

# 地圏環境情報データベース・システムの 開発と地下構造の可視化

古宇田亮一<sup>1)</sup>・宮島 繁<sup>2)</sup>・中井仁彦<sup>3)</sup>・桜井英行<sup>4)</sup>・原田芳金<sup>5)</sup>

## 1. はじめに

廃棄物の地層処分を含む広い意味での地下利用のためには、地下の多量な情報を処理・解析する必要がある(古宇田, 1981, 1984, 1990; 升本ほか, 1994)。一般に、実験室で得られる情報と異なって、自然界の中で収集される情報には欠落部分が多い。地下は、流体も含むが岩石を主な構成成分とするため簡単に見ることができない。地下を主対象とする地圏環境情報は、容易には計測できず、必須情報でも欠落する部分が多い。地下の情報は、直接的に物質を調査できるボーリングによる方法や、弾性波・電磁波・磁気・電気等による間接的推定の他、詳細に判明する表層地質学的情報を用いたモデル化による推定等によって得られている。ボーリングによる方法や弾性波探査等は費用もかかり、ごく限定された局所的なことしか分からないので、地圏環境情報のかなり多くが、表層地質情報によるモデルから構成されているのが実情である。

地圏環境情報の利用可能性を高めて、地下の開発と利用に役立てるため、大量情報を利用可能にする高度なデータベース・システムと、地下構造を様々な角度から解析する道具としての可視化システムが緊急かつ、不可欠な課題である(朝日, 1994; 岩崎ほか, 1994; 古宇田, 1992, 1994; 村上, 1994; 野呂, 1994; Saito et al., 1994; 坂本ほか, 1994; 佐野ほか, 1996; 横田, 1994)。地質調査所では地質環境情報可視画像化の研究を平成2年度から平成4年度まで基礎的に実施し、また、通商産業省資源エネルギー庁でも、可視画像化に関する調査を続けてい

る。主に、地質調査所で実施された研究をもとに、地下構造可視化のための新しいデータベース・システムの概念と、可視化のための方法に関して、御紹介したい。

## 2. 三次元的空間に分布する情報のデータベース化

可視化が困難な地下の情報を収集・推定して、計算機で処理するためには、三つの問題が指摘できる。第一に、地下情報は空間的に不完全な分布の情報しか得られないことが多く、第二に、データの種類の多岐にわたり、第三に、時系列情報が得にくい。地下空間の情報は、データの質と形式の分散が著しく、分布密度が不規則な離散的なものが多い。データ分布の離散の度合は著しく、系統的なデータ取得が難しい。

地下情報のコストと量を度外視するなら、一定の分解能で、CTスキャンのように均質な三次元空間的情報を得るのが望ましいであろう(濱田, 1996; 正路, 1996)。しかし、実現には多くの困難がある。三次元地震探査法や三次元トモグラフィは、望ましいデータの一部を得る手法であっても、コスト的に高価なため適用範囲が狭められる。ボーリング・データや地表測線に沿ったデータ収集は、空間的範囲を拡大できるが、離散化も著しく、また、コスト的にも高価につくため、限定的にしか使用できないのが実情である。

地下情報を計算機処理するためには、次の手法が普通であろう。まず、詳細に分かる表面的データを

1) 地質調査所 国際協力室

2) (株) 日環協

3) (株) 情報数理研究所

4) (株) 清水建設

5) (財) 原子力環境整備センター

キーワード: 地圏環境, データベース, 地下構造, 可視化, 自己参照レコード, CFI, FACE

広範囲に求め、重力・磁力・電気等の物理探査やボーリングによる地下情報を組み合わせる。また、地下空間のモデル化を豊富にして、情報の少ない地域における地下空間推定の確度を向上する。少ない時系列データの欠を補うためシミュレーションの精度を向上し、補強することで、確度を上げる。この他にも多様な手法が考えられる。

各種の手法を適用する上で、異なる目的で、異なる情報取得者が、異なる条件下に取得したさまざまなデータセットを、どのように組み合わせ、データベース化して利用・運用するかが、大きな問題である。このため、利用できるデータを適切に選択する必要がある。その前に、多くの異なるデータセットを整理して利用可能化する必要もある。地下情報を計算機処理するために、多種データセットを利用できるデータベース・システムを開発して解決することが求められるゆえんである。データベースと自称するものは数多く出ているが、実際には各種のデータを集めたデータセットに留まり、データベースの機能が利用できていないものが多い。データセットを提供するだけでは、データベースとは言えない。データベース・システムはデータを利用・運用するためのソフトウェアである。データベースには、可視化技術や、格段に発展してきたデータベース理論を含むことが望ましい。データセットとデータベースには、明確な区別が必要である。

### 3. 各種データセット活用の戦略

地下情報としては、石油・天然ガスや、石炭・鉬資源探査のための地質・地球物理・地球化学データが数多く収集されており、近年は、地熱や建設、環境調査のデータも数多く蓄積されている。これらのデータは、それぞれ異なる目的で収集されることが普通であり、異なる実施体がそれぞれの形式により記録するため、データ形式の統一が容易ではない。データセットとしてまとまったものもあり、データごとにバラバラなものもある。また、データが同一形式でもデータ取得時期が異なれば、取扱いを変える必要のあるものもある。様々な利用目的に対して、既存のデータセットの組み込みと、新しいデータセットの構成の双方を満足するには、データ形式を高度化する必要がある。

これまで、データ形式を統一するため、様々な方式が提案されている。例えば、画像情報に対しては、情報処理学会の形式等があり、また、各種衛星センサのデータについては、概略同じ内容のヘッダがついている(宇宙開発事業団, 1983)。衛星センサのデータの並び順については、4通りほど代表的なものがある。ただし、ヘッダの並びは、データを見るだけではわからないため、マニュアル書が必要とされる。ファイルの中身も、テキスト形式とバイナリ形式が混在している。古いものでは1バイト単位の画素データからなっていたが、最近では、2バイト単位や、4バイト単位のものがあり、どうしても、マニュアル書が必要になる。平面的な分布情報を重ねる地理情報システム(GIS)をみても、その基になるポリゴン・データの形式は多様であり、Digital Line Graphの形式で記述されるもの、商用GIS形式、DXF、バイナリ等、いろいろなものがあって、一般的なインターフェースは統一されていない。三次元的な分布の情報に対しては、一般的なものも少ない(山根ほか, 1994)。

地下情報に関係するデータに、あらかじめ一定の形式を強制すれば全て統一できるかもしれないが、これは事実上困難である。既存データは、既に膨大な量が蓄積されており、単にデータベースの形式を統一するためにだけ、並べ替えを行うのは、煩雑な作業となる。統一形式を指定しても、それが確実に流通できる保証はない。一般に、データは目的に合致した方法で並べられることが多く、多様で異なる目的に対して、一定の統一形式を与えることは難しいし、受け入れられることが少ない。また、データを利用するソフトウェアは、既存のものはかなり蓄積されているために、データ形式を統一しても、使えるソフトまで限定されては、逆に、普及しなくなるであろう。すなわち、統一された形式は、一つのソフトの中、または目的を限定したデータセットの中でしか有効でないことが多い。従って、統一形式でデータセット間の統合と流通を図ることは、事実上困難である。

それでは、どのように異なるデータセットをデータベース化すべきであろうか。データの収集に次のような段階を設けることが考えられる。

①既存デジタルデータの収集：中身も配列も変更せずそのまま収集し、関連するマニュアル書や取

扱説明書も一緒に集める。

②既存データのデータ構造をマニュアル書に従って解析し、データ配列が表形式に解釈しうる場合は、レコードを追加して内容(属性)の説明を与え、自己参照的な表形式にする。

③表形式への解釈が不可能なデータについては、データ分割を行い、表形式になるまで分割してから、②の処理を行う。

④これからデジタル化するデータについては、あらかじめ②の説明レコードを付けて自己参照的な表形式で入力する。

データ収集にこのような段階を設けるのは、既存のデータをできるだけそのまま残すことを狙うためである。一般にデータ・ファイルとファイル内容を記述したマニュアルは、大量になるにつれて、散逸しやすく、データ・ファイル内容が必ずしも見易くない問題があるので、②の処理が必要不可欠である。

#### 4. 表形式データセットと自己参照用説明レコード

多くの形式を持つデータセットを、単純で、かつ実用的な表形式に変換し、自己参照的なファイルに構成することは、次のようなメリットと意義を持つ。

(1) 膨大で複雑、多岐にわたるデータセットを共通に扱うためには、共通な規約が必要である。

(2) ファイル・インタフェーシングで発生が予想される問題を解決する。

①データ独立性を保持して統合化する時、アプリケーションに対するデータ入出力インタフェースを可視化する。

②インタフェーシングの処理に関するファイルとレコードの操作を共通化する。

(3) 共通化はハードウェアにも、個々のソフトウェアにもよらない。

(4) 広範な用途に対応する。

①アプリケーションソフトウェアのデータ構造から独立した開発を可能とする。

②ハードウェアの違いを吸収する。

③多くのファイルを統合し易い。

④ファイル構成の自由度を大きくする。

⑤頻繁な仕様変更や拡張に柔軟に対応し、ファイ

ル情報伝達を滑らかにする。仕様の改版におけるデータ構造等の変更に対応する。古いデータセットも扱う。

⑥ユーザー・インタフェースを共通化する。

⑦一般的な市販エディタまたはワープロ、表計算ソフト、データベース・ソフト等から簡易に利用するデータセットを作る。

⑧データ変換によって、容量の問題は別として、環境によらずに同一データ・同一仕様で扱う。

(5) 自由度の高い、フラットな表からなり、自己参照的内容を持つ。

①フィールドの数、構成と順序、名前の付け方、単位等は、原則として、作成者が決め、決め方をファイルの中に明示する。

②自己参照的内容によって作成者の意図を伝え易く、変更・拡張がわかり易い。

既存ファイルがどのようなフォーマット形式を備えていようと、自己参照用説明レコードを付けて表形式化すれば、ここに述べられた共通化が可能である。このようにして表形式化された自己参照型ファイル形式を共通ファイル・インタフェース(CFI: Common File Interface)と呼ぶことにする(古宇田, 1992, 1994; Kouda, 1994)。CFIフォーマットの概略は、以下のようになる。

①CFIフォーマットは、自己参照的にデータ構造が理解できる論理的仕様である。

②ファイルは表を複数含む。

③表はレコードからなる。

④レコードはフィールドからなる。

⑤表のレコードはレコード区切り記号(<R>)で区切られる。

⑥レコードはフィールドからなり、フィールドはフィールド区切り記号(<T>)で区切られる。

⑦表の第1レコードは、予約記号定義、標題、作成年月日等のフィールドからなる。

⑧表の第2レコードは各フィールド項目のフィールド名(属性名)を定義する特別のレコードである。

⑨表の第3レコード以下に第2レコードの各フィールド項目に対応するフィールド値(Entity)が入る。

⑩第3レコード以下におけるフィールドの繰返しを定義できる。第2レコードの属性名定義において、繰返し部分の先頭フィールドの始めに繰返し記号<P>を付加することで示す。<P>は{|(中

第1表 一般的で単純な表

(単純な表)				
第1レコード	標題	<T>	年月日	<R>
第2レコード	フィールド名	<T>	フィールド名	<T> . . . <T> フィールド名 <R>
第3レコード	フィールド値	<T>	フィールド値	<T> . . . <T> フィールド値 <R>
第4レコード	フィールド値	<T>	フィールド値	<T> . . . <T> フィールド値 <R>
	.		.	.
最終レコード	フィールド値	<T>	フィールド値	<T> . . . <T> フィールド値 <R><R>
	.		.	.
(別な表)				
	.		.	.

第2表 複数ファイルにまたがる表

(継続する表)				
第1レコード	標題	<T>	年月日	<T>
			CONTINUED FROM [FORMER FILE]	<T>
			CONTINUED TO [NEXT FILE]	<R>
第2レコード	フィールド名	<T>	フィールド名	<T> . . . <T> フィールド名 <R>
第3レコード	フィールド値	<T>	フィールド値	<T> . . . <T> フィールド値 <R>
第4レコード	フィールド値	<T>	フィールド値	<T> . . . <T> フィールド値 <R>
	.		.	.
最終レコード	フィールド値	<T>	フィールド値	<T> . . . <T> フィールド値 <R><R>

括弧)で示されることが多い。

- ⑪1レコードに許される繰り返しは1通りのみであり、繰り返しの終わりは必ずレコード終端になる。
- ⑫空のフィールドは一つ前のレコードの同位置のフィールド値と同じ値をとる。
- ⑬フィールド値の欠如は陽にデータ欠如記号(<>)で示す。
- ⑭表の終わりはレコード区切り記号が連続する(<R><R>)。
- ⑮表が二つのファイルに跨る時は、第1レコードにそれを明記する。
- ⑯バイナリ・コードはバイナリ・コード開始記号<B>により定義され、フィールドの中に挿入できる。
- ⑰各予約記号<R><T><B><P><->は表の先頭レコードの第1文字に&を置き、&に続く定義で決めることができる。

## 5. 表形式自己参照レコードの具体例

以下に具体例をいくつかあげて、自己参照の形式を詳述する。

### (1) 一般的な表の例

CFIフォーマットによる単純で一般的な表は、第1

表のようになる。ここで、<>に区切られた英字は予約記号を表し、<T>はフィールド区切り、<R>はレコード区切りである。一つの表は、<R><R>で区切られている。

### (2) 複数ファイルの表

表が複数のファイルにまたがるときは、第2表のように定義できる。

### (3) 地圏環境情報の自己参照レコード

地圏環境情報で具体的に用いる地下構造データセットの自己参照のための第2レコードは、第3表のようになる。始めに第1レコードの題名を付し、第2レコードを縦方向に記述する。

### (4) 属性値データ表の自己参照レコード

地下の三次元的構造を明らかにするためには、地質断面図間の関係のデータセットが必要である。共通ファイル記述形式(CFIファイル)に基づき、データ表の種類を、属性値データ・線分・関係の3種類に分ける。頻繁に用いられる図面上の属性値に対応するデータの第2レコード(参照レコード)の配列は、第4表のように自己参照的に構成できる。第4表の中で↑は上に同じという意味である。

### (5) 線分データ表の自己参照レコード配列

境界線や断層等の線は第5表のような形式でよい。ここで、分類とは、活断層境界、断層境界(正断層、逆断層、右ずれ、左ずれ)、貫入境界、堆積境界(整

第3表 自己参照レコード(表の第2レコード)の一般的構成

ID <T>	ORN <T>	SUB <T>	AUX <T>	X <T>	Y <T>	Z <T>	ATRB_1 <T>... <T>	ATRB_n <R>
但し、<T>	Field separator	フィールド分離記号						
<R>	Record separator	レコード分離記号						
ID	Index number for record	レコード索引番号						
ORN	Offset record number	レコード枝番号						
SUB	Subsidiary record index	副レコード索引						
AUX	Auxiliary record index	補助レコード索引						
X	Longitude	経度						
Y	Latitude	緯度						
Z	Vertical depth	高度・深度						
ATRB	Attribute	属性						

第4表 属性値入力のための自己参照レコード

→	(点データ)	(地質区分)	(露頭)	(走行傾斜)	(物性)	(要素)
ID	点のID	区分番号	露頭番号	位置番号	位置番号	要素番号
ORN	ルート枝番	ルート枝番	ルート枝番	ルート枝番	ルート枝番	ルート枝番
SUB	同一点ID 内区分番号	同一区分番号 内区分番号	同一露頭番号 内区分番号	同一位置番号 内区分番号	同一位置番号 内区分番号	同一要素番号 内区分番号
AUX	補助ID	補助ID	補助ID	補助ID	補助ID	補助ID
X	経度	代表経度	経度	経度	経度	代表経度
Y	緯度	代表緯度	緯度	緯度	緯度	代表緯度
Z	高度・深度	代表高度 ・深度	高度・深度	高度・深度	高度・深度	代表高度 ・深度
ATRB	区分番号	区分記号	地層岩体	地層岩体	地層岩体	地層岩体
↑	区分名	区分名	走行	走行	密度	歪
↑	色相	紀名	傾斜	傾斜	弾性係数	応力
↑	彩度	世名	ソノ <sup>o</sup> 有無		ポアソン比	その他
↑	強度	累層群名	構成岩石		粘着力	
↑	その他	地層岩体	その他		内部摩擦	
↑		放射年代			垂直ばね	
↑		構成岩石			水平ばね	
↑		その他			その他	

→ (各第1レコード), ↑ (上に同じという意味で、規約によって、実際には何も入らない)

第5表 線分の自己参照レコード

(第1レコード→)	(区分線分)
ID	線分ID
ORN	ルート枝番
SUB	分類
AUX	確度
{X	{経度
Y	緯度
Z}	高度}

合, 不整合, 非整合); 確度は, 確認, 推定, であらめか? などとする内容が入る. 記号}の次からデータが繰り返される. 終了はレコード区切り記号.

(6) 関係データ表の自己参照レコード

例えば, 断面図間の境界線の関係性を記述するには, 関係データ表を参照する. フィールド項目によって, 物性データ表や面関係データ表, 区分領域データ表, 地質体データ表も定義する. 境界線同士の関係や, 地層面の関係を構成するためには, 第6表のように境界の内部と外部を定義する必要がある. ここに, 外部とは, 正面, 表側, 上, 左等を意味し, 内部とは, 反面, 裏側, 下, 右等を意味する.

(7) 繰り返し表記の改善と処理

CFIフォーマットの原則は, データ値部分が簡明で分かりやすいこと, 従って, 余分な記号が入りこむことをできるだけ排除することにある. 余分な記号や, 正規化されていない(正規化から遠い)表ほど, データ利用上, 問題が発生し, 表としても見にくい. CFIフォーマットでは, 繰り返しデータを正規化に近づけるため, 繰り返しの行を増やすことで実用化している. 真の正規化は, 表を複数化することで達成されるので, その場合は, 繰り返しの記号}を排除できる. 実用的な多次元データの繰り返しについて二つの方法がある.

第6表 関係のための自己参照レコード

(第1レコード→)	(表内境界線関係)	(表間面関係)	(表内区分領域)	(表間地質体)
ID	境界線 ID	面 ID	領域 ID	地質体 ID
ORN	レコード枝番	レコード枝番	レコード枝番	レコード枝番
SUB	内部区分番号	内部区分番号	内部区分番号	内部区分番号
AUX	外部区分番号	外部区分番号	外部区分番号	外部区分番号
X	内部位置経度	内部位置経度	内部位置経度	内部位置経度
Y	内部位置緯度	内部位置緯度	内部位置緯度	内部位置緯度
Z	内部位置高度 ・深度	内部位置高度 ・深度	内部位置高度 ・深度	内部位置高度・深度
{File_name number	区分線分表名 {区分線分 ID	{境界線関係表名 境界線 ID	区分線分表名, 又は, 各 {境界線関係表名 {区分線分 ID	{面関係 面・領域 ID

第7表 属性説明レコード

①第1フィールド<T>・・・<T> { x<T>y<T>z<R>
②第1フィールド<T>・・・<T>x <sub>1</sub> <T>y <sub>1</sub> <T>z <sub>1</sub> <T>x <sub>2</sub> <T>y <sub>2</sub> <T>z <sub>2</sub> <T>・・・<T>x <sub>n</sub> <T>y <sub>n</sub> <T>z <sub>n</sub> <R>
③第1フィールド<T>・・・<T>座標記号 (x, y, z)<T> {データ値<R>
④第1フィールド<T>・・・<T>座標記号 (x, y, z)の中の一つ <T> {左のデータの繰り返し<R>
⑤第1フィールド<T>・・・ 第2フィールド(何も入らない空エンタリー) <T>・・・<T>y<T>y <sub>1</sub> <T>y <sub>2</sub> <T>・・・<T>y <sub>n</sub> <R> 第3フィールド(同上の空エンタリー) <T>・・・<T>z<T>z <sub>1</sub> <T>z <sub>2</sub> <T>・・・<T>z <sub>n</sub> <R>
⑥第1フィールド<T>・・・<T>P2(内) <T>P1;P3(外) <T>・・・<T>L <sub>1</sub> <T>・・・<T>L <sub>2</sub> <T>・・・<R>
⑦第1フィールド<T>・・・<T>内領域 ID <T>外領域 ID <T>・・・<T> {データ列<R>
⑧第1フィールド<T>・・・<T> P2 <T> P1 <T>・・・<T> {データ列<R> 第1フィールド<T>・・・<T> P2 <T> P3 <T>・・・<T> {データ列<R>

[方法1] 属性説明レコード(第2レコード)を第7表の①のようにする。

中括弧{が現れたところから、<R>までを繰り返す。実データレコード(第3レコード以下)は第7表の②のようになり、(x,y,z)の組の繰り返しがn回実現できる。この表は、正規化から最も遠い表で、データベースの扱いがむずかしくなる。

[方法2] 第7表の②の代わりに、属性説明レコード(第2レコード)を第7表の③のようにする。中括弧{で示される繰り返しの属性説明を一フィールドのみに限定できる。このレコードは、第7表の④のように表記の方がよい。<R>直前まで、フィールドで選択された(x,y,z)の中の一つの座標値データが繰り返される。属性説明レコードは、できる限り詳細に記入すべきである。

実データレコード(第3レコード以下)は第7表の⑤のようになる。座標記号 x, y, z が現れるまでのフィールドは、繰り返しの最初の行以下は空白フィールドとなる。つまり、同一フィールド値が入る。これは、一見、行数が3倍になったように見える。しかし、実際には、[繰り返す直前までのフィールド数+1] × [次元数-1] のバイト数分だけファイルが大きくなるだけであり、実質的には大差ない。

繰り返しデータの表記としては、[方法2] が正規化一歩手前であり、すぐれている。しかも、このまま、表計算ソフトや、多次元データ・グラフ化ソフトによって図化できる。従って、できる限り、[方法2] を採用すべきである。[方法1] は正規形の考え方が理解しにくい場合や、既存データに多い方式をそのままとり入れるための便法として考案され

た、ソフトウェアによっては、[方法1] を取る場合もある。データベース側は、[方法1] と [方法2] の相互変換マクロを用意することが必要である。

繰り返しデータは、最終的には正規化されてからデータベースに入る。正規化への処理をできるだけスムーズに行うために、繰り返し部分を1フィールドにおさえることが有用である。そのため、繰り返しのフィールド項目を記入するフィールドを設定し、多次元データを、次元と同じ数のレコードにおさめる。

(8) 区分領域の自己参照レコード

区分領域の表は既存データが多いとは思えないので、繰り返しにおける[方法2]をとるべきである。第1図のような、くり抜きのannularを表現する時、方法が問題である。

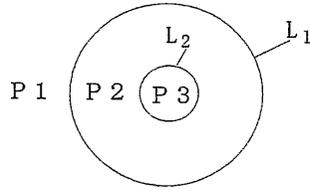
[推薦できない方法]

属性説明レコードに特殊な記号法を作り、第7表の⑥のように、あらかじめ第1レコードで説明しておく。記号;や記号,を直接データ値そのものに埋めこむと、データ構造を見にくくし、正規化に障害になる。また、反復データ表記を複雑・困難にする。

[推薦できる方法]

属性説明レコードは他の閉領域フォーマットと同一で、第7表の⑦のようになる。実データレコードにおいて、外をP1とP3の2つに分けると、第7表の③のようになる。もし説明が必要なら、P1: Annularの外、P3: Annularの内、のようにフィールドに記入してもよい。P2という区分領域は、第2図のように2つのレコードの積(∩)をとる。実際には、内部記号(P2)が一致するものは、全て同じ区分領域を構成するはずとしても、P1, P2, P3を凡例表からひくため、annularを構成しないことがある。その時、ひとかたまりの区分領域を構成していることを示すために、IDを同じにする。

同じ区分領域を示す場合は、IDとSUB-IDは同じで、補助(AuxiliaryID)で制御する。つまり、補助ID



第1図 くりぬき領域における定義

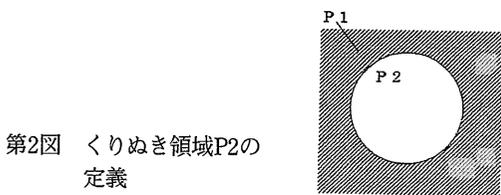
(外部領域ID)を変更することで内と外を区別する。例えば、P1: OUTSIDEやP3: INSIDEのように明示する。枝番号では区別しない。

同じデータ群であることを示すために、IDとSUB-IDは同一とする。(x,y,z)のような単なる座標軸では、繰り返しのフィールド項目に記入すればよい。区分領域では、(x,y,z)が既に用いられているので、色々な形のデータを一つのフォーマットに統一するため、補助ID (auxiliary ID)を用いて識別する。

実際に地下構造に関する様々なデータを入力し、可視化に用いて使った結果、この方式の実用性が検証できた(宮島ほか, 1994; Miyajima et al.,1994; Namba et al., 1994)。

6. 図面データのデジタル化と編集

地圏環境情報の多くは図面の形態で表現されている。あるいは、図面化することで解析やモデル化が容易になる(鈴木ほか, 1996)。データをデジタル化すれば、計算機による高速で多量の処理が可能となるが、地球科学情報の図面データの多くは紙の上に描かれたままのことが多く、取扱上の課題がある。例えば、地質断面図は、地質家により修正を頻繁に加えながら作成されることが多く、一般には、地質図同様、製図された形で存在する。また、地球科学では、変動する自然界のデータを収集しているため、データ取得時期が古いからと言って、使用しないで済むとは限らない。むしろ、過去に取られたデータを使わざるを得ないこともしばしばある。



第2図 くりぬき領域P2の定義

(白い部分がP2)

例えば、岩石試料は風化変質しやすいため、岩石物性値を取得してから長い年月を経て、同一の試料からデータを同一基準で取り出しにくいことがある。データの意味が変わってしまう場合がある。過去のデータには、ペンレコーダーによる紙の出力しかないことが多く、それを大量かつ迅速に処理するとすると、計算機の助けが必要で、データのデジタル化が必要になる。

図面データを、流通しやすい形でデジタル化し、その校正チェックも精度良く行うため、地球科学情報の図面的なデータの入力・編集ソフトウェアを作成した(古宇田ほか, 1996)。この、図面データを入力・編集するプログラム開発をプロジェクトFACEと名付け、作成されたソフトウェアをFACEと呼んでいる。FACEの設計上、考慮すべき課題として以下が列挙された。

①地質図はUTM等の投影に基づいて描かれた地形図上に製図されることが多い。デジタル入力したときに、緯度・経度と異なる座標になる。基礎データを緯度・経度で入力することに決めた場合は、ファイル集録時に、投影の逆変換をかける。また、正方座標系データを投影法により変換して出力する。

②地質断面図は、各断面が交差する位置(交差線)でしばしば境界線が一致しないことがある。FACEでは、画面上で複数断面図と交差線を表示し、交差線上の不一致を修正する。

③地質断面図と地質平面図に表示される境界線の分類や相違を関係づける境界線分関係を表示画面上のマウス操作で指定し、境界線分関係データ表に保存する。

④大きな図面をデジタル入力した後、修正をかけるため、スキャナ入力データを同時重ね合わせ表示する。ただし、スキャナ入力機能は持たない。一般には、スキャナ入力画像の方が、線画であるFACEの図形範囲よりも小さいと思われる。しかし、FACEの図形範囲からはずれていたたり、大きい場合もありうる。それに対応する。同時重ね合わせ表示する時、図形全体のずれを修正するため、ベクター図形側を回転し、また、各座標軸別々に縮小・拡大する。この操作は、局所的に実施するので、スキャナ入力した画面全体の歪みが局所的に異なっている場合でも、修正が適切に行える。

⑤スキャナ入力データのようなラスタ型データと

ベクター型のFACEの図形を同時表示、かつ、位置的に重ね合わせて修正を図るために、ラスタ型とベクター型の同時拡大・縮小機能を持つ。

⑥スキャナ入力データのみからマウス操作で線画のFACE図形を入力する。この結果、スキャナさえあれば、デジタル化を必要としない入力が可能である。ただし、画像の回転や歪みを修正するために、あらかじめ、スキャナ入力時に指標となる座標線を描いておく。スキャナ入力時にできるだけ正方座標に沿った入力できれば、修正操作が簡略化し、歪み効果も少なくなる。

⑦境界線で分けられた領域内を、指定した凡例データ表の数値に従った色指定データ表により、塗り分ける。塗り分けた色を修正し、色指定データ表を書き換える。

⑧FACEの図形は、表形式のファイルに保存され、データ表そのものは、表計算ソフトウェアで表示することもできる。FACEで使用する表は、境界線分表、スキャナ入力表、その他のラスタ表(別ファイルが普通)、境界線分関係表、領域区分表、凡例表、色指定表であり、別々のファイルに入っている。

FACEは、パーソナルコンピュータ上で、第8表～第10表にあるような仕様を満足するように設計された。FACEの操作は、正しい数値を表に入力するためのグラフィカルな操作である。入力作業は、地図投影のない正規座標系の図形、複数の地質断面図と、地図投影のある地質平面図を主たる対象として実施されている。

## 7. FACE図出力例

FACEを用いて実際に断面図を入力した例を示す。第3図は、境界線分の入力と修正の表示である。マウス操作で、一部拡大しつつ、表示点の位置を修正できる。これには、スキャナで図面を入力することも可能であり、デジタル化の入力を修正・編集できる他、デジタル化なしの入力・編集も可能である。第4図は複数の交差する断面図の修正・編集作業の状態である。この場合、複数断面の交差する状態において、境界線分で分けられた領域を塗り分けて三次元的な鳥瞰図表示ができる。視点変更により、色々な角度から断層等の境界線を検討すること

第8表 FACEの仕様1：入力とファイル操作

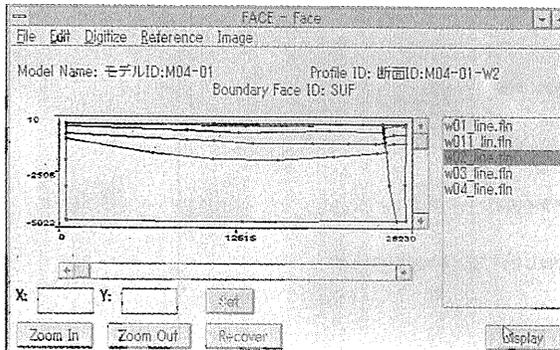
<u>デジタル入力</u>
座標軸入力、原点入力、データ点入力、線分、関係、修正、削除
<u>マウス入力</u>
データ点、線分、関係、修正、削除
<u>ファイル操作表示</u>
ファイル名、ファイル内テーブル名、ディレクトリ、ドライブ
<u>表形式ファイル保存</u>
ファイルとしての出力で、印刷・出力は、FACE上ではしない (cut & paste は行える)
<u>線分関係入力</u>
入力・追加、修正、削除、テーブル化、ファイル出力
<u>線分関係ファイル保存</u>
ファイル操作、編集、保存
<u>面データ・フォーマット変換出力機能</u>
ファイルへの出力、ベタファイル、BMP、PCX、DXF、TIFF、DLG他

第9表 FACEの仕様2：表示

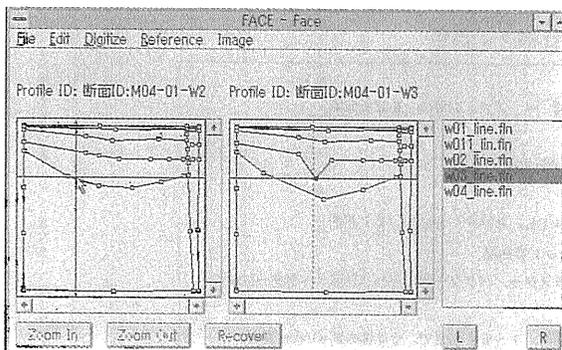
<u>座標表示</u>
複数座標系、投影方式切り替え、レジストレーション機能 ⇒ アフィン変換、非線形変換
<u>スケール表示</u>
縦軸と横軸、アフィン変換時追従
<u>ラスター表示</u>
単純バイナリベタファイル、RGB、HSI、BSQ、BIL、BMP、PCX、TIFF ⇒ default はシングルバンド・ベタファイル/パレットで色別
画素データ表示、修正 ⇒ 画素ごとのRGB等修正、ラスター/ベクター重ね合わせ表示 (ベクターは線のみ)
<u>ZOOM IN/OUT</u>
一枚の面における点と線の編集用、ラスター・ベクター同時、1~64倍まで、全体像の別 window 表示
<u>データ点表示</u>
入力・追加、修正、削除、線分点、孤立点、ファイル出力
<u>線分表示</u>
入力・追加、修正、削除 ⇒ 実質はデータ点を直線接続、ファイル出力
<u>複数面表示</u>
入力・追加、修正、削除 ⇒ ファイル操作、テーブル操作、ファイル出力
<u>テーブル内レコード表示</u>
トグルON/OFF：各レコード、入力・追加、修正、削除、複数テーブルのレコード表示
<u>複数図の接合と切りだし</u>
全体像表示窓、接合ファイルの指定、複数画像表示、複数画像対応アフィン変換、接合位置・方法指定 (マウス操作)、切りだし位置指定 (マウス操作)、ファイル出力

第10表 FACEの仕様3：領域区分と変換

<u>区分領域入力</u>
領域区分ファイル操作、入力・追加、修正、削除
<u>区分領域表保存</u>
ファイル操作、編集、保存
<u>区分領域表示</u>
凡例表読み込み (コントロールデータとして)、フルカラーぬりわけ、RGB、HSI変換
<u>ベクター型データ各面重合</u>
線のみ ⇒ テーブルの合成、第1・第2レコードの修正必要-表計算ソフト上で行う
<u>区分領域色ぬり/ラスター重ね合わせ表示</u>
重合時の色変換機能
<u>ベクター ⇔ ラスター変換</u>



第3図 FACE図における境界線分の入力と修正例。窓の中の点に位置データがあり、点をつなぐ線分は表示しているだけである。



第4図 交差する2断面図の編集。二つの断面図の交差線状で、境界線の交差の矛盾を修正できる。

ができ、地質学的編集が容易になっている。

FACEにより、従来、デジタル化が困難な、複雑で不定形の図形データでも、精密なデジタル化が可能となった。対象は、主として、地質図、地質断面図、岩石破壊試験図であった。しかし、この方法は対象を選ばない汎用性を有しており、図に描かれた全てのデータを対象とすることができる。例えば、イラストの図をラスターキャンした後、線画部分を選択的にデジタル化した、重ね合わせ表示することができる。地質学的モデル図を描く際にも、デジタルデータと組み合わせて、複雑な作業が可能とすることができる。

このようなFACEの特性は、特に図面類を重ね合わせ表示するとき、効果的である。重ね合わせだけに限るなら、この機能は、従来、GIS(地理情報システム)として一部実現されてきた。GIS的手法が地質学分野で必ずしも普及が進まない現状は、ソフトウェアの価格の高さにもよるが、より、本質的には、

GISが平面図形データの重ね合わせとデータベース機能をも対象としているのに対して、地圏環境のデータが三次元的立体構造の表現を必要とするためであろう。GISが扱えない、この限界は絶対的で、GISによるデジタル化地質図が地質学的要求に応えるためには、さらなる工夫が必要である(佐野ほか、1996;鈴木ほか、1996)。

FACEは、三次元的な情報を原理的特性とする地質図、地質構造図に対して、平面図と断面図に分けたシンプルな入力手段を提供し、その交差線上の境界線分の矛盾を修正できる強力な方法となっている。FACEが、ディジタイザだけでなく、スキャナ・データ上でも入力編集可能としたことは、データ入力の手段を多様化したことになるが、次の重要な意味を与えている。すなわち、ディジタイザ入力は、しばしば、修正を必要とするが、FACEではパーソナルコンピュータのような簡易なシステム上で、簡便で、しかも精密・詳細な修正編集が加えられる。スキャナ入力の僅かな歪みに対しても、FACEは、線画の局所的な歪み補正でスキャナ・データに合わせた修正変更ができる。

ここで、スキャナ入力データには変更が加えられないことが重要である。もし、スキャナ入力データの方を修正してしまうなら、ラスター型データが本来的に持つ画素分解能の限界から、特に、回転と縮小・拡大に対して、元データを変更してしまう誤りを犯すことになる。これは、生成されたベクター型データの信用性を著しく傷つけるものであり、看過することができない誤りである。また、ラスター型データの局所的回転・縮小・拡大は、作業上の困難を招いてしまう。

FACEにより簡易にデジタル化された三次元地質図は、表形式でファイルに格納されるので、取扱いも容易であり、他のシステムに搬出したり、データベース化する時にもシンプルで強力な基盤を与える(迫垣内ほか、1996;桜井ほか、1994, 1995, 1996)。これらのFACEの特性は、非常に重要であって、デジタル化された地質図をどのように用いるかの回答を与えるものである。すなわち、三次元的地質構造と重力・磁力・電磁気等の地殻構造との整合性を計算機上で検証することができる。これは、資源探査や災害調査などに新しい視点を与えることができる。また、地殻の長期的変動のように、計算機による

シミュレーションを必須としている新しい取り組みに対しても、現実的な基礎データの提供を与えることができる。

このように、FACEは、従来のGIS的方法や、三次元可視化システムが実現できなかったデータの取扱いを革新する、新しいシステムといえることができる。

## 8. ヴォリューム可視化の開発と今後の展望

FACEは、地圏環境情報の図面データ入力と編集を実行するソフトウェアであり、二次元境界線の入力と編集、二次元区分領域の入力と編集、境界面関係の入力と編集の諸機能を持つ。これに対して、今後、三次元的な可視化を実行するため、三次元的な属性値の入力と編集を実行するソフトウェアが必要である。これを、プロジェクトBODYと名付け、三次元格子点の属性値入力と編集、三次元点・線・面関係の入力と編集、三次元境界面の計算と編集、三次元多重表示(半透明、視点変更等)の諸機能を持つよう計画である。一方、三次元的表示には動画的表現が欠かせない。動画表示はハードウェアの制約が大きい。そこで、ハードウェアから切り離して、三次元的表示に関わる諸パラメータの運用が可能なソフトウェアがあれば、使用環境が改善できよう。これをプロジェクトANIMと名付け、三次元動画表示パラメータの入力と編集、及び、三次元解析過程表示等の諸機能を持たせるよう計画している。地圏環境情報のヴォリューム可視化のためには、データの利用上、ソフトウェアが必要であり、一般には市販もされていないので、ある程度の開発段階を伴うのが現状である。

FACEの開発は、究極的には、ヴォリューム可視化を可能にする第1段階のソフトウェアであって、まだ開発も進行中である。シンプルな表形式をもちながら、パーソナル・コンピュータ上でどの程度の速さで実現できるのかは、昔も今も課題であるが、これまで、線画とラスター図の組み合わせだけを追求してきたため、速度上の問題は全くと言ってよいほど発生していない。今後、複雑な領域の塗り分けを基本とする地質図の領域区分データに対して、ファイルアクセスの多くなるシステムが速度的に問題になることは予想される。そのため、実用上、プログ

ラム構造に高速化のルーティンを導入する必要があると予想される。

FACEは、できるだけ簡易なシステムで簡易にデータを入力し、簡易に、しかし、厳密にデータを校正し、簡易な共通仕様(CFI)を持つ表形式のファイルに収納することを目指している。地質家や、図形データをデジタル化する必要のある全てのユーザーを対象としている。FACEは、基礎的なデータ入力ソフトウェアであるために、高価にしたり、商業ベースで使用されることには、馴染まない。従って、今後、広く公開し、ユーザ要望に合致して改良も重ねることが、必要不可欠な使用法と考えられる。その普及方法については、学会を通じた無償配布や、インターネットによる公開等、現在も検討中であり、決まったわけではない。とりあえず、希望者にモニターになっていただき、評価してもらおうケースもあると考えるが、これもまだ決まっていない。よい御知恵があれば、是非、御教示いただきたいと思う。このように、データ表示のプロセスが明らかなソフトウェアとデータベースが容易に入手できる事によって、地圏環境情報データベースの公開性と信頼性が高まる効果が期待できる。

謝辞：東京理科大学の川井忠彦教授、大阪市立大学の升本真二助教授、電子技術総合研究所の村木茂主任研究官、資源環境技術総合研究所の山口勉研究調査官、エンジニアリング振興協会の星野一男理事には、地下構造の可視化について、さまざまに御議論賜りました。厚く感謝申し上げる次第です。

## 文 献

- 朝日秀定(1994)：土質ボーリング記録の土質名の数値化による地盤図の作成と記録の縮約。地理・地形・地質に関する数値情報の現状と活用—デジタル時代の地理学・地形学・地質学—、日本情報地質学会、41-46。
- 濱田隆士(1996)：地史素材の可視化について。資源・素材'96講演要旨集D、7-8。
- 岩崎好規・松山紀香・諏訪靖二(1994)：地形及び土質データによる地盤学の有用性。地理・地形・地質に関する数値情報の現状と活用—デジタル時代の地理学・地形学・地質学—、日本情報地質学会、99-104。
- 古宇田亮一(1981)：地質資源情報の分散型データベース・システム。地質ニュース、no. 328、42-53。
- 古宇田亮一(1984)：放射性廃棄物の力学的問題。実験岩石学による地殻開発の実態に関する調査研究報告書、地質調査所研究報告、56-89。
- 古宇田亮一(1990)：鉱物資源データベース。資源・素材学会誌、106、390-398。

- 古宇田亮一(1992):地球科学データファイルの仕様共通化の試みと課題. GEOINFORUM'92(日本情報地質学会第3回講演会)講演予稿集, 23-24.
- 古宇田亮一(1994):地下地質構造可視化のための共通データ構造の必要性と提案. 地理・地形・地質に関する数値情報の現状と活用-デジタル時代の地理学・地形学・地質学-, 日本情報地質学会, 81-86.
- Kouda, R. (1994): Common Data Structure for Subsurface Visualization-A Proposal of CFI(Common File Interface) Format. Proceedings of 1994 International Association for Mathematical Geology, Vol.1, 200-204.
- 古宇田亮一・中井仁彦・原田芳金(1996):可視化のための地球科学情報入力・編集ソフトウェアFACE. 資源・素材'96講演要旨集D, 13-16.
- 升本真二・塩野清治・Venkatesh Rhagavan・弘原海清・坂本正徳(1994):地質情報システムの構想. 地理・地形・地質に関する数値情報の現状と活用-デジタル時代の地理学・地形学・地質学-, 日本情報地質学会, 47-52.
- 宮島 繁・桜井英行・迫垣内 薫・原田芳金・古宇田亮一(1994):標準データファイル形式を使用した地質構造の可視化のためのデータベース. 地理・地形・地質に関する数値情報の現状と活用-デジタル時代の地理学・地形学・地質学-, 日本情報地質学会, 87-92.
- Miyajima, S., Kurasawa, H., Harada, Y. and Kouda, R. (1994): A Model Architecture of Database System Using CFI Format for the Subsurface Visualization. Proceedings of 1994 International Association for Mathematical Geology, Vol.1, 236-241.
- 村上広史(1994):国土地理院におけるデジタルマッピング(デジタル地図データ処理)の現状と展望. 地理・地形・地質に関する数値情報の現状と活用-デジタル時代の地理学・地形学・地質学-, 日本情報地質学会, 1-14.
- Namba, H., Sakurai, H., Sakogaichi, K., Harada, Y., Shinbo, T., Kouda, R. (1994): A geological analysis and its visualization of a subterranean structure using computer aided solid modeling. Proceedings of 1994 International Association for Mathematical Geology, Vol.1, 254-259.
- 野呂春文(1994):地質調査所におけるデジタルマッピング-地球科学デジタルデータの提供. 地理・地形・地質に関する数値情報の現状と活用-デジタル時代の地理学・地形学・地質学-, 日本情報地質学会, 15-20.
- Saito, M., Harada, Y., and Kouda, R. (1994): An Integrated System Proposal for Dynamic Subsurface Visualization. Proceedings of 1994 International Association for Mathematical Geology, Vol.1, 305-310.
- 坂本正徳・塩野清治・升本真二(1994):地質図作成システムCIGMAで処理される情報. 地理・地形・地質に関する数値情報の現状と活用-デジタル時代の地理学・地形学・地質学-, 日本情報地質学会, 59-64.
- 迫垣内 薫・原田芳金・西村 進(1996):3次元地質構造可視化のための地下断面図. 資源・素材'96講演要旨集D, 9-12.
- 桜井英行・難波治之・迫垣内 薫・原田芳金・古宇田亮一(1994):ソリッドモデラーを利用した地質構造の可視画像化. 資源・素材'94(大阪)講演要旨集L, 5-8.
- 桜井英行・難波治之・迫垣内 薫・原田芳金・古宇田亮一(1995):ソリッド・モデラを用いた三次元地質モデルの作成. 情報地質, 6, 2, 73-80.
- 桜井英行・難波治行・原田芳金・古宇田亮一(1996):深成岩地域と火山岩地域の3次元地質構造可視化. 資源・素材'96講演要旨集D, 17-20.
- 佐野雅之・牧 幸治・鈴木 徹(1996):地質情報現地収録システムの開発. 資源・素材'96講演要旨集D, 1-4.
- 正路徹也(1996):可視化による利得. 資源・素材'96講演要旨集D, 21-22.
- 鈴木 徹・山口文春(1996):鉱床探査支援システム開発の現状. 資源・素材'96講演要旨集D, 5-6.
- 宇宙開発事業団地球観測センター編(1983):ランドサットMSSデータ, CCTフォーマット説明書. 財団法人リモート・センシング技術センター, 121p.
- 山根裕之・榊原辰雄(1994):3次元地質解析システムGEORAMAにおける数値情報の活用. 地理・地形・地質に関する数値情報の現状と活用-デジタル時代の地理学・地形学・地質学-, 日本情報地質学会, 75-80.
- 横田修一郎(1994):多目的利用を目指したハザードマップのデジタル化. 地理・地形・地質に関する数値情報の現状と活用-デジタル時代の地理学・地形学・地質学-, 日本情報地質学会, 35-40.

---

KOUDA Ryoichi, MIYAJIMA Shigeru, NAKAI Toshihiko, SAKURAI Hideyuki and HARADA Yoshikane(1996): Development of database system for geosphere information and subsurface visualization.

---

<受付:1996年4月2日>