

2010年度 卒業論文

モルフォロジーを用いた河川形状の
自動生成モデリング手法の提案

指導教員：三上 浩司 講師

メディア学部 ゲームサイエンスプロジェクト
学籍番号 M0107432
松井 祐介

2010年度 卒業論文概要

論文題目

モルフォロジーを用いた河川形状の
自動生成モデリング手法の提案

メディア学部

学籍番号：M0107432

氏名

松井 祐介

指導
教員

三上 浩司 講師

キーワード

モルフォロジー、モデリング、河川
コンピュータグラフィックス、自然景観

近年、3次元コンピュータグラフィックスによる自然景観の画像や映像は広く普及しており、映画、ゲーム等のコンテンツで多く利用されている。自然景観の中でも河川という地形は現実にも世界各地に多く存在しているうえ、自然景観として美しいとされる場所が多く、様々なコンテンツで用いられる。

河川という形状は、河川の3要素といった自然現象や天候など様々な要因によって複雑な形状をしている。そのため、河川をCGで表現したり、建設や護岸工事のための水流や、地形変遷をシミュレートする研究が多く行われてきた。

従来の地形モデリングに関する研究では自然現象を考慮している研究は少ない。自然現象を考慮していない場合、河川形状は自然の川の流れを無視していることになる。しかし、物理演算を用いたシミュレートをしてしまうと計算に時間がかかってしまうため、3DCGモデリングにおけるインタラクティブ性が損なわれてしまう。

本研究では、モルフォロジー演算を用いて自然現象を疑似的に再現し侵食や運搬、堆積といった河川の3要素を考慮したモデリングシステムを提案した。

提案した手法では、自由な曲線、川幅、深さ、水量、地質硬度、処理回数といったデータをユーザが入力する。ユーザはこれらのデータを入力することで任意の形状の河川を作成することができる。また、モルフォロジー演算を用いて計算を行うことで、計算時間の短縮を行った。これによってシステムにインタラクティブ性を付加することができた。

最後に本システムを使用して様々な条件のもと河川を作成することで検証を行う。また、形状による変形の差とパラメータによる変形の差を示すため、比較実験を行った。本研究の有用性を示すためにユーザテストも行った。比較実験から、侵食や堆積の特徴をもった形状の変形を行うことができ、それぞれ明確な差が確認できたと言える。本研究の提案手法を用いることで、河川の3要素を考慮した河川形状を容易に形成することができた。ユーザテストから、本研究の有用性が高いことが分かった。

目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究の背景と目的	1
1.2	本論文の構成	2
第2章	河川について	3
2.1	河川とは	3
2.2	河川形状と河川の3要素	4
2.3	既存研究	5
2.4	問題提起	5
第3章	提案手法	7
3.1	河川形成手法	7
3.1.1	基本形状と川幅の設定	8
3.1.2	水位と地質硬度の設定	8
3.2	モルフォロジー	9
3.2.1	エロージョン	10
3.2.2	ディレイジョン	10
3.3	モルフォロジー演算を用いたモデルの変形	11
3.3.1	河川の基本形状の設定	11
3.3.2	パラメータの設定	12
3.3.3	構造要素の設定	13
3.3.4	河川の侵食と堆積	14
第4章	実装	16
4.1	河川形状モデルの定義	17
4.2	侵食と堆積	18
4.3	レンダリング	19
第5章	検証と考察	21
5.1	検証	21
5.1.1	パラメータによる変形の差	21
5.1.2	形状による変形の差	24

5.1.3	様々な変形の例	26
5.2	アンケートによる検証	28
5.3	考察	30
第6章	まとめ	33
	謝辞	34
	参考文献	35

目 次

2.1	システム提案図	6
3.1	エロージョン	10
3.2	ディレイション	11
3.3	構造要素の設定	13
3.4	ベクトルの位置関係による外積符号	15
3.5	侵食と堆積	15
4.1	処理の流れ	16
4.2	ボクセルデータ	17
4.3	ボクセルデータの河川内部状態	18
4.4	侵食・堆積領域	19
4.5	レンダリング結果	20
5.1	基本形状と初期値による変形結果	22
5.2	深さを3に変更した場合の変形結果	22
5.3	水量を60にした場合の変形結果	23
5.4	地質硬度を3にした場合の変形結果	23
5.5	処理回数を5にした場合の変形結果	24
5.6	急なS字カーブの場合	25
5.7	緩いS字カーブの場合	25
5.8	蛇型の場合	26
5.9	さらに角度を急にした場合	27
5.10	N字型の場合	28
5.11	アンケート結果	30
5.12	うまく変形できなかつた場合	32

第 1 章

はじめに

1.1 研究の背景と目的

近年、3次元コンピュータグラフィックス（以下「3DCG」）による自然景観の画像や映像は広く普及しており、映画、ゲーム等のコンテンツで多く利用されている。

3DCG における自然景観では、目的に応じて多種多様な景観をモデリングする。3DCG の景観では、現実存在する景観や架空の景観のどちらも使用することがあるため、目的に合わせて3次元モデルを生成する必要がある。

本研究では、数ある自然景観の中から河川に着目する。河川とは、雨や雪などによる降水が重力により低い方に流れてできる流水の通路となる細長い凹地と、流水のことである。水が流れることによって土が削ることを侵食、流水が削られた土砂を運ぶことを運搬、土砂が川底に積もることを堆積という。これら3つの要素を河川の3要素といい、河川はこの河川の3要素によって形状が変化する。

河川は様々な自然現象が影響し合い長い年月をかけて地形を侵食する。侵食により複雑な地形を形成するため河川生成の様子は観測することは難しい [1]。河川の流れる土砂を運ぶことによって河床が変動するために、河川の様子を観測することも困難である [2]。

このように、河川は複雑な形状であり、ユーザが河川の特徴を考慮して設計したり、3DCG 上で河川をモデリングすることは膨大な労力と時間を必要とする。こ

の問題を解決するためにはデザイナーが意図した河川形状を簡易に編集、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。

河川は複雑な形状を有しているため、Autodesk Mayaなどの3次元モデリングソフトウェア [3] で侵食などの河川の特徴を考慮して設計するのは難しい。実際にデザイナーがモデリングをする時は、シミュレーション結果を用いず勘で作成するため自然現象を考慮できているとはいえない。複雑な形状である河川をユーザが河川の特徴を考慮して生成するためには、操作が簡便であり、生成される地形を細かく調整できる河川生成に特化したシステムが必要である。

既存研究ではこの自然現象を考慮しているものがあまりない。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ことが多い [4][5]。自然現象を考慮していない場合、河川形状は自然の川の流れを無視していることになる。また、自然現象を考慮したシミュレーション [6] の場合、物理演算を用いたシミュレートが必要になるため、計算に時間がかかる。このため、デザイナーが求めるインタラクティブ性を損なっている。

そこで本研究では、自由な形状の入力、操作の簡便性、インタラクティブ性を重要視し、河川の3要素を疑似的に考慮した河川の形状モデリングシステムを提案した。

1.2 本論文の構成

本論文は全6章で構成する。第2章で河川と既存研究について述べ第3章では提案手法を述べる。第4章で実装内容を説明し、第5章では実装結果、検証について述べる。最後に第6章で全体のまとめと今後の展望を述べる。

第 2 章

河川について

2.1 河川とは

大辞泉によれば、河川とは、地表をほぼ一定の流路をもって流れ、湖や海に注ぐ水の流ることである [7]。

河川は世界各地いたるところにあり、世界 3 大河川など有名な河川が多数ある。水が流れる道を河道と言い、河道は複数ある枝分かれした樹状構造 [1] で構成している。その中の主要となるものを本流と呼び、そこに合流するものを支流と呼ぶ。河道のある谷地全体を河谷、流水に接する地面を河床と呼ぶ。ある河川の流水のもとになる雨雪が降下する全地域を流域と呼ぶ。

一般的に河川の長さは、水源と河口を特定し、河口からもっとも遠い水源までの距離をその河川の長さとすることが多い。しかし明確に河川の長さを測ることができない理由がある。主に季節や天候によって河川の位置が変わってしまうこと、水源が一つとは限らないこと、河口の位置が不明確な場合があること、地図の縮尺によって結果が変わることなどの原因である。

このように、河川は形状や位置が流動的であるため、河川の形状は大変複雑 [8] である。

2.2 河川形状と河川の3要素

河川は、雨や雪などの降水が重力により低い方に流れることにより形成する。通常、水はまっすぐ低い方へ流れようとするが土地が平面とは限らない。土地が盛り上がっていたり、障害物があった場合それを避けて流れるため、河川の形は複雑なものになる。水の流れは地面を削り、土砂を運び、別の場所へ積もるという河川の3要素と呼ばれる現象 [9][10] を起こし河川を形成する。

次に河川の3要素である侵食、運搬、堆積について述べる。

- 侵食

侵食とは水や風などの力が岩石や地層を削ることである。侵食には河川によって行われる河食の他にも、氷河によって行われる氷食、砂漠地方にみられる風の力による乾燥侵食などがある。本研究では特に指定がない限り、河川による侵食作用である河食のことを指す。

- 運搬

運搬とは、水流が侵食作用が削った土砂を運ぶことである。運搬には浮流と掃流との2種類があり、前者は水に浮いて流れることを言い、後者は河床近くで回転しながら一掃される状態である。

- 堆積

堆積とは、河川が土地を侵食して運搬してきた土砂を運搬力の弱まる山麓や河口付近に積み重ねる作用のことである。

河川は時を経ると先に述べた河川の3要素によって次第に形状が変化する。さらに、河川がどのような形状であるかによって、変化の仕方が大きく変わっていく。河川形状を構成する要素として基本形状、川幅、深さ、傾斜、流水速度、流量、天候、地質硬度などがある。河川はこれらの様々な要素が影響し合うことで構成、変形していく。

2.3 既存研究

河川の3DCGにおける研究は様々なものがある。実在する河川をCG上で表す試みとして、河川付近の地形データを元に3DCGモデル化する研究[11]や、形状の変遷をシミュレートする研究[12]がある。これらの研究は、河川付近の建設や護岸工事のために、河川周辺の地形データを紙媒体ではなくCG上で再現するという目的のもと行われた研究である。

また、建設や護岸工事のための、水流や地形変遷のシミュレートは数多くおこなわれている。

シミュレーション結果やCG表現をコンテンツ利用のために用いたものとして、伊藤らの研究[13]や、戸沼らのシミュレーションの研究[14]がある。これらは、現実河川で起こっている現象をシミュレーションし、その結果を3Dモデルに反映するという試みである。これらの研究は、コンピュータ上で粒子法等の物理演算を行って現実により近いものを生成している。

2.4 問題提起

3DCGにおいて、自然景観の形状モデルは必ずしも厳密にリアルな形状である必要はない。一方で、制作した河川形状が現実ではあり得ない形状になるのは望ましくない。地形モデリングをするデザイナーは、操作が簡易かつ生成、変形を素早く行うことで任意の河川形状を作成できることが望ましい。しかし、計算に時間がかかってしまったり操作が複雑であることは望ましくない。

今までの物理演算を用いた研究では、計算時間や操作の問題がある。そのため、ある領域を埋めたり、削り取るような特徴があり計算時間を短縮できるモルフォロジー演算を使う。

本研究では、モルフォロジー演算によって疑似的に物理現象を再現してデザイナーの任意の形状を簡易に生成でき、編集をインタラクティブにできるシステムを考案した。本システムは、河川の形状となる曲線と川幅や深さなどのパラメー

タを与えることで河川の基本形状を生成し、パラメータからモルフォロジー演算を行い侵食や運搬、堆積を表現する。図 2.1 は本モデリングシステムの概要を示している。

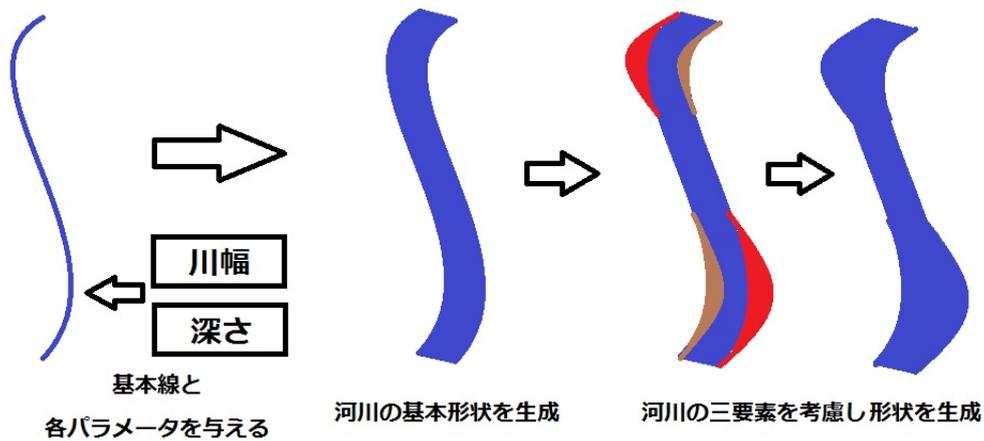


図 2.1: システム提案図

本研究では、最も基本となる河川の形状をユーザの意図した形で生成することを目的とする。そのため、侵食などによる経年の変化を反映し、自由な形状から河川形状を編集、調整しやすくすることを主眼とする。

第 3 章

提案手法

本章では 3DCG における河川の生成手法について提案する。河川の 3 要素を疑似的に再現するために、モルフォロジー演算を利用する。本節ではモルフォロジーとはどのようなものかを述べた後、具体的にどう利用し高速化を図るかを説明する。また、モルフォロジー演算上の定義としてそれぞれの処理がなされる元の画像を基本図形、処理するための基本図形より小さい画像を構造要素と定義する。

3.1 河川形成手法

3DCG での河川形成は、現実において河川を構成しているすべての要素を考慮すると多大な時間がかかってしまう。本手法ではユーザが任意の河川形状を形成する上で最低限必要な要素を使用する。まず、ユーザが河川の基本的な形状となる曲線を入力する。次に、川幅、深さのパラメータを入力する。ユーザは曲線と二つのパラメータを用いて河川形状を形成する。侵食や堆積の進みやすきは、入力したパラメータから求め、曲率、水位、地質硬度を用いる。本システムでは次の手順で河川の生成を行う。

1. ユーザが基本形状を入力
2. 次に、パラメータを入力

3. パラメータをもとに河川形状の形成
4. パラメータから、侵食や堆積の進みやすさを求める
5. 侵食、堆積処理
6. レンダリング

3.1.1 基本形状と川幅の設定

河川の特徴として、曲線形状で構成していることが多い。このため本研究では基本形状は曲線によって指定する。曲線は Bezier 曲線を用いた。基本形状である Bezier 曲線から曲率を求め、その値から侵食・堆積の進みやすさを決定する。曲線に対して川幅と深さを任意の値に設定することで自由に形状を作成することができる。川幅は河川の右岸から左岸までの長さ、深さは河川の水面から河床までの高さのことである。一般的に、川幅が広く浅い河川ほど水流速度は緩やかになり、逆に川幅が狭く深い河川ほど水流速度は速くなる。

本手法においては入力した値を一定値とした。

3.1.2 水位と地質硬度の設定

侵食や堆積の進みやすさは水位と地質硬度によって決定する。水位から川幅と深さに応じて流量を設定する。流量が多いほど侵食や堆積は進みやすくなる。

地質硬度は地形の硬さを表している。地質硬度が硬いほど侵食されにくい。地形が侵食されることにより土砂が運搬され堆積が起こるので同様に地形が硬くなるほど堆積も起きにくくなる。

本手法においては入力した値を一定値として用いた。

3.2 モルフォロジー

モルフォロジーでは画像を特定のパターンの集合で形成するものと仮定している。これによって、画像の構成を示し、画像をピクセルの並びと見るのではなく何らかの構成があるものと見出すものである。また、このようなモルフォロジーという概念を用いた演算をモルフォロジー演算という。近年では3次元画像処理の需要増加に伴い、モルフォロジー演算を3DCG上で用い、形状のモデリング [15][16][17] や医療分野 [18][19] などで活用する研究が行われている。

モルフォロジー演算では、対象とする図形内部に構造要素と呼ばれる小さな図形をあてはめる、はめ込みを行うことで、構造を抽出する手法である。構造要素は、回転や縮小はできない。はめ込みによって出た結果の特徴について次に、説明する。

- 対象とする図形は構造要素の構造をもっている
- はめ込みを行うと、対象の図形は構造要素をはめ込むことのできた部分とできなかつた部分に分けることができる
- はめ込むことのできなかつた部分は構造要素の構造をもたない部分である
- 図形は構造をもたない部分を除いて再構成することができる
- 図形は構造要素の形やサイズを変えることで元の図形を構成する構造要素のサイズの分布を求めることができる

以上のような処理を行う演算をモルフォロジー演算という。

モルフォロジー演算には基本となる計算にオープニング、エロージョン、ディレイジョン、クロージングがある。本手法では侵食のためにエロージョン、堆積のためにディレイジョンを用い、エロージョンについては3.2.1節で、ディレイジョンについては3.2.2節で述べる。

3.2.1 エロージョン

本手法で侵食を表現する、エロージョン処理について説明する。まず、基本図形となる河川形状を用意する。次に、基本図形に対してそれより小さい図形である原点を1つ持つ構造要素を用意する。エロージョン処理は、河川の内部で構造要素の原点をくまなく動かした時の構造要素全体の軌跡である。

図3.1は構造要素、基本図形である河川形状とエロージョン処理の結果を示している。

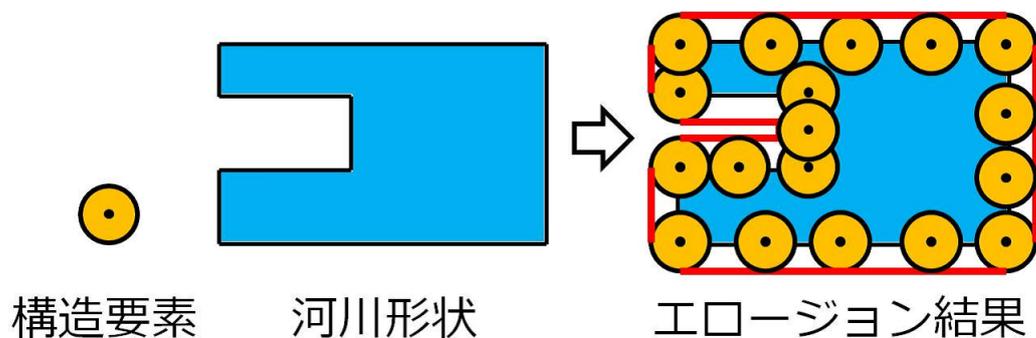


図3.1: エロージョン

図3.1のエロージョン結果では、赤い線を含めた内部の領域がエロージョン処理の結果を示している。元の基本図形に対して図形から、はみ出した部分が侵食を表す。

3.2.2 デイレイジョン

本手法で堆積を表現する、ディレイジョン処理について説明する。まず、基本図形となる河川形状を用意する。次に、基本図形に対してそれより小さい図形である原点を1つ持つ構造要素を用意する。ディレイジョン処理は、基本図形の内部をはみ出さないように構造要素を動かす。この時、構造要素の原点が配置できなかった部分がディレイジョン処理によって削り取られる。図3.2は前項と同じように構造要素、基本図形である河川形状とディレイジョン処理の結果を示している。

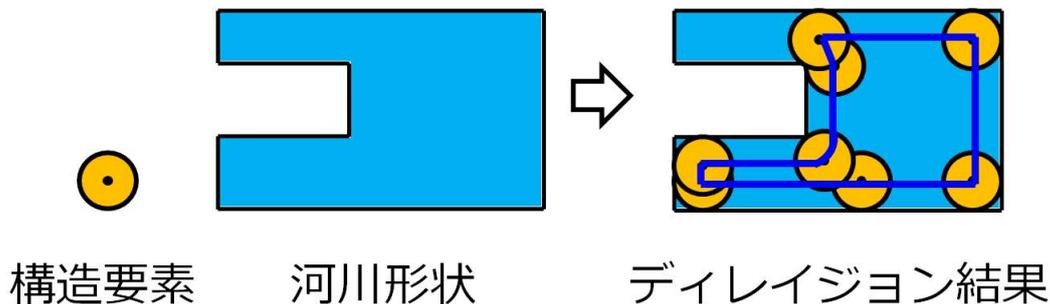


図 3.2: ディレイジョン

図 3.2 のディレイジョン結果では、青い線を含めた内部の領域がディレイジョン処理の結果を示している。元の基本図形からなくなった部分が堆積を表す。

3.3 モルフォロジー演算を用いたモデルの変形

本節ではモルフォロジー演算を用いたモデルの変形方法を述べる。まず、河川の基本形状をどう設定するかを 3.3.1 節で述べる。次に、演算をする際の重要な構造要素の決定方法を述べ、それをどう利用するかを 3.3.2 節で述べる。最後に、構造要素の決定に使用する曲率の算出方法を述べる。

3.3.1 河川の基本形状の設定

河川の基本形状はユーザが Bezier 曲線を編集することで設定する。ベジエ曲線は制御点を $\mathbf{B}_0, \mathbf{B}_1, \dots, \mathbf{B}_{n-1}$ のとした時、式 (3.1) となる。

$$\mathbf{P}(t) = \sum_{i=0}^{N-1} \mathbf{B}_i J_{(N-1)i}(t) \quad (3.1)$$

ここで、 $J_{ni}(t)$ は Bernstein 基底関数のブレンディング関数である。

$$J_{ni}(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-1} \quad (3.2)$$

$0 \leq t \leq 1$ の時、 \mathbf{B}_0 と \mathbf{B}_{N-1} を両端とするベジエ曲線を得る。一般には両端以外の制御点は通らない。

3.3.2 パラメータの設定

ユーザは Bezier 曲線によって作られた基本形状に基本パラメータを入力することで河川の形状を形成する。基本パラメータは、川幅と深さの2つである。Bezier 曲線と川幅と深さによって河川の基本形状を生成する。

次に、地質パラメータを用意する。地質パラメータは侵食や堆積といった現象の起こりやすさを決定するために用いる。地質パラメータは、流量、曲率、水量、地質硬度、処理回数の5つである。その中でもユーザは、水量と地質硬度と処理回数を入力する。Bezier 曲線、基本パラメータ、地質パラメータから流量と曲率を求める。河川全体の流量は川幅と深さから容積を求め、水量の割合を掛けることで求める。

曲率は設定した Bezier 曲線から求める。ベジエ曲線のある点を t とする。点 t の位置ベクトルを参照し、2階微分から法線を求める。その法線の長さが曲率半径となり、曲率半径を k とし、曲率を r とすると曲率は $\frac{1}{k}$ となる。ベジエ曲線のある点 t が $0 \leq t \leq 1$ の時の各点それぞれの曲率を求める。

曲線上の点 P からの弧長の増分を Δs 、接線と x 軸の正方向とのなす角の増分を $\Delta \theta$ とする。その時、 P における曲率半径 k は式 (3.3) となる。

$$k = \left| \lim_{\Delta \theta \rightarrow 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta s} \right| \quad (3.3)$$

また、 $y = f(x)$ のとき、式 (3.4) となる。

$$k = \frac{|y''|}{(1 + (y')^2)^{\frac{3}{2}}}, r = \frac{1}{k} \quad (3.4)$$

パラメータ曲線式 $x = x(t), y = y(t)$ のとき、式 (3.5) となる。

$$k = \frac{|x'(t)y''(t) - x''(t)y'(t)|}{((x'(t))^2 + (y'(t))^2)^{\frac{3}{2}}}, r = \frac{1}{k} \quad (3.5)$$

以上の計算により、曲率 r を求める。

これらは構造要素の大きさを変更するために用いる。構造要素については次の項で説明する。

3.3.3 構造要素の設定

本研究では構造要素の大きさを変更しながらモルフォロジー演算を行うことで侵食や堆積といった処理を行うための領域を割り出す。構造要素を変更して処理をする先行研究として氷解現象のビジュアルシミュレーション [15] や、融雪アニメーションに関する手法 [16] などの研究がある。

本研究での構造要素の基本形状は図 3.3 のようにダイヤ型に設定する。

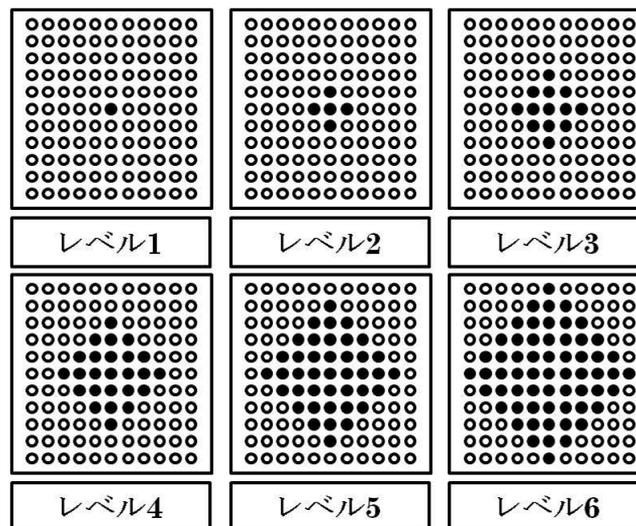


図 3.3: 構造要素の設定

図 3.3 の構造要素の形状は、あくまで流水の影響を表現するものであり、構造要素の形によって結果が変わるのを防ぐため上下左右が対称のものを使用する。また、大きさは構造要素 1~6 までのレベルで設定をする。レベルが n の時の構造要素の横幅と縦幅は $2n - 1$ とする。構造要素レベルの最大値は川幅と深さによる河川の容積の大きさで設定する。レベル 1 から設定した最大レベルまでの値を、ベ

ジェ曲線の曲率、流量と地質硬度によって決定する。

流量はまず設定した河川の川幅と深さから容積を求める。水量によってその容積にどれだけ水が入っているかを求める。構造要素レベルは流量が多いほど大きくなる。

これにより、次の関係が成り立つ。

- 上限値をレベル6として、川幅と深さにより構造要素の最大レベルを決定する
- 構造要素レベルは曲線の曲率が高いほど大きくなる
- 構造要素レベルは地質硬度が柔らかいほど大きくなる
- 構造要素レベルは流量が多いほど大きくなる

決定した構造要素を元に侵食と堆積の領域をあてはめることで処理を行う。

3.3.4 河川の侵食と堆積

構造要素を決定したら、河川の侵食と堆積の処理を行う。河川の輪郭線上を決定した構造要素をはめこみ、侵食と堆積を疑似的に表現する。

図3.4のように3次元空間上にXZ平面が存在し、ベクトル $\mathbf{P} = (P_x, 0, P_z)$, $\mathbf{Q} = (Q_x, 0, Q_z)$ がある。さらにベクトル $\mathbf{R} = (0, R_y, 0)$ が $\mathbf{R} = \mathbf{P} \times \mathbf{Q}$ を満たすとする。 \mathbf{P} , \mathbf{Q} は正規化されており $\mathbf{P} \times \mathbf{Q}$ は外積を表す。この時、Yの正方向から見て \mathbf{Q} が \mathbf{P} の左側ならば $R_y > 0$ になり、右側ならば $R_y < 0$ になる。以上の条件を満たしている場合、曲線中のある点に対して外積の左右関係定理が成り立つ。そのため曲がっている方向をプラスとマイナスと定義することができる。図3.5の場合、左側がプラス、右側がマイナスとなる。プラスの場合にエロージョン処理、マイナスの場合にディレイジョン処理を行う。

このように、河川の流れに対して構造要素の大きさを変更することで領域の決定を行い、外積の左右関係定理を用いて処理の判定を行うことで河川の3要素を

表現した。図 3.5 は侵食と堆積の結果を表す。

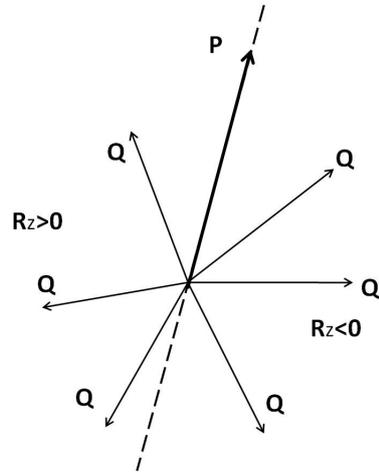


図 3.4: ベクトルの位置関係による外積符号

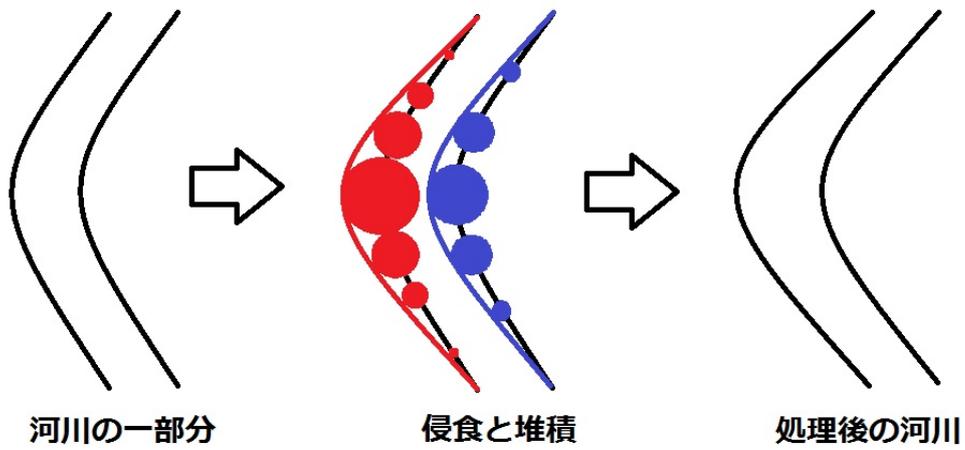


図 3.5: 侵食と堆積

第 4 章

実装

本項では実装内容について述べる。本手法を検証するために 3D グラフィックツールキットである Fine Kernel Toolkit System[20] を用いて実装した。また、本手法を用いたプログラムの手順を図 4.1 に示す。

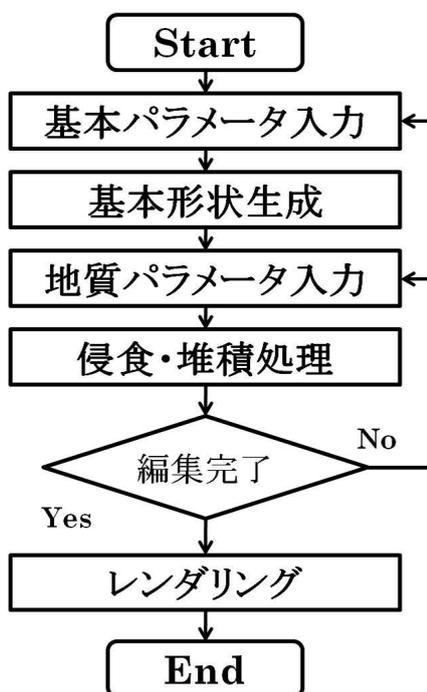


図 4.1: 処理の流れ

4.1 河川形状モデルの定義

本手法ではボクセルデータを用いて、河川形状の状態を表す。ボクセルデータは、図4.2のようにX成分に100個、Y成分に10個、Z成分に100個分用意する。

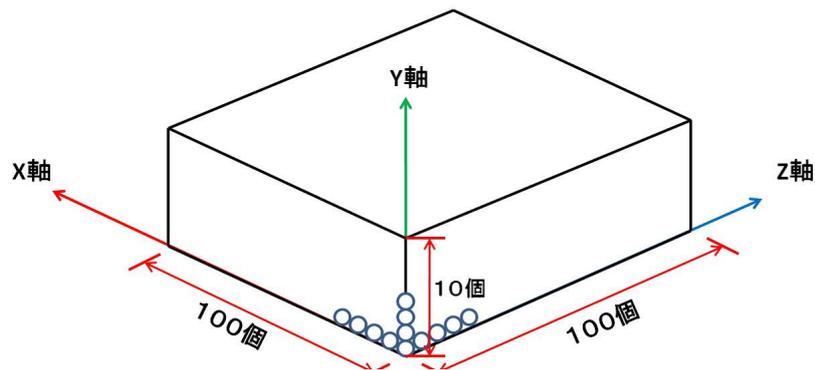


図4.2: ボクセルデータ

ボクセルデータの状態は河川内部、河川外部、侵食状態、堆積状態と定義する。ボクセルデータの状態はユーザの入力したデータにより決定する。河川の形状を決定するためにユーザが入力できるデータは次の3つである。

- ベジェ曲線による河川の基本形状
- 河川の川幅
- 河川の深さ

ユーザが入力したデータをもとに、河川内部状態の領域を決定する。川幅の値を半径とした円を曲線上で動かしたときの領域が河川内部の状態となる。曲線の座標と点群の座標は対応しているため、曲線と対応した点群の領域が河川内部の状態となる。

図4.3の実装したプログラムでは画面の右側がユーザ入力データのインターフェースを表している。上から、Bezier 曲線による河川の基本形状、河川の川幅と河川の深さのパラメータである。その他のパラメータは次項で述べる。左側のボクセルデータでは青い点が河川内部、黄色の点が河川外部の状態を表している。

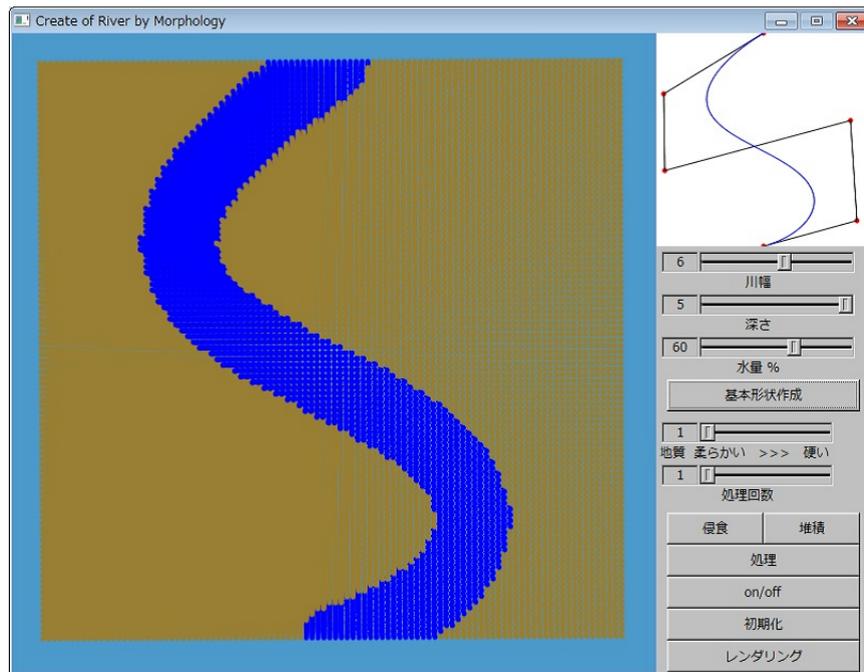


図 4.3: ボクセルデータの河川内部状態

4.2 侵食と堆積

ユーザは河川の基本形状を生成したあと、河川形状に対して侵食、堆積の処理を行うことができる。ユーザが侵食、堆積の度合いを設定するために入力できるデータは次の3つである。

- 水量
- 地質硬度
- 処理回数

水量と地質硬度と曲線から求めた曲率によって、構造要素の大きさを決定する。処理回数は一度に何回処理をするかを決定する。これは、小さな侵食や堆積を繰り返して長年かけて変形した経年変化を表す。処理回数を増やすことによって同じ大きさの構造要素でも違う結果を出すことができる。入力したデータから構造要素の大きさが決定され、侵食、堆積それぞれの領域が出る。それに伴って、割り出された領域の点群が侵食と堆積の状態となる。ユーザはその結果が望ましいものであれば処理ボタンを押すことでその領域を河川の領域とすることができる。侵食領域を表したものを図4.4に示す。図4.4における赤い点部分が侵食状態であり、水色の点部分が堆積状態である。

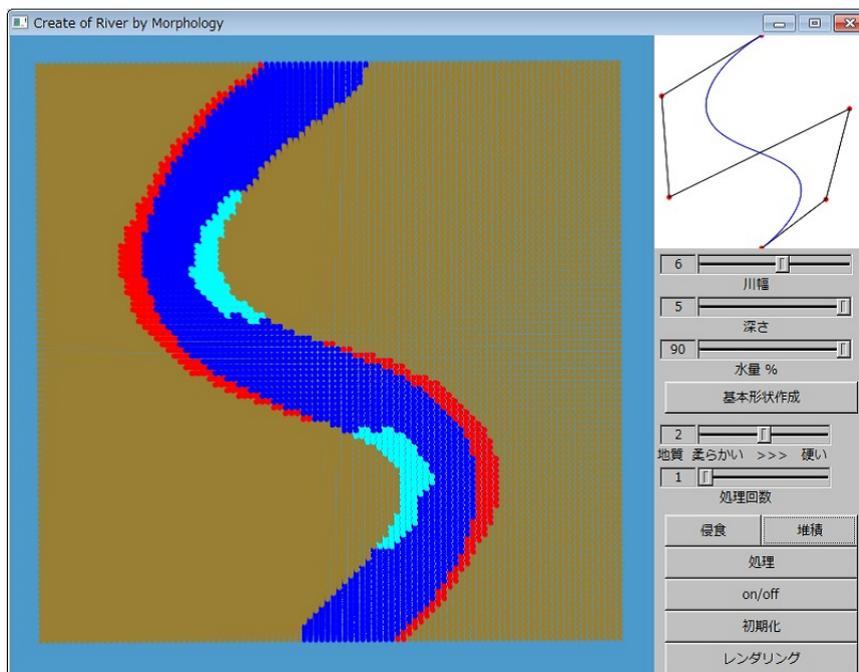


図 4.4: 侵食・堆積領域

4.3 レンダリング

ユーザは、任意の形状を生成し編集が完了した後に、レンダリングボタンを押すことでボクセルデータから河川をメッシュ化することができる。また、メッシュ

化している間は河川の編集はできないが、レンダリングボタンをもう一度押すことにより、メッシュからボクセルデータに戻して再度編集を行うことができる。図4.5はレンダリング結果を示している。

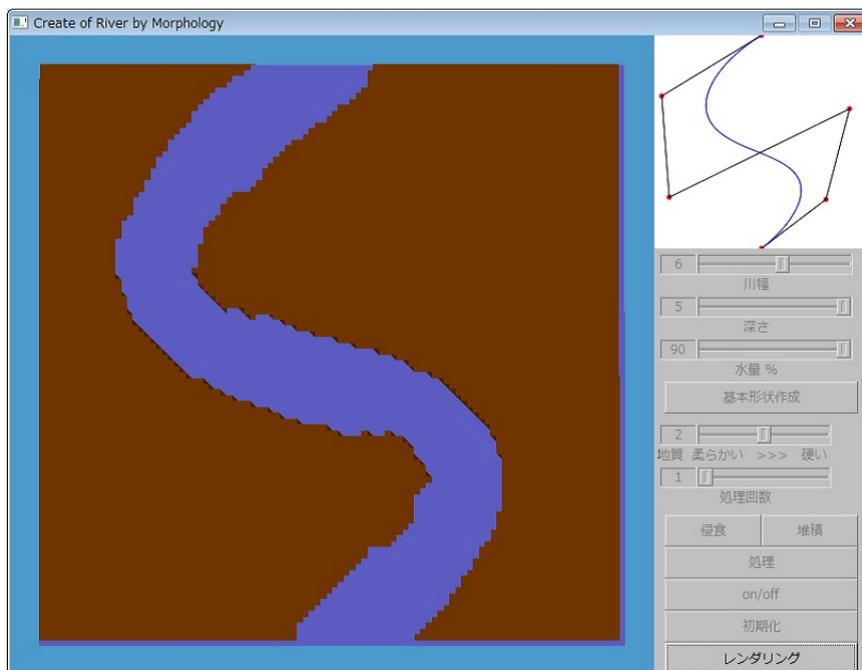


図 4.5: レンダリング結果

第 5 章

検証と考察

5.1 検証

検証では、本手法を用い河川の形状を生成する。また、形状による変形の差とパラメータによる変形の差を示すため、2通りの比較実験を行った。1つ目は、S字カーブ状の形状を用意し、形状は変更せず、パラメータを変更することでどう変形するかを比較する。2つ目に、カーブの緩いS字とカーブのきついS字の2つを用いて、形状による変形の差を比較する。最後に、様々な変形例を示す。

5.1.1 パラメータによる変形の差

パラメータによる変形の差を比較する。S字カーブ状の形状を生成し、各パラメータを変更する。川幅は6で固定とし、変更するパラメータは、深さ、水量、処理回数、地質硬度の5つである。それぞれの初期値は、深さ5、水量60、処理回数1、地質硬度1とする。

図5.1～図5.5は各パラメータをそれぞれ初期値から変更した時の処理結果の差を示す。これは、各パラメータによって河川形状がどう変形するかを表す。

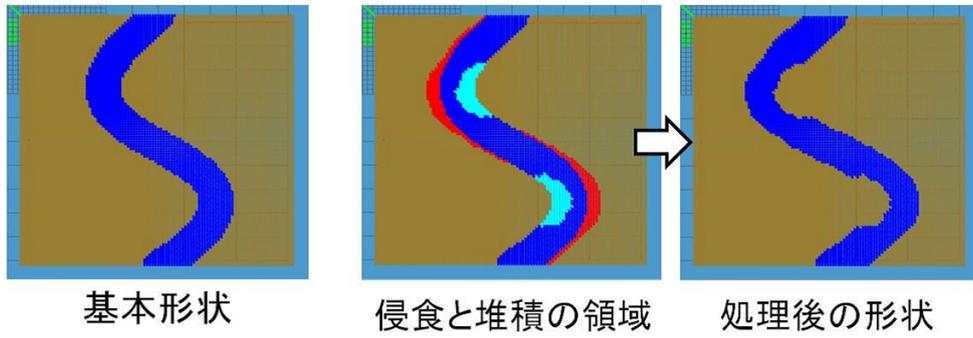


図 5.1: 基本形状と初期値による変形結果

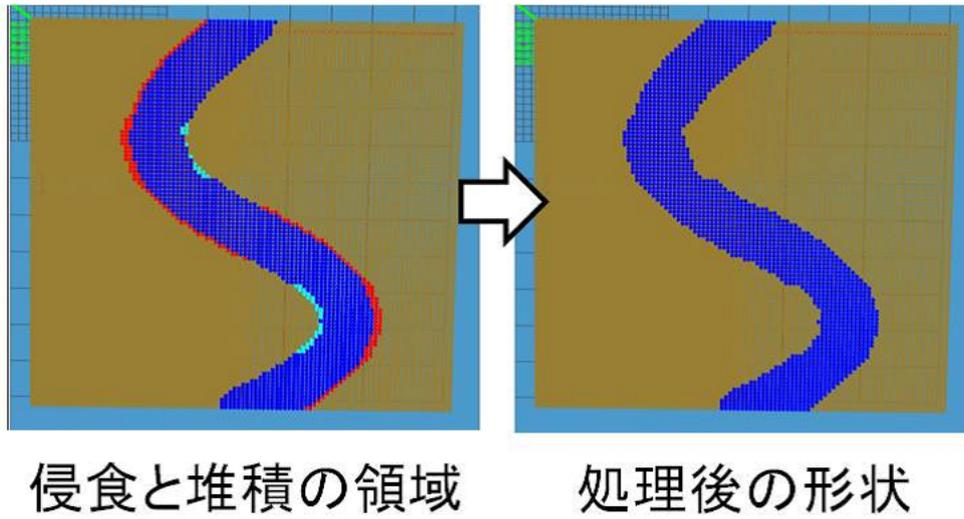


図 5.2: 深さを 3 に変更した場合の変形結果

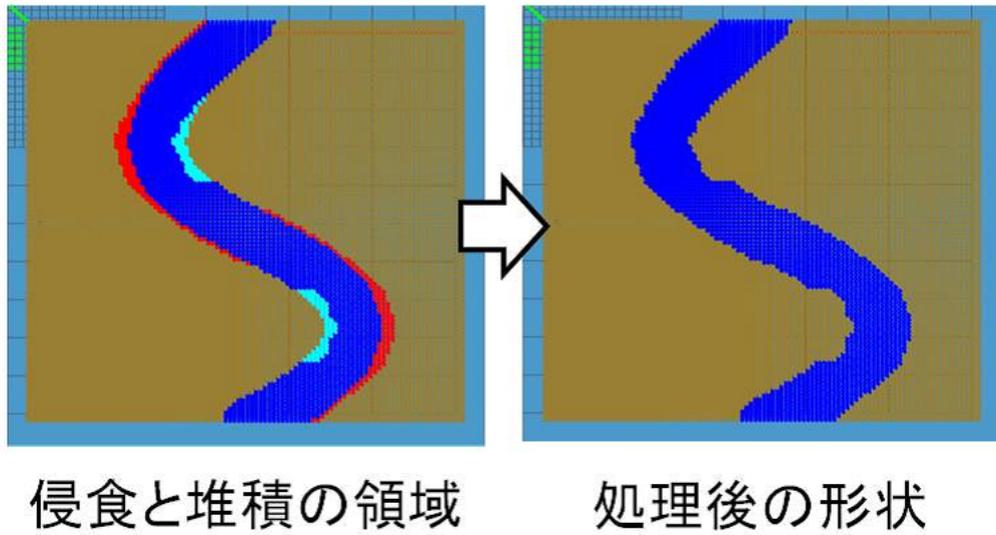


図 5.3: 水量を 60 にした場合の変形結果

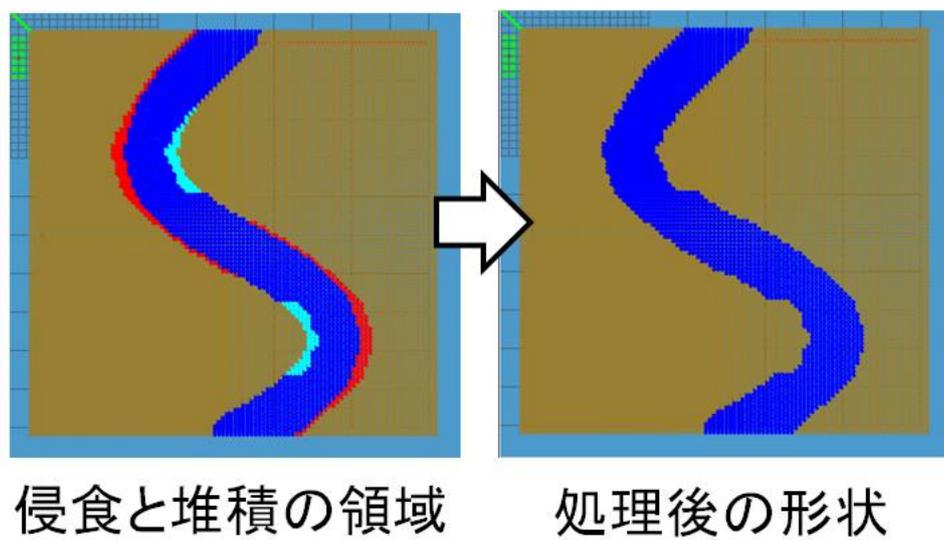
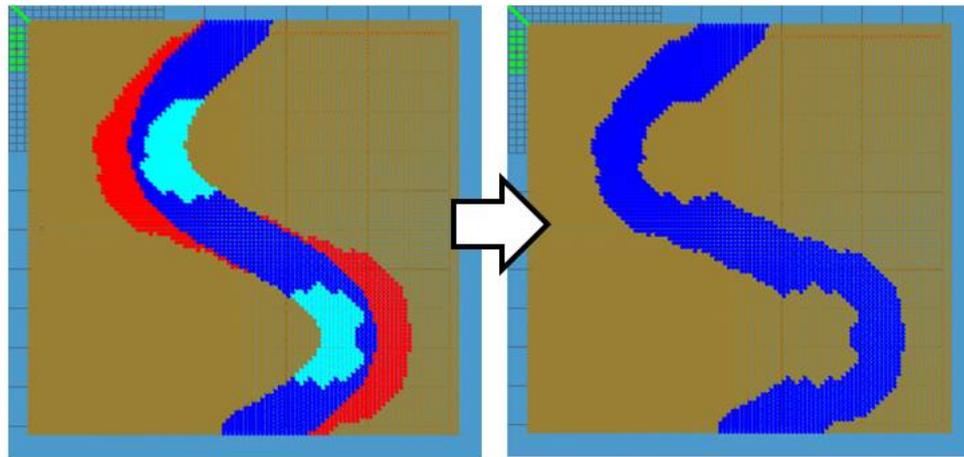


図 5.4: 地質硬度を 3 にした場合の変形結果



侵食と堆積の領域

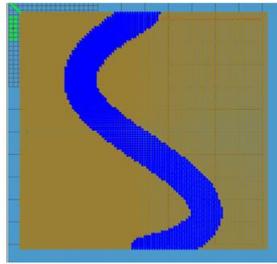
処理後の形状

図 5.5: 処理回数を 5 にした場合の変形結果

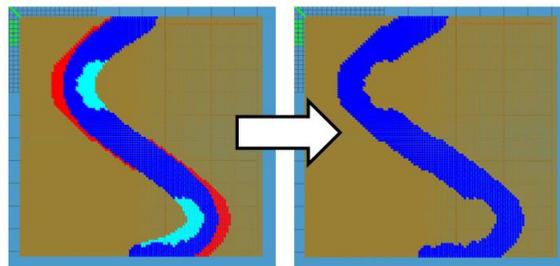
5.1.2 形状による変形の差

形状による変形の差を検証する。河川の形状は、カーブの緩い S 字とカーブのきつい S 字の 2 つを用いる。この 2 つの基本形状に同様のパラメータを与え、形状を生成し、形状による変形の差を比較する。

図 5.6 図 5.7 は形状による河川形状の変形の差を示す。



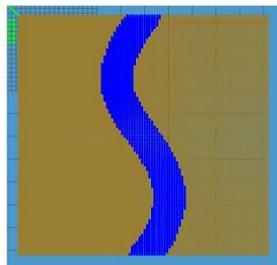
基本形状



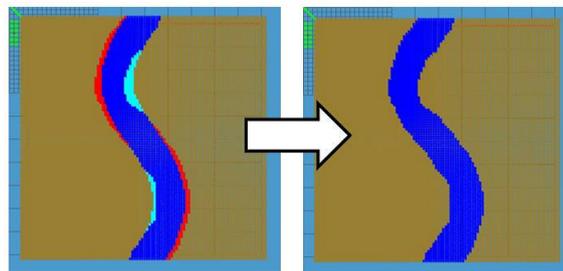
侵食と堆積の領域

処理後の形状

図 5.6: 急な S 字カーブの場合



基本形状



侵食と堆積の領域

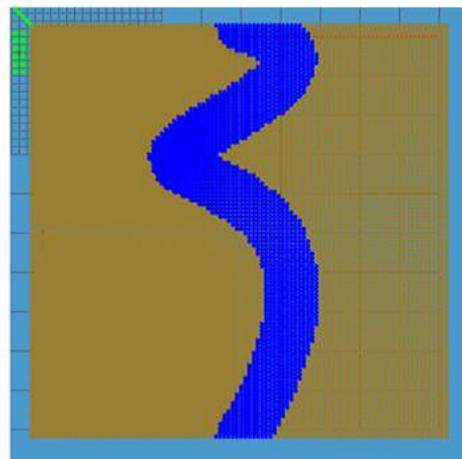
処理後の形状

図 5.7: 緩い S 字カーブの場合

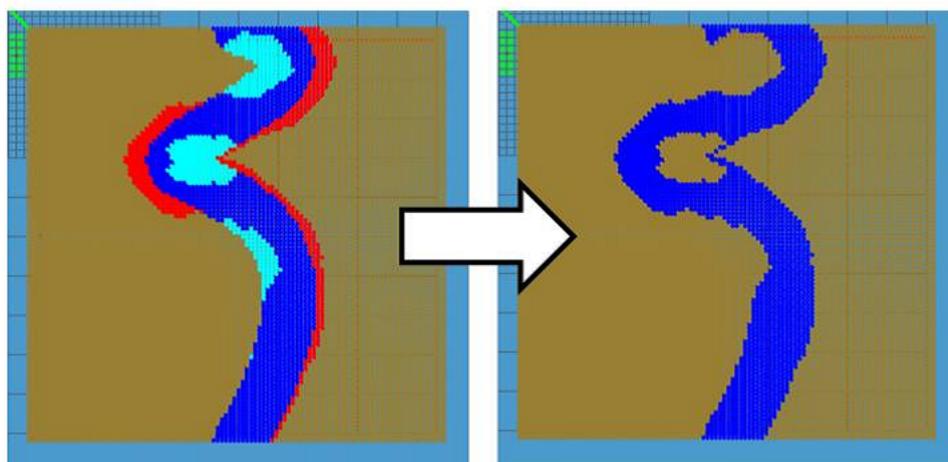
5.1.3 様々な変形の例

本研究では、ユーザの入力データに自由な曲線を用いている。そのため、S字以外の形も入力することができる。本項では、様々な曲線を用いた変形の例を検証する。

図5.8は蛇型の場合である。処理結果を見てみると大きく曲がっている。さらに一直線上につながる直前である。



基本形状

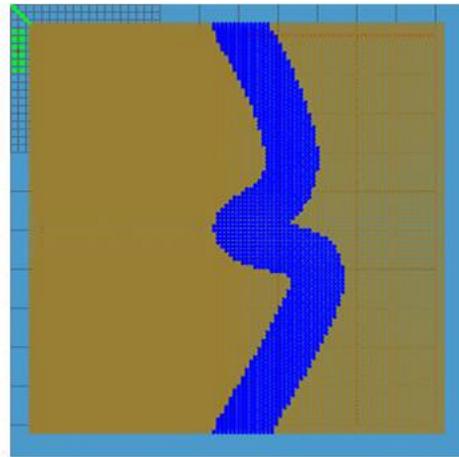


侵食と堆積の領域

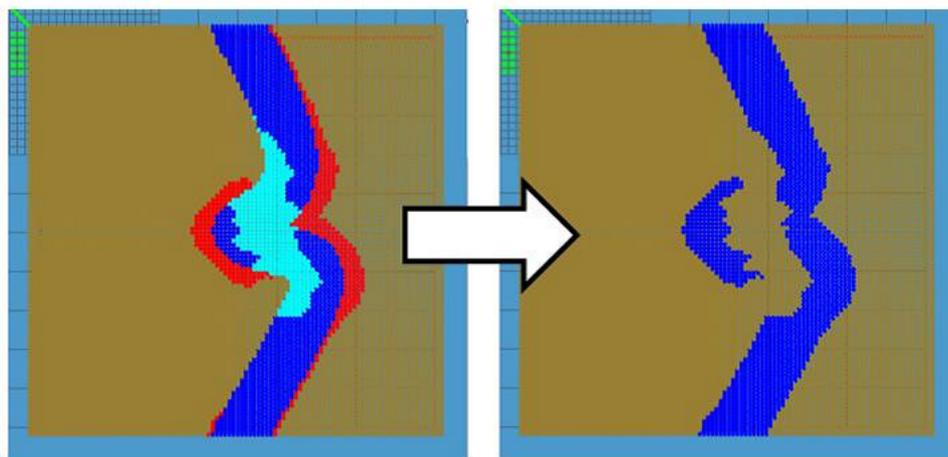
処理後の形状

図5.8: 蛇型の場合

図 5.9 は図 5.8 の曲線の角度を強くしたものである。処理結果から、河川の特徴的
形状である三日月湖が確認できる。



基本形状

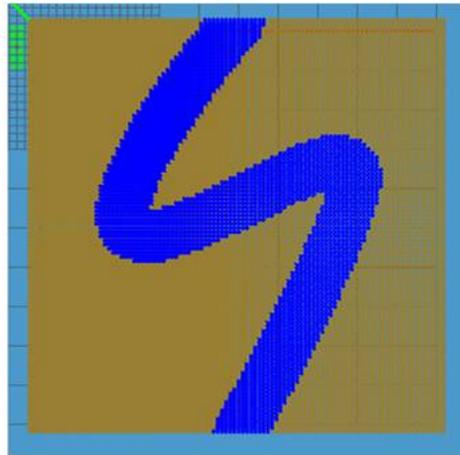


侵食と堆積の領域

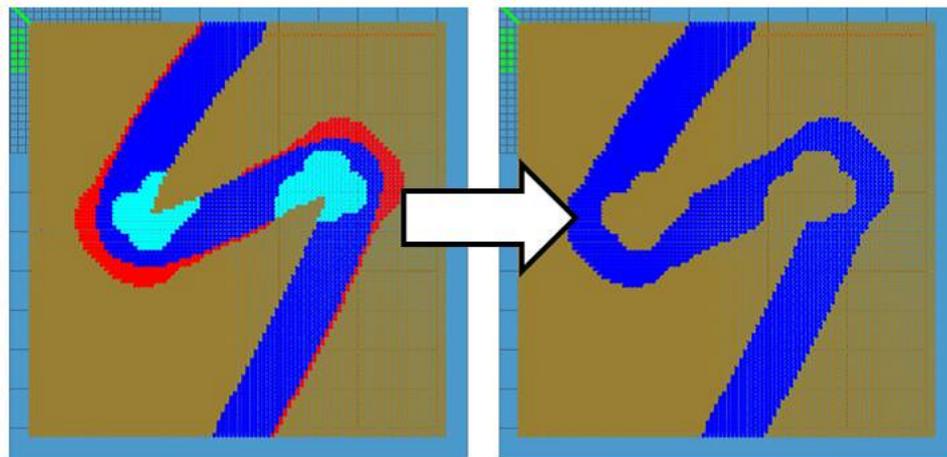
処理後の形状

図 5.9: さらに角度を急にした場合

図 5.10 は N 字型のものである。実際には、河川が N 字型になるようなことはあ
まりない。しかし、本システムではデザイナーが N 字型を入力することで河川形
状を形成することができる。



基本形状



侵食と堆積の領域

処理後の形状

図 5.10: N 字型の場合

以上により、様々な形状の河川形状が形成できると判断できる。また、複雑な曲線や角度が急になりすぎたものに関しては処理結果がうまく出ないことがわかった。

5.2 アンケートによる検証

本システムを評価するために、実験参加者に本システムを使用して河川を作成してもらい、アンケートによりその有用性を検証した。アンケートは男女合計 20

人に行った。アンケートの内容は、まず、自由な形状を作成してもらい、作成にかかった時間と、次の4つの項目について評価を取って検証した。

- 自由な形状は生成できたか
- 侵食と堆積の表現はできていたか
- 曲線による編集はしやすかったか
- パラメータによる編集はしやすかったか

また、3Dモデリングの経験の有無を聞き、経験者に対しては、本研究と手作業による3Dモデリングソフトとを次の2つの項目によって比較した。20名のうち経験者は11名だった。

- 手作業による3Dモデリングと比較しての作業効率はどうか
- 手作業による3Dモデリングと比較して河川の作りやすさはどうか

それぞれの評価は、5段階評価で行った。

自由な形状は生成できたか？					平均値	
できなかった					できた	3.65
1	2	3	4	5		
0人	2人	7人	7人	4人		
侵食と堆積の表現はうまくできたか？					平均値	
できなかった					できた	3.7
1	2	3	4	5		
1人	2人	3人	10人	4人		
曲線による編集はしやすかったか？					平均値	
しにくかった					しやすかった	3.6
1	2	3	4	5		
1人	3人	3人	9人	4人		
パラメータによる編集はしやすかったか？					平均値	
しにくかった					しやすかった	3.8
1	2	3	4	5		
0人	2人	3人	12人	3人		
既存の3Dモデリングソフトと比べて作業効率はどうか？					平均値	
悪い					良い	4.1
1	2	3	4	5		
0人	1人	1人	4人	5人		
既存の3Dモデリングソフトと比べて河川の作りやすさはどうか？					平均値	
悪い					良い	4.09
1	2	3	4	5		
0人	0人	2人	6人	3人		

図 5.11: アンケート結果

アンケート結果を図 5.11 で示す。結果から、どの項目でも平均値が 4 に近いことが言える。特に既存の 3D モデリングソフトと比較して作業効率はどうかと河川の作りやすさはどうかの項目では、平均 4 の評価がでている。また、ひとつの形状を平均 4 分で作ることができたという結果がでた。このことから、本システムの有用性が高いことがわかる。

5.3 考察

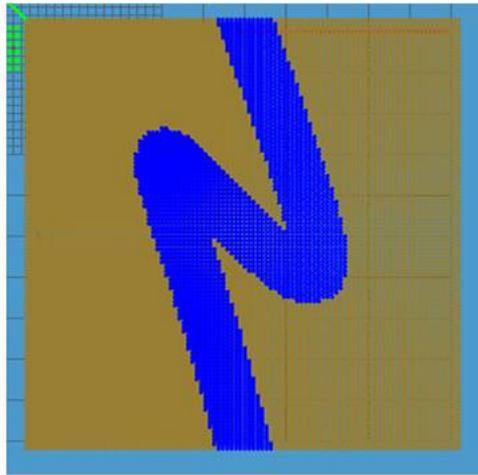
検証結果から、本提案手法を用いれば、侵食や堆積の特徴をもった形状の変形を誰でも簡単に行うことができたと言える。本研究の提案手法を用いることで、河川の 3 要素を考慮した河川形状を容易に形成することができた。また、既存の 3

Dソフトよりも河川の形状を形成する上では有用性が高いことがアンケート結果より分かった。

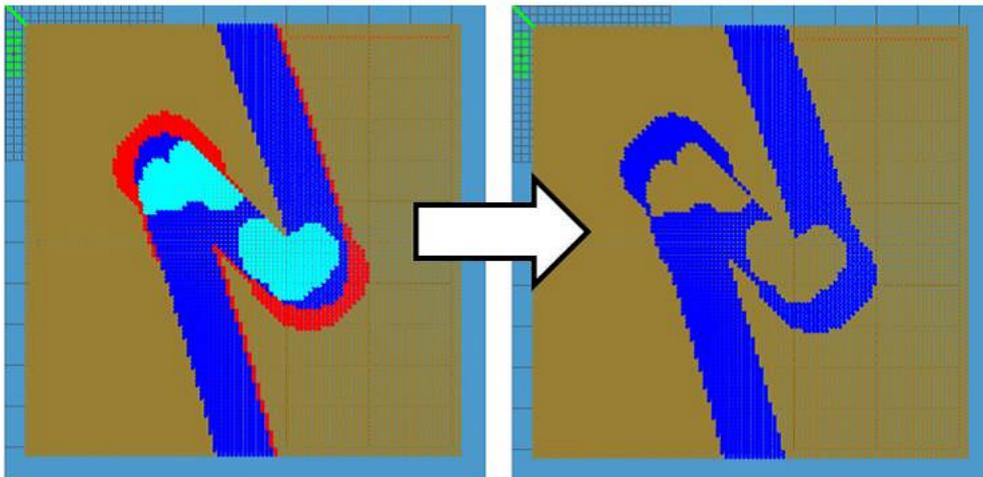
提案手法を用いれば、デザイナーは任意の形状と各パラメータを入力するだけで、簡単に河川形状を生成することができる。侵食や堆積の度合いは、河川の基本形状や、各パラメータを変更することで簡易に調整することができた。モルフォロジー演算を用い、河川の3要素を表現することで計算時間を大幅に短縮した。以上のことから侵食などによる経年の変化を反映し、自由な形状から河川形状を編集、調整しやすくするという目的を達成したと判断する。

しかし、曲線が複雑化してしまうと領域がうまくとれずに正しい変形結果を出すことができなくなるという問題が残った。

図5.12はその一例である。この形ではうまく処理結果がでないことがわかった。



基本形状



侵食と堆積の領域

処理後の形状

図5.12: うまく変形できなかった場合

第 6 章

まとめ

本研究では、複雑な形状をもった河川を簡易に生成するモデリングシステムを提案した。また、3次元モデリングの補助として用いるために、デザイナーが編集や調整を簡易に行うことを目的とした。河川の3要素を疑似的に再現するためにモルフォロジー演算を用いた。これによって計算時間の大幅な短縮が見込めた。本手法を用いれば、デザイナーはパラメータ入力によって簡易的に任意の形状を生成できる。

本研究では、川底についての考慮をしていないために堆積を行った時の形状に違和感が出ることもある。これを解決するには、侵食や堆積が起こる時の川底の変形を考慮する必要がある。また、用途に応じてボクセルデータや曲線を拡張することでより複雑な形状を形成することができる。

最後に本研究がゲームなどのコンテンツを制作する人々の制作支援につながることを願いつつ本論文の締めくくりとする。

謝辞

学部生の皆様、松尾先輩、武田先輩、石塚先輩、瀬田先輩、阿部先輩、平野先輩、竹内さん、渡辺先生、三上先生、すべてのこの研究にかかわった人達に感謝しています。ありがとうございました。

参考文献

- [1] 泉典洋. 河道網の形成. *ながれ*, Vol. 24, pp. 5–14, 2005.
- [2] 河村哲也. 河川のシミュレーション. 山海堂, 2004.
- [3] Autodesk Inc. *Autodesk Maya*. <http://www.autodek.co.jp>.
- [4] 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*, Vol. vol.100, pp. 103–110, 2001.
- [5] Nayuko Watanabe, Takeo Igarasi. A sketching interface for terrain modeling. *SIGGRAPH*, Vol. poster, , 2004.
- [6] 河村哲也. 流れのシミュレーションの基礎. 山海堂, 2002.
- [7] 小学館. 大辞泉. 1995.
- [8] 渡邊明英, 西村達也. 河川流に関する数値解析の現状と課題. *河川技術論文集*, Vol. 6, pp. 25–30, 2000.
- [9] 科学技術振興機構. 流れる水のはたらきと土地の変化の関係. 科学技術振興機構, <http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0220d/start.html>.
- [10] 末次忠司. 河川の科学. ナツメ社, 2005.
- [11] 指宿晃典. 汎用地形データを利用した河川付近地形のcg表現. pp. 1–12, 2001,8.

- [12] 横山洋, 渡邊康玄, 鈴木優一. 分岐・合流流れを有する河川における河床変動計算に関する研究. 北海道開発土木研究所月報 615号, pp. 2-9, 2004,8.
- [13] 伊藤泰明, 堀田健太朗, 土屋孝之, 山口耕世. Cgによる河川形成のビジュアルシミュレーションに関する研究. pp. 1-4.
- [14] 戸沼葉弓, 赤木康宏, 北嶋克寛. 侵食を考慮した河川形状の生成シミュレーション. 情報処理学会 研究報告, pp. 115-120, 2008,2.
- [15] 青木悦子, 藤代一成. Mathematical morphologyに基づく氷解現象のビジュアルシミュレーション. 情報処理学会 全国大会, p. 2, 1999.
- [16] 手島裕詞, 中進美孝, 金谷孝之, 西尾孝治, 小堀研一. モルフォロジー演算を用いた融雪アニメーションに関する一手法. p. 10.
- [17] 原健二, 查紅彬, 長谷川勉. 3次元モルフォロジーに基づく曲面の形状進化を用いた位相適応型物体モデリング. 信学論 (D-2), Vol. J84-D-2, pp. 778-788, 2001.
- [18] 滝沢穂高, 山本眞司. 胸部x線 ct画像からの肺がん陰影の自動検出. コンピュータ支援画像診断学会論文誌, Vol. vol.5, pp. 24-27, 2001.
- [19] 藤本秀行, 顧力翔, 金子豊久. 3次元モルフォロジー法による腹部臓器の認識. 電子情報通信学会論文誌, Vol. J84-D-2, pp. 843-850, 2001.
- [20] 渡辺大地. *FK System Ver.2.8.9*. <http://fktoolkit.sourceforge.jp/>.