情報地質 第27巻 第2号 058-059頁 2016年
Geoinformatics, vol.27, no.2, pp.058-059, 2016

タプル演算を用いた3次元地層構造モデルの適用例

大熊 俊明*・塩野 清治**

Application of Tuple Calculation to 3D Modeling of Geologic Structure

Toshiaki OHKUMA* and Kiyoji SHIONO**

＊五大開発株式会社 Nagano Office, Godai Kaihatsu Corporation.
5129-2 Hiraka, Saku City, 385-0034, Japan. E-mail: ohkuma@godai.co.jp
**大阪市立大学名誉教授 Professor Emeritus of Osaka City University, 5-10 Daido-cho, Ibaraki-shi,
Osaka 567-0844, Japan. E-mail:shionok@nifty.com

キーワード：3次元地質構造モデル，タプル，集合演算
Key words : 3D modeling of geologic structure, Tuple, Set operation

１．はじめに

地質体の分布域と境界面の間に成り立つべき論理的関係を「地質構造の論理モデル」(Shiono *et. al.*, 1994; 塩野ほか, 1998)といい，3次元地質モデリングの基礎として活用されている（根本ほか, 2013; 升本ほか, 2013; 野々垣・中澤, 2015など）．従来，論理モデルの3次元対象領域Ωを上下に2分割し，境界面を上下のどちらかの領域に含むとしていた．しかし，この定式化では，例えば計算結果として境界面だけが残る場合など，ありうるすべての場合を表現できない，という問題があった．本研究では上下の領域と境界面を区別して扱い，領域を上下の領域と境界面の3分割にする手法を提案した．これにより，2進数3桁の数により境界面の有無，領域Ωの境界面を含まない上部領域の有無，領域Ωの境界面を含まない下部領域の有無の組み合わせをすべて表現することができる．また，演算の入力や，演算の結果として境界面のみがある場合も表現が可能になり，演算の応用が広がる．

本稿ではタプル表現の応用例として，非直和表現から直和表現に変換するアルゴリズムと，領域周囲の境界面を求めるアルゴリズムの演算例を示す.

２．タプルの演算規則

S, S^+, S^- の集合演算によってえられる8種類の部分空間を「面 S によって生成されるΩの部分空間」といい，これらΩの部分空間の集合を

$$\mathfrak{D} = \{\varnothing, S^-, S^+, S^+\cup S^-, S, S\cup S^-, S\cup S^+, \Omega\}$$

とする．また，3桁の2進数 $a_1a_2a_3$ の集合を

$$\mathcal{C} = \{000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111\}$$

とし，$\mathcal{C}$ 上の2項演算∨, ∧と1項演算′を次のように定義する．

$$a_1a_2a_3\vee b_1b_2b_3 = c_1c_2c_3 \quad ただし，c_i = a_i\vee b_i$$
$$a_1a_2a_3\wedge b_1b_2b_3 = c_1c_2c_3 \quad ただし，c_i = a_i\wedge b_i$$
$$(a_1a_2a_3)' = c_1c_2c_3 \quad ただし，c_i = a_i'$$

$\mathfrak{D}$ と $\mathcal{C}$ を次のように対応付ける．2進数 $a_1a_2a_3\in\mathcal{C}$ でΩの部分空間 $Z_1(a_1)\cup Z_2(a_2)\cup Z_3(a_3)=h(a_1a_2a_3)\in\mathfrak{D}$ を表現する．ただし，$Z_1(1)=S$, $Z_2(1)=S^+$, $Z_3(1)=S^-$, $Z_1(0)=Z_2(0)=Z_3(0)=\varnothing$．同様にして，$n$ 成分のタプル $(x_1,\ldots, x_n)\in\mathcal{C}^n$ で n 枚の面で区切られる部分空間 $h_1(x_1)\cap\ldots\cap h_n(x_n)=p(x_1,\ldots, x_n)$ を表現する．

塩野・大熊(2015)や大熊・塩野(2016)で示したように，タプルの演算公式は次のようになる．

(1)和集合に関する演算公式

第 k 番目のパラメータ x_k,y_k 以外のすべてのパラメータが互いに等しい，すなわち $x_i=y_i$ $(i=1,\cdots,n;\ i\neq k)$ であるときに限り

$$(x_1,\cdots,x_n)+(y_1,\cdots,y_n)=(x_1\vee y_1,\cdots, x_n\vee y_n)$$

(2)共通集合に関する演算公式

$$(x_1,\cdots,x_n)*(y_1,\cdots,y_n)=(x_1\wedge y_1,\cdots, x_n\wedge y_n)$$

(3)補集合に関する演算公式

$$(x_1,\cdots,x_n)' = (x_1',111,\cdots,111)+\cdots+(111,\cdots,111, x_k', 111, \cdots, 111)+\cdots+(111, \cdots, 111, x_n')$$

(4)引き算に関する演算公式

$$(x_1,\cdots,x_n)-(y_1,\cdots,y_n) = (x_1\wedge y_1', x_2,\cdots, x_n)+\cdots+(x_1,\cdots,x_{k-1}, x_k\wedge y_k', x_{k+1},\cdots, x_n)+\cdots+(x_1,\cdots,x_{n-1}, x_n\wedge y_n')$$

(5)簡略化の演算公式 1

2つのタプル $(x_1,\ldots, x_n)$, $(y_1,\ldots, y_n)$ のすべての成分に関して

$$x_i\vee y_i = y_i\ (i=1,\ldots, n)$$

が成り立つとき，

$$(x_1,\ldots, x_n)+(y_1,\ldots, y_n) = (y_1,\ldots, y_n)$$

(6)簡略化の演算公式 2

第 k 番目のパラメータ x_k,y_k 以外のすべてのパラメータについて $x_k\vee y_i = y_i$ $(i=1,\cdots,n;\ i\neq k)$ であるときに限り，

$$(x_1,\cdots,x_n)+(y_1,\cdots,y_n)= (x_1,\cdots, x_{k-1}, x_k\vee y_k,x_{k+1},\cdots,x_n)+(y_1,\cdots,y_n)$$

なお，簡略化の公式を適用して得られる形式を「標準形」という．「標準形」は，項の順番が変わることを除けば同一内容が同一の「標準形」になる．これが「標準形」で表現するメリットであるといえる．

３．非直和表現から直和表現への変換

直和表現になっておらず，領域表現が重なっているとき，先頭に近い方に指定した領域表現を優先するという表現を非直和表現と呼ぶ．第1図に，この非直和表現から直和表

現に変換するアルゴリズムを示す．

Algorithm 1 非直和から直和への変換
Input: L：非直和表記
Output: O：入力に対応する直和表記
　$T \leftarrow L_1 + L_2 + \cdots + L_n$
　for $i = 1$ to n **do**
　　T に 000 が含まれていたら終了
　　$O_i \leftarrow T * L_i$
　　$T \leftarrow T - L_i$
　end for

第 1 図　非直和表現から直和表現への変換アルゴリズム

第 1 表を入力としたアルゴリズム 1 の計算にしたがって変化する変数と結果を第 2 表に示す．

第 1 表 Algorithm 1 の入力

L_1	(110, 001, 110)
L_2	(110, 111, 111)
L_3	(111, 111, 110)

第 2 表　第 1 表に対する計算

代入先	計算式	途中計算と結果
T		(110,001,110)+(110,111,111)+(111,111,110)
i		1
O_1	$T*L_1$	{(110,001,110)+(110,111,111)+(111,111,110)}* (110,001,110) =(110,001,110)
T	$T-L_1$	{(110,001,110)+(110,111,111)+(111,111,110)}* (110,001,110)' =(001,111,110)+(110,110,111)+(111,110,110) +(110,111,001)
i		2
O_2	$T*L_2$	{(001,111,110)+(110,110,111)+(111,110,110) +(110,111,001)}*(110,111,111) =(110,110,111)+(110,111,001)
T	$T-L_2$	{(001,111,110)+(110,110,111)+(111,110,110) +(110,111,001)}*(110,111,111) ' =(001,111,110)
i		3
O_3	$T*L_3$	(001,111,110)*(111,111,110) =(001,111,110)
T	$T-L_3$	(001,111,110)−(111,111,110) =(000,000,000)

第 2 表の O_2 は直和になっていないので，アルゴリズム 1 を再帰的に適用する．

第 3 表　(110,110,111)+(110,111,001)に対する計算

代入先	計算式	途中計算と結果
T		(110,110,111)+(110,111,001)
i		1
O_1	$T*L_1$	{(110,110,111)+(110,111,001)}*(110,110,111) =(110,110,111)
T	$T-L_1$	{(110,110,111)+(110,111,001)}*(110,110,111) ' =(110,001,001)
i		2
O_2	$T*L_1$	(110,001,001)*(110,111,001) =(110,001,001)
T	$T-L_2$	(110,001,001)*(110,111,001) ' =(000,000,000)

第 1 表に対するアルゴリズムの出力は第 4 表になる．

第 4 表 Algorithm 1 の出力

O_1	(110, 001, 110)
O_2	(110, 110, 111) + (110,001,001)
O_3	(001, 111, 110)

任意の非直和表現は，直和表現に変換できる．このとき，非直和表現の並び順は重要であり，並び順を変えると生成される直和表現も変化する．

4．領域周囲の境界面を求めるアルゴリズム

face という演算子をタプルが 000 以外のとき境界面を付加する演算子とする．例えば次のようになる．

face((001,011,110))　→　(101, 111, 110)

地質体領域を表現するタプルがあるとき，その領域の周囲の境界面を求めるアルゴリズム 2 を第 2 図に示し，計算結果を第 5 表に示す．

Algorithm 2 地質体の周囲面を求める
Input: I：地質体
Output: O：地質体周囲面
　$O \leftarrow \mathbf{face}(I) * \mathbf{face}(I')$

第 2 図　領域周辺の境界面を求めるアルゴリズム

第 5 表　領域周辺の境界面を求めるアルゴリズムの計算結果

代入	計算式	途中計算と結果
I		(110,110,001)
	face(I)	(110,110,101)
	I'	(001,111,111)+(111,001,111)+(111,111,110)
	face(I')	(101,111,111)+(111,101,111)+(111,111,110)
O	face(I)*face(I')	(110,110,101)*{(101,111,111)+(111,101,111)+ (111,111,110)} =(100,110,101)+(110,100,101)+(110,110,100)

5．おわりに

幾何表現優先モデリングのユーザーが試行錯誤の中で作成している地質体タプル表現は一般に非直和表現となるが，その表現から様々な地質体処理アルゴリズムを適用するために必要な，直和表現を計算するために，非直和表現から直和表現に変換するアルゴリズムを使用できる．

文　　献

大熊俊明・塩野清治 (2016) GeoCalcVB：地質構造の論理モデルを解析するためのビット演算プログラム．情報地質（投稿中）．

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 次元分布特性と地質図作成アルゴリズム―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・大熊俊明 (2015) 地質構造の論理モデルを解析するのに有効なビット演算．情報地質，vol.26, no.3, pp.121-134.

根本達也・升本眞二・塩野清治・野々垣 進 (2013) 地質構造の論理モデルを用いた三次元地質モデリング:データ処理と可視化. 地質学雑誌, vol.119, no.8, pp.527-536.

野々垣 進・中澤 努 (2015) 論理的手法に基づく木更津地域の 3 次元モデリング，情報地質, vol.26, no.1, pp.3-13.

升本眞二・塩野清治・根本達也・野々垣 進 (2013) 三次元地質モデルの基本要素と地質構造の論理モデル．地質学雑誌, vol.119, no.8, pp.519-526.