

物体と柔らかい地面の相互作用のリアルタイムアニメーション

尾上 耕一[†] 西田 友是[‡]

東京大学[§]

1 はじめに

近年、コンピュータの高速化に伴い、パーティクルリアリティ、ゲームなどのインタラクティブなアプリケーションにもCGが応用されるようになってきた。本研究は、これらのアプリケーションにとって有用な、バケツを砂の上で引きずる場合や砂をすくい上げる場合などの物体による柔らかい地面の変形の計算を目的とする。ただし、本稿では柔らかい地面として砂などの粒状物質からなるものを扱う。地面の変形に関連した研究はいくつか行われている[1, 2, 3]。しかし、従来法では扱える物体の形状が凸物体に限られている[1]、あるいは、物体上に粒状物質が被さることはできない[2, 3]という制限があった。そこで、本稿では様々な形状の物体が粒状物質からなる地面に接したときの地面の変化をインタラクティブな速度で計算する方法を提案する。提案法を用いることによって、地面に残る物体の接触跡、物体上に被さる粒状物質、物体上から落下する粒状物質等を表現することが可能となる。

2 地面変形アルゴリズム

本稿では、地面をハイトフィールド(HF)で表現する。すなわち、正方格子で地面を表し各格子点にその位置での地面の高さを記録する。地面の高さはある基準面(高さ0)からの距離とし、正の値をとる。物体も基準面より上にあることとする。また、物体上に存在する粒状物質は高さ方向のスパンで表現する。これについては次節で詳しく説明する。そして、空中に存在する粒状物質についてはパーティクルシステムで表現する。

アルゴリズム全体の流れは以下ようになる。

(1) 物体と地面との衝突判定を行う、(2) 衝突範囲の粒状物質が物体によって移動される、(3) 粒状物質の移動によってできた急斜面での崩落を計算することによって傾斜を緩やかにする。

2.1 物体と物体上の粒状物質のモデル

提案法では地面と物体上の粒状物質の動きの計算を対象としているので、物体の位置、形状、速度等は地面との衝突によっては変化しないものとする。提案法では物体の形状として凸だけでなく凹物体も扱える。

地面をハイトフィールドで表現しただけでは物体上の粒状物質を表現できない。一般に物体上での粒状物質を表現する方法としてパーティクルシステムや空間をボクセル分割する方法が考えられる。しかし、どちらも粒状物質の動きについての計算量が大きくなるので、インタラクティブ処理には向いていない。そこで、提案法では物体と物体上の粒状物質を、物体存在領域を表す高さのスパン(図1の矢印(↑))のリストを各要素として持つ二次元配列(HSマップ: Height Span Map)で表す。各スパンにその位置での物体上の粒状物質の高さも持たせる(図1ではスパン上の太線)。これにより地面と同様に高さの変化だけを考えればよくなるので粒状物質の動きを効率的に計算できる。

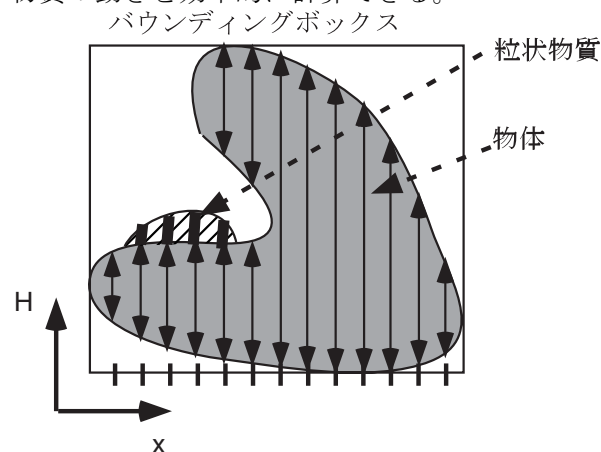


図1: HS マップ(断面図)

2.2 物体と地面との衝突判定

地面の変形を行うためにはまず、物体が地面のどの位置にどれくらいの深さで衝突したかを調べる必要がある。提案法では、はじめに物体と地面のバウンディングボックスの交差判定を行う。バウンディングボックスが交差していなければ物体と地面は衝突していないと判定できる。交差していた場合は、物体のHSマップを作成する。そして、物体と地面の衝突判定をHSマップを用いて行う。HSマップから物体底面の高

さがわかるので、それと HF の各格子点の高さを比較することによって物体との衝突を判定する。ここで比較する格子点は、物体のバウンディングボックスを水平面に投影した領域に含まれるもののみである。

2.3 粒状物質の移動

物体と衝突した格子点にある粒状物質は物体の周囲に移動される。提案法では粒状物質の移動を、物体が引きずられている場合（移動方向が水平より上向き）とそうでない場合のそれぞれに対応した2通りの方法で行う。前者の場合、衝突範囲内で物体の移動方向に対して後ろ側の格子点から順に物体の前方に向かって物質を移動させる。後者の場合は Sumner らの方法[2]を用いて、衝突範囲の中心から外側に向かって順に物質を移動させる。

2.4 崩落

前節の移動処理の後では、物体が地面と接触している範囲の境界部分に粒状物質が移動され、周辺より高さが高くなる。崩落アルゴリズムでは急斜面（隣接格子点間の高さの差が大きいところ）を検出し、高い方の格子点から低い方の格子点に粒状物質を移すことによって傾斜を緩やかにする。

2.4.1 地面上での崩落

物体と地表面の境界部分から周囲に向かって各格子点間の傾斜が粒状物質の安息角¹ θ より小さくなるように粒状物質を崩落させる。すなわち、下記の処理を E_n 回繰り返す (E_n は安息角 θ から経験的に決まる)。

衝突範囲の境界部分から周囲の格子点へ順に、隣接する格子点間の傾きが θ より大きい場合、高い方の格子点から低い方の格子点に、粒状物質を $\sigma \Delta h$ だけ移動させる。

ここで、 σ は崩落速度を調整するためのパラメータであり本稿では 0.2 とした。また、 Δh は隣接する格子点間の高さの差である。

物体が地面から離れた後に崩落が起こる場合のような、崩落の時間経過を表現するために、どの格子点で崩落が起こったかを一定時間記憶しておく。そして、記憶された格子点について各タイムステップで崩落計算を行う。

2.4.2 物体上での崩落

HS マップの各スパンについて隣接する格子点のうち崩落が起こりうるスパンを求める。隣接するスパンとの間で粒状物質の高さの傾きを調

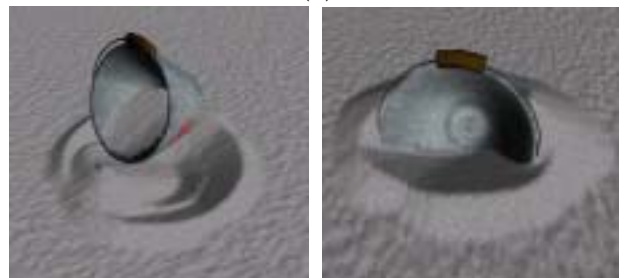
べ、地面の場合と同様に崩落計算を行う。物体上の粒状物質が地面に崩落する場合については、まず、物体上の粒状物質の高さと地面の高さが近い場合には直接地面に粒状物質を移す。高さに差がある場合はパーティクルを生成し、物体から地面に向けて落とす。

3 結果とまとめ

凹物体（バケツ）によって砂を変形させている様子を図2に示す。図2の(a)はバケツを砂の上で引きずった場合、(b)はバケツで砂をすくった後、空中でバケツを傾けて砂を落とした場合、そして(c)はバケツが砂に埋もれた場合の結果である。ここで使用したパラメータは $\theta = 30^\circ$ 、 $E_n = 5$ である。また HF のサイズは 256×256 である。計算には CPU に Pentium4 2.26GHz, GPU に Geforce4 MX420 を用いた。計算速度は約 10fps であった。



(a)



(b)



(c)

図2: バケツによる砂の変形結果

本稿では物体の動作に伴う地面の変形法を提案した。提案法により、様々な物体を用いて地面上に残る物体の接触跡や、物体上に被さる粒状物質、物体による粒状物質の運搬を表現できる。またこれらの計算をインタラクティブに行うことが可能になった。

参考文献

- [1] Xin Li, et al., SIGGRAPH'93 Conference Proceedings, pp. 361-368.
- [2] Robert W. Sumner, et al., Computer Graphics Forum, Vol.18, No.1, pp.17-26.
- [3] 尾上 耕一, 西田 友是, 情報処理学会第 64 回全国大会論文集(4), pp. 817-818, 2002.

¹ 崩落により自然に形成される傾斜の角度。