

浸食と堆積のモデルを用いた CG による扇状地の表現*

6F-05

吉見 孝史† 河合 利幸‡
大阪電気通信大学§

1 はじめに

コンピュータグラフィックスは、映画の特殊効果、景観シミュレーションなど様々な分野で利用されており、地形の自動生成法の重要性が増している。中でも架空の山岳地形生成法として、フラクタルを用いる手法や、水流の速度場を用いた浸食モデル [1]、浸食量計算に地質の違いを加味したもの [2] などが提案されている。

本研究では、これらのモデルを改良し、扇状地の表現が可能なモデルの構築を行った。扇状地は、水が山岳部から平野部流れ込む時に土砂の運搬量が減少し堆積することで形成される。土砂の運搬量は水流の速度変化だけでなく、水の地下への浸透や、地下からの湧出等により変化する。そこで、水の地下での振る舞いを考慮したモデルを提案し、扇状地の表現を行った。

2 地形モデル

本研究では、地表面の高さの他に浸食作用等に影響を及ぼす地質データが必要となるので、データが扱いやすい高さの場によるデジタル地形モデルを用いる (図 1)。これは、 $x-z$ 平面を正方形の格子状に区切り (格子点の間隔を L とする)、それぞれの格子点に y 軸方向の高さデータを与えることで、地表面の形状を表現する。さらに、異なる地質の層を表すために、各層ごとの厚みや地質のパラメータを与える。

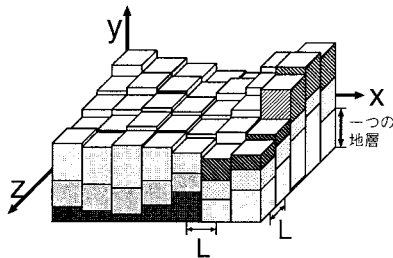


図 1: 地形モデル

地質のパラメータとしては、岩盤の固さ K_d 、岩盤の不安定度 K_s 、地層の隙間の割合を表す空隙率 K_b を与える。また、これまでの研究 [2] では、水が単位時間内に地下に浸透する割合を表すパラメータとして、水の浸透率 K_f を与えていたが、本研究では、水の浸透率

K_f の代わりに水の浸透能 K_F を与える。水の浸透能 K_F は、単位時間内に単位面積内で地下に浸透する水の最大量である。岩盤の固さ K_d 、岩盤の不安定度 K_s は浸食や斜面崩落の起きやすさに関係する。ただし、 K_s は水の浸透量に比例して増加する。

3 水流の速度場モデル

山岳地形に浸食が起こることとは、多くは水の地表面への衝突と移動によるものである。しかし、山岳地形に流れる水の正確なシミュレーションは困難である。そこで、水の流れを独立な水粒子の運動の積算値として求める水流の速度場モデル [1] を本研究でも用いる。各々の水粒子の運動は、運動方程式より求める。水粒子の速度ベクトルは、地表面との摩擦や衝突により減少する。速度ベクトルの変化量からエネルギーを求め、浸食作用の計算に用いる。

4 地下水の移動モデル

現実には、水は地表面を移動するだけでなく、地下にも浸透し、地下からの湧出も起こる。これに伴って地表面上の水の量が変化するため、土砂の運搬量も変化する。

そこで本研究では、以下の処理を各格子点で行うことで地下水の振る舞いを表現する。

・浸透量

水粒子の運動を計算する際に、地下に浸透する水の量を計算する。浸透する水の量 Δw は、水の浸透能 K_F と、水が浸透する場所の面積として格子点間の距離 L の 2 乗を用い、式 (1) より求める。

$$\Delta w = K_F L^2 \quad (1)$$

この地下に浸透した水の影響により地盤が緩み、不安定な状態となる。そこで、地盤の緩みを表すパラメータである不安定度 K_s を増加させる。

・水の下方への移動

地下に浸透した水は、重力等の影響により下方に沈んでいく。この時、地下にある空気や分子間力、表面張力等の影響は考慮しないものとし、式 (2) より水の下方への移動を表現する。

$$h'_g = h_g - K_F \Delta t \quad (2)$$

ここで、 h_g 、 h'_g はそれぞれ、地下に浸透した水の移動前後の位置 (高さ)、 Δt は単位時間である。移動後、水が別の地層との境に到達した際、その地層が水が浸透しない不透水層や、それまでの層より透水しにくい層

*Visualization of alluvial fans using a model of erosion and sediment for computer graphics

†Takashi Yoshimi

‡Toshiyuki Kawai

§Osaka Electro-Communication University

であった場合、そこに水が溜まっていく。この時の地下に溜まる水の高さを式(3)より求める。

$$h'_u = h_u + \frac{\Delta w}{K_b L^2} \quad (3)$$

ここで、 h_u 、 h'_u はそれぞれ、不透水層等の上に溜まった移動前後の水の高さ、 K_b は地層の間隙率、 L は格子点間の距離である。

・地下水流

次に地下水流について考える。地下水流とは、不透水層等の上に溜まった水がその地下水面の高さの低いほうに流れていく現象のことである。この地下水流の流量の計算には *Darcy* の法則を用いる [3]。流量 Q は透水係数である浸透能 K_F 、地下水流の移動距離 Δx 、その時の地下水面の高さの差 Δh 、水流が存在する地層の断面積 A より、以下の式で表される (式(4))。

$$Q = K_F A \frac{\Delta h}{\Delta x} \quad (4)$$

場合によっては、地下水面の高さが地表面の高さを上回ることがある。この場合、地下水面と地表面の高さの差の分だけ地下水を地表に湧出させる。湧出した水は再び地表面上の水粒子となり、浸食・堆積に影響を与える。また、水が地表面に湧出する場合、地表面付近の地層は地下水を多く含んでいるため、地盤が緩み不安定な状態になると考えられる。結果として、地下水の湧出が起こるような地表面では浸食や斜面崩落が起こりやすくなる。

5 地形の生成法

以下の処理を 1 ステップとし、計算を繰り返すことで地形を生成する [2]。

・浸食

浸食作用は、水の移動や衝突により地表面が削られて起こる。水の移動による浸食では、水の流量と岩盤の固さ K_d および不安定度 K_s から、削られ生成される土砂量を求める。水の衝突では、衝突エネルギーと岩盤の固さ K_d および不安定度 K_s を用いて求める。

・堆積

浸食により生成された土砂は、水流により運ばれ堆積する。土砂を運べる最大運搬量は、水の流量より決まる。浸食により生成された土砂量と、それまでに運ばれていた土砂量の和が最大運搬量を超えたとき、その地点に土砂を堆積させる。

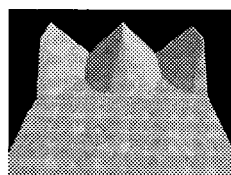
・斜面崩落

上記の 2 つの作用とは別に、崖崩れや地滑りの作用を考える。斜面崩落で発生する土砂量は、岩盤の固さ K_d と隣接する最も低い地点との傾斜角、および不安定度 K_s より求める。

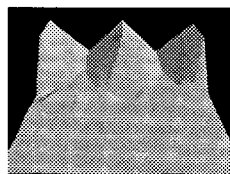
6 地形生成例

今回提案した手法による地形生成例を示す。初期地形として、図 2 (a) のような地形を用いた。また、フラクタルにより地表面に微小な凹凸を加えた。水粒子は、初期地形の山岳部に一定間隔で配置する。地層のパ

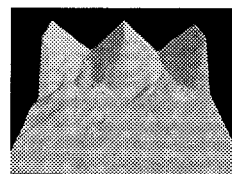
ラメータのうち、岩盤の固さはすべて同じ値を用いた。また、水の浸透量の違いが地形の生成にどのような影響を及ぼすかを見るために、これまでの手法 [2] および本手法ともに、地形の左部分は水が浸透しにくく、反対に右部分では水が浸透しやすくなるようなパラメータを与えた。以上の条件で、これまでに述べた処理を 500 ステップ繰り返した結果を図 2 (b), (c) に示す。両手法ともに、谷から平野部にかけての地点で現実の扇状地に見られるような扇状の堆積が見られる。しかし、これまでの手法 (図 2 (b)) では、水がすぐに浸透してなくなってしまうため、山岳部と平野部の境界付近での堆積は起こるが、境界から離れた平野部での堆積は少ない。本手法 (図 2 (c)) では、堆積が平野部の広範囲で起こっており、また、平野部に河川が分岐しているような地形が形成された。



(a) 初期地形



(b) これまでの手法



(c) 本手法

図 2: 地形生成例

7 おわりに

今回、地下に浸透した水が地下水流となり、その後、地表面に流出する過程をモデル化し実装した。このモデルを用いて扇状地の表現を行った。この結果、実際の扇状地に見られるような地形が生成できた。

今後の課題としては、複数種類の地層を含むような複雑な初期地形を用いての検証や、河川が生成できるモデルの構築等が必要であると考えられる。

参考文献

- [1] 藤田勝博, 村岡一信, 千葉則茂, “山岳景観シミュレーションのための速度場による侵食モデル”, 情報処理学会研究報告, 96-CG-81, pp.1-6, 1996.
- [2] 中村 幸男, 河合 利幸, “地下に浸透する水の影響を考慮した浸食モデル”, 平成 12 年電気関係学会関西支部連合大会講演論文集, G15-26, G369, 2000.
- [3] 河野 伊一郎, “地下水工学”, 鹿島出版会, 1989.