

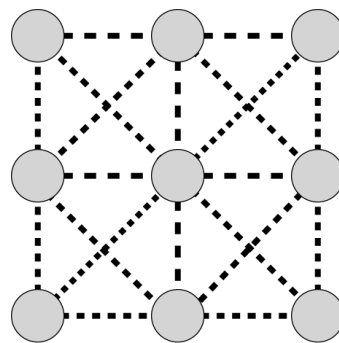
課題の目標

- ・オイラー法による物理シミュレーションの原理を理解する
- ・**Mass-Spring** モデルによる布の挙動シミュレーションを実装する

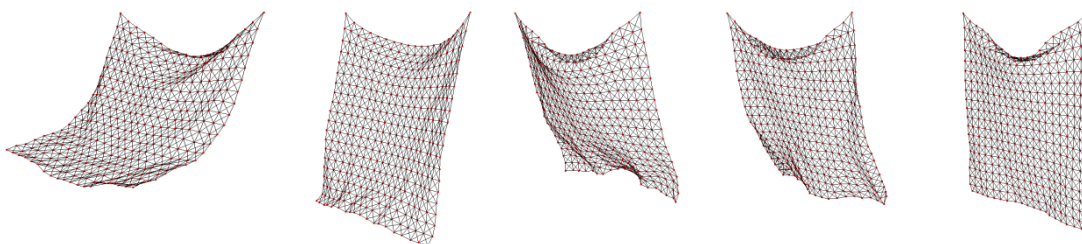
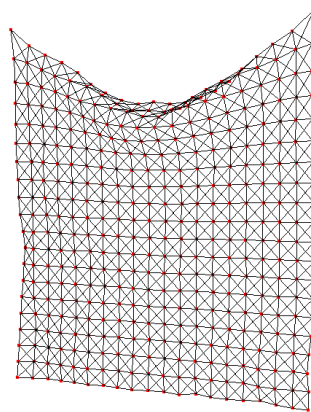
サンプルコードでは、あらかじめ布のモデルが構築されている。また、マウスのドラッグで視点を変更でき、**[a]**キーによってアニメーションのオン・オフを切り替えられる。

一定時間ごとに呼び出される **updatecloth** 関数で質点の挙動を計算し、布の動きがアニメーション表示されるようにしなさい。

なお、布は格子状に配置された質点と、それらを結ぶバネの集合によって表現される(下図)。



正しく実行できた場合、2点で固定された布の形が重力にひっぱられ、下図のような形に落ち着くまでのアニメーションが表示される。赤い点が質点、黒い線がバネを表す。



### 【物理シミュレーションの参考】

各質点には時刻  $t$  に以下のような 3 つの力 (3 次元ベクトル) が働く

(1) 質点に連結するバネによって加わる力  $\vec{F}_s(t) = \sum K_s(l - L)\vec{e}$

$L$  はバネの自然長、 $l$  はバネの現在の長さ、 $K_s$  はバネ定数、 $\vec{e}$  はバネで連結されている反対側の質点に向かう単位方向ベクトル、 $\sum$  は連結するバネそれぞれによって働く力の和を取ることを表す。

(2) 重力  $M\vec{g}$

$M$  は質量、 $\vec{g}$  は重力加速度。時刻によらず常に一定。

(3) 速度に比例した、速度と逆向きの空気抵抗  $\vec{F}_r(t) = -D_r\vec{v}(t)$

$\vec{v}(t)$  は時刻  $t$  における速度、 $D_r$  は抵抗係数

結果として、時刻  $t$  に質点に加わる外力 (3 次元ベクトル)  $\vec{F}(t)$  は上記の和として表される。

$$\vec{F}(t) = \vec{F}_s(t) + M\vec{g} + \vec{F}_r(t)$$

時刻  $t$  の質点の加速度 (3 次元ベクトル)  $\vec{a}(t)$  は、外力を質量  $M$  で割ったものである

$$\vec{a}(t) = \vec{F}(t)/M$$

シミュレーションのタイムステップを  $\Delta t$  としたとき、時刻  $t + \Delta t$  の質点の速度 (3 次元ベクトル) と位置 (3 次元ベクトル) は次のようにして計算できる。

質点の速度  $\vec{v}(t + \Delta t) = \vec{v}(t) + \Delta t \cdot \vec{a}(t)$

質点の位置  $\vec{x}(t + \Delta t) = \vec{x}(t) + \Delta t \cdot \vec{v}(t)$  ← 上で計算した速度を用いる

上記を参考に、布のアニメーション表示を実現できたら、プログラムコード中の各種の定数 (バネ係数、質点の質量、重力加速度、タイムステップのサイズ、空気抵抗係数) などを変更し、その挙動を確認しなさい。

### 【オプション課題】

余力があれば、物体 (球体) との衝突をシミュレーションしなさい。質点と球体の中心間の距離が、球体の半径よりも小さければ衝突していると判定できる。衝突した場合は、質点の位置を球の表面から少し離れた位置に強制的に移動させればよい。

下図の左は、固定点を無くしてすべての質点を自由落下させ、真下にある半径 4 の球に衝突させた結果である。質点の数を増やせばより滑らかな形を得られる。下図の中央および右は 40x40 で行った例。

