

## 微分幾何学特徴に基づく FDG-PET 上の異常陰影特徴解析 Structural Analysis of Abnormal Regions on FDG-PET Based on Differential Geometry

戸崎 哲也<sup>1</sup> 高室 蒼太<sup>2</sup> 千田 道雄<sup>3</sup>

Tetsuya Tozaki Sota Takamuro Michio Senda

### 1. はじめに

本研究では、まず FDG-PET の持つ微分幾何学特徴に基づいて異常を疑う陰影を絞り出す。その後、生体的に正常な陰影と異常を疑う陰影との特徴の差を定量的に評価することを目的とする。ここでは、正常と異常の違いをいくつかの特徴量に基づいて定量化したのでそれらの報告を行う。異常を疑う陰影は、4次元超曲面曲率から導き出される固有値を FDG-PET の持つ曲率と定め、それらの組み合わせに基づいて行う。その後、抽出された異常を疑う陰影に対して、曲率値と濃度値の両方に基づいて分析し、両者の違いを検討する。さらには、曲率が持つ曲率ベクトルを可視化することにより、視覚的にも両者の違いを表現する。曲率に基づくことにより、形態的な特徴を定量化できると考えられ、また濃度値に基づくことで、機能的な分析を行うことが可能であり、形態的かつ機能的観点から異常陰影を分析することが可能となると期待が持てる。

### 2. 曲率の算出

曲率の算出は、文献[1],[2]に基づいて行う。これは、3次元濃淡画像の空間方向の3つの軸に加え、第4軸目として濃度値をとり、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。得られる固有値は3個存在するが、それらを $|\lambda_1| \geq |\lambda_2| \geq |\lambda_3|$ とした時に、順に第1曲率、第2曲率、第3曲率と定義する。

#### 2.1 画像ファントムによる検証

4次元超曲面曲率を使用することの効果を検証するため、ファントム画像に対して曲率の算出を行なった。用いたファントムは、3次元空間上に半径7画素の円筒6本を格子状に配し、格子の隙間に半径7画素と10画素の2つの球を配置したものである。内部の濃度値は、辺縁からの距離値の2乗に基づいて定め、画像全体にはすり鉢乗のバイアス成分と白色ノイズを与えている。この結果、第1曲率では、円筒の中心付近に強く反応し、第2曲率では円筒の中心および球体の中央付近、第3曲率では格子が交わる交差部分と球体の中心付近が高い値を示すという結果が得られた。これらより、第1曲率、第2曲率は線状の陰影に強く反応しており、第3曲率は孤立陰影に強く反応することが確認できた。

#### 2.2 FDG-PET からの算出

図1は、FDG-PET から4次元超曲面曲率を算出し、それぞれの曲率の強度を画像化した結果を示す。それぞれ、coronal 方向の最大濃度値を投影面に投影した画像である。

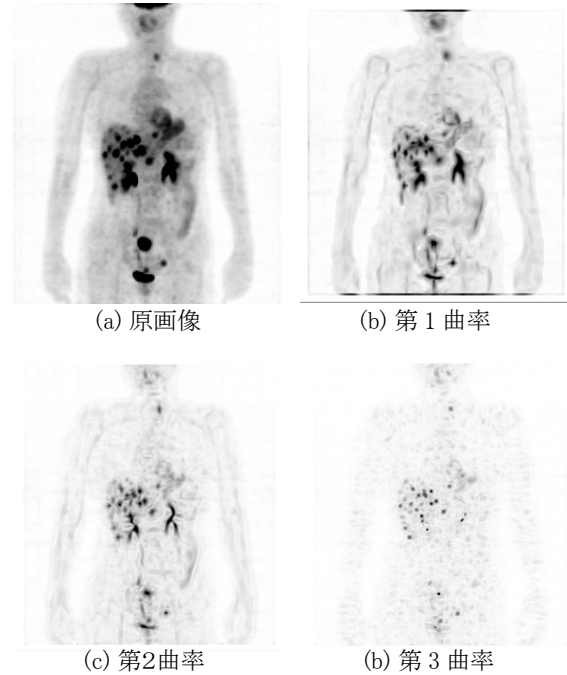


図1 曲率算出結果

この症例は、回盲部にがんが存在する症例であるが、肝臓領域内にも転移巣とみられる複数の陰影が確認される。第1曲率、第2曲率に基づいた画像からは、腕のリンパや上行、下行結腸等の線状陰影が強調されていることが確認できる。また、第3曲率に基づいた画像からは、肝臓内の球状の陰影や、咽喉部にある球状の陰影も強調できていることが確認できる。本来であれば、FDG-PET はブドウ糖代謝の様子を画像化したものであり、組織の機能的な面を表現したものであるが、曲率の情報を用いることで、線状あるいは球状のような形態的な陰影を表現することが可能となることが確認できた。

### 3. 陰影ごとの特徴表現

#### 3.1 異常陰影の絞り込み

ファントム画像を用いた検証の結果、第2曲率が背景成分に左右されることなく線状および球状の陰影に強く反応することが確認できた。そこで、異常陰影の絞り込みは、第2曲率の強度に基づいて行うこととする。ここでは、経験的に第2曲率の強度が0.4以上で、かつ連結成分が50画素以上のものを異常陰影として抽出する。

#### 3.2 特徴の定量的な表現

表現する特徴として、各領域内の(i)平均 SUV、(ii)最大 SUV、(iii)SUV の分散、(iv)球形度、(v)最大第3曲率を考慮する。ここで、SUV とは、Standardized Uptake Value を

1 神戸市立工業高等専門学校 Kobe City College of Tech.

2 大阪大学工学部 Osaka Univ.

3 先端医療センター Institute of Biomedical Research and Innovation

意味し, FDG 投与量を体重で規格化したものである. また, (iv)の球形度は, 以下の式(1)により算出した.

$$\text{球形度} = \frac{\pi^{\frac{1}{3}}(6V_p)^{\frac{2}{3}}}{A_p} \quad (1)$$

この式において,  $V_p$ は, 注目する異常陰影の体積,  $A_p$ は同陰影の表面積を意味する. (i)~(iii)の特徴は, FDG 代謝量に基づくのであり機能的特徴を示し, (iv),(v)は形状あるいは孤立状態を意味するものであり, 形態的特徴を表現していると考えられる.

### 3.3 陰影周辺領域の特徴表現

各局率には, それに対応する曲率ベクトルを有する. ここでは, 異常陰影表面の固有ベクトルを可視化してその特徴を表現することとする.

## 4. 結果

図 2 に, 異常陰影を抽出して FDG-PET 上にマッピングした結果を示す. (a)が coronal 方向, (b)が sagittal 方向からの図であり, 領域ごとの色分けを行なっている. 図中の矢印 1 の領域が医師によりがんと診断された回盲部がん領域であり, 矢印 2 は生理的に FDG 集積が高い膀胱の領域である. 表 1 にそれぞれの領域での特徴の値を示す.

表 1 陰影ごとの特徴

(a) 回盲部がん		(b) 膀胱の領域	
特徴	値	特徴	値
(i)	8.26	(i)	22.13
(ii)	9.81	(ii)	31.51
(iii)	0.72	(iii)	4.99
(iv)	0.93	(iv)	0.89
(v)	0.35	(v)	0.20

表 1 より, 膀胱の領域では FDG の集積が強いことがわかり, またがん領域では球形度が高く孤立性も強いことが確認できる.

図 3 に, 回盲部がんの特徴と似通った陰影を検索した結果を示す. (a)が機能的特徴, (b)が形態的特徴に基づいて検索した結果である. (a)では, 肝臓領域内の転移巣とみられる陰影が同特徴として出力され, また(b)では咽喉部分にある領域が同特徴として抜き出されていることが確認できる.

図 4 に回盲部表面の曲率ベクトルを可視化した様子を示す. 体軸方向の要素を緑で, 奥行き方向の要素を青で, 水平方向の要素を赤で表現している. 結果から, 領域周辺を周回するような特徴が見られた. 生理的に FDG 集積の高い正常組織ではこのような特徴が見られなかったため, 何らかの悪性の特徴を表現していることが考えられる.

## 5. おわりに

本研究では, 4 次元超曲面曲率に基づいて FDG-PET 上の異常を疑う陰影を絞り込み, 各領域の特徴を定量的に表現し, また領域周辺の特徴を可視化することを行なった. 4 次元超曲面曲率を利用することで, 本来であれば組織の機能を表現した PET 像に対して, 線状や球状, 孤立状態のような形態的情報を表現することが可能であることが確認できた. また, 異常を疑う陰影ごとに, 機能的な特徴と組織的な特徴を定量表現することは, 注目する陰影と似通った性質を持つ陰影を検索することに利用することが可能で

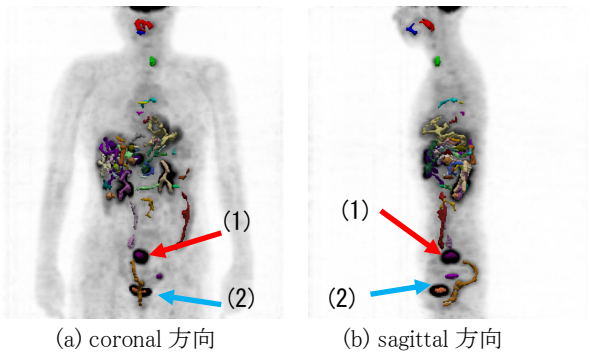


図 2 異常陰影の絞り込み結果

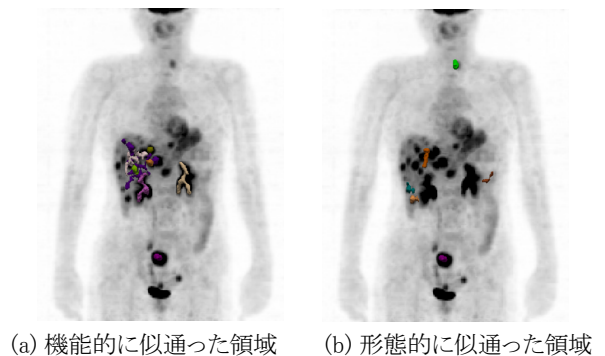


図 3 似通った特徴を持つ領域の検索結果

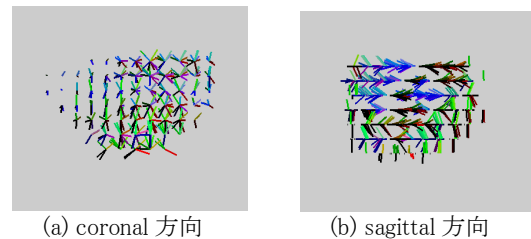


図 4 病変部表面の曲率ベクトルの様子

あることが確認できた. さらに, 曲率ベクトルを可視化することで, 何らかの病変の特徴を表現しているという可能性を示すことができた.

今後は, 他のがん症例に適用して病変ごとの特徴を統計的に解析し, それらの特徴に基づいて疑わしい病変を絞り込むような診断支援への応用を検討している.

### 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 次元超曲面曲率を用いた 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.J83-D2, pp.126-136 (2000).  
 [3] Y.Torigoe, S.Oshiro, T. Tozaki, M. Senda, "Feature analysis of high SUV regions based on FDG-PET", Proc of SPIE Medical Imaging 2018, Vol. 10574, pp. 105742M-1 -- 105742M-13 (2018).  
 [4] S.Takamuro, T.Tozaki, M.Senda, "Three-dimensional fracture understanding based on curvature information of FDG-PET", Conference Record of IEEE NSS/MIC 2018, in press (2018).