

河川流域地形の新しい数理表現形式

椎葉充晴¹・市川 温²・榊原哲由³・立川康人⁴

¹正会員 工博 京都大学教授 工学研究科土木システム工学専攻 (〒 606-8501 京都市左京区吉田本町)

²正会員 修士 (工学) 京都大学助手 防災研究所水災害研究部門 (〒 611-0011 宇治市五ヶ庄)

³正会員 修士 (工学) 大豊建設 (〒 104-0033 東京都中央区新川 1-24-4)

⁴正会員 博士 (工学) 京都大学助教授 防災研究所水災害研究部門 (〒 611-0011 宇治市五ヶ庄)

グリッド型 DEM 上で流れのモデルを構築する場合、各格子点の最急勾配方向に雨水を流下させる方法がしばしば利用されてきた。しかし、こうした方法には、発散地形が雨水流出過程に与える影響を表現できないという問題がある。そこで本研究では、グリッド型 DEM において、斜面上の雨水が流集する過程だけではなく、発散する過程をも表現できる新しい河川流域地形の数理表現手法を提案する。本手法を滋賀県大戸川流域に適用して、峰や根根といった発散地形をより適切に表現できることを示した。

Key Words : basin topography, grid-based DEM, steepest descent/ascent direction, concentration and divergence of water flow

1. はじめに

流出現象のモデル化に、流域の地形形状による効果を取り入れるため、国土数値情報¹⁾のような数値化された地理的情報から数値地形モデル (Digital Elevation Model, DEM) を作成し、その地形モデル上に流れのモデルを適用するという研究が数多く行なわれている。DEM は大別して、グリッド型 DEM (Grid-based DEM)、等高線型 DEM (Contour-based DEM)、三角形網型 DEM (Triangular Irregular Network DEM, TIN-DEM) の三種類に分類される²⁾。

これらの地形モデルならびにそれに基づく流出系のモデル化については、それぞれ得失があり²⁾、どれが最もすぐれているといった議論は一概にはできない。しかし、国土数値情報のように公開されている数値地形データは、グリッド形式で整備されていることが多いため、データ処理の容易さから、グリッド型 DEM をベースに流れのモデルを構築した例が多い。なかでもしばしば用いられるのが、流域地形をグリッド型 DEM でモデル化し、雨水は各格子点の周囲 8 方向もしくは 4 方向のうちの最急勾配方向に流下すると考えることで、流域全体の雨水流下経路 (落水線) を決定し、流出追跡計算を行う方法である (たとえば、陸ら³⁾、⁴⁾、児島ら⁵⁾ など)。こうした方法は、データの取り扱いが容易であり、また、流れのモデルもその流下方向の一次元で考えればよいから、モデルの構造が単純になるという利点を持つ。

しかしその一方で、落水線によるモデルでは、各格子点における雨水流下方向が最急勾配方向の一方向きしか許されていないため、基本的に、雨水が流下して集

まってくる過程しか扱えず、発散地形が雨水流出過程に与える影響を表現できないという問題がある。たとえば、図-1 は、山頂から発散するような仮想的な地形を考え、各格子点において最急勾配で下る方向を矢印で示したものである。本来ならば、全ての流水線は山頂から発するはずであり、従来の方法では発散地形における雨水流下方向が適切に表現されているとはいえない。また、山腹斜面の途中から発する流水線ができることによって全体的に斜面長が短く算定されるため、流出解析に少なからず影響を与えるものと思われる。

これまで、我が国では、こうした問題点はあまり明確に意識されてこなかった。というのは、一河川流域規模で入手できるソースデータの空間分解能が粗かったために、斜面と河道が区別されないか、あるいは、されたとしても、斜面の収束・発散といった細かな地形構造のモデル化よりはむしろ河道網構造のモデル化に重点がおかれ、斜面地形については平均的な斜面長・斜面勾配を持つ矩形平面に置き換えるなど、概念的な取り扱いがなされることが多かったからである。

一方、海外に目を移すと、こうした問題に取り組んだ研究事例がいくつか見られる。たとえば、Quinn et al.⁶⁾ は、ある格子点の雨水は、周囲 8 点のうち、その点より標高の低い点すべてに流れるとする方法を提案している。Costa-Cabral and Burges⁷⁾ は、グリッド型 DEM において、隣接する 4 個の格子点で構成される四角形に対して最もフィットする平面を決定し、その平面の向きによって流れ方向を決定する方法を提案した。また、Tarboton⁸⁾ は、対象とする格子点とその周囲 8 点を結ぶ線で 8 個の三角形を構成し、その三角形によつ

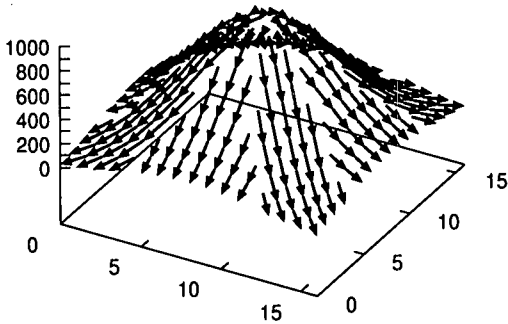


図-1 最急勾配で下る流水線

て決定される方向のうち、最も急に下る方向をその格子点での流れ方向とする方法を提案した。Costa-Cabral and Burges⁷⁾ と Tarboton⁸⁾ の方法によれば、各点での流れ方向は周囲 4 あるいは 8 方向に限定されず、 $0 \sim 2\pi$ の任意の方向をとることになる。その流れ方向が格子の向きに一致していれば、その点の雨水は、上下左右のいずれかの点へと流れ、流れ方向が格子の向きからずれていけば、その流れ方向に位置する下流側の二つの点へと流れるとする。このように、上記のいずれの方法も、落水線によるモデル化とは異なり、流れの分岐を許すことによって、発散地形における流れ方向をより適切に決定しようとしている。

本研究もこれらの研究事例と同様に、発散地形のより適切なモデル化に取り組むものである。

Quinn et al.⁶⁾ の方法は、アルゴリズムが単純で利用しやすいが、しかし、この方法で平らな斜面の流れ方向を決めようとすると、不必要な流れの発散を生じるという問題点がある。Costa-Cabral and Burges⁷⁾ と Tarboton⁸⁾ の方法は、ある点での流れの分岐数が最大でも 2 であるため、不必要な流れの発散をある程度おさえることができ、合理的な方法と言える。しかし、これまでしばしば利用されてきた落水線による流れ方向の決定方法とは本質的に異なっているため、落水線をベースに研究・開発を進めてきたユーザーには受け入れられにくい側面がある。

そこで本研究では、落水線によるモデル化がこれまでよく使われてきたという事実をふまえ、落水線によるモデル化を拡張する形で発散地形にも対応できる新たな地形数値表現形式を提案する。

以下、本論文の構成を示す。2. では、本研究で提案する地形数値表現形式について説明する。3. では、2. で説明した地形数値表現形式を実現するアルゴリズムを示す。4. では、本形式を大戸川流域（滋賀県）に適用した例を示す。5. では、本研究の成果をまとめる。

2. 流域地形の新しい数値表現形式の提案

落水線による流域地形のモデル化では、モデルの構造上、雨水が流下して集まる過程しか扱えず、発散地形が雨水流下過程に与える影響を表現できないことを前章で指摘した。ここでは、まずはじめに、流域斜面において雨水が集まるだけでなく、発散することも表現できる新たな流水線の決定方法を提案する。

また、流水線には流れの方向やその長さ、勾配といった情報は与えられているが、雨水流出計算に必要な、その斜面の面積あるいは幅の情報は与えられていない。そこで、流域斜面を構成する流水線に面積を割り当てる方法についても説明する。

最後に、本研究で提案する地形数値表現形式のデータセットフォーマットを説明する。

(1) 流水線の新たな決定方法

図-2 は山地地形の模式図である。図中の □ は標高値の与えられた点、矢印は各点において最急勾配で下る方向、すなわち、落水線モデルによる雨水の流下方向を示している。雨水は、たとえば、点 A から点 B へ、点 B から点 C へと流下することになる。

ここで、点 A, B, C の関係についてみてみよう。B からすると、C が最急勾配で下る方向に位置する点である。しかし、C からすると、B は最急勾配で上る方向に位置する点ではない。C から最急勾配で上る方向に位置する点は A である。とすれば、B から C に雨水が流入すると考えるならば、A からも C に雨水が直接流入すると考えてもよさそうである。以上のように考えて、各点から最急勾配で上る線を流水線として追加したのが、図-3 である。点 A からは点 B, C, D, E, F へと雨水が流下することになる。

図-4 は、図-1 で示した地形に対して、上に述べた新たな方法で決定した流水線である。図-1 では、山腹斜面の途中から発する流水線があるのに対し、図-4 では、すべての流水線が山頂を出発点としており、より自然な形で雨水流下方向をモデル化できている。

以上より、本研究では、グリッド型 DEM において流水線を決定する方法として、「各格子点において、その周りに位置する格子点のうち、最急勾配で下る方向および最急勾配で上る方向に位置する点とを結ぶ線を流水線とする」という方法を提案する。この方法を用いることで、斜面上で雨水が流下して集まる過程だけではなく、発散する過程をも表現することができるようになる。

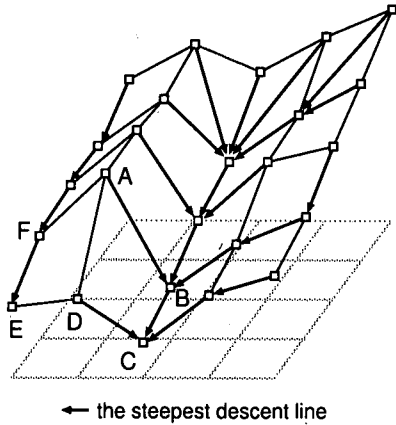


図-2 最急勾配方向に下ることによって決まる流水線

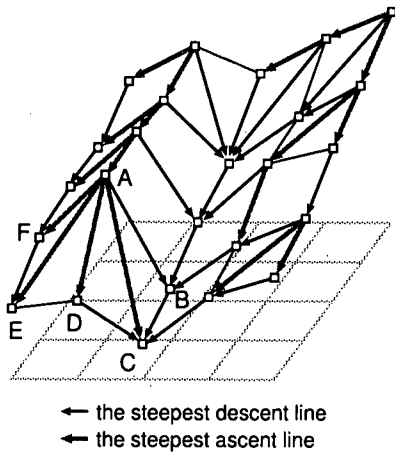


図-3 最急勾配方向に下ることによって決まる流水線と最急勾配方向に上ることによって決まる流水線

(2) 流域斜面を構成する流水線に面積を割り当てる方法

(1) で説明した方法で決定された流水線には、流れの方向やその長さ、勾配といった情報は与えられているが、しかし、雨水流出計算に必要な、その斜面の面積あるいは幅の情報は与えられていない。そこで本研究では、ある格子点が代表するエリアの面積を、その周囲に位置する流水線に割り振ることによって、流水線に面積を与えることにする。

たとえば、図-5 の場合、点 A は流入する流水線を三本、流出する流水線を一本の計四本の流水線を持つので、各流水線に点 A の代表する面積の 4 分の 1 を割り振る。点 B は、流入と流出をあわせて三本の流水線を持つので、各流水線に点 B の代表する面積の 3 分の 1 を割り振る。よって、流水線 AB は、(点 A の代表する面積の 4 分の 1) + (点 B の代表する面積の 3 分の

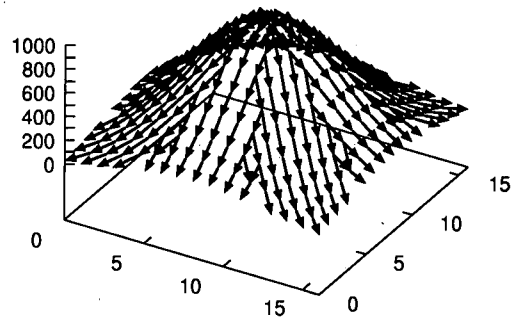


図-4 新たな方法によって決まる流水方向

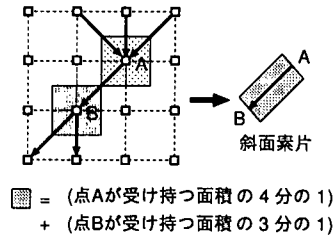
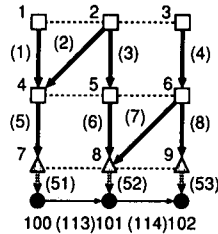


図-5 斜面素片



- 1~9, 100, 101, 102 ノード番号
- (1)~(8), (51), (52), (53), エッジ番号
- (113), (114)
- 流域点
- △ 河道横流域点
- 河道点
- 斜面素片
- ⇄ 河道点と河道横流域点を結ぶエッジ
- 河道点と河道点を結ぶエッジ

図-6 ノード及びエッジデータセットの説明図

1) の面積を持つ「面」として取り扱われることになる。この面のことを本研究では斜面素片とよぶことにする。多数の斜面素片が分流・合流をくりかえしてつらなることによって、斜面地形の収束・発散が表現される。

(3) 地形データセットのフォーマット

図-6 は、本形式にしたがってモデル化された流域地形を概念的に示したものである。

□ は、グリッド形式で標高値が与えられている点で

ある。この点のことを流域点とよぶ。流域点と流域点は(2)で説明した斜面素片によって接続されている。

●は河道流路を表す点で、この点のことを河道点とよぶ。河道点と河道点を結ぶ線によって河道網を表す。河道点は、図-6では格子点からずれたところに描かれているが、実際には格子点上に位置している。このことについては、3.(2)で説明する。

網掛けの三角形は河道横流域点というもので、この点と河道点を結ぶことで斜面素片と河道の接続関係を表す。河道横流域点については3.(3)で詳しく説明する。

図-6のように本地形数値表現形式を用いてモデル化された流域地形は、

- ノードデータセット
- エッジデータセット

という二つのデータセットとして記録される。ノードとは、流域点(河道横流域点も含む)・河道点の総称で、エッジとは、斜面素片・河道点と河道点を結ぶ線・河道点と河道横流域点を結ぶ線の総称である。

表-1は図-6に対応するノードデータセットである。ノードデータセットには、ノード番号、ノードタイプ、ノードの個別情報が、1ノードにつき一行に記録される。

ノード番号は、そのノードに固有に与えられる番号である。ノードタイプは、流域点(1)、河道点(2)の二種類がある。ノードの個別情報は、そのノードのタイプによって記録される内容が異なる。流域点の場合は、 x, y, z 座標、そのノードの持つ面積が記録され、河道点の場合は、 x, y, z 座標が記録される。

表-2は図-6に対応するエッジデータセットである。エッジデータセットには、エッジ番号、エッジを構成するノードの番号、エッジタイプ、エッジの個別情報が、1エッジにつき一行に記録される。

エッジ番号はそのエッジに固有に与えられる番号である。エッジを構成するノードの番号は、上流ノード、下流ノードの順にノード番号を記録する。エッジタイプは、斜面素片(1)、河道点と河道横流域点を結ぶエッジ(2)、河道点と河道点を結ぶエッジ(3)の三種類がある。エッジの個別情報は、そのエッジのタイプによって記録される内容が異なる。斜面素片の場合は、その長さや面積が記録される。河道点と河道点を結ぶエッジの場合は、その長さが記録される。河道点と河道横流域点を結ぶエッジは、河道と斜面の接続関係を表すための実体のない仮想的なエッジなので、この欄には何も記録されない。

以上述べたように、本地形数値表現形式では、斜面と河道を明確に区別しているため、それぞれの場に応じた流れのモデルを適用することが可能である。また、従来の落水線モデルとは違って、発散する斜面地形に

表-1 ノードデータセット

ノード番号	ノードタイプ	ノードの個別情報			
1	1	65.0	20.0	84.0	100.0
2	1	75.0	20.0	80.0	100.0
3	1	85.0	20.0	95.0	100.0
4	1	65.0	10.0	105.0	100.0
5	1	75.0	10.0	90.0	100.0
6	1	85.0	10.0	74.0	100.0
7	1	65.0	0.0	68.0	100.0
8	1	75.0	0.0	65.0	100.0
9	1	85.0	0.0	58.0	100.0
100	2	65.0	0.0	68.0	
101	2	75.0	0.0	65.0	
102	2	85.0	0.0	58.0	

表-2 エッジデータセット

エッジ番号	エッジを構成するノードの番号	エッジタイプ	エッジの個別情報	
1	1 4	1	10.0	133.3
2	2 4	1	14.1	83.3
3	2 5	1	10.0	100.0
4	3 6	1	10.0	133.3
5	4 7	1	10.0	133.3
6	5 8	1	10.0	100.0
7	6 8	1	14.1	83.3
8	6 9	1	10.0	133.3
51	7 100	2		
52	8 101	2		
53	9 102	2		
113	100 101	3	10.0	
114	101 102	3	10.0	

も対応している。さらに、ノードデータセットとエッジデータセットを組み合わせることによって、

- 斜面地形の構造
- 河道網の接続状況
- 斜面長、斜面勾配などの地形量

といった、流れのモデルが必要とする情報を容易に得ることができる。

3. 新たな地形数値表現形式を実現するためのアルゴリズム

ここでは、前章で提案した新たな地形数値表現形式を実現するためのアルゴリズムを示す。

必要なソースデータは、グリッド形式の標高データと河道網流路位置データの二つで、最終的に生成されるのは、ノードデータセットとエッジデータセットの二つである。図-7はノードデータセット・エッジデータセット生成の流れを示したものである。以下、図-7に示した個々の作業について説明する。

表-4 グリッドボックスデータファイル

グリッドボックスの番号	グリッドボックスの位置	グリッドボックスを構成する格子点の番号
1	1 1	1 5 6 2
2	1 2	2 6 7 3
4	1 3	3 7 8 4
6	2 1	5 9 10 6
⋮	⋮	⋮

表-5 河道点データファイル

図郭番号	図郭番号	端点番号	x 座標	y 座標	z 座標
1	1	-1	10.0	5.0	15.0
1	1	0	11.0	6.0	14.0
1	1	0	12.0	7.0	13.0
1	1	5	13.0	8.0	12.0
1	1	-5	13.0	8.0	12.0
1	1	0	15.0	10.0	10.0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

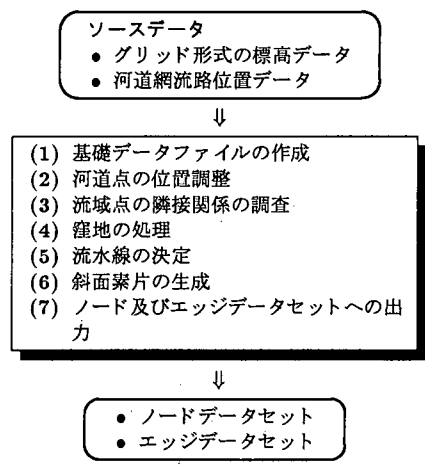


図-7 ノード及びエッジデータセット生成の流れ

表-3 流域点データファイル

点の番号	x 座標	y 座標	z 座標
1	10.0	20.0	30.0
2	60.0	50.0	40.0
6	70.0	80.0	90.0
9	40.0	20.0	100.0
⋮	⋮	⋮	⋮

(1) 基礎データファイルの作成

ソースデータであるグリッド形式の標高データと河道網流路位置データから、今後の作業の基礎となる以下の三つのデータファイルを作成する。

- 流域点データファイル
- グリッドボックスデータファイル
- 河道点データファイル

a) 流域点データファイル

このデータファイルには、流域点の番号、 x, y, z 座標が、一つの点につき一行に記録される(表-3)。点の番号は必ずしも一連の番号でなくてもよい。

b) グリッドボックスデータファイル

グリッドボックスとは、隣接する四つの流域点で構成される四角形のことである。このデータファイルには、グリッドボックスの番号、グリッドボックスの位置、グリッドボックスを構成する流域点の番号が、一つのグリッドボックスにつき一行に記録される(表-4)。グリッドボックスの番号は一連の番号でなくてもよい。また、グリッドボックスの位置は、そのグリッドボックスが全体のなかで何行何列目に位置するかを示す。

一般に、グリッド型 DEM では、流域点を行列形式で認識することによってデータの取扱いを効率的にしており、その観点からするとこのデータファイルの形式は冗長にみえる。しかし、(2) で説明する河道点の位置調整を行なうためにこのデータファイルが必要となる。

c) 河道点データファイル

河道点データファイルには、図郭番号、端点番号、 x, y, z 座標が、一つの河道点につき、一行に記録される(表-5)。このフォーマットは、南ら⁹⁾ が提案する河道網データセットのフォーマットと同じである。

図郭番号とは、南ら⁹⁾ の河道網データセット生成システムでデータセットを作成するときに設定される番号で、本形式ではとくに意味を持たない。端点とは、河道網最上端、最下端、分合流点の総称で、端点番号とは、それらに対して与えられる番号である。端点番号は、河道区分¹⁾の接続状況も表している。例えば、河道区分 1 の上流端点に 5、河道区分 2 の下流端点に -5 という数字が与えられていた場合は、河道区分 2 の下流端点に河道区分 1 の上流端点が接続することを表している。非端点(河道区分の中間に位置する点)に対しては番号が与えられないのだが、データの構造上、空欄にすると不都合が生じるので、ゼロと記録しておく。

(2) 河道点の位置調整

一般に、河道点の位置は流域点の位置と一致しておらず、そのままでは河道点と流域点の接続関係を決めることが難しい。そこで、図-8 のように、河道網が流

¹⁾ 隣接する二つの端点を結ぶ河道部分のこと

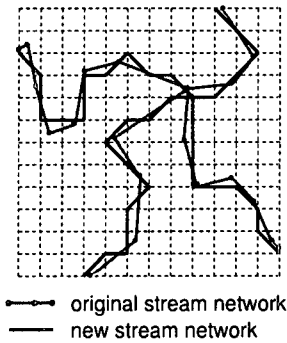


図-8 河道点の位置調整

域点上を通るように河道点の位置を調整する。

この作業は各河道区分ごとに行なうのだが、対象とする河道区分の一部が標高値の与えられている領域（以下単に領域）に含まれていない場合も考えられるので、そうした場合にも対応できるようにした。以下に作業手順をまとめる。

a) 始点の処理

- (i) 河道区分の始点が領域内にある場合：

河道区分の始点を最も近い流域点に移動させる。例えば図-9において、始点 R_0 に最も近い流域点は P_0 なので、 R_0 を P_0 に移動させる。
- (ii) 河道区分の始点が領域外にある場合：

その河道区分と格子線が初めて交差する点を探し、その交点に最も近い流域点を新しい河道区分の始点とする。例えば図-10において、始点 R_0 は領域外にあるので、河道区分と格子線が初めて交差する点 C_1 を求め、 C_1 に最も近い流域点 P_0 を新しい河道区分の始点とする。

b) 中間点の処理

始点から順に河道点を結ぶ線分と格子線との交点を求め、その交点に最も近い流域点を新たな河道点とする。例えば図-9において、線分 P_0R_1 と格子線との交点 C_1 を求め、 C_1 に最も近い流域点 P_1 を新たな河道点とする。この作業を河道区分の終点もしくは領域外に出るまで繰り返す。領域外に出た場合は、その点を河道区分の終点とみなし、終点の処理に移る。

c) 終点の処理

- (i) 終点が領域内にある場合：

河道区分の終点を最も近い流域点に移動させる。例えば図-9において、終点 R_3 に最も近い流域点は P_5 なので、 R_3 を P_5 に移動させる。
- (ii) 終点が領域外にある場合：

その河道区分が格子線と最後に交差する点を探し、その交点に最も近い流域点を新しい河道区分の終

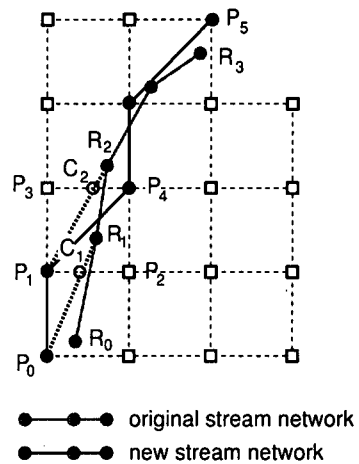


図-9 河道点の位置調整 a)(i), b), c)(i)

点とする。図-10 の場合は、線分 R_3R_4 と格子線との交点 C_2 を求め、 C_2 に最も近い流域点 P_2 を新しい河道区分の終点とする。

以上述べたように、この作業では、元の河道網と格子線が交差する点を見つけ、その点に最も近い流域点を新たな河道点としている。したがって、格子線を構成する流域点をあらかじめ知っておく必要がある。そのため、3. (1) b) のグリッドボックスデータファイルが必要になるのである。

(3) 流域点の隣接関係の調査

流水線を決めるためには、流域点相互の隣接関係を知っている必要がある。そこでここでは、各流域点の周囲に位置する流域点をあらかじめ調べておく。

まずはじめに、各流域点の周囲 8 点の隣接関係を調べる。周囲の点が河道点だったり、あるいは流域点でも河道をまたぐ方向にある点は隣接する点とはみなさない。図-11 は、この時点での流域点の隣接関係を模式的に示したものである。図中、点線で結ばれている点が互いに隣接しているものである。

上に述べた作業を行なった段階では、流域点と河道点切り離されており、河道点まわりの隣接関係が明らかになっていない。そこで、河道点と同じ位置に流域点を設け（図-12）、この点と周囲に位置する流域点との隣接関係を調べる。この新たに設けられた流域点のことを河道横流域点とよぶ。

河道横流域点は、その点に隣接する流域点が河道のどちら側に位置しているかを区別するために、一つの河道点に対して複数設けられる。たとえば、図-12 の点 A のような河道区分の中間点の場合、隣接する流域

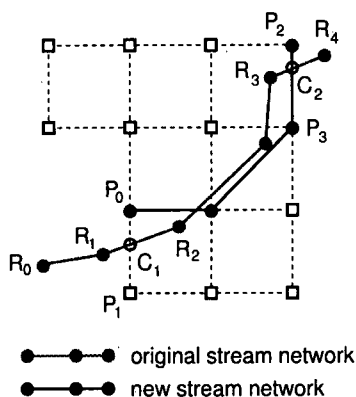


図-10 河道点の位置調整 a)(ii), c)(ii)

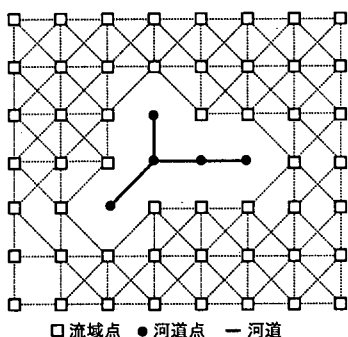


図-11 流域点の隣接関係の模式図

点は河道の右岸側と左岸側の両方に位置している。そこで、右岸側の隣接関係を受け持つ河道横流域点と、左岸側の隣接関係を受け持つ河道横流域点をそれぞれ一つずつ設ける。こうすることで、右岸側と左岸側の隣接関係を区別して把握することができる。点Bのような合流点では、その点に流入する河道によっていくつかの岸ができるので、それぞれの岸の隣接関係を受け持つ河道横流域点を設ける(点Bの場合は3つ)。点Cのような最上流端(もしくは最下流端)では、河道の右岸側、左岸側、上流側(もしくは下流側)それぞれの隣接関係を受け持つ3つの河道横流域点を設ける。このようにして配置した河道横流域点と周囲の流域点との隣接関係を模式的に示したのが図-13である。

このように、河道点と流域点との隣接関係を河道横流域点を介して表すことによって、たとえば、ある河道の右岸側の斜面素片だけを選び出すといったことが可能となる。

(4) 窪地の処理

窪地とは、周りのどの流域点よりも標高値の低い流域点のことである。本研究で提案する流れ方向の決定

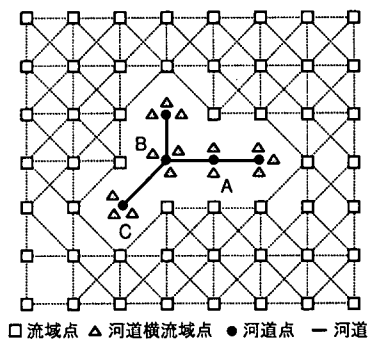


図-12 河道横流域点の設置

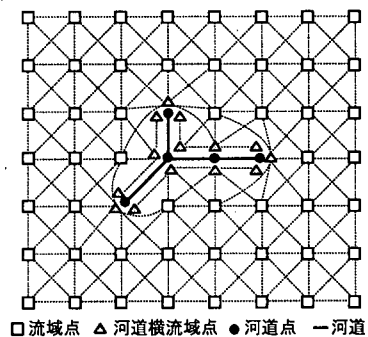


図-13 河道横流域点と流域点の隣接関係の模式図

方法では、窪地に流入した雨水の流れ方向を決定することができない。そこで、窪地に対しては、隣接する流域点の標高の中で最も低い標高値より標高が高くなるように窪地の標高値を調整し、窪地が無くなるまでこの作業を繰り返す。

(5) 流水線の決定

各流域点において、(3)で調べた周囲の流域点との隣接関係をもとに、2.(1)で説明した方法にしたがって流水線を決定する。

この作業において、図-14(a)のように、河道に平行して流れる流水線が生成されることがある。このような流水線ができると、斜面から落下してきた雨水がいつまでも河道に流入しないことになる。このような場合は、河道横流域点を追加して、各河道横流域点が、流入する流水線だけ、あるいは流出する流水線だけを持つようにし(図-14(b)), 斜面から落下してきた雨水は、流入する流水線を持つ河道横流域点から河道に流れ込むことにする。以上をまとめると以下ようになる。

- (a) 各流域点と、隣接する流域点の中で最急勾配で下る方向に位置する点とを結ぶ線を流水線とする。
- (b) 各流域点と、隣接する流域点の中で最急勾配で上

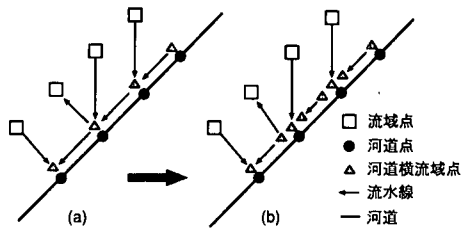


図-14 河道に沿う流水線

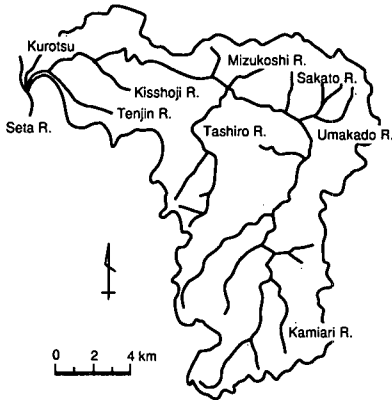


図-15 大戸川流域図

る方向に位置する点とを結ぶ線を流水線とする。

(c) 各河道横流域点が入りもしくは流出する流水線だけを持つように、河道横流域点を追加する。

(6) 斜面素片の生成

2. (2) で説明した方法にしたがって流水線に面積を割り振り、斜面素片を生成する。

(7) ノード及びエッジデータセットへの出力

以上の一連の作業の結果を、ノードデータセット・エッジデータセットとして出力する。

4. 実流域への適用

本研究で提案した地形数値表現形式を大戸川流域に適用した。大戸川は淀川水系瀬田川の支川で、流域面積は 189.5 km²、幹川河道長は 38 km である。図-15 は大戸川の流域図である。

本形式の適用に必要なソースデータとして、国土地理院 数値地図 50 m メッシュ (標高), 国土数値情報 KS-271 (河川単位流域台帳), KS-272 (流路位置) を利用した。数値地図 50 m メッシュ (標高) は国土地理院発行の 1/25000 地形図と同じ区画で整備されている。大戸川流域は 1/25000 地形図の瀬田・朝宮・三雲・信

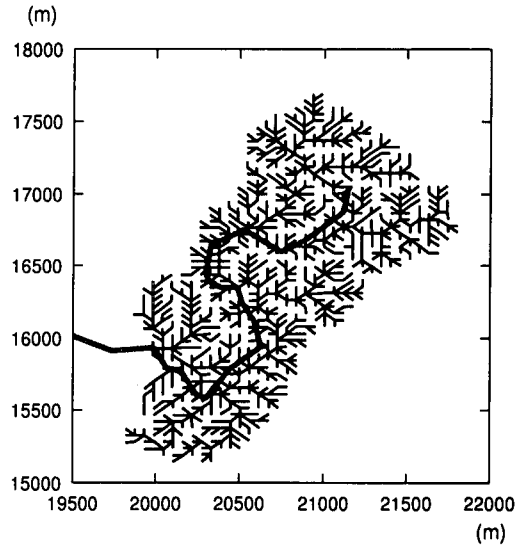


図-16 大戸川の一支流集水域の地形を落水線でモデル化したもの (黒の細い実線は落水線, 灰色の太い実線は河道を表す)

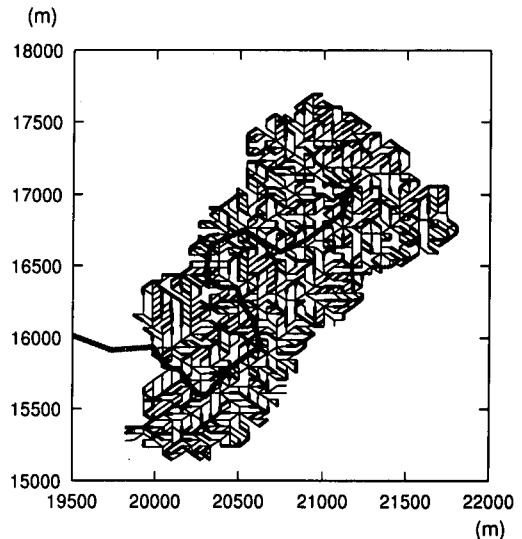


図-17 大戸川の一支流集水域の地形を本研究で提案した手法でモデル化したもの (黒の細い実線は落水線, 黒のやや太い実線は最急勾配方向に上る線, 灰色の太い実線は河道を表す)

楽・島ヶ原の五区画にまたがっていたので、数値地図もその五区画分を使用した。

これらのソースデータから、3. で説明した手順にしたがって、大戸川流域の地形を表現するノードとエッジのデータセットを作成した。図-16 は、大戸川上流の一支流集水域の地形を落水線でモデル化したもの、図-17 は、同じ集水域の地形を本研究で提案した手法でモデ

ル化したものである。図-17 中、黒の細い実線は各点から最急勾配で下る線、すなわち落水線で、図-16 に示したものと同一である。黒のやや太い実線は、各点から最急勾配で上る線で、本研究で提案した手法によって追加されたものである。

両図を比較すると、たとえば、図-17 では、横軸 20300 ~ 20400 m、縦軸 16100 ~ 16300 m のあたりに、二箇所、放射状に広がる流水線が追加されている。1/25000 地形図（信楽）でこの付近の地形を調べてみたところ、ちょうどこの位置に二つの峰があることが確認できた。同様にして調べた結果、図-17 で追加されている流水線は、峰や尾根といった発散地形に対応していることがわかった。このように、本研究で提案した手法によって発散地形をより適切に表現できることが明らかとなった。

5. おわりに

本研究では、まず、落水線に基づく既往の流出系モデル化手法では、発散地形が雨水流出過程に与える影響を表現できないことを指摘した。そして、落水線によるモデル化を拡張する形で、斜面上の雨水が流下し集まる過程だけではなく、発散する過程をも表現できる河川流域地形の新しい数値表現形式を提案した。さらに、この新しい数値表現形式を実現するための具体的なアルゴリズムを示し、実際の流域に適用した。その結果、本研究で提案した手法によって発散地形をより適切に表現できることが明らかとなった。

今後は、この地形数値表現形式を基礎として流出シミュレーションを行なう手法を構築することが課題となる。

参考文献

- 1) 建設省国土地理院：数値地図ユーザーズガイド、(財)日本地図センター 地図研究所 研究第 1 部、1992。
- 2) 立川康人、椎葉充晴、高塚琢馬：三角形要素網による流域地形の数値表現に関する研究、土木学会論文集、第 558 号、II-38, pp. 45 - 60, 1997。
- 3) 陸 曼皎、小池俊雄、早川典生：レーダー雨量情報に対応する分布型流出モデルの検討、第 33 回水理講演会論文集、pp. 91 - 96, 1989。
- 4) 陸 曼皎、小池俊雄、早川典生：分布型水文情報に対応する流出モデルの開発、土木学会論文集、第 411 号、II-12, pp. 135 - 142, 1989。
- 5) 児島利治、宝 馨、岡 太郎、千歳知礼：ラスタ型空間情報の分解能が洪水流出解析結果に及ぼす影響、水工学論文集、第 42 巻、pp. 157 - 162, 1998。
- 6) Quinn, P., K. Beven, P. Chevallier, and O. Planchon : The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models, *Hydrol. Proc.*, 5, pp. 59 - 80, 1991。
- 7) Costa-Cabral, M., and S. J. Burges : Digital elevation model networks (DEMON): A model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas, *Water Resour. Res.*, 30(6), pp. 1681 - 1692, 1994。
- 8) Tarboton, D. G. : A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models, *Water Resour. Res.*, 33(2), pp. 309 - 319, 1997。
- 9) 南 裕一、立川康人、椎葉充晴、市川 温：河道網データセットの新たな表現形式とその生成手法について、土木学会第 52 回年次学術講演会講演概要集、第 2 部、pp. 328 - 329, 1997。

(1998.7.8 受付)

A NEW NUMERICAL REPRESENTATION FORM OF BASIN TOPOGRAPHY

Michiharu SHIIBA, Yutaka ICHIKAWA, Tetsuyoshi SAKAKIBARA and Yasuto TACHIKAWA

When a rainfall-runoff model is developed on a grid-based DEM (Digital Elevation Model), it is often assumed that water flows in the steepest descent direction at each grid point. However, this assumption cannot consider the effect of divergent topography on runoff process. This paper proposes the new numerical representation method of basin topography which can represent both concentration and divergence of water flow using a grid-based DEM. This new method is applied to the Daidogawa River basin in Shiga Prefecture, Japan, and the results shows that this method makes reasonable representation of divergent topography such as peaks and ridges.