

# 地質の分野における 電子計算機の2, 3の利用法②

高橋 博・幾志新吉\*

## 2. 地形図の機械読み取り

### 2.0 ま え が き

地質図を書きうつすことは 相当な時間を要する。無駄なようであっても手で書きうつす過程で その図を作った人の考え方がわかる利点は大きい。近年はゼロックスなどの複写機を用いることにより以前に比べれば複写は格段に容易となった。ただ 地質図は2次元パターンであるが 内容的には4次元多成分情報を表示するもので不連続性を表わすことが重要で 機械による読み取りに向けたものではない。地質図は地形図を基準にして表現されている。そこでいきなり地質図の機械読み取りはあきらめるとして その基準面となる地形図の機械読み取りを試みた。

地形図の機械読み取りをはじめる前に日常の問題として 多チャンネルの記録紙の読みとり機の開発を防災センターの発足当初から筆者は検討してきた。というのは その頃ようやくわが国で電子計算機が使われはじめたが 実験記録のほとんどがアナログ記録で それらのほとんどが記録紙にペンまたは光学的方法で書かれているため 電子計算機にかけるにはそれらを数値にかえなければならぬ。その作り換えずなわち読みとりは人手で行なうため 多大の時間と人力を要し その上精度もその際悪くなる。その頃幾つか開発された曲線読みとり機も それにかけるための塗色により記録の精度をこわし 粗大な記録でなければ読めなかったり 角度の急なものや目盛の明瞭なものおよび圧倒的に多い円弧書き記録には使えず ペンガスレや記録紙のシミ ヨゴレにより読みとりを誤るなどの欠点をもっていた。それでいて1チャンネルしか読めないためスケールも含めて読むことができないという本質的な欠点があった。

このようなわけで 防災センターでは発足当初からでき

るだけ磁気テープ(アナログ型)で記録し 電子計算機で数値の読みとりができるように電算機システムを作った。しかし 記録紙による記録も回避できないので 多チャンネルデータの読み取りシステムの開発を試み フライイング・スポットによる高速読みとりなどを試みたが読みとり精度が悪いため 結局以下に述べるような方法の開発に移った。

### 2.1 方 法

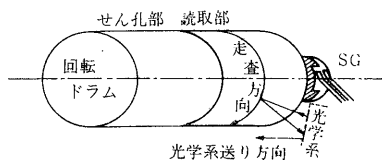
経過は略すが 現在図形の読み取りにはトーシャ・ファックスを用いている。トーシャファックスは事務用複写機として用いられているもので 天気図の電送などに用いられているファクシミリと同じ方法により 文字または図をトーシャ印刷して多数の複製を作るもので 複写方法としての精度は写真 電子複写に次ぐもので 時には原図より鮮明な複写が得られる。機種によってはフィルターを入れることにより 色彩原図を3原色に分解することもできる。その機構は円周囲約41cmの回転ドラムに原紙を巻きつけると 光源から出た光が原紙面を走査し その反射光を光電管が受けて濃淡に応じた電圧(Peak to Peak 5V)に変換し その濃度に応じて 同じ回転ドラムを巻きつけてある複写原紙上の同じ位置で放電をしてくまかい穴をあけ トーシャ原紙を作る(1図)。

本論に入って まずトーシャファックスの電子計算機の図形読み取り装置としての問題をみてみる。原図の読み取り精度(分解能)はドラムの周囲が約41cmで回転数が毎秒5回転である。電子計算機側の防災センターのAD変換器の処理速度は約55μsであるので 1データ変換する間の走査線上の移動距離は

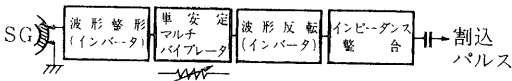
$$41 \times 5 \times 55 \times 10^{-6} \approx 0.011 \text{cm}$$

すなわち 約0.1mmである。これは回転方向(走査方向)であるが 走査線の密度(間隔)は0.1mmまたは0.5mmであるから 前者を用いると0.1mmの正方形のメッシュの値を得ることとなり 一般の図としては十分な精度(分解能)である。

つぎに 光電管の特性は動作範囲内ではほぼ直線的であるので 図の濃淡はこれをAD変換すれば 実用範囲



第1図  
トーシャファックスの走査方式



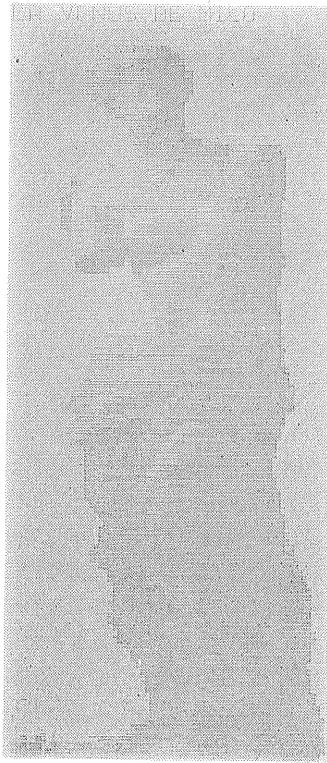
第2図 外部割込発生回路

内で正確な値が得られる。出力は差動回路から取り出し その変動範囲は 0~5V であるが AD 変換器の入力範囲は ±10V のため 数値化されたデータ精度はAD 変換器の最大精度の1/4程度 (2進9ビット) で 約500 レベルの濃淡を識別できる。

ところで トーシャファックスは同一の軸で読み取りを複写する自己完結的機械で 他機への また他機からの同期もまったく考えられていない。そこで トーシャファックスのスライド・スイッチ (1図の SG: 原紙をおさえる金属板部分での強い反射光を取り除くため回転軸に直結) のオン・オフ信号を電圧に変換し これで TOSBAC 3400の外部割込機能を働かして同期信号にした。この回路の単安定マルチ・バイブレータは機械的スイッチのチャタリングを防ぐためのものであるが Rt をを加減して遅れ時間 (時定数) をある程度調節できるので 必要な位置まで割込時点をずらし 不要なAD変換を省くようにしている。現在 時定数の可変幅は 22.5ms ドラム上の距離で約 4.5cm である。

さて データを作る上での問題に移る。トーシャファックスの有効画面は 260×350mm である。これをメッシュ間隔0.11mm とすると走査線1本で3,200 0.1mm 間隔で走査すると 2,600 線となり 総数 832 万個の数値が得られる。このようにぼう大な数値は 800 ビット/インチ 2,400 フィートの磁気テープ1巻にはこの半分 (有効画面の半分) しかしまえない。AD 変換と磁気テープへの書き込みは同時に行なわれなければならないが 3,000 個の数値を磁気テープへ書き込むのに約 490ms 要し ドラム1回転を AD 変換する時間 (200ms) の2.5倍となる。磁気テープへの時間を 200ms 以内におさえると数値は 1,000 個が限度となり 走査線の方の距離で 9cm に相当する。また全面をとるために数回転ごとに AD 変換してもよい。

そこで走査線横方向で 0.1mm の精度を確保するために走査線密度を 0.05mm にとり 2回転ごとに AD 変換を行ない AD 変換が2回行なわれるごとに横方向で対応する2個の数値を1語に詰める。なお TOSBAC 3400は1語24ビット AD 変換器出力は11ビットであるので数値の精度を8ビット (250レベル) に落とせば3数値を1語に詰め込める。こうすれば 800ms (4回転)

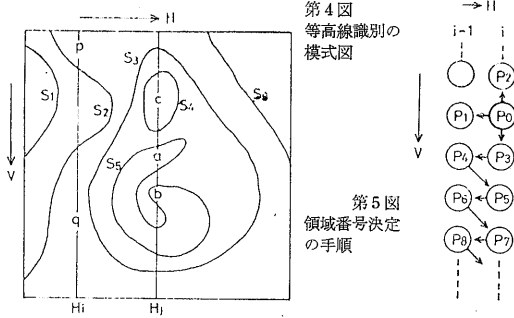


第3図 ミロの電算機による映像

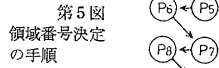
あるので磁気テープを1度動かすことは十分できる。こうして得た実例を示す (3図)。これは濃淡に対応した点密度でファックスに印画したものである。またラインプリンタで濃度を10段階くらいに分けてそれに対応した文字を割り当て 活字間隔のタテ・ヨコ比を補正して打ち出すこともできる。

地形図や観測記録など「線」のものは有るか

無いかの2値信号で 適当な濃度の上か下かで1か0かを決めてゆけばよい。ただ 線の濃度差が大きかったり (たとえば印刷むら) 紙面に濃度変化 (たとえば現象むら) があったり データの欠損 (たとえばペンガスレ) や紙面のよごれなどが多い場合 (そのようなものは多い) この方法ではよい結果が得られない。次に微分によって判定する方法がある。数値の欠損が少なくなるかわりに 小さな雑音が増幅される危険があり プログラムが複雑となり時間もかかる。しかもアナログ信号でみる限り 線の部分での波形の立ち上がりは 雑音のそれに比べてかなり急である。結果的にはこれらを組み合わせる方法をとっている。まず雑音より少し高いレベルをとり それ以下のものを0とする。次に2つずつの数値の移動和をとり平滑化し差分をとる [(1, 1) × (-1, 1)] = (-1, 0, 1) のウェイトをかける。こうして作られた差分データに対し レベルを定め 一たんこのレベルを越えたものが続いて0を切った時 数値を1とする。これを走査線方向と横方向について行ない 両者の論理和 (一つでも1があれば1とする) を最終的2値数値としている。



人が等高線を書きうつすときは1本1本追跡する。上述の方法でこれをやるとスリットをつねに前後に移動させなければならず それに応じて 演算時間に比し遙かに多くの時間を磁気テープの駆動にとられてしまう。そこでスリットの移動方向は1方向とし 磁気テープの読み出しは1回で かつ送り方向だけとしたい。



地形図を閉曲線の集合とみなし 等高線そのものを追わず 線に限られた領域の識別を考える。しかも限られたスリット幅内で一気に等値関係を定めることができないので 一次(仮) 評定(4図 a b c)を全面に行なった後 等値領域の確定(4図 S1 S2……)を行なう。すなわち 相へだたる2本の走査線(i-1 i列)をコアに読み込む。i列の格子点 P<sub>0</sub> を処理する場合を述べる。

### 2.2 地形図の読み取り

電子計算機による図形読み取りが容易でないのは 面すなわち2次元の情報を取り扱わなければならないからである。それは1次元の2乗のぼう大な数値を取り扱うということにとどまらず 2方向の相互の関連をとらえなければならないからである。なぜなら読み取りは複写ではない。少なくとも明らかなノイズは取り除き意味情報を抽出しなければならない(意味の抽出は遙かに高級な仕事である)。実際の処理方法としては 面をいきなり面としては処理できないので 上にも見てきたように 数本の走査線幅(スリット)をとり それを移動させながら処理を行なう。

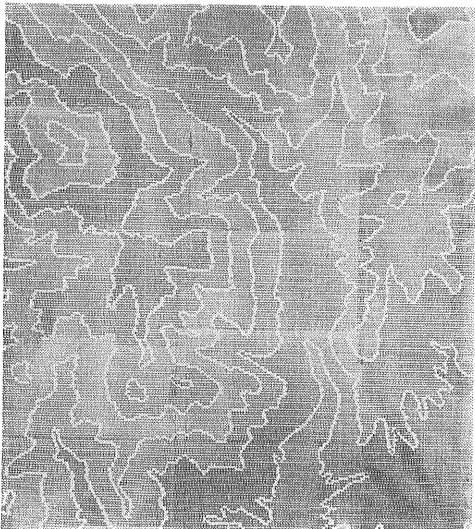
地形図を読むことは相当高級なことである。それは作った人の知らないことまで抽出し得るので 読む人の能力に依存する。ここではそのような高級なことは考えない。等高線の読み取り(抽出:意味論的には読み取りとはいえないが)である。

- (A) P<sub>0</sub> が黒の場合 P<sub>0</sub> の領域番号なし。
- (B) P<sub>0</sub> が白の場合 P<sub>0</sub> には次のように調べて領域番号を与える。
  - (i) P<sub>1</sub> が白ならば P<sub>0</sub> に P<sub>1</sub> の番号を与える。そして P<sub>2</sub> も白なら P<sub>1</sub> と P<sub>2</sub> の番号を比べ 等しくない場合(未登録なら) 両方の番号を表に登録。
  - (ii) P<sub>1</sub> が黒で P<sub>2</sub> が白なら P<sub>2</sub> の番号を与える。
  - (iii) P<sub>1</sub> P<sub>2</sub> 黒のとき P<sub>3</sub> が黒なら新番号を与える。
  - (iv) 同じく P<sub>3</sub> が白で P<sub>4</sub> が白なら P<sub>0</sub> P<sub>3</sub> とともに P<sub>4</sub> の番号。
  - (v) そのとき P<sub>4</sub> が黒なら P<sub>5</sub> P<sub>6</sub> 或いはその先まで調べて行き i-1 列に白が表われればその番号を与える。
  - (vi) i-1 列に白が出る前に i 列に黒が現われたり i-1 列に最後まで白が出ないときは新しい番号を与える。ただし i=1 のとき(最初の走査線)は 一つ手前(上例の P<sub>2</sub>)を調べ 領域番号を順次与えて行く。

このような操作を順次くり返し 全面積を処理し終わったら 上述の表に登録した2個の番号は同じ領域に属するものであるから 領域数を整理して領域番号の付けなおしを行なう。こうして得た結果の1例を写真①に示す。

### 2.3 面積の計算

等高線に囲まれたところの面積の測定は不規則図形ゆえ結構面倒である。メッシュで切って数えたり 色ぬりをして機械読み取りを工夫したり 最後はハサミで切り取って目方で調べるなど何れも手数の割に精度がない。上記のようにしてやれば同一領域の番号をもつ格子点の数を数えれば 相対的面積比が出せ 縮尺が入っていれば絶対値で出せる。



写真① 等高線による領域決定の実例 5万分の1地形図「左沢(あてらざわ)」の一部等高線間隔100m(白抜きが等高線にあたる)

## 2.4 問題点

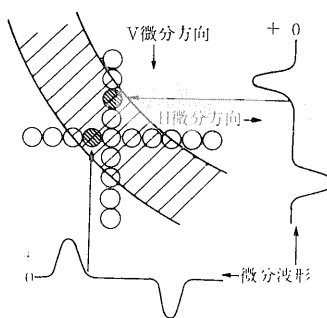
以上の方法について問題点を述べる。 トーシャファックスの回転ムラは電子計算機用電源（定周波 定電圧装置を通したもの）を用いたところ 今取扱っている程度の対象に対しては精度の上では問題はない。 小さく精密な図（たとえば写真）を扱う場合などには問題が生じよう。 なお この機械は使っていないと回転ムラが大きくなる。

AD 変換のスタートを決める割り込み信号は機械的スイッチによっているためバラツキがある。 そのため實際上走査線方向の精度が落ちている。 割り込みには光学的方法などを考える必要がある。

濃淡の検出 レベルについては地形図やそのほかのパターンでも 実用上は4ビット（16段階）程度でよいものが多いと思われる。 実際の計測の精度は この程度かせいぜい6ビット（64段階） 最高精度の計測をしても最大7ビット（120段階）すれば十分である。 6ビットなら1語（24ビット）に4数値詰め込め 磁気テープの処理回数が少なくなり AD 変換のため走査線を間引く必要がなくなり AD 変換器を安価に作れる可能性もでてくる。

次にソフトに関しては たとえば6図に見るようにスリット幅に比べ線が太すぎる場合 微分法によっては位置がズレるおそれがある。 さらに地形図としては基本的なこととして 凸地形中の凹所（または逆）のように単調増加（減少）でない箇所や どちらの勾配が明らかでない所（4図S6）の処理方法の課題がある。 また 実際の地形図には等高線以外の記載があり このようなものの識別・分離は機械にとっては困難なことである。 もっとも 機械ができるようにしてやらないで何もかも機械にやらせようとするのは 機械を頭から排除するのと同様に 実りと前進のあるやり方ではない。 また地形図を作る側も 単に多色刷りとするだけでなくフィルター（単純かごく少数の）により 第一に等高線次に河川 第3に鉄路等地形図の基本または時間による変化のもっとも少ない要素から 容易に分離できるような配色を考えるべきである。 それは地形図の機械による読み取りだけでなく 他の目的のための製版基図の作成なども考えてのことである。

最後に 地形図を閉曲線の集合とみる考え方によれば 適当に処理され 余りにも複雑でない地質図なら その機械読み取りも 不可能でないことを示していると考えられる。 今後このようなことについても検討したいと考えている。



第6図  
線の太さと微分の関係

## 参考文献

大村一夫（1971）：「図形読取装置の試作および応用例」国立防災科学技術センター研究報告 第7号 pp.23-34.

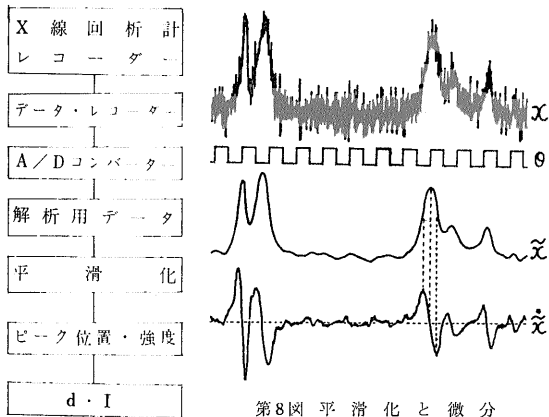
## 3. 鉱物の X 線回折計による測定と同定の機械化

### 3.0 ま え が き

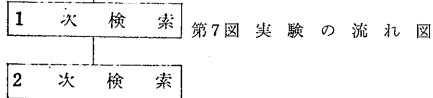
今日普及している X 線回折計は 戦後開発された簡便かつ“能率的”な物質（鉱物）分析の機械で われわれの分野の研究や生産管理などに大変有力な道具である。 X 線回折線像は通常鋭く明瞭であるが 像の数は分光分析に比べると比較的少ない。 しかし記録の読み取りから鉱物の同定までを きちんと行なおうとする X 線回折計の測定（記録）時間より多くの時間を要し 測定者が日常扱っていない物質の場合はかなり長い日時を要する。 また機械としても記録（アナログ）までで完結的に作られており その後の処理の機械化はまったく考慮されていない。 しかし X 線回折計が今日のようにあらゆる所で使われていることは X 線回折像を得ること自体が目的ではなく 物質（鉱物）やその組成比の決定や物質についての判断・考察などに必要な情報を得ることにあるのであるから 今日機械としては使用目的に直接応える情報を その欲する使用形態で利用者に提供するところまでの機械化が考慮されていなければならない。 加えて 機械としても今日では高能率とはいえないので 筆者は10年ほど前より X 線回折法による物質（鉱物）分析法の能率化と完全機械化を最終目標とし とりあえずは測定と鉱物同定の機械化をはかった。 ここに近年行なった基礎的実験の結果を述べることにより その方法を紹介する。 実験の大筋を7図に示す。

### 3.1 測定

X 線回折装置を電子計算機と結び付けることによって



第8図 平滑化と微分



第9図 実験の流れ図

X線回折線の測定と鉱物の同定を行ないつつ X線回折装置を高効率に駆動することまでを最終的には考えているが 後者については未だ手を染めていない[X線回折計の測定速度と電子計算機側の処理速度に著しいひらきがあるので 後者を遊ばせない方法や同種または異種の複数測定機を同時に操作する方法などまで考えなければならぬ]. 前者についても 本当は回折X線の受感計数回路をデジタル処理に適する形に根本的に作りなおすべきであるが 研究の第一段階としては現在の出力(記録計出力)を処理することから始めた.

実験には 代表的物質であり X線回折像も鮮明なホウカイ石を用い 理学電機製X線回折計 DQC 型により 4°/min のスキヤニング・スピードで 通常行なわれるような条件で粉末法によるX線回折を行なった. 記録はペン・レコーダの出力(アナログ)を地震観測に使う普通のデータ・レコーダに 15/16 (inch/sec) の速度で角度マークとともに収録した[筆者らの実験でX線回折計を電子計算機に直結しなかったのは 処理速度の差よりも アナログの磁気テープにおさめておけば 数値実験の繰返しがあったや

SLOPE WIDTH  
15,000 0,240

2*TMETA	U	I			
29,368	3,039	100	28,855	29,513	
39,421	2,264	21	39,171	39,579	
43,158	2,094	23	42,987	43,237	
47,487	1,913	20	46,934	47,592	
48,500	1,875	20	48,276	48,579	

- すいからであった]. 次に こうして得た回折記録(磁気テープ)を16倍の速度で再生し スキャナーと A/D コンバータを通して数値化し 電子計算機の磁気テープに収録した. なお当所の電子計算機システムは TOSBAC 3400 (2進24ビット/語 サイクルタイム 0.8 $\mu$ s 記憶容量 16K 語)に SDS 製 8 チャンネル・スキャナー A/D コンバータと D/A コンバータ 4 チャンネルからなり 各種のアナログ入出力機器を直接接続できるようになっている. なおミニコンによる同様のシステムが別があり オフラインの入出力処理もできる.
- (1)
  - (2)
  - (3)

再生は16倍で行なったので0~90°の記録を90秒たらずで行なった. サンプルング間隔を 500 $\mu$ s にとり 回折角 1°(2 $\theta$ ) 当り平均 1,875 個の数値(10進2桁)を得た. こうして得た数値列(ペンレコーダの出力)は通常われわれが見ている記録とは似つかないほど雑音が著しく [この雑音はデータレコーダや A/D コンバータで発生したものだけではなく, ペン記録が比較的滑らかであるのは 周波数の高い雑音に対してペンが応答しないからである. なおパルス的な雑音を取除くプログラムは別に準備されている] 角度の間隔も不揃いであった. また A/D コンバータのフル・スケールが10Vであるのに対し X線回折計の出力のそれが 100mV であるため数値も小さすぎた. そこで この数値列から25個づつの和をとり 1°当り75個の等間隔の数値列を作り 解析用のデータとした(8図-1). これでもなお雑音が多く 回折線(ピーク)の検出が困難なので 0.2° 幅の移動平均をとりかなり滑らかな曲線を得た. これを D/A コンバータを通してペンレコーダに書かせると 8図-2)のようになる.

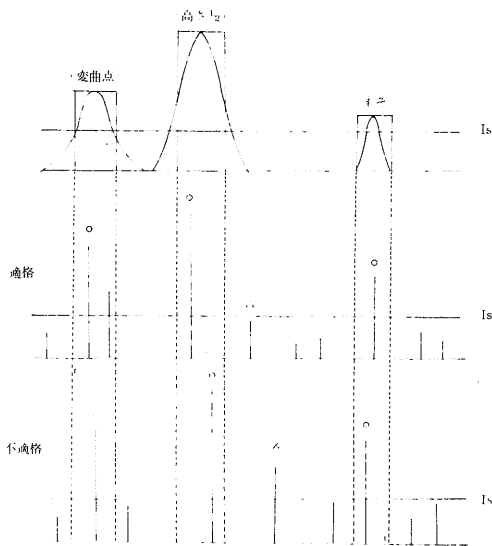
この曲線にはピークのほかに ゆるやかな起伏もあるので 勾配の急なもののみをピークとして取り出した [粘土鉱物などでは ゆるやかな起伏も問題にしなければならぬが この実験では典型的なピークの検出をまず試みた]. その勾配は対象に応じて決める. 回折角——ピークの

UMAX DMIN PEAK  
4328 1423 5

D1	D2	I
3091	3023	100
2297	2275	21
2102	2090	23
1934	1904	20
1883	1872	20

表1  
ピークと検索幅の計算結果  
(ホウカイ石の例)

位置——はピークの微分曲線が0を切る所とし(8図—(3)) その値から面間隔( $d$ ) ピークの高さから相対強度( $I/I_0$ ,  $I_0$ : 最大強度)をそれぞれ計算した。それらを測定条件を付けてライプリンタで印刷する(表1)。なおセキエイのように補正值があらかじめわかっていたり補正物質が入っていればその主回折線から回折角を修正して正確な面間隔( $d$ )を算出することもできる。また機械測定の有利な点としてはペン記録のようにフルスケールの制約を受けずにたとえばデジタル型地震探鉱機のように  $n \times a^m$  の形で幅広くその強度を測定することもできる。



第9図 1次検索

### 3.2 鉱物の同定(検索)

つぎに物質のX線回折線像についての標準資料集(資料ファイルΦ)から測定したものとパターンの合っているものを検索して測定物質(鉱物)またはその組成を明らかにする方法を述べる。

#### 3.2.1 単体の場合

一種類の鉱物のみからなる場合面間隔は測定誤差や鉱物により多少の変動もあることから適当な検索幅( $\pm \Delta d$ )を与える(9図)。幅のとり方はピークの両側の立ち上がり微分曲線の両変曲点や高さの半分のところの幅などいろいろある。あまたの鉱物の中から一気に適合鉱物を検索することは理想ではあるが実際には困難が多いので2段階に分けて行なった。すなわち原標準資料集Φ——実験はASTMカード13,067枚を用いた——の中で強度パターンが基本的に合わないものをまず除き(1次検索)こうして得た候補物質(選抜資料ファイルφ)の中から差異のもっとも少ないものをえらび出す(2次検索)方法をとった。

1次検索では標準資料集Φの中から測定物質で検出した回折線群  $D_u (= \bigcup_{k=1}^P d_k \pm \Delta d_k)$  以外の領域  $\bar{D}_u$  に回折線のあるものを明らかに無縁な鉱物として除く。ただし鉱物による変動と原資料Φが完全なもののみからなり立ってはいないことより厳密な照合を行なうと必要なものを落としてしまうことも起こり得るので検索強度にもシキイ値( $I_s$ )を設け  $\bar{D}_u$  の領域で  $I_s$  以上の強度の回折線を有するものを無縁な鉱物として除く方法をとる(9図)。

実際にはシキイ値  $I_s$  は30~40程度がよいようで1次検索出力が100カード程度となるように検索しつつその値を変動させた。こうして得た1次検索出力の中にもまったく無縁なものが少なからず入っている(たとえば有機物や金属)。このように明らかに無縁な

の(カード)を検索の際除く条件を付けることは可能ではある。たとえば有機物・無機物・天然物質・人工物質主たる含有または含有しない化学成分産出・製造条件色・融点・常温の状態など物質の特徴を示す目印しによりまったく無縁なものを大幅に減らし条件のよい場合には求めているものをズバリ検索することができると考えられる。筆者もそうしたいと考えている。そのためには効率のよい目印しを探し出し標準資料ファイルΦを作りなおさなくてはならない。その手数は普通考えるよりはるかに大変なものでそれでいてその割に検索の効率の上らないことがしばしば経験されている。時には副次的な目印しがあるためかえって必要なものを排除してしまうこともある。雑音率(不適合資料/出力)と検索もれのおこる確率との兼ね合いは研究が基礎的であればあるほどまた測定物質について知識が乏しいほど後者をおそれ通常の情報検索の場合のように出力の多すぎることを問題とせず大きな範囲から一つ一つ吟味しつつ不適格なものを除いてゆくことがもっとも重要なこととなる。これに比べ品質管理のような場合にはこのような“無駄”は許されない。以上は両極端の場合で多くはこの中間であろう。

本論にもどって1次検索出力の中から人の目で(これはきわめて早く容易である)まったく無縁なものを除き2次検索にかけるもの50カード程度を選抜資料ファイルφとして選べばよい[表に示した検索例では人手による‘ふるい落とし’は行わず1次検索結果をそのまま2次検索に用いている]。

2次検索では候補物質と測定物質との回折線強度の差

表2 単体の検索結果 (ホウカイ石の例)

INPUT DATA (JUNKUON SUBSTANCE)

DMAX ANIN PEAK  
4328- 1423 5

D1 D2 I  
3091 3023 100  
2297 2275 21 2102 2090 23 1934 1909 20 1883 1872 20

RESULT OF RETRIEVAL IS=35

NU	ERROR	OUT												
5- 586	14	14	1- 361	23	13	1- 814	50	32	1- 67	56	34	1- 806	57	20
12- 430	58	35	1- 811	60	33	11- 410	62	35	8- 277	64	35	1- 810	64	27
11- 641	64	35	12- 149	64	30	10- 169	64	35	11- 66	64	35	4- 610	65	37
3- 595	68	25	1- 829	70	27	11- 619	71	20	11- 269	72	30	14- 38	72	16
14- 831	74	22	1- 822	74	33	12- 153	74	30	12- 540	74	20	14- 147	72	20
14- 654	76	30	7- 271	77	24	7- 660	77	10	12- 203	79	20	12- 852	74	21
7- 661	79	30	11- 872	80	25	1- 816	81	33	11- 113	82	30	11- 253	79	26
5- 570	83	31	1- 843	83	35	14- 733	84	20	1- 49	84	20	5- 569	84	33
1- 807	84	20	1- 818	84	33	7- 209	84	30	14- 36	84	12	1- 824	84	25
1- 840	84	30	12- 286	84	10	14- 270	84	30	3- 144	84	28	12- 414	84	35
10- 235	84	35	1- 191	84	30	4- 630	84	38	13- 409	84	35	9- 574	90	31
8- 269	210	23	1- 1231	238	33	1- 1232	238	25	1- 1234	238	25	1- 1237	238	20
3- 990	238	31	12- 319	240	35	7- 109	242	30	11- 680	242	30	1- 1188	242	35
12- 321	242	35	11- 132	242	30	12- 170	242	35	12- 172	242	35	11- 720	242	23
10- 722	242	33	11- 724	242	33	14- 539	244	30	1- 1775	244	24			

( $\epsilon_i$ ) が最小のもの または著しく小さいものの中から適合物質を選んだ。すなわち

$$\epsilon_i = \sum_{k=1}^P |u_k - u_{ik}| \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

$u_k$  : 測定物質の  $k$  番目の回折線の強度

$u_{ik}$  : 候補物質  $i$  の対応する回折線強度

$P$  : 測定物質のピーク数

を計算し  $\epsilon_i$  の小さい順に配列する。この計算時間は約1分で そのほとんどが磁気テープの回転時間である。2次検索の結果は 表2 にみるように ホウカイ石 (5-586) の回折強度誤差 ( $\epsilon_i$ ) が最小でかつ格段に小さくこの方法が有効であることを示している。

### 3.2.2 混合物の場合

いま 混合物  $U$  が  $r$  個の組成鉱物  $X_1 X_2 \dots X_r$  からなり それぞれが  $\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_r$  の割合で混っているものとする。

$$U \equiv \alpha_1 X_1 \cup \alpha_2 X_2 \cup \dots \cup \alpha_r X_r \quad (0 < \alpha_i < 1)$$

また組成鉱物の一つ一つの回折線強度  $x_k$  は 混合比に比例し ( $\alpha x_k$ ) かつ各回折線強度  $u_k$  と各組成鉱物の強度との間に

$$u_k = \alpha_1 x_{1k} + \alpha_2 x_{2k} + \dots + \alpha_r x_{rk} \quad (0 < u_k, x_k < 100)$$

の関係が成り立つものとする [ここでは簡単のため 鉱物による回折線の強度のちがいはないものとして検討をすすめている]。

1次検索の仕方は単体の場合と本質的には変わらないが 検索幅  $\pm \Delta k$  と強度のシキイ値  $I_s$  のとり方に考慮がある。すなわち 互いに近接した回折線があった場合 回折線像はピークの中腹に他方の成分のピークが重なって出るので 検索幅 ( $\pm \Delta k$ ) を単体の場合より広い目にとる必要がある。

つぎに回折線のノイズレベルが  $N$  の場合 含有鉱物がノイズから識別されるためには その最大強度を  $x_0$  識別限界混合比を  $\alpha_0$  とすると  $\alpha_0 x_0 > N$  の条件がみたされなければならない。したがって不適当鉱物を分離するシキイ値  $I_s$  は  $\alpha_0 I_s > N$  すなわち  $I_s > N/\alpha_0$  となる。本来X線回折で識別できるのは主要成分で 微小部分ではない。したがって10%以下のものは問題にしないこととし ノイズレベルをたとえば5 とすると  $I_s > 5/0.1 = 50$  となる。このように混合物では  $I_s$  は単体に比べて大き目となる。しかしあまり大きいと1次検索の際不適当鉱物として取除かれるものが少なくなり そのまま2次検索に進むことが困難となる。なぜなら 候補物質数が余りにも多いこと 後述するように複数の成分の組み合わせの計算が困難ないしは不可能になる。したがって  $I_s$  は単体の場合と同じか それよりやや大き目にえらばねばならない。

このように  $I_s$  をえらんだ場合 実際の混合比  $\alpha$  とその最大強度  $x_0$  と  $\alpha_0 I_s$  の間につぎのような関係が生じる。  $\alpha > \alpha_0, x_0 > I_s$  で  $\bar{D}_u$  に属したものは除去される。  $\alpha < \alpha_0, x_0 < I_s$  のものはノイズ中にまぎれて検出不能である。これ以外のものが2次検索の対象となる [実際の場合には  $x_{0j}$  の中で最強のもの またはピークがかさなり合ったため最強値をとった回折線の強さを 100 とし これとの比で

各回折線の強さを示すため大きい値となる]。単体の場合と同様に 明らかに無縁なものは2次検索の対象からはずす。

さて 複合物における2次検索の方法は 数理的には上述の  $u_k$  が成り立つような係数を定めることに等しい。実際にはそれらは近似的にしか成り立たない。そこで候補鉱物(選抜資料ファイル  $\phi$ ) から任意にえらんだ  $r$  個の鉱物  $X_1 X_2 \dots X_j \dots X_r$  の組合せ

$$C_i \equiv \bigcup_{j=1}^r X_j$$

について 最小二乗法により

$$\epsilon_i = \left\{ \sum_{k=1}^P \sigma_j x_{jk} - u_k \right\}^2 \quad (\sigma_j \text{は係数: 推定混合比})$$

を最小ならしめるような  $\sigma_j$  をすべての組合せについて計算する。そして  $\epsilon_i$  の最小および著しく少ないものの中から もっとも有りうべき組合せをえらび その  $\sigma_j$  をもって求めている混合比 ( $\alpha \beta \dots s$ ) とする。ところで候補物質  $n$  個の中から  $r$  個とりだす組み合わせは

$${}^n C_r = n \cdot (n-1) \dots (n-r+1) / r!$$

組あるから その数は  $n$  および  $r$  とともに著しく増えとりわけ  $r$  の増加による増大が著しい。この場合  $n = 50 \sim 100$   $r = 2 \sim 5$  程度であるので その数をみてみると次のようになる。

$r$	$n=50$	$n=100$
2	1,225	4,950
3	19,600	161,700
4	230,300	3,900,000
5	2,120,000	75,300,000

このように  $r$  が少し大きくなっただけでも 演算量はとてつもない数となるので われわれのシステムで計算した場合 その所要時間は  ${}_{100}C_2$  で約20秒  ${}_{100}C_3$  で15分であるが  ${}_{100}C_4$  となると数時間となる。電子計算機の処理速度が速いといっても さらにコア・メモリーが大きい場合でも このようにバカバカしく大量な演算は実行できないし できてもすべきではない。

われわれは実用限界を  $r=5$  として プログラムを作っているが 何らかの限定条件がなければ  $r=5$  は行ない得ない。混合物の組成のうち幾つか (たとえばセキエイのようによく混在する鉱物) がすでにわかっている 残りの成分を検索したい場合がよくある。そこでわれわれのプログラムは  $r$  個の内 1 2  $\dots r-1$  個までの物質(鉱物)を指定(固定)して検索できるようにしてある。

$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  と  $\text{ZnO}$  の人工的混合物につき実験してみたところ 1次検索に約1分を要し  $I_s=35$  で68個の候補物質をえ(表3) 2次検索に  ${}_{68}C_2=2278$  組の計算を行ない 約10秒(印刷時間は除く)を要した。  $\epsilon_i$  の小さい組合せを示すと表4の通りとなる。これを 成分( $r$ )=3として再計算すると表5のようになり 第3成分

表3 混合物の一次検索結果(人工試料の例)

INPUT DATA (THE UNKNOWN SUBSTANCE)

MAX	MIN	PEAK
435	1540	11
01	12	1
3503	3400	11
2828	2794	56
2604	2575	39
2554	2533	20
2479	2466	100
2383	2305	9
2087	2009	21
1912	1897	23
1741	1729	8
1627	1616	35
1601	1593	17

RESULT OF THE FIRST RETRIEVAL

LIST		KNOWN		(TOTAL)	
35		68		1367	
CARD NO	OUT				
1- 17	28	1- 564	30	1- 575	28
1-1003	13	1-1004	28	1-1132	20
1-1245	40	1-1291	20	2-1227	0
3- 195	13	3- 239	0	3- 746	27
3-1024	0	4- 487	30	5- 121	27
5- 428	43	5- 664	0	5- 712	3
6- 534	31	6- 669	33	7- 334	20
8- 249	30	8- 254	30	8- 378	20
8- 186	25	8- 501	26	8- 578	26
9- 44	11	9- 530	30	9- 610	25
11- 24	20	11- 957	30	10- 117	25
12- 428	25	12- 571	25	12- 779	0
13- 672	25	13- 667	30	12- 979	30
13- 618	25	14-1178	0	13- 762	10
				14- 381	25
				1- 583	20
				1-1234	25
				2-1231	6
				3- 839	33
				5- 735	33
				6- 226	33
				7- 467	27
				8- 465	27
				8- 599	33
				10- 117	25
				12- 779	0
				12- 979	30
				13- 762	10
				13- 895	20
				1-1001	32
				1-1244	20
				2-1237	30
				3- 843	25
				5- 406	13
				6- 237	30
				7- 170	30
				8- 473	32
				8- 674	25
				10- 173	3
				12- 235	20
				13- 389	25
				13- 899	25



表4 混合物 (2) の 2 次 検 索 結 果

RESULT OF THE SECOND RETRIEVAL

ELEMENT 1	ELEMENT 2	RATIO 1	RATIO 2	ERROR
5- 664	5- 712	0.884	0.199	325.628
5- 664	10- 173	0.884	0.199	330.712
2-1227	5- 664	0.179	0.884	383.914
5- 664	6- 662	0.884	0.236	1032.049
1-1444	5- 664	0.234	0.850	1100.045
3- 195	5- 664	0.216	0.884	1195.762
1-1238	5- 664	0.210	0.884	1231.724
1-1245	5- 664	0.210	0.884	1231.724
2-1231	5- 664	0.210	0.884	1231.724
2-1237	5- 664	0.210	0.884	1231.724
3-1024	5- 664	0.210	0.884	1231.724
5- 664	8- 249	0.884	0.884	1231.724
5- 664	10- 117	0.884	0.210	1231.724
5- 664	12- 72	0.884	0.210	1231.724
5- 664	6- 534	0.884	0.200	1272.724
1-1132	5- 664	0.206	0.784	1336.159
3- 232	5- 664	0.170	0.884	1387.724
1- 583	5- 664	0.157	0.884	1399.642
5- 664	6- 26	0.877	0.129	1504.142
5- 664	9- 539	0.884	0.122	1527.662
5- 664	9- 539	0.884	0.120	1526.319
1- 17	13- 667	0.114	0.884	1533.758
5- 664	13- 762	0.884	0.113	1543.889
5- 664	5- 501	0.884	0.112	1547.734
5- 664	8- 674	0.884	0.110	1550.920

表5 混合物 (3) の 2 次 検 索 結 果

RESULT OF THE SECOND RETRIEVAL

ELEMENT 1	ELEMENT 2	ELEMENT 3	RATIO 1	RATIO 2	RATIO 3	ERROR
1-1132	5- 664	10- 173	0.155	0.809	0.190	142.408
1-1132	5- 664	5- 712	0.157	0.810	0.189	143.073
1-1132	2-1227	5- 664	0.138	0.169	0.817	236.491
1-1244	5- 664	5- 712	0.061	0.875	0.181	297.444
1-1244	5- 664	10- 173	0.061	0.875	0.181	303.253
5- 664	5- 712	6- 534	0.884	0.193	0.023	321.702
5- 664	5- 712	6- 662	0.884	0.190	0.023	322.164
3- 195	5- 664	5- 712	0.020	0.884	0.193	322.974
5- 664	5- 712	8- 249	0.884	0.194	0.016	323.826
5- 664	5- 712	10- 117	0.884	0.194	0.016	323.826
5- 664	5- 712	12- 72	0.884	0.194	0.016	323.826
1-1238	5- 664	5- 712	0.014	0.884	0.194	323.826
1-1245	5- 664	5- 712	0.014	0.884	0.194	323.826
2-1231	5- 664	5- 712	0.014	0.884	0.194	323.826
2-1237	5- 664	5- 712	0.014	0.884	0.194	323.826
3-1024	5- 664	5- 712	0.014	0.884	0.194	323.826
2-1227	5- 664	5- 712	0.023	0.884	0.174	324.360
3- 232	5- 664	5- 712	0.011	0.884	0.196	324.614
5- 664	0- 534	10- 173	0.884	0.027	0.192	325.164
3- 195	5- 664	10- 173	0.884	0.884	0.192	326.508
5- 664	6- 662	10- 173	0.884	0.024	0.190	326.868
2-1227	5- 664	10- 173	0.027	0.884	0.170	329.040
1-1238	5- 664	10- 173	0.015	0.884	0.195	329.117
1-1245	5- 664	10- 173	0.015	0.884	0.195	329.117
2-1231	5- 664	10- 173	0.015	0.884	0.195	329.117

は少なく主成分数が2であることがわかる。この結果から鋭くきれいな回折線の得られるものについては機械検索によってかなり良い成果の得られることが明らかとなった。

### 3.3 あとがき

以上で明らかなように 精度のよい標準資料を十分に多くととのえることが機械検索を実用化する前提である。人が同定する場合でも同じことであるが 機械に行なわせる場合は柔軟な方法がとれないので特にそうなのである。また鋭い明瞭な回折線像の得られる物は判別しやすい。ピークが円丘状のものや 主要ピーク以外で識別する場合などは 少なくとも範囲が限定されていないとよい検索結果は期待できない。人に難しいものは機械にも難しい。

つぎに普通単体と思って扱っている物質に混合物の場合がある。そのため検索がうまく行かなかった例を示す。それはキヌウンモの場合であったが セキエイの混在を考えなかったため そのような物質はないとの返事がでた。このように通常ずいはんする鉱物がある場合 混在のチェックをするか それとの混合物としての検索を行なわなければならない。固溶体を作るものの場合も検索幅を十分とるなり 混合物の方法によるなりしないと そのような鉱物が無いとか またはまったく異なった物質が示されることになる。また少しつづ異なった類似鉱物が多数あり あるいはそれらが混在しているかもしれない場合もまったく同様のことが起こり また精度のよい測定と精度のよい標準資料がなければ正確な結果が得られない。

一方X線回折像が似ているため 異なった鉱物を同定

してしまふことも起こり得る。そのようなことを避けることに対してはこの方法は無力であるが他に情報がない場合 検索（照合）誤差を参考にして判断できるかもしれない。

混合物の場合は小数の主成分についてしか分離できない。そして各組成とも他の成分に対し相対的に顕著なピークがなくてはならない。この前提が成り立っていれば 混合比に正比例したピークが得られなくとも 定性的な混合鉱物の検索はできる。

以上みてきたように すべての鉱物を完全に機械で同定することには困難があるが 限定された範囲で 場合によっては他の知識を十分利用できれば すべての作業を機械で行なわせ得る場合のあることがわかったと思う。X線回折装置を多数用いたり 他の測定機器が並列に幾つも駆動されていたり あるいは複雑な制御を要する測定装置がある場合など それらをまとめて電子計算機に駆動・測定・判定などの作業を行なわせられると思う。そのような場合の利点の一つにX線機械では 放射線を受けなくて済むことがある。

赤外線分析や 心電図の機械による同定などは利用者も多いことから それらの分野で研究されている。X線回折程度の線数の多いものについての機械による同定の道が 上述のように開けたことは 一層複雑なスペクトルの得られるものの機械検索への道を 明かるくしたものと思う。

#### 参 考 文 献

- 幾志新吉 (1968) : 「電子計算機によるX線回折データの検索」  
 国立防災科学技術センター研究速報 第9号  
 幾志新吉 (1970) : 「電算機によるX線回折データの処理」情  
 報処理学会大会予稿集

#### 4. そ の 他

以上みてきたもの以外にも 地質に関係深い電子計算機の利用法は幾つかある。たとえば 化学分析値や微化石の検索や数多くの地学的データをそなえた資料（たとえば 岩石学的記載 検鏡資料 化石分析 微化石分析 化学分析 微量化学組成分析 電子顕微鏡資料 粒度分析 鉱物分析 赤外分析 核磁気共鳴 ……産地産状 地層名 時代 …… 文献）等 多種の半定量的情報（データ）をもつものの検索など ホールソートでは方法的に困難乃至手数を要したものだ 電子計算機で処理するのに適した分野である。その際普通の汎用電子計算機を用いてもよいが 特殊な電子計算機を用い

てもよい。無駄なようでもあるが たとえば自然言語をそのまま使用できたり 決まった検索用ボード板を用いて簡易にできるものなら 利用効率が高くなるであろう。機械の機械的能率より 手段としての機械の活用効率の高い方が 本当に必要な最終的成果を十分に得たいという観点からみた場合 機械が著しく高くない限り有益であろう。たとえていえば緑の窓口の電算機のようなものをいっているのである（写真②）。

次に開発しなければならないものとして 10年程前からやはり考えているものに位置の検索がある。以前地質調査所で文献の記載内容の地理的範囲を20万分の1地形図上に囲って示したものを印刷した。これは利用上極めて便利である。それ以後の新しい文献やその後見出されたもので追加出版をぜひ出してもらいたい。しかし本当に入手したい文献と関連資料を知るため 文献内容などの情報を加えたり 空中写真などの他資料を抽出したいと考えると出版の形態では困難となる。そこまでぜひとはいわないことにして 最新のものを抽出するだけでよいとしても出版の形ではどうしても遅くなる。そのためには資料（文献や空中写真など）を地表上の範囲で検索する方法の開発をぜひ行なわなければならない。もしそれができればこの箇所を記した情報というものを簡単にひきだすことができる。地学の分野にとっては大変必要性のたかい検索法である。これに若干の内容情報を加えられれば検索効率は著しく増すことは特に述べる必要のないほど明白なことである。

化石などは親近性と疎遠性の把握が生命である。この地球上に生を受けたことのある生物は 非常に多種であるから まったく共通性のないものなどはない。と同時に見掛が似ていても血縁的に遠いものもある。同質であるか異質であるかを判別する方法を 多種の多数のデータがあるなら考えられないことはない。第一次近似解を得るため そのような統計的方法を用いた方がよいと思う。

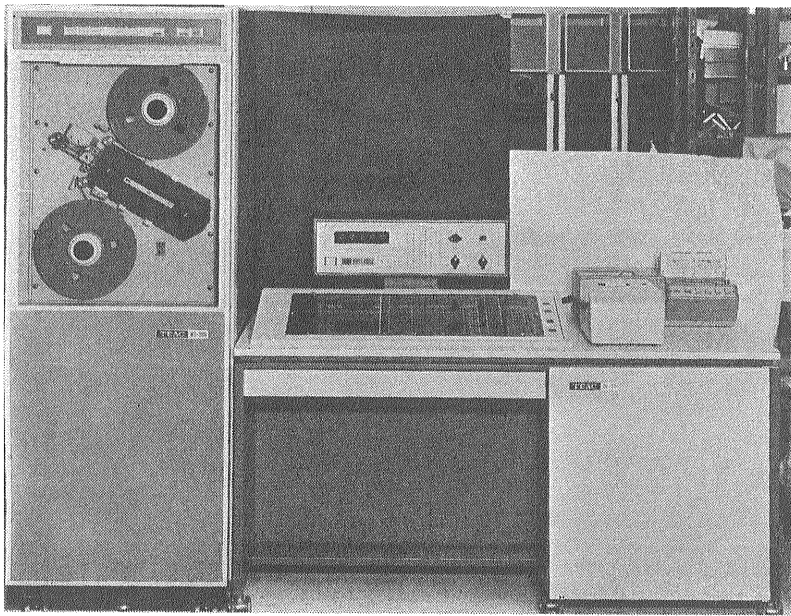
日本地質鉱産誌のような大きな事業が敗戦後の貧乏な中でなされた。その時おびただしい調査資料やカードが作られた。また伝統ある大会社が明治以来の主販売鉱石の取扱いを止めたり 徳川時代以来の元山を閉山し会社までなくなる時代ゆえ 鉱山資料がどうなるかと地質関係者は皆思っている。このような資料は二度と入手できないからである。地球は工場でも作れない。国土をいかにうまく使うかは これからの人類の生死にかかわる問題となった。資源や土地問題を侵略はもちろんのこと 経済競争で打開して行くこともできないこ

れからの世界では 自らを知ることは 総力をあげて闘うことを求められた戦争中よりはるかに重大なこととなる。面積からいえば三流の国土で一流の大国が生きてゆくのであるから わが国にとって国土の経営は 国土の広い通常の大国よりはるかにきついこととなるであろう。鉱産誌を作る過程で作った資料などは 本を出して安心してしまわず その後の活用のための共有財産化を本来考える必要があったはずである。さきに鉱山資料のことを述べたが たとえば火山性地すべり地は低品位の熱水性粘土鉱床である。事実 通常の地すべりの常識では 地すべりはモンモリロナイトが引きおこすことになっているが この場合は凝灰岩源の非晶物質のテイソトロピー性が原因であることを 粘土鉱床の専門家の調査によって明らかとなった。すなわちカオリン

鉱床や金 地熱などの既存資料の整理ができていれば防災の課題にもきわめてすばやく(直線的とまでいかなくとも) 問題の抽出にたどりつけることをこの例は示しているといえよう。こういう過去の種々の調査資料はそれだけに終わらせないようにする気持ちさえあれば電子計算機を駆使することによって整理でき ヒントを人に提供できることを示唆しているといえよう。

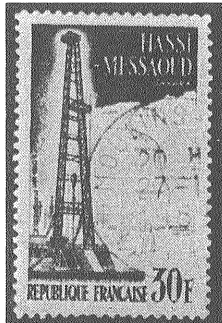
これまで地質関係者は 単能機器を使って もっとも高度な判定を行なってきた。それでも地質専攻者にとってはそれらの中の高級機器は経費がすばぬけて高くそれにかかるまでの準備や操作と測定結果の整理 解析にずい分手間がかかり 得られる知識は(多くの仮定があるため)硬直で 時にはなじみにくい(活用しがたい)ものとの印象が起きても不思議でないものであった。しかし電子計算機はそれに比べると多用的であるが 働かせる側の能力に応じた返事しか返ってこない。パターンに対しても(機械は本当は不得手なのであるが)処理能力をある程度もっているのでも そういふつもりで使う人にはそれなりの応答をよこすものと考えたらよいと思ひ筆をとった。

(筆者らは元所員 現国立防災科学技術センター \*国立防災科学技術センター)



写真②  
情報検索用電子計算機(1例)  
長いプログラムを作ったり 項目をコーディングしなくても ホールソートと同じように80ランカードの1つの孔に1つの意味をもたせることができる。また情報を自然言語で書きこんだり呼び出したりもできる

地学と切手



ハシ・メサウド油田  
P. Q.  
1959年5月23日にフランスで発行された多色刷切手で画面には石油井掘き用の巨大なロータリー試錐機とブージー港までの油送管の配置図が画かれている。ハシ・メサウド油田は 1962年にフランスから独立した アルジ

エリアのサハラ砂漠北部に位置する。アルジェリアは石油 天然ガス 鉄 マンガン 燐鉱石など豊富な地下資源を有している。サハラ砂漠に石油が埋蔵されていることは 第2次大戦前から知られており 戦後フランスの石油探査局が巨額の探鉱資金を投じて 1956年にエジユレおよびハシ・メサウド油田を発見した。ハシ・メサウド油田は アルジェリアの石油生産量 4,771万kl(1967年)の約40%を生産し この油を地中海岸まで運ぶために1959年に ブージー港まで630kmの幹線油送管が敷設された。アルジェリアの石油生産量は 1967年の統計で 世界第1位であるアメリカの10分の1弱日本の50倍強である。