システム・ソフトウェア開発

野外調査データを用いた地質境界面推定データ作成プログラム 『Georiginer』の開発

梶山 敦司*・居川 信之**・塩野 清治***

Development of Data Origination Program 『Georiginer』 to Estimate Geological Boundary Surfaces Based on Imaged Data

Atsushi KAJIYAMA*, Nobuyuki IKAWA** and Kiyoji SHIONO***

Abstract : Logical model of geological structure is expressed logical relation between boundary surfaces and geologic bodies. By using this logical relation, we can give a constraint to data in order to estimate geological boundary surfaces from the distribution position of geologic body. In this present research, we developed the data origination program "Georiginer" to estimate the geological boundary surface using this character of logical model of geological structure. This program can make the data for estimating the boundary surface from data distribution map, logical model of geological structure data, point data and strike & dip data corresponding to each point.

Key words : Logical model of geological structure, Boundary surface, Imaged data, Georiginer

1. はじめに

近年、コンピュータ上で三次元地質モデルの構築を行うために、GISを用いた構築方法(Masumoto *et al*; 2004, etc)や専用のソフトウェア(Geomodel2003(米澤ほか; 2004)), GEORAMA(山根ほか; 1992)などを用いる方法が開発されている。また、これらの技術を用いることによって、三次元的に地質構造を可視化する手法が、調査結果の報告書を作成する段階で使用されるようになった。コンピュータ上で構築された三次元地質モデルに対して、3Dビューワーを用いることによって任意断面を容易に描くことができ、容易に断面図の作成を行えるなどの多くの利点が存在するためである。また、地質構造の三次元分布を一般的に示される地質図(平面図・断面図)から読むためにはある程度の専門知識が必要であるが、三次元地質モデルを用いることによって地質学の知識を持たない第三者や発注者に対しても容易に地質調査の各種結果を説明することが可能となる。また、ハザードマップの作成、環境問題や地下利用などの各種検討にも三次元地質モデルを用いることができる。

三次元地質モデルは、地質体と境界面の論理的関係(地質

構造の論理モデル)と面の形状で構成される。地質構造の論理モデルは地質構造の発達史から作成することができ、面の形状は地質体の露頭位置や走向傾斜にもとづいて決定する。面の形状は、一般的に露頭位置や走向傾斜をXYZの座標データに変換し、これらを補間する事によって推定される。したがって、調査結果のデータ量が少ない場合は、時間と労力的に容易に変換することが出来るが境界面の推定精度は悪くなり、反対に調査結果のデータ量が多い場合には、時間や労力的に容易に変換することが出来ないが推定精度が向上するといった特徴が存在する。本研究では、大量のデータが存在しても容易に三次元地質モデルを構築できるように、地質構造の論理モデル(塩野ほか; 1998)を用いた露頭データやボーリングデータから境界面を推定するためのデータを作成するプログラム『Georiginer』の開発を行った。本研究で開発したプログラムを用いて出力したXYZの座標データを境界面推定プログラム Horizon2000(塩野ほか; 2001)に入力することによって、容易に境界面を作成することができる。また、作成される地質境界面は三次元地質モデルの構築に活用できる。

2005年3月4日受付, 2005年10月20日受理

Geoinforum2004 (2004年6月, 大阪) で一部講演。

* 大阪市立大学大学院理学研究科 (現 株式会社建設技術研究所) Graduate School of Science, Osaka City University, 3-3-138 Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-8585, Japan. E-mail: kajiyama@ctie.co.jp

** 日本技術開発株式会社 Japan Engineering Consultants Co., Ltd 5-6-10 Toyosaki, kita-ku, Osaka 531-0072, Japan.

*** 大阪市立大学大学院理学研究科 Graduate School of Science, Osaka City University, 3-3-138 Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-8585, Japan.

2. プログラムの基本原則

本プログラムの基本原則は、塩野ほか(1998)において提案されている地質構造の論理モデルを用いたデータ処理方法をもとにしている。ここでは、プログラムの説明を行う前に、塩野ほか(1998)に基づいて地質構造の論理モデルの説明を行い、地質構造の論理モデルを用いた三次元地質モデルの構築方法の概略を示す。

2.1 地質構造の論理モデル

地質調査の対象となる三次元空間を Ω とし、空間 Ω には原点 O 、水平東向きに x 軸、水平北向きに y 軸、鉛直上向きに z 軸を持つ直角座標系 $O-xyz$ が設定されているものとする。また、空間 Ω を上下に2分割する面 S があるとき、 Ω の中の面 S より上側にあって S を含まない空間を S^+ とし、空間 Ω のなかで S より下側にあって S を含む空間を S^- で表すこととする。本論文では、空間 Ω 内の任意の点を $Q(x_q, y_q, z_q)$ とし、空間 Ω を上下に二分する面 S が $z = s(x, y)$ のような一価関数で表されているとする。このとき、 S^+ と S^- をそれぞれ、次のように表せるものとする(塩野ほか,1998)。(第1図)

第1図 空間 Ω を2分割する面.

面 S によって空間が S^+ の部分空間と S^- の部分空間に分けられる。面 S は S^- に含まれる。

$$S^+ = \{Q(x_q, y_q, z_q) | z_q > s(x_q, y_q)\} \quad (2.1)$$

$$S^- = \{Q(x_q, y_q, z_q) | z_q \leq s(x_q, y_q)\} \quad (2.2)$$

また、この定義によれば S^+ と S^- の間に次の関係が常に成り立つ。

$$S^+ \cup S^- = \Omega \quad (2.3)$$

$$S^+ \cap S^- = \phi \text{ (空集合)} \quad (2.4)$$

三次元空間 Ω は、地表より下側にある地層や岩体からなる地質空間と地表より上側にある大気や水からなる上部空間で構成される。地質空間を構成する地層や岩体は、あらかじめ三次元地質モデル上に表現される単位に区分されているものとし、個々の地質単位が分布する領域を $b_1, b_2, \dots, b_n$ 、上部空間を α で表す。本文では、対象とする空間 Ω を構成する単位という意味で $\alpha, b_1, b_2, \dots, b_n$ を地質体とよぶ。

第2図のような地質境界面 S_1, S_2 と地質体 α, b_1, b_2 の関係は、次のように表すことができる。

$$\left. \begin{aligned} b_1 &= S_1^- \cap S_2^- \\ b_2 &= S_1^+ \cap S_2^- \\ \alpha &= S_2^+ \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

第2図 境界面 S_1, S_2 によって境される地質体 α, b_1, b_2 の分布域.

このとき、式(2.5)は、 b_1 が S_1 より下で S_2 より下の領域に位置し、 b_2 が S_1 より上で S_2 より下の領域に位置し、 α が S_1 と無関係で S_2 より上の領域に位置するというを示す。ここで、 α が S_1 と無関係というのは、 S_1 の面の形状に左右されず、 S_2 の形状のみによって領域が定義されることを示す。無関係を式において表現する必要がある場合、境界面 S_1 をもちいて S_1^0 と表す事とする。この表現方法を用いた場合、式(2.5)は以下のように表現できる。

$$\left. \begin{aligned} b_1 &= S_1^- \cap S_2^- \\ b_2 &= S_1^+ \cap S_2^- \\ \alpha &= S_1^0 \cap S_2^+ \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

また、式(2.5)で表される地質構造の論理モデルは第1表のように表形式で表すことができる。表形式は以下の表記方法で記載される。

- ① 1列目に地質体名を表記する。
- ② 1行目から上部空間を表記する。
- ③ 上部空間の表記後、次行に境界面を表記する。
- ④ 境界面の表記後、次行に地質体を表記する。
- ⑤ 2列目以降に地質体と境界面の関係を+, -, 空白を表記する。

第1表 第3図の地質構造に対応した地質構造の論理モデル

α		+
	S_1	S_2
b_1	-	-
b_2	+	-

地質構造の論理モデル；1列に地質体名を表記、上部空間と地質空間の間に境界面名を表記、2列目以降に地質体と境界面の関係を+, -, 空白を用いて記述

このように、地質体 $\alpha, b_1, \dots, b_n$ を面 $S_1, \dots, S_p$ を用いて対象とする空間 Ω の部分領域として定義できる。このような地質体の分布域と境界面の論理的関係を Shiono *et al.*(1994)、塩野ほか(1998)は「地質構造の論理モデル」と呼んだ。この地質構造の論理モデルの構築手法として、塩野ほか(1998)は堆積作用と侵食作用をモデル化することで、それぞれの作用に対応した漸化式モデル(event c, r, c^*)を導き、漸化式モデルを用いる方法を提案している。

2.2 地質構造の論理モデルを利用した境界面の位置決定

地質構造の論理モデルは、地質体の分布域と面の論理的

関係を表している。この論理的关系を利用することによって、野外調査データ(露頭地点)から境界面の形状を決定するデータの作成を行うことができる。

ここでは、プログラムが扱う地質構造の論理モデル内の上部空間と n 個の地質体 ($a, b_1, b_2, \dots, b_n$) が p 枚の境界面 ($Y_1, Y_2, \dots, Y_p$) によって次式のように、すべて単項式で表現される場合に限定する。

$$Y_1 \cap Y_2 \cap \dots \cap Y_p \quad (Y_k = S_k^+, S_k^- \text{ または } S_k^0 \ (k=1, \dots, p)) \quad (2.7)$$

いま、野外調査データのある露頭地点 o_i において任意の地質体 b_j ($j=1, \dots, n$) が分布しているものとし、その地質体が次の式で表されているとする。

$$b_j = Y_1 \cap Y_2 \cap \dots \cap Y_p \quad (2.8)$$

このとき、露頭地点 o_i 内の任意の点 $Q(x_q, y_q, z_q)$ に対して次式が成り立つ。

$$Q(x_q, y_q, z_q) \in Y_1 \cap Y_2 \cap \dots \cap Y_p \quad (2.9)$$

したがって、面 S_k ($k=1, \dots, p$) に関して次の事が言える

- ① $Y_k = S_k^-$ のとき、 S_k は Q の上側を通る。
- ② $Y_k = S_k^+$ のとき、 S_k は Q の下側を通る。
- ③ $Y_k = S_k^0$ のとき、 Q は S_k と無関係である。

これは、各境界面 S_k が各々 $z = s_k(x, y)$ で表されている場合、 $s_k(x, y)$ に関して次のような不等式制約条件を与えることを意味する。

$$Y_k = S_k^- \text{ のとき, } z_q \leq s_k(x_q, y_q)$$

$$Y_k = S_k^+ \text{ のとき, } z_q \geq s_k(x_q, y_q)$$

たとえば、対象とする調査地域の地質構造の論理モデルが第2表の通りであり、地質構造が第3図に示すものであったとする。点Aを露頭とし、この露頭の座標値を $A(x_a, y_a, z_a)$ とする。この露頭Aに地質体 b_2 が露出していたとすると、地質構造の論理モデルから以下の関係が成り立つ。

$$A(x_a, y_a, z_a) \in S_1^+ \cap S_2^- \cap S_3^- \quad (2.10)$$

この式から、境界面 S_1 は点 $A(x_a, y_a, z_a)$ より下側(すなわち $z_a \leq s_1(x_a, y_a)$)を通り、境界面 S_2 は点 $A(x_a, y_a, z_a)$ 地点より上

側(すなわち $z_a \geq s_2(x_a, y_a)$)を通り、境界面 S_3 は $A(x_a, y_a, z_a)$ 地点より上側(すなわち $z_a \geq s_3(x_a, y_a)$)を通るという情報を与えることができる。

すべての野外調査データに対してこのような制約条件を整理すると、各境界面に面が満たすべき制約条件のセットを得ることができる。

2.3 地質構造の論理モデルを用いた三次元地質モデリング

塩野ほか(1998)が提案している地質構造の論理モデルを用いて、野外踏査データ、ボーリングデータなどの地質データから三次元地質モデルの構築と可視化を行うためには、以下の5つの作業を行う必要がある。作業の流れを第4図に示す。

①地形のDEM(Digital Elevation Model)化

地形図などのデータから STRIPE 法(Noumi;2003)などのDEM作成法を利用してDEMの作成を行う。レーザープロファイラーのデータや国土地理院発行の数値地図の使用もできる。

②論理モデルの構築

地質調査データをもとに地質体と境界面の関係を導き、対象地域の地質構造の論理モデルを構築する。地質構造の論理モデルの構築については塩野ほか(1998)を参照されたい。

③位置データの作成

地質構造の論理モデルの特徴を利用して、地形データ、野外調査データ、地質構造の論理モデルを利用することによって、地質境界面を推定するためのXYZ座標形式の位置データ(不等式標高データ・等式データ)の作成を行う。

第2表 第4図の地質構造に対応した地質構造の論理モデル

a			+
	S_1	S_2	S_3
b_1	-		-
b_2	+	-	-
b_3	+	+	-

第3図 第1表の論理モデルに対応した地質構造の例

第4図 三次元地質モデル構築の流れ

位置データは地形データ、野外調査データ、地質構造の論理モデルの3つから作成され、三次元地質データは地形データ、境界面データ、地質構造の論理モデルから作成される。

④地質境界面の推定

③で作成したそれぞれのデータを不等式制約条件付きのデータから境界面の推定を行える Horizon2000(塩野ほか;2001)などのソフトウェアを利用して、それぞれの地質境界面(DEM)の推定を行う。

⑤三次元地質モデルの可視化

①,④で作成した地形面と地質境界面と②の地質構造の論理モデルを用いて、升本ほか(2004)や米澤ほか(2004)によって提案されている手法などを用いて三次元地質モデルの可視化を行う。

本研究で開発したプログラムは、第4図に示すフローチャート内の『位置データの作成』の部分を行うものである。

3. プログラムについて

本プログラムは Fortran77 コンパイラに対応した言語で記述されており、OS を Unix ベースとする Redhat-Fortran77, Unix-Fortran77 において動作を確認している。プログラムに入力するデータは地質構造の論理モデル、地形標高データ(DEM)、地質調査データであり、境界面推定プログラム Horizon2000(塩野ほか;2001)の入力形式にしたがったデータファイルが出力される。このプログラムは、地質構造の論理モデルが以下の条件を満たす場合にかぎり使用する事ができる。

- ①境界面を $S_k(k=1, \dots, p)$ としたとき、 S_k によって上部空間と地質空間が分けられている。
- ②地質構造の論理モデルの地質体が単項式で表現されている。

3.1 入力データ

プログラムに入力するデータを地質調査データなどから準備する。プログラムに入力するデータは以下の5つであり、これらのデータのうち(1)~(3)は必ず入力しなければならない。(4),(5)のデータは必ずしも必要ではない。

- (1)地質構造の論理モデルファイル
- (2)データ分布ファイル
- (3)地形データファイル
- (4)ポイントデータファイル
- (5)走向傾斜データファイル

以下、それぞれのデータファイルの形式について説明する。

(1)地質構造の論理モデルファイル

地質構造の論理モデルファイルは、表形式で表された地質構造の論理モデルを使用する。また、第1表と第2表のように、地質体と境界面の関係を表す記号が(+、-、空欄)で表されている場合、+のときは1、-の時は-1に変更し空欄の場合は0と表記し直す。地質体 α , $b_1, \dots, b_i(i=1, \dots,$

$n)$ は色で区別し、地質体の色の指定はプログラムで使われる色指定方法で行う。本プログラムでは色の成分 RGB にそれぞれ0~255までの数値(成分の値)を代入することによって行った。Rは赤成分、Gは緑成分、Bは青成分である。このデータファイルで指定した色は、以降のデータとの関連づけに使用される。

データの形式を第5図に例示する。このデータは第2表に示す地質構造の論理モデルをプログラムの入力形式に変更したものである。データ構造は、境界面の数と各地質体のデータから構成される。1行目が境界面の数であり、2行目以下は各地質体のデータであり、地質体の数だけ必要となる。

地質体のデータは、地質体に対応した色データ(1列目から3列目)と境界面と地質体の関係(4列目以降)から構成されている。色データは色の成分値であり、1列目は赤成分の濃度値、2列目は緑成分の濃度値、3列目は青成分の濃度値である。ただし、上部空間の色成分データはすべて0とする。また、境界面と地質体の関係は、1, -1, 0の値で表す。たとえば、図中の3行目のデータは以下のことを示している。

- ・地質体に対応した色として、赤色成分の濃度値255、緑成分の濃度値0、青成分の濃度値0が使用されている。この情報を(R:255, G:0, B:0)の形式表すこととする。
- ・地質体 b_1 は、 S_1 の下側に領域で、かつ S_3 の下側の領域に分布しており、 S_2 には無関係である。

3					
0	0	0	0	0	1
255	0	0	-1	0	-1
255	255	0	1	-1	-1
0	128	0	1	1	-1

第5図 地質構造の論理モデルの入力ファイル形式
1行目は境界面の数。2行目以降が地質構造の論理モデル。1~3列目は地質体に対応した色(1列目はR、2列目はG、3列目はBの色値(256階調の階調番号)。4列目以降が境界面と地質体の関係(1, -1, 0)。形式的に上部空間のRGBの値にはすべて0とする。

(2)データ分布ファイル

データ分布ファイルは、あらかじめ地質体分布、ポイントデータ、走向傾斜データなどのデータ分布図を作成しておき、それを Paintshop Pro 7 を用いてフルカラーのEPS形式に変換した画像データを使用する。他のソフトを用いてEPS形式で保存したものを使用する場合は、データのヘッダーが保存するソフトによって変わるため、プログラムのデータ読み取り部分の変更が必要となる。データ分布ファイルの作成は、それぞれ以下の法則に従って色塗りされたものを使用する。色塗りするもとの画像は、地形図などをスキャニングし、指定した色と同じ値が画像上に残らないようにするために、2値化を行ったデータを用いる。

①地質体分布

露頭などにおいて地質構造の論理モデルの地質体に相

当する地層が確認された場合、あるいは既存の地質図を活用する場合などに使用する。データ分布図上にペイント系の画像処理ソフトを利用して、地質体の分布が確認された地点(露頭位置など)に、(1)の地質構造の論理モデルファイルで指定を行った地質体に対応した色(RGB 値)をそれぞれ着色する。

②ボーリング地点などのポイントデータ

ボーリング地点などの1地点にいくつもデータがある場合などに使用する。画像上で位置データのある地点ごとに異なる色(RGB 値)を使用する。ただし、①で使用した色(RGB 値)とは異なる色を使用しなければならない。ここで指定した色は、(4)のポイントデータファイルと関連づけられる。

③走向傾斜データ

走向傾斜のデータを入力する場合に使用する。このデータも②の位置データと同様に、画像上で地点ごとにそれぞれ異なる色(RGB 値)を使用する。ただし、①、②で使用している色(RGB 値)とは異なる色を使用しなければならない。ここで指定される色は、(5)の走行傾斜データファイルと関連づけられる。

(3)地形データファイル

(2)のデータ分布図と同じ領域の地形データを DEM として使用する。この地形データは、レーザープロファイラーなどによって計測されたデータもしくは地形図から STRIPE 法(Noumi;2003)などを用いて作成した高精細な地形データを用いることが望ましい。

入力データの形式は、STRIPE 法で使用される Horizon2000(塩野ほか;2001)の出力形式をそのまま入力できるように、Horizon2000 の出力形式と同じにした(第6図)。各データはアスキー形式で並べられており、1行目はヘッダー、 x, y 方向の格子数(N_x, N_y)、基準座標値(X_{min}, Y_{min})、 x, y 方向の格子間隔(D_x, D_y)であり、2行目以下が Horizon2000 によって計算された標高データが表記されている。

(4)ポイントデータファイル

ポイントデータファイルは、1つの地点に何点もデータが存在する場合や露頭地点が地下に存在する場合などに使

N_x	N_y	X_{min}	Y_{min}	D_x	D_y	
f_{11}	f_{22}	f_{31}	...	...	...	f_{Nx1}
f_{12}	f_{22}	f_{32}	...	...	...	f_{Nx2}
...				f_{ij}	...	
f_{1Ny}	f_{2Ny}	f_{3Ny}	...	...	...	f_{NxNy}

第6図 地形データの入力ファイル形式

本形式は、Horizon2000(塩野ほか(2001))の出力形式に準じており、各データはアスキー形式で並べられている。1行目はヘッダー部、 x, y 方向の格子数(N_x, N_y)、基準座標値(X_{min}, Y_{min})、 x, y 方向の格子間隔(D_x, D_y)、2行目以下が Horizon2000 によって計算された標高。

用する。このデータがない場合は、入力する必要がない。入力の形式は、次の構成になる。

①各レコードは7項目で構成される

②最初の3項目は、(2)で作成したデータ分布ファイルの位置データであり、(2)で指定した色の成分(RGB)をそれぞれ R の値、G の値、B の値の順で並べたものである。

③4項目はデータが存在する位置の標高値である。

④5-7項目は地質体の色情報で、(1)で作成した地質構造の論理モデルファイルの地質体で指定した色成分(RGB)をそれぞれ R の値、G の値、B の値の順で並べたものである。

たとえば、第7図のようなポイントデータを作成した場合、1行目のデータは次のことを示す。

①ポイントデータの位置は、色が(R:128,G:0,B:128)の地点である。

②データの標高値が100 mである。

③その位置には、色が(R:255,G:0,B:0)に対応した地質体が分布する。

この形式で地質境界を入力する場合は、1つの地点に2つの地質体が存在すると解釈して作成する。たとえば、地質境界の標高が h 、データ分布図の色が(R_1, G_1, B_1)、境界に分布する地質体に対応する色が(R_2, G_2, B_2)と(R_3, G_3, B_3)の場合、次のようなデータを作成する。

$R_1 \ G_1 \ B_1 \ h \ R_2 \ G_2 \ B_2$

$R_1 \ G_1 \ B_1 \ h \ R_3 \ G_3 \ B_3$

128	0	128	100	255	0	0
128	0	128	100	255	255	0
128	0	128	150	255	0	0
...	...	...	...	...	...	...
0	0	255	138	255	255	0
0	0	255	138	0	128	128

第7図 ポイントデータの入力ファイル形式

1～3列目はデータ分布図に対応する RGB の色値(1列目は R、2列目は G、3列目は B の色値(256 階調の階調番号))。4列目は分布する標高値。5～7行目は地質構造の論理モデル内の地質体に対応する RGB の色値(5列目は R、6列目は G、7列目は B の色値(256 階調の階調番号))とする。

(5)走向傾斜データファイル

走向傾斜データファイルは、地質境界や断層などの走向傾斜のデータを入力する場合に使用する。このデータがない場合は入力する必要はない。入力の形式は次の構成になる。

①各レコードは6項目で構成される

②1項目は(1)の地質構造の論理モデルファイル内の境界面(S_1 であれば1、 S_2 であれば2)の数字である。

③2-4項目は、(2)で作成したデータ分布ファイルの走向傾斜データであり、(2)で指定した色の成分(RGB)をそれぞれ R の値、G の値、B の値の順で並べたものである。

④5項目は北から時計回りにはかった傾斜の方位角(傾斜方位)の値である。

1	200	0	200	130	40
1	128	0	200	170	35
2	128	255	128	150	70
...	...	...	...	...	...
2	135	135	0	20	35
2	150	150	0	270	50

第8図 走向傾斜データの入力ファイル形式

1列目は指定する境界面. 2~4列目はデータ分布図に対応するRGBの色値(1列目はR, 2列目はG, 3列目はBの色値(256階調の階調番号)). 5列目は走向(方位角表記). 6列目は傾斜角とする.

⑤6項目は傾斜角の値である.

たとえば, 第8図のような走向傾斜データを作成した場合, 1行目のデータは次のことを示している.

- ①境界面 S_1 の走向傾斜データである.
- ②走向傾斜データの位置は, 色が(R:200,G:0,B:200)の地点である.
- ③傾斜方位が130度である.
- ④傾斜が40度である.

3.2 出力データとその形式

本プログラムによって出力されるファイルは以下の2つからなる.

- ①不等式制約条件ファイル
- ②走向傾斜ファイル

(1)不等式制約条件ファイル

不等式制約条件ファイルのデータ形式は, 第9図に示す形式であり, Horizon2000(塩野ほか;2001)やTerramod2001(坂本ほか;2001)にそのまま入力できるように出力ファイル形式をHorizon2000の入力形式と同じにした. 等式・不等式制約条件のファイルは, 左列より, ID番号, x 座標, y 座標, z 座標, 地点と境界面の関係(+1または-1(不等号の向き))がアスキーファイル形式で並べられる. ID番号は, 1からデータの数に準じた番号がつけられる. 地点と境界面の関係は, +1の場合は境界面がその地点より上

1	50	0	121	-1
2	50	50	130	-1
3	50	100	136	-1
...	...	...	...	...
15152	4500	3850	50.6	-1
15153	4500	3900	45.9	1

第9図 不等式制約条件ファイルの出力形式

本形式は, Horizon2000(塩野ほか;2001)の入力形式に準じており, 各データはアスキー形式で並べられている. 1列目はデータのID番号. 2行目は X の座標値. 3行目は Y の座標値, 4行目は Z の座標値. 5行目は座標と境界面の関係(0:境界面が座標値を通る. -1:境界面が座標値より下側に位置する. 1:境界面が座標値より上側に位置する).

側を通ることを示し, -1は境界面がその地点より下側を通ることを示し, 0は境界面がその地点を通ることを示す. たとえば, 第9図の1行目のデータの場合, ID番号が1, x 座標が50, y 座標が0, z 座標が12, 境界面がこの座標よりも下側に存在するということを示す. 出力されるファイルは, 地質構造の論理モデルにおいて記述されている境界面(地形面を除く)のすべてに対してデータファイルが自動的に作成される.

(2)走向傾斜ファイル

走向傾斜ファイルのデータ形式は, 第10図に示す形式であり, このデータも不等式条件ファイルと同様にHorizon2000やTerramod2001にそのまま入力できるようにHorizon2000の入力形式と同じにした. 走向傾斜ファイルは, 左列より, ID番号, x 座標, y 座標, z 座標, 傾斜方位 ϕ , 傾斜角 θ がアスキーファイル形式で並べられる. たとえば, 第10図の1行目のデータの場合, ID番号が1, x 座標が125, y 座標が250, z 座標が121, 傾斜方位が150°, 傾斜角が30°ということを示す. 走向傾斜データの存在する境界面のみファイルが作成される.

1	125	250	121	150	30
2	300	450	130	250	60

第10図 走向傾斜ファイルの出力形式

本形式は, Horizon2000(塩野ほか;2001)の入力形式に準じており, 各データはアスキー形式で並べられている. 1列目はデータのID番号. 2行目は X の座標値. 3行目は Y の座標値, 4行目は Z の座標値. 5行目は北から時計回りに傾斜角の方位を計った値(傾斜方位). 6行目は傾斜角.

3.3 プログラム内のデータ処理

本プログラムは, 以下の処理アルゴリズムの階層構造を利用して出力ファイルの作成を行う. ただし, (i, j) は画像のピクセルの位置とし, (x, y, z) は実際の位置情報を表す.

- ①データの読み込み
- ②地質構造の論理モデルの境界面数だけ③の操作を繰り返す.
- ③データ分布ファイルの位置 (i, j) の範囲すべての点に対して③-1~③-3の操作を行う.
 - ③-1 データ分布ファイル内でデータのある場所に対して③-1(a)~③-1(b)の処理
 - ③-1(a) RGB値が地質体に対応した値の場合
 - i) 地質構造の論理モデルファイル内で, データ分布ファイルで見つかったRGB値を検索する.
 - ii) 検索された地質体と境界面の関係を調べる.
 - iii) 関係が無関係(0)の場合: データとしない.
 - 関係が+の場合(1)の場合: $l = -1$ とおき, iv)に進む.
 - 関係が-の場合(-1)の場合: $l = 1$ とおき, iv)に進む.
 - iv)データの位置 (x, y, z) のうち, (x, y) はデータ分布ファ

イルの位置(i, j)から計算する。 z は地形データの線形補間で求める。

v) データを ID, x, y, z, l の形式で出力する。

③-1-(b) RGB 値がポイントデータに対応した値の場合

i) ポイントデータファイル内で、データ分布ファイルで見つかった RGB 値を検索する。

ii) 見つけたポイントデータに対応する地質体を地質構造の論理モデルファイルを用いて調べる。

iii) 地質構造の論理モデルファイル内の対応する地質体と作成中の境界面の関係を調べる。

iv) 関係が無関係(0)の場合：データとしない。

関係が+の場合(1)の場合： $l = -1$ とおき、iv)に進む。

関係が-の場合(-1)の場合： $l = 1$ とおき、iv)に進む。

iv) データの位置(x, y, z)のうち、

(x, y)はデータ分布ファイルの位置(i, j)から計算する。

z はポイントデータ内の値を使用する。

v) データを ID, x, y, z, l の形式で出力する。

③-2 RGB 値が走向傾斜データに対応した値の場合

i) 走向傾斜データファイル内で、データ分布ファイルで見つかった RGB 値を検索する。

ii) 見つけた走向傾斜データに対応する境界面情報を調べる。

iii) 境界面情報と作成する境界面が一致する場合：iv)に進む

境界面情報と作成する境界面が一致しない場合：データとしない

iv) データの位置(x, y, z)のうち、(x, y)はデータ分布ファイルの位置(i, j)から計算する。 z は地形データの線形補間で求める。

v) データを ID, x, y, z, ϕ, θ の形式で出力する。

③-3 データ分布図の範囲の検索終了時にファイルの出力

3.4 プログラムの使用方法

本プログラムの使用方法を実行時にキーボードから入力する順に説明する。下線部分をキーボードから入力する。

(1)地質構造の論理モデルファイルの入力

プログラムの実行後、

Input Logical model of geologic structure = _____

で地質構造の論理モデルファイルのファイル名を入力する。

(2)データ分布ファイルの入力

地質構造の論理モデルファイルの入力後、

Input field data filename = _____

でデータ分布ファイルのファイル名を入力する。

(3)地形データの入力

データ分布ファイルの入力後、

Input elevation data filename = _____

で地形データファイルのファイル名を入力する。

(4)ポイントデータの入力

地形データファイルの入力後、ポイントデータファイルがあるかないかを

Do you have point data?

1(point data) or 2 (no point data) = _____

で選択する。ポイントデータファイルがある場合は1、ない場合は2を入力する。

さらに、

Input point data filename = _____

でポイントデータファイルのファイル名を入力する。

(5)走向傾斜データファイルの入力

(3)の作業の終了後、走向傾斜データファイルがあるかないかを

Do you have strike dip data?

1(strike dip) or 2 (no strike dip) = _____

で選択する。走向傾斜データファイルがある場合は1、ない場合は2を入力する。

さらに、

Input point data filename = _____

で走向傾斜データファイルのファイル名を入力する。

(6)ファイルの自動出力

(5)の作業終了後、地質構造の論理モデルファイルにおいて記述されているすべての境界面(地形面を除く)のデータが自動的に作成される。

4. プログラムの実行例と三次元地質モデリング

本章では、プログラムへ入力するデータ作成とそれらを用いた三次元地質モデルの構築方法を説明する。

データの作成は以下の手順に従って行う。

(1)地質構造の論理モデルファイルの作成

調査結果のデータなどから境界面と地質体の論理的関係を考え、地質構造の論理モデルの構築を行う。堆積作用・侵食作用のみによって形成される場合は、塩野ほか(1998)の漸化式モデルを用いることによって、地質構造の論理モデルの構築を行うことができる。

テストデータの対象は、中央構造線の発達する和歌山県北部の和泉山脈南麓地域である。本地域は、白亜系の和泉層群からなる山地が直線状の断層崖を境にして段丘面群と接しており、和泉層群と菖蒲谷層を接する北傾斜の低角逆断層(中央構造線)が推定されている。この地域に対応した地質構造の論理モデルを第11図(a)に示す模式断面を基に構築した(第11図(b))。和泉層群と菖蒲谷層の境界を S_1 、これらの地層と段丘層の境界を S_2 、地表面を S_3 とする。この地質構造の論理モデルの地質体に対応する色をそれぞれ以下

(a) テスト地域の地質構造

(b) 地質構造の論理モデル

3
0 0 0 0 0 1
128 128 255 -1 -1 -1
0 128 0 1 -1 -1
255 255 0 0 1 -1

(c) 地質構造の論理モデルファイル

第11図 テストデータの地質構造の論理モデル

第12図 データ分布ファイル

緑は和泉層群の分布範囲。黄色は段丘層の分布範囲。●は位置データ位置。走行傾斜マークは走行傾斜データの位置。

第13図 地形データファイル

STRIPE法を使用して作成した地形データファイルであり、格子間隔は20m、格子数は150*101である。

(a) 境界面 S_1 (b) 境界面 S_2 第17図 推定を行った境界面 S_1 , S_2

第14図 ポイントデータの作成方法

ボーリング地点がデータ分布図上の(R:0,G:0,B:160)、ボーリングデータの標高105mにおいて葛蒲谷層(R:128,G:128,B:255)と段丘層(R:255,G:255,B:0)の境界が存在する場合、データ分布図上の(R:0,G:0,B:160)を1~3行目、標高を4行目、分布する地質体のRGB値を5~7行目に記述する。

0	0	255	70	128	128	255
0	0	255	70	255	255	0
0	0	200	75	128	128	255
0	0	200	75	255	255	0
0	0	230	90	128	128	255
0	0	230	90	255	255	0
0	0	160	105	128	128	255
0	0	160	105	255	255	0
0	0	140	110	128	128	255
0	0	140	110	255	255	0
0	0	120	75	255	255	0
0	0	120	75	128	128	255
0	0	100	85	255	255	0
0	0	100	85	128	128	255
0	0	100	75	255	255	0
0	0	100	75	128	128	255
0	0	180	75	128	128	255
0	0	180	75	255	255	0
0	0	185	85	128	128	255
0	0	185	85	255	255	0
140	0	140	115	0	128	0
140	0	140	115	255	255	0
160	0	160	115	0	128	0
160	0	160	115	255	255	0

第15図 ポイントデータファイル

左から1~3行目はデータ分布図上のRGB値、4行目は境界面の標高、5~7行目は分布する地質体のRGB値である。

1	255	0	0	330	35
1	128	0	0	335	30

第16図 走向傾斜データファイル

左から1行目は境界面の番号、2~4行目はデータ分布図上のRGB値、5行目は傾斜方位、6行目は傾斜角である。

(a) 三次元地質モデルの鳥瞰図 (b) 三次元地質モデルの平面図

(c) 三次元地質モデルの断面図

第18図 Geomodel2003を用いた三次元地質モデルの可視化例

のように設定した。

①菖蒲谷層は水色(R:128,G:128,B:255)とし、赤成分に128、緑成分に128、青成分に255の値を与えた。

②和泉層群は緑色(R:0,G:128,B:0)とし、赤成分に0、緑成分に128、青成分に0の値を与えた。

③丘層は黄色(R:255,G:255,B:0)とし、赤成分に255、緑成分に255、青成分に0の値を与えた。

これらの作業をすることによって、第11図(c)に示す入力データの作成を行った。

(2)データ分布ファイルの作成

地形図をスキャナーを利用して、地形データと同じ範囲を切り取った。このときスキャナーから読み込んだ画像データの2値化を行い、モノクロの画像に変換した。次に、地質体の分布等を画像処理ソフトウェアを利用して、それぞれのデータに対応した指定された色で着色を行った。本テストデータでは、地形判読結果、ボーリングデータ、走向傾斜データを画像にそれぞれ色塗りを行いデータ分布ファイルとした(第12図)。第12図では、ポイントデータ・走向傾斜データの分布をわかりやすくするために、ポイントデータ点を●の記号で、走向傾斜データ点は一般的に使用される記号で表示している。今回作成したデータ分布ファイルの画像サイズは884×532である。データ分布ファイルで使用した色数は、地質体に3色、ポイントデータに12色、走向傾斜データに2色の計17色とした。

(3)地形データファイル

地形データファイルのテストデータの作成は、STRIPE法(Noumi;2003)を利用して行った。作成したテストデータは150×101の格子数数のDEMであり、格子間隔は20mである(第13図)。

(4)ポイントデータファイルの作成

ポイントデータファイルは、標高情報に対して作成を行う。テストデータでは、12本のボーリングデータをポイントデータとして使用した。ボーリングデータからポイントデータファイルを作成する手順を以下に説明する。

第14図に示すボーリング柱状図がデータとして手元にあるとし、標高105mに段丘層と菖蒲谷層の境界が存在するとする。また、地質構造の論理モデルファイルの段丘層に対応する色が黄色(R:255,G:255,B:0)、菖蒲谷層に対応する色が水色(R:128,G:128,B:255)であるとし、データ分布ファイル上のこの地点のRGB値が(R:0,G:0,B:160)であるとする。このとき、境界面の上下に存在する2つの地層に対して次の作業を行う。ポイントデータの左列(1から3列目まで)から、データ分布図上の位置のRGB値(R:0,G:0,B:160)を入力、4列目に境界面の標高(105)を入力する。5～7行目には、分布する段丘層と菖蒲谷層に対応するRGB値をそれぞれ1行目(段丘層の色値)と2行目(菖蒲谷層の色値)に入力する。この作業をすべてのデータに対して行う。テストデー

タとして作成したポイントデータファイルを第15図に示す。

(5)走向傾斜データファイルの作成

走向傾斜データを使用する場合に作成する。テストデータでは、第16図に示すように2地点の走向傾斜データの入力を行った。データの作成として、左列からデータ分布図に使用したRGB値(256階調)、走向(方位角)、傾斜の順に入力したデータを使用する。

これらのデータを、プログラムに入力して、境界面 S_1 の等式・不等式制約条件ファイルと走向傾斜ファイル、境界面 S_2 の等式・不等式制約条件ファイルを得た。また、作成されたこれらのデータをHorizon2000(塩野ほか;2001)に入力して境界面の推定を行った。推定結果をそれぞれ、第17図(a)に和泉層群と菖蒲谷層の境界面である S_1 、第17図(b)に和泉層群、菖蒲谷層と段丘層の境界面である S_2 を示す。また、Geomodel2003(米澤ほか;2004)を用いて、推定した境界面と地質構造の論理モデルを用いて構築した三次元地質モデルを第18図に示す。第18図(a)に三次元地質モデルの鳥瞰図、第18図(b)に三次元地質モデルの平面図、第18図(c)に三次元モデルの断面図をそれぞれ示す。第18図(c)の断面の位置は、第18図(b)の矢印で示した。

5. おわりに

本研究では、地質構造の論理モデルを用いた、露頭データやボーリングデータから三次元地質モデル構築に必要な境界面を推定するためのデータ作成プログラムGeoriginerの開発を行った。また、テストデータを用いたデータの作成、プログラムの使用方法、三次元地質モデルの一連の作業手順を示した。これにより、野外データから境界面を推定するためのデータの作成が容易になると考えられる。今後、本研究で開発したプログラムを利用して、実際のデータを使用した三次元地質モデルの構築を行い、さらに改良を進めていく予定である。

本誌で示したプログラム『Georiginer』は、日本情報地質学会のホームページ(<http://www.jsgi.org/>)上でダウンロードできる。

文 献

- Masumoto, S., Raghavan, V., Yonezawa, G., Nemoto, T. and Shiono, K. (2004) Construction and Visualization of a Three dimensional geologic model using GRASS GIS. *Transactions in GIS*, vol.8, no.2, pp.211-223.
- Noumi, Y. (2003) Generation of DEM Using Inter-Contour Height Information on Topographic Map. *Journal of Geosciences, Osaka City Univ.*, vol. 46, pp. 217-230.
- 坂本正徳・塩野清治・升本眞二(2001)Terramod2001—地層面推定・表示ソフトウェア。情報地質, vol. 12, no.2, pp. 112-113.
- Shiono, K., Masumoto, S. and Sakamoto, M. (1994) On Formal

- Expression of Spatial Distribution of Strata Using Boundary Surfaces - C_1 and C_2 Type of Contact -. *Geoinformatics*, vol.5, no.4, pp.223-232.
- 塩野清治・升本眞二・坂本正徳(1998)地層の3次元分布の特性と地質図作成のアルゴリズム-地質構造の論理モデル-. 情報地質, vol.9, no.3, pp.121-134.
- 塩野清治・能美洋介・升本眞二・坂本・正徳(2001)Horizon 2000:等式・不等式制約条件や傾斜データを活用した地層面推定プログラムの改良. 情報地質, vol.12, no.4, pp.229-249.
- 山根裕之・榊原辰雄(1992)3次元地質解析システム「GEO-RAMA ver.3.0」. 日本情報地質学会講演員講演予稿集, vol.3, pp. 57-58.
- 米澤 剛・升本眞二・根本達也・坂本正徳・塩野清治(2004)拡張地質関数を用いた地質境界線の表示. 情報地質, vol.14, no.4, pp.193-206.

要 旨

野外調査データから地質境界面推定データ作成プログラム『Georiginer』の開発

：梶山 敦司・居川 信之・塩野 清治

地質構造の論理モデルは、境界面と地質体の論理的関係を表している。この論理的関係を用いることによって、地質体の分布位置から地質境界面を推定するための制約条件を与えることが可能となる。本研究では、地質構造の論理モデルのこの特性を利用した境界面を推定するためのデータ作成プログラム Georiginer の開発を行った。本プログラムは、露頭、ボーリングデータ、走行傾斜データなどの位置情報をデータ分布図として与え、データ分布図と地質構造の論理モデルを用いることによってそれぞれの野外データに対応した境界面の推定データの作成を行う。

キーワード：地質構造の論理モデル、境界面、画像データ、Georiginer