

最近におけるボーリング技術の研究課題

石炭の地下ガス化に対するボーリング技術

1. 日本における地下ガス化の歩み

昭和の初期 ソ連における地下ガス化の報告が諸外国とくにドイツを通じて知らされるにつれて次第に識者の関心を惹き 就中故佐野秀之助博士が各種の専門雑誌・新聞などに執筆された解説はきわめて明快なものであったため 専門家のみならず一般の興味を呼び起こした。その後 昭和13年にソ連の G.O. ヌシノナ著のテキストが輸入され ようやくその全貌をつかみ 特に満州において試験が計画されたといわれている。終戦後 多くの地下資源を失なった日本にとって 亜炭に注意が集まり 亜炭の開発に主眼をおいた地下ガス化に関する委員会が設けられたが 成果を得ないまま立消えとなった。

公害資源研究所では旧熱研時代より この方面に注目し 昭和28年に透過法による試験を計画したが 当局の諒解を得ることができなかった。

昭和31年6月 東京でECAFEの第2回鉱物資源開発小委員会が開かれ その議題の1つとして 地下ガス化が採り上げられることになった。このことは 前年 ECAFE 地域の地質および鉱山専門家を 国連技術援助局がソ連および西欧に派遣したことに始まり 日本からも当時西尾東大教授 兼子地質調査所長および杉野北炭技術部長がこれに参加された。同視察団が提出した報告中に ECAFE 地域でも地下ガス化の試験を行なうべきであり それを行なうには日本のようなところが適当であろうと勧告したことに始まる。これに応ずるため 石炭局の要請を受けて 東京炭鉱技術会内に「地下ガス化専門委員会」が設けられ 数回の会合を重ねた結果 一応の成案を得て答申した。久留島秀三郎氏を主席とする日本代表団が ECAFE 小委員会で積極的に発言し ECAFE および ECE の協同専門部会を可及的すみやかに招集すべきであるという主旨の結論にまで持ち込んだが その後開かれた ECAFE 産業貿易委員会でも承認されなかった。

その後 石炭業界の不況が深刻化するに伴い 再びこの問題がクローズアップされ 昭和34年5月 エネルギー技術対策本部内に「石炭の地下ガス化に関する専門委員会」が設置され この問題を鋭意調査研究することに

試 験 課 河内英幸 伊藤吉助 丹治耕吉 加藤 完 になった。

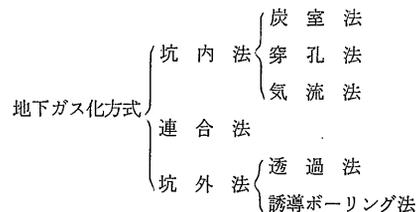
本稿はこの委員会で討議された資料の中から 特にボーリング技術の面を抜萃し 強調したものである。

2. 地下ガス化とは

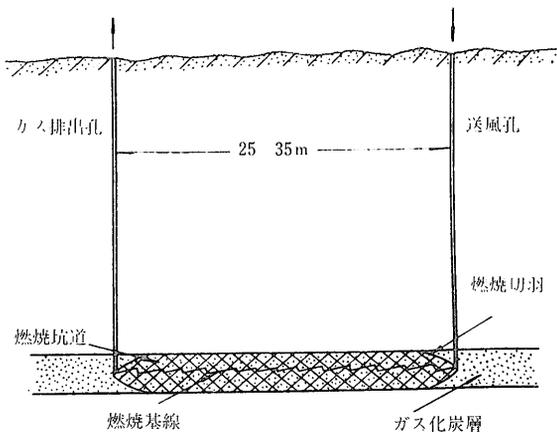
エネルギー界における石炭の役割は まず固体燃料として掘り出され 次に燃焼して蒸気動力をつくるか あるいは気体燃料に転化して利用されることから成り立っている。これには坑内採掘 運搬およびガス発生炉またはボイラの複雑で労力を要する各作業系統が必要であり これらに従事する作業員や経費もかなり大きなものとなってくる。これに対して石炭を その開発の端緒から気体燃料として採取しようとするのが地下ガス化で これがうまくいけば 運搬や発生炉系統の作業が不要になるし 不愉快 不健康で危険の多い地下労働から解放されることになる。

3. 地下ガス化方式

地下ガス化には燃焼切羽としての坑道が必要である。しかもそれは送風孔とガス排出孔との孔底を 炭層に沿って連絡するものでなければならない。このための坑道を坑内作業によって開さくするか または坑外からの操作によるかによって 坑内法と坑外法とに分かれる。また当然の結果として この中間的な存在 すなわち連合法がある。これを系統的に示すと次のとおりである。



一般に 坑内法は古くから利用され 検討されてきたものであるが 現在ではほとんど使用されていない。しかし ガス化予定炭層が深部にある場合 その他において補助的な坑道開さくを必要とすることがあるので 連合法の利用が最近かなり研究されるようになってきている。これはわが国における発展の1つの方式として留意すべきテーマであろう。



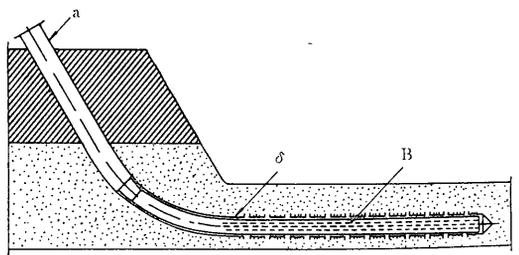
第1図 地下ガス化の骨格構造

透過法とは第1図に示すように あまり離れない間隔で垂直ボーリングを行ない これらの孔底を何らかの地上操作で連絡し 自然の炭層のなかに燃焼坑道を作る方法である。この基本となる燃焼坑道のことを 特に燃焼基線と呼んでいる。また 炭層の連絡をリンキング(linking)と呼んでいる。

誘導ボーリング法とは リンキングによって直接行なおうとするもので もっとも新しく かつ優れた方法である。この方法が考案され 技術的 経済的に十分の可能性があると認められて以来 地下ガス化の企業的将来がきわめて明るいものになった。ソ連における地下ガス化の躍進はこのような基盤の上に立っている。

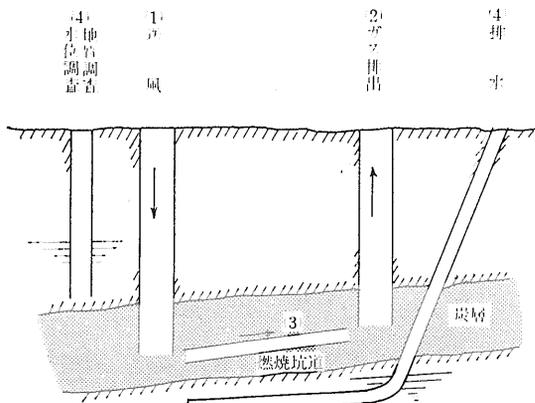
4. 地下ガス化のためのボーリングの種類(第2図)

- (i) 送風孔ボーリング
- (ii) 排出孔ボーリング
 - (i) (ii) ともに電極法リンキングの場合の電極挿入孔にも兼用される。
- (iii) 誘導ボーリング
- (iv) 地質調査・水位調査および排水孔の穿孔などの付帯工事のためのボーリング



a: ケーシングφ8" δ: ケーシングφ6" B: フィルターφ108mm

第3図 排水ボア・ホールの構造



第2図 石炭地下ガス化ボーリングの基本的構成

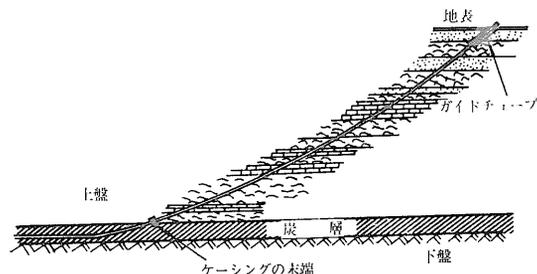
5. ボーリング技術

上記のように種々の目的に応じたボーリングが必要であるが この中でボーリング技術として重要なのは孔曲げ工法を必要とする排水孔ボーリング(第3図)と誘導ボーリング(第4図)である。その他のボーリングについては従来行なわれているボーリングと変わらないので ほとんど問題はないであろう。

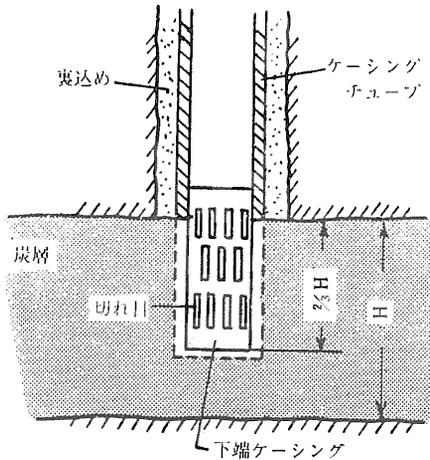
(i) 孔曲げ技術

石油掘さくでは従来から Knuckle joint, Spudding bit さらに楔として Whipstock などの器具が用いられていたし 金属鉱山でもHall-Rowのdeflecting wedgeが使用され これらを使つての孔曲げ(または孔の修正)技術はほぼ完成の域に達しているようである。しかし 地下ガス化の場合には ほぼ90°に しかも短い距離の間で曲げなければならないという問題がある。

最近ソ連から輸入されたターボドリル また米国から輸入されたダイナドリルは ともに流体の圧力によって先端部のみを回転させるもので(ロッド・掘管は回転しない) 孔曲げ掘さく法には最適のドリルである。さらにフランスの石油協会が開発したフレキシブルドリルシステムは直径2mのドラムに巻かれるような可撓性をもつもので これでもって深度1,000mの掘さくを実施



第4図 誘導ボーリング法



第5図 炭層付近のケーシング設置要領

したと報告されている。これらのダウン ホール ドリルとかフレキシブル ロッドを主体として その他の関連技術を総合的に検討し 技術開発をしてゆけば 誘導ボーリングも そうむずかしい問題にはならないであろう。この場合 孔曲げ方向を任意の方向に 自由に遠隔操作できる技術も必要であり 上記と関連して技術開発しなければならない問題である。

(ii) ケーシング技術 (第5図)

④ ケーシングパイプ

地下ガス化に対するケーシングは 一般の場合と異なる特性を考慮しなければならない。すなわち ケーシングは比較的大口径でしかも短期間に挿入し 抜管を繰り返さなければならないこと および 高温高圧の気体(送気 発生ガス)の通過に耐え かつこれらを漏洩させてはならないことである。それゆえ 物理的強度 ガスに対する耐腐蝕性などの材質関係 および肉厚 1本の長さ 口径 着脱が簡単で十分な気密・水密を維持できる接続部の構造などを十分に検討する必要がある。

⑤ ケーシング作業

比較的大口径のケーシングをボーリング孔内に迅速円滑に挿入するための補助的器具類や工法 水密気密が完全でしかも抜管の際の障害とならないような裏込め用材料と工法 抜管用補助器具類と工法などにつき検討する必要がある。さらに孔曲り部のケーシング工法も 材質や構造とともに 十分に検討しなければならない問題である。

6. わが国の地下ガス化に対する地質環境

わが国で地下ガス化の実験を想定した場合 ソ連 米国のような比較的恵まれた地質 炭層条件と比較して一層の困難を伴うようである。すなわち 現在考えられる困難性として次の点が指摘されよう。

- (i) 日本の炭田は開発が進んでおり 稼行しうる炭層の深度も深くなっている。このような深部に賦存する炭層に対しては 坑内法を併用する場合を除き 坑外法では ボーリングのみに頼る場合 リンキング能力あるいは採算性からみて困難なところが多いようである。
- (ii) 日本の炭層は外国に比し比較的に地質の変動が激しく 断層 褶曲が多く 地下ガス化に不利である。
- (iii) 地下水が多く 排水作業の経費がかさむ。しかしわが国の石炭は生成が比較的若く(第三紀) 揮発分が多く ガス化に適している利点もあり 立地条件あるいは自然条件の有利性を極力助長して新技術の開発につとめるならば 上記の障害もいずれの日か解消するものと考えられる。

7. ボーリング技術以外の研究課題

- (i) 点火およびリンキング
 - ④ 岩石の物性
 - ① リンキング条件
- (ii) ガス化反応過程
 - ④ 発生ガス量の時間的変化
 - ① 発生ガスの組成の時間的変化
- (iii) ガス化進行中の管理
 - ④ 岩石の加熱物性
 - ① ガス化条件
 - ③ 通風方法
- (iv) 自動計測と遠隔管理
 - ④ 自動計測
 - ① 遠隔管理
- (v) 機械と動力
 - ④ コンプレッサー
 - ① プロワ

- ③酸素発生装置とボイラー
- ④動力消費
- (vi) ガス化の応用問題
 - ③採掘不能炭のガス化
 - ④採掘跡残炭のガス化
- (vii) ガス化の関連問題
 - ③天盤の移動と地表沈下
 - ④保 安
- (viii) ガス化ガスの前処理
 - ③配 管
 - ④冷 却
 - ⑤脱 硫 脱 塵
 - ⑥濃 縮
 - ⑦副産物の回収
- (ix) 動力用
 - ③ボ イ ラ ー
 - ④ガスタービン
- (x) 熱 用
 - ③工 場 燃 料
 - ④家 庭 燃 料
- (xi) 化学原料
 - ③アンモニヤ合成用
 - ④メタノール合成用
 - ⑤アセチレン合成用

8. む す び

上記のように わが国の地質 炭層条件は比較的悪いようであるが、先の専門委員会のまとめた時点から15年以上も経過している現在 ボーリング技術のみを考えると ドリル本体 掘さく器具 孔曲げ技術 湧水防止対策など ボーリング技術はかなり進歩しているものと考えられる。また前記のようにボーリング以外でも たくさんの研究課題が掲げられているが それらに対してボーリング技術 特に誘導ボーリング 排水ボーリングが安価で しかも迅速・確実にこなされるようになれば 地下ガス化問題の大半は解決されたものと考えられる。日本の将来の燃料資源のことを考慮すれば 地下ガス化に対するボーリング技術開発は早急に研究体制に入るべきであろう。

終わりに たくさんの資料を拝借した早大・資源工学

科の萩原義一教授に謝意を表する次第である。

〔参 考 文 献〕

『石炭の地下ガス化』 社団法人日本動力協会 エネルギー技術
対策本部発行 昭和35年12月

地球内部開発研究に対するボーリング技術

1. U.M.P. 深層試錐計画 (Upper Mantle Project)

(i) U.M.P. 計画の歩み

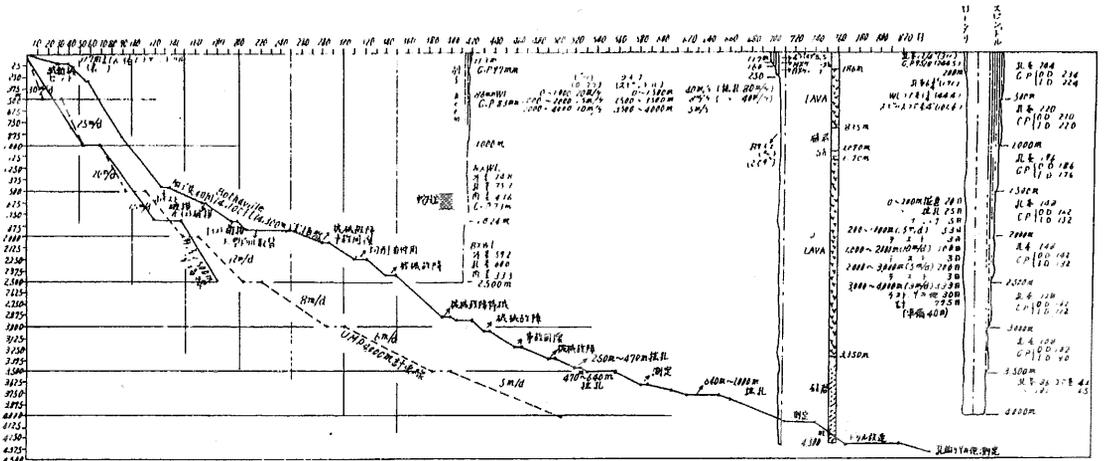
UMP 計画は1960年 ヘルシンキにおける IUGG (国際測地学地球物理学連合) の総会において ソ連のペローソフ教授により提唱された大規模な国際共同研究計画で 48ヵ国が参加している。わが国では 日本学術会議の勧告にもとづいて 昭和39年度からこの研究計画に参加し 測地学審議会の建議にもとづいて 昭和39年から41年までの3ヵ年間で UMP の第1期計画が実施された(その後 この計画は45年度まで延期された)。

(ii) U.M.P. 計画の研究目的

地球内部 特にマントル上部および地殻を対象として その構造・物性・化学的性質・運動を明らかにし また地震帯・火山帯・深海溝をとまなる日本列島々弧の性質・成因を探求する。さらに深層試錐により 地下深部の試料および測定データを直接的手段で取得しようとするものである。その結果得られた成果データは地震予知の研究資料となり また地下深部エネルギー資源・鉱物資源についての情報を与えることが期待される。

(iii) 深層試錐計画の意義

これまで日本列島は“底の知れない島々”であるといわれてきている。地向斜を形成する地層のなかでもっとも古い地層はシルル紀であるが その下の地層あるいは下位によこたわる基盤岩は地表で知ることができない。わずかに構造帯のなかに先シルル ないし先カンブリア紀と推定される変成岩・深成岩が断層に挟み込まれた形で知られているにすぎず これも地層との累積の関係で確かめられたわけではない。したがって その当否について論議がつきない状態にある。そこで 日本列島々弧によこたわる基盤岩に到着可能な地点を選んで 基盤岩を4~5km 深度の試錐によって直接試錐試料を採取し 秩父地向斜下底部およびその基盤岩の性質状態を研究しようというのが UMP 深層試錐の第一義的の目的である。この場合 基盤岩をできるならば1km 程度掘さくして 現在の技術で可能な深度まで日本の地下構造を明らかにしようとするものである。



第6図 U M P 4,000 m 試錐計画図

(iv) 深層試錐における研究項目

① 地質学的研究

層序 岩相 堆積層の古生物 堆積環境 深度ともなり岩型の変化 岩石学的研究

② 地球物理学的研究

地震 重力 電気 磁気 放射能 地熱 一般物性(コアの物理量)

③ 地球化学的研究

岩質と深度ともなり岩石の化学的变化 放射能年代 微量元素

2. 陸上における深層試錐に関する技術的検討

(i) 地質条件

深層試錐に対する先行調査が地震探査法によって行なわれ 昭和40年にはC帯(四国大步危) 41年にはB帯(東京都大島) 42年にはA帯(岩手県水沢)においてそれぞれ実施された。この中 A帯が第1候補として選ばれたが 水沢付近は北上古生層の基盤岩と推定される 6.1~6.25km/sec層が 2~3km のところに分布している。それゆえ シルル〜デボン系の変成相と推定される母体層群下位の基盤岩を探索するのが深層試錐のおもな目的である。

(ii) 試錐技術の検討項目

弾性波速度(P波)が6km/sec台という試錐掘進上からみて かなり硬い岩石とみななければならない。このような硬い岩石を掘進すると仮定した場合 どのような問題点があるか。

① 最終孔径 (Spはスピンドル型 Taはターンテーブル型とす)

この問題は孔内測定器の測器の外径 分析・各種測定に必要な最小のコア径 およびケーシングプログラムによって決められる。

Sp: 現存の器材を利用するとなると NX サイズ(孔径 74.8mm コア径 43.6mm)であるが オーバサイズビットで孔径を 80mm位まで広げることが可能である。しかし 6"とか8 1/2"の最終孔径となると不可能に近い。

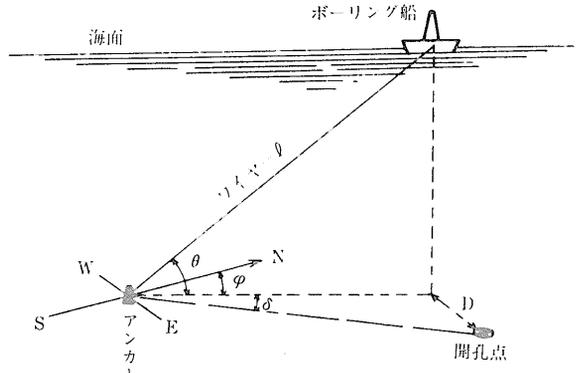
Ta: 現有器材を使用するとなると最終孔径は8 1/2"(216mm)となるが 掘管の許容範囲から 7 7/8"(193mm)まで小さくすることは可能である。この場合 スポットコアであれば コア径は3 1/2"(89mm)となるが オールコアリングが要求されればワイヤーライン工法を使用しなければならないので コア径は2"(51mm)となる。

一段細い掘管を使用すると 最終孔径を6 1/2"(165mm)にまで小さくすることはできるが ビット径を小さくするとビットライフも短くなり 掘管や事故回復用具の大半は新規に求めなければならない。

② 掘進技術(第6図)

② スピンドル型: 南アフリカでは 金鉱探査に深いボーリングがたくさん行なわれているが もっとも深いものは4,400mにも達している(第6図)。珪岩などの硬い岩石をせいぜい75mm 多くは53mmの小孔径で掘進している。日本でも四国の結晶片岩地帯で銅鉱を目的に2,500m 次いで 2,700mを掘った例があり 孔径 100mm 級から始めて最終孔径 56mm で支障なく掘進している。南アの実績からみて小孔径でも 機械・やぐら類を補強し 作業を多少無理すれば 4,000mぐらまでは掘進可能であろう。

コアの採取は小孔径用ワイヤライン工法が発達してきているので そうむずかしい問題ではないであろう。前記の四国の2,500 m試錐ではロッド昇降とワイヤライン操作に費やした時間は全作業時間の33%にしか過ぎなかった。問題なのはビットライフとコア詰りであろう。南アの珪岩ではビットライフが6~15m よくても30mということなので このために行なわれるロッド昇降はたいへんなものであり その時間的割合は 1,800 mで50% 3,000 mで80%にも及んでいる。最近わが国でもようやく技術開発の端緒についたリトラクタブルドリルシステムはロッドを昇降せずに 刃先のビットだけを取換える方法であって これは深層試錐にも適応されるようになれば 深層試錐の技術的問題は大半が解決されたといってもよいであろう。



第7図 クリノメータ法

これを参照されたい。

④ターナー型：油井用機械では 米国で7,724 m 西独で6,000 m わが国でも5,000 mを掘った実績がある。しかし火成岩などの硬岩に対しては掘進経験もあまり豊富ではない。火成岩などの例では米国で火山岩を4,200 m ソ連で堆積岩2,000 mの下の花崗岩を1,800m 日本では 岩手県の地熱発電用孔井が火山岩を1,400 m (ただし最深部約200 mは堆積岩)掘ったのが記録である。火成岩などの掘さくに対してはダイヤモンドビットやタングステンカーバイト式のビットを特注しなければならない。さらに回転数と給圧力の相関関係について多くの研究を重ねなければならないだろう。

④泥水と孔曲り
ボーリングには泥水問題はつきものである。しかし火成岩や硬質岩であれば孔壁崩壊の心配もあまりないので スライム排除と潤滑性(地温が高い場合には耐熱性)に重点を置いた泥水を研究すればよいであろう。硬岩のスライムは研磨性が強いので ビット面から早急に洗い去るように 循環水の流量を考慮しなければならない。ボーリングの孔曲りは常識と考えられている。しかし程度問題で それがひどくなると孔を途中で放棄しなければならないこともある。火成岩は均質である点では好都合であるが 現実には割目や断層や変質部があると硬さが急変し そこで急角度の孔曲りを起こし かえって始末におえないことになりかねない。

3. 深海におけるボーリング技術
UMP 計画またはモホール計画における海上ボーリングの問題点については 地質ニュース No.115 (昭和39年3月号)に次のような目次で記載されているので そ

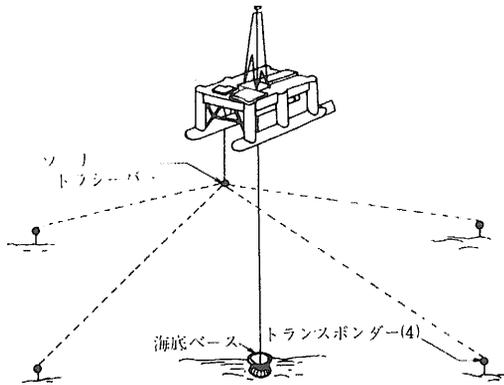
地質ニュース No.115 に記載された目次

1. 概 説
 2. ボーリング位置の選定
 - ③モホ層までの深さ
 - ④地質学的な条件
 - ⑤天 候
 - ④基地からの距離
 - ⑤海 流
 - ⑥地 熱 流
 3. ボーリング作業上の問題点
 - ③ボーリング船
 - ④船の固定法
 - ⑤掘さく技術
- 結 言

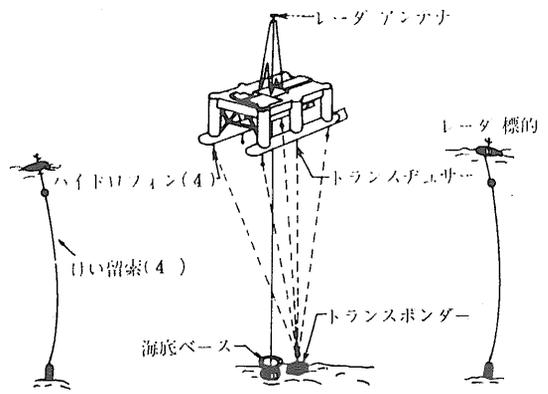
なお その後の資料によって これらを補足すると次のごとくである。

(i) 船 の 固 定 法

海上の足場法は風や海流によって漂流するので これを海底の開孔点の直上にうまく留めることが深海ボーリングの成否を決める。海上定点からの許容漂流半径は水深3,500 mなら110 m以内 4,500 mなら120 m以内である。海底油田などでは ボーリング船をたくさんのアンカーで留める方法を採用しているが 深海数千mではこの方法はむずかしい。まづ考案されたのはクリノメータ法である(第7図)。海底から船にワイヤーを張り これを緊張させつつ その長さ・方位角・傾斜角を計測することによって 船の漂動値を計算する。舷側に数個のスクリューを特設し 算出された漂動値に応じてその作動を調節することによって 船を定点に押し戻す方法である。さらに精度をあげるため 漂動値はSonar によって検出される(第8・9図)。すなわちプラットホームの下や海底の開孔点やその周りの海底敷



第8図 無碇碇止法(その1) A.P.S. または D.P.E.



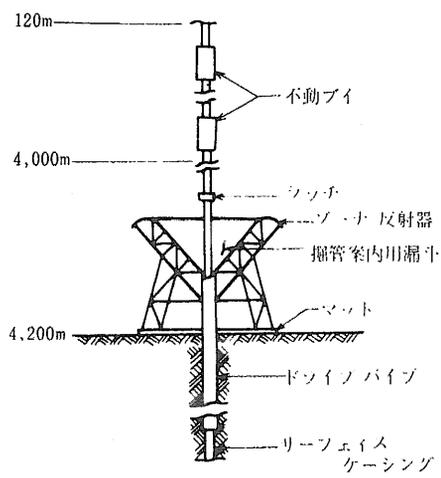
第9図 無碇碇止法(その2) A.P.S. または D.P.E.

地点に それぞれ音響の発信受信・反射などの装置を設け 音波伝達の時間差や位相比较を利用する方法である。プラットホームを定点に押し戻すためには 脚の海面より上方にプロペラをそれぞれ装置する。また一対のフロートには航海用のスクリューが付いているが これも必要あらば応援する。漂動値は電算機でただちに算出され そのまま自動的にプロペラやスクリューの作動を統御する。

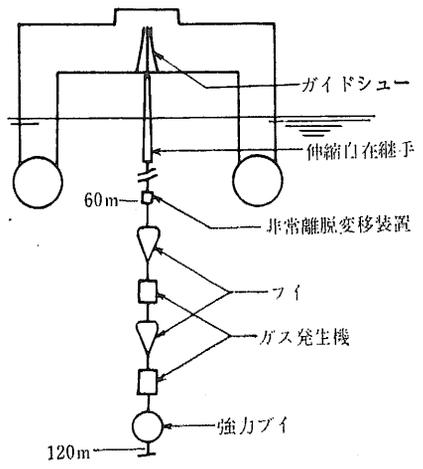
(ii) 掘さく技術

海面から海底までの水中部は一見簡単のようであるが意外に厄介である。ホモールの作業は昼夜兼行で3年を要し その間には何回もロッド昇降を行なわなければならない 水中に何もないと その都度海底の孔口を見失うことにもなる。循環水の往復・ケーシング挿入・ワイヤラインの昇降・セメンチングなどを考えると 太いパイプで孔口と海上とを連結しなければならない。これは4,000mもある重くて長いもので そのまま海中

に立てたのでは 彎曲したり挫屈するので 全長の所々にブイを付けて張力を与え かつ重量を補整する。海底の開孔点にはあらかじめ組立てられた基礎構物を沈設し 海中の立上りパイプの下端はこれに固結する(第10図)。パイプの上端はプラットホームに結着するが 潮汐 プラットホームの動揺・漂動などによって生じる上下や曲げの力を消殺するために パイプの上部にテンションスリップを またプラットホームには下向ラップ状のガイドシューを設ける(第11図)。なお荒天などの緊急事態には 結着を外してジムバル式または差込式にも変えられるようにしておく。この際ロッドは引上げる余裕がないので とりあえず機械からはずし その保持を立上りパイプと海底の基礎構造物とが引受けるように考案しておく。これにともないパイプに重量が加わるので 海中のブイのあるものは浮力可変にしておく(第11図)。



第10図 ドリルストリングの下部機構



第11図 ドリルストリングの上部機構

表-1 世界 の 地 熱 発 電 一 覧 表

国 名	地 区	設 備 容 量 (kW)	建 設 中 お よ び 計 画
イ タ リ ア	ラルデレロ および モンテアミアタ		390,600 モンテアミアタ (25MW)
ニュージーランド	ワイラケイ	192,000	202,000 ブロードランド (120MW 1973年着工予定)
	カウエラウ	10,000	
ア メ リ カ	ガ イ サ ー		83,000 (55MW×2 1971; 55MW×2, 1972) 合計 220,000kW
日 本	松 川	20,000	33,000 滝ノ上 (50MW) 八丁原 (50MW) 東首 (20MW) 八幡平 (10MW) 合計 130,000kW
	大 岳	13,000	
ア イ ス ラ ン ド	ヘ ン キ イ ル		17,000 ナマハール (3MW)
メ キ シ コ	パ テ		3,500 メキシカリ (37.5MW×2 建設中) 合計 75,000kW
ソ 連	パウジェック		3,000 パウジェック (20MW) クナシリ (6 MW) 合計 26,000kW
そ の 他			チリ (20MW) エルサルパドル (20MW) フランス西印度諸島 (30MW) フィリピン (10MW) 台湾 (10MW) トルコ (30MW) 合計 120,000kW
合 計		732,100	719,000kW

む す び

ボーリング機械を10,000mはおろか もっと深く掘れるように強力・頑丈に造り上げることは 機械工学の面からはさして至難ではないであろう。問題は深くなるにつれて 地下の圧力や温度が増進して岩石の性状に変調をきたしこれがビットやコアパーレルや循環水の作用に悪影響を与えるのが当然予想されてくるが その程度をあらかじめ計測するのがむずかしい問題である。このようなことから 10,000mくらいまでの深さでも連続したコア採取のボーリングが順調に行なわれるのには なお多くの考案や試験や失敗を重ねなければならないであろう。この自然の悪条件を経済面を考慮しつつ克服するには 順を追って深く進み 一步一步経験を積むほかないであろう。

参 考 文 献:

1. 河内英幸: モホール計画における海上ボーリングの問題点について 地質ニュース No. 115 昭和39年3月
2. 測地学審議会: 国際地球内部開発計画 (UMP) の成果 第1期報告 昭和42年
3. 地質調査所: 国際地球内部開発研究 (UMP) 深層試錐計画 昭和43年5月
4. 斎藤正次: 超深度ボーリングの開発 海洋開発シリーズ① 日本ダム協会 昭和44年11月

地 熱 発 電 に 対 す る ボ ー リ ン グ 技 術

1. 地 熱 発 電 の 歩 み

地熱が新しいエネルギー源として 初めて発電に利用されたのは明治38年のことであるが 世界各国が本格的に地熱発電に取組み始めたのは第2次大戦後のことである。すなわち 地熱発電は最初イタリアにおいて発達し その後ニュージーランド アメリカ 日本 ソ連およびメキシコにおいて開発が進められてきた。現在地熱発電が行なわれている地区および設備容量は 表1のごとくで 総出力は70万kWに過ぎないが 各国とも意欲的に調査あるいは増設を行ないつつあるので 数年後のうちには出力が100万kWを突破することは容易に想像される。

わが国は世界有数の火山国であり 地熱発電の調査・研究は約50年前の大正時代から断続的に行なわれてきたが 企業として成功を収めるまでには長年月を要し ようやく昭和40年代に至って 初めて岩手県松川および大分県大岳に発電所が完成したのである。わが国には各所に火山や温泉があるとはいえ これらがすべて地熱発電に適するとは考えられない。しかし今までにテストボーリングを行なって調査を試みたところは 表2 (第12図)のごとくである。わが国の消費する膨大なエネルギーの中では 地熱発電の果たす役割はいまだ微々たるものではあるが 所要エネルギーの 80%以上を海外に依存している現状において 今後地熱発電に期待するところはきわめて大きいものと思われる。この時期において地熱開発に必要なボーリング技術の一端を紹介し 今後備えて 関係者に技術開発の促進をお願いする次第である。

第2表 地熱調査試錐井

地熱地帯	調査地名	深度	最終坑径	備考
硫黄山	屈斜路サツテ キナ地区	300m	2 1/2"	15°C
	沼湯地内	1,000	2 1/2	156°C (24m) 117°C (953m)
雌阿寒岳	沼湯地内	500	2 1/2	111°C (270m) 92.5°C (500m)
	沼湯地内	250	2	100°C
昭和新山	昭和新山南1km	375	3 3/4	20~29°C
	鹿部温泉	500	3 3/4	111°C
駒ヶ岳	鹿部温泉	500	5 5/8	58°C (湯湯)
	鹿部温泉	400	7 5/8	101°C
	八幡平大沼地内	870	3	212.5°C
焼山	松川温泉地内	945~		250°C
松川温泉	網張滝ノ上 地区	1,200	7 5/8	50~60t/hr 193.5~200°C 1.5t/hr
滝の上 温泉	鬼首地内	300~700	7 5/8	145°C
荒雄嶽	那須岳地内	100~200	76mm	37~194°C
那須岳	大白川温泉	210~700	49mm	? 噴気
大白川	熱川温泉	約1,000	—	—
熱川	別府	100	—	150°C
別府	大岳温泉	500 前後	7 5/8	145°C
九重山	指宿地内	500	3 3/4	150°C
開閉岳	湯之野地内	84	92mm	129°C
霧島温泉				

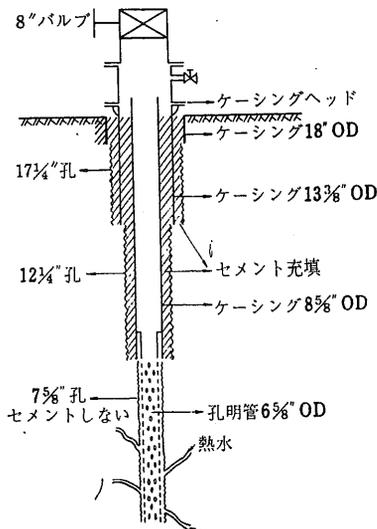


第12図 地熱地帯分布図

2. ボーリング工事関係

(i) 地熱開発井の深度と孔径

地熱蒸気の賦存する深度は 50~150 m といった浅いところのものもあるが この場合は蒸気の温度 圧力が低く また営業的に採取すると永続性がないことが多い。またあまり深いところ たとえば 3,000 m 以上となると 地表からの水の補給が十分に行なわれないため 蒸気量の期待も薄くなる。そのようなことから 500~1,500 m が日本のみならず 諸外国でも一般的になっている。



第13図 孔径とケーシングパイプの挿入状況

孔径は井戸の深度および採取する蒸気量に關係する。日本では大体 孔元を19" (16"ケーシング) で掘り始め 孔底付近を10" (8"ケーシング) で掘り止めとしている。イタリアでは孔元を23" 孔底付近を16" ニュージールランドでは孔元を19" 最終孔径を7"としている。孔径とケーシングパイプの挿入状況の1例を示すと第13図のごとくである。

(ii) 掘さく上の特質

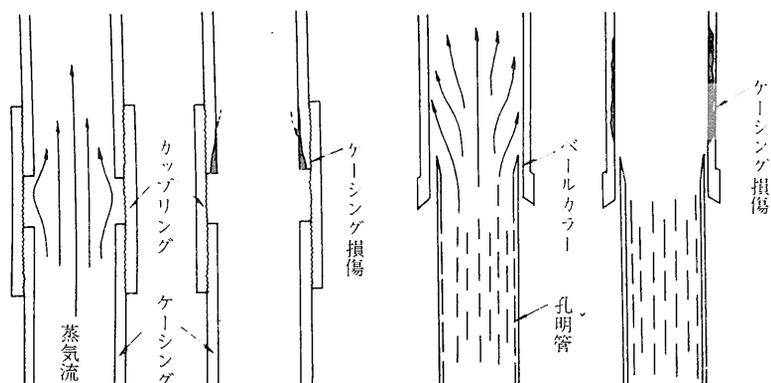
- ④地表からすべて火成岩のことが多く 地質が硬い。
- ④深度に対して急激に温度が上昇する。
- ④逸泥層が多く また多くの場合 蒸気の噴出防止に高比重の泥水では抑圧が困難である。

(iii) 坑井仕上げ上の特質

- ④蒸気の採取管は地表まで厳密なオールセメンチングをする必要がある。
- ④蒸気の採取はケーシング自噴の形で行なうので 地表下相当の深度まで もう1列余分の保護管を挿入する必要がある。
- ④孔明管は掘さくビット径にギリギリの大きさのものを挿入し 孔明管の揺振動に対して長年月の保全を考慮する必要がある。
- ④ケーシングの材質 内面構造およびバルブ等に特別の技術および配慮が必要である。

(iv) 位置選定上の着眼点

- ④地質条件が合理的なところ。



第14図
ケーシングパイプの損傷状況

- ⑩掘さく機械 器具 材料類の運搬・集積および据付けにもっとも有利なところ。
- ⑪作業水の取得が容易で しかも排水に支障のないところ。
- ⑫高温多量の蒸気 ガス 熱水などが自噴流出しても大きなトラブルを起こさないところ。
- ⑬洪水 崖崩れ 雪害などの危険がないところ。
- ⑭作業員の通勤に便利なところ。

3. ボーリング技術

(i) 掘進率の増進

先にも述べたように地熱井掘さくは地表面から硬岩の場合が多いので 一般には岩石の圧縮強度が $2,000\text{kg}/\text{cm}^2$ まではトリコーンビットのS型～H型を用い それ以上 $2,500\text{kg}/\text{cm}^2$ まではタングステンカーバイドのいわゆるコプラタイプビットが さらに $2,500\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上ではダイヤモンドビットが適当とされている。したがって掘管とドリルカラーを十分に吟味して 岩石の圧縮強度まで十分な荷重をかけて掘る いわゆる重荷重掘さくを行なうことが望ましい。

(ii) 逸泥対策

地熱開発井の逸泥に対しては 永久的および一時的の2つの対策が必要である。

① 蒸気層までの永久的対策

蒸気層以浅の逸泥層は たとえば 50mごとに地層の耐圧テストを行ない 逸泥すればセメントを圧入して徹底した耐圧補強を行なう必要がある。

② 蒸気層中の一時的対策

蒸気層の掘進中に起こる逸泥は 蒸気層の存在を意味するので 望ましい徴候であるが 十分な蒸気量が期待

できない場合には この層を一時的に逸泥防止剤で閉塞して掘進を続行する。蒸気層の掘進は全量逸泥現象が生ずるまで行ない その現象が起きた時点で掘止めとするのが普通である。しかし最大の蒸気量を確保するために全量逸泥のまま数m～数10mを掘進することもある。

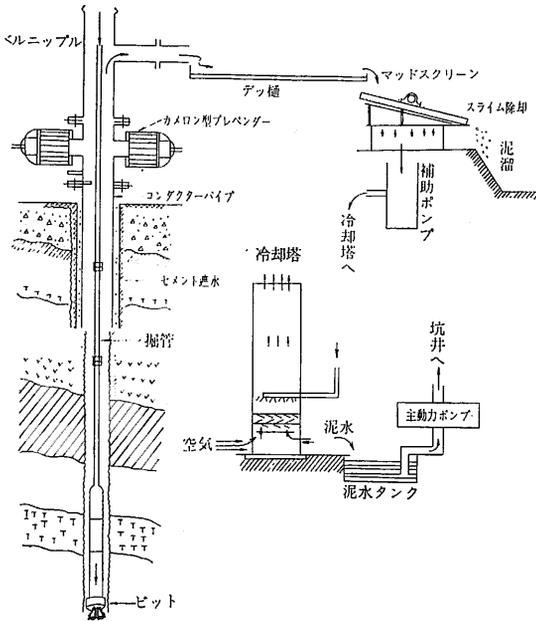
(iii) 蒸気の噴出防止

掘進中に蒸気が噴出しないように掘進中にも必要に応じて孔底温度を測定する必要がある。防噴装置にはブローアウトプリベンダーを取付けることが望ましい。沸点曲線以上に温度が上昇すると思われる場合は高比重泥水に転換することも一応考えられるが 地層が亀裂その他で それだけの耐圧がないと逸泥を起こし 目的は達せられないので やはり大量の水で冷却するより仕方がない。それゆえ冷却装置の完備はもちろんのこと かかる徴候のある地域では大量の水の確保を忘れてはならない。

(iv) ケーシング

① ケーシングの材質

イタリア ニュージーランド の諸国においては ケーシングの材質はJ55のものを使用して大した問題もないようであるが わが国のように水蒸気の量が $70\text{t}/\text{h}$ となると その管内上昇速度は $300\text{m}/\text{s}$ となり 種々の問題が起こる。元来坑井より噴出する蒸気には過熱水蒸気と湿性水蒸気とがあり 湿性水蒸気の湿度が $10\sim 30\%$ のものももっともケーシングを損傷しやすい。そのほか 水蒸気中に含まれる硫化水素による腐食 砂粒による侵食もあり はなはだしいときには 半年間で孔内ケーシングがボロボロになったという例もある。現在地熱調査会の坑井委員会でも この問題を研究課題として取上げ 鋭意検討中である。



第15図 泥水循環装置

④ ケーシングの内面構造

石油およびガス井のケーシングをそのまま使用するとカップリングのところで上昇蒸気が乱流を起こし、第14図のようにケーシングに損傷を与えることがある。また孔明管のベルカラー部においても流線の拡大によって上方ケーシングに損傷を与える。このためインターナルフラッシュケーシングを使用するか、ベルカラー部を長い漏斗状にしておくことが望ましい。

⑤ ケーシングの揺振動

地熱中に挿入されているケーシングのうち、とくに孔明管はまったくセメンチングが行なわれてなく、孔底に放置されている。ライナーハンガーが蒸気採取管の下端に懸吊されているため、孔明管内に流入する蒸気量が多い時には大きな揺振動作用を受け、孔明管の寿命を著しく短くする。それゆえ、掘さく孔径にできるだけ近い孔明管を挿入し、蒸気の増量を見込むと同時に孔壁で管を支えて揺振動を防ぐ必要がある。ただしこの方法も掘り方が悪かったり、孔内がきれいでない、孔明管が途中でひっかかり、孔底まで降下できないので、十分な技術と細心の注意が必要である。

(v) セメンチング

① セメント

あまり地熱の高くないところでは普通のポルトランドセメントでよく、ニュージーランドではこれを用いて支障

がないようである。しかし地熱の高いところ、すなわち温度が200°C以上になると、次第に壊れて砂のようになってしまうので、このような場合にはフライアッシュセメントが使用されている。しかしこれでも決定的なものではないので、新しい固結剤の開発が望まれている。

② セメンチング

地熱井のセメンチングで一番重要なことはケーシング外にセメントをまんべんとなく、十分に充填することとオールセメンチングを行なってセメントを孔口まで確実に上昇させることである。

セメントをケーシング外に確実に充填するには、良い泥水を使用すること、ケーシング外径に対して掘さく孔径を十分に大きくすること（孔明管挿入の場合とは逆である）、セントライザーを必要個数使用すること、強大なポンプを使用することなどが常識である。

4. 保安設備

(i) 十分な冷却水の確保

地熱井の蒸気の噴出は高比重泥水では抑圧が困難であるし、また高温のためブローアウトプリベンダーによる抑圧も長時間は不可能となるので、循環泥水は効率のよい冷却塔で冷却し、いざという場合のために十分な冷却水の確保をしておくことである。（第15図）

(ii) コンダクターパイプまたは採取ケーシングの完全なセメンチング

(iii) ブローアウトプリベンダーの使用と演習

(iv) ガス探知器および防毒面の備付

(v) 避難安全降下器の設置

5. これからの課題

(i) 傾斜掘り

日本には地熱開発の有望地が多数あるが、種々の理由から開発は遅れている。また日本の地熱地帯は地形の悪いところが多く、坑井ごとにトラック道路を作るのは容易なことではない。このようなことから同一敷地から傾斜掘りで適当な本数の方位掘さくができれば、坑井ごとに敷地や道路を作る必要もなく、またそのつど官庁の許可や地元交渉の労も省けるばかりでなく、坑井完成後、発電所までの高価な蒸気のパワーラインも不要となり、莫大な日数と経費の節減になる。ただしケーシングの摩耗が問題である。

(ii) エアードリリング

最近 米国のガイザーやイタリアではエアードリリングによって 1,000 mの地熱井を1カ月半程度で掘ったという話である。地層の特殊条件にもよるが エアードリリングは逸泥を苦しめないし 蒸気層に水を入れなくとも済むという利点がある。帝石においてもエアードリリングを約10年前に研究試行したことがあるが 油田地帯では水が多く スライムが泥土状となって成功するに至らなかった。しかし日本の地熱地帯の掘さくへの応用は地層中の水が少なかったり また多少あっても地熱のために蒸気化している場合には 十分成功の可能性がある。

【参考文献】

松尾圭二：“地熱開発井の掘さく” 日本鉱業会誌
Vol.84 No.965 p.17~20 1968
一杉武治：“地熱発電の現況について”
地熱 No.32 (Vol.9 No.1) March, 1972.
アーデークラッシュク：“高温の条件下におけるボーリングの合理的掘さくについて”
地熱 No.25 (9月号) 1970. p.51~53
ペア セルペンスキー エス エス スハレフ：“深いボアホールをさく孔する場合の冷却の利用について”
地熱 No.25 (9月号) 1970. p.54~56

新刊紹介

秋田駒ヶ岳 1971—71年噴火特集号
(火山 第2集 第2—3号)

秋田駒ヶ岳の噴火は 本誌197号(1971年1月号)に曾屋竜典・正井義郎によって紹介されている。噴火は 1970年9月18日にはじまり 翌1971年1月下旬に終焉したが この期間に地質・地球物理・地球化学など多くの地学者が現地調査・観測と噴出物の実験に取組んだ。この特集号にはこれら24名の地学者による研究成果が盛込まれている。本号は緒言にはじまり 本文は6章に分かれ 18篇の論文から構成されている I「序論」は

1. 地殻歪の指示者としての火山
2. 火山とプレートテクトニクス

の2篇からなっている。火山活動という地表の現象を 前者は地殻歪計とみて地下の地震や構造を知る手がかりを また後者は東日本火山帯の活動の一部として島弧系のなかのマグマの発生機構についてそれぞれ論じている

II「秋田駒ヶ岳のなりたち」は

1. 地質
2. 温泉・陸水
3. 地磁気・重力

の3篇からなっている。この章で秋田駒ヶ岳の概観を得ることが出来る。

III「噴火活動史」では 807年以降の火山活動についての記録が述べられている。

IV「1970—71年の噴火活動の経過」は

1. 噴火に先立つ活動
2. 噴火の経過

の2篇からなっている。浅間山 伊豆大島など経常的な観測が行なわれている火山を除くと 噴火の前兆について記録は余りない。今回の噴火は 約3週間前から噴気と地震についてくわしく記録されており貴重である。

V「1970—71年の噴火現象」には

1. 噴石活動と溶岩流出
2. 地震活動
3. 爆發地震の性質
4. 爆發地震のメカニズム
5. 赤外線放射強度計による観測
6. 環状噴煙

の6篇がおさめられている。噴火についてのくわしい記録は写真 スケッチなどを用いてくわしく報告 結果について議論されている。環状噴煙の記録と解析は珍しい。

VI「1970—71年の噴火の噴出物」は

1. 溶岩の記載と成因
2. 岩石の化学組成と造岩鉱物
3. 噴出岩塊の高温実験
4. 火山ガスと昇華物

の4篇からなっている。駒ヶ岳の新しい噴出物のほかに 周辺の火山岩の記載や実験の結果が集められている。とくに火山岩・捕獲岩・造岩鉱物・火山ガラスなどの豊富な分析値と実験をもとに 1. と3. は地下のマグマ溜りや火道のマグマのH₂OとO₂の分圧の変化を推定し 新溶岩の成因を考察している。4. では噴火後の火山ガスや昇華物は 地表でかなり高温であったことが報告されている。

I の2つの論文にみられるグローバルな視野からみた火山活動から V の環状噴煙のように かなり稀有な現象まで いろいろの分野からみた論文を 一貫した方針でよくまとめている。各著者をはじめ火山特集号編集委員会(委員長 横山 泉)の労を多としたい。論文のなかには駒ヶ岳の火山爆發のメカニズムを説明するプロフィールや岩石の成因など斬新な考え方が出されており 今後の討論が期待される。火山学以外の専門の人々にも一読をすすめた。

この特集号の購入を希望される方は 日本火山学会(東京都文京区弥1—1 東京大学地震研究所内 ☎(03)—813—7421 振替口座 東京22229)へ1,200円をそえて申込ませたい。

(上村不二雄)