

侵食を考慮した河川形状の生成シミュレーション

戸沼 葉弓 赤木 康宏 北嶋 克寛
東京農工大学 大学院 情報工学専攻

近年、自然景観 CG は広く普及し、テレビや映画、ゲームなどで利用されている。自然景観を生成する上で基本となるのは地形だが、従来の地形モデリングに関する研究では河川の影響による変形を考慮しているものは少ない。そこで本研究では数値シミュレーションを利用して侵食を考慮することで、自然な河岸断面形状を生成することを目的とする。まず、ユーザーが書き込んだ等高線や川から基本となる地形モデルを生成する。次に、書き込んだ川に数値シミュレーションを適用し、得られた河岸の圧力分布を元に河岸断面形状を変形する。最後に、水深の影響を考慮したアニメーションを生成する。本研究により自然な川の CG アニメーションを任意に生成することができた。

A Study on a Simulation of River Shape Generation with consideration of Erosion

Hayumi TONUMA Yasuhiro AKAGI Katsuhiko KITAJIMA
Graduate School of Computer and Information Sciences,
Tokyo University of Agriculture and Technology

Today, natural terrain generation is widely spread – for TV, movies, video games, and so on. But most of studies on terrain generation do not considered of river eroded. Then, our purpose is to generate the shape of a natural river by considering of erosion with numerical simulation. At first, a user draws contour line and river line. Next, our system generates terrain and simulates numerically. After the simulation, river shape is transformed based on the result. At last, river animation considers the influence of depth is generated. Our methods enables to generate a natural river animation arbitrary.

1. はじめに

近年、3次元CGによる自然景観の画像や映像は広く普及し、テレビや映画、ビデオゲームなどで利用されている。このような自然景観の3次元CGでは目的に応じて多種多様な景観をモデリングする必要がある。この要求を満たすためには、ユーザーの意思に沿って多様な地形を生成できるような、3次元の地形モデリングシステムが必要となる。

例えば Shade のような 3次元モデリングソフトウェアで地形を設計するには煩雑な操作を伴う。しかし、ユーザーの意思に沿った地形を生成するためには、操作が簡便であり、生成される地形を予想しやすいシステムである必要がある。

ところが、従来の地形モデリングに関する研究では、自然の影響を受けることによる変形を考慮していないのである。例えば川を従来の手

法で川を作るとき、生成された地形の窪みに水面を作ることで川に見せているのである。これでは、河岸の形状は自然の川の流れを無視して作られていることになる。そこで本研究では、従来の地形モデリングに対して川による侵食を考慮することで、より自然な地形生成を可能にする。

本稿の構成は以下の通りである。まず、2節では地形モデリングと川のシミュレーションに関する関連研究について述べる。次に、3節で本研究の概要を示す。具体的な地形生成の手法や河岸形状の生成、これらを適用することによる川のアニメーションについては、4節、5節および6節にて述べる。7節では実際に生成した結果を示し、8節にてまとめを述べる。

2. 関連研究

容易に任意の地形をモデリングする方法としては、地形の外観を2次元的なデータで与える方法が考えられる。この2次元的な入力データを扱う関連研究では大きく分けて、山の裾野の形状、絵画的な山の形状、標高値を輝度値で表現するものの3種に分類できる。

森本らは没入型仮想環境と3次元操作可能なペン型デバイスを用いている[1]。この手法ではまず、ディスプレイ面による2次元平面に対して地形の外観の特徴を表した図形を描画する。これは山の裾野の形状になっており、立体視した3次元空間においてこの図形を3次元的に直接引っ張り上げ、斜面の傾斜具合を設定する事で地形モデリングを行う。

渡辺らの研究では、3Dの地形に直接2次元ストロークを描いていく事でモデリングを行う[2]。この2次元的なストロークとは、絵画的な山や谷の形状のことである。この手法では、絵を描く感覚で地形モデリングを行うことが可能である。

また、近年では景観モデリングソフトとしてTerragen[3]のような製品が広く普及している。このソフトによる地形モデリングでは、2次元画像の輝度値を標高値に変換することで3次元地

形を表現する方法を取っており、ユーザーは2次元の画像を生成することで地形をモデリングすることができる。

川についての研究では、流体力学の分野においていくつかの研究がある。河岸形状に関わるものでは、後藤の研究に川底の変形についての研究がある[4]。この研究では、流体を粒子にモデル化して計算を行う粒子法[5]という流体計算手法を用いており、さらに川底の土砂も粒子でモデル化している。このような物理シミュレーションの世界では、結果をわかりやすくするためのビジュアル化はある程度なされている。しかし、自然景観の3次元CGとしてはビジュアル化されていない。

本研究では、自然景観の3次元CGを生成するという観点から、川底の詳細な形状については重視しない。景観としてより目に入りやすい、川の左右の河岸形状の変化を重視する。また、川の特徴から河岸変形を考慮するために計算方法として粒子法を用いる。

3. 概要

次の図1にシステムの概要を示す。

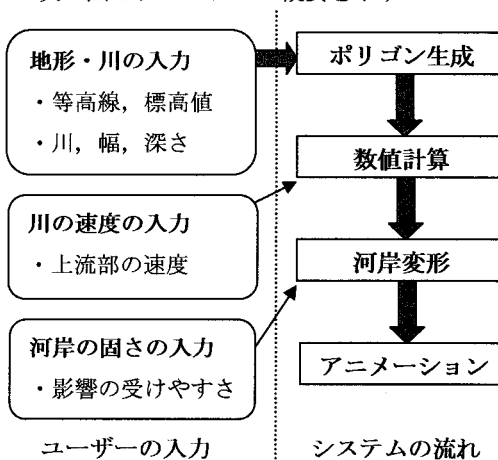


図1. システム概要

まず、ユーザーが地形や川の入力を行う。このときの入力において、標高値を設定して画面に線を引くと、それが等高線の役割をする。また、川の書き込みでは川の幅や深さを設定して

書き込む。これらの入力によって3次元ポリゴンを生成し、ユーザーが納得すれば数値計算に、納得しなければ書き直して再びポリゴンを確認する。

次に数値計算を行う。ユーザーは、川が画面に書き込んだ上流部に流入する速度を設定する。粒子法の計算により河岸にかかる圧力分布を求め、河岸変形を行う。ユーザーは、川の流れが河岸にどの程度影響を及ぼすか設定することができる。これは河岸の土の固さを表していることになる。

そして最後に、川が流れるアニメーションを生成する。水面の動きには Perlin Noise[6]を利用し、水面から川底までの距離に応じて水面の上下動を決定する。これにより、自然景観のアニメーションが完成する。

4. 地形生成エディタ

4.1 入力と出力

次の図2に書き込みの例を示す。

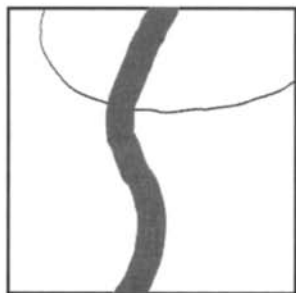


図2. 書き込みの例

図2において、細い線が等高線、太い線が川となっている。実際の画面では川は青色で表示される。書き込み画像には標高値や川の深さは表示されない。線の入力はマウスやタブレットにより行い、パラメータの設定はダイアログによって行う。これを3次元ポリゴン化すると次の図3のようになる。ユーザーがこの形状で納得すれば次のステップへ進み、納得しなければ書き直せるようになっている。

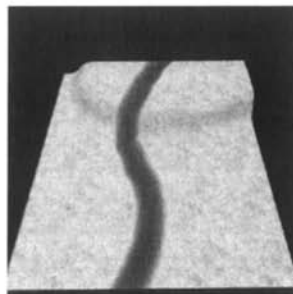


図3. 地形ポリゴン

4.2 地形モデリング

本研究では入力に等高線を用いている。既存の手法では山の裾野の形状や絵画的入力、輝度値による入力があるが、入力しやすく想像通りの結果を得やすいのは山の裾野の形状を入力することだからである。しかし、3次元モデリングをより簡単に行う入力は輝度値による入力である。ただし、この手法で直観的に思い通りの地形を描くには慣れが必要である。

そこで本研究では、入力した等高線から標高値による輝度値情報を生成し、標高値の分布を得ることで3次元の地形を生成している。次の図4に輝度値情報を示す。

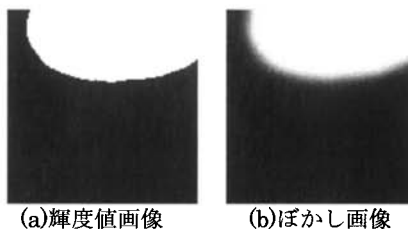


図4. 輝度値情報

図4(a)は、等高線から輝度値情報に変換したものである。等高線は「線」であるため、等高線を境に輝度値が切り替わっている。そのため、このまま3次元化するとカクカクした地形になってしまう。そこで図4(b)のように一度輝度値画像にぼかしをかけることで滑らかな地形生成を可能にしている。

4.3 河岸形状生成

河岸形状生成の様子を次の図5に示す

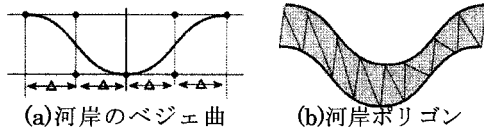


図5. 河岸形状の生成

河岸形状を生成するためにはベジエ曲線を利用している. 河岸断面をベジエ曲線で生成し(図5(a)), 頂点を隣同時で結んでいくことでポリゴン化している.

5. 河岸侵食シミュレーション

5.1 粒子法

粒子法とは流体を粒子の集まりで表現する方法である. 粒子の流れは偏微分方程式で表される. この粒子法に非圧縮性流れの計算アルゴリズムを導入したのがMPS法である.

非圧縮性流れの方程式として, 以下のものを用いる.

$$\frac{D\rho}{Dt} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{D\vec{u}}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \nu \nabla^2 \vec{u} + \vec{f} \quad (2)$$

この2つの式において, ρ , \vec{u} , P , ν , \vec{f} はそれぞれ流体の密度, 速度, 圧力, 動粘性係数, 外力である. MPS法ではこの式を, 粒子間相互作用モデルを用いて解いていく.

粒子間相互作用には重み関数 $\omega(r)$ を利用する.

$$\omega(r) = \begin{cases} \frac{r_e - 1}{r} (0 \leq r < r_e) \\ 0 (r_e \leq r) \end{cases} \quad (3)$$

ここで r は粒子間距離である. よって図6より, 式(3)の重み関数は, 粒子間距離が r_e より短い場合のみ作用することになる.

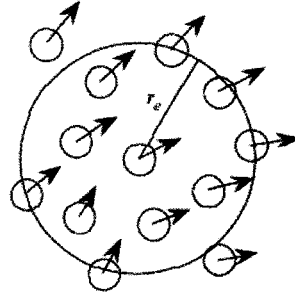


図6. 粒子間相互作用[5]

MPS法では, この粒子間相互作用モデルを用いて連続体の支配方程式を離散化する. 本研究では, 川の流れの計算にこのMPS法を利用している.

5.2 川の流れの計算

MPS法では, 流体粒子の他に座標を固定した壁粒子を配置する. 壁粒子は, 圧力を計算する粒子と計算しない粒子の2種類がある. また, 圧力を計算するのは流体粒子と接する側にある壁粒子である. 川の流れを計算するとき, この2種類の壁粒子は河岸を表しており, 圧力を計算する粒子にかかる圧力分布を利用して河岸侵食のシミュレーションを行う.

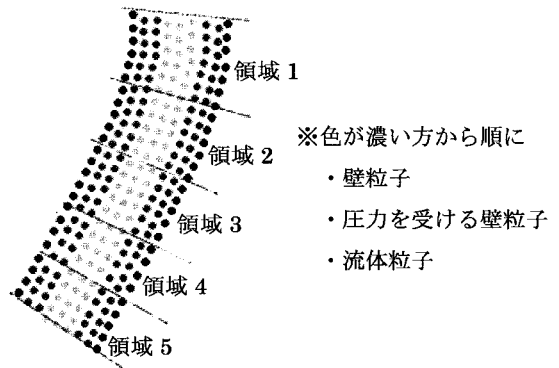


図7. 粒子配置の例

MPS法を川の流れの計算に適用するに当たって, 本研究ではいくつかの工夫を施している. まず, 書き込まれた川に粒子を配置する時に書

き込まれた川よりも長めに配置している。これは、上流部の余分に配置した部分でユーザーの入力による速度を適用するためである。また、この状態で上流から下流にかけて粒子が流れた時、上流から流れて来る粒子が無くなってしまふ。そのため、下流から流れ出た粒子を上流に戻すことで流れ続ける川の計算を可能にしている。

また、MPS法では粒子間相互作用を用いるため、それぞれの粒子情報には隣接粒子情報が含まれている。この隣接粒子情報を計算するとき、本研究では領域分割を用いている。図7において、領域1の粒子の隣接粒子を調べるときは領域1と領域2を調べればよい。また、一番下の領域5の粒子を調べるときは領域5と領域1について調べる。本研究ではMPS法を川の計算に用いるので、川の形状に添って領域を分割することで効率よく隣接粒子情報を得ることができる。

5.3 河岸形状の変形

河岸形状の変形方法について、以下の図8に示す。

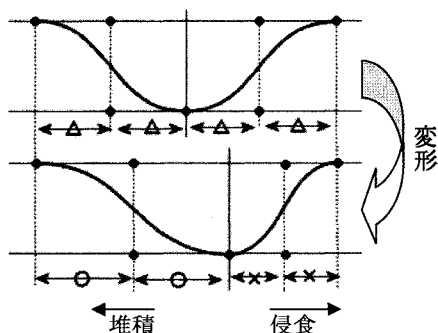


図8. 河岸断面形状の変形

図8では、左岸と右岸を作っているベジェ曲線の中心にある制御点を侵食されている方向へ移動している。またその際、移動した制御点と左右の岸の端にある制御点との中間に制御点を設けている。このことにより、侵食されている方は急な斜面になり、堆積されている方は

なだらかな斜面となる。

河岸の変形度合いは中心の制御点の移動量によって決まる。そしてこの移動量は、MPS法による計算結果から求まる圧力分布を利用することで決定している。

移動量を決定するためにはまず、MPS法における圧力を計算する壁粒子において、それぞれの粒子の圧力と平均圧力との誤差を求める。平均圧力よりも大きいほど、侵食されやすいということになる。例えば左岸の圧力が平均より大きければ左に侵食、小さければ左に堆積されることになる。左岸と右岸の平均圧力との誤差を比較することで、どちらにどれだけ移動するかが決まる。さらに、ユーザーからの土の固さパラメータの入力によって、移動量の最大値が決まる。

6. アニメーション

川の水面のアニメーションを生成するために、本研究ではPerlin Noise[6]を利用している。Perlin Noiseは水面の上下動を表現するために用いており、その振幅、周期は静止状態にある水面から川底までの深さに応じて決まる。

実際の川では、浅瀬ほど細やかに表面が振動しているのに対し、深いところではゆっくりでありながらも大きく上下動しているのがわかる。本研究の川のアニメーションでは、これを再現している。

7. 結果

本研究による河岸形状の生成結果を図9に示す。図9における土の固さパラメータによる比較では、土が固いほど初期の河岸形状に近く、土が軟らかいほど川の特徴がはっきりと出ているのがわかる。例えば、川の中腹部のカーブでは、左側に川が寄っているのがわかる。また、下流部では右に寄っている。

本研究では、変形をわかりやすくするためベジェ曲線のみによる河岸形状生成をしている。

そのため、河岸形状に統一感が出やすくなるが、自然の地形形状は例え平地であっても多少の凹凸がある。本研究ではこの凹凸については考慮していないが、この問題は地形や河岸の形状に Perlin Noise などによりある程度のランダム性を加えたり、テクスチャを工夫することで解消されると考えられる。

8. まとめ

本研究では、侵食を考慮した河岸形状の生成シミュレーションについての手法を考案した。この手法では、まず、ユーザーが書き込んだ川形状に対して数値シミュレーションを適用する。これによって得られる川の圧力分布を利用して、ユーザーの作成した川を自然な川形状に変形している。この手法により、従来の地形モデリングにはない、自然な川形状を生成することができた。さらに、従来の自然景観モデリングにはない、自然の動きのアニメーションを取り入れることができた。

本研究ではリアルタイム性を重視せず、川の特徴を得るために MPS 法を用いている。そのため計算部分で時間がかかってしまい、河岸の変形をスムーズに行えない。よって今後はリア

ルタイムで自然な川形状を生成するために、川の特徴を得るのに毎回計算しなくてもよいような手法を考案する必要がある。

参考文献

- [1] 森本龍太郎, 松宮雅俊, 竹村治雄, 横矢直和 : “没入型仮想環境とペン型デバイスを用いた地形モデリング”, 信学技報, MVE2000-125, Vol.100, No.716, pp.103-110, (2001).
- [2] Nayuko Watanabe, Takeo Igarashi : “A Sketching Interface for Terrain Modeling”, SIGGRAPH 2004 Posters.
- [3] PlanetSide Software : “Terragen™”, <http://www.planetside.co.uk/terrigen/>.
- [4] 後藤仁志 : “流砂・漂砂の流動モデルにおける「粒子」的視点”, ながれ, 21 巻, 第 3 号, pp.240-249, (2002).
- [5] 越塚誠一 : 数値流体力学, 培風館 (1997).
- [6] K. Perlin, “An Image Synthesizer”, Proc.SIGGRAPH'85, pp.287-296 (1985).

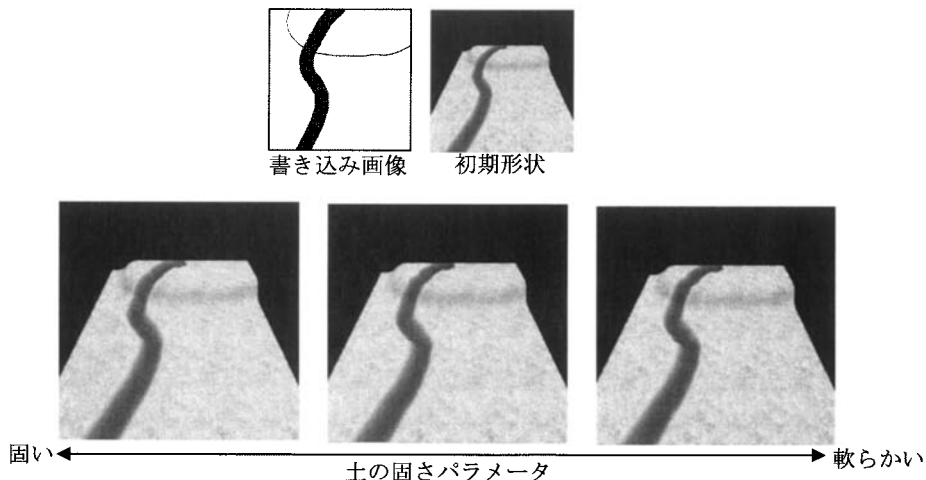


図 9. 河岸形状の生成結果