ファジィエキスパートシステムによる地質図自動作成システム

5D−3

加藤剛史　阪井和男　古沢実　向殿政男
明治大学

1．はじめに

本報告では地質境界面の接続ルールにファジィ理論を用いて推論する手法について報告する。まず、岩質についてのメンバーシップ関数を粒度等によって定義し、これを用いて地質図作成ルールを表現したものが2値によるカルノー図に帰着されることを示す。次に、ルール内に存在する矛盾や情報不足を「ファジィ・インターバル論理」を用いて表現する手法について提案する。

2．地質図作成ルール

ここでは、地質図作成エキスパートが作成した地質構造を推論するためのルールを実際にファジィ理論を用いてコンピュータ上に展開していく手法について述べていく。

この推論エンジンの目標は、ボーリング調査データから得られる局所面を所属する境界面ごとに分類する局所面のクラスタリングである。ただし、今回は地質構造の中でも、基本となる構造である「整合」と「不整合」の２つの構造についての推論方法について考えていく。

「整合」と「不整合」の２つの構造を推論するためのルールは次のような記述である。

《整合面の場合》
1．地質境界両側の地質の組み合せが同じ。
2．一般に上記の地質の上下関係は一定。（ただし、一部の褶曲は除く）
3．境界面の方向は一致。ほぼ、走向・傾斜は一致する。
4．境界面の形状がほぼ一致。

《不整合面の場合》
1．地質境界片側（一般に上位側）の地質の組み合せが同じ。
2．近い距離では境界面の方向（走向・傾斜）が類似する。
3．境界面の形状がほぼ一致。

ここでは局所面の両側の地質について着目して考えていく。なぜならば、曲げの大きい褶曲があるときには同一境界面であるにもかかわらず、推論エンジンでは異なった境界面に所属するという答を出してしまう。そこで、上同士、下同士だけではなく、どちらかの局所面を逆転させた場合も考える必要がある。

3．ファジィ推論手法

ここでは岩質についての曖昧さを表現するメンバーシップ関数 μ の面積に着目して考えていく。（以後、メンバーシップ関数をMSFで略記する。）

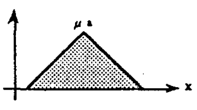

図1　MSFの面積

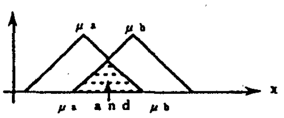

図2 共通部分の面積

たとえば、図1のMSFの面積を、

$$S(\mu a)$$

とする。すると、図2において、2つの岩質のMSFを μa, μb とすると共通部分である（μa and μb）、すなわち、その岩質同士の一致度は次のようになる。

$$\frac{S(\mu a \text{ and } \mu b)}{S(\mu a \text{ or } \mu b)} \quad \cdots (1)$$

また、¬（μa and μb）の度合いは

$$\frac{S(\neg(\mu a \text{ and } \mu b))}{S(\mu a \text{ or } \mu b)} = \frac{S(\mu a \text{ xor } \mu b)}{S(\mu a \text{ or } \mu b)} \quad \cdots (2)$$

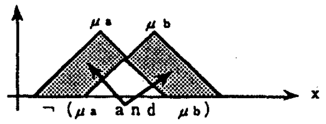

図3　μ_{ab} の否定

この面積法を用いて、先に述べた「整合面」「不整合面」の決定の手法について考えていく。まず整合度と不整合度を定義する。

ここで境界面 α についてMSFを次のように定義する。

$$\mu^{\alpha}(x) = (\alpha\text{の上側の地質のMSF})$$
$$\mu_{\alpha}(x) = (\alpha\text{の下側の地質のMSF})$$

面積法を用いて《α の上側の地質と β の上側の地質，α の下側の地質と β の下側の地質が接続する》ような整合面である度合いをCom$_=$を定義する。

$$\mathrm{Com}_= = \frac{S(\mu^{\alpha} \text{ and } \mu^{\beta})}{S(\mu^{\alpha} \text{ or } \mu^{\beta})} \text{ and } \frac{S(\mu_{\alpha} \text{ and } \mu_{\beta})}{S(\mu_{\alpha} \text{ or } \mu_{\beta})} \quad \cdots (3)$$

同様に《α の上側の地質と β の上側の地質が接続する》ような不整合面である度合い $\mathrm{Inc}^{\alpha\beta}$ は、

$$\mathrm{Inc}^{\alpha\beta} = \frac{S(\mu^{\alpha} \text{ and } \mu^{\beta})}{S(\mu^{\alpha} \text{ or } \mu^{\beta})} \text{ and } \frac{S(\neg(\mu_{\alpha} \text{ and } \mu_{\beta}))}{S(\mu_{\alpha} \text{ or } \mu_{\beta})} \quad \cdots (4)$$

で求める。これは、α の上側の地質と β の上側の地質が接続し、かつ、α の下側の地質と β の下側の地質が接続しない度合いを求めている。

いままで提案してきた手法は直感的に各関係を表す式を定義してきたが、ここで2値の場合で考えていく。

2境界面の上下各層の一致度を｛0，1｝とすると、$p^{\alpha\beta}$, $p_{\alpha\beta}$, $p^{\alpha}{}_{\beta}$, $p_{\alpha}{}^{\beta}$ において、以下のような真理値表が求められる。

（表1）《上下各層の一致度による真理値表》

$p^{\alpha\beta}$	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
$p_{\alpha\beta}$	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
$p^{\alpha}{}_{\beta}$	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
$p_{\alpha}{}^{\beta}$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
整合接続	×						○	↑		○		↑		↑	↑	△
不整合接続	×	○	○	△	○	△		↓	○		△	↓	△	↓	↓	

Geological Fuzzy Inference System
Takeshi Katoh Kazuo Sakai
Minoru Furusawa Masao Mukaidono
Meiji University

表１の「整合接続」「不整合接続」は、各層の関係をみて、その値を示すときに「整合接続」か「不整合接続」かを判別した結果である。
表１の「整合接続」「不整合接続」は、
1）”○”ならば、確実に整合的または不整合的な接続で２局所面を接続できることを意味している。
2）”△”ならば、どちらかと言えば整合的または不整合的な接続で２局所　　面を接続できることを意味している。
3）$p^{\alpha\beta}=0$, $p_{\alpha\beta}=0$, $p^{\alpha}{}_{\beta}=0$, $p_{\alpha}{}^{\beta}=0$ は接続不能を意味している。
4）”$\leftrightarrow$”は整合的または不整合的な接続、どちらとも言えない、競合　　していることを意味している。

ここで、先ほどまで述べてきた「整合度」「不整合度」を、$p^{\alpha\beta}$, $p_{\alpha\beta}$, $p^{\alpha}{}_{\beta}$, $p_{\alpha}{}^{\beta}$を用いた論理式で表現してみる。

$$
\begin{aligned}
Com_{=} &= Min\,(p^{\alpha\beta},\ p_{\alpha\beta}) \\
Com_{\times} &= Min\,(p^{\alpha}{}_{\beta},\ p_{\alpha}{}^{\beta}) \\
Inc^{\alpha\beta} &= Min\,(p^{\alpha\beta},\ \neg p_{\alpha\beta}) \\
Inc_{\alpha\beta} &= Min\,(p_{\alpha\beta},\ \neg p^{\alpha\beta}) \\
Inc^{\alpha}{}_{\beta} &= Min\,(p^{\alpha}{}_{\beta},\ \neg p_{\alpha}{}^{\beta}) \\
Inc_{\alpha}{}^{\beta} &= Min\,(p_{\alpha}{}^{\beta},\ \neg p^{\alpha}{}_{\beta})
\end{aligned}
\quad \cdots (5)
$$

この論理式のループを図４に表現している。この結果から、今まで述べてきた「整合度」「不整合度」は図４の「競合」のセルを”ドント・ケア”と見なしたループに他ならない。

今まで述べてきた直感的に考えてきた手法は、実のところ、２局所面の上下各層の一致度を変数とした真理値表から求められる次のカルノー図に帰着される。

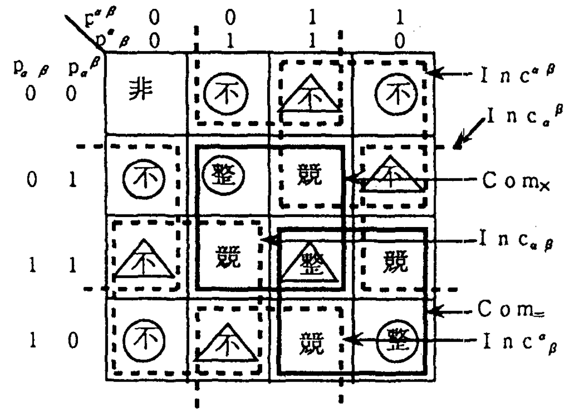

図４　定義した各整合度、不整合度のカルノー図

このようにしてＭＳＦの面積に着目して各整合度、不整合度を求める式が定義できる。この結果から構造が「整合」か「不整合」を決定する手法について考える。
例えば、Ｃｏｍ　＞　Ｉｎｃ　であるから、即「整合面」と決定してもよいか。これには、大いに問題がある。
たとえば、Ｃｏｍ＝０．９，Ｉｎｃ＝０．８　という場合、確かに、Ｃｏｍ＞Ｉｎｃ　であるが、Ｉｎｃの値も大きさからいって無視することはできない。

そこで整合度と不整合度から最終的に構造を決定する方法として、向殿・菊地が提案した「ファジィ・インターバル論理」を用いて、整合、不整合を統合的に扱う。
先の方法で求めた整合度、不整合度はあくまで１つの値でしかないが、これを拡張し区間値として表すことにする。

先ほど求めたＣｏｍ、Ｉｎｃより、

$$Tcom = Com \quad \cdots (6)$$
$$Tinc = 1 - Inc \quad \cdots (7)$$

として、整合的度合いを表す区間値は［０，Ｔｃｏｍ］、不整合的度合いを表す区間値は［Ｔｉｎｃ，１］というように定義される。
このとき、２つの区間値の重なり合う部分があれば、その部分の巾が、整合度と不整合度の間に存在する<矛盾度>を、２つの区間値に隔たりがあれば、その部分の巾が、整合度と不整合度の間の<情報不足>の度合いを表すことになる。
重なり合う部分についての区間値を［Ｔｉｎｃ，Ｔｃｏｍ］とする。このとき、次のような定義を行う。

$$Amb = Tcom - Tinc \quad \cdots (8)$$
$$Tr = (Tcom + Tinc) \div 2 \quad \cdots (9)$$

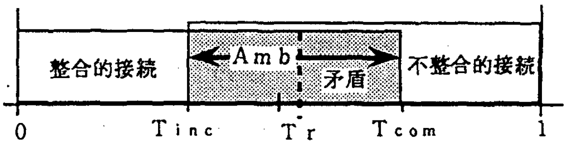

図6　Ｔｒ，Ａｍｂの概念

Ｔｃｏｍ，Ｔｉｎｃともに［０，１］を取り得るので、Ａｍｂは［－１，＋１］の値を、Ｔｒは［０，１］の値を取る。
これらの値の意味であるが、Ｔｒは整合か不整合かの度合いを表している。そしてＡｍｂはその結果が矛盾を有するか、情報不足かを表すことができる。

つまり、このように定義すれば、整合、不整合を判別するだけではなく、その結果に矛盾があるか、情報不足かをも表現できる。
これらの値より図７のような図が描ける。

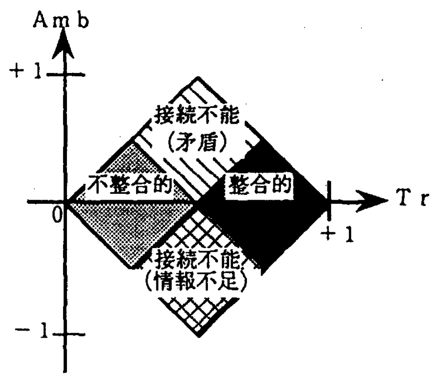

図７　区間値の分類

この評価関数で、整合的接続、不整合的接続を統合的に取り扱うことができる。

４．まとめ

今回は地質構造をファジィを用いて推論する手法について提案した。今後の課題は、本手法を用いて実際のデータから地質構造を推論するシステムの構築である。