

# 地質図のコンピュータ処理

花岡 尚之・浦井 稔(物理探査部)・仲澤 敏(元地殻熱部)  
 Naoyuki HANAOKA Minoru URAI Satoshi NAKAZAWA  
 西 裕司・小川 克郎(地殻熱部)  
 Yuji NISHI Katsuro OGAWA

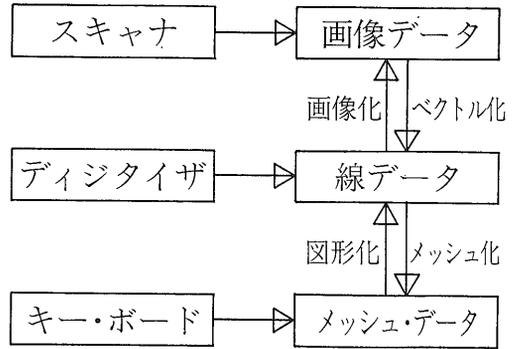
## 1. はじめに

地熱情報データベース・システム<sup>1)</sup>の研究開発の一部として 地質図に表わされた情報をコンピュータで処理することを試みた。その概要を述べるとともに そのなかで知ることのできた基本的な問題について整理して紹介したい。

地質図は 地質情報を表示する形式として最も一般的なものである。色刷りの大版な地質図から研究論文につけた局所的な地質図まで 地質情報の内容にはいろいろなレベルがあるにしる 共通な表示の形式となっている。利用者は 地質図から地質情報を読みとって それぞれの目的のために使っている。地質情報は このほかルート・マップとして表示することもできれば 露頭位置に観察データや分析データをプロットして表わすこともできる。しかし これらの表示形式は 厳密ではあっても全体的・直感的な理解を妨げ 一般的な利用には適さないものである。

地質情報をコンピュータで処理するについても 地質図形式の数値データが一つの標準形式になると考えられる。既製の地質図を数値化することは 科学的には大した進歩ではなく 作り易いかも知れないが値段が高いばかりで意味はない とする考え方もある<sup>2)</sup>。確かに地質学の専門家にとっては コンピュータは生の地質データを貯え 必要に応じて地質モデルを作成して地質図を出力するような地質コンピュータ<sup>3)</sup>であるべきであろう。そのときでも コンピュータの上で作った地質図は これまでの地質図と同じ特性をもつものであって一つの標準形式にとらえて誤りではない。

地質図を数値化することによって 拡大・縮小 座標変換および地質単元の抜き出し 編集などが自由ができる。地質図を表示するためには ペン・プロッタによる模様書き カラー・プロッタによる色刷り およびグラフィック・ディスプレイへの表示などが利用できる。地熱情報データベース・システムの研究では このような編集・表示のために地質図を数値化した面もあるが 本来的には 地質データも地質情報の一つとして 地熱資源評価などにおいて他の探査データと併せて論理演算



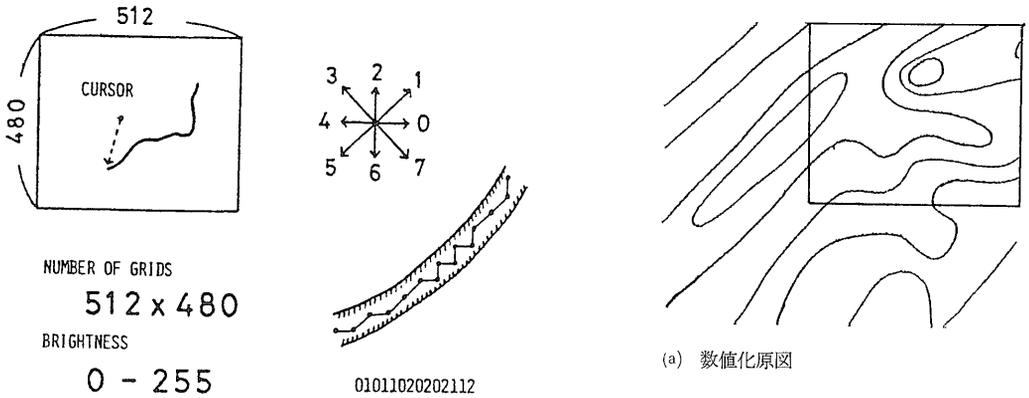
第1図 地質図数値化の方法

を行うことを目的としている。また 処理技術の点では 領域データとしての地質図は 他の地球科学的データと共通するものを要求しており システム開発の一つの目標となっている。

## 2. 地質図の数値化

地質図をコンピュータで扱うためには 数値化しなければならない。地質図には 地質区分のほか 断層 褶曲 走向・傾斜などが地質情報として盛られている。その基図として 地形や地理の情報が目立たない表現で刷り込まれている。地質図の数値化として ここでは おもに地質区分の数値化について述べる。地質情報のなかでも地質区分のような領域(面)の情報と 断層 褶曲のような線情報 および走向・傾斜のような点情報とは それぞれデータ構造が別々に数値的な取り扱いが異なる。

地質区分をコンピュータに入力するとき スキャナによる方法 ディジタイザによる方法 およびキー・ボードによる方法が考えられる(第1図)。スキャナによる方法は テレビのように走査方式で画像を再現するものである。画素を十分に小さくすれば データの量が膨大になるものの 精度の高い地質区分を再現できる。ディジタイザによる方法では 地質区分の境界線の位置を一連の点列の座標値として数値化する。そのとき データを構造化する方法には のちに述べるようないく



第2図 曲線の自動よみとり (井田 1982)

(a) 数値化原因



(b) スキャン・イメージ

第3図 スキャナによる図形の数値化

つかの形式がある。キー・ボードから入力する形式では扱えるデータ量が限られるからメッシュ・データ形式の地質情報の入力が考えられる。メッシュ・データは日本工業規格 (JIS) の標準メッシュ体系などを使い、適当なレベルのメッシュ単位で地質の属性を定義するものである。

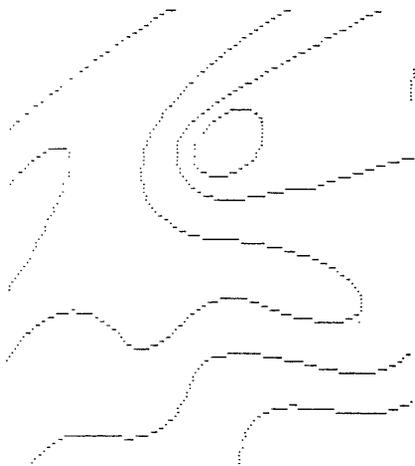
数値化したデータは異なる形式の間で相互に変換することも可能である。画像データは拡大・縮小はできるが座標変換など自由な計算処理には向かないので目的によっては線データに変換 (ベクトル化) した方がよい。線データは少ないデータ量で正確な地質区分を再現できるほか、地質区分の編集などの面でコンピュータ処理に最も向いている。メッシュ・データは線データから演算によって求めることもできる。メッシュ・データは単位が規格化されているから資源評価のように異なるデータの間での関係を解析するのに向いている。

画像データのベクトル化は走査方向に順に並んでいるデータから線に沿う順に座標を選び出す処理である。色刷の完成した地質図では地質区分のほか沢山の情報があつて自動的なベクトル化には向かない。地質区分の境界線だけを抜き出した原版を画像データ化すれば自動的な処理が可能となる。元の画像が白と黒の2つのレベルしかなくても画像データでは画素と線との位置関係で白から黒まであらゆる濃度が発生する。また画素の大きさや線の太さの関係で線の映像が一系列の画素ではなく帯状の画素で表わされることも一般的である。ベクトル化のアルゴリズムはこれらの要素を合理的に解決するものでなければならない。

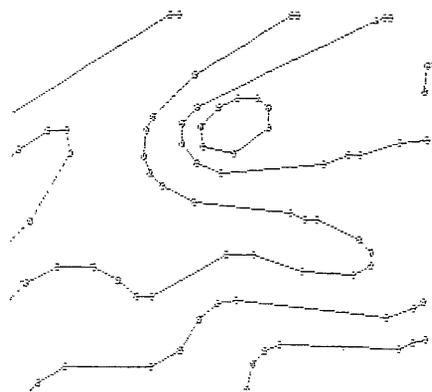
ベクトル化のためにいくつかのアルゴリズムが考えられている。ビデオ・カメラで写したコンター図の画像データに対して始点をカーソルで指示することによ

り曲線を自動的に追跡する試みが報告されている (第2図)<sup>4)</sup>。さらに自動化を進め地質区分の境界線のように線が任意に分岐・会合する図形にも対応できるシステムが実用化されている<sup>5)</sup>。このシステムの場合画像データに対して直接にベクトル化をおこなわず前処理をしている (第3図)。原図形をスキャナで画像化し濃度の適当なしきい値で2値化 (1または0) してスキャン・イメージを得る。これを細線化したのち線をつなぐ論理をつかう。最終的なベクトル・データは折れ線で近似できる範囲まで座標点の数を圧縮して作成する。

メッシュによって地質図を表現するとき表現しようとする最も小さい地質区分の大きさによってメッシュの大きさが決まってくる。沖縄県石垣島の地質図を310m四方のメッシュで処理した例を HANLEY<sup>6)</sup> が述べている。この場合地質図は2700点の座標値で定義した85個のポリゴン (多角形) からなりメッシュ化したとき



(c) 細線化処理



(d) ベクトル化処理

112,000 個のメッシュ・データとなった。メッシュ・データから再現した地質図は、細部の特徴を除けば原図の情報を伝えている。

地熱情報データベース・システムの研究において日本地質図や日本の火山図を数値化したとき<sup>7)</sup> デジタルイザによる方法をとった。数値化の手順は異なるが地質境界線をカーソルで折れ線近似して数値化することは共通である。この方法では地質境界線を追跡するとき人間はパターン認識能力を生かせるのでコンピュータ側の処理の論理は簡単なものですむ。その代り人間は誤るものであるからデバッグ(訂正)に思いのほか人手がかかる。将来の方向としては初めてデータを入力するときスキャナから入力して自動的に線データ化(ベクトル化)し、そのあと更新・編集をおこなうときデジタルイザを使うのがよいであろう。

上に述べたことは原理的な側面であるが、具体的な作  
1984年2月号

業では、原図の歪補正、数値化の精度、緯経度変換などを適切に考えなければならない。日本地質図<sup>7)</sup>の場合原図は100万分の1の縮尺であるが、作業性をあげるため60万分の1に拡大して測定基図とした。その上で精度を0.5mm以内にして数値化した。その結果データの量はポリゴン(多角形)の数で10,900個、座標点の数で375,000点という膨大なものとなった。

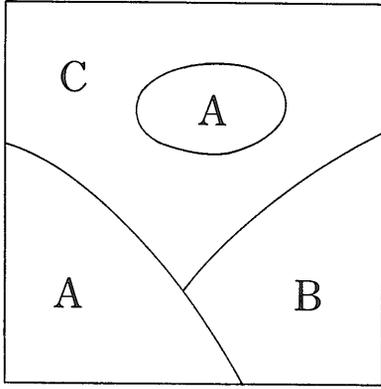
### 3. 数値データのファイル形式

地質図を地質境界線の位置データとして数値化するときのファイル形式について考える。画像データとメッシュ・データはともに画素またはメッシュ・コードの一つ一つに数値または属性が対応するという簡単な形式になっているので論ずるまでもない。

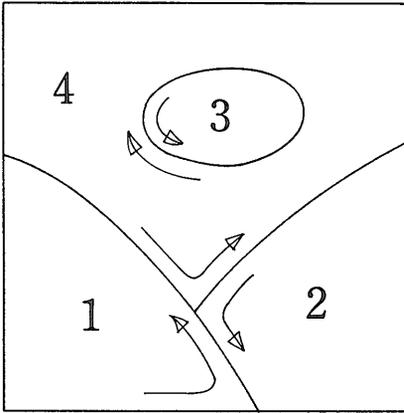
簡単なモデルとして4つの領域に3つの属性が分布する図形をとりあげる(第4図)。この図形を完全に記述する線データを収納するファイルには、基本的には3つの形式がある。ポリゴン(多角形)形式、アーク(弦)形式、およびアーク・セントロイド(内点)形式である。

ポリゴン形式の場合、領域ごとに1つのレコードが発生する。各レコードは領域の番号(AREA#)、属性(ATT)およびポリゴンを右回りか左回りかの一方を順方向として一周する点列の座標からなる。この図形では1から4の4つのレコードで図形の全体が記述される。領域1, 2, および3は順方向に回る1つのポリゴンで定義される。領域4は内に島を含んでいる。このような中抜きのある場合をドーナツ型ポリゴンと呼ぶ。データの並びは外周が順方向、内周は逆方向である。このとき、仮の切れ目を入れて一筆書きのポリゴンとする方法と、複数のポリゴンの組として扱う方法がある。図形を数値化するとき、直接にポリゴン形式が得られるようにすると、隣接の領域で同じ境界線を逆方向に2度数値化することになって、重なりや透き間が生ずる。ポリゴン形式を使って領域を単位とする多くの処理が実行できる。領域ごとに塗色する、模様を描く、面積を計算する、任意に与えた点の内・外を判別するなどがその例である。

アーク形式の場合、レコードはアークを単位として発生する。線が分岐する点を節点(ノード)といい、節点から節点までの線分がアークである。各レコードはアークの番号(ARC#)、属性、およびアークの位置を定義する点列の座標からなる。アークの属性とは、点列の始点から終点に向かって右側の属性(ATT<sub>R</sub>)と左側の属



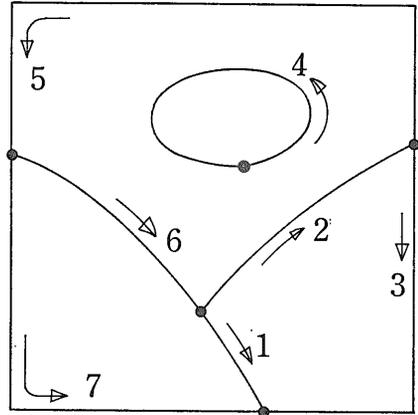
(a) 模式地質図



AREA #	ATT	$(x_i, y_i), i=1, N$
--------	-----	----------------------

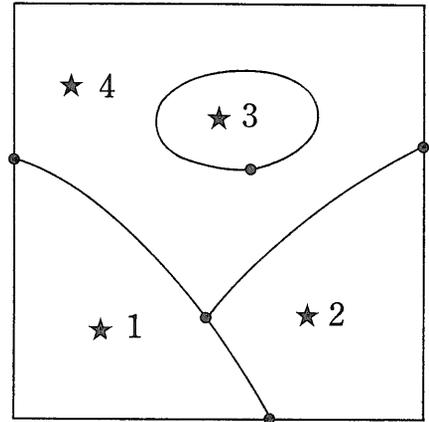
(b) ポリゴン形式

第4図 地質図の基本形ファイル



ARC #	ATTR	ATTL	$(x_i, y_i), i=1, N$
-------	------	------	----------------------

(c) アーク形式



ARC #	$(x_i, y_i), i=1, N$
-------	----------------------

CNT #	ATT	$(x, y)$
-------	-----	----------

(d) アーク・セントロイド形式

性 (AttL) からなり それぞれの領域の番号と属性をいう。たとえば 1 番のアークの右側属性は領域番号 1 と領域属性 A である。左側属性は同じく 2 番と B である。この図形ではレコードの数は 7 となる。アーク形式のファイルは 領域を統廃合するような編集に向いている。領域 2 を 1 に統合するには アークの属性で領域番号が 2 のものをすべて 1 と 1 の属性に置き換え そのあと右側と左側の領域がともに 1 であるアークのレコードを消去すればよい。アーク形式のファイルからポリゴン形式のファイルを編集するには 領域番号ごとに関係するアーク・レコードを集め 始終点の座標の一致をカギとして接続する。最初のアークの向きは今の領域番号が右側か左側かで判断する。アーク形式のファイルを使えば ペン・プロッタに境界線を表示する

とき一つの線は一度描くだけであるから 線のズレは発生しない。また アークの属性によって線の種類を変えることもできる。

アーク・セントロイド形式の場合 ファイルはアーク位置ファイルとセントロイド・ファイルの 2 つからなる。アーク位置ファイルでは アークごとにレコードが発生し アークの番号 (ARC #) と点列の座標が記録される。セントロイド・ファイルでは セントロイドごとにレコードが発生し セントロイドの番号 (CNT #) 領域の属

(a)

AREA #	ATT	(x, y) <sub>CNT</sub>	(POLY #) <sub>i, i=1, N</sub>
--------	-----	-----------------------	-------------------------------

(b)

POLY #	(ARC #, DRC) <sub>i, i=1, N</sub>
--------	-----------------------------------

(c)

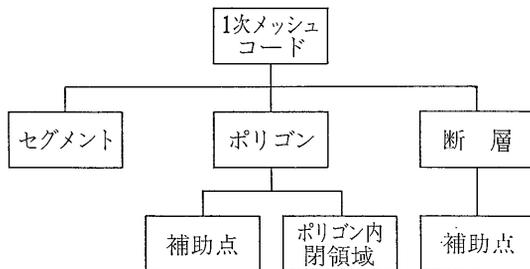
ARC #	AREA #/R	AREA #/L	(x, y) <sub>i, i=1, N</sub>
-------	----------	----------	-----------------------------

第5図 地質図の完全形ファイル

- (a) 領域ファイル
- (b) ポリゴン・ファイル
- (c) アーク・ファイル

性 および点の座標が記録される。 セントロイドのレコード数は 領域の数に等しく 4つである。 アーク・セントロイド形式のファイルは 図形の定義を更新するときに便利である。 アーク・セントロイド形式は上に述べたアーク形式とちがって アークの位置情報と領域の属性情報を分離した様式である。 したがってこの形式では図形の変更をそれぞれの要素に分けて考えられる。 たとえば 属性の分類を細かくして領域を細分するとき まず アーク位置ファイルを更新することだけを考慮して 新しいアークによって領域を分割することに専念できる。 分割が満足いくものになったのち属性の問題でセントロイド・ファイルを更新する。 セントロイドを含まない領域に新しいセントロイドを与え領域ごとに属性を再定義する。

アーク・セントロイド形式からアーク形式とポリゴン形式への変換は つぎの手続きによっておこなう。 アークの交差 相手のない始終点などを前処理したアーク位置ファイルを使って アークの接続関係をアークの始終点の座標から判断し ポリゴンを発見する。 このポリゴンは 単にループとして閉じた点列としての意味がなく 順方向・逆方向の別や領域の属性はわからない。 次にポリゴンに含まれるセントロイドを同定する。 このとき たとえばアーク番号1-6-7のポリゴンにセントロイド1が順方向で含まれ 同じく1-3-2のポリゴンにセントロイド2が順方向で含まれることがわかる。 これによって ポリゴンと領域属性が結びつき アークにつく属性も判明する。 ところが アーク番号2-5-6のポリゴンには2つのセントロイド3と4が順方向で含まれる。 また アーク番号4のポリゴンは2つあって 共にセントロイド3を含むが 一つは順方向 他方は逆方向となる。 この場合 逆方向はドーナツ型ポリゴンの内側であることを示す。 外側のポリゴンとは セントロイド番号3をカギとして関係づけられる。 アーク番号3-7-5のポリゴンは セントロイド1~4をすべて逆



第6図 地質図データベースの構造

方向で含み 外縁を画すことがわかる。

上に述べたように 3つの基本形はそれぞれデータを利用する上で利点をもっている。 特定の利用目的のためには これらを折衷した複合形式もあり得る。 そこで試みに 3つの基本形をすべて含み しかもデータの重複が最も少ない完全形式を考えることができる(第5図)。 これは 上に述べたポリゴン形式に含まれるデータの階層構造を アークのレベルまで分解し 表形式にあらわしたものとも考えることもできる。 領域ファイルは 領域が1つ以上のポリゴンで定義され セントロイドを1つ含んでいることを示している。 ポリゴン・ファイルは ポリゴンが一連のアークを接続の向き(DRC)を考えてつないだものであることを示している。 アーク・ファイルは アークの形を決める点列の座標と右・左の領域番号を記録している。 ここに述べた完全形式は リレーショナル・データベースにおける正規形<sup>9)</sup>に似た考え方である。 ただし 1つの表に1つの概念だけをまとめているが 3つのファイルが必ずしも独立の関係ではないし 可変長のフィールドがあるなど変則的である。 リレーショナル・データベースを使って図形データを管理し 会話的に図形処理をおこなうことが一つの方向ではある<sup>10)</sup>。

#### 4. 地質図データベース

日本地質図<sup>9)</sup>の数值情報をデータベース化することを考えた。 地熱情報データベース・システム SIGMA では 坑井 物理探査 水地化学 変質などの地熱情報をデータベース化している。 これらはすべて2次メッシュ(2.5万分の1地形図の図画)を単位にファイルを構成している。 これに対し 日本地質図は1次メッシュ(20万分の1地勢図の図画)を単位にファイル化した。 日本地質図は縮尺100万分の1の精度であり 局部的な処理をするときでも地方図的な扱いが想定されるからである。

地質図データベースの構造を第6図に示す。これは開発中のもので、最終的には改訂されることもある。

SIGMA で採用しているデータベース管理システムはデータ相互の関係を階層構造として認識する。図に示されているブロックが記録の単位で、最上階に1次メッシュのコードが書かれる。1次メッシュ・コードの下には2つの種類の地質データと断層データがそのメッシュの情報として従属している。ポリゴン・データと断層データはさらに階層化され、補助点データとしてデータ量が大きく変わる位置情報とポリゴンの入れ子情報を従属させている。2種類の地質データは基本形のアーク形式とポリゴン形式に準じたものである。アーク形式はかなり変形してアークをセグメントまで細分したものとした。セグメントは隣接する座標点を結ぶ線分である。

データベースの検索は1次メッシュを単位としておこなう。あらかじめプロジェクト地域や行政地域を1次メッシュの集合として定義しておき、メニューに示される地域名を指定するだけで検索をおこなうようにしている。また、検索対象地域と緯経度や1次メッシュ・コードで指示することもできる。

データベースの更新については1次メッシュを単位に修正済のデータで置き換えることにしている。

## 5. 地質図の表示

地質図の表示は、数値データの利用方法のなかでも基本となる部分である。表示以外では、資源評価や防災などの分野において何らかの評価や予測をおこなうとき、地質図を一つの要素データとして論理演算に使うことが重要な分野になる。これについてはいずれ報告されるであろう。

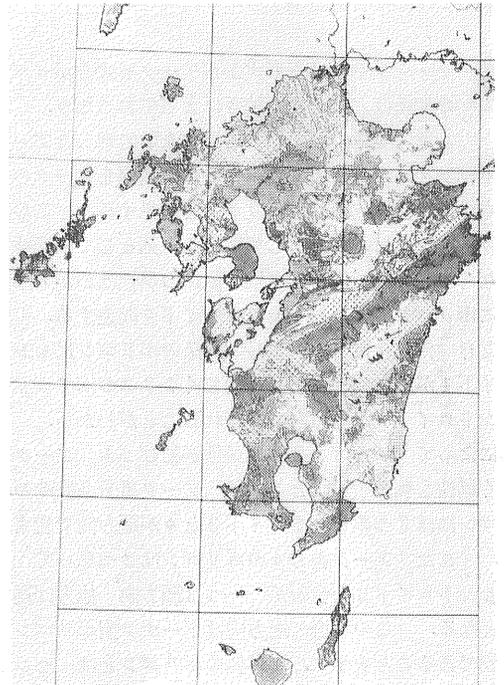
地質図を表示するためにはSIGMA システム<sup>1)</sup>ではグラフィック・ディスプレイ、ペン・プロッタ、およびカラー・インクジェット・プロッタが利用できる。前二者はモノクロまたは1～3色の線画が出力でき、地質区分を模様で表示する。カラー・プロッタは色の塗りつぶしを行うもので、4,000色以上の表現能力がある。模様パターンを併用すれば、印刷の地質図に近いカラー表示が可能である。

ペン・プロッタによって九州の地質図を模様書きした例が第7図である。模様書きルーチンとファイル様式の関係に工夫の余地があって、模様の一部にまだ欠けたところがある。モノクロの線画は印刷や複写の原稿として最も普遍的であり、表示の基礎技術として重要である。ペン・プロッタばかりでなく、静電プロッタ

や日本語ライン・プリンタにも簡単な移植作業で出力ができる。

カラーは表現力が豊かで、人間のパターン認識能力を生かす優れた表示手段である。モノクロにくらべはるかに密度の高い情報を表示できる。平面図のカラー表示は印刷の地質図で馴染みのところである。第8図は九州の地形立体図を塗色したものである。モノクロで濃淡しか再現できていないが、地形と地質の関係は容易にとらえられると思う。カラー表示の弱点は今のところ印刷・複写の技術とのつながりがなく、少ない部数による利用に留まっていることである。

コンピュータによる地質図の表示は上の例のように原図の情報をもとのまま表現を変えて出力することだけに意義があるのではない。むしろ原図の情報をさまざまに編集して表示することに大きな意味がある(第9図)。地熱資源を表示する基図に第四紀の火山岩だけを表わす(情報の抽出)とか、時代別に地質区分を一括して構造区を構成する(情報の統合)などのほか、小縮尺の図面に合わせたデータを作ること(情報の簡略化)にもコンピュータの能力を活用できる。SIGMA システムにおける表示機能は開発中であるが、表示する地質区分と割り当てる模様やカラーを指定できるようにしている。指定方法には日本地質図の凡例にある95種の地質区分



第7図 九州の地質図  
プロッタで模様書きをしたものである。

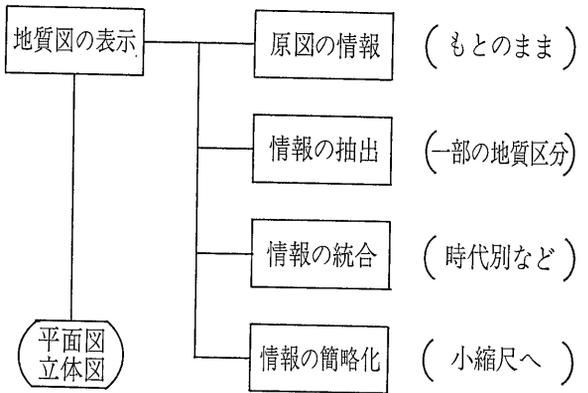
を直接選択する方法と 岩相と時代を指定して表示したい地質区分を特定する方法をとっている。

地質図を数値化すると 地質図の精度について再検討が必要となる。印刷した地質図には縮尺なりの精度があつて 使う方もそれを心得ている。ところが 数値データには縮尺の概念が表向き出てこない。数値データでは 桁数とデータ量が精度を規定するといえる。地質図では 桁数は地質境界線の位置の精度 データ量は地質境界線を折れ線で近似する点の密度に関係する。

地質図の精度とは考えてみれば 境界線の位置 曲線の精緻さ および属性区分の細かさによってきまる。図面では これらの要素に自ずから調和が図られる。ことに線の位置と精緻さの区別はそれほど意識されていない。ところが数値データからすれば 上に見たようにまったく意味がちがう。数値データでは これらの要素ごとに精度を独立に設計できるので よく検討する必要がある。

## 6. おわりに

既製の地質図に表わされた情報をコンピュータの上で利用するという立場から処理システムを考えた。したがって 地質図の数値化 ファイルの様式が大きな関心事となった。もっと全体的に 地質情報のコンピュータ処理ということでは 野外や実験室で得た事実としてのデータから始まって 地質モデルの作成 地質図の出力までの部分に重要性がある。手足をもった人工知能



第9図 地質図の表示編集

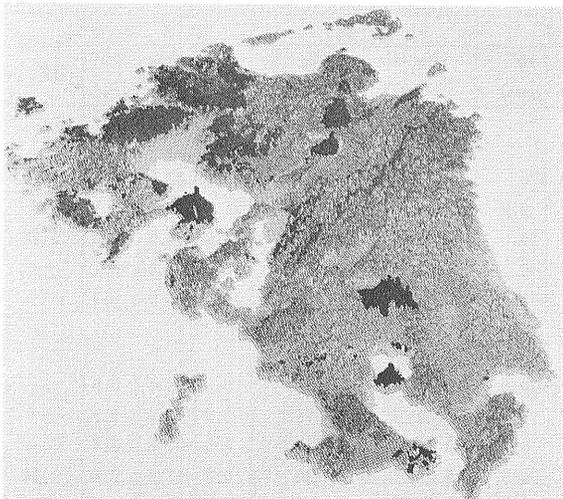
に まだまだ沢山の仕事をさせることができるようである。

## 謝 辞

地質図数値データのコンピュータ処理を試みるにあたって 地質部の山田直利課長から細部にわたり御指導をいただいた。

## 文 献

- 1)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 335号 p. 33-41.
- 2)BIE, S. W. (1976): New methodologies for geological surveys. Computers & Geosciences, v. 2, p. 341-344.
- 3)JEFFERY, K. G. and GILL, E. M. (1976): The geological Computer. Computers & Geosciences, v. 2, p. 347-349.
- 4)井田喜明 (1982): 地形図自動よみとり装置の開発. 地震 2 輯 35巻 p. 557-565.
- 5)図形情報自動入力・編集システム. 朝日航洋, 17p.
- 6)HANLEY, J. T. (1982): The graphic cell method: A new look at digitizing geologic maps. Computers & Geosciences, v. 8 p. 149-161.
- 7)仲澤 敏 (1983): 火山分布図・地質図のデジタル化とファイル構造 (要旨). 地調月報 v. 34 p. 54-55.
- 8)山田直利・寺岡易司・秦 光男ほか編 (1982): 100万分の1地質図. 日本地質アトラス p. 3-19 22-25 地質調査所
- 9)チェンパレン D. D. (1977): 関係モデルによるデータベース管理システム. 日経エレクトロニクス 1977年7月11日号 p. 102-129.
- 10)桑原啓治 (1979): 画像データベースへの関係モデルの応用が進む 点や線 面の関係を表形式に表現. 日経エレクトロニクス 1979年2月19日号 p. 56-71.



第8図 九州の立体地質図  
カラー・インクジェット・プロッタによる出力である。