G-016

腹部 3 次元形状の特徴解析と内臓脂肪面積の推定
Feature Analysis for 3-D Abdominal Shape and Visceral Fat Area Estimation

谷口 広樹 † 亀嶋 英人 ‡ 佐藤 幸男 † ‡ 本田 郁二 †
Hiroki Taniguchi † Hideto Kameshima ‡ Yukio Sato † ‡ Ikuji Honda †

1. はじめに

近年，生活習慣の変化によって肥満人口が急激に増加してきており，メタボリックシンドロームに注目が集まっている．2008 年 4 月より厚生労働省が主導する 40 歳以上の特定健康診査では内臓脂肪症候群（メタボリックシンドローム）の判定のために各種の測定が義務づけられている．診断基準は「メタボリックシンドローム診断基準検討委員会」で議論され，2005 年にとりまとめられた．必須項目として臍位置のウエスト周囲径が基準値（男性 85cm，女性 90cm）以上であり，選択項目として血圧，血糖値，血中脂質のうち 2 項目以上が基準を上回っているとメタボリックシンドロームと判定される[1].

しかし最近になってウエスト周囲径と内臓脂肪面積の関連性の科学的根拠の有無が問題視されており[2][3][4][5][6][7][8][9]，ウエスト周囲径が基準値未満であっても内臓脂肪が蓄積している例が散見されている．また，内臓脂肪面積評価に対する最適な診断方法は X 線 CT 計測であるが，装置が高価なうえ被曝の危険性が伴う．さらに，コストを考慮すると定期的に実施することは困難である．

近年，画像を利用して 3 次元形状を測定するレンジファインダの実用性が高まり，人体の形状測定などにも利用されている[10][11]．レンジファインダであれば非接触で精度良く腹部の 3 次元形状を測定することが可能であり，すでに健診における腹囲計測を目的とした製品も販売され始めている．そこで，このような測定機器を利用して腹部の 3 次元形状を測定し，臍位置の断面の形状特徴から内臓脂肪量を推定する研究が行われた[12]．経験的にも皮下脂肪型肥満が洋ナシ型肥満，内臓脂肪型肥満がリンゴ型肥満と呼ばれるように，腹部形状の特徴と脂肪量との間に関連があることが知られている．本研究では臍位置の断面だけでなく，複数の断面を解析対象とすることで，垂直方向の形状特徴も考慮し，より高い精度で腹部形状を解析し内臓脂肪面積を推定することを目的とする．

2. 腹部形状の解析

3 次元形状計測装置により得られる形状データは水平断面の積層で表されている（図 1）．本研究では各断面の輪郭線を複素平面上の閉曲線として扱う（図 2）．まず臍断面の重心と対称軸の位置合わせによる正規化を行う．次に臍断面以外の各断面についても臍断面と同じだけ平行移動，回転を行う．断面形状を周期関数として表現し，フーリエ級数展開を行い，各断面形状をフーリエ係数で記述する（フーリエ記述子法）．

$$f(t) = x(t) + iy(t) \quad (0 \le t < 1)$$

$$C_k = \int_0^1 f(t) e^{-i2\pi kt} dt \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \cdots, \pm K_c)$$

本研究では予備実験により $K_c = 12$ とした．

各断面のフーリエ記述子を要素とする多次元空間において，主成分分析を行うことで形状の特徴量を抽出する．X 線 CT 計測による臍断面の内臓脂肪面積を目的関数，各主成分得点を説明変数として，ステップワイズ法による変数選択を行い，重回帰分析を行うことで，主成分得点から内臓脂肪面積を推定するための係数を算出する．

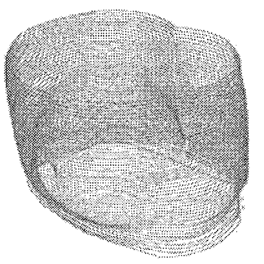

図 1 腹部 3 次元形状データ

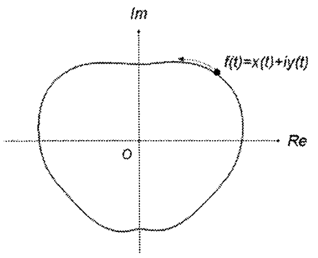

図 2 断面表現

3. 実験

肥満外来患者 21 名分（男性 12 名，女性 9 名）の 3 次元腹部形状と臍断面の内臓脂肪面積を用いて，内臓脂肪面積推定式を算出した．算出された推定式は

$$\begin{aligned} VFA[cm^2] = \; & 299.19 * PC3 + 102.20 * PC1 \\ & + 109.55 * PC2 - 738.81 * PC7 \\ & - 447.19 * PC6 - 219.49 * PC5 \\ & + 140.44 \end{aligned}$$

であった．各主成分と内臓脂肪面積，皮下脂肪面積との相関係数を求めた結果（表 1）から，内臓脂肪面積ともっとも相関が高い主成分は第 3 主成分であることがわかる．この第 3 主成分を視覚化したものを図 3 に示す．第 p 主成分における主成分得点の標準偏差を σ_p とし，主成分得点を $-5\sigma_p$（点線），0（実線），$+5\sigma_p$（破線）としたときの臍断面の再構成結果を示している．第 3 主成分で

† 慶應義塾大学 Keio University
‡ 株式会社スペースビジョン SPACE VISION

は主成分得点が大きくなるにつれて前面と背面に向かって輪郭形状が広がっていることがわかる．この結果から，内臓脂肪面積が大きいほど腹部の輪郭形状は前面と背面に膨らむ傾向があるといえる．解剖学的見地からも，内臓脂肪は骨盤腔の中で増えるが，横両側部は硬い骨盤でブロックされているため，腹腔の前面背面方向に膨張すると言われており，今回の結果はそれに即したものとなった．

また，複数断面から推定する方法と，臍断面のみから推定する方法と，現状の内臓脂肪評価法であるウエスト周囲径を用いた方法のそれぞれについて，内臓脂肪面積と皮下脂肪面積との相関係数を求めた（表 2）．その結果，複数断面から推定する方法のほうが臍断面のみから推定する方法より高い精度で内臓脂肪面積を推定できることがわかった．

表 1　主成分得点と内臓脂肪面積・皮下脂肪面積との相関係数

主成分	相関係数	
	内臓脂肪面積	皮下脂肪面積
PC1	0.46	0.25
PC2	0.38	0.17
PC3	0.52	-0.22
PC4	0.02	-0.01
PC5	-0.17	0.25
PC6	-0.27	-0.17
PC7	-0.36	-0.20
PC8	-0.01	0.37

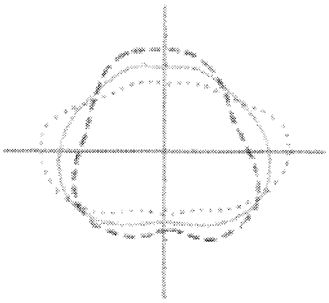

図 3　第 3 主成分の形態特徴（臍断面）

表 2　相関係数の比較

	内臓脂肪面積との相関係数	皮下脂肪面積との相関係数
ウエスト周囲径	0.57	0.79
臍断面のみ	0.75	-0.04
複数断面	0.92	0.15

4. まとめ

本論文では，メタボリックシンドローム診断における内臓脂肪面積評価のために，腹部の 3 次元形状の特徴を利用して内臓脂肪面積を推定する手法を提案した．従来は臍位置の 1 断面のみを解析対象としていたが，本手法では複数断面を解析対象とすることで垂直方向の形状特徴も考慮した．

腹部形状をフーリエ記述子で表し，これを主成分分析することで特徴量を抽出した．これらの特徴量と内臓脂肪面積との重回帰分析によって内臓脂肪面積推定式を求めた．

実験の結果，現状のメタボリックシンドローム診断の内臓脂肪面積の評価指標である腹囲の有効性は低いことが判明した．一方，本手法で導出された推定式による推定値と内臓脂肪面積との相関係数は高く，皮下脂肪面積との相関係数は低く，皮下脂肪の影響を受けずに内臓脂肪面積を良好に評価できることがわかった．また従来法との比較の結果，従来法より高い精度で推定できることが確認された．

謝辞

本研究において貴重な研究データを提供していただいた関西医科大学の木村穣准教授に深く感謝致します．

参考文献

[1]メタボリックシンドローム診断基準検討委員会, “メタボリックシンドロームの定義と診断基準”, 日本内科学会雑誌, Vol.94, No.4, pp.794-809, Apr.2005.
[2]佐藤きぬ子, 水留伸子, 木村礼子, 塙なぎさ, 大芦研輔, 道家充, “腹囲測定と内臓脂肪面積測定結果からみたメタボリックシンドロームの検討”, 人間ドック, Vol.22, No.2, pp.272, Aug.2007.
[3]善積透, 竹村芳, 市原紀久雄, 中村正, 太江田勲, 佐々木公祐, 今井靖浩, “メタボリックシンドロームに関する研究 内臓脂肪蓄積指標立位ウエスト周囲径の妥当性について”, 人間ドック, Vol.22, No.2, pp.272, Aug.2007.
[4]宮崎博子, 星野立夫, 越智次郎, 田辺光子, 坂井三里, 須見真喜子, 山下幸枝, 奥村陽子, 大濱正, “メタボリックシンドロームにおける腹囲と内臓脂肪の関連性”, 人間ドック, Vol.22, No.2, pp.213, Aug.2007.
[5]岡田実, 藤原正則, 村岡勝美, 田中セツ子, 三澤潤, 和田亮一, 光島徹, 前田隆, 中川徹, “メタボリックシンドロームにおける腹囲と内臓脂肪量についての検討”, 人間ドック, Vol.22, No.2, pp.214, Aug.2007.
[6]松村憲太郎, “内臓脂肪面積とウエスト径, body mass index (BMI)との相関に関する検討”, Circulation Journal, Vol.71, pp.881, Jan.2007.
[7]平川貴子, 杉謙一, 西方宏昭, 古賀龍彦, 岩瀬正典, 飯田三雄, “腹囲と内臓脂肪面積, メタボリックシンドロームの関連ついて”, 糖尿病, Vol.50, No.1, pp.90, Jan.2007.
[8]善積透, 中村正, 木村紘也, 青山毅, 太江田勲, 両角政宣, “メタボリックシンドロームに関する研究 内臓脂肪蓄積指標立位ウエスト周囲径の妥当性について”, CT 検診, Vol.14, No.1, pp.27, Jan.2007.
[9]傅秋光, 岡部修一, 山下修司, 増田安俊, 谷口洋, “中年非肥満男性における内臓脂肪蓄積の発見のための回帰分析による内臓脂肪面積の推定法”, 神戸大学医学部保健学科紀要, Vol.18, No.8, pp.149-159, Dec.2002.
[10] 山内航一郎, 柴田進, 佐藤幸男, “多視点距離画像を用いた人体の三次元形状計測システム”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J88-D-2, No.8, pp.1564-1572, Aug.2005.
[11] SPACE VISION Incorporated, “Handy 3D Camera Cartesia”, http://www.space-vision.jp/
[12] 齋藤仙一, 亀嶋英人, 佐藤幸男, “腹部断面形状からの内臓脂肪面積の推定法”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J92-D, No.11, pp.2059-2066, Nov.2009.
[13] 田中豊, 垂水共之, “統計解析ハンドブック 多変量解析”, 共立出版, 1995.