



東京学芸大学リポジトリ

Tokyo Gakugei University Repository

千葉県房総半島養老川・小櫃川流域における滝壺深さの規定要因に関する予察的研究（研究ノート）

| | |
|-------|--|
| メタデータ | 言語: jpn 出版者: 公開日: 2020-06-26 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 川島,愛, 青木,久 メールアドレス: 所属: |
| URL | http://hdl.handle.net/2309/159231 |

千葉県房総半島養老川・小櫃川流域における 滝壺深さの規定要因に関する予察的研究

川島 愛*・青木 久**

キーワード：滝，滝壺，落水の攻撃力，岩石の抵抗力，野外調査

I はじめに

滝とは、河床を横断する急斜面で、遷急点と遷緩点とが近接し、流水が自由落下する地点をいう。滝において水が落下する急勾配な斜面は滝面、水の落下地点に形成される滝の崖下に深くほりこまれたくぼ地は滝壺とよばれる（第1図）。滝壺は、落下した流水による洗掘作用によって形成されると考えられている（例えば、鈴木，2000）が、その生成条件や形成メカニズムに関する実証的な研究はほとんどない。

滝壺の形成に関して野外調査をもとに定量的に検討した研究は、わが国では山田（2005）以外にみあたらない。山田（2005）は紀伊半島中央部および北東部に位置する赤目溪谷および養

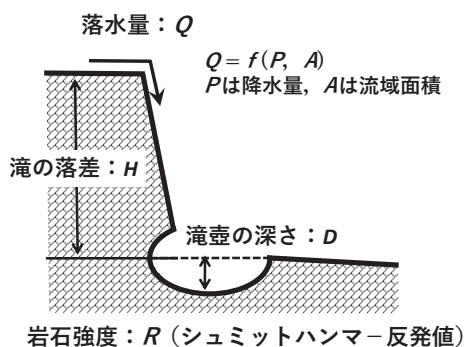
老・鈴鹿山地の5つの滝を対象として滝壺の深さと滝の落差との関係を調べ、落差が大きい滝ほど滝壺の深さは浅くなることを報告している。

滝壺は、滝を落下した水（以下、落水と呼ぶ）の攻撃・侵食作用によって形成されるくぼみである。滝壺の形成を力学的な観点から考えると、落水の攻撃力が滝壺を構成する岩石の抵抗力を上回る条件下で生成されるといえる。しかしながら、滝壺の深さと滝の落差との関係を検討した山田（2005）の研究では、岩石の抵抗力の把握はなされていない。

このような背景を踏まえて、筆者らは滝壺の形成メカニズムの解明という問題に対し、岩石の抵抗力の把握に基づき、力学的な観点からのアプローチが必要であると考えた。そこで本研究では、滝壺の形成メカニズムの解明の第一段階として、滝壺深さの規定要因の探求を目的とし、千葉県房総半島を流れる養老川・小櫃川上流の5つの滝を対象とした野外調査を試みた。得られたデータに基づき、滝壺深さの規定要因に関する予察的な考察を行ったので、その結果を報告する。

II 研究対象地域

本研究では千葉県房総丘陵を水源とする養老



第1図 滝壺の模式図

* 東京学芸大学・学生 ** 東京学芸大学教育学部

川と小櫃川の上流に発達する5つの滝を研究対象とした(第2図). 第2図b)とc)には調査対象地点の位置を示した. 地点1は大多喜町小沢又にみられる小沢又の滝, 地点2~4は大多喜町粟又にみられる深沢の滝, 滝沢の滝, 粟又の滝であり, これらの滝は養老川流域に発達する. 地点5は鴨川市四方木にみられる四方木不動滝で, 小櫃川本流に発達する. 研究対象地点の地質は, 地点1~4の滝壺は同種の岩石で構成され, 第四系更新統の堆積岩である. 地点5は第三系中新統の泥岩である. また, 5つの地点間は7km以内にあり, 調査地域に最も近い大多喜町のアメダスで観測された30年間(1981~2010年)の年降水量は2236.9mmである.

Ⅲ 調査方法

1. 滝壺深さ (D) と滝の落差 (H)

滝壺深さ (D) と滝の落差 (H) のデータを得るために, 滝の頂部から滝壺の下流部にかけて測線を設け, レーザー距離計 (TruPulse 360) と標尺を用いて縦断形の測量を行った. 深い滝壺では, ポータブル測深器 (Hondex社製PS-7FL) を用いた. 第3図は, 測量結果を

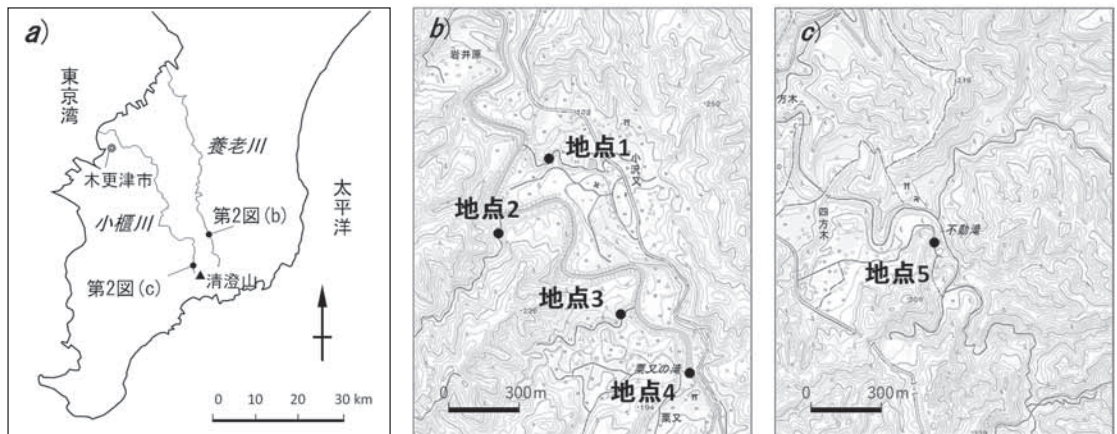
もとに作成した各地点の地形縦断形である. 測線は第4図中に示した. これらの縦断形から, 滝壺深さ (D) と滝の落差 (H) を求めた. 本研究では, 滝壺深さ (D) は滝壺水面からの最大の深さ, 滝の落差 (H) は滝の頂部から水面までの鉛直距離とそれぞれ定義し, 扱うことにする (第1図).

2. 流域面積

滝の落差 (H) は, 落水の攻撃力に影響を与える環境パラメータである. 筆者らは, 滝の落差が一定のとき, 滝壺に落ちる水量が多いほど, 滝壺の形成が起こりやすく, 滝の落差 (H) のみならず, 降水量 (Q) も落水の攻撃力の要素として考慮する必要があると考えた (第1図).

降水量 (Q) は, 降水時に滝上流の流域で集水される河川水の総量であり, 降水量 (P) と流域面積 (A) に依存する (例えば早川・松倉, 2003). 本研究の対象地点は近接していることから, 地点ごとの降水量 (P) の違いを無視できる. そこで, 降水量 (Q) の指標として流域面積 (A) を用いることにした.

各地点の流域面積 (A) の計測には, 地理院



第2図 調査地点の位置

地図のツールの一つである面積計測の機能を用いた。面積計測のツールは地図上で任意の地点を選択し閉曲線をつくることによって、その実面積が算出される機能である。本研究では、地理院地図の標準地図と筆者らが作成した色別標高図を用いて、滝を基点とした分水嶺上を点群で囲むことにより、流域を定め、各滝の流域面積 (A) を求めた。

3. 岩石強度

滝壺を構成する岩石の抵抗力を把握するため、シュミットハンマー (N型) を用いて岩石強度の計測を行った。シュミットハンマーはハンマー (鉄球) による打撃の反発を利用して、岩石の硬度を計測する機器である (松倉・青木, 2004)。計測値は、打撃距離に対するハンマーの反発距離をパーセントで表した反発度 (R) として定義される。 R は10~100の値をとり、値が大きいくほど硬いことを示す。

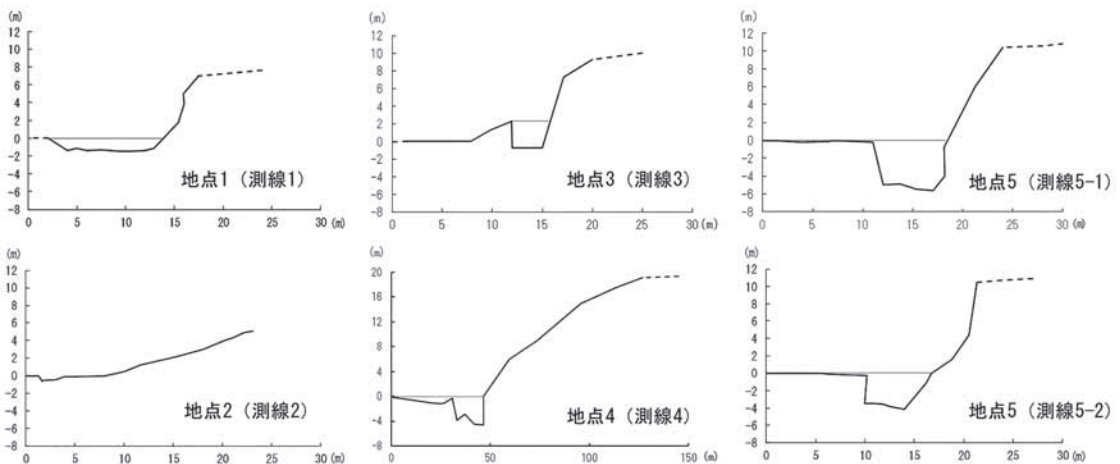
滝壺は落水の作用によって形成されるので、岩石は常に湿った状態で攻撃を受けることになる。したがって、強度計測は滝壺周辺の湿った岩石で、割れ目のない箇所を測定点として実施された。計測方法は岩石表面上で少しずつ打撃

する箇所を変えながら行う単打法で、10回の打撃によって得られた値の平均をその地点の岩石強度 (R) とした。

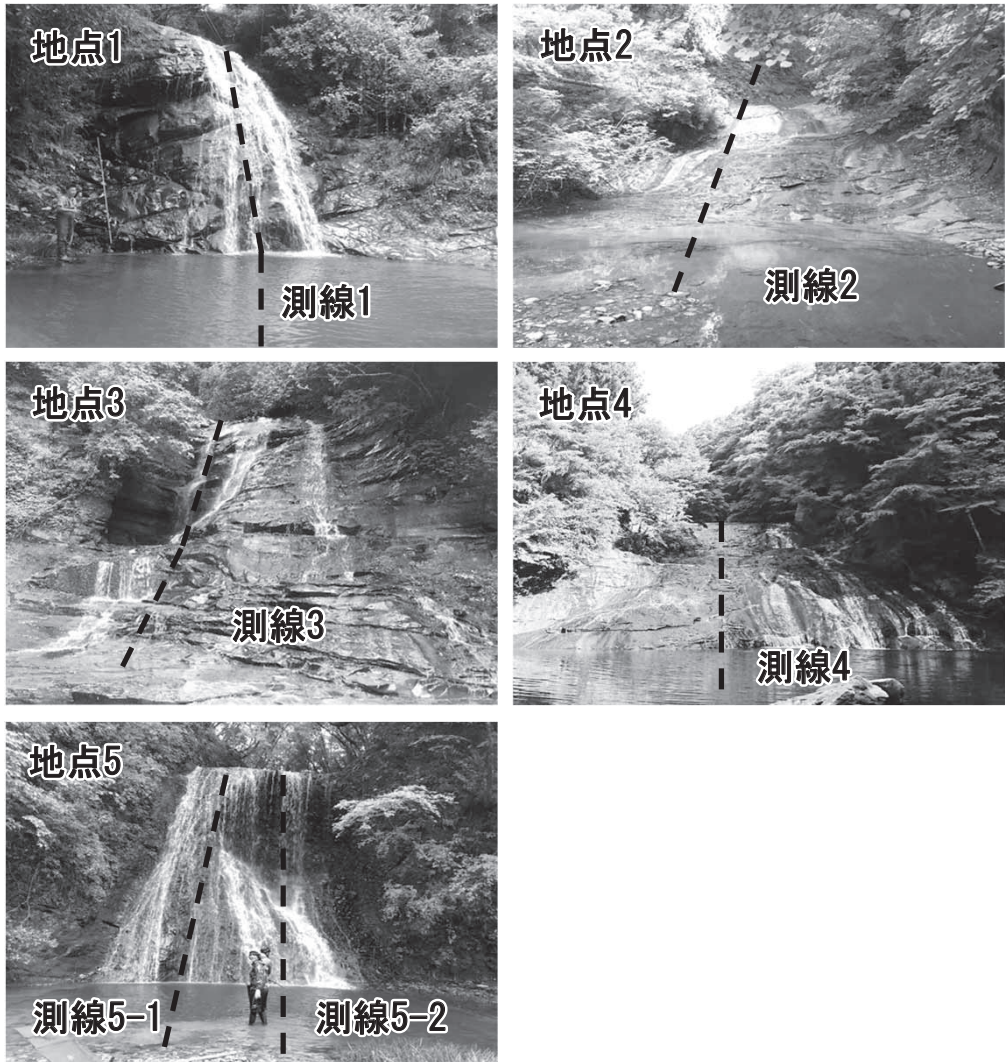
IV 結果

調査対象地点における観察結果を測量・計測結果とともに述べる (第3図, 第4図)。各地点の滝壺深さ (D)、滝の落差 (H)、流域面積 (A)、岩石強度 (R) の測定結果は第1表にまとめた。地点5では、滝面の傾斜が場所によって大きく異なっていたため、測線を2本設け (第4図)、滝壺深さは2つの縦断形から求めた平均値を採用した。

地点1の小沢又の滝には滝壺が形成されていた。滝壺の深さは1.5mで、滝の落差は7.0mであった。地点2の深沢の滝は滝の基部に窪みはなく、緩傾斜した河床が続いており、滝壺は形成されていなかった。滝の落差は5.1mで、滝の基部の遷緩点には滝壺は観察されず、そこから数メートル下流の地点にわずかな窪みが形成されていた。この窪みは現在、直接的な落水の作用を受けているとは考えにくい。滝壺とはみなさなかつた。地点3の滝沢の滝には滝壺が



第3図 各地点の縦断形



第4図 調査地点の滝の様子（図中の破線は測線を示す）

第1表 各地点における調査結果

| 地点番号 | 滝の名称 | 滝壺深さ D (m) | 滝の落差 H (m) | 流域面積 A (km ²) | シュミットハンマー値 R |
|------|--------|-----------------|-----------------|--------------------------------|-------------------|
| 1 | 小沢又の滝 | 1.5 | 7.0 | 0.73 | 30.6 |
| 2 | 深沢の滝 | 0 | 5.1 | 0.59 | 25.6 |
| 3 | 滝沢の滝 | 3.0 | 7.0 | 1.31 | 33.5 |
| 4 | 栗又の滝 | 5.8 | 19.1 | 17.9 | 32.1 |
| 5 | 四方木不動滝 | 4.9 | 10.5 | 2.68 | 38.9 |

形成されていた。滝壺の深さは3.0m、滝の落差は7.0mで、滝の下流には岩石から剥離したとみられる角礫が堆積していた。地点4の栗又の滝には滝壺が形成されていた。滝壺の深さは5.8m、滝の落差は19.1mであった。また、地点5の四方木不動滝には滝壺が形成されていた。滝壺の深さは4.9m、滝の落差は10.5mであった。

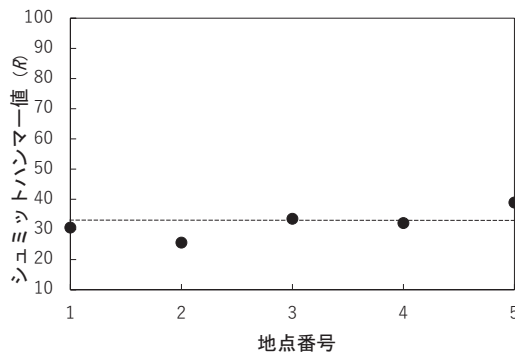
V 考察

まず滝壺の構成岩石の抵抗力について考察する。第5図は各地点で計測したシュミットハンマー値 (R) を示したグラフである。各地点における R は、25.6~38.9の値 (平均値は32.2) を示しており、各地点における岩石強度には大きな違いがみられない。このことから本研究で対象とした滝壺は脆弱な岩石で構成され、落水に

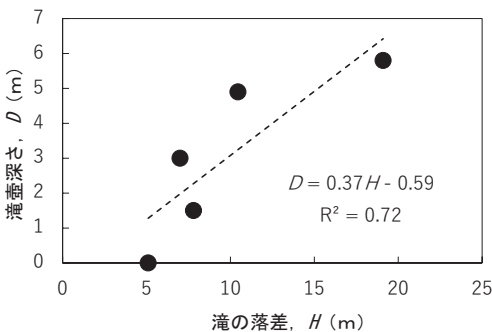
対する抵抗力の場所的差異はほとんどないと解釈できる。

次に、本研究で対象とする滝壺は構成岩石の抵抗力がほぼ一定の条件下にあるとみなし、滝壺の深さと落水の攻撃力 (すなわち滝の落差や流域面積) との関係について分析・考察する。

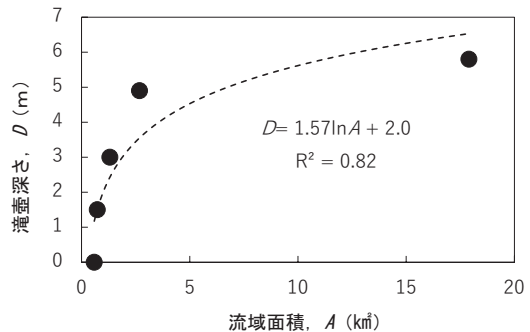
第6図は、滝壺深さ (D) と滝の落差 (H) の関係を考察するため、滝壺深さ (D) を縦軸に、滝の落差 (H) を横軸にとり、得られたデータをプロットしたグラフである。調査対象地域の滝の落差 (H) は5.1~19.1mと地点によって異なり、滝壺深さ (D) は0~5.8mの範囲にプロットされている。 $H=5.1$ mを示す最も落差の低い深沢の滝では、滝壺の形成がみられず ($D=0$)、 $H \geq 7$ mの条件をもつ滝で滝壺が生成されている。データの傾向を読み取ると、落差 (H) が大きい滝ほど滝壺深さ (D) が大き



第5図 調査地点の岩石強度



第6図 滝壺深さ (D) と滝の落差 (H) との関係



第7図 滝壺深さ (D) と滝上流の流域面積 (A) との関係

くなるという右上がりの傾向が認められる。したがって、滝壺深さ (D) の違いには、滝の落差 (H) が関係していると解釈できる。

次に、滝壺深さ (D) に与える落水量 (Q) の影響を考察するために、滝壺深さ (D) を縦軸に、滝上流の流域面積 (A) を横軸にとり、滝壺深さ (D) と流域面積 (A) の関係を示したグラフが第7図である。流域面積 (A) は、 $0.59 \sim 17.9 \text{ km}^2$ の範囲にプロットされ、地点によって大きく異なり、2オーダーの違いがある。 $D=0$ を示す滝壺が生成されない地点2のデータは、流域面積 (A) の最小値 (0.59 km^2) と対応し、滝壺は $A \geq 0.73 \text{ km}^2$ の範囲で形成されている。データの全体的な傾向を読み取ると、流域面積 (A) が大きいほど、滝壺深さ (D) は大きくなる傾向が認められる。このことから、滝壺深さ (D) の違いは滝上流に集まる水量、すなわち落水量 (Q) の違いに関係することが示唆される。

以上、本研究で対象とした養老川・小櫃川流域の5つの滝壺について、得られた結果を整理してみる。(1) 構成岩石の強度 (R) にほとんど違いがなく、(2) 滝壺深さ (D) は、滝の落差 (H) や流域面積 (A) との間に明瞭な相関関係がみられ、落差 (H) の大きい滝ほど、あるいは滝を落下する水量 (Q) が多いほど、滝壺が深くなるという結果が得られた。この結果は、岩石の抵抗力が一定の条件下では、滝壺の深さが岩石に対する落水の攻撃力に制約されていることを示している。

本研究の結果を踏まえ、滝壺の深さの違いは、力学的な観点から次のような説明が可能である。滝壺は、落水量と落水の位置エネルギーに依存する落水の攻撃力が岩石の抵抗力を上回ることにより生成される。そして落水の攻撃力が大きい条件をもつ滝ほど、侵食作用が強くなるため、滝壺が深くなる。

VI おわりに

本研究では、千葉県養老川・小櫃川流域にみられる、構成岩石の強度の場所的变化が小さい滝壺を調査対象として野外調査を実施し、滝壺の深さが落水の攻撃力によってどのように異なるかという問題について考察した。

落差 (H) の大きい滝ほど、あるいは流域面積 (A) が大きいほど、滝壺深さ (D) が大きくなるという結果を得た。この結果は、滝の落差と落水量という2つのパラメータが滝壺の深さを規定する重要な要因であることを示唆する。

滝の落差が大きいほど、滝壺は深くなるという本研究の結果は、山田 (2005) の報告とは逆の傾向を示している。山田 (2005) では、滝壺を構成する岩石強度や流域面積に関する分析は行われていない。今後、岩石強度と流域面積の計測を実施しながら多地点でのデータを収集し、滝壺の深さの規定要因を明らかにしていきたいと考える。

謝辞

本研究は筆者の一人の川島が、2018年度に東京学芸大学社会科地理学教室に提出した臨地研究報告を加筆・修正したものである。牛垣雄矢先生をはじめとする東京学芸大学地理学分野の諸先生方には有意義なご教示をいただいた。また、高瀬南歩さん (現・東京大学・院生) をはじめとする東京学芸大学の学生諸氏には滝壺の測量の際に援助していただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 鈴木隆介 (2000) : 『建設技術者のための地形図読図入門, 第3巻』古今書院。
早川裕一・松倉公憲 (2003) : 日光, 華厳滝の

後退速度. 地学雑誌, 112, pp. 521-530.

松倉公憲・青木 久 (2004) : シュミットハンマー : 地形学における使用例と使用法にまつわる諸問題. 地形, 25, pp. 175-196.

山田周二 (2005) : 赤目溪谷および養老・鈴鹿山地における滝の落差と滝壺の深さ. 地理学報, 36, pp. 35-40.

A Preliminary Study on the Depth of Waterfall Plunge Pool at the Yoro and the Obitsu rivers, Boso Peninsula, Chiba Prefecture

KAWASHIMA Mana* and AOKI Hisashi**

Keywords : waterfall, plunge pool, assailing force of flow, resisting force of rocks, field measurement

*Undergraduate student, Tokyo Gakugei University

**Department of Geography, Tokyo Gakugei University