

## 二次元オブジェクトの自発的変形モデルの提案

嶋田 憲央† 柳瀬 龍郎† 田村 信介† 谷口 秀次†

福井大学工学研究科†

### 1. はじめに

バネモデルによる弾性体の変形に関する研究は古くから行われているが、外力によらない変形のモデルについてはほとんど報告されていないのが現状である。しかし、バイオメカニクスにおいては自発する変形のモデルは多数見ることができ、例えば人体を形成する筋肉、くらげやタコなどの軟体動物の組織などがある。

本研究では外力によらない自ら変形する二次元あるいは三次元オブジェクトモデルの変形の方法について検討、提案、簡単なモデルを実装し、そしてCG表現したので報告する。

基本的に二次元オブジェクトは、反復配置された要素（ここではノードと呼ぶ）が相互にバネによって結合されていると考える、二次元セルラーオートマトンである。ただし、物理的相互結合の関係は変わらないものとし、各ノードの座標は変位する。当然そのための力入力などの情報は近傍ノードからのみ入力されるものとする。

### 2. バネモデル

オブジェクトを構成するノード群を結合するのはバネとし、全体をバネモデルで形作る。変形を作り出すノードの座標の計算はある微小時間の間にノードに接続されるすべてのバネの合成力を計算し、ノード自身の加速度を算出して微小時間後にノードがどれだけ変位するかを計算する。

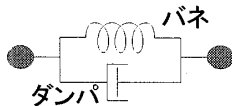


図 1:バネモデル

今回、オブジェクトは図2のように各ノードが三角形格子にて結合構成されたモデルを用いる。三次元の場合、稠密立法格子（ダイヤモンド格子）とする。これは直接に接する近傍ノードが静的状態においてはすべて物理的等距離になる利点がある。

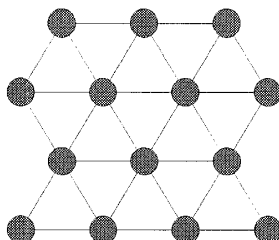


図 2:オブジェクトの構成

An architecture of self deformable model  
of two-dimensional object

Norio Shimada, Tatsuro Yanase, Shinsuke Tamura,  
Syuji Taniguchi : Fukui university

### 3. オブジェクトの変形の考え方

バネモデルで構成されたオブジェクトを、外部からの力によって変形させるのではなく、オブジェクト自身が伸縮し、変形するメカニズムについて考察する。

本研究のモデルにおいては、各々のノードは自発的に興奮と沈静の状態を時間的経過とともに遷移するとみなす例について考える。また、この各ノードの状態はバネを通して隣り合ったノードに閾値を通して伝播する。また全てのノードは一樣同種ではない場合を考えることによって様々なモデルが構築可能となる。バイオメカニクスにおいては、くらげなどのように弾性体が外力によらず変形する例は多く見ることができ、本研究による方法によってこれらのモデルのシミュレートが可能となると考えられる。

本報告では二次元オブジェクトは以下のように変形するモデルを考える。

#### 3. 1 興奮

ノードのうちのひとつが、ある時を境に興奮状態になり、収縮する、そのノードから接続しているすべてのバネを、現在の長さはそのままだに自然長のみを短くすることで収縮力を発現することとしている。こうすることで、バネは伸びた状態から、自然長に近づこうとしてそのノードに向かって収縮しようとする力が発生する。

#### 3. 2 興奮の伝播

オブジェクトのノードの興奮は、一定時間が経つと隣のノードに伝播していく。ノードにはそれぞれ固有の興奮時間と伝播の閾値を持つ。沈静状態にあるノードは、自身の閾値を隣接するノードが超えると、興奮が始まる。全ノードの中にはいくつかスペシャルなノードが存在し、通常のノードに比べて閾値が低く、従ってそのノードは他のノードより早く興奮を開始する。このスペシャルなノードが連続的に隣接していれば、そのルートを興奮が高速に伝播することになる。

#### 3. 3 沈静

本モデルでは興奮状態になり収縮したノードはその後沈静化し、元の大きさに戻ろうとする。沈静化はオブジェクトの一番外側のノードから発生する。沈静も興奮と同様に、隣のノードの状態を情報として受け取り伝播していく。すなわち、外側のノードに比べて内側のノードは興奮状態が長く続くことになる。

一回のみの興奮であれば一過性の変形であるが、あるひとつのノードが興奮と沈静化の動作を自律的に繰り返すことで、あたかも心臓が鼓動するかのようにオブジェクト全体が収縮、弛緩の変形を反復する。

#### 3. 4 興奮・沈静伝播の例

図3は心筋細胞の電位変化、すなわち興奮と沈静の様子である。今、A,B,C,Dはオブジェクトの内部にあるノー

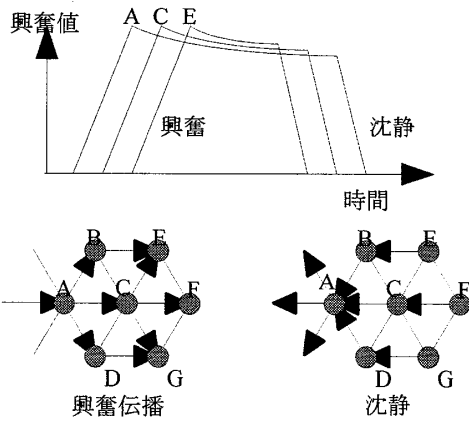


図3:興奮伝播と沈静の過程

ドであり、E,F,Gはオブジェクトの最も外側に位置するノードであるとする。伝播速度はすべてのノードで同一であるとする。Aが興奮状態になり、それから一定時間後にB,C,DはAの興奮時間カウンタが一定値になるのを確認すると、B,C,Dに興奮が伝播し、時間のカウントを始める。続いてE,F,GがB,C,Dの中から隣接するノードの興奮を参照し、一定値であれば興奮状態になる。たとえばB,C,Dの内、Bの状態が一定値になればそれに隣接し、通常状態であるEのみが興奮状態になるが、Cが一定値に達すればE,F,Gすべてが一度に興奮状態になる。

E,F,Gは最外部のノードなので、興奮状態になってから更に一定時間後に自発的に沈静化が起こる。そしてさらに一定時間後、今度は内側に向かって沈静が伝播する。この生理学的過程は上述で提案するパネモデルで実現可能である。

#### 4. CG 出力システム

##### 4.1 システムの概要

CG出力は著者らの研究[1]によるライブラリを用いた。メインプロセスとは別のCG出力用プロセス「CGS」を、メインプロセスにおいてgprintfという関数の呼び出しにより起動し、メインから受け取った表示データを用いてCG出力を行う。gprintf関数内では、CGSの起動、CGSとのソケット通信の接続、送受信などを行っている。

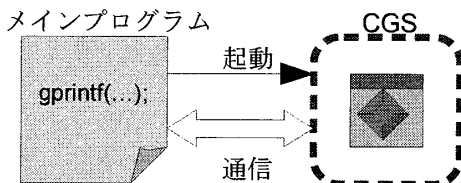


図4:CG出力システムの概要

##### 4.2 CGSの機能

- CGSの主な機能は、
- CG出力用ウィンドウを生成
  - CGを出力する(座標点を頂点とする面を出力)
  - 作成したCGオブジェクトをメインアプリケーションの実行とは独立してマウスで対話的に視点変更することができる。アプリケーションコードに特に記述しなくてよい。
  - 再度関数が呼ばれた時、CG出力用ウィンドウを作り直さずCGオブジェクトのみを上書きする等である。

#### 4.3 CG出力関数の文脈

出力のためのAPIのシンタックスを次に記す。

```
void gprintf(int type, int line, int column, int text, int md,
             int status[4], float color[4], float point[4]);
type       : 表示形式
line       :  CGデータの行数 (pointの1次元目の要素数)
column     :  CGデータの列数 (pointの3次元目の要素数)
text       :  テキスト表示のON、OFF
md         :  複数CGを表示させる時の通し番号
status     :  CG構成要素の属性を決める
color      :  CG構成要素の色データ
point      :  CG構成要素の座標データ
```

#### 5. むすび

二次元オブジェクトの外力によらない変形の方法を検討、実装し、心筋細胞の例を用いて、ノード自身が縮み、更に縮みが伝播する様子をCGにて表した。その出力は図5にて示す。オブジェクトの中心の1個のノードから興奮が全体に伝播している。これは実際に観測されている心室の動きに対応し、今後の定量的なシミュレーションに極めて有効であると考えられる。



図5:サンプル図

#### 6. 今後の課題

くらげのような弾性体の変形シミュレーションは未完である。形状を調整できるようにし、実際にシミュレーションの実現を考えている。

#### 参考文献

- [1]嶋田憲央, 中川直哉, 柳瀬龍郎, 田村信介: “キャラクタ入力/出力からマウス入力/CG出力へ” FIT2007 情報科学技術フォーラム(2007.9)
- [2]八木寛, 柳瀬龍郎, 山西潤一: “心室の興奮伝播過程の計算機シミュレーション” 医用電子と生体工学, 日本ME学会, Vol17,1 (1979.2)
- [3]Okajima, M., Fujino, T., Kobayashi, T. and Yamada, K. : "Computer simulation of the propagation process in excitation of the ventricles." Circulation Res. 23, 203, 1968
- [4]Harumi, K., Burgess, M. Jo. and Abildskov, J. A. : "A theoretic model of the T wave." Circulation Res. 34, 657-668, 1966