

I-4 GIS上の水路中心線からの3次元水路モデルの自動生成

Automatic Generation of 3-D Water Way Model from Center Line of Water Way on GIS

杉原健一¹・林良嗣²

Sugihara Kenichi, Hayashi Yoshitugu

抄録：「都市再生」のために、潤いのある生活や地域の文化を育む場として「水と緑」を中心とする多様な自然環境や水辺空間が都市の構成要素として重要である。まちづくりで、水路を生態回廊として復元するための多自然型工法、あるいは、環境護岸のための修景緑化の案を考えるとき、これらの案を具体化・可視化する3次元モデルは、案を理解・検討するときに有効である。しかし、「水と緑」の案を3次元モデリングするのに、多大な時間と労力をかけている。現状では、水路や堤防をモデリングするために、例えば、3次元CGソフトを用いて、等高線をインポートし、それを地表オブジェクトとし、編集可能メッシュに変換して、地形の一部を切り取り、堤防面、護岸面を作成するという膨大な手作業が必要である。そこで、本研究では、水路の3次元モデルを効率的に作成するために、GIS上の水路中心線から水路や堤防の3次元モデルを自動的に制作するツールの研究、システムの開発を目指した。

Abstract: Based on features on digital map, such as building contour and road polyline, we are proposing the system to generate 3-D Urban Model automatically. In this paper we propose the automatic generation system to produce 3-D water way model from a center line of water way stored and controlled by GIS. The water way that restores native habitat and its natural meander plays a important role for the revitalization of a city. The water way improvements project aims to provide stable, maintainable flood control while environmentally restoring sections of water way to their natural meanders and adding amenities and recreational opportunities along the water way. In these projects, 3-D water way model will serve as planned or proposed common image among citizen, neighborhood, designers and officials. However, in order to realize 3-D water way model, enormous time and labor have to be consumed to design bank, shore, vegetation and topographical features. In our research, we aim at creating 3-D water way model, automatically by integrating GIS and CG.

キーワード： 3次元都市モデル, 自動生成, 水路中心線, CG, GIS, 3次元水路モデル

Keywords : 3-D Urban Model, Automatic Generation, Center Line of water way, CG(Computer Graphics), GIS(Geographic Information System), 3-D Water Way Model

1. はじめに

航空機や人工衛星にカメラやレーザー機器などを載せて、地上の建物や木々や山などの形状、色などの情報をコンピュータに取り込み、都市の3次元モデルを作って、それを活用しようという研究がさかんである¹⁾。身近になりつつある都市の3次元モデルとしては、カーナビの3次元表示などがある。欧米では、もっと活用がさかんで、アメリカの主要な都市の3次元モデルは既にできていて、その不動産情報や携帯電話の電波が通るかどうかを確かめるために使われている²⁾。しかし、都市の3次元モデルの利用方法は、それだけにとどまらず、都市計画、まちづくり、建築、景観評価、防災等のアカデミックな分野から公共事業の情報公開、まちづくりへの住民参加の場、観光案内、企業の広告、営業活動の場としてまで活用が期待される重要な「情報インフラ」である。例えば、住民参加型まちづくりでは、「3次元都市モデル」を提示するワークショップ等を開催し、住民、地権者、行政、デザイナーなどの専門

家が目標とする街の3次元イメージを共有し、改善案や代替案を検討して、よりよいまちづくりにつなげている。

情報基盤となりつつある「3次元都市モデル」の中で、水路や河川、湖沼、海岸などの水辺空間の占める割合は大きい。この水辺空間に対する従来の整備は、主に治水機能を充足させ、安全な河川づくり、海岸づくりを主眼にしたものであった。強固なことが第1条件で、ブロック張りやコンクリート張り、コンクリート擁壁などを推し進めてきた³⁾。しかし、昨今では、コンクリート護岸に対する見直しから、水辺空間のあり方を考え直し、まちづくりや環境デザインにおいて、河川や水路、湖沼、海岸などの水辺空間に着目し、水辺環境のあり方を考え直し、にぎわいと自然を復元しようとする試みがなされている。これは、コンクリートジャングルと化した都市のなかに、潤いややすらぎ、親しみのある水辺空間を取り戻そうという人々の願いがある。過去、水辺空間、特に河川は、自然界において、生態回廊(コリドー)として、重要な役割を果たしてきた。それが都

1 : 正会員 工博 岐阜経済大学 教授 経営情報学科

(〒503-8550 岐阜県大垣市北方町5丁目50番, Tel :0584-77-3511, E-mail : sugihara@gifu-keizai.ac.jp)

2 : 正会員 工博 名古屋大学大学院 環境学研究科 都市環境学専攻

(〒464-8603 名古屋市千種区不老町, Tel :052-789-2772, E-mail : yhayashi@genv.nagoya-u.ac.jp)

市化の流れの中で、洪水から人々の生活を守る治水事業のために、コンクリート護岸が行われ、河川の自然が破壊され続けた。しかし、現在では、こうした自然を破壊する治水一辺倒の河川工事の反省から、多自然型の河川整備に変更された。この多自然型工法の整備により、全国の河川景観が大きく様変わりしている。多自然型工法は、この寸断された河川に自然を復元し、「水と緑のネットワーク」をとりもどすための工法といえる。水辺空間は、自然を取り戻し、うるおいのある場にすると同時に、市民のコミュニティ空間として、再生される必要もある。この場合、必ずしも多自然型工法である必要はなく、地域の実情にあわせた整備方針が望ましいとされる⁴⁾。例えば、千葉県浦安市境川のケースでは、都市型の河川整備例として、あえて多自然型工法を採用せず、「戸外のリビングルーム」として機能するようデザインされた。境川周辺は、古い漁師町の面影を残す密集地域で、防災上も早急なまちづくりが望ましい地域である。こうした都市型の河川空間には、植物を繁茂させるより、コミュニティ的な要素が求められ、住民が気楽に集えるオープンスペースとしての役割も重要だとされる。

このように河川整備において、多自然型工法による整備やオープンスペースとしての整備などの色々な整備案が考えられる。こうした整備案は、通常、平面図、立面図、断面図で表現されていて、専門家でない人には出来上がりのイメージを描きにくいことになっている。そこで、整備案を、一般の人々にも分かりやすい3次元モデルを制作することが求められている。しかし、整備案を3次元モデリングするのに、多大な時間と労力をかけている。現状では、整備案となる水路や堤防をモデリングするために、例えば、CADで等高線図を描き、その等高線図を、3次元CGソフトで、インポートし、それを地表(Terrain)オブジェクトとする。それから、それを編集可能メッシュに変換して、地形の一部を切り取り、堤防面、護岸面を作成するという膨大な手作業が必

要である。本研究では、水路や堤防の3次元モデルを効率的に作成するために、GIS上の水路中心線に基づいて、水路や堤防の3次元モデルを自動的に制作するツールの研究、システムの開発を目指した。

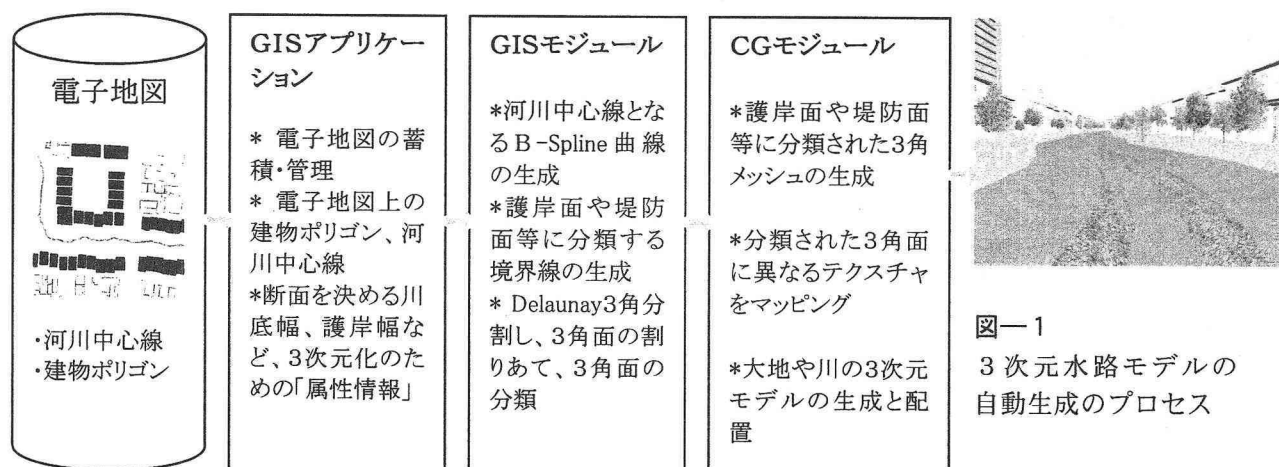
2. 3次元水路モデル自動生成の流れ

本研究における3次元水路モデルの自動生成のプロセスを図1に示す。3次元モデルの元になるものは、電子地図上の「河川や水路の中心線」である。電子地図はGISアプリケーションによって、蓄積・管理される。本システムの生成プロセスは、GISアプリケーションにて水路中心線を描き、GISモジュール(あるまとまった機能を果たすプログラムの集まり)で前処理を行い、そして、最終的に3次元CGソフトを駆動するCGモジュールで3次元モデルを自動生成する。本システムは、GISとCGの両方を活用して、モデリングする「統合化システム」といえる。各モジュールの詳細を以下に記す。

①GISアプリケーション(汎用GISソフト)；2次元空間データを蓄積・管理・表示する業界標準の2次元GISソフトである ArcView(エスリ社)。空間データの表現と検索のためのインタラクティブなインターフェイスとして機能する。

②GISモジュール；エスリ社のGIS開発用ソフトウェアコンポーネントである MapObjects を使って、Visual Basic でソフトウェア開発を行った。汎用GISが管理する電子地図上の水路中心線情報を加工し、CGモジュールへ渡すデータの前処理(プリプロセッシング)を行う。

③CGモジュール；3次元CGソフト(オートデスク社、3D Studio VIZ)をコントロールするスクリプト言語を用いて、ソフトウェア開発を行った。CGモジュールはGISモジュールからの前処理データに基づいて、水路の3次元形状のモデリングを行い、護岸や堤防の3次元モデルに写真のイメージなどを自動的にマッピングする。



図一 1
3次元水路モデルの自動生成のプロセス

統合化システムは、システムが単独で使われるよりも、「3次元都市モデル」を、容易で洗練された方法で、制作、利活用できる。個々のシステムでは不可能なことが、統合化することで、可能となり、有効に個々のシステムの能力を引き出し、より有用な「都市シミュレーションシステム」を構築することができる⁵⁾。政策立案である線引きされた難解な2次元の計画図をみて、出来上がる街の3次元イメージを思い浮かべるといふ「伝統的な方法」と比べて、「3次元都市モデル」を通して、素早く代替案の検討を行うことが出来る。

3. GISモジュールでのプロセス

GISモジュールは、エスリ社のGISアプリケーション開発用のソフトウェア部品であるMapObjectsを使い、Visual Basic 6.0を用いて、ソフト開発を行った。GISは、データベースでもあり、地図上の建物や河川といった地物に対して、建物の階数や川底幅などの「属性情報」を関連付け、属性データを持たせることができる。ここで河川や水路を3次元化するための属性情報として、「川底幅」、「護岸面1幅」、「護岸面2幅」、「堤防面1幅」などのフィールドを持たせた。これらには長さ情報を入力し、図-3、図-4で示す水路の断面図の各長さを決める。上から見た水路の平面図を図-2で示す。

ここで、GISモジュールでの生成前処理は次の順に行われる。

- (1) 水路や河川の中心線ポリラインの点群を制御点とするB-Spline曲線を生成し、新たな河川や水路の中心線とする。
- (2) 中心線B-Spline曲線に沿って、川底面や護岸斜面、護岸面、堤防斜面、堤防面などの境となる境界線(点群)を生成する。これらの境界線点群には、深さ、高さデータを与える。例えば、川底面境界線に対して-2m、堤防面に対して1m。
- (3) 生成された点群に対して、Delaunay 3角分割し、3角面を割り当てる。T I N (Triangulated Irregular Network)の割り当てを行う。
- (4) 各境界線に対して、生成された3角面の内外判定を行い、CGモジュールで異なるテクスチャをマッピングするため3角面を分類する。

上記の生成前処理を以下に説明する。GISモジュールは、電子地図上の水路中心線(ポリライン)に対して、その頂点群を制御点とするなだらかな曲線であるB-Spline曲線を生成する。B-Spline曲線は、制御点列が与えられたとき、制御点の影響が曲線全体に及ばさないようすることができる。以下の2次のB-Spline

関数を用いて、B-Spline曲線を生成した。

$$N^2(t) = \begin{cases} -t^2 + 3/4 & (0 < t < 1/2) \\ (4t^2 - 12t + 9)/8 & (1/2 < t < 3/2) \\ 0 & (3/2 < t) \end{cases}$$

但し、この式では、B-Spline関数は偶関数なので、tを0以上の範囲とした。次に、GISモジュールは、水路中心線の頂点群を制御点とするこの2次のB-Spline曲線である「新たな水路中心線」に沿って、川底面、護岸斜面、護岸面、堤防斜面、堤防平面などを形成するための高さデータの与えられた点群を生成する。この様子を図-2で示す。水路中心線(B-Spline曲線)を構成し、連続する2頂点(点iと点i+1)を両端とする直線に対して、この直線に直交し、点iから「指定された距離」だけ離れた点の位置を算出して、川底面、護岸斜面などの点群を生成する。「指定された距離」は、GIS上の水路中心線の「属性情報」として蓄積されている「川底幅」、「護岸面1幅」、「護岸面2幅」、「堤防面1幅」などを用いて、算出する。

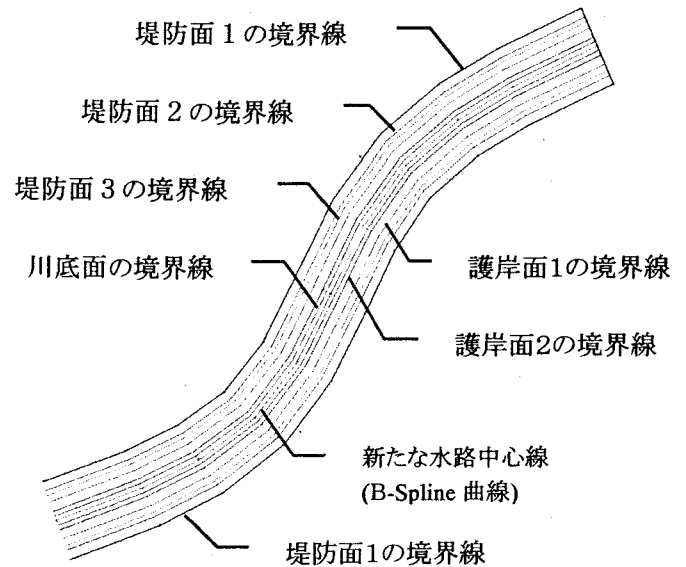
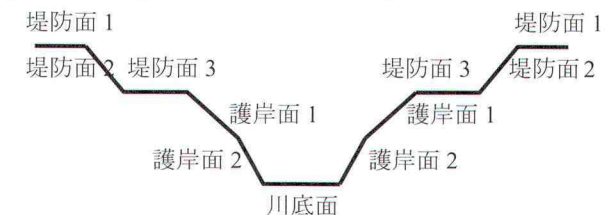


図-2 水路中心線に沿っての各境界線

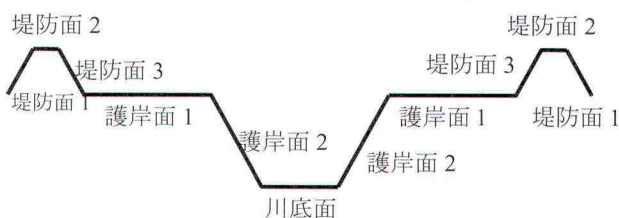
また、CGモジュールで、川底面、護岸面と堤防面とで異なるオブジェクトとして、異なるイメージをテクスチャマッピングするために、川底面、護岸面を囲む境界線と中心線に対して左右に存在する堤防面を囲む境界線を生成する。この(1)(2)の前処理で、川底面、護岸面、堤防斜面などを形成する高さデータの与えられた点群が生成される。この「高さデータ」と「指定された距離」から河川や水路の断面図が決定される。例えば、図-3の断面図は、川底面の幅は2m、高さは-1m、護岸面2の幅は0.5m、上端の高さは-0.6m、護岸面

1の幅は0.5m、上端の高さは-0.4m、堤防面3の幅は2m、高さは-0.4m、堤防面2の幅は0.5m、上端の高さは0m、堤防面1の幅は1m、高さは0mとした。これらの値は、河川や水路の中心線ポリラインに関連付けられた属性情報で設定できる。この断面図から、その下にあるような水路の3次元モデルが生成される。



図—3 設定された断面図と生成された3次元水路モデル

属性情報の値を変えることで、様々な断面を持つ河川や水路を生成することができる。図—4の断面図は、川底面の幅は2m、高さは-1m、護岸面2の幅は0.5m、上端の高さは-0.6m、護岸面1の幅は2.5m、高さは-0.6m、堤防面3の幅は0.5m、上端の高さは0.3m、堤防面2の幅は0.5m、高さは0.3m、堤防面1の幅は0.5m、下端の高さは0mとした。



図—4 別の断面図から生成された3次元水路モデル

次に、GISモジュールは、堤防や護岸等の水路の形状を近似する自由曲面を生成するために、高さデータの与えられた、堤防や護岸等を構成する点群に対して、3角面を割り当てる。通常、3角形は、その最小の角度を最大にするドローネ(Delaunay)3角分割を行い、TIN(Triangulated Irregular Network)を生成する。ドローネ3角形分割のアルゴリズムは明らかにされ^{6),7),8)}、点群に対してTINを生成し、自由曲面に対し3角面を割り当て、曲面を作成する機能を有する3次元CGソフトは存在する。しかし、その機能は、曲面のモデリングにおいて使用される機能で、点群をインポートし、TINを生成するという独立した機能ではない。また、そのソースコードは公開されていない。本研究では、開発するシステムで一体的に水路や堤防の3次元モデルのなだらかな自由曲面を生成することを目指し、TINを生成するソースコードの開発を行った。

アルゴリズムは、通常、ランダムな順序で点群の点を加えていき、毎回現在の点集合のドローネ3角形分割を管理する確率的逐次添加法をとる^{6),7),8)}。このアルゴリズムによると、無作為に頂点(点Pr)をドローネ3角形分割された点群に加える。まず、現在の3角形分割された3角形群の中で、どの3角形の中に点Prが含まれるかを調べる。点Prからこの3角形の頂点への辺を引き、新たな3個の3角形が作られる。これらの新たに出来上がった3角形はドローネ3角形分割されているとはいえない。点Prを加えたことによって、ある辺が正当でない辺(ドローネ3角形分割されていない辺)になってしまうことがあるからである。そこで、3角形の外接円の中に他の頂点が含まれているかを調べ、その辺が正当であるかを調べる手続きLegalizeEdgeが呼び出される。この手続きでは、正当でない辺を正当な辺で置き換える(ドローネフリップ)。アルゴリズムのメインルーティン及びLegalizeEdgeは以下のように記述されている。

アルゴリズム Delaunay_Triangulation(P)

入力：平面上のn個の点の集合P。

出力：集合Pのドローネ3角形分割T。

- 1) 集合Pが3角形 $p_1p_2p_3$ に含まれるように点 p_1 、 p_2 、 p_3 を選ぶ。
- 2) 3角形 $p_1p_2p_3$ から成り立つ3角形分割として、Tを初期化する。
- 3) For $r = 1$ to n // nは頂点数
- 4) Do(点PrをTに挿入する)
- 5) 点Prを含む3角形 $p_i p_j p_k$ を求める。
- 6) 点Prと3頂点 p_i 、 p_j 、 p_k を辺で結び、新たな3つの3角形 $(p_i p_j p_k, p_i p_r p_k, p_i p_j p_r)$ に分割する。

- 7) LegalizeEdge(点 Pr, 辺 $p_i p_j$)
- 8) LegalizeEdge(点 Pr, 辺 $p_i p_k$)
- 9) LegalizeEdge(点 Pr, 辺 $p_k p_i$)
- 10) 点 p_{-1} 、 p_{-2} 、 p_{-3} と、これらに接続する辺をすべて T から削除する。

但し、ここで、縮退したケースである「点 Pr が 3 三角形 $p_i p_j p_k$ の辺上にある」場合を省略した。倍精度浮動小数点数の計算では、ほとんど起こり得ないケースである。

アルゴリズム LegalizeEdge(点 Pr, 辺 $p_i p_j$)

挿入した点が Pr で、辺 $p_i p_j$ は正当でなく、フリップする可能性のある辺とする。

- 1) If 辺 $p_i p_j$ が正当でない
- 2) then // 3 三角形 $p_i p_j p_i$ を辺 $p_i p_j$ で 3 三角形 $p_i p_j p_k$ に隣接する 3 三角形とする。
- 3) 辺 $p_i p_j$ を辺 $p_i p_i$ で置き換える (辺 $p_i p_j$ をフリップする)。
- 4) LegalizeEdge(点 Pr, 辺 $p_i p_i$)
- 5) LegalizeEdge(点 Pr, 辺 $p_i p_j$)

このようにドローネ 3 三角形分割を行うアルゴリズムは明らかにされているが、実際にドローネ 3 三角形分割の処理をできるプログラムを開発するには、次にあげることが不明である。

- (1) 3 三角形の頂点は、どの頂点であるかを特定するために番号付ける必要があるが、どのように番号付けを行い、どうしたら各頂点の番号を知りうるのか。
- (2) LegalizeEdge で、ある 3 三角形に隣接する 3 三角形のある 3 三角形と共有しない頂点が、ある 3 三角形の外接円の内部にあるかを調べるが、ある 3 三角形に隣接する 3 三角形をどのように調べるのか。また、その調べる頂点をどのように特定するのか。
- (3) 辺が正当になるまで、LegalizeEdge を呼び、ドローネフリップを起こす必要がある。そのために LegalizeEdge を再帰型にする必要があるが、LegalizeEdge が、どのようなパラメタを持ち、どうプログラムを記述すれば、再帰型になるか。
- (4) 点 Pr を内部に含む 3 三角形を見つけ、その 3 三角形を 3 個の 3 三角形に分割するが、新たにできる 3 三角形のどの辺を LegalizeEdge で正当かどうか調べる辺とするのか。また、隣接する 3 三角形をどのように特定し、その 3 三角形のどの頂点を正当かどうか調べる頂点とするのか。

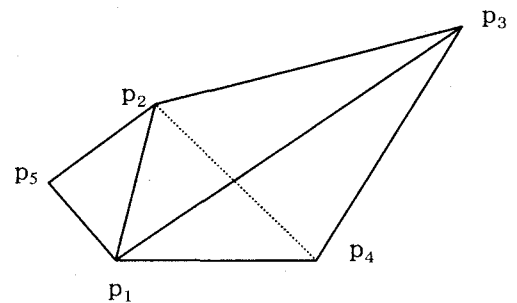
これらの問題点を明らかにするために、3 三角形の頂点は、頂点の x 座標が最も小さいものを「Pt 1」とし、時計回りに番号付けすることとした。これにより、頂

点の中で最も小さい x 座標値を持つ頂点が「Pt 1」で、残りの 2 つの頂点で上にある点が「Pt 2」、下にある頂点が「Pt 3」であることが分かる。隣接する 3 三角形、正当かどうかをチェックする頂点を特定するために、次のメンバーをもつ 3 三角形の構造体を定義した。

```
Structure triangle // 構造体 triangle
・ 3 頂点 Pt 1、Pt 2、Pt 3 の x y z 座標
・ 3 頂点 Pt 1、Pt 2、Pt 3 の id 番号
・ 辺 12 (Pt 1、Pt 2 間の辺)、辺 23、辺 31 で隣接する 3 三角形の id 番号； id12、id23、id31 (隣接 3 三角形を特定するポインタ；隣接 3 三角形ポインタ)
・ 辺 12、辺 23、辺 31 で隣接する 3 三角形の正当かどうか調べる頂点の座標；pt12、pt23、pt31
・ この 3 三角形が有効かどうかのブール型変数
```

上記のような構造体を定義し、3 つの 3 三角形へ分割するとき、あるいは、ドローネフリップするとき、これらの 3 三角形構造体のメンバーを適切に設定することで、前記の問題点を解決することができる。例えば、フリップが起こったとき、起こる前に存在していた 3 三角形に隣接する 3 三角形の隣接 3 三角形ポインタは、フリップの結果、新しく出来た 3 三角形の id 番号に更新する必要がある。図一 5 において、点 P_4 が新たに付け加えられ、辺 $p_1 p_3$ に対して LegalizeEdge を行うとする。その結果、辺 $p_1 p_3$ は不当であることが判明し、3 三角形 $p_1 p_3 p_4$ と 3 三角形 $p_1 p_2 p_3$ はフリップされて、新 3 三角形 $p_1 p_2 p_4$ と新 3 三角形 $p_2 p_3 p_4$ とに置き換わる。

このとき、3 三角形 $p_5 p_2 p_1$ の隣接 3 三角形は、3 三角形 $p_1 p_2 p_3$ から新 3 三角形 $p_1 p_2 p_4$ に更新しなければならない。具体的には、図一 5 において、3 三角形 $p_5 p_2 p_1$ は、自らの頂点 P_5 の x 座標と頂点 P_1 の x 座標を比較して、点 P_5 の x 座標の方が小さいので、辺 $p_2 p_1$ で接する 3 三角形の id 番号を持つ隣接 3 三角形ポインタは「id23」であることが分かり、このポインタの id 番号を更新する。ここで、点 P_5 の座標は 3 三角形 $p_1 p_3 p_4$ のポインタ「id12」で特定できる隣接 3 三角形の「pt12」で取得できる。



図—5 隣接 3 三角形ポインタの更新 (フリップ時)

また、新3角形に隣接する3角形 $p_5p_2p_1$ の $i d$ 番号は、3角形 $p_1p_3p_4$ のポインタ「id12」で特定できる隣接3角形 $p_1p_2p_3$ の「id12」で取得できる。LegalizeEdge は、正当かどうかチェックする辺が辺 12 なのか、辺 23 なのか、辺 31 なのかで異なる隣接3角形ポインタを使用し、また、辺を共有する隣接3角形の番号付けも異なるので、辺に応じて別々のサブルーティンとしている。例えば、辺 12 を共有する隣接3角形は、必ず辺 12 に関して、反対側にある。図-5において、辺 p_2p_1 は3角形 $p_1p_2p_4$ の辺 12 になるが、3角形 $p_5p_2p_1$ の辺 12 にはならない。

LegalizeEdge は、「付け加えられた点を頂点とする3角形の $i d$ 番号」と「新たにできあがる3角形に割り当てる $i d$ 番号(新 $i d$ 番号)」をパラメタとする。そして、そのプログラムで、フリップが起こった際の新3角形に隣接する3角形の $i d$ 番号をはじめとする構造体 triangle の全てのメンバーを更新し、更新された3角形の $i d$ 番号である旧「新 $i d$ 番号」と「さらに新たにできあがる3角形に割り当てる $i d$ 番号」をパラメタとして与えた自分自身 LegalizeEdge を呼び出すことで再帰型(recursive)プログラムを実現している。以上のアルゴリズムで、ドローネフリップは、収束はするが、数多く起こる場合がある。この一連の操作を、外接円内部に他の頂点なくなるまで実行する再帰型のプログラムであるため、戻り番地がスタックに積み上げられる。本システムの開発では、「スタック領域が不足」というエラーが頻発した。そこで、ドローネ3角形分割のプロセスは、独立させて、スタック領域が不足しないようにした。このようにドローネ3角形分割を行うことで、護岸面や川底面、堤防面を構成する頂点群に対して、最適な3角面を割り当て、TINを生成することができる。

GISモジュールの最終の生成前処理として、生成したTINを川底面・護岸面用と堤防面用に分ける。これは川底面・護岸面と堤防面の境界線を用いて、3角面の重心が境界線の内側か外側かで判定して、分類する。即ち、ポリゴンに対する点の内外判定を行って、3角面を分ける。点の内外判定方法には、以下の方法がある⁹⁾。

- (1) 判定点から任意の方向へ伸ばした半直線とポリゴンの辺との交点数を求め、それが奇数なら内部、偶数なら外部と判定する。但し、例外処理として、半直線が頂点を通過し、かつその頂点に接続する2つの辺が半直線に関して、同じ側にあれば、その交点数を1ではなく2と数える。
- (2) 判定点を原点として、ポリゴンの頂点を順に眺めたとき、変化の符号付きの偏角の和が $\pm 2\pi$ ならば内部と判定し、0ならば外部と判定する。

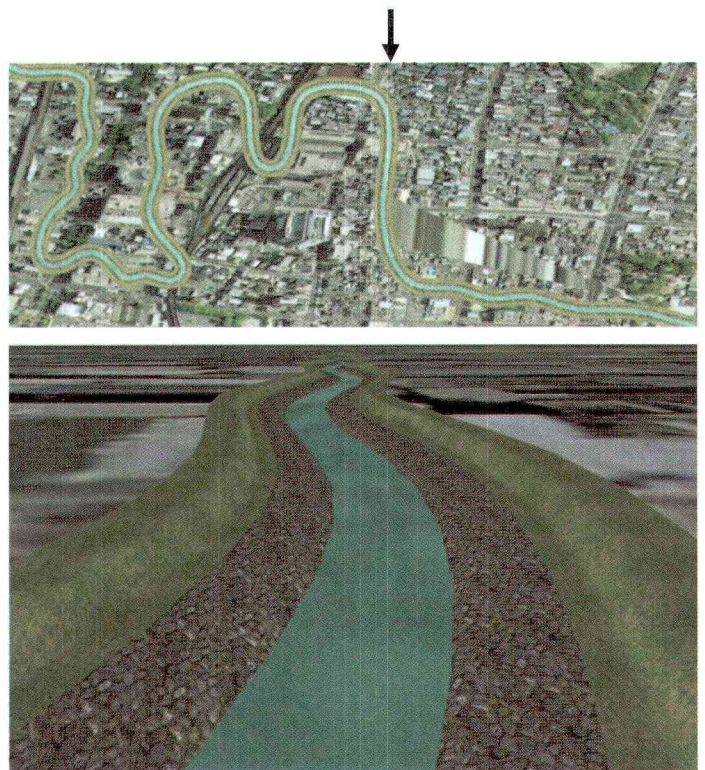
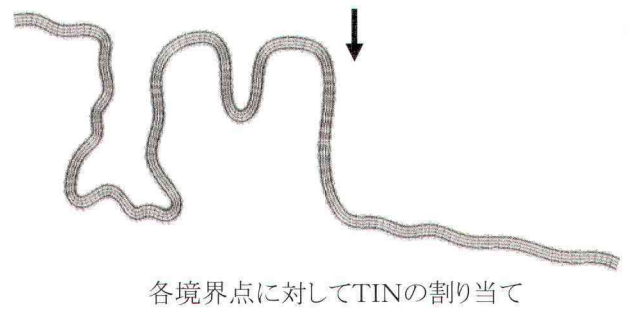
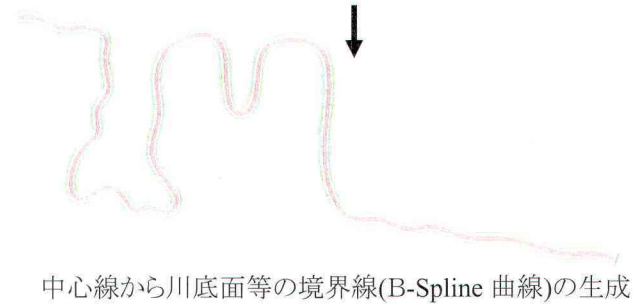
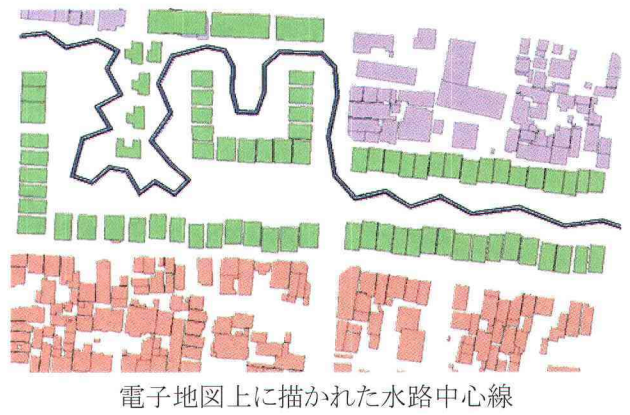


図-6 3次元水路モデルのデータ処理の流れ

本研究では、偏角の総和に着目した判定を行い、次のアルゴリズムで偏角の総和を求め、内外判定を行った。

アルゴリズム cal_sum_angle()

入力：ポリゴンの全頂点の座標、判定点の座標

出力：ポリゴン頂点の偏角の総和

1) 判定点からポリゴンの連続する2頂点までの単位ベクトル(u_i, u_{i+1})を求める。

2) $\theta = \text{Arctan}((u_{i,x} * u_{i+1,y} - u_{i+1,x} * u_{i,y}) / (u_{i,x} * u_{i+1,x} + u_{i,y} * u_{i+1,y}))$

3) if 単位ベクトル u_i と u_{i+1} の外積 > 0 and $\theta < 0$ then $\theta = \theta + 2\pi$

4) if 単位ベクトル u_i と u_{i+1} の外積 < 0 and $\theta > 0$ then $\theta = \theta - 2\pi$

このようにして、3角面を分類し、異なるメッシュオブジェクトとして、CGモジュールへエクスポートする。ここで、これまでの川や水路の3次元モデルの自動生成におけるデータ処理の流れを図-6に示す。

川底面・護岸面用と堤防面用に分けられた3角面をCGモジュールは受け取って、それぞれに異なるイメージのテクスチャマッピングを施す。CGモジュールは、代表的な3次元CGソフトである3D Studio MAXを制御するスクリプト言語(MaxScript)を用いて、プログラム開発した。GISモジュールで作成された地物毎のTIN情報に基づいて、自由曲面となるメッシュオブジェクトを生成し、川底、護岸、堤防等の地物毎に異なるイメージやテクスチャをマッピングする。

4. 活用事例とむすび

以上のような手順で、現実世界の水路や堤防に近い3次元モデルを自動生成する。「都市再生」や「自然再生」の様々な案として、例えば、環境護岸のための修景緑化の計画案となる水辺空間の3次元モデルを、時間と労力をかけずに、自動生成することができる。環境デザインやまちづくりにおいて、デザイナーや住民が考える代替案をすばやく制作できることが望まれている。特に、都市の水路や河川は、水路幅が一定で、水路の壁面や護岸が同じパターンである場合がほとんどで、水路中心線から3次元形状を推定・生成する手法によって、現実に近い3次元モデルを効率よく生成することができる。本システムの特徴を以下に列挙する。

(1) まちづくりや都市計画、特に、環境デザインや活性化デザインにおいて、デザイナーやプランナーなどの専門家が、「水と緑のネットワーク」を活用した将来の街の姿を考えると、一般的に、地図を描いて、計画案、代替案を検討する。この地図が、素速く街の3次元モデルに変換で

きれば、関係者間で、合意形成を図るプロセスの効率を上げることができる。水路の中心線を引くという、あまり時間をかけない操作で、多様な断面を持つ水路の3次元モデルを自動生成できるので、プランニングの効率を上げることができる。

(2) 都市シミュレーションシステムは、一般的に、大規模で、非常に高価だが、本システムは、市販のGISソフト、3次元CGソフト、本システムから構成されるシンプルで、安価な統合化システムである。

(3) 電子地図上の河川中心線に関連付けられた属性データ(川底幅、護岸幅、堤防幅、護岸面や堤防面へのテクスチャのタイプなど)を変更するだけで、多自然型工法やコンクリート護岸工法など、多様な断面を持つ河川の3次元モデルが生成できる。

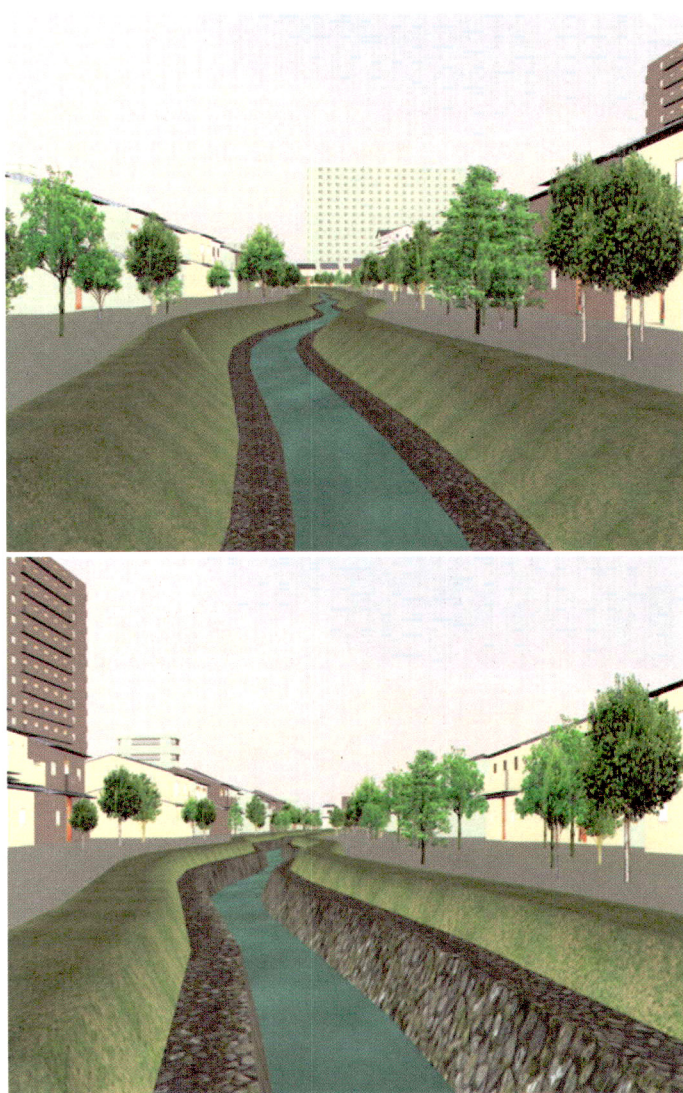
本システムを用いて、「都市再生」の案を自動生成した事例を以下に示す。豊田市の中心市街地において、水と緑のネットワークによる「自然再生」、そして、「都市再生」を図ろうという案である。水路の両側には、ほぼ同じデザインの低層の町屋型の建物を配置した。暗渠にされた「水路」を復元し、潤いのある多様な自然環境や水辺空間を取り戻すという案である。



図-7 豊田市の中心市街地(豊田市参合館から挙母神社に向かって撮影)(上図)、豊田市の中心市街地の現況を再現する自動生成した3次元都市モデル(下図)



図—8 自動生成した水と緑のネットワークによる豊田市の中心市街地の再開発案



図—9 低い視点から眺めた豊田市の中心市街地における自動生成した水と緑のネットワークによる再開発案(上図)、別の断面図から生成された3次元モデル(下図)

河川や水路の整備案を3次元モデリングするのに、現状では、多大な時間と労力をかけている。具体的には、CAD等で等高線図を描き、その等高線図をCGソフトで、インポートし、それを地表(Terrain)オブジェクトとし、それを編集可能メッシュに変換して、地形の一部を切り取り、堤防面、護岸面を作成するという膨大な手作業を行っている。本研究では、電子地図上の水路中心線に基づいて、それを制御点とする「なだらかなB-Spline 曲線」の生成、それに沿って、「護岸や堤防などの境界線(点群)」の生成、その点群に対して、「3角面の割り当て」、「護岸と堤防を区別(内外判定)」して、異なるイメージの貼り付けを行い、水路や河川の3次元モデルを自動生成するシステムを提案した。本システムを用いれば、多大な手作業を省力化できる。この3次元モデルは、従来の2次元の地図や設計図、断面図と異なり、現実の3次元の世界を写像するものであり、まちづくりの試みにおいて、行政、専門家だけにとどまらず、住民や一般市民に対して、わかりやすい「3次元のたたき台」を提供する。

参考文献

- 1) 広瀬 通孝：サイバースペース論文特集、電子情報通信学会誌、Vol. J81-D2, No. 5, pp783-784、電子情報通信学会、1998年。
- 2) U D S (Urban Data Solutions) ; <http://www.u-data.com> より。
- 3) 吉村元男、芝原幸夫：水辺の計画と設計、鹿島出版会、pp74-82、1993年。
- 4) 造景、編集部：no25、pp38-41、2000年2月。
- 5) Richard K.Brail, Richard E.Klosterman：“Planning Support System”, ESRI PRESS, pp387-399, 2001。
- 6) 杉原厚吉：FORTRAN 計算幾何プログラミング、岩波書店、pp215-227、1998年。
- 7) 徐 剛：写真から作る3次元CG、近代科学社、pp88-89、2000年。
- 8) M. ドバーク他：コンピュータジオメトリ、近代科学社、pp225-243、2000年。
- 9) 杉原厚吉：グラフィックスの数理、共立出版株式会社、pp88-92、1996年。

(2005.5.20 受付)