

# OpenGLによる布アニメーションの試み

坂本 真人<sup>1)</sup>・谷上 亜由美<sup>2)</sup>

## Attempt of Cloth Animation by OpenGL

Makoto SAKAMOTO<sup>1)</sup> and Ayumi TANIUE<sup>2)</sup>

### Abstract

Cloth animation has received intensive attention in computer graphics in the last about twenty years. Still it remains a computationally demanding task, since wrinkles and smooth areas co-exist commonly in cloth. In this paper, we attempt to study about the cloth animation by using the mass-spring model. The algorithm is implemented in the OpenGL and the C++ on a personal computer. The OpenGL is a program interface for writing applications that produce two- or three-dimensional computer graphics, and is widely used in CAD, flight simulation, virtual reality, and so on. The simulation result shows that animation of brief cloth by the mass-spring model is possible. We would like to attempt modeling of more complicated cloth animation in the near future.

Key Words:

Cloth Animation, Computer Graphics, Mass-Spring Model, OpenGL, Polygon Mesh, Wrinkle

### 1. はじめに

コンピュータ技術の発展・普及に伴い、コンピュータグラフィックス(以下CG)やアニメーションは一般ユーザでも気軽に扱えるようになってきた。一方で、IT(情報技術)、ロボティクス、バイオ技術などの先端的分野において、3次元CGアニメーションは、複雑な人工システムや自然現象など、動的に変化する現象の表現法として非常に有効とされている。その中でも、布の表現はしわや陰影付けが複雑で、CGによる表現が極めて難しい分野である。しかし、アバ

レル産業における仕上がり具合のようすやCGキャラクターへの着付けなどにおいて欠かすことができない表現である[2]。

本研究では、3次元CGアニメーションによる布の表現に着目し、質点とバネを組み合わせた物理モデル、質点バネモデルを用いて布をモデル化する。また、OpenGLを用いてアニメーションを行うことにより、動的な布の表現を試みた。今回は単純な一枚の布を例としたアニメーションを作成する。

### 2. 布のモデリング手法

布を表現するためのモデリング手法として、大まかに次の2種類に分類できる。

1) 情報システム工学科准教授

2) 情報システム工学科学部生

- 幾何学モデル
- 物理モデル

今回は動的なシミュレーションを行うため、変形過程を考慮している物理モデルを用いる。

2.1. 質点バネモデル

布の物理モデルとして図1のような質点とバネで構成された質点バネモデルが一般的に多く用いられている。

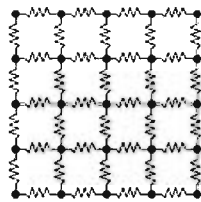


図1：質点バネモデル。

ここで、布の持つ異方性を表現するため布の縦糸と横糸に沿った方向を軸とし、正方格子状に質点を配置する。図2のように近接する質点間にバネを配置する。

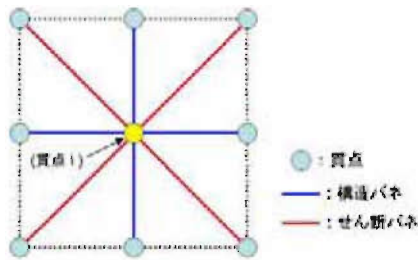


図2：質点とバネの連結。

2.2. 力

質点に加わる力として次に示す力を考慮する。

- バネによる弾性力
- 重力
- ダンパー（空気抵抗）

2.2.1. バネによる弾性力

質点  $j$  が質点  $i$  に加える力を  $f_{ij}$  とすると(質点  $i, j$  間のバネによる力)、 $f_{ij}$  はフックの法則により以下の式で表すことができる(図3参照)。

$$f_{ij} = k \left( |x_{ij}| - L \right) \frac{x_{ij}}{|x_{ij}|}$$

( $x_i, x_j$  : 質点  $i, j$  の位置ベクトル)

$$(x_{ij} = x_j - x_i)$$

( $k$  : バネ定数、 $L$  : バネの自然長)

( $-f_{ij}$  : 作用・反作用の法則により、同じ大きさで逆向きの力)

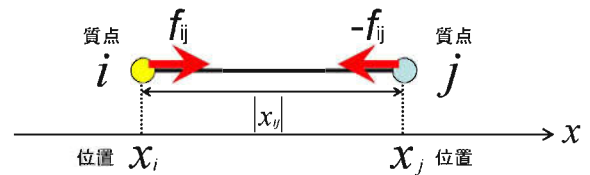


図3：バネによる力。

2.2.2. 重力

質点に加わる重力は次式で与えられる。

$$f_{gravity} = m_i g$$

( $m_i$  : 質点の質量、 $g$  : 重力加速度)

2.2.3. ダンパー（空気抵抗）

バネの振動を減衰させるための力を加える。質点  $i$  の速度  $v_i$  の大きさに比例し、逆向きに働く力とする。

$$r_i = -\rho v_i$$

( $\rho$  : 抵抗係数)

2.2.4. 合力

時刻  $t$  における質点  $i$  に加わる力の合力を  $F_i(t)$  とすると以下の式で表すことができる。

$$F_i(t) = f_{gravity} + f_{damper} + f_{stretch}$$

$$= m_i g + r_i(t) + f_i(t)$$

$f_i$  は質点  $i$  に加わる（最大 8 本の）バネによる力の合力である（図 4 参照）。

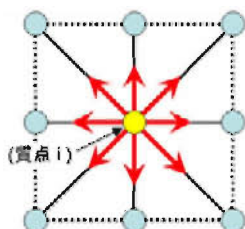


図 4：質点  $i$  に加わるバネによる力。

### 2.3. 運動方程式

時刻  $t$  における質点  $i$  の加速度  $a_i(t)$  は運動方程式に基づいて以下のように求められる。

$$a_i(t) = \frac{1}{m_i} F_i(t)$$

### 2.4. オイラー法（数値計算法）

時刻  $t$  から時刻  $t + \Delta t$  の間、質点が等加速度直線運動をするものと仮定すると、時刻  $t + \Delta t$  における質点  $i$  の速度  $v_i$  と位置  $x_i$  はオイラー法により以下の式で計算できる。

$$v_i(t + \Delta t) = v_i(t) + a_i(t)\Delta t$$

$$x_i(t + \Delta t) = x_i(t) + v_i(t)\Delta t$$

（ $\Delta t$ ：タイムステップ）

仮想世界における質点の運動はこれらの式によってシミュレートできる。

## 3. プログラム内容

### 3.1. OpenGL

OpenGL とは、次の特徴を有するグラフィックスライブラリ（API, Application Program Interface）である[1, 5]。

- 高品質カラーイメージ
- リアルタイム処理
- オペレーティングシステムに依存しない（Windows, UNIX/Linux, Mac 対応）
- グラフィックスカード対応

### 3.2. モデリング（ポリゴン生成）

質点座標を頂点とし、三角形ポリゴンを生成する。今回は、3次元仮想空間における X-Y 平面上に初期座標をとる（図 5、図 6 参照）。

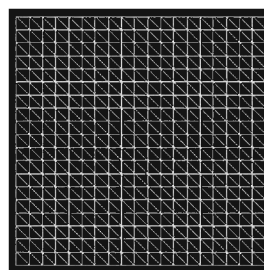


図 5：20×20 で分割した布モデル。

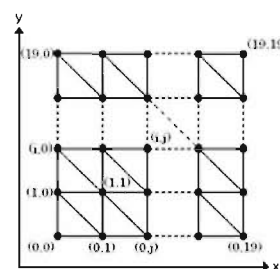


図 6：X-Y 平面上の布モデルの詳細。

以下、質点座標は第 2 節で記述した方法で求められるので、それをもとに繰り返しポリゴンを生成する。

### 3.3. 表面属性の設定

オブジェクトを本物らしく見せるには、光源を設定して照明を行い、オブジェクトに陰影をつけて各ポリゴンがどのように照らされて見えるかを決定するシェーディングが重要である。これにより、質感、立体感、色感が本物らしく見える。オブジェクトの陰影は、その表面属性により定まる。

### 3.3.1. シェーディング

シェーディングとは光源とオブジェクトの形状などをもとに、モデルに陰影をつけることである。今回はスムーズシェーディングを行った。OpenGL ではスムーズシェーディングの方法としてグローシェーディング法を採用している[1]。

#### 3.3.1.1. グローシェーディング

グローシェーディングは以下のようにして行われる[3]。

① ポリゴンに垂直な法線ベクトルを求める

法線ベクトル  $\vec{n}$  は、ポリゴンを構成する 3 つの頂点から求めた  $\vec{A}$  と  $\vec{B}$  の外積で求められる (図 7 参照)。

$$\vec{A} = V_2 - V_1, \vec{B} = V_3 - V_1, \vec{n} = \vec{A} \times \vec{B}$$

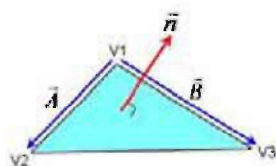


図 7 : ポリゴンの法線ベクトル。

② ポリゴンの各頂点の法線ベクトルを求める

頂点の属するポリゴンの法線ベクトルをすべて足し合わせ、正規化を行う (頂点の単位法線ベクトルを求める)。今回の布モデルでは、頂点は最大で 6 つのポリゴンに属している

(図 8 参照)。

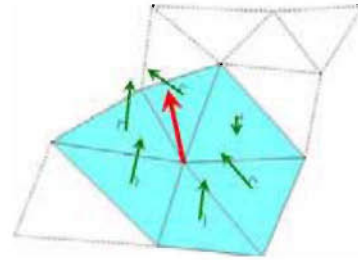


図 8 : 頂点の法線ベクトル。

③ 光線ベクトルと各頂点の法線ベクトルの内積から各頂点の輝度・色を求める

④ 線形補間を用いてポリゴンの色を決定する

プログラムでは、①、②より頂点の法線ベクトルを求めて、法線ベクトルの指定を行えば、OpenGL で提供されている以下のコマンドでスムーズシェーディング (グローシェーディング) が実行される。

法線ベクトルの指定コマンド :

```
glNormal3f(b|s|i|d|f|v)(TYPE);
```

シェーディングの指定コマンド :

```
glShadeModel(GL_SMOOTH);
```

### 3.3.2. テクスチャマッピング

テクスチャとは、織り (編み) 合わせて作られたもの、織物、または、皮膚・木材・岩石・飲食物などのきめや質感を意味する。この意から、CG の分野では模様のことを指し、図形の表面につけられた模様や、質感を表すための描き込みを指す。

テクスチャマッピングとは、オブジェクトの表面にテクスチャの画像データを貼り付けることで、物体の質感を向上させることをいう [3]。

今回は布の模様を表現するため、24bit の bmp 形式の画像データを用いてテクスチャマッピングを行う (図 9 参照)。

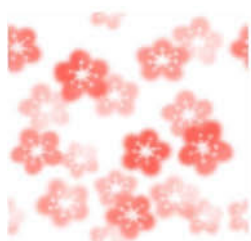


図 9 : 使用した画像データ.

### 3.4. アニメーション

OpenGL ではディスプレイコールバック関数として定義された関数を呼び出すことにより、オブジェクトが描画される。

アニメーションは、オブジェクトや視点を少しずつ動かすごとに描画を繰り返すので、このディスプレイコールバック関数を繰り返し呼び出すことになる。その方法として OpenGL では 2 通りの方法を提供している。

- イベントがない場合 (アイドル状態)
- 一定時間ごと

今回は、アイドル状態で描画更新を行う方法を用いてアニメーションを行う。

### 3.5. 風力

アニメーションを作成するにあたり、布がなびいているように振舞わせるために、第 2 節で示した質点に加わる力に風力  $f_{wind}$  を加える。従って、 $F_i$  は以下の式ようになる。

$$F_i(t) = f_{gravity} + f_{damper} + f_{stretch} + f_{wind}$$

風力は 3 次元仮想空間上の  $z$  軸方向の力として質点に加えられるものとする。

今回は以下の式のように  $\sin$  関数を組み合わせたものを使用する。

$$f_{wind} = \alpha \sin(\beta) \sin(\gamma)$$

( $\alpha$  : 任意定数、 $\beta = 100 t / 75.0$ 、

$\gamma = 100 t / 45.0$ )

## 4. 実行結果

### 4.1. 結果

プログラムは C++ 言語により作成し、Intel Pentium D (OS : Windows XP Professional) 上で実行した (図 10 から図 13 参照)。

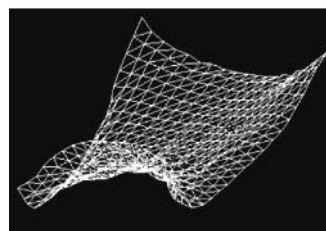


図 10 : ポリゴン表示.

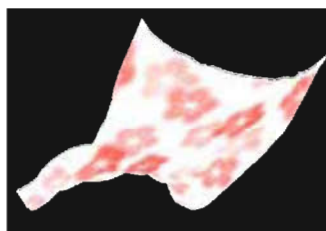


図 11 : テクスチャマッピング.

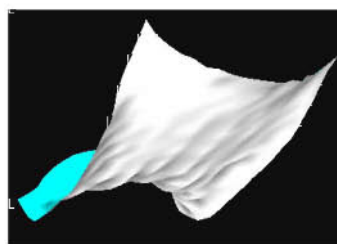


図 12 : 陰影付け.

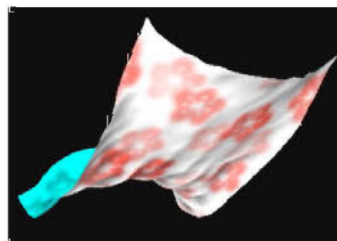


図 13 : テクスチャマッピングと陰影付け.

## 4.2. 考察

今回アニメーションに際して多くのパラメータが出てきたが、これらを調節することでより布に近い形状のモデリングや質感を得ることができるはずである。しかしながら、パラメータの決定は非常に難しく、現段階では、アニメーションを見ながら手作業でプログラムのパラメータを変更するという感覚的なものに頼らざるを得なかった。また、質点とポリゴンの衝突処理を行っていないため、ポリゴンが交差することにより揺らぐ布の一部が貫通する描写を生じることになった。これについても今後の課題とし、改善していきたい。

## 5. おわりに

布アニメーションは、コンピュータゲームや映画など娯楽への応用の他、衣服のデザインを行う場合の仮想試着の実現などアパレルデザインの分野にも大いに役立つのではないかとと思われる。

本研究では、質点とバネの物理モデルのみで布形状のシミュレーションを行い、一枚の布が優しく揺らぐようすを写實的に表現することができ、布アニメーションの今後の研究に対して大いに参考になった。布アニメーションには、物理モデルによる動力学シミュレーションと幾何学モデルの組み合わせによる衣服生成手法なども提案されているが[4]、モデリングや質感に対してさらに研究を深め、よりリアルな布の表現を追求したい。さらに、布の集合体としての衣服を扱い、キャラクターが身につけて様々な動作をする時の衣服のより複雑なしわの表現や陰影付けなどへ発展させていきたい。その場合計算量が膨大になる可能性があり、アルゴリズム

の効率化も合わせて検討することになる。

## 参考文献

- [1] 橋本洋志・小林裕之：図解 OpenGL による 3次元 CG アニメーション, オーム社, 2005.
- [2] L. Li and V. Volkov : Cloth Animation with Adaptively Refined Meshes, the 28<sup>th</sup> Australian Computer Science Conferences, pp.107-113, 2005.
- [3] 長田道昭：現代 CG 入門, 電気書院, 1991.
- [4] 尾下真樹・牧之内顕文：「実時間衣服シミュレーションによる仮想試着システムの実現」, Visual Computing / グラフィックスと CAD 合同シンポジウム 2003 予稿集, 北九州国際会議場, 2003.
- [5] 床井浩平：GLUT による OpenGL 入門, 工学社, 2005.