

G-009

曲率情報に基づく FDG-PET のセグメンテーションとその表示 Segmentation and Visualization of FDG-PET Images Based on Their Curvatures

鳥越 庸平[†] 戸崎 哲也[‡]
Yohei Torigoe Tetusya Tozaki

1. はじめに

日本人のがんによる死亡者数は増加傾向にある．死亡者数を減少させるには，がん検診や診断による早期発見が必要である．近年，がん検診や診断に PET(Positron Emission Tomography)を用いる医療機関が増加している．この PET によるがん検診や診断では，トレーサーとして主に FDG(2-dexy-2-[¹⁸F]fluoro-D-glucose)が用いられている．ブドウ糖と同様の性質を持つ FDG が，糖代謝の高いがん細胞に多く集積するため，がんを疑う領域を画像化することが可能となる．FDG-PET の登場により，全身を一度に検査することが可能となった一方で，FDG が集積する箇所はがん細胞だけでなく，脳や心筋，尿道などにも集積する．そのため，擬陽性も多く含み，FDG-PET で撮像された陰影から良悪性を判断するのは困難である．そこで，本研究では医師による診断の負荷を軽減することを目的とし，FDG-PET が持つ曲率情報から各値の符号や大小関係に基づいて FDG-PET の分類を行うことにより，各陰影の特徴付けを行うことを目的とする．

2. 方法

2.1 使用画像

本研究で使用する FDG-PET 像は，GE 社製 Discovery で撮影された画像であり，スライス厚は 3.27mm，ピクセルサイズは 4.69mm，体軸方向のスライス枚数は概ね 150 枚程度である．この画像を水平方向と垂直方向に 2 倍拡大を行った画像を研究対象とした．

2.2 4 次元超曲面曲率

本研究で用いる 4 次元超曲面の曲率は，文献[1]によるもので，3 次元濃淡画像の三つの空間軸 X-軸，Y-軸，Z-軸に加え，第 4 軸目として濃度値をとり，3 次元画像濃淡画像を 4 次元空間における 4 次元超曲面と考えたときの法曲率である．4 次元超曲面の曲率では主曲率が三つ存在し，この三つの主曲率の符号と絶対値によって超曲面の曲がり具合が記述される[2]．

4 次元超曲面の曲率は式(1)で示す第 1 基本式と式(2)で示す第 2 基本式から式(3)の行列を求め，この行列 W の固有値 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ として与えられるものである．ここで， $f_x, f_y, f_z, f_{xx}, f_{xy}, f_{xz}, f_{yy}, f_{yx}, f_{yz}, f_{zz}, f_{zx}, f_{zy}$ はそれぞれ $f(x, y, z)$ の偏導関数を表し，3 次元 PET 像と 3 次元ガウス関数との畳み込みによって計算する．ここで，対象とする候補領域の大きさによって計算する．ここで，対象とする候補領域の大きさを考慮して，標準偏差 $\sigma = 3.0$ とした．今，行列 W の三つの固有値を $|\lambda_1| \geq |\lambda_2| \geq |\lambda_3|$ とすると，固有値に対応する固有ベクトル $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \mathbf{e}_3$ は互いに直行し，その方向は各固有

$$F_1 = \begin{pmatrix} 1 + f_x^2 & f_x f_y & f_x f_z \\ f_y f_x & 1 + f_y^2 & f_y f_z \\ f_z f_x & f_z f_y & 1 + f_z^2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$F_2 = -\frac{1}{D} \begin{pmatrix} f_{xx} & f_{xy} & f_{xz} \\ f_{yx} & f_{yy} & f_{yz} \\ f_{zx} & f_{zy} & f_{zz} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\text{ただし, } D = \sqrt{1 + f_x^2 + f_y^2 + f_z^2}$$

$$W = F_1^{-1} F_2 \quad (3)$$

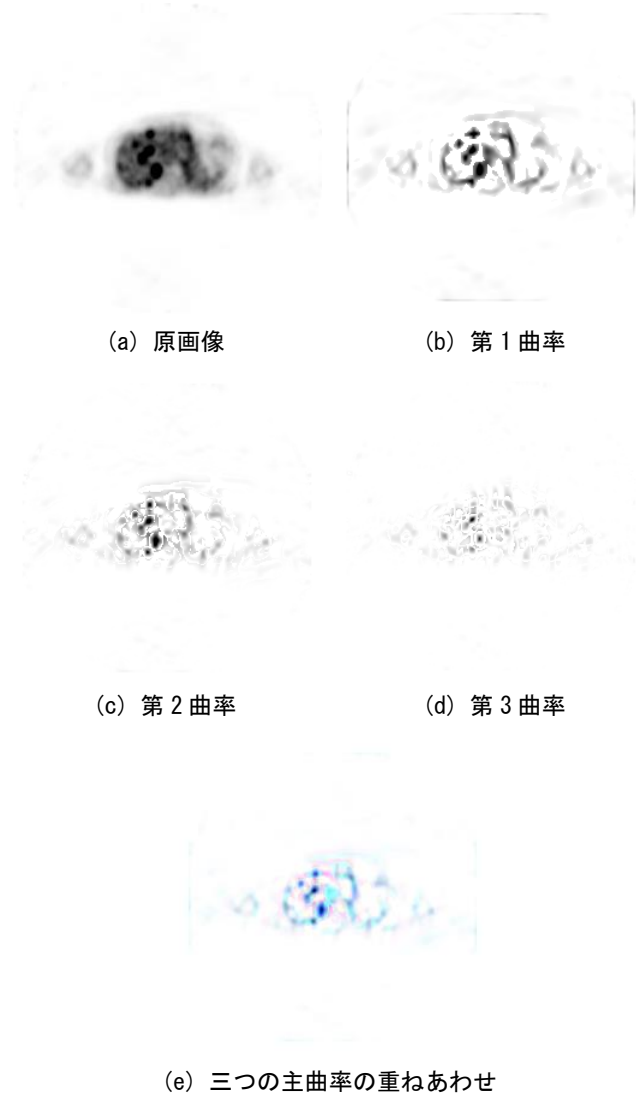


図 1 4 次元超局面の曲率

[†] 神戸市立工業高等専門学校電気電子工学専攻科

[‡] 神戸市立工業高等専門学校電子工学科 教授

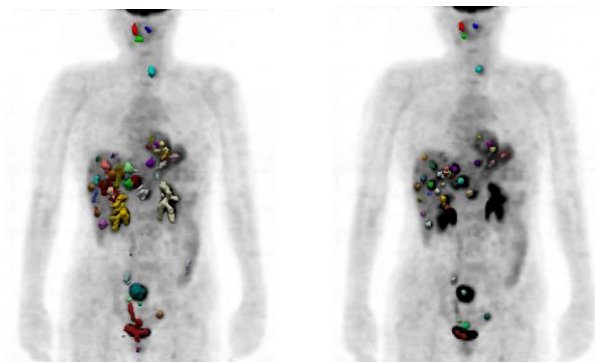
値から得られる曲率に対応する輝度変化の方向と一致する [3]. ここでは、固有値の絶対値の大きい順に第 1 曲率, 第 2 曲率, 第 3 曲率と定めることとする.

曲率計算の処理結果を図 1 に示す. (a)は原画像を, (b)は第 1 曲率, (c)は第 2 曲率, (d)は第 3 曲率の値を基に画像化したものを, (e)は三つの主曲率の画像を重ねたものを示す. どの図も体軸方向に MIP 表示を施している. ここで, MIP とは Maximum Intensity Projection を意味し, 投影線上の最大濃度値を投影面に投影する手法で, 処理が簡単ではあるが描画能力が高く, 医療現場ではよく用いられる手法である. 処理結果より, 第 1 曲率, 第 2 曲率の強度は濃度勾配を表し, 第 3 曲率は限局性を表していると考えられる.

2.3 曲率を用いたセグメンテーション

曲率の強度に基づくセグメンテーションとして, 各曲率の絶対値に基づく 2 群分割, 及び各曲率の符号の組み合わせによるセグメンテーションを検討した.

曲率の強度に基づくセグメンテーションは, 三つの主曲率それぞれにしきい値を設け, その値より高い領域を抜き出すものである. 図 2 に, 第 2 曲率と第 3 曲率に基づいて, その領域を抽出した例を示す. (a)は第 2 曲率に基づいて抽出した例, (b)は第 3 曲率に基づいて抽出した例を示す. ここでは, しきい値を 0.4 とし, 連結画素数が 24 以上のものを異常領域として抽出した. 尚, 背景には MIP 像を置き, 抽出された領域を分類のために個々に色分けして 3 次元表示している.



(a) 第 2 曲率に基づく抽出 (b) 第 3 曲率に基づく抽出

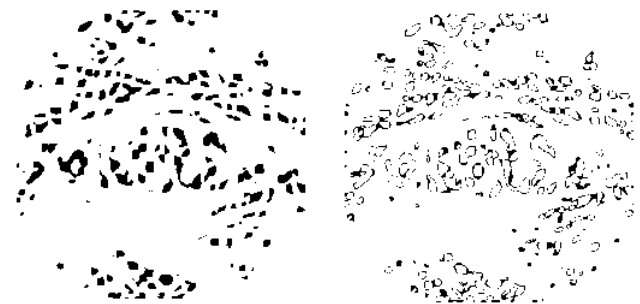
図 2 しきい値以上の領域の抽出

各曲率の符号の組み合わせに基づくセグメンテーションとして, 以下のように検討した. 三つの主曲率を k_1 , k_2 , 及び k_3 としたとき, それらは 3 種類の特徴量(基準)で分類可能である. 用いた特徴量は, 主曲率の符号と大小関係(単純主曲率基準), 主曲率の絶対値および 0 の大小関係(絶対値基準), 及び三つの主曲率の和の符号(平均曲率基準)である. 単純主曲率基準は k_1 , k_2 , k_3 , 及び 0 の大小関係による分類であり 20 通り, 絶対値基準は絶対値 $|k_1|$, $|k_2|$, $|k_3|$, 及び 0 の大小関係による分類であり 26 通り, 平均曲率基準は和 $k_1+k_2+k_3$ の符号のよる分類であり 3 通りとなり, 総計 1560 通りの組み合わせが存在する. ここで, $k_1 \geq k_2 \geq k_3$ という条件を与えると, 42 通りにまとめられる [4].

計算した三つ主曲率の値を同様に分類したところ, 42 通りの中で表 1 に示す 2 通りのパターンに集中した. この 2 パターンを 3 次元表示したものの 1 枚を図 3 に示す. 図 1 と照らし合わせてみると, パターン 1 では, 異常を疑う領域を含む濃度値の高い領域の内部に強く反応し, パターン 2 では, それらの領域の辺縁に強く反応している様子が伺える.

表 1 集中した主曲率の分類

番号	単純主曲率基準	絶対値基準	平均曲率基準
1	$k_1 > k_2 > k_3 > 0$	$ k_1 > k_2 > k_3 > 0$	$k_1 + k_2 + k_3 > 0$
2	$k_1 > k_2 > 0 > k_3$	$ k_1 > k_2 > k_3 > 0$	$k_1 + k_2 + k_3 > 0$



(a) パターン 1

(b) パターン 2

図 3 分類の 3 次元表示

3. 結論

元画像の陰影に基づく異常領域抽出には, PET 自体の解像度の問題や, 画像に存在するバイアス成分のため, 均一なしきい値を設けることが不可能である. そこで, 画像が持つ曲率に注目したが, 4 次元超曲面曲率の各値に基づくセグメンテーションでは, 病変を疑う陰影を推定できることが確認できた. さらには, 線状や球状といった陰影の 3 次元的形態も表現できる可能性を示した. 各曲率の符号の組み合わせに基づいた場合, 何らかの情報を表現できているものと考えられる. 今後は, これらの情報が診断を行う医師にとってどのように有効な情報を提供できるか精査する必要がある.

参考文献

- [1] O.monga and S.Benayoun, "Using partial derivatives on 3D images to extract typical surface features", Computer Vision and Image Understanding, Vol.61, No.2, pp.172-189 (1995).
- [2] 平野靖, 清水昭伸, 長谷川純一, 鳥脇純一郎, "4 次元超局面的曲率を用いた 3 次元濃淡画像に対する追跡型細線化の一手法", 電子情報通信学会論文誌, Vol.J-83-D-II, No.1, pp126-136 (2000)
- [3] 戸崎哲也, 千田道雄, "FDG-PET から的高 SUV 領域抽出とその特徴解析", 第 34 回日本医用画像工学会大会予稿集 CD-ROM, OP1-7 (2015).
- [4] 鳥脇純一郎, "3 次元デジタル画像処理", 昭晃堂, pp.53-55,252,256, (2002).