

〔論 文〕

排便運動 MRI の動態画像における Optical Flow を用いた 臓器移動量計測

中村 裕二*, 吉森 聖貴*², 福島 学*²

*日本文理大学大学院工学研究科環境情報学専攻

*²日本文理大学工学部情報メディア学科

Organ Movement Measurement Using Optical Flow with Dynamic MRI of Defecation

Yuji NAKAMURA*, Seiki YOSHIMORI*², Manabu FUKUSHIMA*²

*Department of Environmental Engineering and Applied Information Science,
Graduate School of Engineering Nippon Bunri University

*²Department of Mechanical and Electrical Engineering, School of Engineering,
Nippon Bunri University

Abstract

Although much image processing has been done on still images, processing focusing on the temporal continuity of dynamic images is still insufficient. Therefore, we are trying to extract the relationship between two consecutive images using optical flow to achieve dynamic and quantitative measurement. Here, we apply optical flow to dynamic MRI images of bowel movements to measure the amount of organ movement. The results showed that it is possible to automate the measurement, although there is an error of about 5 pixels compared to the manual measurement of organ movement.

キーワード：排便運動, MRI, オプティカルフロー, 動態画像解析, 臓器移動量計測

Keywords : defecation, MRI, optical flow, dynamic image analysis,
organ movement measurement

1. 背景と目的

高齢社会では医療、介護の分野において呼吸や食事、排泄のケアは必須であり多くの時間と労力が費やされている。その中でも排便については、家庭や医療現場の介助者や看護者、リハビリの担当者らが各々の経験と判断

に基づいて評価されている⁽¹⁾のが現状である。

これまでは排泄や排便に関しては主観的、観察的評価に留まっており客観的評価に至っていない。これらの問題を解決するためには、排便行為の観察手法とそれらの客観的評価⁽²⁾が必要であると考え、直腸癌患者の手術前 MRI 検査において、手術前の排便機能の評価のための排便運動 MRI 動態画像の取得と、動態画像における

直腸肛門角の変化量と外肛門括約筋の進展についての評価を実施した。

2006年に藤井らと発表した「排便機能MRI (MR Defeco Image) における直腸肛門角および肛門括約筋の変化量に関する検討」⁽³⁾では従来の排便機能の指標とされる直腸肛門角 anorectal angle の計測 (図1) と外肛門括約筋 External sphincter の伸長の計測 (図2) が可能であることを示した。

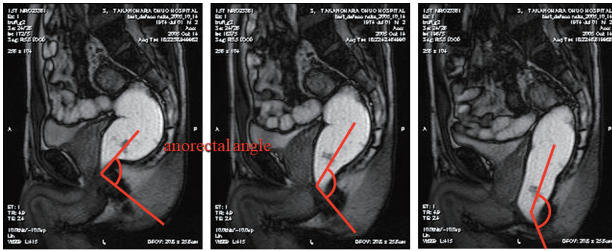


図1. 直腸肛門角 anorectal angle の計測

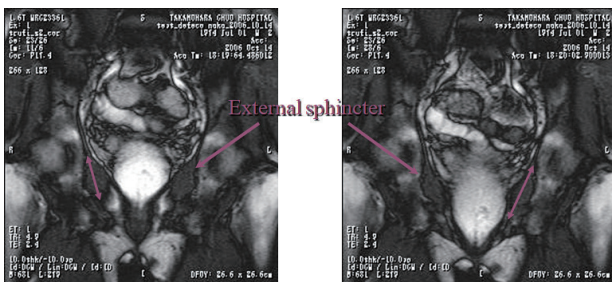


図2. 外肛門括約筋 External sphincter の伸長計測

排便運動MRI動態連続画像の評価において直腸肛門角の変化や外肛門括約筋の進展については、腹部臓器の移動が大きく関与していることが観察されていた。これらのことより排便運動を臓器の移動量として捉えることができれば、排便運動の定量化を目的とし、客観的評価が可能となることで、以前の問題を解決し排泄のケアの質的向上、排便に関する数値的な目標値設定や、手術前後の機能評価、人工直腸開発の基礎データの取得などに貢献できるのではないかと考え、排便運動MRI動態画像における排便時臓器移動の移動量の評価に関して取り組む。

2. 対象と解析

先の検討において、従来の排便機能の指標とされる直腸肛門角 anorectal angle の計測や外肛門括約筋 External sphincter の伸長の計測が可能であることは、排便運動MRI動態画像において、直腸の移動に伴う直腸肛門角の変化や、外肛門括約筋の伸長について計測可能で

あるということは、画像内の臓器移動を客観的に評価できることと同義的に一致していることであり、画像の移動を追跡することは排便機能の評価をすることと等しいと考える。そのため排便運動MRI動態画像において、動態画像における移動の定量化が必要と考え、排便運動MRI動態画像における臓器移動の評価を実施する。

検討にて用いた排便運動MRI動態画像を利用し、動態画像において腹部の臓器移動を捉えることを目的とし、連続2画像間のOptical Flow(オプティカルフロー)を求める。

なお、これらの動態画像の移動量評価については研究施設や企業だけでなく、看護や介護、リハビリなど排泄ケアに関わる人々が多岐で幅広いため、可能な限り簡易で安価なものが望まれるため、汎用性の高いソフトウェアによる評価を意識し、解析にはGoogle colaboryatoryやOpenCV等を利用する。排便時の連続画像において各画像間のOptical Flowを求めることで画像での臓器の移動量の解析と定量化を試みた。

3. Optical Flow 概要

Optical Flowとは物体の移動によって生じる隣接フレーム間の物体の動きの見え方であり、各ベクトルが1フレーム目から2フレーム目への各ピクセル(画素)の光学的な各点の動きを示す。動画中の2枚の時間的に連続した画像フレーム間において、移動前のピクセルと、そのピクセルが移動した後のピクセルの対応ペアにおいて、ピクセル間の移動ベクトルが形成する2次元ベクトル場として表される。

画像でのOptical FlowではIフレーム目のピクセルは $I(x, y, t)$ ここでの t は時間軸方向を表す。

時刻 dt 後の画像で (dx, dy) の距離を移動したとすると $I(x, y, t) \Rightarrow I(x + dx, y + dy, t + dt)$ となる。このとき移動した先の画像のピクセル強度は連続するフレーム間で一定であると仮定し、共通ピクセル強度のテイラー級数近似することで以下の式(1)が得られる。

$$I(x + dx, y + dy, t + dt)$$

$$= I(x, y, t) + \frac{\partial I}{\partial x} \delta x + \frac{\partial I}{\partial y} \delta y + \frac{\partial I}{\partial t} \delta t + \dots \quad (1)$$

$(\partial I / \partial x, \partial I / \partial y)$ と $(\partial I / \partial t)$ は、水平軸、垂直軸および時間に沿った画像の勾配であり、つまり時間の経過に伴う動きを計算することができることとなる。

ここで連続フレーム間での物体の移動に対して「明るさ不変」「時間的持続性」「空間的一貫性」を前提に以下

の式 (2) が得られる。

$$fx u + fy v + ft = 0 \quad (2)$$

$$fx = \frac{\partial I}{\partial x}, fy = \frac{\partial I}{\partial y}$$

$$u = \frac{dx}{dt}, v = \frac{dy}{dt}$$

ただし 1 ピクセルだけでは 2 つの未知変数 (u, v) に対し 1 点しか求められないため、式 (2) を解くことができない。それにより画像の Optical Flow では連続フレーム間で物体の移動を何等かの予測に応じて求め、それより (dx, dy) を求めるという追加行程が必要となる。この問題に対処するために Lucas-Kanade 法⁽⁴⁾などのいくつかの方法が提案されている。

今回、解析に用いた High dense (密) Optical Flow の Farneback 法⁽⁵⁾では、画像を連続平面として 2 次多項式にて近似し、その係数を比較することで、画像全体に対して移動量を求めている。Farneback 法は、局所的画像面を 2 次曲面で近似することで濃度勾配を安定に求めることができるため、計算量は増えるものの一般的に Lucas-Kanade 法と比較してより正確な追跡が可能であるとされている。

4. 排便 MRI 動態画像の Optical Flow

今回の分析では、Google colabatory と OpenCV を利用し排便運動 MRI 画像において Farneback 法で Optical Flow を求めた。

排便運動 MRI 動態画像について 10 ピクセル間隔の格子点を生成し、各格子点について各フレーム間での Optical Flow を求め各画像に重ね表示し動画を生成した (図 3), (図 4)。

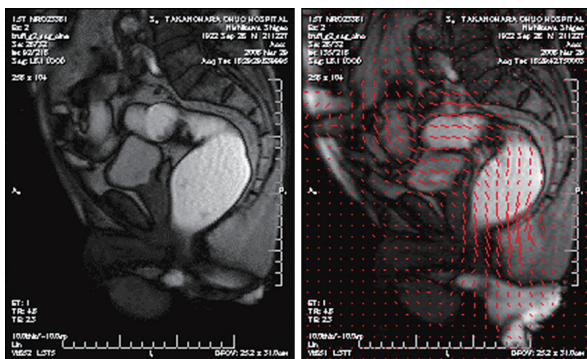


図 3. Defecation MRI of Optical Flow

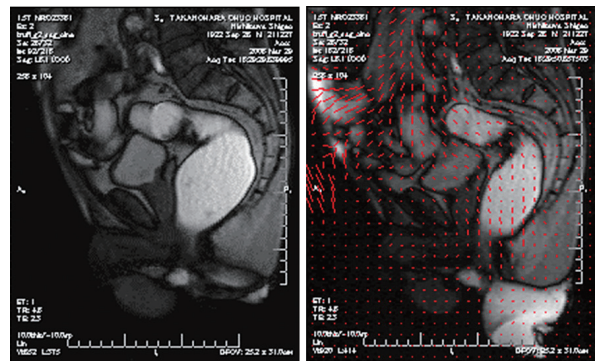


図 4. Defecation MRI of Optical Flow

5. 局所の Optical Flow と移動量の数値化

排便運動 MRI 動態画像の直腸部について、局所の Optical Flow 画像を生成する (図 5)。画像中央部の 1 ピクセルについての Optical Flow を求め、移動量のピクセル値を時間フレームごとに水平 Horizontal 方向移動量 (図 6 左図) と垂直 Vertical 方向移動量 (図 6 右図) に分けてグラフ化した。

同様に排便運動 MRI 動態画像の結腸部について、局所の Optical Flow 画像を生成し (図 7)、画像中央部の 1 ピクセルについての Optical Flow を求め、移動量を時間フレームごとの水平 Horizontal 方向移動量 (図 8 左図) と垂直 Vertical 方向移動量 (図 8 右図) のグラフを示す。

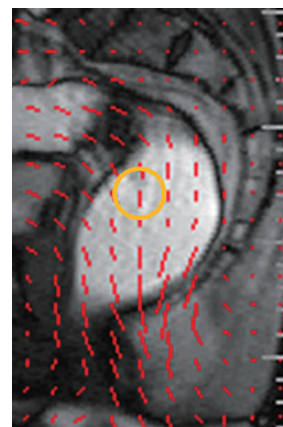


図 5. 直腸部 Local Optical Flow

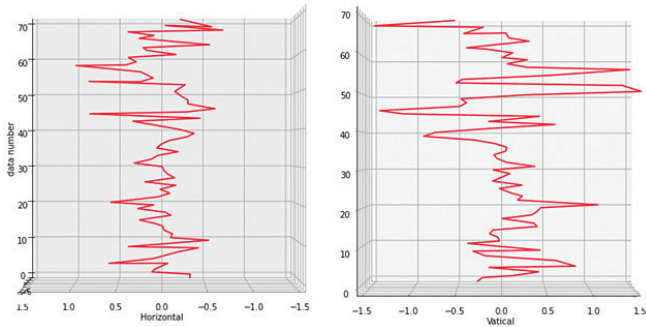


図6. 水平方向移動量 (左図) 垂直方向移動量 (右図)

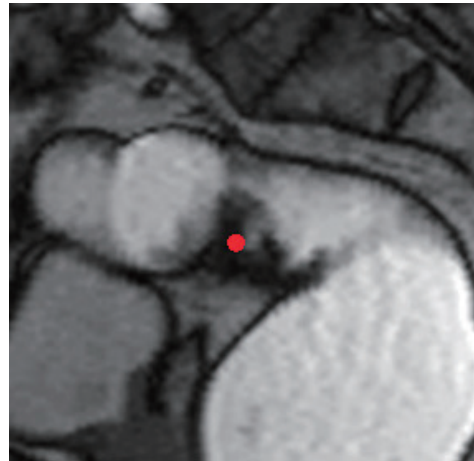


図9. 腫瘍中央部の赤1点

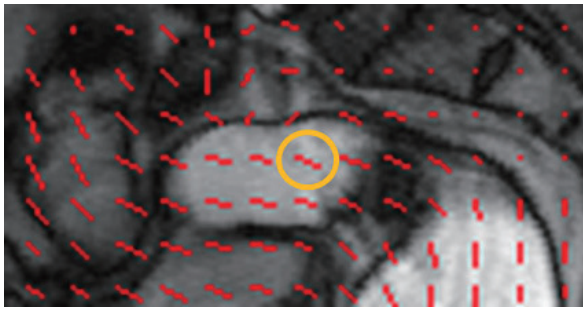


図7. 結腸部 Local Optical Flow

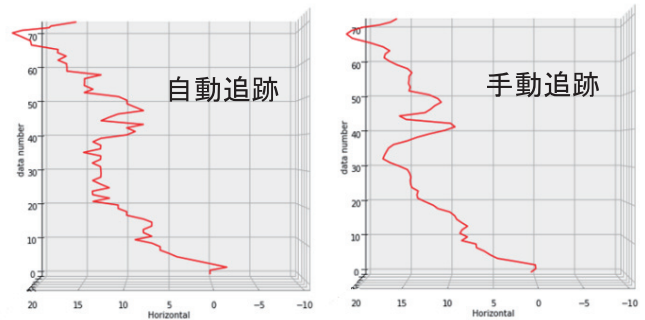


図10. 腫瘍中央部の水平方向の移動量

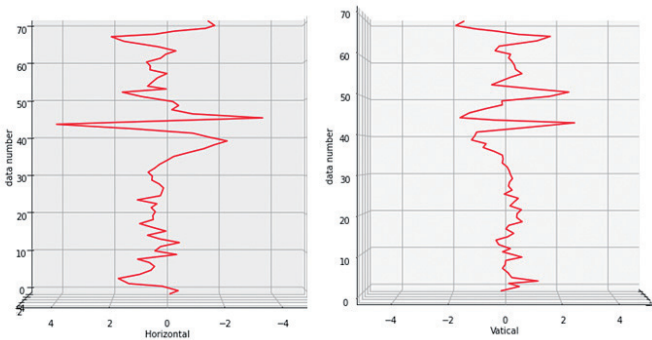


図8. 水平方向移動量 (左図) 垂直方向移動量 (右図)

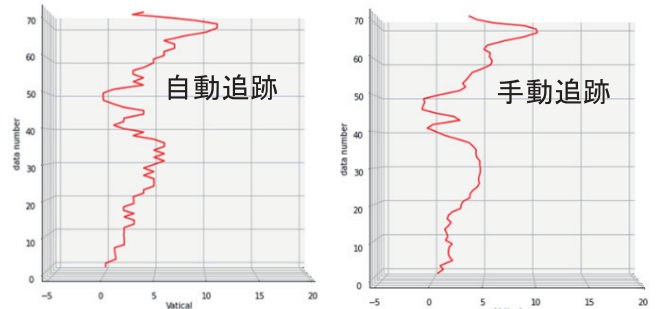


図11. 腫瘍中央部の垂直方向の移動量

6. Optical Flow 移動量の精度評価

ここで任意点の Optical Flow より求めた移動量について、その精度評価のため、画像上で判定容易な点を設定しフレームごとにソフトウェアのみで移動点を自動追跡した場合と、人為的に同じと判定される点を画像上に描画することで移動点を求めた場合について比較した。一つは画像内に描出されている腫瘍中央部の赤1点について (図9)、自動的に追跡した場合と、同点を人為的に追跡した場合の水平方向の移動量 (図10) と垂直方向の移動量 (図11)、その差分の水平方向ピクセル数 (図12) と垂直方向ピクセル数 (図13) を求めた。

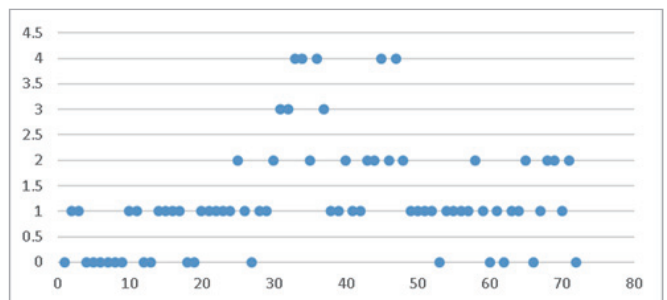


図12. 腫瘍中央部の水平方向の移動量の差分

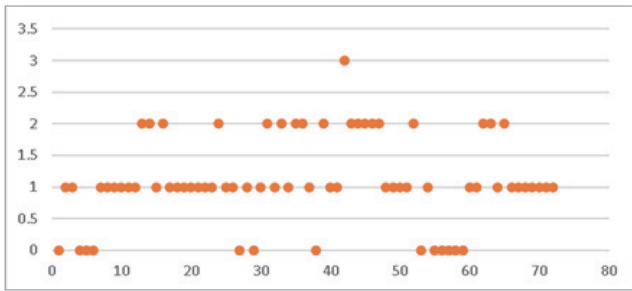


図13. 腫瘍中央部の垂直方向の移動量の差分

また画像内の人体正中上で正位している点として、膀胱内の尿道入口部の赤1点について（図14）、自動的に追跡した場合と、同点を人為的に追跡した場合の、水平方向の移動量（図15）と垂直方向の移動量（図16）、その差分の水平方向ピクセル数（図17）と垂直方向ピクセル数（図18）を求めた。

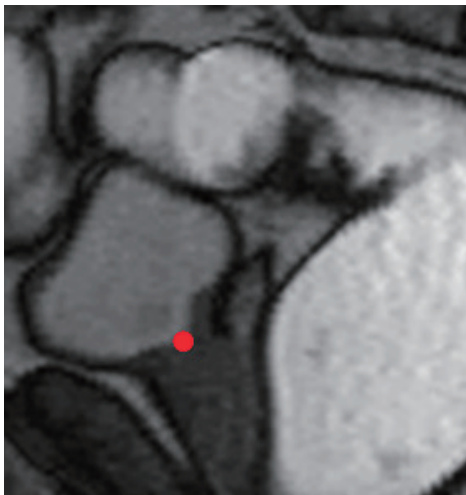


図14. 尿道入口部の赤1点

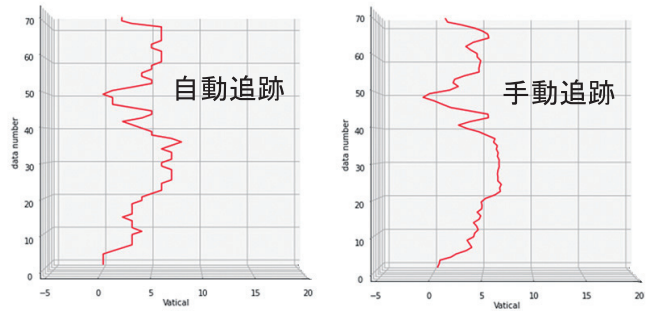


図16. 尿道入口部の垂直方向の移動量

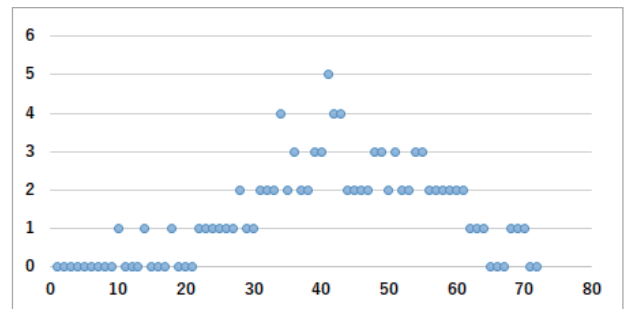


図17. 尿道入口部の水平方向の移動量の差分

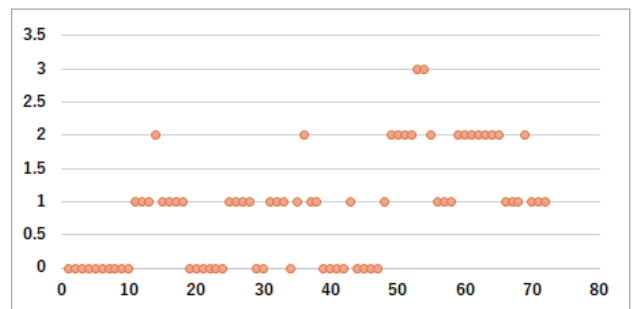


図18. 尿道入口部の垂直方向の移動量の差分

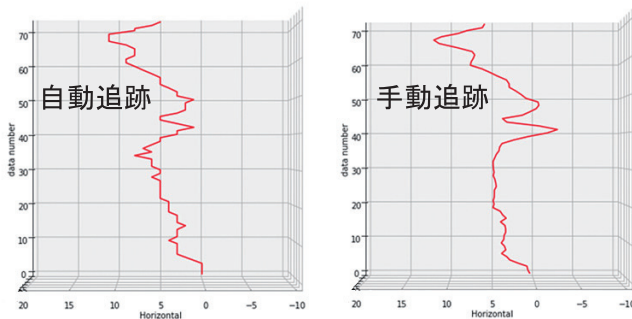


図15. 尿道入口部の水平方向の移動量

7. 結果

排便運動 MRI 動態画像について10ピクセル間隔の格子点を生成した排便運動 MRI 画像において、Optical Flow の表示画像より、排便運動に関しては腹部全体の臓器の移動が付随していることが観察された。

局所の Optical Flow 画像を生成し、結腸、直腸の局所画像中央部の1ピクセルについての Optical Flow より求めた移動量のピクセル値を、時間フレームごとに水平方向、垂直方向について求めた。その結果、直腸部は垂直方向での移動が大きく主であり、結腸部では水平方向への移動が大きく主となっていることが分かった。

任意点の Optical Flow より求めた移動量について、

その精度評価のため移動点を自動追跡した場合と、人為的に同じと判定される点を画像上に描画することで移動点を求めた場合について、腫瘍中央部と尿道入口部についての自動追跡と手動追跡と比較した結果、最大5ピクセルの差の精度で追跡可能であることが分かった。

8. おわりに

排便運動の動態 MRI 画像により、腹部臓器の移動量の可視化が行えることが示唆された。

画像のピクセル値を画像解像度より距離単位に変換することで移動量の定量化も可能である。このことは排便に関する数値的な目標値設定や、手術前後の機能評価、人工直腸開発等への基礎データの取得として寄与できるものと考ええる。

排便機能の定量化への Optical Flow 分析に関しては、他手法と比較することによる精度の検証が必要ではあるが、現在、動画 X 線撮影装置による胸部動態撮影⁽⁶⁾など、動態画像に対して、新しい取り組みも行われており、今後更なる研究と精度検証への取り組みが重要となってくる。

参考文献

- (1) 槌野正裕「排便姿勢と直腸肛門角、排泄量の関係 排便造影検査 (Defecography) による研究」『理学療法学』, 38, 1-12, 2001.
- (2) 河一京「直腸肛門内圧同調 Videodefecography による排便機能障害の検討 - Rectocele を中心に -」『日本大腸肛門病学会雑誌』, 48, 289-300, 1995.
- (3) 中村裕二 他「便秘 MRI (MRDefecoImage) における直腸肛門角および肛門括約筋の変化量に関する検討」『日本放射線技術学誌』, 62(9), 1218
- (4) B.D.Lucas and T.Kanade「An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision, Proc. 7th International Conference on Artificial Intelligence, pp674-679, 1981.
- (5) GunnarFarneback「Two-Frame Motion Estimation Based on Polynomial Expansion」Scandinavian Conference on Image Analysis SCIA 2003 : Image Analysis pp363-370, 2003.
- (6) 勝原伸介 他「胸部 X 線動画画像診断アプリケーション 動態解析技術の開発」『Konica Minolta technology report』, 15, 75-78, 2018.

(2022年12月21日受理)