

エントロピー生成率最大化の原理に基づく河道網の形成要因の探索

福島大学大学院共生システム理工学研究科 ○学生会員 後藤 元樹
福島大学大学院共生システム理工学研究科 正 会 員 横尾 善之

1. はじめに

流域面積や河床勾配は河川長に依存していることを Gray (1961)が報告して以来、河道網構造に関する研究は現在でも続いている。近年では、Seybold (2017)が数値標高モデル (Digital Elevation Model: DEM)を用いた河道の分岐角が気候特性の一つである乾燥指数に依存することを報告している。しかし、河道網構造の形成要因については、未だよく分かっていない。一方、Kleidon *et al.* (2013) は、開放系の散逸構造はエントロピー生成率を最大化することによって維持されるという「エントロピー生成率最大化の原理」によって河道網構造が維持されている可能性に着目し、その理論的検討を行った。そこで本研究は、「開放系散逸構造を有する河川流域は、外部から共有された降水が持つエネルギーを速やかに排出してエントロピー生成率を最大化することによって河道網構造を形成・維持している」と仮説を立て、それが現実の一級河川の河道網形状を説明できる可能性を検討した。

2. 方法

本研究は、流域面積の値が異なる日本の一級河川である中川、土器川、菊池川、北上川の各流域を対象とした。まず、約 90 m メッシュの数値標高モデル (以下 DEM)である STRM3 データ (NASA Shuttle Radar Topography Mission, 2013)を用いて、流域を 90 m 四方のセルに区分し、流域内のすべてのセルを繋ぐ落水線図を作成した。この落水線図を元に、河道網を形成する累積流量を変化させて、累積流量と総河道長が異なる複数の河道網を流域毎に作成した。次に、地表面を河道と陸地に分け、流域内のすべてのセルから河口に向けて排水する際に河道と陸地の両方を水が流れる際に生じる掃流力にセル内を水が移動する距離である 90 m を乗じることにより、流域内のすべてのセルで消費されるエネルギーの総量を作成した河道網毎に計算した。

以上の計算を流域内のすべてのセルが河道となる状態から徐々に累積流量を増やして流域内のすべてのセルが陸地となる状態までのすべてのケースで行い、流域内のエネルギー消費が最小になる累積流量を探索する。その状態が実際の河道網における累積流量と一致するかどうか検討した。

3. 結果

図 1～4 は、それぞれ中川、土器川、菊池川、北上川の流域において累積流量を変化させた際の河川密度とエネルギー消費量の関係を示している。図中の「min E」は河道および陸面でのエネルギー消費量の合計値である。本研究が立てた「エネルギー消費量の合計値が最小になる状態で実河道網が形成される」との仮説を検証するため、エネルギー消費量が最小となる累積流量を特定し、その累積流量を用いて形成される擬河道網と実河道網を比較した。その結果を土器川流域で示したのが図 5, 6 である。両者は極めて類似していることから、「エントロピー生成率最大化の原理」によって安定河道網が形成されている可能性が見出されたと言える。

謝辞

本研究は、挑戦的研究 (萌芽, 21K18740) の成果の一部である。本研究は NASA が公表している SRTM3 データの DEM を使用した。ここに謝意を記す。

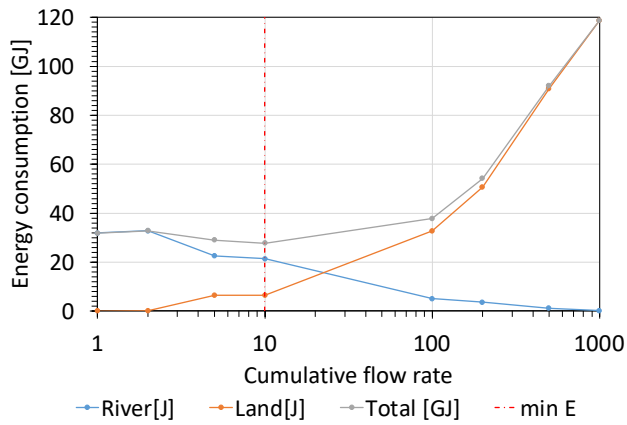


図-1 中川のエネルギー消費

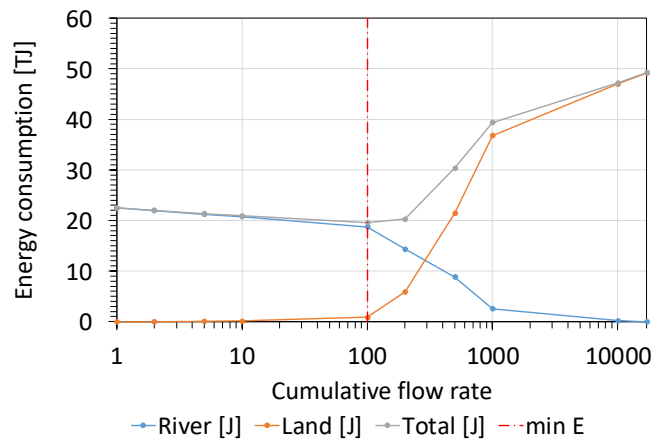


図-2 土器川のエネルギー消費

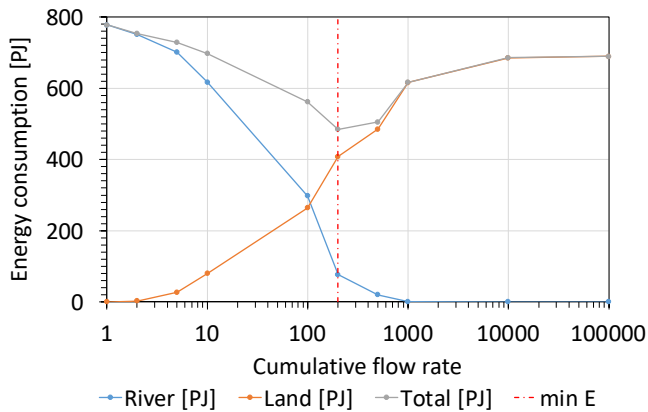


図-3 菊池川のエネルギー消費

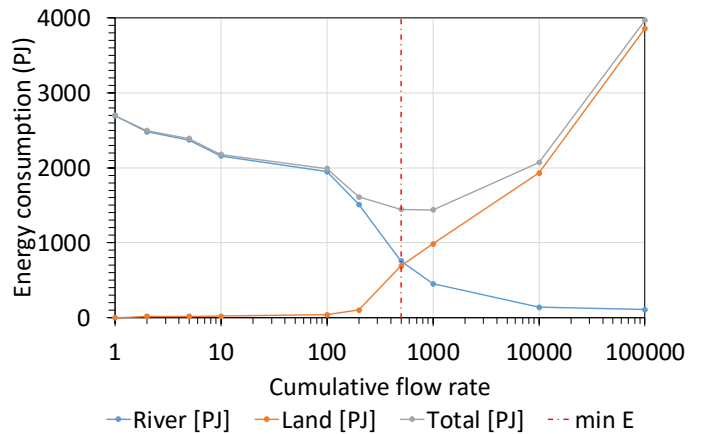


図-4 北上川のエネルギー消費



図-5 土器川の擬河道網

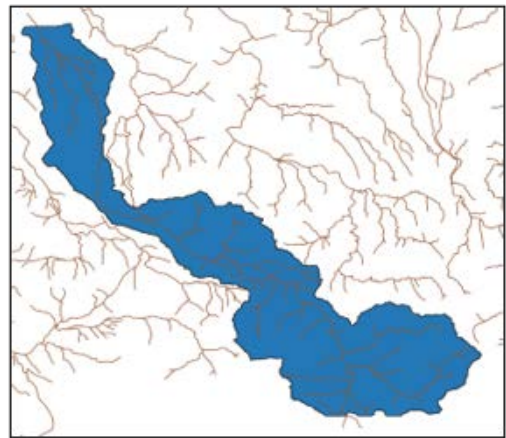


図-6 土器川の実河道網

引用文献

- Gray DM. (1961) Interrelationships of watershed characteristics, J. Geophys. Res., 66(4), 1215-1223, 1961.
- Kleidon *et al.* (2013) Thermodynamics, maximum power, and the dynamics of preferential river flow structures at the continental scale, Hydrology and Earth System Sciences, 17, 225-251. DOI:10.5194/hess-17-225-2013.
- NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (2013) Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Global. Distributed by OpenTopography. DOI: 10.5069/G9445JDF. Accessed: 2022-01-14
- Seybold H, Rothman D, Kirchner J. (2017) Climate's watermark in the geometry of stream networks, Geophysical Research Letters, 44, 2272-2280. DOI: 10.1002/2016GL072089.