 298.81mより掘削

|
300m付近より溢泥 8.3L/min 泥水比重1.065 粘性23sec(500/500cc)

|
濃泥水にして掘削 掘進率6.4m/H (パライトの備蓄なし)

|
追管D P分掘削終了 深度304.89m — 湧出(約1500L/min)

|
D P 揚管 — 坑口改修;密閉
(密閉圧1.2kgf/cm²)

対策 ; 清水圧入後セメントミルク圧入3回 (1.0m³;1.5m³;3.0m³)

4日目湧水がないのを確認後DC1スタンド(24m)で管尻より浚渫開始—泥水比重1.12に調整 掘削再開まで7日間要す

第2回目 深度657m時点 湧水温度33.4℃

予定深度657m掘削完了{泥水：比重1.18;粘性46sec(500/500cc)}=揚管
=温度検層 深度450mでソング降下せず=坑内浚渫のため降管=多少の抵抗
あるもビット位置570mで1回目の洗い=降管622.69mで2回目の洗い 一部
調泥(比重1.12)=調泥々水がアニユラ部を上昇するとともに一気に噴出
(数千L/minと思われる)=揚管 崩壊物のため抑留 送水しながら揚管
6m×4st(96m)=全管揚管(この間櫓基礎や発電機土台流出の危険あり)=
バルブセット 湧出量3000L/min以上 密閉圧 7kgf/cm²

抑留の状況から湧出箇所は、深度500m付近と推定された。

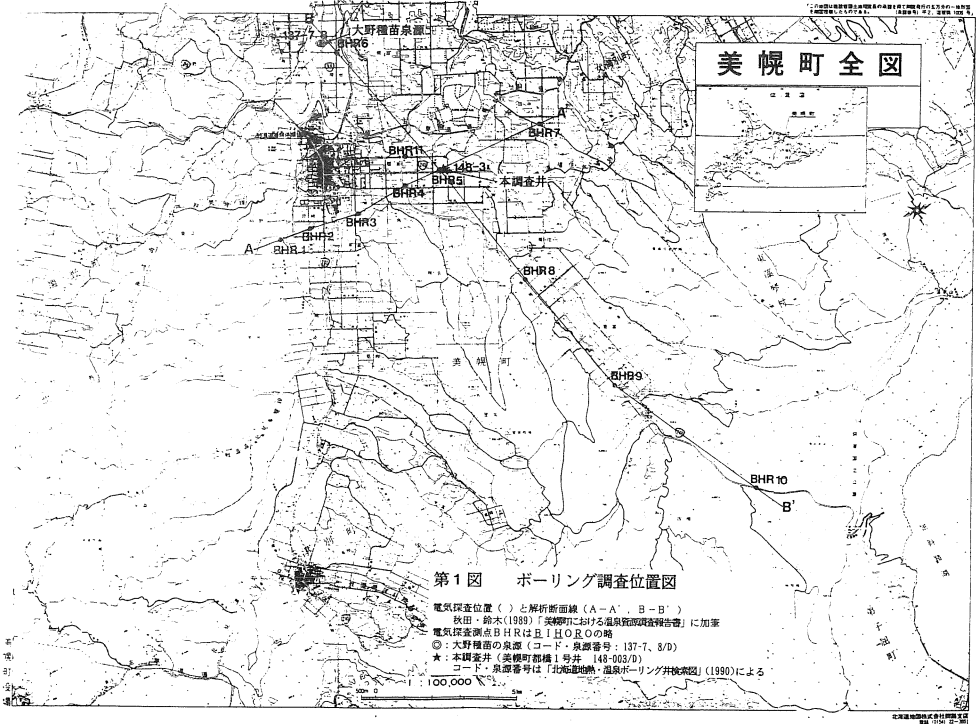
(温度検層により430m～470m間と判明)

対策：清水圧入後セメントミルク圧入 2回(5m³;2m³)=4日目密閉圧1.7
kgf/cm² 開放湧水20L/min=重泥水圧入 比1.25 坑口改修=DC3スタ
ンド(72m)で浚渫開始=部分的にセメントあるも深度290m付近よ
りセメントなく別坑再掘削(前回で穴曲がり)=深度657mまでの掘
削に21日間を費やす

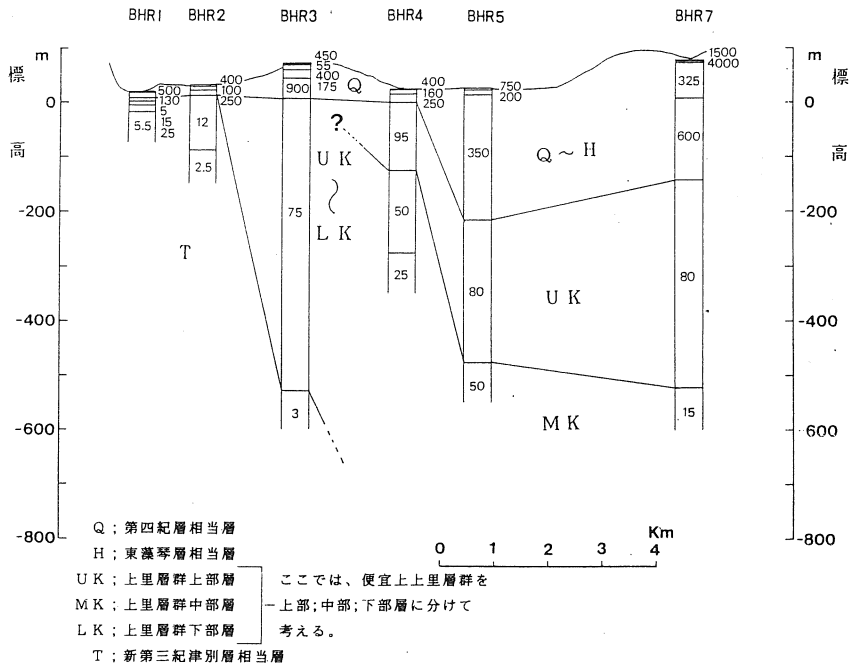
おわりに

美幌町温泉井の掘削調査について、その概略を報告した。2・3のトラ
ブルはあったものの計画工期内に調査を終了し、当初期待したところまで
は達しなかったが47℃・150L/minの温泉開発に成功した(泉質
はNa-Cl・HCO₃)。また、低温度とはいえ、多量の湧出能力を有
する資源の存在が浅層部で確認できた(泉質はNa-HCO₃)。

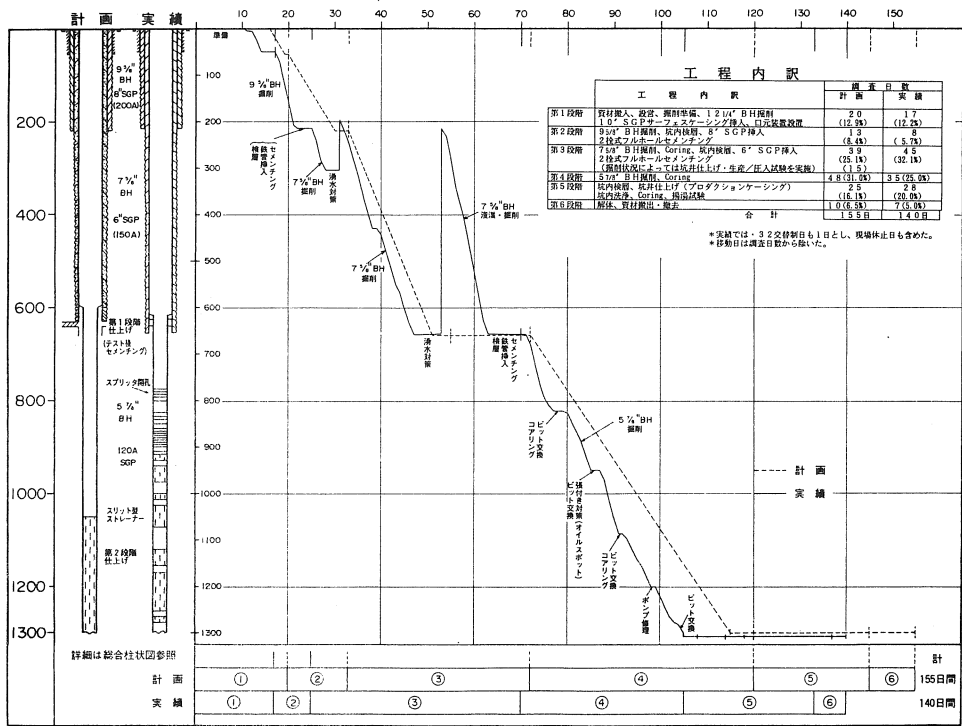
今後は、当初予想よりも深いことが判明した美都層最下部～基盤岩まで
の資源評価が大きな課題として残された。



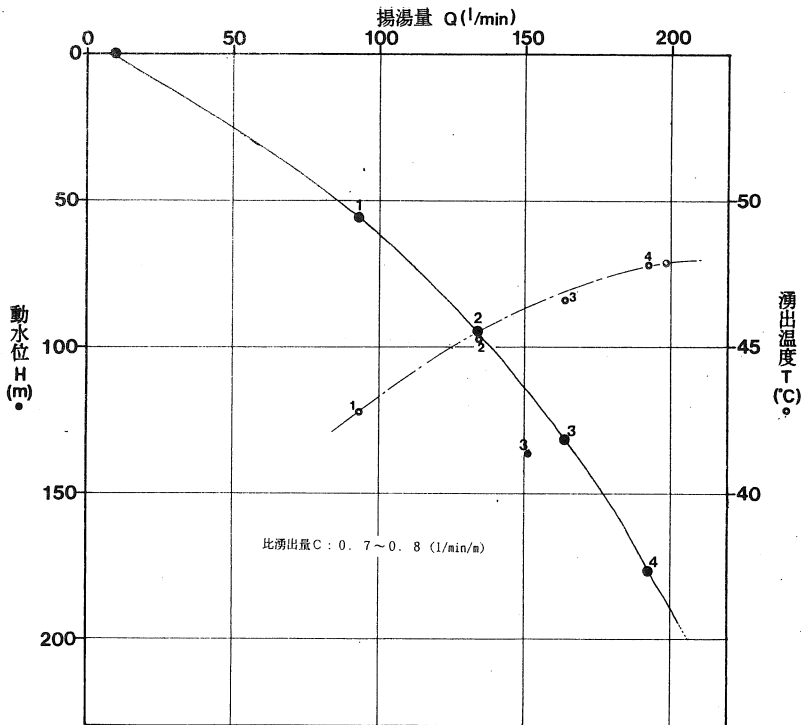
第2図 比抵抗断面図(A-A')



第3図 調査工程表とケーシングプログラム



第5図 揚湯特性曲線



* 詳細は第 1 表の段階揚湯試験経過・結果を参照のこと
* 図中の付番は、第 1 表に対応する (例 ①→1)

第31回 試錐研究会講演資料集

平成5年3月16日印刷

平成5年3月18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
