

地形プロセスモデルによる山地流域の分類手法の検討

池見洋明・Hendra PACHRI・三谷泰浩・日本応用地質学会九支 ILC-WG

A Classification of Mountainous Catchments Based on a Process-based Model.

H. IKEMI, H. PACHRI, Y. MITANI and ILC-WG, JSEG Kyushu branch

Abstract: How much do we have known about the relationship between topography and water in mountainous catchments? For example, prediction of sediment transport through mountainous streams is one of technologies that are needed in the field of sediment management of dams.

In this study, we focus on the relationship between hydrological characteristics and terrain in the mountainous catchments as a basic study that will connect a numerical terrain modeling and sediment transport. More specifically, three terrain parameters were determined with inverse analysis using a process-based model and airborne laser survey data in the mountain catchments that are composed mainly of Mesozoic granitic rocks. Next, hydrological observations, such as electric conductivity and discharges of mountain streams, were carried on the catchments.

As results, the terrain parameters show the approximately normally distributed. The stream discharges show a correlation with terrain parameters. These results mean that the basin topography would have been formed of a single process and have been reflecting sensitively the current hydrological environment. Therefore, the process-based model can be an effective tool to quantitatively analyze the relationship between topography and water in mountainous catchments.

Keywords: 山地流域 (Mountainous catchment)、プロセスモデル (process-based model)、デジタル標高モデル (DEM)、水文観測 (hydrological observation)

1. はじめに

河川流域における様々な人為的インパクトは、流域の土砂移動を変化させ、治水、水資源、環境、生物多様性の視点から、流域の総合的な土砂管理の重要性が認識されている。また、その課題のひとつとして、山地の土砂生産域での合理的な土砂移動の評価・予測技術が求められている。

一方、近年の航空レーザ測量技術は、詳細な

DEM（デジタル標高モデル）の取得を可能とし、それを利用して、プロセスモデルをベースとした地形解析の研究が行われるようになった。その中で、流域地形と降雨量との定量的な関係が報告されている（Perron et al., 2009 など）。この研究結果は、流域地形が比較的短い周期の地表プロセスに反応していること、また詳細 DEM を使用することによって、その定量的な解析が可能となることを示唆している。

本研究では、山地流域の土砂移動とプロセスモデルを繋ぐ基礎的研究として、比較的地質が均質な花こう岩類からなる山地流域を対象とし、地形と水文特性との関係を分析した。

池見洋明 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744

九州大学工学研究院アジア防災研究センター

Phone: 092-802-3397

E-mail: ikemi@doc.kyushu-u.ac.jp

具体的には、これまで提案されている地形プロセスの数値モデルを用いて、山地流域の DEM の逆解析により地形パラメータを求めた。次に、求めたパラメータに対して、現地での水文観測の結果と比較検討した。

2. 研究方法

2.1 対象地域と GIS データ

本研究の対象地域は、九州北部の脊振山塊、三郡山塊の山地流域とした（図-1）。地質は主に中生代の花コウ岩類である。この地域では、ループペンダント状にいわゆる三郡変成岩も確認できるが、分布域は小さくため、同地域は比較的均質な地質であるとして選定した。

地形解析に用いたデジタル標高データは、脊振山塊では国土地理院の 10m 標高 (GS-10mDEM)、三郡山塊では GS-10mDEM および福岡県砂防課より提供を受けた航空機レーザ測量データ (LIDAR) を使用した。LIDAR データからは最小値法により 10m グリッドの DEM を作成した (LD-10mDEM)。

2.2 プロセスモデルと地形解析

近年、地形の進化・形成プロセスの解明の手法として、数値シミュレーションによる研究が行われている。これまで様々なプロセスモデルが提案されているが、本研究では、Perron et al.(2009)の提案するモデルをベースに浸食の抵抗を示すパラメータ E を加えた次の(1)式を使用した。

$$\frac{\delta z}{\delta t} = U + k_d \nabla^2 z - k_c (A^m \nabla z - E) \quad (1)$$

ここで、 z は標高、 t は時間、 U は隆起量、 ∇z は地形の勾配、 $\nabla^2 z$ は地形のラプラシアン、 A は集水面積を示し、 k_d 、 k_c 、 m は定数である。右辺の 2 項目は斜面のプロセス、3 項目は流水による浸食プロセスを示している。また、本研究では、DEM から各地形パラメータをフィッティングによる逆解析により求めるため、地形の勾配と集水面積

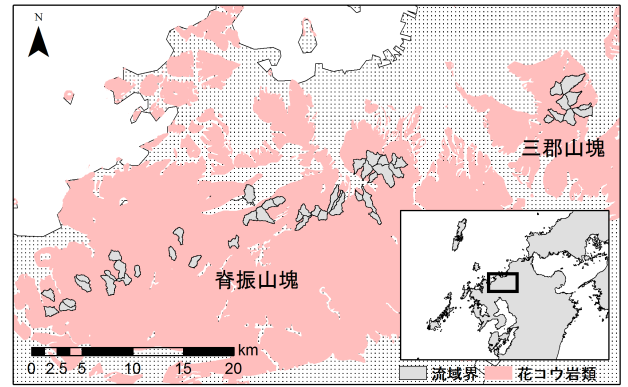


図-1 対象流域の位置と地質

の関係を示す以下の(2)式に変形して用いた。この式の導出は基本的に Perron et al. (2009)と同であるため省略する。

$$\frac{\nabla z}{\nabla^2 z - \nabla^2 z_{ht}} = \frac{k_d}{k_c} (A^m - \frac{E}{\nabla z})^{-1} \quad (2)$$

ここで $\nabla^2 z_{ht}$ は尾根のラプラシアンである。

Perron et al. (2009)では、地形の勾配とラプラシアンからなる左辺のことを Slope Function と定義しており、本研究でもその用語を利用する。また、研究では左辺の項を簡単にするため次のように定義した。

$$E/\nabla z \approx E' \quad (3)$$

そして、(2),(3)式をもとに、Slope Function と集水面積の散布図（図-3,4）を各流域で作成して、曲線フィッティングによる逆解析により k_d/k_c 、 m 、 E' の各地形パラメータを求めた。

2.3 水文観測

脊振山塊では、2011 年 12 月～2 月、三郡山塊では 2013 年 7 月～8 月に各流域の溪流で水文観測を行った。脊振山塊では 40 流域を各 1 回計測、三郡山塊では、8 流域をそれぞれ数回計測した。観測項目は、水温、pH、電気伝導度 (EC)、流量である。水温はガラス温度計、pH は簡易比色計、電気伝導度は YSI-Pro30 で計測を行った。

溪流の流量は乱流している場合がほとんどで、堰や流速計での流量計測は難しいため、流量に応

じて容器法もしくは塩分希釈法にて行った。なお塩分希釈法の原理は次式の通りである。

$$Q = \frac{C \cdot q}{\int_0^{\infty} c \cdot dt} \quad (4)$$

C は投入する塩水濃度、 c は河川で希釈された濃度、 q は投入量、 t は時間である（石橋他、1973）。

塩分希釈法の流量計測方法は、まず EC が 3000 から 4000 mS/m の食塩水を作り、流量の約 1/1000 程度の量を溪流に数秒間で投入する。それと同時にストップウォッチで時間の計測を開始し、溪流幅の約 10 倍離れた下流において 5 秒単位で EC を計測・記録する。その結果、一例として、図-2 のような時間と濃度の図が得られる。次に、計測された塩分濃度を積算し、(4)式に従って流量 Q を計算する。この測定を各観測箇所において、2 から 3 回行った。

3. 結果と考察

3.1 地形解析

地形解析から k_d/k_c 、 m 、 E' の 3 つのパラメータが得られるが、それぞれ相関を示すため、本報告では k_d/k_c のみを検討する。

前記したように DEM は両山塊で GS-10mDEM、三郡山塊では LD-10mDEM を加えた二種類で行った。図-3 および図-4 は、三郡山塊の同じ流域 199 を 2 つの DEM を用いて、Slope Function と集水面積の散布図を作成したものである。図中上に示した数値は地形パラメータであり、流域番号に続く数字がそれぞれ k_d/k_c 、 m 、 E' である。また、黄色の点は区間平均、青と赤のラインは直線と曲線のフィッティングラインである。

この図が示すとおり GS-10mDEM でも求めた k_d/k_c は一桁大きい値を示す結果となった。これは GS-10mDEM から求めたラプラシアン分布が LD-10mDEM のものに比べて小さいことに起因する。国土地理院の 10m 標高モデルは、1/25000 の 50m メッシュ標高のモデル化により作成された



写真-1 塩分希釈法による流量計測

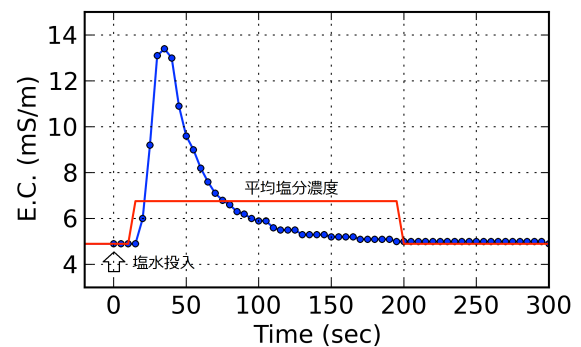


図-2 塩分希釈法による E.C. の測定結果例

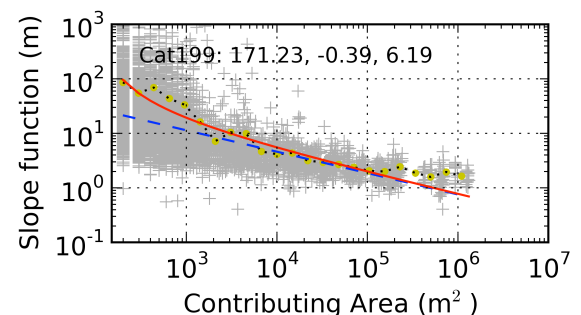


図-3 GS-10mDEM による流域 199 の集水面積と Slope function の計算例

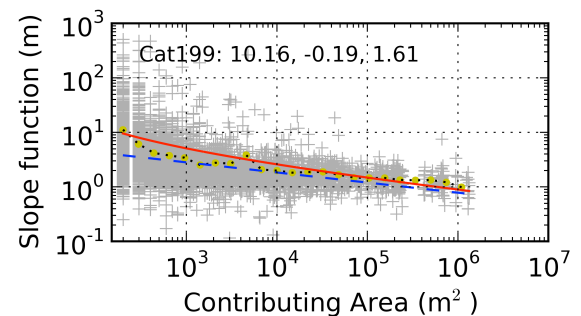


図-4 LD-10mDEM による流域 199 の集水面積と Slope function の計算例

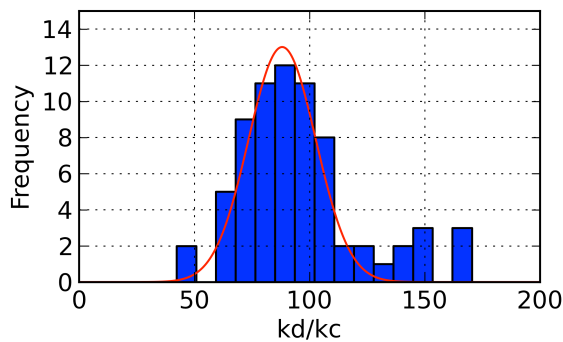


図-5 脊振流域の k_d/k_c の頻度分布

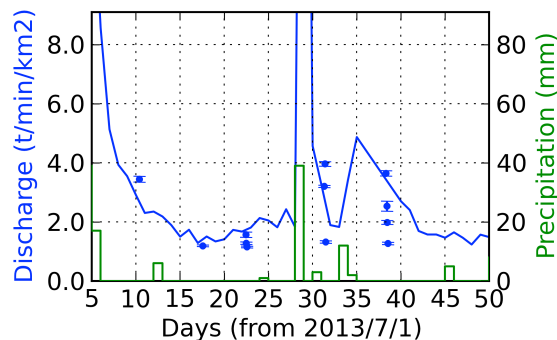


図-6 三郡流域の流量観測結果

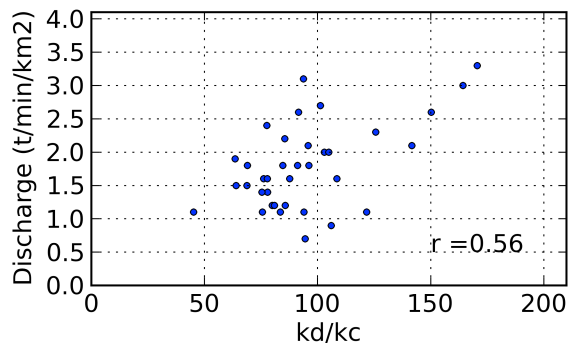


図-7 脊振流域の比流量と k_d/k_c の関係

もので、地表の凸凹が平均化されている。地形解析には、同じソースの DEM を使用する必要があることを確認した。

図-5 は脊振山塊の k_d/k_c の頻度分布を示す。概ね $k_d/k_c = 90$ を中心とする正規分布に近い分布を示している。三郡山塊も同様な分布を示すことから、両山塊とも基本的に同じような地形プロセスで形成された流域が多数を占めていることが示唆される。

3.2 水文観測

図-6 は、三郡山塊での各流域の流量計測結果

(青点)、三郡山南部にある福岡県の北谷ダム(流域面積 0.48km^2) の流入量(青線)および三郡山の降雨量(緑棒線)を示した。流量は各流域で比較するため、流域面積で除した比流量(t/min/km^2)を用いている。各流域とも北谷ダムと同レベルの比流量が確認できた。また、北谷ダムの比流量は降雨に応じて変化し、各流域の比流量も同様な傾向を示した。また、三郡の北西-南西方向に伸びる流域では、降雨により流量増加があまり起きないなど方向による異方性が確認できた。

脊振山塊での比流量については $1\sim 3\text{ t/min/km}^2$ とばらつきがあり、渇水期であっても水の流れが一樣ではないことが確認できた。

3.3 地形と水文特性

図-7 は脊振山塊で得られた地形パラメータ k_d/k_c と比流量の関係である。概ね正の相関が確認できる。傾向として、最もサンプル数が多い $k_d/k_c = 90$ 付近で多様な比流量が分布し、 k_d/k_c が大きいと比流量も大きくなる。なお三郡山塊では、夏季の流量計測結果で、降雨により大きくばらつくため、今のところ、この関係は明瞭ではない。

4. おわりに

今回、得られた結果は、不確定な部分もあるが、概ね流域地形が比較的短い地表プロセスに敏感に反応していると考えられる。また、プロセスモデルにより流域地形を詳細に解析することで、流域の特徴、例えば、水みちに関わる地質構造や土層の発達状況など把握できる可能性を示唆している。その中で、DEM のソースによって地形解析が大きく影響されるという課題も確認した。

参考文献

- Perron et al. (2009): Formation of evenly spaced ridges and valleys, *Nature*, 460(23), 502-505.
 石橋ほか(1973): 小流域の流水に於ける塩分の拡散について, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 28(2), 222-223.