

流域規模モデルの自動作成

京都大学工学部 正 員 高 樺 琢馬 京都大学工学部 正 員 椎 葉 充晴
大阪ガス(株) 正 員 〇立川 康人 京都大学大学院 学生員 山口 昌利

1. はじめに 流域の地形・地質構造に即した出水モデルを構成することは流出解析の基本的な出発点である。雨水流を実地形に即して追跡するために、筆者らは、電子計算機を用いて流域を自動的にモデル化するシステムを提案している¹⁾。本研究では、国土数値情報を用いてあらゆる流域を実地形に即してモデル化することを可能としたので、その手法と流域のモデル化の結果を報告する。

2. 入力データ 流域モデル自動生成システムへの入力メッシュ標高データと流路位置データである。メッシュ標高データ・流路位置データは本研究で作成するデータであり国土数値情報の標高データファイル・流路位置ファイルとは異なる。メッシュ標高データは流域にメッシュをかけ各格子点の位置と標高を記録したものであり、流路位置データは河道の位置を表す点列の座標、合流点・上下流端の標高、河道区分(水源または合流点から合流点または流域下流端までの河道部分)の接続関係を記録したものである。本研究では、デジタイザー(座標読み取り装置)を利用してメッシュ標高データと流路位置データを作成する電子計算機プログラムと、国土数値情報(標高データファイル・流路位置ファイル)を利用するプログラムを用意した。数 km^2 以内の流域を対象とする場合はデジタイザーを利用し、数 10km^2 以上の流域を対象とする場合は国土数値情報を利用することを想定している。

3. 流域モデル自動生成システム 自動生成システムは次の過程からなる。① メッシュ標高データ・流路位置データをもとに有限要素法における要素構成法を援用して、対象とする流域斜面全体を三角形要素の集合体としてモデル化する。② 計算機内部で流域内の山頂と峠を探索し、山登り線(上り方向の最急勾配線)を用いて、自動的に流域界を決定する。山登り線を追跡するとき、Palacios-Vélezら²⁾の最急勾配方向の計算法を取り入れる。③ 河道上の点から山登り線を追跡し、河道・隣合う山登り線・流域界で囲まれた領域を斜面要素と考え、流域を斜面要素群に分割する。システムの流れを図1に示す。

3.1 三角形要素を用いた流域の表現 流域を三角形要素で表現するアルゴリズムは次の通りである。① 流域を覆うメッシュ標高データと流路位置データを電子計算機に入力する。② 河道とメッシュ区画との交点(以下簡単のため、対象とするメッシュ区画に流入するときの交点を流入河道点・メッシュ区画から流出するときの交点を流出河道点と呼ぶことにする)を求める。河道点の標高は、上流から順に、河道点のある辺の両端の格子点の標高と一つ上流の河道点・上流端または合流点よりも低くなるように定める。ここで、上下流端と合流点での標高値は測定されているものとする。③ 格子点と河道点をもとにメッシュ区画を三角形要素に分割する。分割方法はメッシュ区画内に河道が存在するかどうか、さらにメッシュ区画内に上流端・下流端または、合流点が存在するかどうかによって異なる。三角形要素への分割方法を図2に示す。メッ

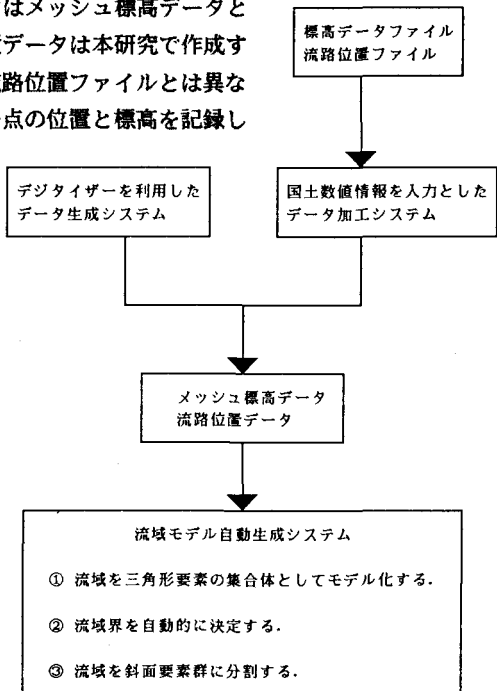


図1 システムの流れ

Takuma TAKASAO, Michiharu SHIIBA, Yasuto TACHIKAWA, Masatoshi YAMAGUCHI

メッシュ区画内に河道が存在しない場合は、メッシュ区画の中央に新たに点を設け四つの三角形要素に分割する。その標高はまわりの四つの格子点の標高の平均値とする。以上はメッシュ区画を三角形要素に分割する基本的なアルゴリズムである。しかし、図3に示すように上述のアルゴリズムだけではメッシュ区画を三角形要素に分割できない場合がある。そこで、メッシュ区画を細分割して図2の分割パターンに持ち込むことを考える。図4はメッシュ区画を細分割した例である。細分割によって図2のいずれかのパターンに当てはまるまで、メッシュ区画を構成する線分の中点を結びメッシュ区画を細分割していく。新しくできた格子点の標高はすでにある格子点の標高から内挿する。このようにすれば、どのように河道がメッシュ区画を通過しても流域を三角形要素で表現することができる。図5は流域を三角形要素で表現した例である。三角形要素の全て頂点に一連の番号を付け、一つの三角形要素についてその頂点と隣接する三角形要素を反時計回りに登録した配列を作成して三角形要素のデータを格納した。この配列は山登り線を追跡するとき必要となる。

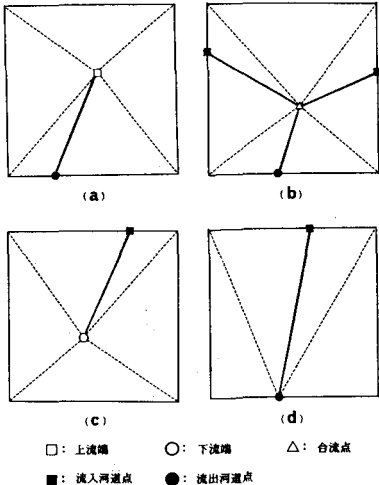


図2 メッシュ区画の三角形要素への分割
(a) メッシュ区画内に上流端がある場合
(b) メッシュ区画内に合流点がある場合
(c) メッシュ区画内に下流端がある場合
(d) メッシュ区画内を河道が通過する場合

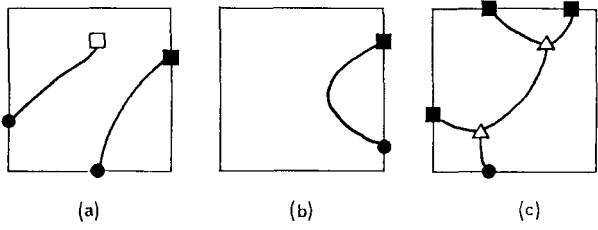


図3 細分割を必要とするメッシュ区画
(a) メッシュ区画内に流出河道点が多数ある場合 (b) メッシュ区画の同一辺に流出入河道点がある場合 (c) メッシュ区画内に合流点が多数ある場合

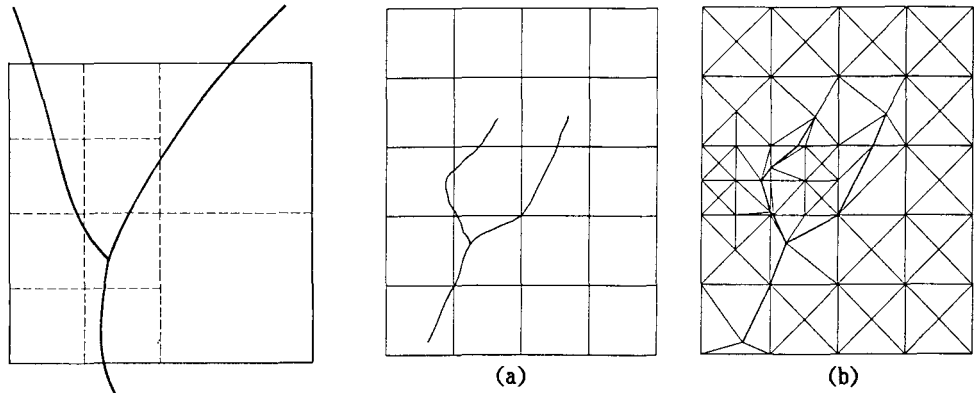


図4 メッシュ区画の細分割方法
図5 三角形要素による流域の表現
(a) 流路位置データの表示 (b) 流域の三角形要素表現

3.2 山登り線の求め方 山登り線を求める準備として、三角形abcの辺ac上の点A(u,v,w)から辺acを通る直線L上で最急勾配となる点P*(x*,y*,z*)を求めることを考える(図6参照)。直線Lは、tを媒介変数として、

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1-c_1 \\ b_2-c_2 \\ b_3-c_3 \end{bmatrix} t + \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

で表される。L上の点をPとすると直線APの勾配gは、

$$g = (z-w)/\sqrt{(x-u)^2+(y-v)^2} \quad (2)$$

であたえられる。式(1)を式(2)に代入し、式(2)をtで微分したものを0とおくと、

$$\begin{aligned} t^* &= t_1/t_2 \\ t_1 &= (c_1-u)\{(b_1-c_1)(c_3-w)-(b_3-c_3)(c_1-u)\} \\ &\quad + (c_2-v)\{(b_2-c_2)(c_3-w)-(b_3-c_3)(c_2-v)\} \\ t_2 &= (b_3-c_3)\{(b_1-c_1)(c_1-u)-(b_2-c_2)(c_2-v)\} \\ &\quad - (c_3-w)\{(b_1-c_1)^2-(b_2-c_2)^2\} \end{aligned}$$

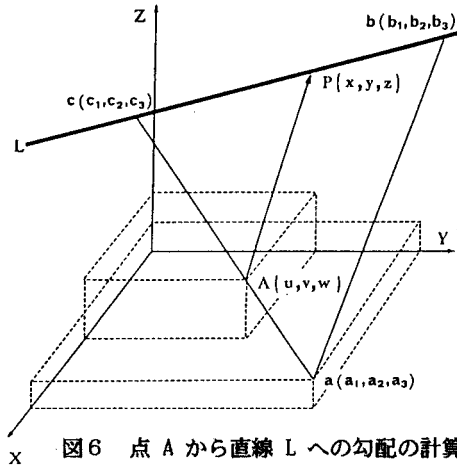


図6 点Aから直線Lへの勾配の計算

となり、式(1)にt*を代入してP*が求められる。簡単な計算により、P*は、t2>0 のとき勾配が最小となる点、t2<0 のとき勾配が最大となる点であり、t2=0 のとき、点Aからの最急勾配方向は直線Lと平行になることがわかる。以上を基礎として、山登り線は次のアルゴリズムで求められる。① 山登り線の開始点Aの座標とその点を含む三角形要素番号を与える。点Aが頂点である場合は④へ行く。② 点Aが属さない2つの辺のどちらかを選びt2、t*を計算する。(1) t2<0 のとき、(a) 0≤t*≤1 であればその点をBとする。(b) t*<0 または t*>1 であればその点に最も近い頂点をBとする。(2) t2≥0 であればもう一つの辺を選びt2、t*を計算して(1)へいく。(この場合、必ず t2<0 となる。)③ 点Bが頂点であれば点BをAとして④に行く。点Bが辺上であれば点BをAとし、3.1で作成した配列を用いて三角形要素番号を更新して②にいく。④ 頂点Aを共有するすべての三角形要素の対辺について、最急勾配を計算し、そのうちで最も大きな登り勾配となる点をBとして、③へ行く。⑤ 登るべき点が④で存在しなければその点は山頂であり、計算を終える。

3.3 流域界決定アルゴリズム 流域内に存在する全ての山頂と峠をさがしだす。対象とする頂点が、隣接する全ての頂点よりも高ければその頂点は山頂であり、まわりに高い頂点と低い頂点が交互に存在するならばその頂点は峠と考えることができる。峠である頂点から、その頂点を共有するすべての三角形の対辺について最急勾配を計算する。その勾配が正であれば山頂または峠に至るまで山登り線を追跡する。各頂点(山頂または峠)について、これらの山登り線で結び付けられる山頂または峠の番号を記憶する。たとえば図7で、峠2には山頂1,3,4が、山頂4には峠2,5,7が接続している。流域界は、一連の山頂または峠とこれらをつなぐ山登り線からなる。次の手順で流域界を描く。① 流域下流端から左岸側に出発し、山頂または峠に至るまで山登り線(=流域界)を描く。図7では1番の山頂に登る。② すでに到達した流域界上の頂点または峠から、これに接続する山登り線のうち一番左側にある山登り線をたどり、次の山頂または峠に行く。図7で、4番の山頂からは、7番の峠へ行く。③ 行き止まりになったら戻る。図7で、11番の山頂に来たら、10番の峠へ戻る。④ 到達した頂点が、流域下流端から右岸を登って到達した山頂または峠ならば、計算を終える。

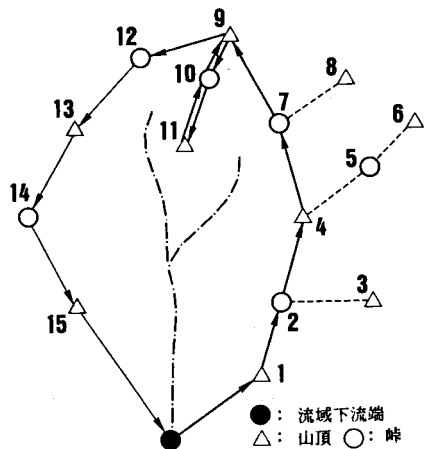


図7 流域界決定アルゴリズム

3. 4 山登り線による流域斜面の分割 ① 下流端から河道を構成する辺上に一定の距離ごとに分点を設定する。② これらの分点から河道の両側の斜面をさかのぼる山登り線を描く。③ 隣合う山登り線と河道および流域界に囲まれた斜面を1つの分割斜面とする。

4. 実流域への適用 伊奈川流域に本システムを適用した。伊奈川流域は木曾川の上流域に位置し、北に宝剣岳(2933m)、東に南駒ヶ岳(2841m)がある急峻な山間地流域である。国土数値情報によって入力データを作成し、メッシュを500m間隔でかけ流域を三角形要素群で表現した。図8は三角形要素で表した伊奈川流域を立体的に示したものである。流域界を自動的に決定した結果と山登り線による流域の斜面要素への分割の結果を図9、図10に示す。実測の流域面積は54.0km²であり、本システムによって得た流域面積は53.29km²であった。流域界・流域面積ともに実流域をよく表現している。

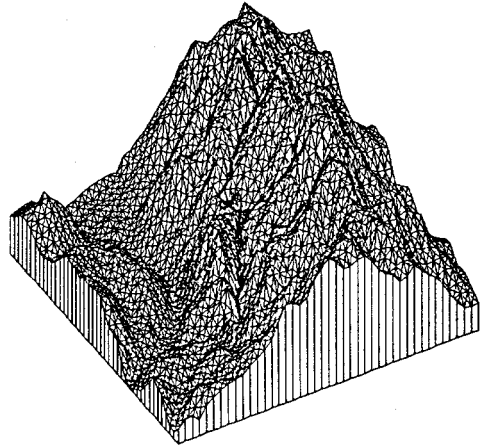


図8 三角形要素による伊奈川流域の表現

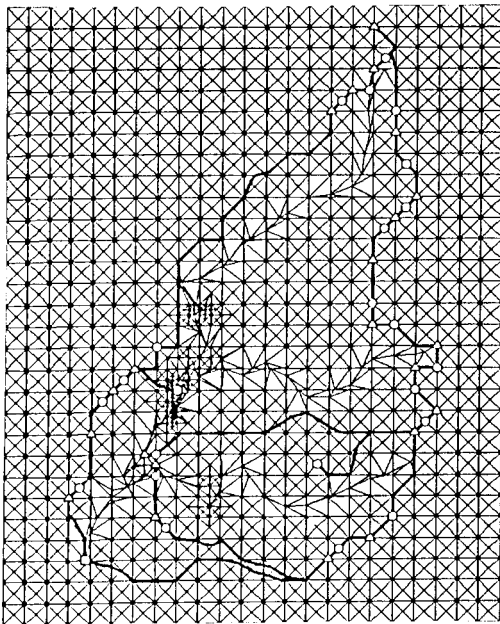


図9 伊奈川流域の流域界

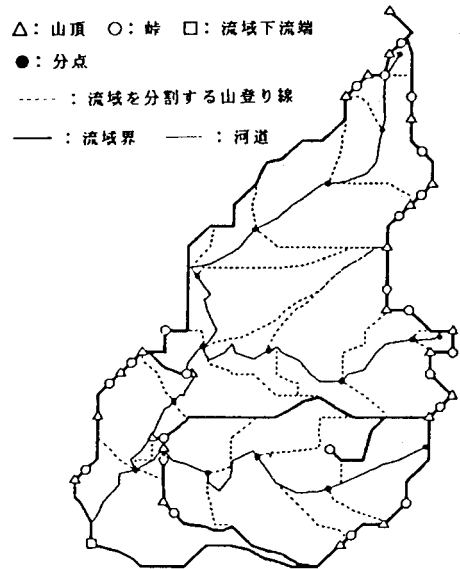


図10 伊奈川流域の斜面要素への分割

5. おわりに デジタイザーによって地形図から読み取った等高線・河道、あるいは国土数値情報の標高データファイル・流路位置ファイルのデータをもとに、電子計算機を用いて流域界を自動的に決定し、流域を斜面要素群に分割するシステムを開発した。本システムを基礎として、斜面・河道網の雨水流を実地形に即して追跡することが可能となる。また、斜面長・斜面幅、流域斜面の収束・発散の度合などの地形量の統計解析も可能となり、地形量と流出現象の関係を探ることも可能となる。

参考文献 1)高棹琢馬・椎葉充晴・立川康人：流域微地形に対応した準3次元斜面要素モデルと流域規模モデルの自動作製，第33回水理講演会論文集，pp. 139-144，1989. 2)Palacios-Vélez, O and Cuivas-renaud, B : Automated river-course, ridge and basin delineation from digital elevation data, J. Hydrol., 86, pp. 299-314, 1986.