

浸食と堆積による河川形成のシミュレーション

日大生産工 (学部) ○服部 倫之 日大生産工 野々村 真規子

1. はじめに

山地で降った雨はやがて海に流れ込む。その過程で起こる土砂の侵食・堆積によって、河川が形成され、その形は変化し続ける。Coulthard.Tらは長い時間をかけて起こるこの河川の形状変化を扱うための数理的手法を考案し、その成果をCAESAR-Lifloodというソフトとして公開している[1]。このソフトは、LISFLOOD-FP[2]に、CAESAR landscape evolution (CAESAR) モデル[3]の土砂の侵食と堆積を組み込んだもので、様々な研究に用いられている[4-5]。

本研究では、CAESAR-Lifloodを用いて、地盤の傾斜角度を変えて数値計算を行うことで、河川の形状と傾斜角度の関係を数値的に研究した。

2. 数理モデル

2.1. LISFLOOD-FP [2]

LISFLOOD-FPでは、ラスタ形式の格子状の流れを数値計算する。セル間の流量は、1次元の浅水方程式から導かれた次の式を用いる。

$$Q = \frac{q - gh_{flow}\Delta t \frac{\Delta(h+z)}{\Delta x}}{1 + \frac{gh_{flow}\Delta t n^2 |q|}{h_{flow}^{10/3}}} \Delta x \quad (1)$$

ここで、 q はセル間の流束(m^2s^{-1})、 g は重力加速度(ms^{-1})、 n はマンニングの粗さ係数($m^{1/3}s^{-1}$)、 h は深さ(m)、 z は高度(m)、 h_{flow} はセル間の最大の流れの深さ、 Δx は格子のセル幅(m)、 t は時間(s)を表している。セル i, j の水深 $h^{i,j}$ は次の式を用いて更新される。

$$\frac{\Delta h^{i,j}}{\Delta t} = \frac{Q_x^{i-1,j} - Q_x^{i,j} + Q_y^{i,j-1} - Q_y^{i,j}}{\Delta x^2} \quad (2)$$

ここで、 $Q_x^{i,j}$ と $Q_y^{i,j}$ はセル i, j の水深 $h^{i,j}$ や高度 $z^{i,j}$ を式(1)に代入して求められる。時間ステップ Δt は浅水のCFL条件によって

$$\Delta t_{max} = \alpha \frac{\Delta x}{\sqrt{gh}} \quad (3)$$

と決められる。 α は一般的に0.3と0.7の間で定義される係数である。

2.2. CAESARモデル [3]

CAESARモデルは、セルオートマトンを用いて、河川の複雑な非線形地学的応答を数値計算できるものである。ここでは降雨による水の流入を考慮することができるcatchmentモードと、降雨ではなく土砂と水の流入点を指定できるreachモードがある。両モードとも、空間的に分布した高度、粒子サイズなどのパラメーターの値を、セルの格子毎に指定する必要がある。粒子サイズは9つまで指定することができる。堆積物の質量は保存される。このモデルを用いることで、浸食と堆積の空間分布の変化によって地形を変化させることができる。

2.3. CAESAR-Lisflood [1]

CAESAR-Lisfloodは、LISFLOOD-FPに、CAESARモデルを組み込んだものである。水の流れの計算は、式(1)-(3)を用いる。CAESAR-Lisfloodでは、土砂の侵食を

$$\Delta z_{i-1,j} = \Delta z_{i,j} L \frac{(z_{i-1,j} - z_{i,j})}{\Delta x} \quad (4)$$

という式で導入して、水が通る経路の深さを変化させる。浮遊土砂は、CAESARモデルの堆積物運搬法則を用いて表され、次の式を用いて排出される。

$$Q_s = Q \left(\frac{S_{tot}}{h} \right) \quad (5)$$

ここで Q_s はセル間を移動する浮遊土砂(m^3s^{-1})、 Q は水の流れ、 S_{tot} はセル中の浮遊土砂の深さ、 h は水の深さ $[m]$ である。式(2)と同様にして、浮遊土砂の時間変化は、次の式で表される。

$$\frac{\Delta S_{tot}^{i,j}}{\Delta t} = \frac{Q_{sx}^{i-1,j} - Q_{sx}^{i,j} + Q_{sy}^{i,j-1} - Q_{sy}^{i,j}}{\Delta x^2} \quad (6)$$

指定した沈降速度に従って、時間ステップごとに浮遊土砂は堆積する。

3. 実験結果

本研究では、一番単純な場合として、傾斜をつけた平面を初期条件として、河川の形状と初

Simulation of river formation by erosion and deposition

Noriyuki HATTORI and Makiko NONOMURA

期の傾斜角度の関係を調べた。左端と右端の高さの差を ΔH とする。

図1に各時刻での Q_s の総量 $\overline{Q_s}$ のグラフを示す。図1より、勾配が大きいくほど $\overline{Q_s}$ が大きくなることがわかる。また、時間が経つほど土砂の流れが緩まり、 $\overline{Q_s}$ は小さな値になっている。

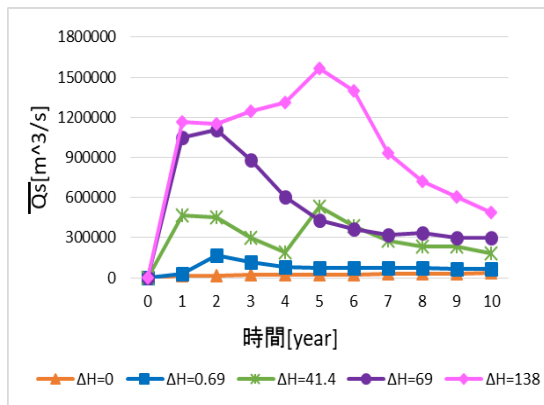


図1. $\overline{Q_s}$ の変化

水の流入点は図2に示す。図3は傾斜角度を変えて数値計算した10年後の結果である。システムサイズは 2×2 (km²)である。より水が流れているところが薄紫で表される。5つを見比べてみると勾配が大きくなるほどより深く浸食され、土砂が流れ、より深い河川が形成されることがわかる。



図2. 水の流入地点

4. まとめ

傾斜している平らな平面を考え、一箇所から水の流入がある場合、どのように河川が形成されるのかの数値計算をCAESAR-Lisfloodを用いて行った。その結果、地面の勾配が大きいくほど浸食と堆積が顕著になり、深い河川が形成されることがわかった。学術講演会では、土砂の種類の割合や土砂サイズを変化させた結果も報告する。

$\Delta H=0$

$\Delta H=0.69$

$\Delta H=41.4$

$\Delta H=69$

$\Delta H=138$

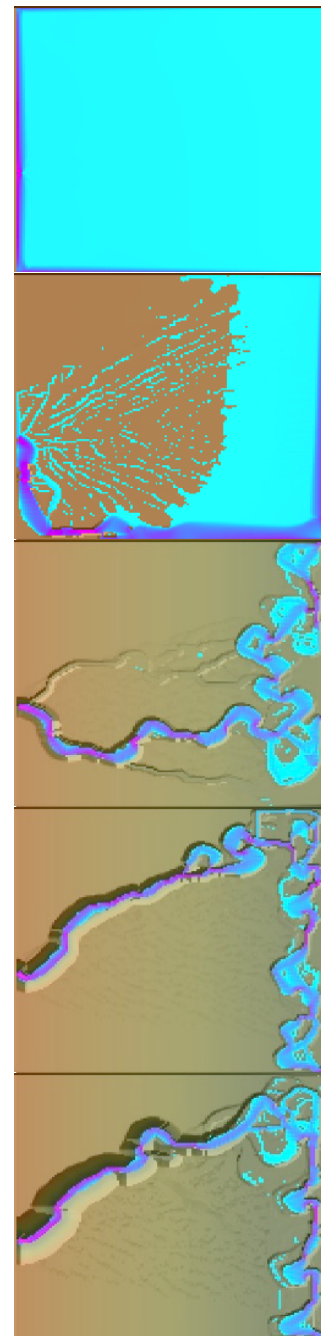


図3. 水の流入開始から10年後の河川の形状

「参考文献」

- [1] Coulthard, T. J., et al., Earth Surface Processes and Landforms 38:1897-1906, 2013
- [2] Bates, P.D., et al., Journal of Hydrology 387: 33-45, 2010
- [3] Van de Wiel M. J., et al., J. Geomorphology 90: 283-301, 2007
- [4] Zellou B., et al., Natural Hazards 86: 1-29, 2017
- [5] Coulthard T. J., et al., Earth Surf. Dynam. 4: 757-771, 2016