

ミクセルを有するCT画像の閾値決定法について

松本 英敏*¹, 今泉 慎哉*², 棕木 俊文*³

*¹ 熊本大学工学部技術部, *² 熊本大学工学部, *³ 熊本大学自然科学研究科

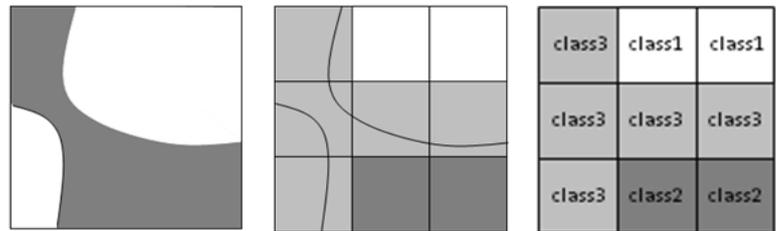
1. はじめに

ガソリンなどの低比重非水溶性流体：LNAPL (Light-Non-Aqueous-Phase-Liquid) によって汚染された地盤は、間隙が空気・水・LNAPL で構成されている。そこで効果的な浄化を行うには、間隙中の LNAPL の残留状況を把握することが重要である。今回、間隙率を定量的に評価するために、X線CT撮影で得られた画像に対して頻度解析を実施し、物性間の閾値を決定することを提案する。ここでは各相の境界にミクセルと呼ばれる混合画素が存在するため、EMアルゴリズムを用いた汚染流体に関する頻度解析について述べ、LNAPL と水に関するミクセルの定量的評価を行った。

2. 解析手法

2-1 ミクセル

一般に、画像を構成する最小要素は純粋画素（ピュアピクセル）であり、ミクセルとは図1に示すように1画素の内部に複数の材料（class3）が存在する混合画素を意味する。X線CT画像はX線照射厚を高さとする厚みを持ったボクセル画像の集合体であり、物質同士の境界においてミクセルが出現する可能性が高い。そこで初めに、最尤推定法によりミクセル



(a) 原画像

(b) pixel 分割

(c) クラス分け

図1 ミクセルの概念図

分布を推定した。図2は撮影したCT値画像（黒線）の概念図である。class1（赤線）とclass2（緑線）に分かれミクセル部（青線）が分布している様子を示す。ここで大事なことは、各classを決める閾値 t_1, t_2 を決定する方法¹⁾である。本来、CT値がN個存在する場合、 t_1, t_2 を1個目からN個目まで移動しながら全ての尤度に対して計算を行い、最大の尤度を示した t_1, t_2 を閾値に決定する。今回は閾値が双峰型のCT値分布を示す場合、山のピークの内側に存在することが判るので、CT値分布の平滑化を行った後に2個ピークを求め、その区間だけ計算することで、時間短縮を図った。

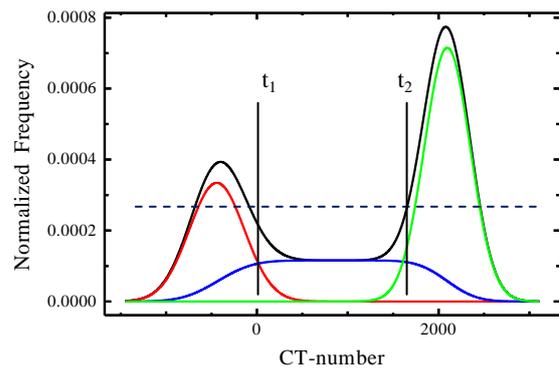


図2 閾値決定の概念図

2-2 EMアルゴリズム

EMアルゴリズム²⁾(Expectation-Maximization Algorithm)は、完全なデータに対する最尤法を基礎にして、反復法により不完全な観測をともなうデータに基づくパラメータの最尤推定を行う方法である。EMアルゴリズムの計算手順は、以下のとおりである。

(1) 適当なパラメータの推定値を $\theta^{(k)}$ とする。

(2) Eステップ： $k=0$ として、次式で定義される対数尤度の条件付き期待値を計算する。

$$Q(\theta, \theta^{(k)}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^g z_{ij}^{(k)} \log\{\xi_j \cdot f_j(y_i | \phi_j)\} \quad (1)$$

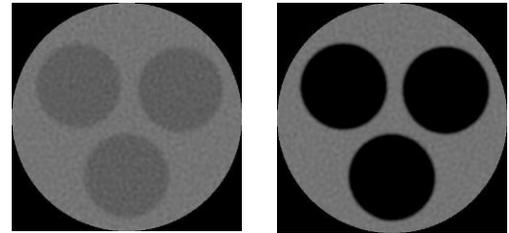
$$\theta = \{(\xi_j, \phi_j), j=1, \Lambda, g\}, \quad \phi_j = (\mu_j, \sigma_j^2) \quad (2)$$

(3) M ステップ: $Q(\theta, \theta^{(k)})$ を θ について微分し, $Q(\theta, \theta^{(k)})$ を最大にする ξ_j, μ_j, σ_j^2 を繰り返し計算し求める。

但し, ξ_j は混合比率, $f_j(y_j | \phi_j)$ は正規分布に従う確率密度関数であり, μ_j は平均, σ_j^2 は分散である。以下, 実験結果に EM アルゴリズムを用いた頻度解析を実施した。

3. 実験方法

アクリル製の円柱供試体を作製し, 間隙率が 40% となるように円柱内部に 3 つの穴をあけた。密度差が異なる物質同士では, CT 値のヒストグラムの現われ方が違うため, 今回は 3 つの穴が空気あるいは水で満たされている場合の 2 ケースについて CT 撮影を実施した。すべての撮影条件は電圧 200kV, ボクセルサイズは $73^2 \times 300 \mu\text{m}^3$ である。



(a) 水 (b) 空気

図3 アクリル製円柱のCT画像

表1 各クラスの混合率と算出した間隙率

		クラス1	クラス2	クラス3 (ミクセル)	間隙率
水-アクリル	case1	0.380	0.552	0.068	40.8%
空気-アクリル	case2	0.348	0.535	0.117	39.4%
水-アクリル	case3	0.405	0.595	-	40.5%
空気-アクリル	case4	0.362	0.637	-	36.2%

4. 解析結果

図3 はアクリル製円柱の間隙内部に(a)水, (b)空気が存在するCT画像である。図4 はこれらの画像をもとに, EMアルゴリズムで推定した各クラスの確率分布とCT値である。図や表1 からミクセル (緑線) では物性に関係なく推定可能であるが, 空気とアクリルのようにCT値が極端に離れている場合は, ピュアピクセルだけでは難しい。

発表時には, 3 相以上の場合についてもミクセル評価できるプログラムの改良と, LNAPL の結果について言及したい。

<参考文献>

- 1) 小林優矢, 川崎 了, 加藤昌治, 椋木俊文, 金子勝比古: バイオグラウンド処理された地盤材料を用いた間隙率評価手法に関する研究, Journal of MMU, Vol.125, pp.540-546, 2009.
- 2) 北本朝展, 高木幹雄: ミクセルが存在する場合の混合分布推定, In 1995 年秋情処全大, Vol.1, pp.17-18, 1995

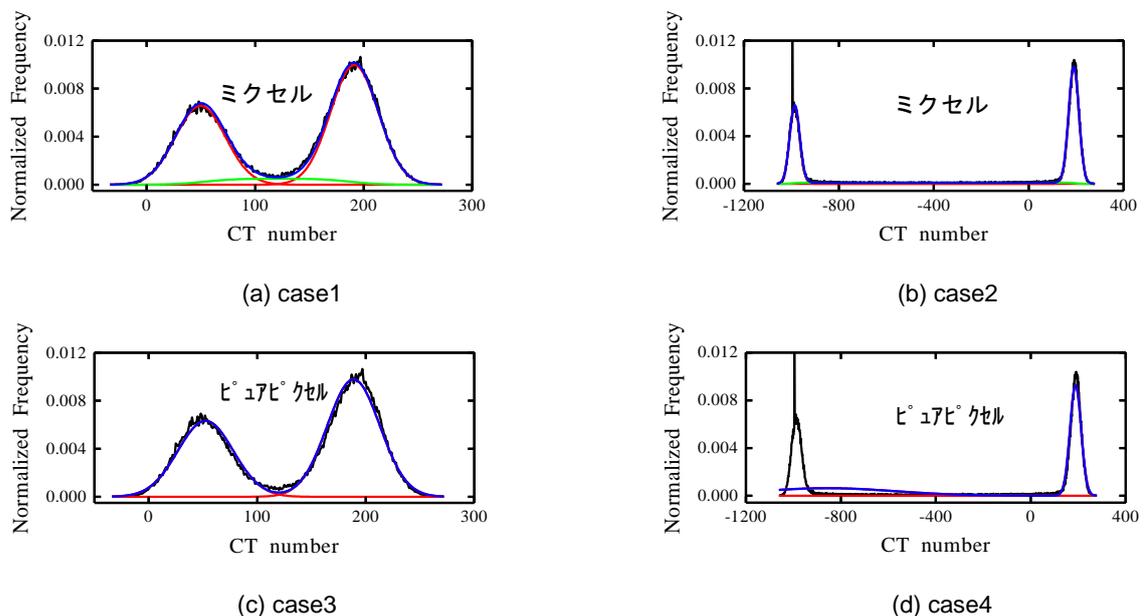


図4 EMアルゴリズムにより推定された各クラスの確率分布