

心動態モデルシミュレーションとオプティカルフロー解析

3U-8

木村晃造* 玉川洋一* 小高知宏* 小倉久和* 石井靖**

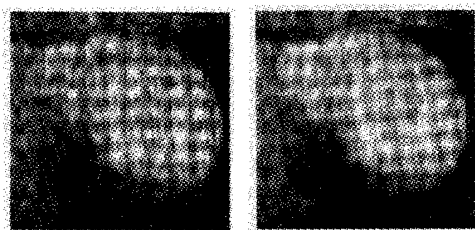
*福井大学工学部 **福井医科大学

1 はじめに

われわれは、これまでに心電図同期のシネ MRI 画像を対象に、オプティカルフローを用いた解析法を取り上げ、計算機による心筋の動態解析を試みてきた。しかし、検出アルゴリズムの非線型性などにより、その結果が何を表現しているのかが捕えにくく、また、本来、剛体の運動を仮定したオプティカルフロー検出アルゴリズムを、弾性体である心筋に、どこまで適用可能なのかという疑問が生じた。そこで、本研究では、オプティカルフローの特性を解析すると共に、動態の変動がオプティカルフローにどのような影響を与えるかという問題を解明することを目的に、心動態モデルのシミュレーションを行ない、オプティカルフローによる解析を行なった。

2 心動態画像とオプティカルフロー

本来の解析対象である心筋の MR 画像を図 1 に示す。これは GRASS 法に SPAMM 法を組合せることにより得られる磁気標識 (tagging) されたシネ MRI 画像である。タグ断面は拡張末期に心の長軸に平行に与えられ、断面図では格子状に観察される。図 1 の a、b はそれぞれ、収縮期の心尖部を原画像から 64×64 画素の大きさで切り出したもので、a は心電図の R 波から 13ms 後、b はさらに 43ms 後の画像である。



a 13ms 後 b 56ms 後
図 1. 心筋の MR 画像

われわれは、これまでに、各心位相に対してタグの特徴抽出を行い、その変移を追跡するという方針で解析を行ってきたが、これらの局所的な動態解析の方法では、タグ認識がかなり困難であるとともに、連続画像における部位同定が極めて困難であった。そこで、よ

Cardiac motion model simulation and optical flow analysis
Kozo Kimura* Youichi Tamagawa* Hisakazu Ogura* Yasushi Ishii**

* Fukui University ** Fukui Medical School

り大局的に画像全体としての動態を理解・認識するため、オプティカルフローを用いた解析法を取り上げ検討を行なっている。

オプティカルフローとは、対象がある速度でなめらかに「動く」場合、その対象の各点が生成する速度場のことである。この速度場を、ある制約条件の下に画像の時間的な濃淡値の変化から検出する幾つかの方法が提案されている。今回はその内で Horn および Schunck により提案された、空間的大域最適化法 (spatial global optimization) を用いた。これを心動態画像に適用した結果を図 2 に示す。ねじれながら収縮する動態が観察されるが、移動している心筋部以外にも強いフローが表われていることが解る。



図 2. オプティカルフロー検出結果

3 動態のモデル

図 2 に挙げた例からもわかるように、既存のオプティカルフロー検出アルゴリズムを心動態画像に単純に適用するだけでは、動態の特徴がどのようにオプティカルフローに現われるのか特定しにくい。そこで、動態の変動がオプティカルフローにどのような影響を与えるかという基本的な問題を解明するため、運動を波状運動や伸縮運動の重ね合わせとしてモデル化し、テストパターンを用いて計算機上で動態のシミュレーションを行った。

今、 $x-y$ 平面上の濃淡像が波状運動を行なっている場合、そのオプティカルフローがどのような挙動をするか解析する。波状運動のモデルとして、横波 (Transversal) 運動と縦波 (Longitudinal) 運動を考える。 $r = (x, y)$ を空間座標、 t を時間としたとき、波数ベクトル k の方向に進行する変位ベクトル場を

$$u(r, t) = u_k(t) \exp(ik \cdot r)$$

とする。図3のように波数ベクトル k に対して垂直に単位ベクトル e_T 、水平に e_L を定めた場合、 r における波状運動の変位ベクトルは、それぞれの運動モードに対して、

$$R_T(r, t) = \text{Re}\{R_T e_T \cdot \exp(i(k \cdot r - \omega t + \alpha))\}$$

$$R_L(r, t) = \text{Re}\{R_L e_L \cdot \exp(i(k \cdot r - \omega t + \alpha))\}$$

と表わせる。ここで、 R_T, R_L は振幅、 ω は角振動数、 α は初期位相である。

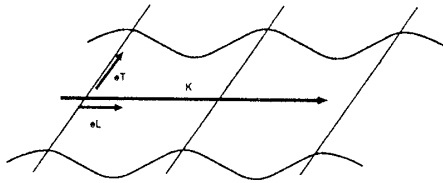


図3. 波数ベクトル

静止状態における濃淡像を $F(r)$ とすると、その像は上記の運動により、

$$f(r; t) = F(\mathbf{R}) \cdot \frac{\partial \mathbf{R}}{\partial r}$$

の変換を受け、時間的に変動する濃淡像となる。この変動する濃淡像に対して、オプティカルフローの検出を行ない、それが運動パラメータ($R_T, R_L, k; \omega$)にどのような影響を受けるのかを解析する。

4 シミュレーション結果

テストパターンとして図4aに示すような2次元ガウス分布を、 45×45 画素の濃淡像に変換して用いた。また図4bは、その濃淡勾配をベクトルとして現わしたものであるが、今回用いたオプティカルフロー検出アルゴリズムでは、このようなものの剛体的な運動を拘束条件としている。

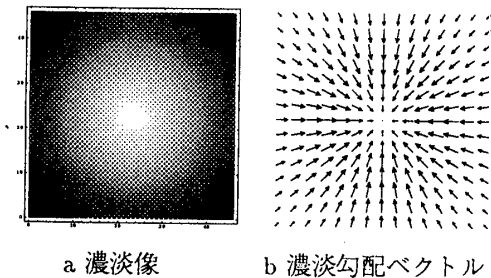


図4. テストパターン

図5は、水平方向に進行する縦波運動の変位とオプティカルフロー検出結果、それぞれの発散と回転を求めたものである。この運動では原画像の形状は変化せ

ずに濃淡が変化する運動となり、変位のベクトル場には発散が生じる。一方、オプティカルフローの検出結果は、濃淡勾配ベクトルが徐々に変化していると見掛け上の回転が発生し、発散にも影響を与える。

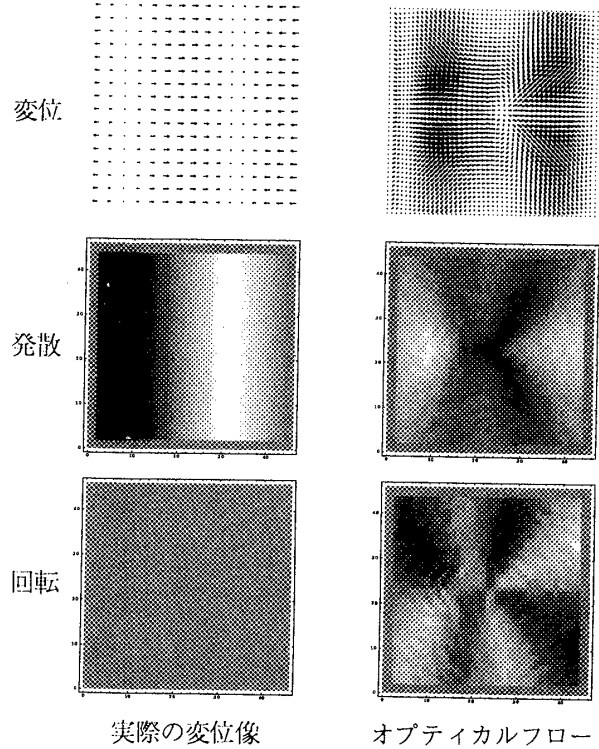


図5. シミュレーション結果

5 今後の課題

当面の課題として、まず、各運動パラメータについて系統的な解析を行ない、また、表示等を工夫することにより、画像パターンの濃度勾配とオプティカルフローの関係の解析することにある。

また、本来の解析対象であるシネMRI画像には、その撮像方法の特性により経時的にパターン強度が減衰するという特徴があり、これには減衰項を考慮した動態のモデルを導入し、評価を行なう必要があると考えられる。

参考文献

- [1] 木村晃造 小倉久和 玉川洋一 石井靖, 「シネMRI画像による心動態解析—シミュレーション画像によるオプティカルフロー解析—」, 第13回医療情報連合大会, pp.579-580, 1993
- [2] 金谷健一, 「画像理解」, 森北出版, 1990
- [3] 三池秀敏 古賀和利 他, 「パソコンによる動画処理」, 森北出版, 1993