



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	GISによる再配列した数値標高データを用いた河道次数解析に関する検討
Author(s)	戎, 信宏; 古川, 智広; 丸谷, 知己
Citation	GIS-理論と応用, 10(2), 1-8 https://doi.org/10.5638/thagis.10.2_1
Issue Date	2002-09
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/67777
Type	journal article
File Information	marutani1.pdf



GISによる再配列した数値標高データを用いた 河道次数解析に関する検討

戎 信宏・古川智広・丸谷知己

Applications of stream order analysis using resampled digital elevation model data on GIS

Nobuhiro EBISU, Tomohiro FURUKAWA and Tomomi MARUTANI

Abstract: The stream network analysis is used to quantify the geomorphological properties of the mountainous basin and examine the relationship between sediment delivery and geomorphological parameters in catchments. It was examined to analyze the stream network by using 50m-DEM data on GIS at a study area of Yudagiri River. The results are as follows. The channel network made from 12m-DEM which was resampled by 50m-DEM on GIS was the closest to that by manual operation. The relative error of stream order analysis indicated the value of 25.5% at the maximum. Moreover, the maximum relative error of DEM(C-DEM) made from the contour line in 1/25,000 maps is 11.5% smaller than that of the resampled 50m-DEM.

Keywords: 数値標高モデル(DEM), 地理情報システム (GIS), 河道次数 (Stream order),
土砂流出解析 (Analysis of sediment delivery)

1. はじめに

河川流域の地形量を定量的に把握することは、土砂移動現象あるいは流出土砂量を推定する上で大きな意味を持つと考えられる。そのために、河道次数解析を行い流域の地形特性と生産土砂量および流出土砂量との関係を見いだして、荒廃河川流域の土砂運搬や河床形態の変化の法則性を明らかにすることが必要となる。例えばTucker and Bras (1998) は、丘陵地の侵食プロセスを河川密度と景観的な地形に関連づけて解析している。Marutani et al. (1999) は、荒廃河川の生産土砂量と河川の堆積土砂量の比から

流域の流出土砂量の変動を推定して、流域面積および次数と土砂流出速度との関係を解析している。

一方、定量的な地形表現である数値標高データを用いた研究として、数値地図（標高）50mDEM研究（古館ほか、2000）やDEMを利用した地形計測の研究では、中山（1998）は、数値地図250mメッシュ（標高）を用いた地形計測により山地の流域分類を行った。また、野上（1999）は50mDEMを用いて地形計測を行い地質との関係を調べた。さらに、DEMを用いた河道次数解析に関するものとして、Helminger et al. (1993) は、DEMを用いて地形の形態的特性とスケール特性に、しきい値面積が影響していることを示した。Snell and Sivapalan (1994) は、しきい値面積を変化させDEMを用いて水系網を発生させ、抽出した水系網から地形パラメータ値や地形関数を調べている。さらに井上・小口(1995) は、

戎：〒790-8566 愛媛県松山市樽味3-5-7
愛媛大学農学部生物資源学科森林環境制御研究室
TEL: 089-946-9876
Geo-ecosystem Control and Watershed Management,
Faculty of Agriculture, Ehime University
3-5-7 Tarumi, Matsuyama, 790-8566 Japan
E-mail: ebisu@dpc.ehime-u.ac.jp

河道水系網の研究として松本盆地の山地流域の水系網特性値の特徴と地形プロセスとの関係を調べている。これらの研究をみると、DEMを用いた定量的な地理学的地形解析の研究はいくつがあるが、数値地図50mメッシュ（標高）を用いた河道次数解析において地理情報システム(GIS)を利用した実用的応用面での問題を明らかにした研究は少ない。

そこで本研究の目的は、GISを用いて国土地理院発行の数値地図50mメッシュ（標高）のデータ（以降、数値地図（標高）と言う）を処理して河道次数解析を行う上での問題点を明らかにする。従来、河川の河道次数解析は2万5千分の1地形図などのアナログ地図を人間が読み取って手作業で行われてきた。そのため解析対象が広範囲な対象区域の場合には、その解析に膨大な時間を要することや解析の作業者の熟練度によって解析の結果に差異が生じる問題があった。

そこで、近年様々な分野で活用され始めているGISを利用して数値地図（標高）をデータソースとした河道次数解析を行い、本研究の解析手法の有用性を検討した。

2. 解析対象地の概要

本研究の解析対象地は、長野県南部の上伊那郡飯島町に位置する与田切川流域（東経137度51分31秒、北緯35度40分40秒）である。図1にその位置を示す。

与田切川は、飯島町本郷で天竜川に合流する河川で、中央アルプス南駒ヶ岳(2814m)、越百山(2613m)等を流域界とし、流域面積42.7km²、流路延長15.9km、平均河床勾配1/9.5の天竜川右支流である。与田切川上流域は、百間ナギに代表される大規模な崩壊地が多く存在する山地荒廃河川である。この流域は、1969年の豪雨災害を契機に国土交通省の直轄砂防区域に編入され、5基の砂防ダム（飯島第1～5ダム）が施工されている。このうち本研究は、与田切川中流にある飯島第5ダムより上流の20.6km²を解析対象区域とした。

3. 解析方法

3.1. 河道次数解析の概要

河道次数解析とは、地形計測の1つの方法で、解析対象とする河道網において、各次数の河道本数、河道勾配、流域面積を求めることで対象とする河川の形態、流域地形を定量的に把握する方法である。河道次数の決定は、Strahler (1952)の方法に従い、「合流前の最大流路次数を示す流路が2本以上ある場合に合流前の河道次数に1を加える」とする定義を用いる。これより求めた河道次数は、Horton (1945)による河道網構成の法則により以下の(1)式から(4)式で表される（岩佐，1979；高山，1974）。

① 河道数の法則

$$R_b = N_u / N_{u+1} \quad (1)$$

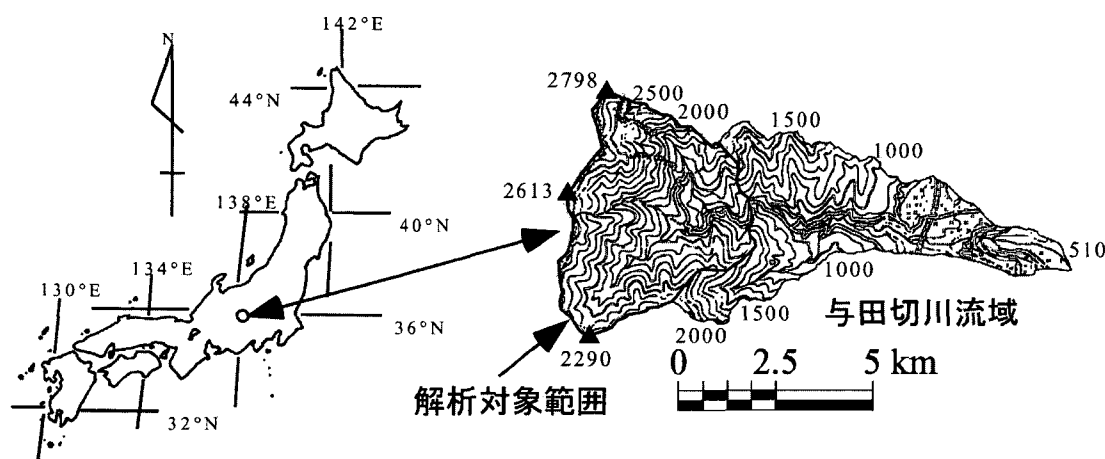


図1 解析対象位置図

② 河道長の法則

$$R_l = L_{u+1} / L_u \quad (2)$$

③ 河道勾配の法則

$$R_s = S_u / S_{u+1} \quad (3)$$

④ 流域面積の法則

$$R_a = A_{u+1} / A_u \quad (4)$$

ここで、 u ：河道の次数、 R_b ：分岐比、 N ：河道本数、 R_l ：河道長比、 L ：ある次数の平均河道長、 R_s ：勾配比、 S ：ある次数の平均河道勾配、 R_a ：面積比、 A ：ある次数の平均流域面積である。

3.2. 河道網作成方法

解析方法のフローを図2に示す。まず数値地図(標高)から作成する河道網において河道次数解析を行う。作成手順は、数値地図25000(地図画像)の図名、安平路山、空木岳の2枚の地図画像より、河道網をベクターデータとして入力した。そして、その形状、河道次数解析の数量を真値と仮定した。このときの作業手順はGISソフト(TNTmips, Ver.6.2, Ver.6.4, MicroImages社)を用いて以下のように行った。

1) 河道本数：GIS上で手作業によって入力作成した河道網を各流路次数に区分して、流路本数を求める。

2) 河道長：河道長は、入力した河道のベクター情報より求める。

3) 流路勾配：各次数に区分した流路の上流点、下流点に対し、属性情報として等高線から読み取った標高を与え、その標高差と水平面上に投影した流路長で除することで求める。

4) 流域面積：各次数に区分した流路に対してGISの画面上で流域界を描き、その作成したポリゴンの面積により求める。

なお、本研究では、河道上流端において地形図上の等高線に接線を引き、その交叉角度が120度以下までを河道の最上流点とみなした。手作業でGISに入力し作成した河道網を図3に示す。

次に、数値地図25000(地図画像)から同じGISソフト(TNTmips)の機能により等高線を抽出し、この等高線から数値標高モデル(DEM)を作成した。この方法は、DEMの発生そのものをGISにある

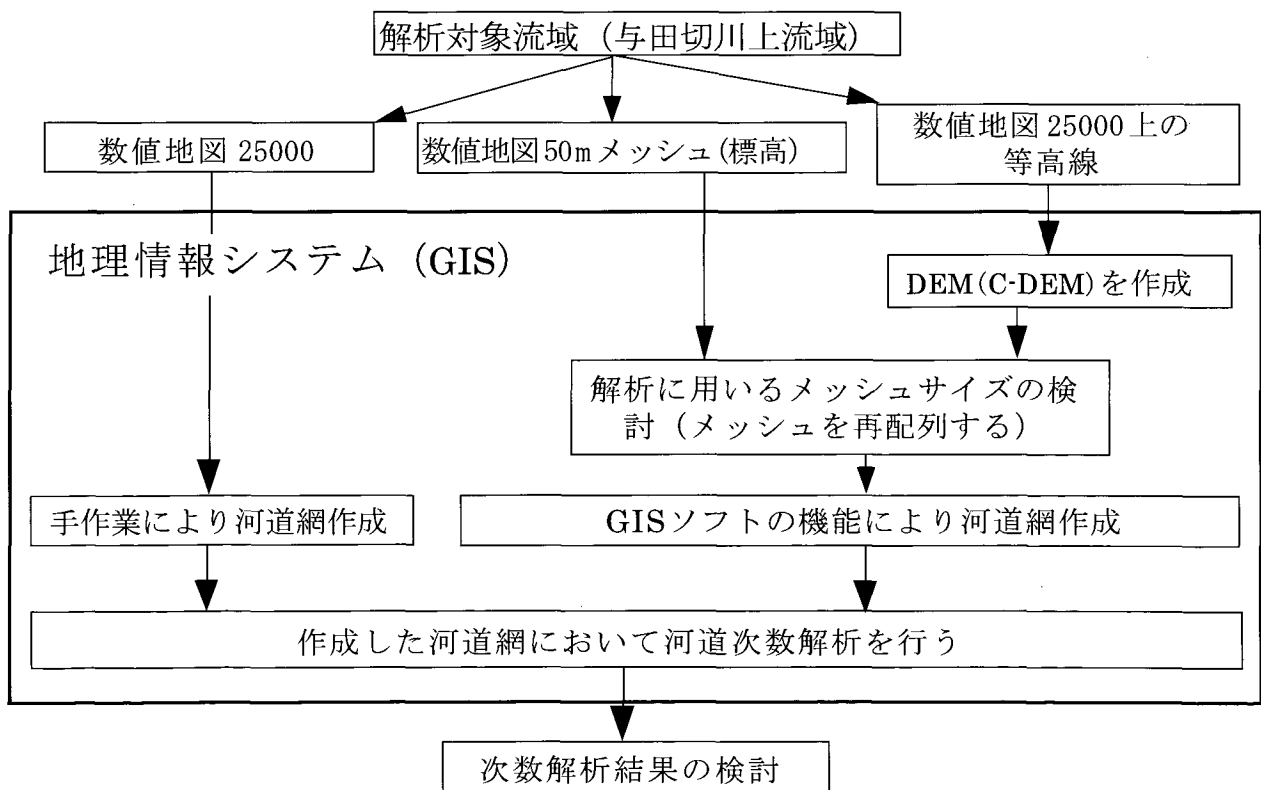


図2 解析方法フロー図

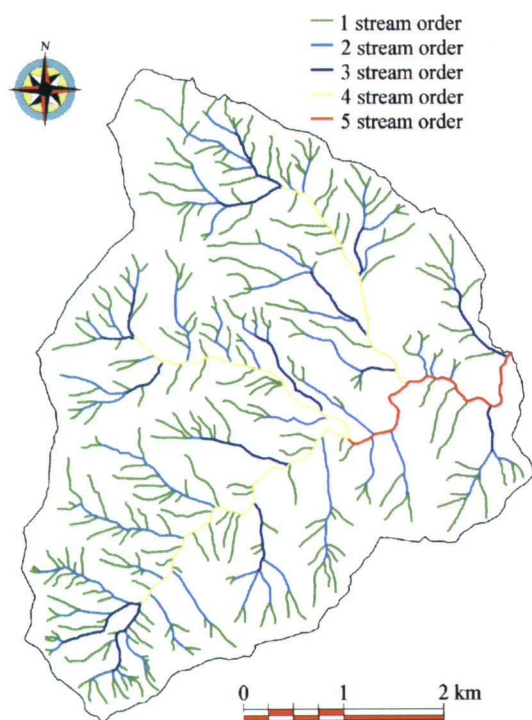


図3 手作業で作成した河道網

DEM作成アルゴリズムを用いて行う。つまり、3次元の情報を持つベクターデータである等高線からDEMを直接作成する方法である。そのため、地表約50m間隔に区切った方眼（メッシュ）中心点の標高を、2万5千分1地形図から計測して作成された国土地理院の数値地図（標高）のDEMを用いて再配列（再配列・内挿法）して細分化する方法とは、そのDEMを発生させるアルゴリズムは明らかに異なる。そのため、再配列・内挿法で計算したDEMより標高値の精度は高いと推察される。そのため、数値地図（標高）のDEMに対して、実用的にどの程度河道次数解析に有効であるのかを検証した。本研究ではこれをC-DEMと呼ぶ。ただし、C-DEMを作成するためには、GIS上で数値地図25000（地図画像）からラスターからベクター変換し、それを修正して等高線として入力する。この修正が作業量として多くの時間を要するため、広範囲な対象区域を解析するには適当な方法ではない。このC-DEMと数値地図（標高）の2つのDEMを用いて解析を行った。

数値地図（標高）から河道網を GISソフト

(TNTmips)の機能を用いて作成する場合、再配列されたメッシュサイズにより作成される河道網の形態に差が生じる。ここで再配列とは再配列・内挿法を意味し、この方法は、衛星画像の幾何補正のときに用いられるものと同じで、数値地図（標高）50mをこれより小さなメッシュサイズに変更するにはこの再配列・内挿法を用いる。この場合、注意点として数値地図（標高）の本来の精度は、再配列したとしても、もとの標高データより精度は向上するわけではない。しかし、河道網作成の処理上、50m以下のDEMで河道網を発生させないと、手作業で得られる河道網に似た流路を作成できないと言う処理上の問題で、再配列・内挿法により50m以下のサイズのDEMで河道網を発生させ、DEMの最適なメッシュサイズを求める。

この最適なメッシュサイズの判定方法は、まず第1に手作業で得られた各次数の河道本数に近いこと、第2に河道の分岐形状が似ていることが重要である。判定作業は以下の方法で行った。まず、手作業で求めた河道網図上において、ここで対象地の与田切川上流域の総合流点数292のうち、河道長の一番長い本流で十分であるとして、この本流から51点の合流点を選んだ。この合流点の箇所を図4に示す。次にその合流点と数値地図（標高）で求めた河道網の



図4 河道網形状のずれを調べた合流点箇所

合流点とのずれについて水平距離と標準偏差を計算し、その値を分岐形状の違いの程度と考えた。

以上の方法によって2つのDEMデータを検討し、GISソフトの河道網発生機能を用いて河道網の作成を行った。そして、河道網発生最適なメッシュサイズのDEMから作成された河道網により河道次数解析を行い、その結果を比較して、数値地図（標高）を用いた河道次数解析の精度を調べた。

ここで、GISソフトの河道網発生機能は、目で判断された手作業の河道網と比較すると完全なものではないので、河道網の形態に不適当な箇所が生じる。そのため、この形状の問題点について以下の3つの河道修正条件を設定した。

- 1) 数値地図25000（地図画像）上で谷と判断できない場所に河道が存在する場合、その河道は削除する。
- 2) 数値地図25000（地図画像）上で谷と判断できる場所に河道が2本平行に存在する場合、数値地図25000（地図画像）上で谷と判断できる方に近い河道を採用し、他は削除する。また、2本の河道が平行に存在するが、上流部で違う方向に分かれている場合、平行である部分は上記と同じように修正する。
- 3) 存在する河道が、数値地図25000（地図画像）上で尾根と判断できる場所を越えて河道が作成されている場合、その河道の最上流点は等高線による谷が存在している場所までとする。

このような条件で河道網を修正し、ほぼ手作業と同じ算定方法で、河道本数、河道長、流路勾配、流域面積を求める。ここで、流路勾配を求めるときの河道の標高値はDEMデータから得た値を用いた。なお、与田切川上流域の河道総数357本に対しそのときの修正した河道数は64本(18%)であった。

4. 解析結果と考察

4.1. 数値地図（標高）のメッシュサイズの検討

数値地図（標高）から河道網を求める際、メッシュサイズの違いによって作成される河道網の形状に差が生じるため、解析に用いる最適なメッシュサイズの検討を行った。まず、対象流域内に2つのテスト

エリアを設けて、数値地図（標高）をメッシュサイズ10m、15m、20mに再配列したDEMから発生させた河道網から河道本数を求め、手作業で求めた河道本数と比較した。その結果を表1に示す。このとき用いた再配列・内挿法の手法は3次たつき込み内挿法である。この2つのテストエリアにおいて、メッシュサイズ10mと15mから作成した河道本数の間に数値地図25000（地図画像）を用いて手作業で求めた河道本数の値が存在した。このことより、数値地図25000（地図画像）を手作業で求めた河道網に近い形状を示すのはメッシュサイズ11m~14mと考えられる。そこで、メッシュサイズ11m~14mからの河道本数を比較した。その結果を表2に示す。

また、河道網の形状と手作業で作成された河道網とのずれを比較した結果を表3に示す。数値は各点のずれを合計して点数で割った平均ずれの距離と標準偏差である。この結果から、合流点のずれはメッシュサイズの11m~14mでは13mが平均ずれの値が少し過大であるが、その他は大きな差はなかった。

表1 メッシュサイズの違いによる河道本数比較
(テストエリア)

テストエリア1				
河道次数	手作業	10m	15m	20m
1	86	93	39	18
2	12	21	11	5
3	2	6	2	1
4	1	1	1	0
テストエリア2				
河道次数	手作業	10m	15m	20m
1	24	35	17	9
2	8	8	5	3
3	3	3	2	1
4	1	1	1	0

表2 メッシュサイズの違いによる河道本数比較
(与田切川上流域)

河道次数	手作業	11m	12m	13m	14m
1	294	331	273	244	212
2	64	69	63	49	44
3	16	15	17	12	11
4	3	3	3	3	3
5	1	1	1	1	1

表3 合流点の平均ずれと標準偏差

メッシュサイズ	距離 (m)	標準偏差 (m)
11m	39.0	23.4
12m	40.8	28.5
13m	49.9	34.6
14m	42.1	22.9

(与田切川上流域：比較合流点数51)

このことから、河道本数が手作業の値に近い12mが本解析対象地においては最適であると判断された。ただし、この12mのサイズがこの流域の特有な値であるのか、普遍的なものであるか不明である。そのため、これをチェックする意味で、この対象地区とは全く地形形状が異なる愛媛県松山市の石手川上流域の19.1km²（標高384mから1143m）で同じ処理方法で最適なメッシュサイズを求めた。その結果を表4、表5に示す。数値地図（標高）の最適なメッシュサイズは9mであった。このことから、地形形状の違いによってこの値は多少変動することが判明した。

表4 メッシュサイズの違いによる河道本数比較
(石手川上流域)

河道次数	手作業	8m	9m	10m
1	356	475	363	305
2	70	90	77	67
3	16	23	19	16
4	6	10	7	2
5	3	4	2	1
6	1	1	1	0

表5 合流点の平均ずれと標準偏差

メッシュサイズ	距離 (m)	標準偏差 (m)
8m	28.6	22.3
9m	26.3	22.0
10m	28.2	27.6

(石手川上流域：比較合流点数27)

4.2. 河道次数解析の検討

数値地図25000（地図画像）をもとに作成した河道網（図3）と、数値地図（標高）をもとに作成した河道網（図5）、さらにC-DEMをもとに作成した河道網（図6）において、GISを利用して行った河

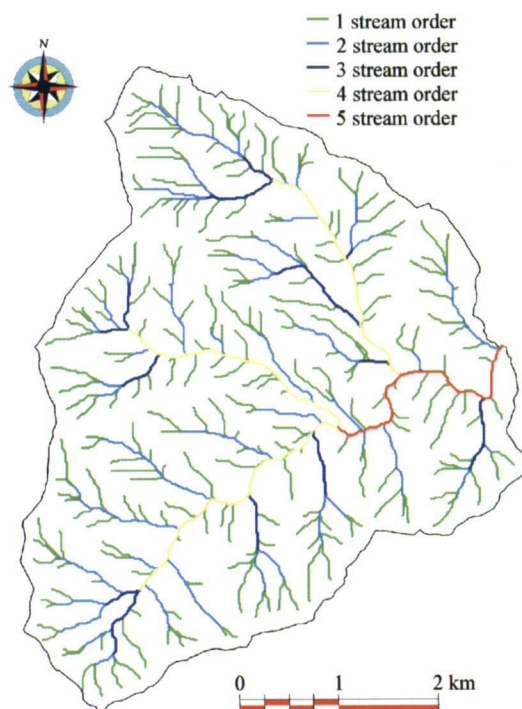


図5 数値地図（標高）から作成した河道網

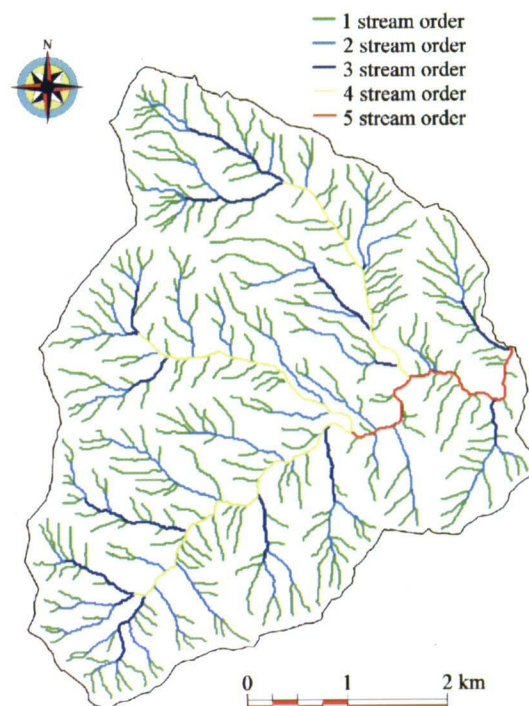


図6 C-DEM から作成した河道網

表6 河道次数解析における相対誤差

河道数比	12mDEM(%)	C-DEM(%)
1次/2次	1.3	10.5
2次/3次	2.0	6.3
3次/4次	18.8	0.0
河道長比		
2次/1次	3.6	11.5
3次/2次	25.5	8.9
4次/3次	22.1	8.9
河道勾配比		
1次/2次	5.3	5.1
2次/3次	5.4	5.1
3次/4次	4.9	0.2
流域面積比		
2次/1次	0.6	6.5
3次/2次	21.7	2.2
4次/3次	0.4	0.0

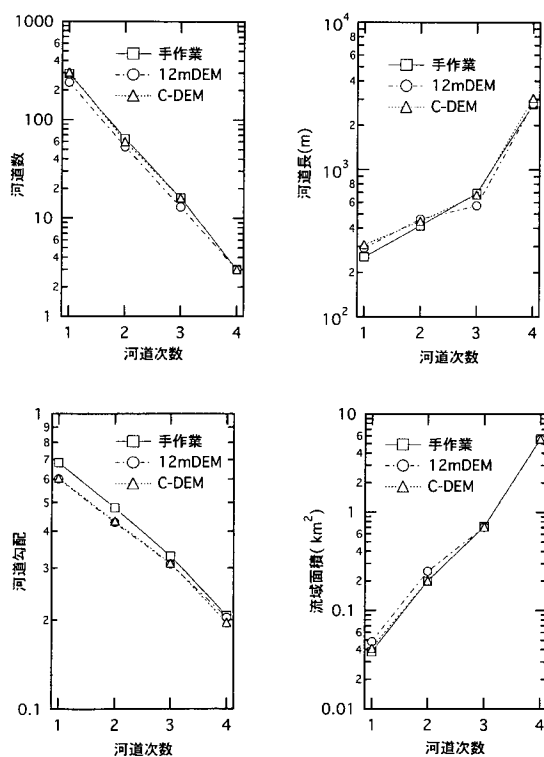


図7 河道次数解析結果

河道次数解析結果を表6と図7に示す。図7で手作業による結果を手作業、数値地図（標高）を再配列して12mメッシュサイズのDEMで作成したものは12mDEMと表記している。またC-DEMのメッシュサイズは、数値地図（標高）と同じように再配列して12mサイズで処理したものである。この結果から、

どの地形量においても大きな差異は生じていない。強いて言えば、手作業と12mDEMとにおける河道数と河道勾配の1次から3次、河道長、流域面積の1次、2次において値に差が生じている。また、数値地図（標高）よりC-DEMの方が手作業の結果に近い数値が多い。

この河道次数解析結果が実用上使用可能かどうかを検討するために、数値地図25000（地図画像）の手作業で得た値を真値としてHortonによる河道網構成の法則の比の値にして相対誤差を調べた。この結果を表6に示す。これを見ると数値地図（標高）では、河道長比3次／2次の最大25.5%の誤差であった。C-DEMでは2次／1次の最大11.5%の誤差であった。なお1次数の河道の判定は、手作業においても誤差が入りやすいことを考えるとC-DEMを用いる方法は、手作業と比較して河道次数解析に用いるなら手作業と同じ程度と考えるべく、また数値地図（標高）を用いるなら、最適な再配列されたDEMで作成すれば、流域の地形量を定量的に把握して、土砂移動現象あるいは流出土砂量との解析を行う上で、十分実用的であると考えられた。

5. まとめ

山地荒廃河川流域の地形特性を定量化し、流域の土砂生産量、土砂流出量との関係を調べるために、河道次数解析が用いられる。従来の手作業による方法では、作業による精度のばらつき、また広範囲な解析対象地では膨大な時間が必要である。これらの問題を解決するためにGISを用いて、市販される数値地図（標高）から河道次数解析を行うことを検討した。その結果は以下の通りである。

- 1) 本研究の解析対象地では数値地図（標高）データを用いる場合、再配列したメッシュサイズは、本論文における河道次数解析手法では、手作業の河道網に近い12mが最適であった。
- 2) 河道次数解析で数値地図（標高）における解析結果は、手作業で数値地図25000（地図画像）を解析した結果に対し相対誤差で最大25.5%の誤差を示した。
- 3) また、数値地図25000（地図画像）の等高線が

ら作成したDEMによる結果の相対誤差の最大は、11.5%で数値地図（標高）より解析精度が高い。

- 4) しかし、C-DEM作成の入力に関する作業量から考えると、数値地図（標高）を用いた最適なメッシュサイズに再配列したDEMを河道次数解析に用いることは十分実用的であると判断された。

問題点としては、

- 1) 解析対象とする区域の地形の違いによって数値地図（標高）50mDEMから作成する最適なメッシュサイズに変動があること、
- 2) 河道次数解析に必要な各次数毎の流域面積を求めるための流域界データの作成はGISソフトの作成機能では十分満足できるものでなく、多くの修正や入力作業が必要であった。

今後、この方法をいくつかの荒廃河川流域に適用して河道次数解析の地形量と土砂の関係を調べていく予定である。

謝辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金（基盤研究(B)(1),代表：丸谷知己，課題番号13460066）の援助を受けた。ここに感謝の意を表する。

参考文献

井上耕一郎・小口高（1995）松本盆地周辺の山地流域の水系網特性。「地理学評論」，**68A** (7), 447-464.
岩佐義朗（1979）『最新河川工学』，森北書店，11-18。

高山茂美（1974）『河川地形』，共立出版，22-33。

中山大地（1998）DEMを用いた地形計測による山地の流域分類の試み。「地理学評論」，**71A** (3)，169-186。

野上道男（1999）50m-DEMによる地形計測値と地質の関係。「地理学評論」，**72A** (1)，23-29。

古館守通・渡辺孝志・安倍英志・横山隆三（2000）数値標高モデルの生成に用いる性能評価。「GIS-理論と応用」，**8** (1)，29-28。

Helmlinger, K.R., Kumar, P. and Foufoula-Georgiou, E. (1993) On the use of digital elevation model data for Hortonian and fractal analyses of channel networks, *Water Resour. Res.*, **29**, 2599-2613.

Horton, R. E. (1945) Erosional development of streams and their drainage basins; Hydrophysical approach to quantitative morphology, *Geol. Soc. America Bull.*, **56**, 275-370.

Marutani, T., Kasai, M., Reid, L.M., and Trustrum, N.A. (1999) Influence of storm-related sediment storage on the sediment delivery from tributary catchments in the upper Waipaoa river, New Zealand. *Earth Surface Process and Landforms*, **24**, 1-16.

Strahler, A. N. (1952) Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography, *Geol. Soc. America Bull.*, **63**, 1117-1142.

Snell, J. D. and Sivapalan, M. (1994) Threshold effects in geomorphological parameters extracted from DEM's, *Transactions, Japanese Geomorphological Union*, **15A**, 67-93.

Tucker, G.E. and Bras, R.L. (1998) Hillslope processes, drainage density, and landscape morphology. *Water Resour. Res.*, **34**(10), 2751-2764.