

## 組織の機能に基づく FDG-PET 像の解析 Analysis of FDG-PET Images Based on Function of Organs

朝戸 天翔<sup>1)</sup> 戸崎 哲也<sup>2)</sup> 千田 道雄<sup>3)</sup>  
Sho Asato Tetsuya Tozaki Michio Senda

### 1 はじめに

FDG-PET では、 $^{18}\text{F}$ -FDG の悪性腫瘍に集積しやすい性質を利用して、がんの診断を行っている。しかし、FDG は糖代謝の活発な組織や炎症組織にも集積するため、FDG-PET 像上には、悪性腫瘍を含めたこれらの組織が陰影として表れる。そのため、FDG-PET による画像診断は、画像中の陰影が腫瘍への集積を示しているのか、正常組織への集積を示しているのかを判断することが難しいという問題を抱えている。実際に読影医は、何枚もの画像を用いて、FDG-PET 上の陰影を空間的に見ることで形状の診断を行っており、この作業は読影医にとって大きな負担となっている。球状や管状になっている陰影の形を表現することや、陰影が悪性腫瘍・炎症組織・正常な組織のどれであるかを表現することは、がん診断の助けになると考えられる。

PET は、体内に投与された薬品がどの組織に取り込まれるかを表す機能画像である。機能画像である PET から、FDG の流れを表現することで、組織の機能を表現するという発想に至った。FDG の取り込まれ方は、血管なら流れるように、膀胱なら滞留するように、がん細胞なら一点に集中するというように、体内の各組織によって異なっていると考えられる。本研究では、曲率に対応する固有ベクトルの方向が、体内に投与された FDG の動く方向と一致していると仮定し、組織による取り込まれ方の違いを、曲率に対応する固有ベクトルによって表現することを考えた。この仮定の下、固有ベクトルを用いて FDG の流れを表現し、ベクトルの方向と体内の器官の生理的特徴との関係を調査する。最終的に、曲率に対応する固有ベクトルによって、PET 像中の陰影が腫瘍への集積であるか、それ以外の組織への集積であるかを視覚的に表現することを目指す。

### 2 研究内容

#### 2.1 4次元超曲面曲率の算出

FDG-PET 像上の組織の機能を表現する手段として、4次元超曲面曲率を用いた。本研究で用いる4次元超曲面曲率は、文献 [1] によるものである。4次元超曲面曲率は3次元濃淡画像の x 軸、y 軸、z 軸に加え、濃淡値を第4軸にとり、3次元濃淡画像を4次元超曲面と考えたときの法曲率である。まず、FDG-PET 像に対して、式 (1) に示す3次元ガウス関数を用いて平滑化を行う。式 (1) において、 $x, y, z$  は3次元画像における注目画素の座標、 $f(x, y, z)$  はその座標における重みを示す。次に、平滑化

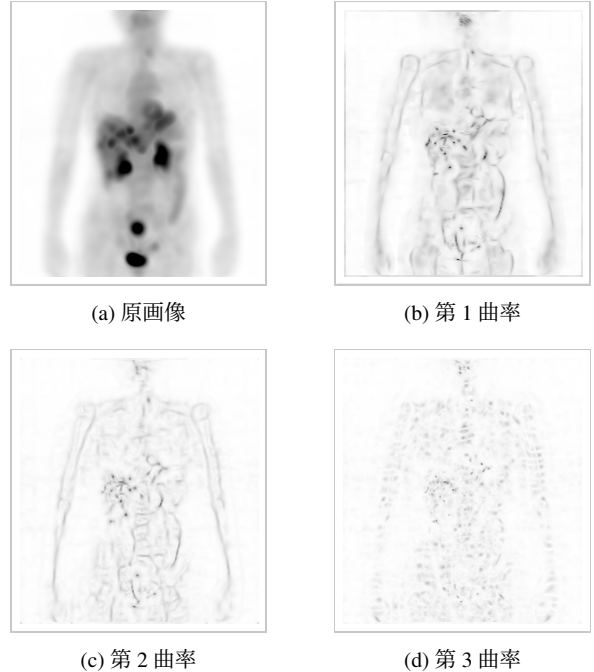


図 1: FDG-PET 像および作成した曲率画像。3次元の特徴画像から coronal 方向に MIP 法を用いて投影した画像である。画素の濃度値が大きい(黒い)ほど、その画素に対応する曲率の値が大きいことを示す。

を行った FDG-PET 像から、4次元超曲面曲率を算出する。4次元超曲面曲率は、式 4 に示す行列  $W$  の固有値として与えられる。

$$f(x, y, z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}^3 \sigma^3} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2 + z^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

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

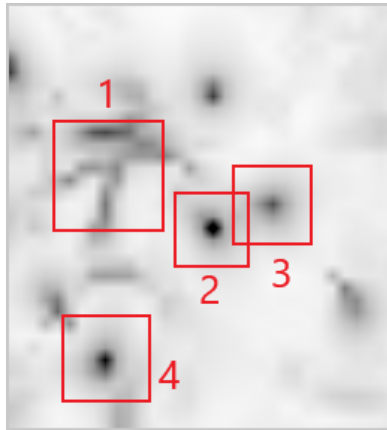
$$F_2 = -\frac{1}{D} \begin{pmatrix} f_x x & f_x y & f_x z \\ f_y x & f_y y & f_y z \\ f_z x & f_z y & f_z z \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$W = F_1^{-1} F_2 \quad (4)$$

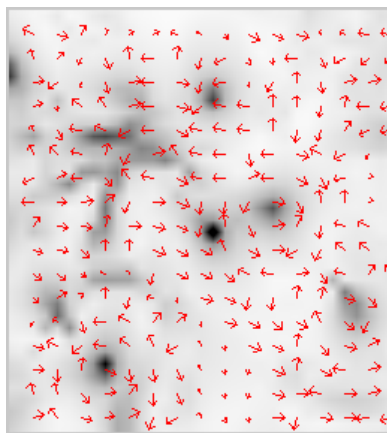
$$\text{ただし、} D = \sqrt{1 + f_x^2 + f_y^2 + f_z^2}$$

ここで、式 (2) および式 (3) における  $f$  は式 (1) の  $f(x, y, z)$  の導関数であり、FDG-PET 画像と連続関数である3次元ガウス関数との畳み込みによって計算する。今、行列  $W$  の3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  $e_1, e_2, e_3$  は互いに直交し、その方向は各固有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。ここでは、固有値の絶対値

1) 神戸市立工業高等専門学校 電気電子工学専攻  
2) 神戸市立工業高等専門学校 電子工学科  
3) 先端医療センター



(a) 肝臓付近を拡大した第 2 曲率の曲率画像



(b) 第 2 曲率の曲率ベクトル

図 2: 第 2 曲率における肝臓付近の曲率ベクトル

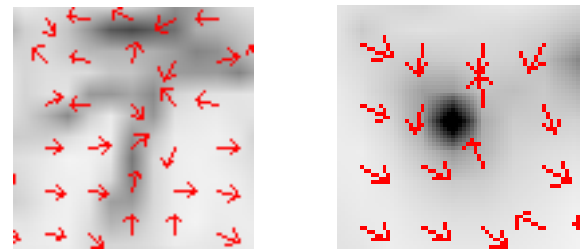
の大きい順に第 1 曲率, 第 2 曲率, 第 3 曲率と定め [2], 曲率に対応する固有ベクトルを曲率ベクトルと呼ぶ。3 つの曲率は, 互いに直交しており, 濃度勾配, それに対して直角方向の濃度勾配, 空間方向の連結成分を示している [2]。

## 2.2 曲率ベクトルを用いた陰影周囲の流れの表示

FDG-PET 画像から各画素における 4 次元超曲面曲率を算出した後, 曲率の大きさを濃度値とした特徴画像を作成した。回盲部がんの FDG-PET 画像について, 作成した特徴画像を図 1 に示す。この作成した特徴画像を曲率画像と定義する。本研究では, 曲率画像の上に曲率ベクトルの大きさと方向を表す矢印を重ねて表示することで, FDG の流れを表現することで曲率画像中の注目する領域の機能の表現を行うことを試みた。

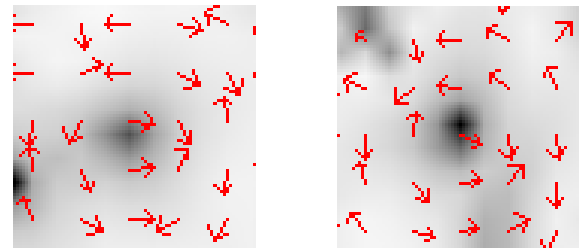
## 3 結果と考察

肝臓付近の陰影に対して, 陰影周囲の曲率ベクトルの向きと大きさを調査した。図 2 は, 第 2 曲率において, 曲率画像の肝臓付近の領域を拡大し, 各ボクセルに対応する曲率ベクトルを表示したものである。また, 図 2(a) で示されている陰影 1-4 についてさらに拡大したものを図 3 に示す。



(a) 陰影 1

(b) 陰影 2



(c) 陰影 3

(d) 陰影 4

図 3: 陰影 1-4 の拡大画像

図 3 を見ると, 陰影 1 では, 曲率ベクトルが線状の陰影に沿うような方向を向いていると考えられる。陰影 2 では, 曲率ベクトルは左上, 真上, 右下方向のある方向のみから陰影に向かっていていると考えられる。これらに対して, 陰影 3 と 4 では, 曲率ベクトルは陰影を中心に反時計回りに渦を巻く方向を向いていると考えられる。このように, 線状である陰影 1 と粒状である陰影 3,4 を比較すると, 陰影の形による特徴の違いが曲率ベクトルで表現できていると考えられる。また, 陰影 2 と陰影 3,4 のように, 曲率画像中では同じ粒状の陰影であっても, 曲率ベクトルに注目すると異なる特徴を示すと考えられ, 曲率ベクトルによって陰影を特徴ごとに分類できる可能性が考えられる。

## 4 まとめ

陰影の周囲の曲率ベクトルの方向を調べることにより, 陰影を機能ごとに分類できる可能性が示された。今後は, 曲率ベクトルを用いた定量的な指標を導入し, 評価を行っていく必要がある。また, 曲率ベクトルを用いた流れの表現方法を改善する必要がある。現段階では, 文献 [3] で提案されている, 流体を可視化する手法を応用して, FDG が体内を流れるアニメーションを作成することを考えている。

### 参考文献

- [1] O. monga, 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] S.Asato, T.Tozaki, M.Senda, "Analysis of Characteristics of Lesion Tissue Based on Curvature of Four Dimensional Hypersphere Using FDG-PET Images", Virtual 2021 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, in press.
- [3] Jarke J. van Wijk, "Image based flow visualization", SIGGRAPH '02: Proceedings of the 29th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp. 745-754, 2002.