

# コンピュータを用いた坑井情報の処理と表示

矢野 雄 策 (地殻熱部)  
Yuusaku YANO

## はじめに

坑井情報は 地下の状態を直接的に示すものとして貴重である。ふつうの地質調査あるいは物理探査は 地表における観察事実 測定結果から 論理的または数理的に演繹して地下構造を間接的に推定するものである。その点 坑井調査では 地下深部からコアを掘り出して観察するとか 坑井内にゾンデを降して 坑井のまわりの岩石の物理的な状態を調べるとかのように 対象に密着してデータが得られる。したがって 坑井情報は地下の事実そのものを示すものとして重視される。

坑井情報は信頼性が高いと同時に高価なものである。坑井を掘削する費用は 深さによって幾何級数的に大きくなる。深い坑井調査ほど安易には実施できない。そこで いちど掘られた坑井の情報は なるべく有効に利用しつくす努力が必要となってくる。

坑井情報の効果的な利用のために コンピュータの情報処理能力を活用したいという視点から 地熱情報データベース・システム SIGMA (花岡ほか1982)における坑井データベースを開発研究している。坑井情報は垂直方向のデータであるから 普通の平面的な情報とは簡単に関係を解析できない。情報を対比するのに断面図を描くとか 坑井情報の一部を抽出して平面図に表現するなどのことを必要とする。坑井情報の密度は 坑内が全面露頭となることもあって 地表調査に比べて非常に高い。坑井情報のように量が大きく データの種類が多岐にわたり 表示にも多くの様式を必要とするものはコンピュータによる処理が最も適している。

## 坑井情報の空間・時間的特性とファイリング

地下構造を考えるほどの巨視的スケールでは 一本の坑井は 地表から地下へ向う直線 あるいは滑らかな曲線と見なせる。坑井調査のデータは その線上に表われる現象の記載あるいは線上での測定値として得られる。その線上での一つ一つのサンプル点は本質的には三次元空間での位置とその場所での記録値を持つ。しかし データの発生様式と効率上の理由から データ・ファイリングには坑井の一次元性を利用する。すなわち 記録値には 深度D (坑口から坑井に沿う長さ)のみをパラメ

ータとして持たせ 坑井の位置 形状に関する情報は別に独立して持たせる。このようにすれば 検層図や柱状図などのように 坑井データの扱いを一次元的に行う一般の場合に対して 効率的である。三次元的な地下モデルの考察の上で 坑井のデータを三次元的な位置属性を持った情報として使用したい場合は その時に変換すればよい。

観察・測定の記録に深度Dを与えるファイリングの方法は主として以下の3つが用いられる。

深度 $Z_i$ において 記録 $A_i$ が得られる場合 ファイルを

$$(A_i, D_i) \quad (1)$$

の集合として構成する。ここに $i$ はオカレンス つまり離散的なサンプリングの順序番号である。例えばある深度におけるコアの分析値などのデータに対して適用される。

地質柱状図の場合は 観察結果は深度区間ごとにまとめられる。このときは

$$(A_i, D_{Ti}, D_{Bi}) \quad (2)$$

の形が用いられる。ここに $D_{Ti}$ は同一属性区間の上端深度  $D_{Bi}$ は下端深度である。

検層データのように 一定の深度間隔  $\Delta D$  でデータが発生し 全体として大量のデータとなるものは 深度の情報をデータの並び順に陰に含ませて ファイルを

$$(A_i) \quad (3)$$

とすることができる。深度データが一つ一つに付帯しないのでファイルの効率が改善される。このとき 深度はオカレンス番号から

$$D_i = D_1 + (i - 1) \cdot \Delta D \quad (4)$$

によって再現できる。ここで $D_1$ は最初のサンプル点の深度である。

さて 以上のような方法でファイリングされた観察・測定のデータを UTM 座標系に深度を加えたような三次元的な直交座標上の位置を持つデータに変換することを考える。

坑井が鉛直線とみなせる場合には 各サンプル点の位

置  $(X_i, Y_i, Z_i)$  のうち  $(X_i, Y_i)$  については 坑口の X-Y 平面上の位置  $(X_0, Y_0)$  とつねに等しくなる。深度と垂直深度が等しくなるので  $Z_i$  については坑口の標高  $H_0$  と各サンプル点の深度  $D_i$  から

$$Z_i = H_0 - D_i \quad (5)$$

のように計算できる。

サンプル点の三次元的な位置を決定する際に 坑井の傾斜や屈曲などのような形状を考慮する場合には 坑井の形状についての情報が必要となる。坑井内の深度  $Z_i$  での方位と傾斜の測定データから坑口を原点とする直交座標系での坑跡を計算により求める。

$$(X_i, Y_i, Z_i, D_i) \quad (6)$$

のようなファイル形式が考えられる。または 検層データの場合のように深度  $Z$  については等間隔とし 深度を  $i$  で陰に表し

$$(X_i, Y_i, Z_i) \quad (7)$$

とすることもできる。(1)~(3)の形式でファイリングされたデータは 坑口の座標値と(6)あるいは(7)を用いて三次元直交座標上のもに交換される。

坑井のデータには 時間の項が入ってくるものがある。圧水試験や 噴出試験あるいは温度回復試験のように坑井の過渡応答のデータである。圧水試験や噴出試験は坑井全体のあるいはある特定深度区間の応答であり

$$(R_i, t_i) \quad (8)$$

のように過渡時間  $t_i$  と応答  $R_i$  の組で表わされる。

温度回復試験は 泥水の循環停止後 時間経過とともに坑井内の温度が回復する現象を調べるので 温度を  $T$  として

$$(T_i, D_i, t_i) \quad (9)$$

と記録できる。温度回復試験は 普通は時間間隔をおいた何回かの温度検層としてデータをとる。検層に要する時間が 回復時間に比べて十分に小さいものとするば 1回の検層の間に時間は変わらないものとして

$$(T_i, D_i)_t \quad (10)$$

と普通の検層データと同じに扱える。

坑井に関するデータには このほか逸泥記録 ケーシング記録など掘削に伴う記録もある。坑井ファイルの利用目的によっては これらのデータも数値ファイルに記録しなければならない。坑井のように多彩なデータを伴うものであっても 数値ファイルとしては データ

を適当な記録の単位に分け そのおのおのについて上に述べたような形式で整理することができる。SIGMAで採用しているデータベース管理システムは それぞれの記録の単位(セグメント)を階層構造のなかに関係づけて 坑井ごとに任意の情報の検索ができるようにしている。坑井情報をファイルに納める形式は 上に述べたような坑井情報自身もデータ構造に依存すると同時に ファイル管理から利用まで含めた全体の処理効率を考慮して決められる。

坑井情報の効率的な利用のためには 数値情報ファイルの整備が重要である。坑井情報の必要がでてきたときに数値化するという考えも可能である。しかし 日本全国あるいは世界を考えると 坑井情報を使いたいという要求は いろいろな地域を対象に 各種のデータについて 普遍的に存在していると考えられる。そのときは個別に要求に応ずるよりも あらかじめ系統的なファイルを整備してあらゆる要求に応ずるようなシステムが理想である。データベースはまさにそのような情報バンクを目的とするものである。

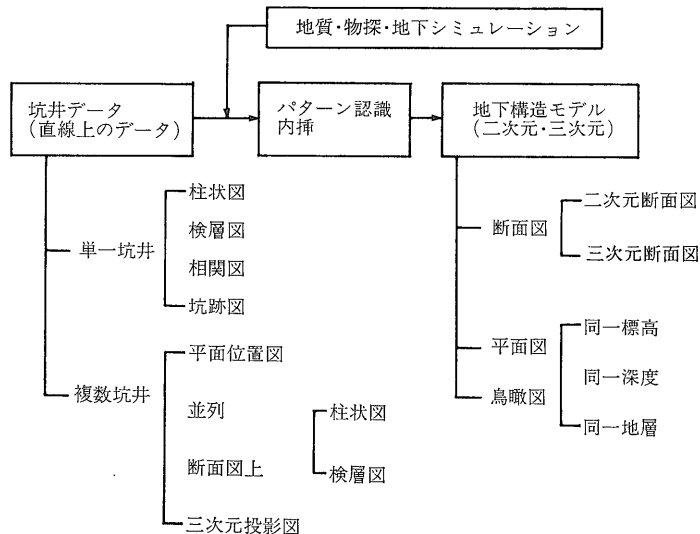
### 坑井情報の表示と地下構造

一本の坑井は一つの線に沿った情報を与える。これに対し地下構造は三次元的である。コンピュータを使うか否かにかかわらず 坑井情報の解釈から地下構造のモデル化までの過程で使われるいろいろな表現形態を第1図に示す。坑井情報の表示形式は 坑井情報そのものの表示と坑井情報をコントロールに使った地下構造モデルの表示に大きく分けられる。

坑井情報の表示では 柱状図 検層図の類いが最も基本であって 基礎的な情報を詳細に記載できる。複数の坑井があるときは 坑井相互の関係を解析しようとする欲求が出てくるから 断面図のような形に坑井を並べて配置し 要点となる坑井情報を表示する。このとき三次元的な表現が好まれるかも知れない。地下構造を解釈するときは この種の図面を前にして 岩相の対比 岩石物性の関係などを考察する。事実としてのデータからさまざまな解釈が生まれうる。

坑井データを使った地下構造モデルの表示では 断面図形式や立体的なフェンス・ダイアグラムが使われる。坑井があからさまに表現されないものでは 物性値や層厚の等値線図や水平断面上の温度分布図などもある。

図形表示におけるコンピュータの利点は 複雑な図面であっても 正確 精密 かつ美しく 短時間で仕上げることである。表示の目的によって 出力装置も選べれば 表現方法も選ぶことができる。立体的な表現であっても正確な投影が容易である。坑井データのコン



第1図 坑井データと地下構造の表現形態

コンピュータによる図形表示例を第2図に示す。この図に示されている例は 簡単なパラメータの入力で自動的に図化できるものであり すべて線画による出力である。このうち 地質柱状図の様式書ルーチンによる出力のシステム化に成功している例はいくつかあるが ラスター・カラーの装置の普及で 今後はカラーによる表示との競合が予想される。これはコンター図や立体図についても言える。

図形表示のなかには 会話的に図形の配置(デザイン)を決めて作図したほうがよいものも多い。第3図は九州の地熱地域の地下温度構造を多数の温度検層図によって示したものである。単なる等温線図では表現できない熱水流動の様子が 垂直方向の温度プロファイルの分布によって明瞭に示されている。この図の図形的な要素はそれぞれコンピュータの出力に基づいているが 全体のデザインはマニュアルで作成した。丸印で示した坑井位置に近接し かつ 重なり合わないよう 検層図を適当に配置させている。図面の縮尺と検層図の縮尺はほぼ一致している。この図の製作は SIGMA の坑井と地図の表示機能を活用しているため 手作業が一部に入るにしろ容易である。しかし このタイプの図面の出力が頻繁であれば 標準的な機能としてシステムに組み込むほうが効率的である。最近の図形表示装置には 図形要素をそれぞれ自由に扱って 作図を容易にさせるものがあるから この例のような処理を過剰なアルゴリズムによるよりも人間の美意識やパターン認識力によって会話的な処理で解決できる。

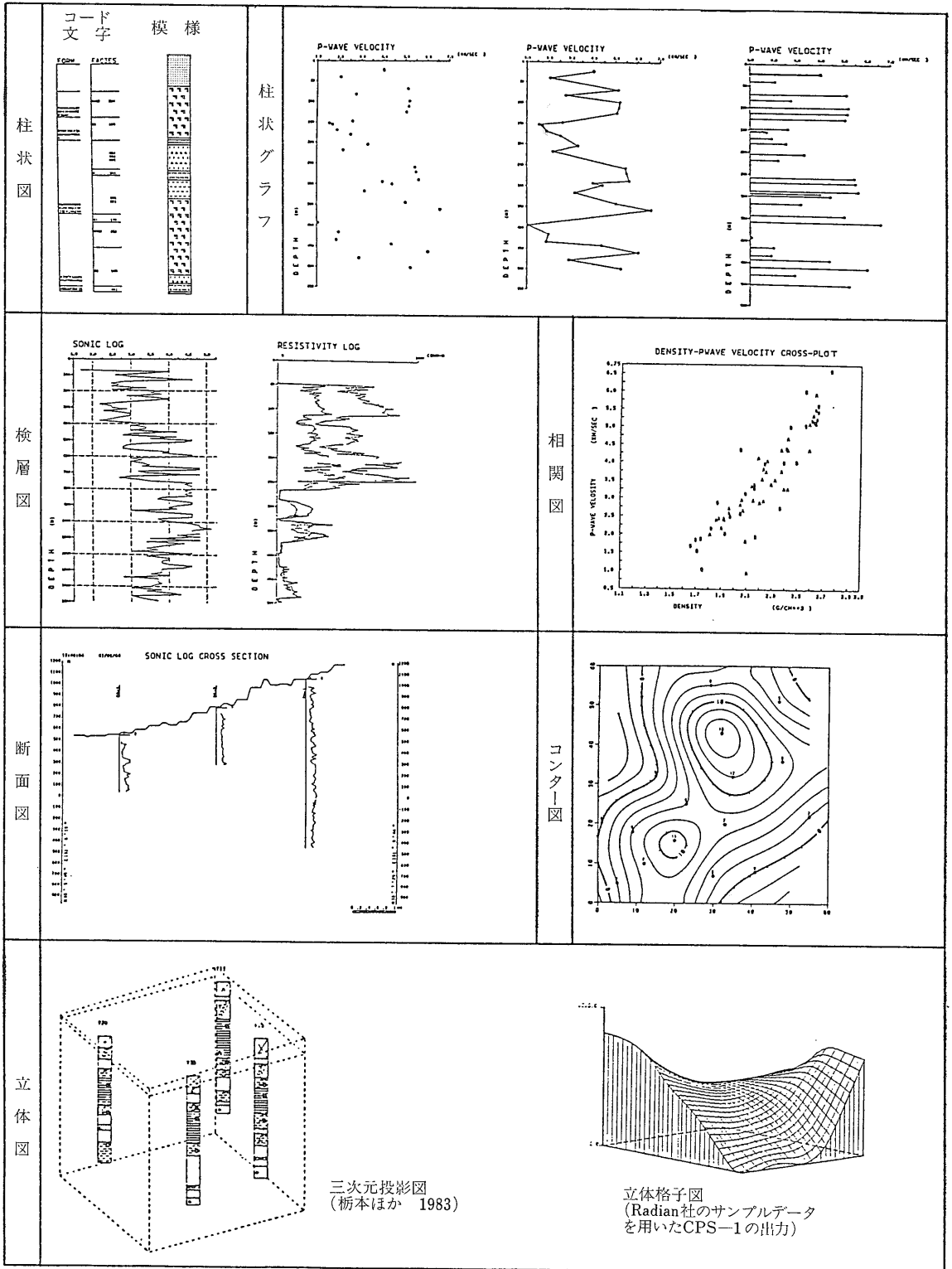
坑井情報を使って地下構造を表示するとき 構造の定義は解析者がおこなわれなければならない。地質柱状

図から地下地質構造を決めるアルゴリズムがあり得るのかも知れないが 地表地質や物理探査の情報を含めて人間の総合的な判断力を必要とする局面である。コンピュータは 判断に必要なデータを整理 使い易い図面として提供する支援機能を効果的に果さなければならない。また 判断の結果を受け取って 地下構造図を出力することも支援機能に含まれる。いったん地下構造モデルを柱状図などで決めてしまえば 地下構造を断面図や立体図に投影して作図することはコンピュータにまかせられる。

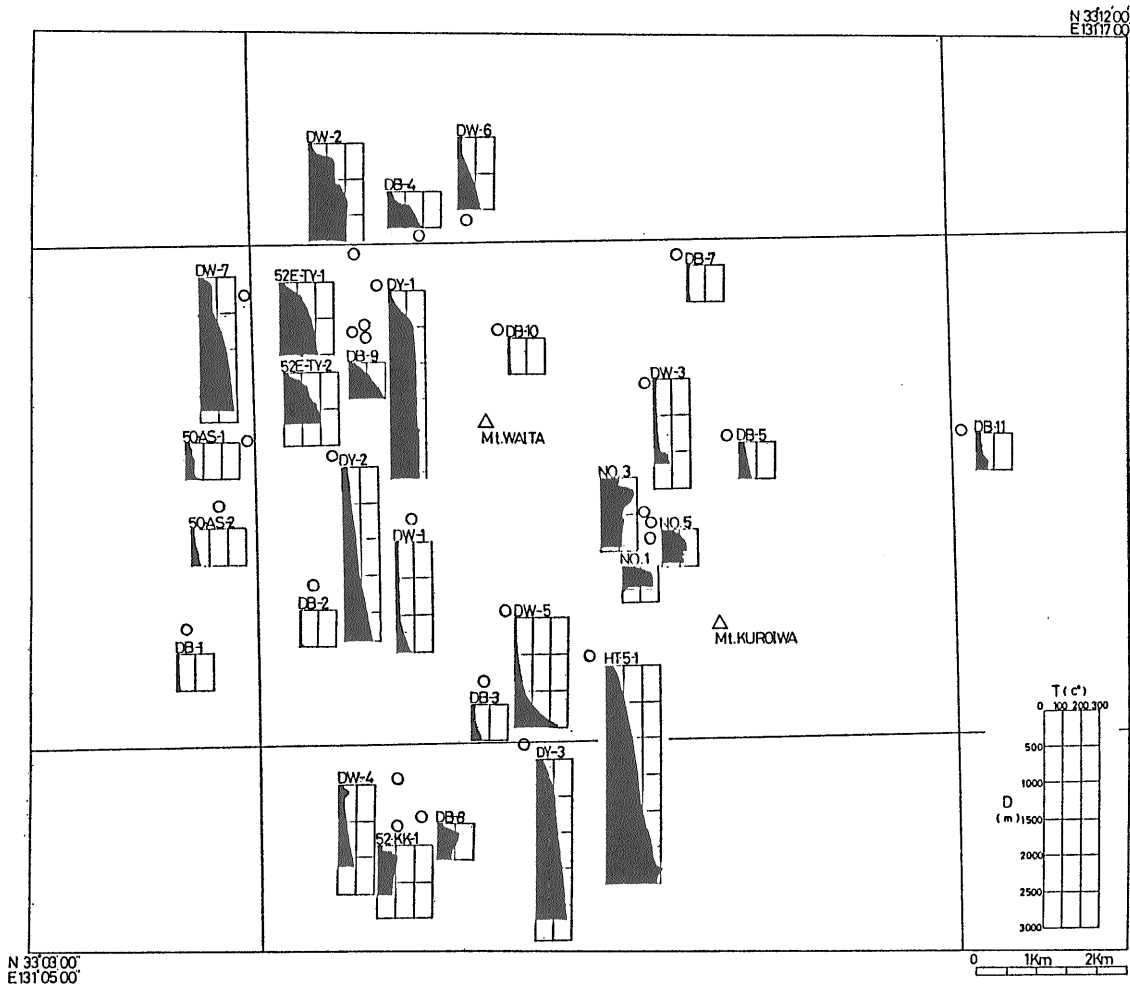
### SIGMAの坑井データベースと表示システム

SIGMA システムの坑井に関する機能について データベースから図形出力にいたる処理の流れを紹介する。詳しいファイル・フォーマットや作業手順については これまで印刷になったサンシャイン計画の報告書等を参照されたい(参考文献を参照)。

SIGMA の坑井データベースが階層構造になっていることはファイリングの項で述べた。上位に大分類 下位にいくほど小分類となっており 上下の関係は従属関係ととらえられている。坑井データベースの最上位の分類は 坑井の地理的な属性に注目して 2次メッシュ(2.5万分の1地形図の図画に対応する)ごとに分けている。全国の任意の場所の坑井情報を効率的に検索するためである。ある2次メッシュの領域に坑井が5本あれば その2次メッシュ・コードの下に5本の坑井情報が従属する。さらに各坑井についてみると 名称 位置 深度 所有者といった坑井そのものの情報(ヘッダ情報)の下位に 坑井調査や坑井試験のデータが並列に従属する



第2図 コンピュータを用いた坑井情報の図形表示例



第3図 温度検層図分布図(九州 豊肥地域)

という構造になっている。

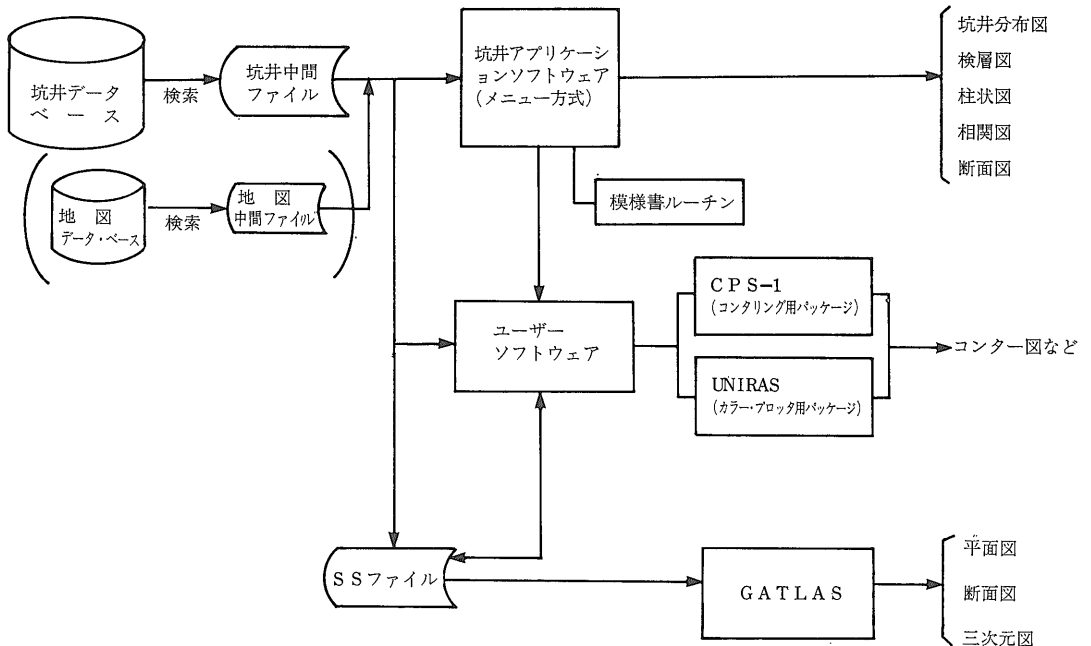
坑井データベースの検索における坑井の指定は 対象とする2次メッシュ・コードを指定し 坑井深度などの条件をつけておこなう。地熱調査地域などはあらかじめ2次メッシュ・コードの集合として定義しておくことにより 地域名で検索対象を指定できる。坑井 ID を用いて直接に検索すべき坑井を指定することもできる。このためにはヘッダ情報を階層の最上位に変換する操作が必要となる。検索結果は 坑井中間ファイルに書き出し 図形表示や解析に使用する。

SIGMA における坑井情報の図形解析の流れを第4図に示す。坑井中間ファイルのデータを 坑井アプリケーション・ソフトウェア ユーザ・ソフトウェア およびGATLAS システムの3つの機能で処理できる。

坑井アプリケーション・ソフトウェアは グラフィッ

ク・ディスプレイ(テクトロニクス618)またはドラムプロッタ(カルコンプ1039ペン3色)を使って 標準化した形式で図形表示をおこなう。処理の実行はメニュー体系で支援されており 基本的な予備知識があれば使うことができる。このソフトウェアで出力できる図面の種類と特徴を第1表に整理した。出力の例は花岡ほか(1982)にあるので参照されたい。

グラフィック・ディスプレイは 表示速度を重視する会話的な処理に欠かせない。坑井分布図を表示し 解析の対象とする部分を拡大する。断面線を定義して坑井情報を断面表示する。あるいは 画面を左右に二分割し 柱状図や検層図を適当な組合せで次つぎと表示することにより 対比をおこなう(写真-1)。このような処理は 解析者の発想のテンポに合わせて結果が表示されることが望ましく 実際にそれが可能となってきた。



第4図 SIGMA における坑井データ図形処理の流れ

第1表 SIGMA の坑井アプリケーション・ソフトウェアの特徴

図の種類	仕様の特徴
共通	出力の日付と時刻(秒まで)を各図面に出す。 (図面の整理 作業記録に役立つ) 図面表題 座標軸の名称 目盛, データ項目 表示ケタ数などを定義表ファイルに持たせてソフトの汎用化をはかる。 図面出力のパラメータは キャラクタ・ディスプレイのメニュー画面上から入力する。 デフォルト値を入れて キーインを省力化する。
坑井分布図	位置の緯度 経度 ( $\phi, \lambda$ ) (百分秒までのフィールド・スペースあり) を UTM 投影変換して出力する。 地図表示機能の一部に組入れ 重ね合せを可能とする。地図情報は国土地理院の国土数値情報を2次メッシュごとに処理する。 小縮尺の分布図は全国ファイル(データの間引きを行っている)の地図データを用いる。全国図の投影は多円錐図法を使い プロットに出力する。 坑井シンボルは深度の区分けごとに定め 坑井名も表示する。
検層図	検層時の状況データも付帯表示できる。地下水面は記号表示する。 深度軸 記録値の軸の目盛から点線のケイ線を OPTION で表示する。 各軸の出力範囲指定可。プロットでは 軸の縮尺を指定する。
柱状図	時代 層群 地層 岩相 溢逸泥は1つの図にまとめて表示する。 岩相はコードまたは模様で表わす。 コアテストの値は 点プロット 折れ線 棒グラフのいずれかで表示する。
相関図	相関係数を表示する。 坑井別にプロットシンボルを変更するか 全てでプロットするかを選択する。
断面図	断面線は 直線か坑井を結ぶ折れ線とする。直線の場合の坑井選択は 十字カーサによる選択指定か除外指定 あるいは断面線からの距離の指定による。断面は地図データベースの標高ファイルから計算する。両側に深度軸をつけ 緯経度を表示する。

第2表 坑井に関するSSファイルの形式

共通	<p>各ファイルはI Dレコードとサンプル点レコードからなる。  <math>i = 1 \sim N</math> (坑井の数)  <math>j = 1 \sim n_i</math>                  WID<sub>i</sub>は第i番目の坑井 ID。                  n<sub>i</sub>は第i番目の坑井に含まれるサンプル点数。</p> <p>V<sub>ji</sub>は第i番目の坑井のj番目のサンプルの属性値。                  DW<sub>i</sub>, H<sub>i</sub>は第i番目の坑井の深度と標高。                  X<sub>i</sub>, Y<sub>i</sub>は第i番目の坑井の平面位置座標。</p>
WPOINT ファイル	<p>WID<sub>i</sub>   n<sub>i</sub>   DW<sub>i</sub>   X<sub>i</sub>   Y<sub>i</sub>   H<sub>i</sub></p> <p>D<sub>ji</sub>   V<sub>ji</sub></p> <p>D<sub>ji</sub>は第i番目の坑井の第j番目のサンプル深度。</p>
WBOUND ファイル	<p>WID<sub>i</sub>   n<sub>i</sub>   DW<sub>i</sub>   X<sub>i</sub>   Y<sub>i</sub>   H<sub>i</sub>   DI<sub>i</sub></p> <p>D<sub>ji</sub>   V<sub>ji</sub></p> <p>DI<sub>i</sub>は第i番目の坑井の最初のデータ区間の上限。                  D<sub>ji</sub>は第i番目の坑井の第j番目のデータ区間の下限であり、第j+1番目のデータ区間の上限である。</p>
WINT ファイル	<p>WID<sub>i</sub>   n<sub>i</sub>   DW<sub>i</sub>   X<sub>i</sub>   Y<sub>i</sub>   H<sub>i</sub>   DZ<sub>i</sub>   DI<sub>i</sub></p> <p>V<sub>ji</sub></p> <p>DZ<sub>i</sub>は第i番目の坑井のサンプルの間隔。                  DI<sub>i</sub>は第i番目の坑井の最初のサンプルの深度。</p>

ドラム・プロッタは 作画速度こそ小さいが 正しい縮尺で必要によっては大きな図面も出力できる。グラフィック・ディスプレイを使って会話的に処理を進めた結果 最終的な成果を図形出力するのに使っている。

ユーザ、ソフトウェアは システムとしては支援されていない機能である。利用者が 特殊なグラフを作成したり 実験的、研究的な数値解析を試みる時 システム上のデータ・ファイルやソフトウェアを利用できるようにしている。利用できるデータ・ファイルは 坑井中間ファイルばかりではなく 坑井アプリケーション・ソフトウェアで作成される解析ファイル(たとえば複

数の坑井の物性データから一定の標高あるいは深度における値に内挿した値をファイルへ出力できる)も利用できる。

ユーザのソフトウェア開発にかかる負担を軽減しているものに 図形出力用のパッケージがある。コンター図に類するものでは CPS-1 と呼ぶパッケージがあり位置図の出力 ランダム/グリッド変換 コンター図や鳥瞰図の出力と汎用的な機能がある。カラー・プロッタ用には UNIRAS と呼ぶパッケージを導入してあり地図表示やグラフ表示の主要な機能を備えている。

最後に GATLAS システムは 地図 断面図による汎用の図形表示システムである。西ほか(1984)で詳しくふれているので 坑井の部分について述べる。GATLAS システムが扱う標準ファイルを SS (SIGMA Standard) ファイルと呼び 坑井に関しては3つの形式がある(第2表)。先に述べた坑井調査データの特性に対応して 一次元のランダム点のデータが WPOINT ファイルで 区間データが WBOUND ファイルで 一定間隔のデータが WINT ファイルでそれぞれ処理される。第2表の各ファイルの様式において 第1のレコードはヘッダー情報 第2のレコード以下がサンプルの数だけ続くデータである。WBOUND ファイルは 区間データではあるが 区間データが隙間なく続くものとして 深度情報を1つ節約している。

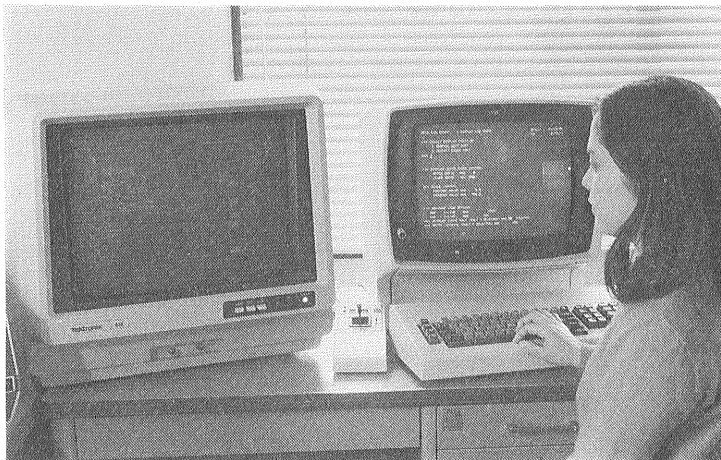


写真1 グラフィック・ディスプレイによる検層図と地質柱状図の対比

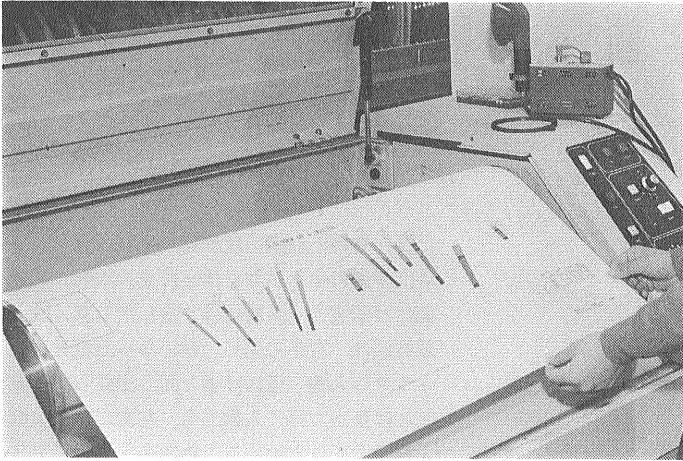


写真2 カラーインクジェット・プロッタを用いた三次元断面図

GATLAS は これらの SS ファイルを読んで ドラム・プロッタまたはカラー・プロッタへ坑井情報を出力する。表示機能はカラー・プロッタへの出力を除きこれまで述べたところと重複するので説明を省略し 坑井データを表示した三次元断面図の出力例(写真-2)を示すに留める。

## おわりに

坑井調査に限らないが これまでは地質や地下資源の情報は 報告書や図面として一度作成されたものが保存されるのみであった。したがって その利用も 閲覧や転写の程度に留らざるを得なかった。現在ではコンピュータとその利用技術が発展をとげ 広い応用の道がひらけつつある。コンピュータを使うか否かで 仕事の能率に大きな差が生ずるように思われる。

坑井情報のコンピュータ処理で最大の障壁は 数値データの作成とファイル管理にある。ソフトウェア・システムは ある程度の汎用性のあるものを作り要求に応じて機能を増強してゆけばよい。SIGMA の坑井システムは その基礎として十分な能力をもっている。永続的な数値データの作成とファイル管理は 研究課題として長期的に発展させるべきである。

坑井は 石油 石炭 金属 地熱 水資源 土木とさまざまな目的で掘られている。したがって 得られる情報もそれぞれ異なっている。しかし情報処理の立場からは共通するところが大部分である。利用する立場からは 掘削の目的にかかわらず 利用できるデータ

はすべて利用したい欲求がある。SIGMA では地熱井を当面の目標としている。これからは 異なる分野の間における交流や分野を越えた統合化が検討課題となる。

## 参考文献

- 花岡尚之 矢野雄策 津宏治 浦井稔 仲澤敏 佐藤功 小川克郎 (1982): 地熱情報データベース・システムについて 地質ニュース第335号p. 33-41.
- 仲澤敏 村岡洋文 矢野雄策 (1983): 坑井データベース 地熱情報データベース・システム・データベース・フォーマット(その2)地質調査所内部資料.
- 西祐司 矢野雄策 仲澤敏 小川克郎 花岡尚之 村田泰章 津宏治 (1984): アトラス作成システム GATLASについて 地質ニュース 第353号 p. 7-18.
- 栃本泰浩 森島和之 森邦夫 (1983): パソコン利用による地質ボーリング資料の蓄積とその利用 情報地質No. 8, p. 41-50.
- 矢野雄策 村岡洋文 花岡尚之 小川克郎 (1981): 坑井データベース. 昭和55年度サンシャイン計画研究開発成果中間報告書・地熱探査技術等検証調査そのⅣ・データベース 地質調査所 p. 33-119.
- 矢野雄策 小川克郎 花岡尚之 津宏治 (1981): 坑井地図表示システム. 昭和55年度サンシャイン計画研究開発成果中間報告書・地熱探査技術等検証調査そのⅣ・データベース 地質調査所 p. 163-181.
- 矢野雄策 村岡洋文 (1982 a): 坑井データベース 地熱情報データベース・システム・データベース・フォーマット 地質調査所内部資料.
- 矢野雄策 村岡洋文 (1982 b): 坑井データベース 昭和56年度サンシャイン計画研究開発成果中間報告書・地熱探査技術等検証調査そのⅣ・データベース 地質調査所 p. 29-82.