

山地溪流河床における step-pool 構造の解析

秋山 智弘*・眞板 秀二**・天田 高白**

Analysis of morphologic structure of step-pools in a forested mountain stream

Tomohiro AKIYAMA, Hideji MAITA and Takaaki AMADA

目 次

I はじめに	53
II 研究対象地	54
III 研究方法	56
1. step の定義	56
2. 溪流地形の計測	57
IV 結果および考察	58
1. 平面形と縦断形	58
2. step の分析	58
3. pool の分析	69
V まとめ	72
謝 辞	74
引用文献	74
Summary	75

I はじめに

砂防工事の主対象地である溪畔域は水域と陸域を結ぶ境界にあり、生態的攪乱が発生する場でもあるため複雑で多様な環境が存在する。そこではその環境に依存する多種多様な生物が生息する。また、河川および溪流における生態系を食物連鎖という観点からみると、その頂点に肉食魚があり、荒廃溪流や特殊な水質の河川でない限り、その多寡や質（多様性、遺伝的性質）が生態系の善し悪しを判断する指標となる。魚類は、摂餌、産卵、休息等の目的や生活史に応じて利用

* 元筑波大学農学研究科 Doctoral Program in Agricultural Sciences, University of Tsukuba (formerly)

**筑波大学農林工学系 Institute of Agricultural and Forest Engineering, University of Tsukuba

する場所（河床地形）を使い分けたり、海から上流まで回遊したりするため、多様な河床地形、回遊できる連続した水系が必要になる。一方で、河川に生息するその魚類は、溪畔域に生息する鳥類や陸域の動物の重要な餌ともなっている。したがって、溪畔域の構成要素である瀬・淵や step-pool といった河床地形は、魚類等の保全だけでなく、水域生態系の保全にも深く関係してくる。ところで、砂防工事は土砂制御のために溪流の河床地形を人為的に改変することであり、生物の生息場に大きな影響を与えることも事実である。すなわち、今日要請されている溪流環境の保全を視野にいれた土砂制御という観点からは、砂防工事が生物生息場に与える影響の解明が重要な課題となっている。

本研究ではこの影響解明の第一歩として、前述のように瀬・淵および step-pool 構造が河川・溪流の基本的な地形要素であると同時に生物の生息を規定する重要な環境要素であるとの認識に立ち、人為の影響のほとんどない自然状態とみなされる溪流を調査地に選定し、そこでの step-pool 構造の解析を行った。

II 研究対象地

研究対象地は、千曲川水系三沢川の源流の一つである鞍骨沢流域（図-1）の主流路である。

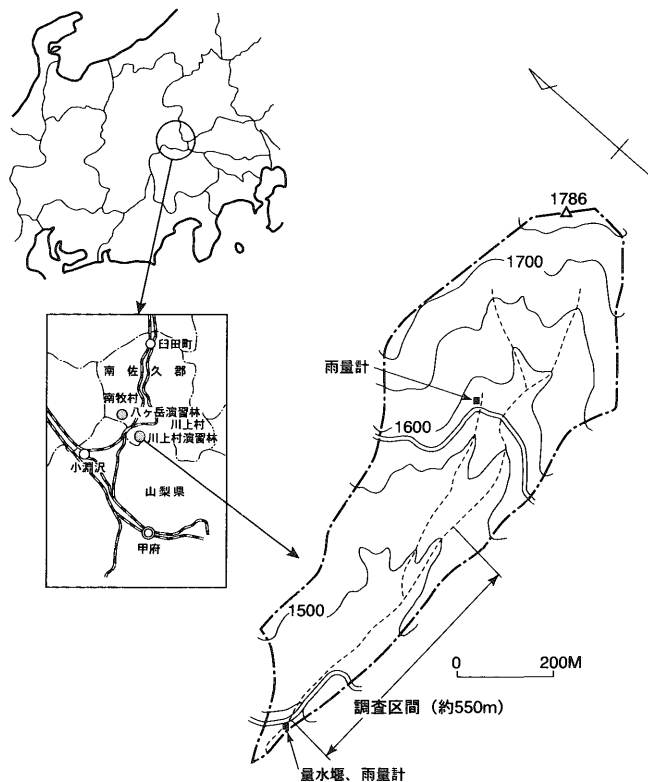


図-1 調査地の位置と概要

鞍骨沢流域は、長野県南佐久郡川上村字矢出川(筑波大学農林技術センター川上演習林第2林班)に位置し、流域の最高地点は1786mで、主流は標高差350mを西流して三沢川に合流する東西に細長い面積0.378km²の流域である。

地質は、新第三系飯盛山火山岩類に属する安山岩を基岩とする火山角礫岩からなるが、これら岩石は風化が進んでいる。地形は、標高1550m地点から急峻になり、それより下流は比較的緩やかで堆積土層が厚い。基岩は、標高1480m地点から上流の河床や溪岸では露出するようになり、標高1560m地点には約2.5mの小滝がある。崩壊は源頭部に見られるが規模は小さい。また、斜面下部では土壤水分が飽和状態になりやすく、滑るような形での規模の小さな表層崩壊が発生することがある。対象溪流の通常時の流路幅は1～2mと狭いが、谷底の幅は5～23mと大きく変化する。標高1460m地点から谷底幅は10m程度に狭まり、標高1495mの合流点から上流では、さらに狭まり、谷底に平坦部分が見られなくなる。河床勾配は、大局的にみれば、量水堰の直上から標高1495mの合流点(量水堰から425mの地点)までは9.1%、それより上流は13.4%である。植生は、カラマツ、ストロブマツからなる針葉人工林とミズナラ、カンバ、カエデ類などからなる落葉広葉樹林で構成され、源頭部には一部草地が見られる。また、斜面や溪岸には、低木やイタドリ、トリカブト、ツリフネソウ、セリ類、アザミ類、シダ植物などの湿性を好む植物が繁茂する。

この流域はほぼ森林に被覆され崩壊も少ないため、土砂流出はかなり少ない。そのため、この溪流には治山・砂防ダムはなく、植生も豊かであり、ほぼ自然状態が保持されているといえる。また、量水堰ではイワナの成魚を、それより上流では稚魚も確認しており、河床は産卵場所として利用されていると考えられる。また、溪流魚の餌の一つである水生昆虫も確認している。冬季は雪に覆われ、溪流では凍結がみられる場所もある。流域出口には、量水堰と雨量計を設置し、流量、雨量および土砂量の観測を行っている(写真-1)。

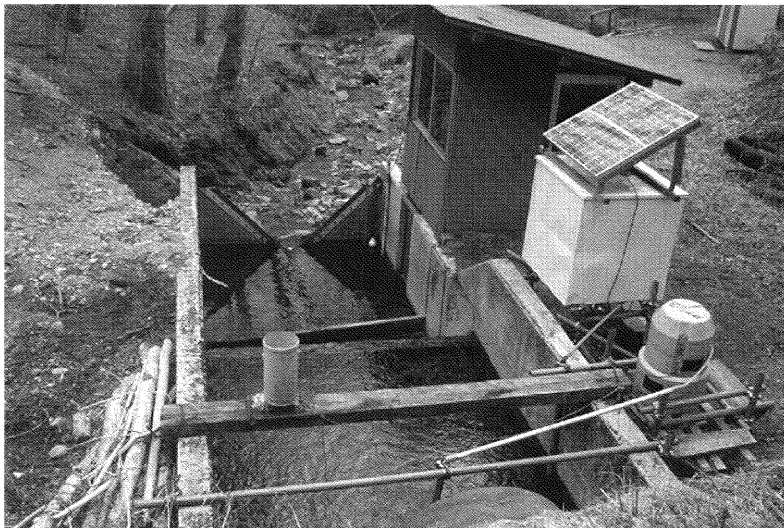


写真-1 流域下流端に設置された量水堰

III 研究方法

1. step の定義

本調査溪流は、可児(1944)の分類によれば Aa 型に相当するが、必ずしも落ち込み(step-pool)が連続しているわけではなく、平瀬のように平坦で浅い場所も多く見られる。Grant (1988) や Takahashi(1990)の方法により分類すると、step と pool の河床地形は判別できるが、Grant(1988)が設けた年1回洪水の平均川幅や Takahashi (1990) が設けた年1回洪水の平均水深による分類基準では、規模が小さくて基準長を越えないため、彼らの定義によるサブユニットになってしまう。また、一見、平瀬のような地形ではあるが、かなり急勾配な地形もあり何に分類したらいいか判断できないものも存在する。Grant (1988) や Takahashi (1994) が調査を行った河川の平均勾配(約2~4%)と異なり、本調査溪流の平均勾配は約9~13%になるため、彼らの方法では分類できない地形が存在すると考えられ、急勾配の溪流では何らかの他の基準や分類法を考える必要がある。しかし、本研究ではこの問題に立ち入らず、すなわち分類法には重点を置かず、明らかに判断できる階段状の河床地形(step)を対象とすることにした。

step は、基本的に礫によって構成されている。その礫は兩岸を結ぶように溪流を横断し、流れの方向に対してほぼ垂直に列をなして並んでいる。そして、ほぼ垂直な段差があり、階段状になっている(写真-2)。本研究では、この構造を step と定義した(図-2)。step には、その下流側に pool が形成され、step-pool として対になっている地形や、step だけが独立して存在している地形がある。step に関係なく形成される pool もある。また、pool は土砂堆積により埋まることがある。

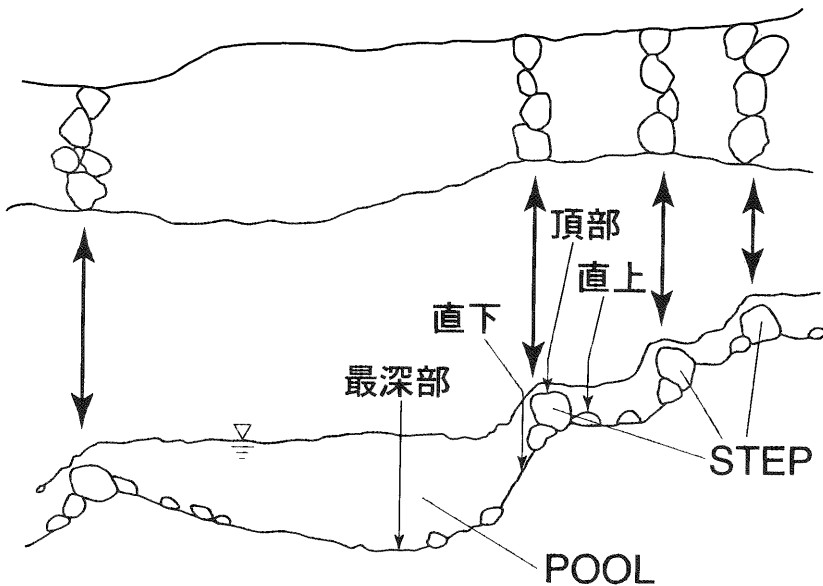


図-2 step-pool の概念図とその形状把握のための測量位置

step は、礫の集積によって形成されるが (Grant, 1988 ; Takahashi, 1990), step を構成する礫に枝や流木が引掛かった地形や流木によってできた step, 岩盤による step も存在する (Keller and Swanson, 1979 ; Richard, 1982 ; Wohl and Grodek, 1994)。本調査溪流では、一部岩盤による step も見られたが、調査区間の step は主に、礫や流木のみで形成された step, または礫と枝や流木が絡まった step である。本研究では、step の構成材料について触れる場合は、礫のみで形成されているものを step, 枝や流木のみで形成されているものを woody debris (w.d.), 礫と枝や流木が絡まって形成されているものを step woody debris (s.w.d.) と呼ぶことにした。そして、step を構成する材料について触れない場合は、構成材料にかかわらず、全てを step として呼ぶことにした。

2. 溪流地形の計測

step-pool の平面的分布や縦断的变化を把握するために、平面測量、縦断測量を行った。また、step の構造を把握するために、step 幅、step 構成礫径の計測を行った。以下は各項目の測量、測定、観測の詳細である。

①骨組測量：約20～50m 間隔で溪岸に杭を打ち、コンパスで骨組測量を行った。

②平面測量：流路の平面形をコンパスを用いて測量した。流路の屈曲点ごとにコンパスを設置して方位角を求め、さらに流路幅や屈曲点間の距離を測定した。屈曲点間において流路幅に大きな違いがある場合は、その地点の流路幅とその位置も測定した。

③縦断測量：河床地形の縦断变化をレベルを用いて測量した。溪岸にレベルを設置し、河床地形の変化点にスタッフを立てて高さを求めた。特に、step と pool の縦断形を把握するために、step の場合、step の直下、頂部、直上に、pool の場合、最深部にスタッフを立てて測量した (図-2) (但し、step 直下と pool 最深部が一致することがある)。それと同時に、スタッフを立てた位置 (地形変化) を求めるために距離を測定した。

④ step 幅、step 構成礫径の計測：step 構造を分析するために、step 幅と step を構成する礫の粒径を計測した。step 幅は、量水堰から約190m 上流までの区間と合流点から約50m 上流までの区間で計測した。step を構成する礫の粒径については、量水堰から約70m 上流までの区間では、26個の step を構成する主な礫111個と、合流点から約50m 上流までの区間では、21個の step を構成す



写真-2 調査溪流の step-pool

る主な礫112個について、それぞれの長軸、中軸、短軸の三軸を計測した。

IV 結果および考察

1. 平面形と縦断形

本調査溪流における流路と step-pool の平面分布に対応する河床地形の縦断変化を示す(図-3 a~3 d)。この平面図の流路は平水時のもので、所々で屈曲しながら流れている。図-3 a~3 d の流路内に書き込まれた流路を横断する形の実線は step を、二重線は woody debris, step woody debris を示し、点線で囲まれた部分は pool を示す。場所によっては、中州も存在する。この平面図は、量水堰の直上流部を基点として、それより上流の流路長約535m の区間を測量し、その結果を基に作成した。また、step 位置は、縦断測量のデータを基にしている。図-4 の平面図は、調査区間全体の流路の状況である。step が密集して存在する場所もあれば、平坦で step のない場所もある。

図-5 は河床地形の詳細な縦断図で、量水堰から約425m の地点(標高約1495m) に合流点があり、その地点で河床勾配は9.1%から13.4%に変化する。

2. step の分析

step は、礫や流木、岩盤、またはそれらが複合したものによって形成される。本調査区間では、

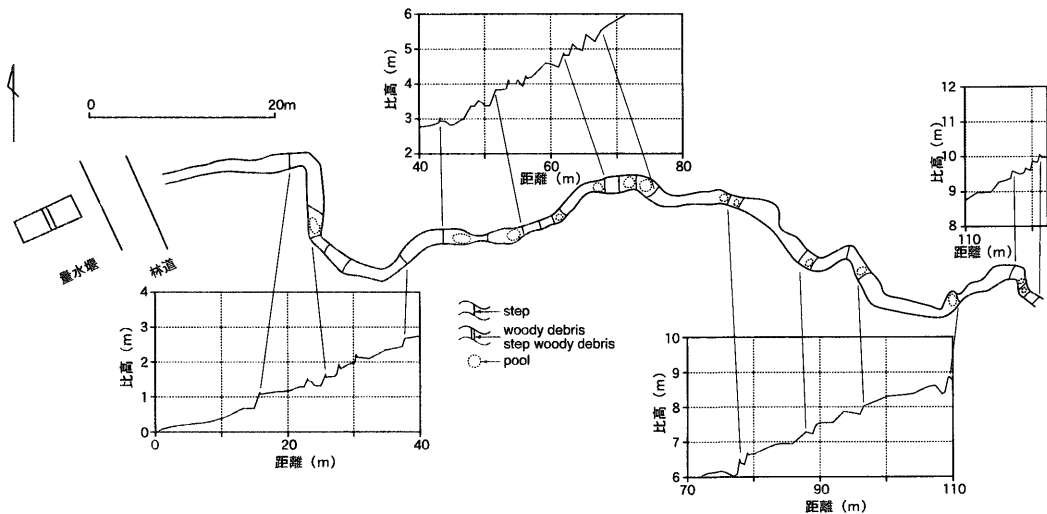


図-3 a 調査区間の流路と step-pool の平面分布および step-pool に対応した河床縦断変化

山地溪流河床における step-pool 構造の解析 (秋山 他)

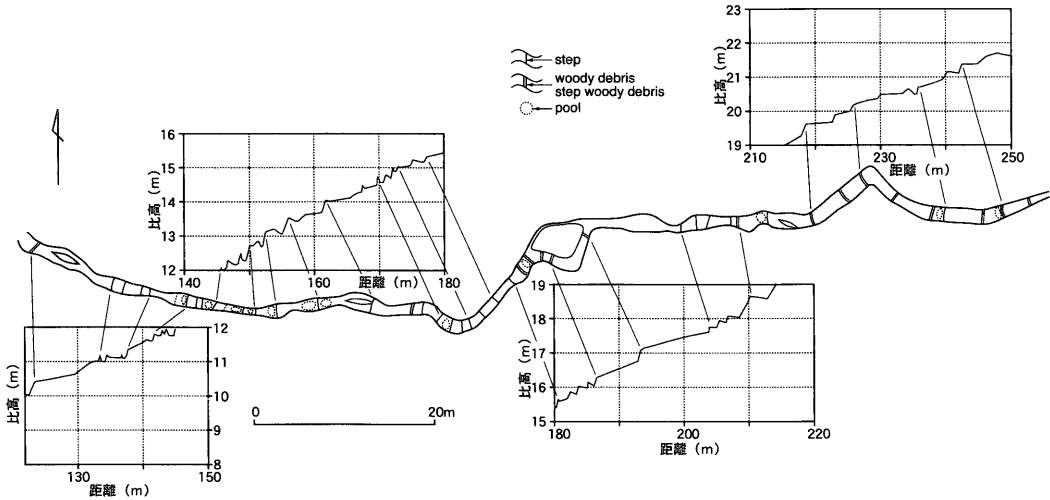


図-3 b 調査区間の流路と step-pool の平面分布および step-pool に対応した河床縦断変化

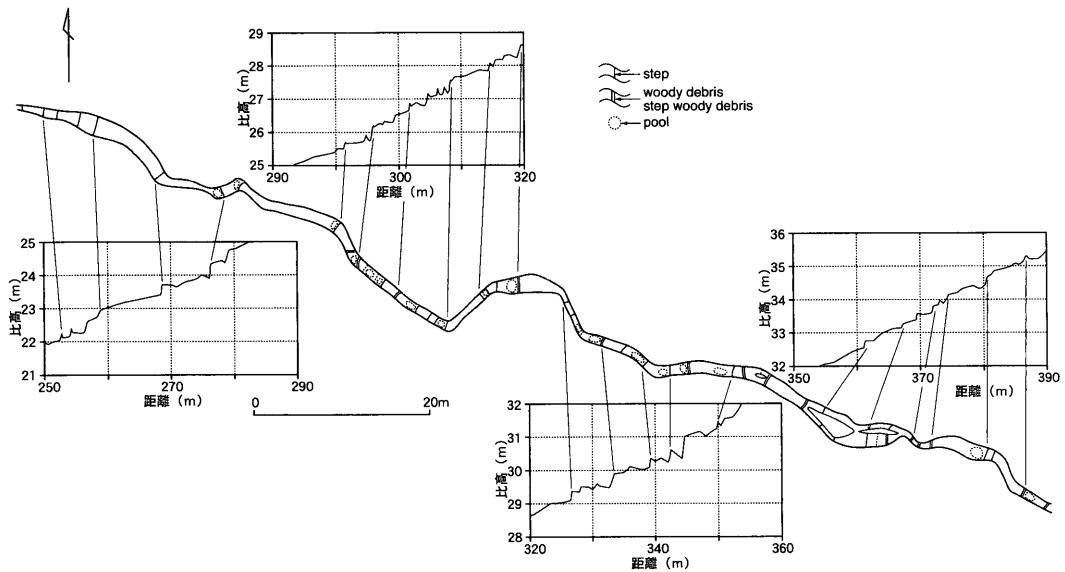


図-3 c 調査区間の流路と step-pool の平面分布および step-pool に対応した河床縦断変化

191個の step が確認されている。そのうち、流木や枝のみによって形成された woody debris (w. d.) は25個 (13.1%)、礫と流木などが複合した step woody debris (s.w.d.) は33個 (17.3%) である。残りの step は礫のみによって形成されたもので、133個 (69.6%) である。流木や枝によって形成されている step の数が、全体の約30%に及んでいるのがこの溪流の特徴である。step が流木や枝によって形成されると、その間隙や上流側には、上流から流れてきた有機物や土砂が集積する。ここで集積した有機物は水生生物の餌となり、その場所は水生生物の生息場所にもなる。

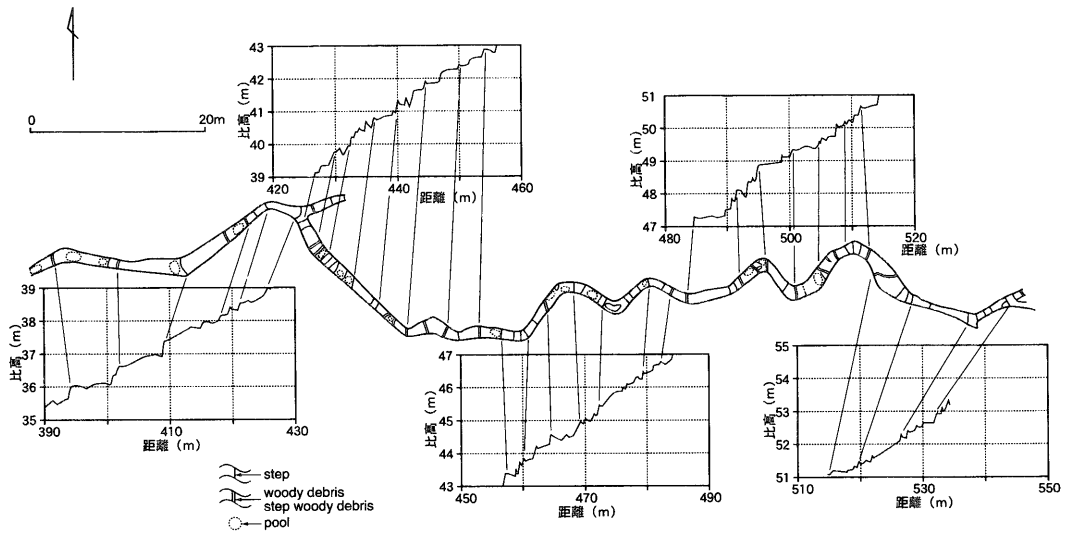


図-3 d 調査区間の流路と step-pool の平面分布および step-pool に対応した河本縦断変化

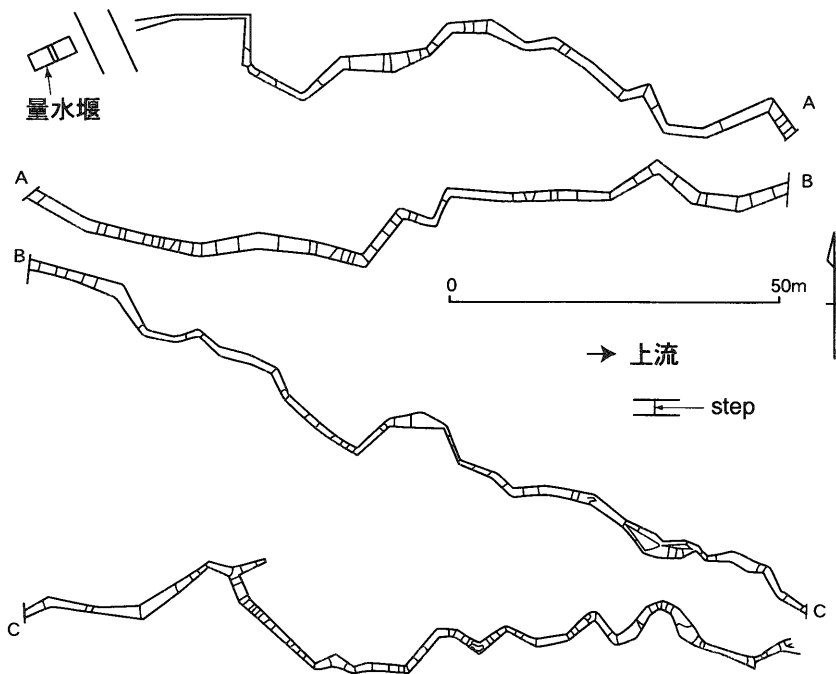
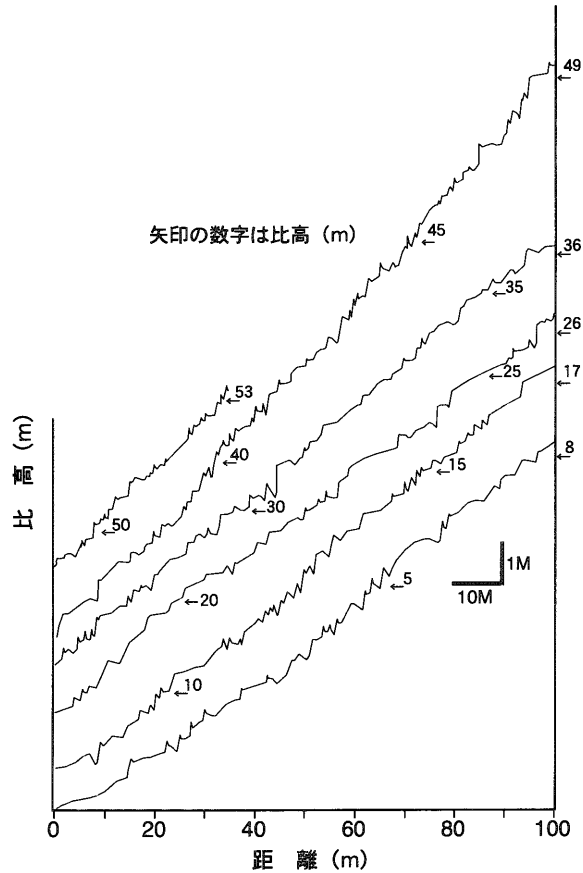
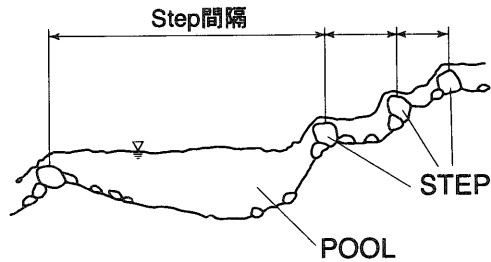


図-4 調査区間全体の step-pool の平面分布

また、この土砂の集積機能は土砂の流出量を調節する。step の構造は、それを特徴づける step 間隔, step 高, step を構成する礫の粒径, step 幅からなる。本研究では, step 間隔 (step length) とは, step と step との間の水平距離 (図-6), step 高 (step height) とは, step 頂部の高さとその下流の一番高い河床高との差 (図-7), step 幅とは, step の流路横断方向の幅 (図-8) と



図一五 調査区間の河床縦断形



図一六 step 間隔の定義

して定義した。

芦田ら (1985) は、step 間隔を波長、step 高を波高と呼んでいる (但し、波高は step 頂部の高さとその直下の最低河床の高さの差としている)。step 高 (波高) については、芦田ら (1985) のような定義も考えられるが、pool に土砂がたまることもあることから、本研究では前述のように定義した。なお、step 間隔と step 高の値は、測量データを基に計算した。

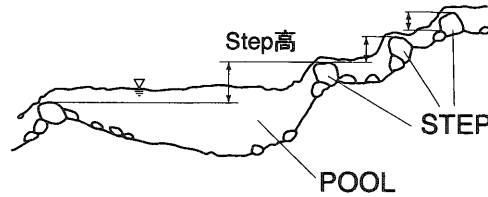


図-7 step 高の定義

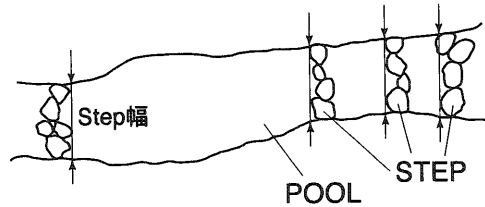


図-8 step 幅の定義

1) 河床縦断の平滑化と河床勾配の区分

分析に必要な河床勾配を求めるために、河床地形の縦断測量の結果(図-5)を9点移動平均することによって平滑化した。

平滑化すると大きなスケールの河床変化があらわれるので、その変化点間の平均勾配を計算することにより大局的な河床勾配変化を把握した(図-9a~9j)。計算によって得られた勾配の範囲は、2.7%~20.5%である。この値は、stepの分析に用いた。

2) 勾配とstep間隔の関係

step間隔の縦断(上流)方向の分布を図-10に示す。300m付近と425m付近を境に、step間隔にばらつきが少なくなり、その境より上流では、step間隔に上限があるような傾向を示す。425mより上流の区間では、step間隔は約5m以内にあり、300m~425mの区間では、step間隔は約7m以内にある。しかし、それより下流の区間では、step間隔は幅広くばらついている。これらのstep間隔の分布には、地形的な要素が関わっていると考えられる。ちょうど425m付近には合流点があり、そこを境に勾配に明らかな違いが見られる。また、300m付近についても勾配の違いは小さいが勾配変化点は存在する。つまり、step間隔は勾配と関係がある可能性が考えられる。

step間隔と勾配との関係を探るために、大局的に区分した河床勾配(図-9a~9j)とstep間隔を対応させた。そして、その一定勾配区間に対応するstep間隔を平均して、勾配との関係を示した(図-11)。図-11をみると、勾配が急になるにつれてstep間隔が狭くなる傾向がみられる。すなわち、勾配10%を境にして、10%以下では、勾配とstep間隔の包絡線は急激に下降し、step間隔が狭くなることを示すとともにそのばらつきも少なくなることを示している。また、10%以上についても、包絡線は下降し、勾配が急になればstep間隔も狭くなるという関係はみられる。しかし、その下降の割合は減少し、step間隔のばらつきも10%以下に比べて小さく、包絡線はstep間隔約4mの位置を通過する。これは、10%以上の勾配では、step間隔が約4mの範囲に収まる

山地溪流河床における step-pool 構造の解析 (秋山 他)

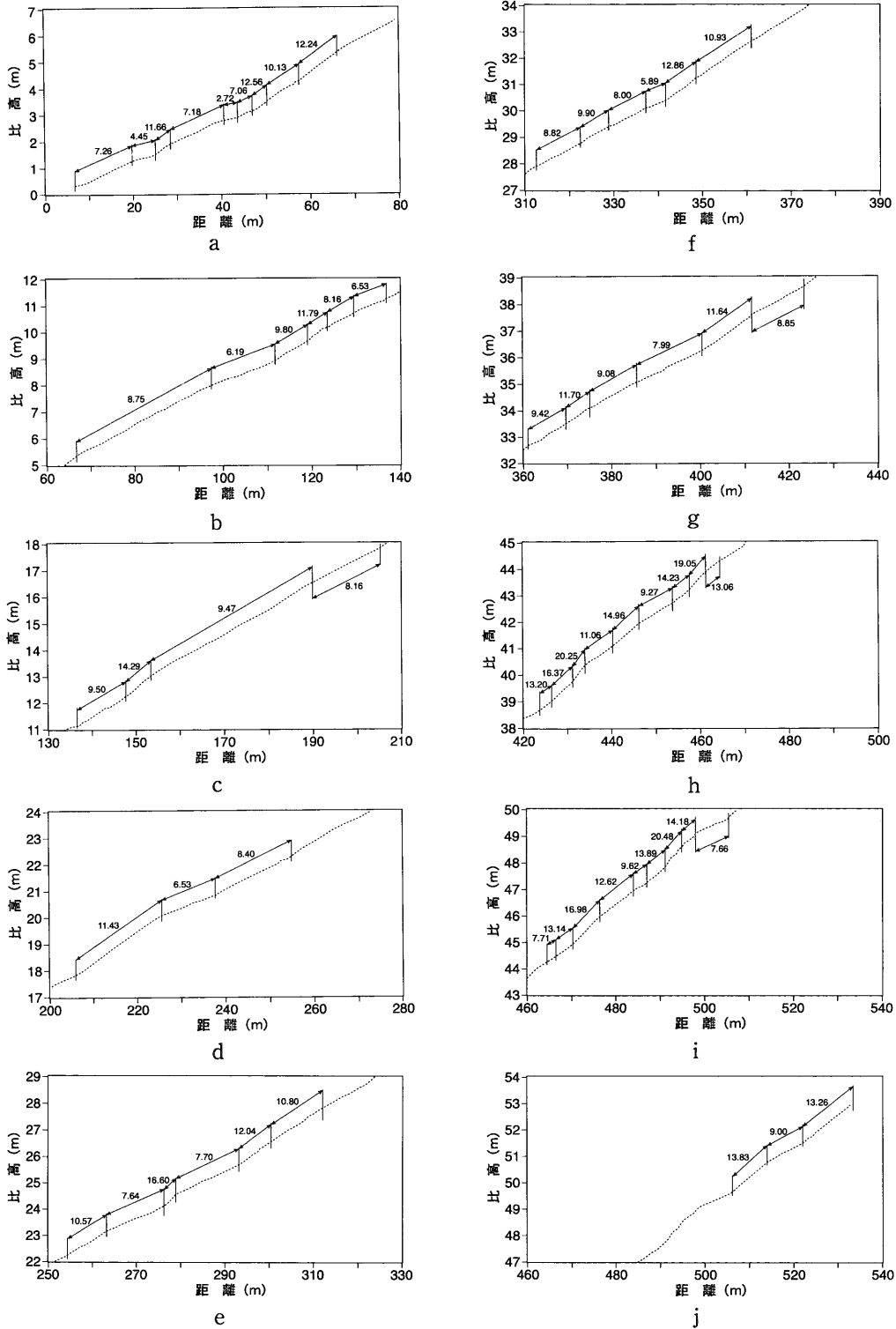


図-9 大局的な縦断勾配の変化 (数字は%) 破線は縦断測点の9点移動平均による縦断形

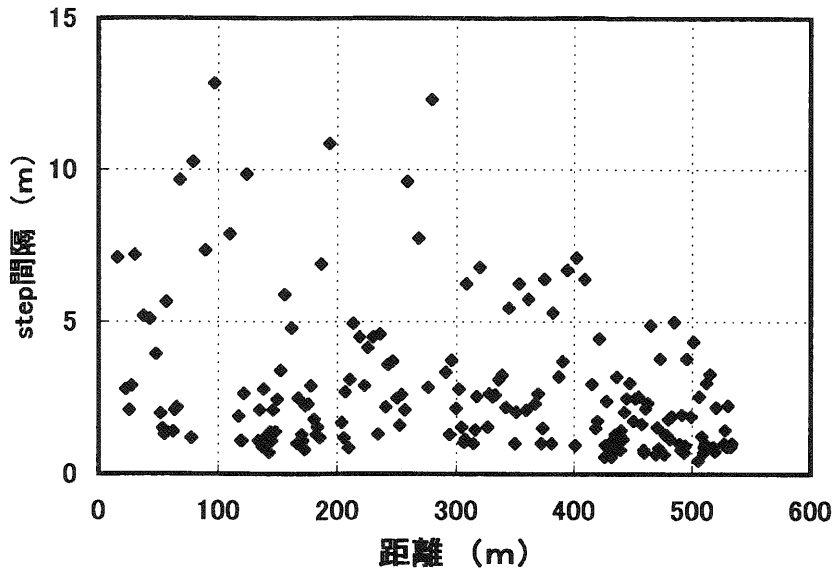


図-10 step 間隔の縦断方向の分布

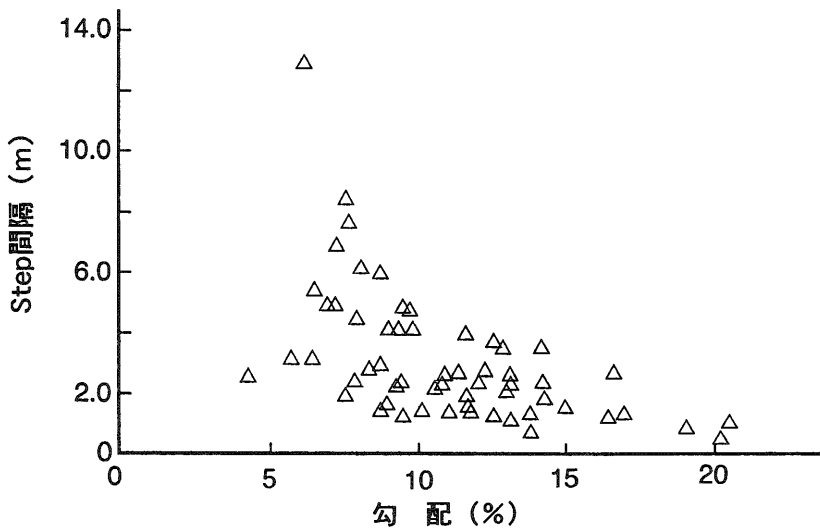


図-11

ことを示している。

つぎに、この勾配と step 間隔との関係を Grant (1988) の研究事例と比較した (図-12)。但し、この図の French Pete Creek, Lookout Creek は米国西海岸における溪流で (Grant, 1988), Upper Torlesse Stream, Irishman Stream, Torlesse Stream はニュージーランドにおける溪流である (Whittaker, 1987)。

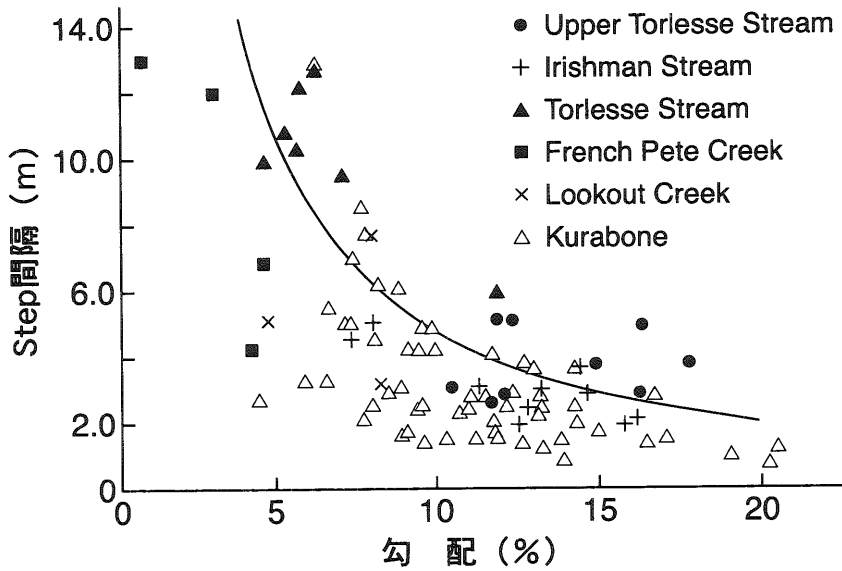


図-12

図-12から、勾配が急になるほどstep間隔は狭まり、stepが密集して存在していることがより明らかになる。このことは、海外の河川でも急勾配であれば、同じように勾配の増加と共にstep間隔が狭まることを示している。このように、本調査地の事例と海外の事例がほぼ同様の傾向を示すということは、この勾配とstep間隔との関係は、溪流にみられる一般的な関係と考えられる。

step高とstep間隔との関係についてみると、勾配一定の場合はstep高が高くなるとstep間隔が広くなり、これにともないstep数は少なくなると考えられる(図-13)。反対に、step高が低くなるとstep間隔は狭くなり、step数は多くなると考えられる。そこで、step高とstep間隔との関係を整理した(図-14)。もし、step高とstep間隔との関係に図-13のような関係があれば、step高が高くなるにつれ、step間隔も広くなるはずである。しかし、step高とstep間隔との関係には、ばらつきが大きく特別な傾向は見られない。また、勾配に対するstep高の関係もばらつきが大きく特別な傾向は見られない(図-15)。さらに、step高の縦断(上流)方向の分布についても特別な傾向は見られない(図-16)。つまり、step高は、勾配やstep間隔などの影響を直接的に受けるわけではないと考えられる。

そこで、step高が何によって決まっているのかを検討するために、step高の頻度分布とstep構成礫の粒径分布を調べた。この結果、step高の頻度は、10cm以上20cm未満が最も多く、次いで20cm以上30cm未満で、平均は20.0cmであることが判明した(図-17)。一方、step構成礫の平均粒径の頻度分布は、勾配の違い(9.1%, 13.4%)による差異がほとんどみられず(図-18a, 図-18b)、本調査区間では勾配によるstep構成礫径への影響はないと考えられる。なお、平均粒径は三軸を算術平均することにより求めた。

ところで、本調査区間全体のstep構成礫の平均粒径の頻度分布は(図-18c)、step高の頻度分布(図-17)とよく似ており、平均粒径10cm以上20cm未満が最も多く、次いで20cm以上30cm

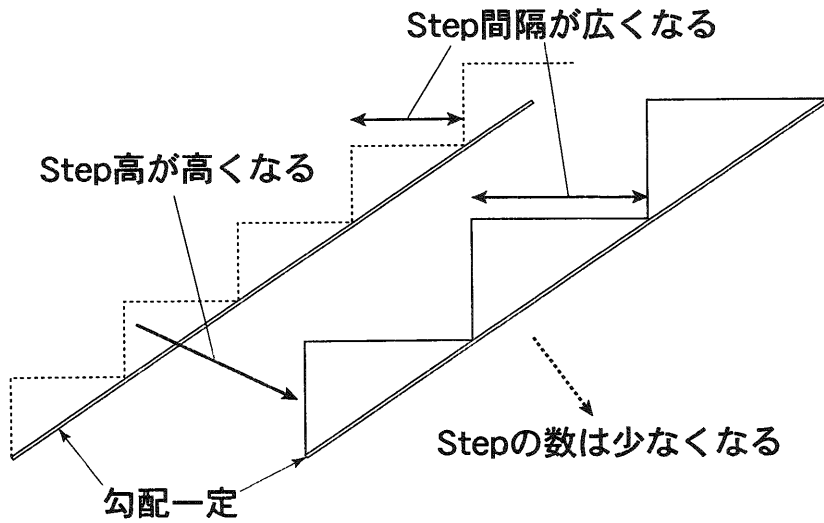


図-13

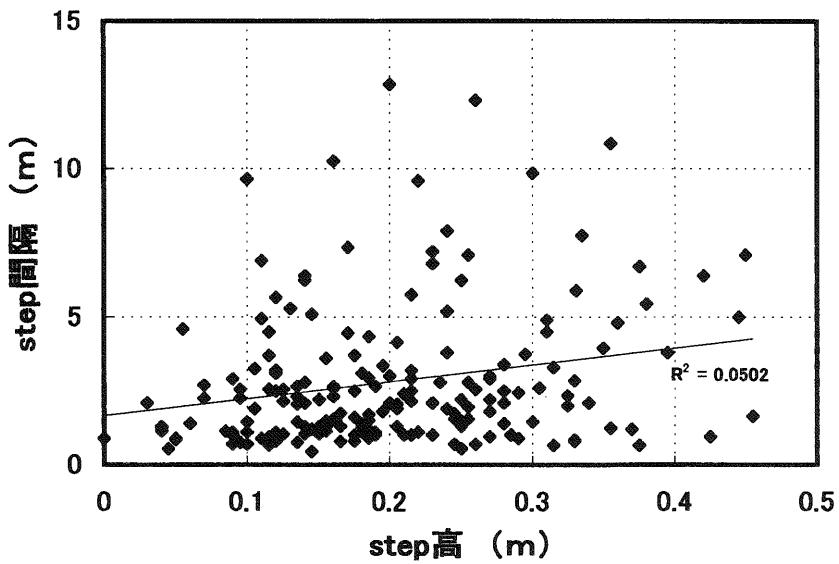


図-14 step 高と step 間隔の関係

未満で、中央粒径は20cmであった。このことは、本調査溪流の step 高は、step 構成礫程度の大きさをとり、step 高もほぼ一定であることを示している。従って、この溪流では、step 高を高くすることによって落差をかせぐのではなく、step 間隔を狭くする、つまり step の数によって落差をかせいでいると考えられ、このことが、図-11に示されるような勾配と step 間隔との関係をもたらしたと考えられる。

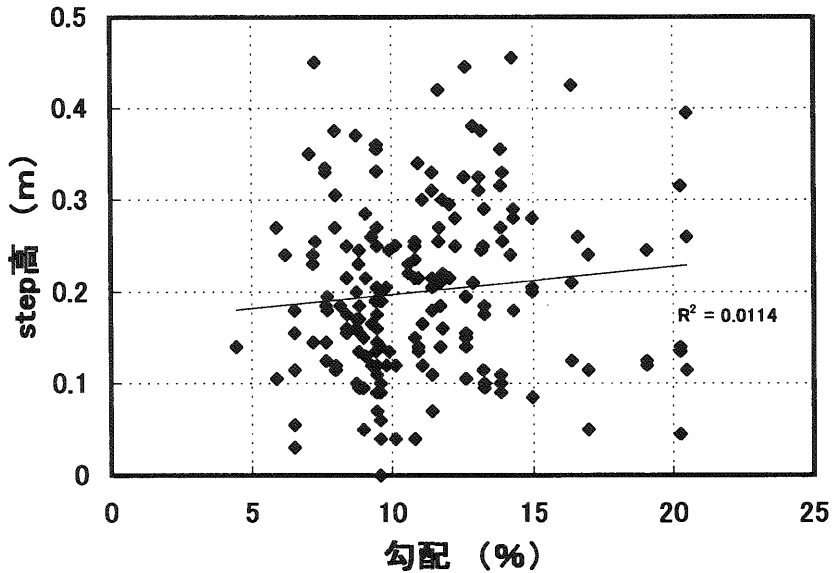


図-15 勾配と step 高の関係

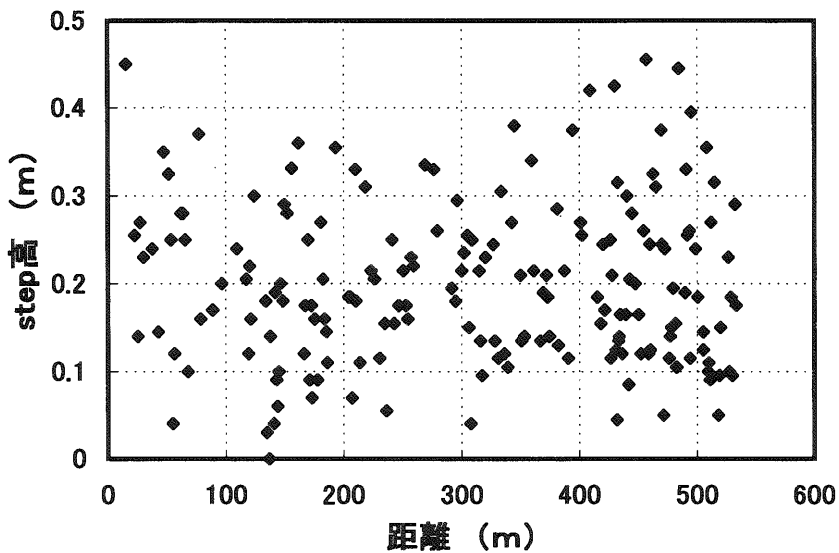


図-16 step 高の縦断方向の分布

3) 流路幅と step の位置

step は、流路の拡幅部より狭窄部で形成されやすいと考えられる。そこで、流路幅と step 幅を計測してその関係について検討した。量水堰から上流185m までの区間では、流路幅は平均1.37m (範囲は0.2~2.7m)であった。その区間には、57個の step と17個の w.d.(s.w.d.を含む)があり、step 幅は平均1.35m, w.d.幅は平均1.41m であった。また、勾配が大きく変わる合流点より上流

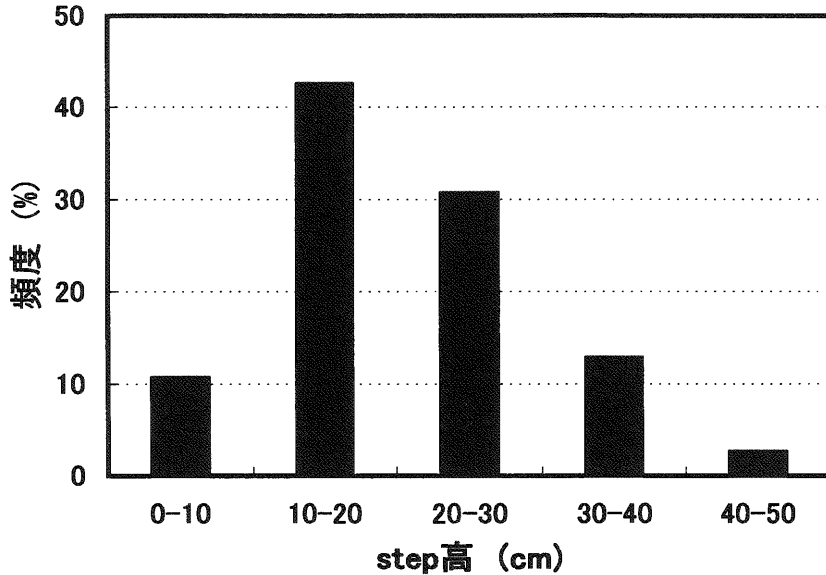


図-17 step 高の頻度分布

50m までの区間では、流路幅は平均1.35m (範囲は0.7~1.8m)であった。そして、その区間にある19個の step と 8 個の w.d. (s.w.d.を含む) の幅を計測し、1.31m (step 幅の平均) と1.36m (w.d.幅の平均) という値を得た。但し、流路幅および step 幅の平均は、各区間において計測した流路幅と step 幅を用いて積分して面積を求め、その区間の距離で割って算出した。

図-19は、計測した step (w.d.含む) と w.d.の幅の頻度分布である。step が流路の狭窄部に形成されやすいならば、step 幅の頻度分布は平均流路幅1.36m より小さい側に偏ると考えられるが、この結果を見るかぎりでは、step 幅の頻度分布は平均流路幅1.36m より小さい側に偏らない。つ

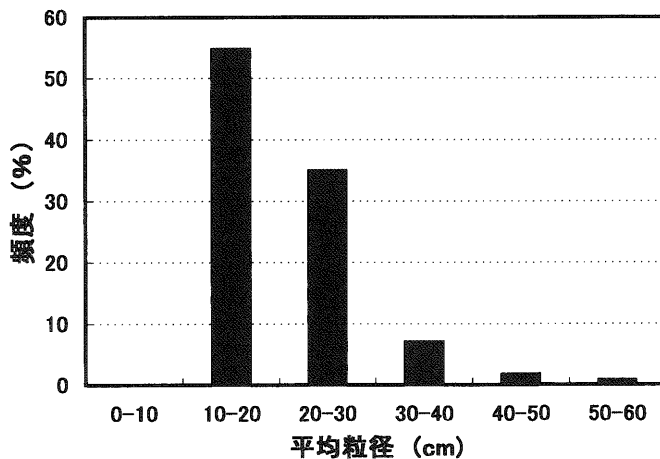


図-18 a step 構成礫の平均粒径の頻度分布 (平均勾配9.1%の区間)

山地溪流河床における step-pool 構造の解析 (秋山 他)

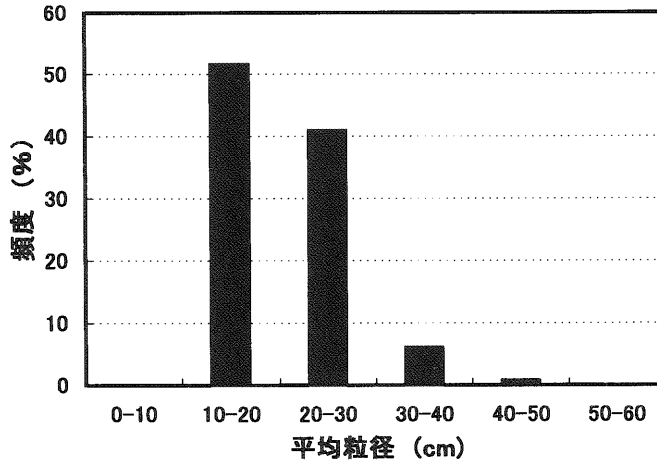


図-18 b step 構成礫の平均粒径の頻度分布 (平均勾配13.4%の区間)

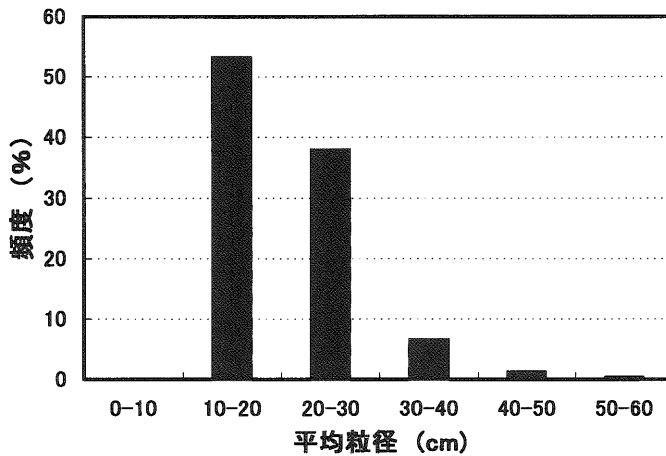


図-18 c step 構成礫の平均粒径の頻度分布 (全体)

まり、本調査溪流では、step は必ずしも狭窄部に形成されやすいとはいえないことを示している。また、w.d.は主に流木によって形成されるので、礫による step より幅が広くなると考えられる。しかし、本調査溪流では、w.d.は主に枝によって形成され、倒木は兩岸を横断するようにして存在するので、流路へはなかなか入らない。このため step 幅の平均値と w.d.幅の平均値を見るかぎり、両者に大きな差は見られない。もし、流木の一方の端または両端が流路内に入るような川幅をもつ河川であれば、流木によって洗掘や堆積が起こり、流路や河床へ大きな影響を与えるものと考えられる。

3. pool の分析

pool は、主に step の直下に形成されるが (plunge pool)、step の直上流 (dammed pool) や流れが集中する屈曲点 (lateral scour pool) にも形成される。本調査溪流では、64個の pool が

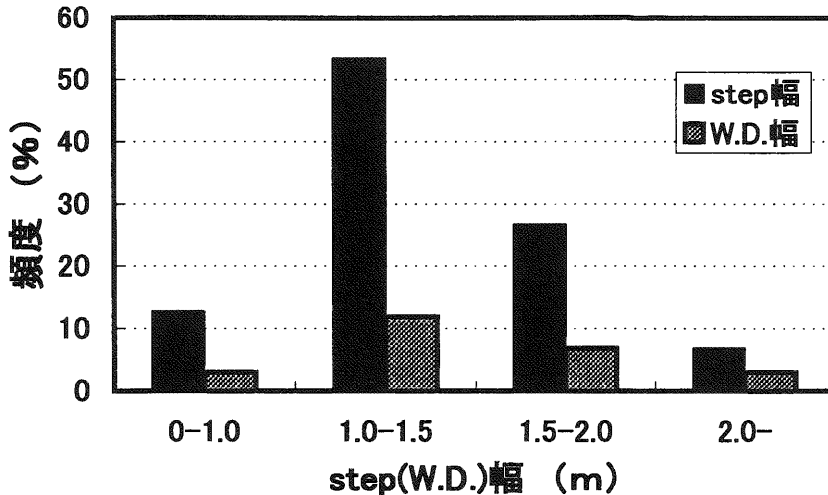


図-19 step幅およびw.d.幅の頻度分布

確認された。そのうちの57個(89%)がstepの直下に形成される plunge pool であり、流木や枝の影響により形成された pool は12個(19%)である(plunge pool と重複する pool もある)。

本調査溪流では、流木の影響によって形成される pool の数が少ない。それは、流路幅(平均1.35 m)が狭いので、倒木がなかなか流路内に入りにくいからであると考えられる。これに対して、Robison and Beschta (1990)が調査したアラスカ南東部の5つの河川では、長さ1.5m以上で直径20cm以上の流木が流れに沿って2.5~4mごとに1本、流路内に存在する(平均流路幅、約5~26m)。また、北海道北部の河川(平均流路幅、約4m)では、倒流木のほとんどが溪岸侵食により供給され、淵の約40%がその倒流木により形成されていた(阿部・中村, 1996)。この様に、流木が流路内に多く存在する河川では、流木の影響により形成された pool の割合が40~75%に及ぶ。また、Robison and Beschta (1990)が調査した河川では、stepの直下に形成される plunge pool は5~18%しかないが、これはその河川の勾配が緩いため(0.8~2.5%)、riffleが多く形成されてstepがあまり形成されないためだと考えられる。

poolの構造を特徴づけるのは、pool深、pool長、pool幅、pool容積である。本研究におけるpool深とは、poolの最深部とそれより下流の一番高い河床との比高差のことであり(図-20)、pool長とはstep直下とそれより下流のstep頂部、または河床の高い部分までの間の水平距離のことである(図-21)。また、pool幅はpoolのある流路の幅の平均である。さらに、pool容積は、pool長×pool深÷2×pool幅で算出した(図-22)。

本調査溪流の平均的なpool構造をみるためにpool深、pool長、pool幅、pool容積を求めた結果、それぞれの平均と標準偏差は、 $0.14 \pm 0.07\text{m}$ 、 $1.53 \pm 0.66\text{m}$ 、 $1.20 \pm 0.34\text{m}$ 、 $0.13 \pm 0.10\text{m}^3$ となった。また、pool深、pool長、pool幅、pool容積の縦断(上流)方向の分布には(図-23a~23d)、特定の傾向は傾向はみられなかった。しかし、勾配とpool長の関係においては、勾配が約14%以上になるとpool長は一定の長さを越えずに約1.5mの範囲におさまる傾向がみられ(図-24a)、

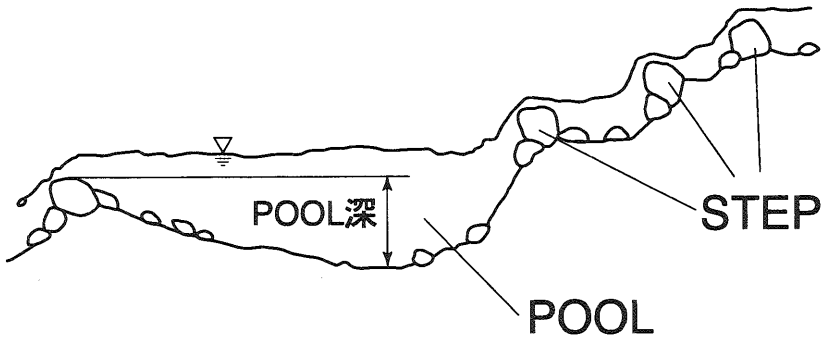


図-20 pool 深の定義

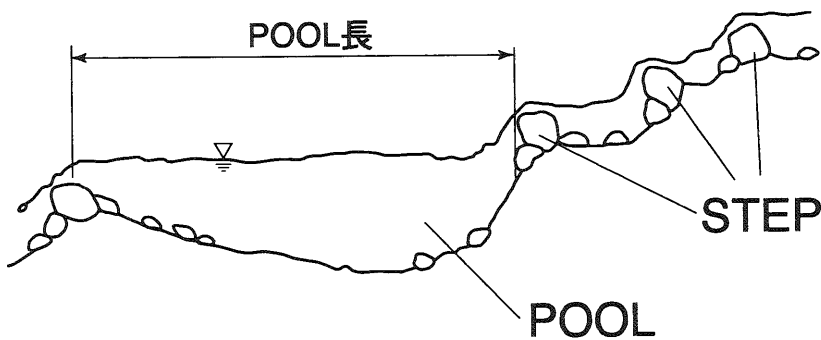


図-21 pool 長の定義

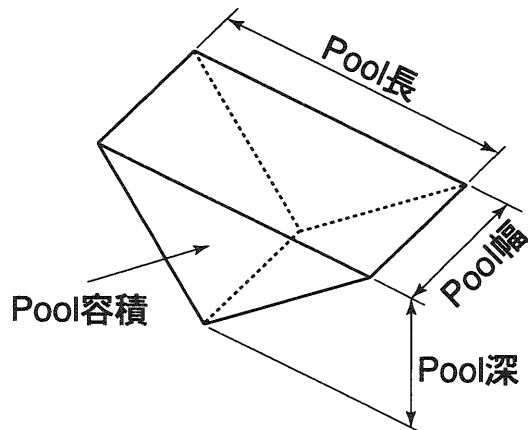


図-22 pool 容積の定義

pool 容積も pool 長の影響を受けて、勾配が約14%以上になると約 0.2m^3 の範囲におさまる(図-24b)。しかし、勾配と pool 幅および pool 深の間には、特定の傾向はみられない(図-24c, 図-24d)。

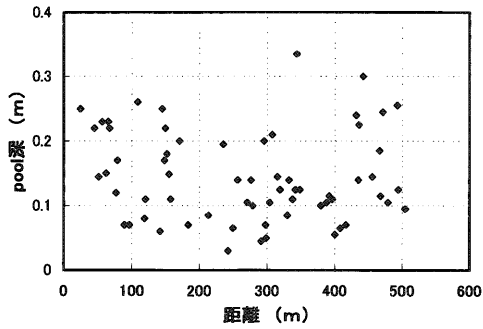


図-23 a pool 深の縦断（上流）方向の分布

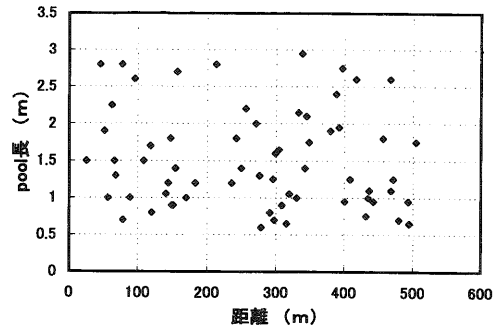


図-23 b pool 長の縦断（上流）方向の分布

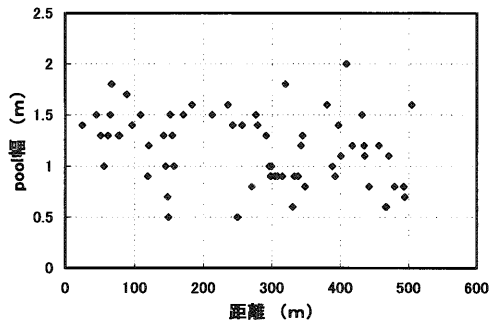


図-23 c pool 幅の縦断（上流）方向の分布

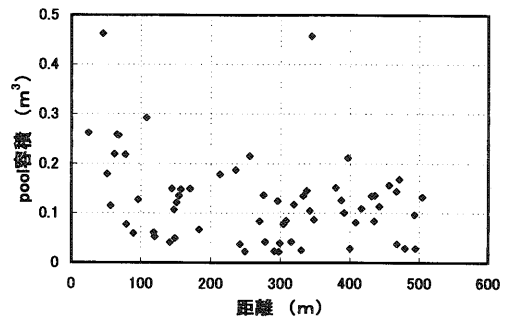


図-23 d pool 容積の縦断（上流）方向の分布

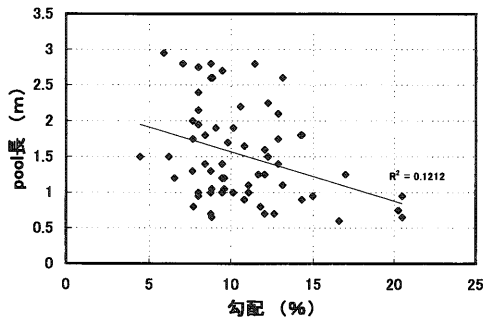


図-24 a 勾配と pool 長との関係

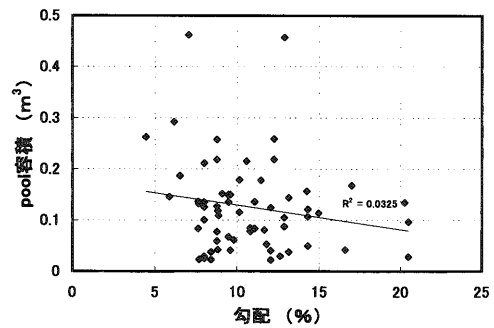


図-24 b 勾配と pool 容積との関係

図-25a~25c は、pool 深、pool 長、pool 幅と pool 容積の関係を示したものである。それらは pool 容積に対して正の相関があり、pool 容積に対する pool 深の相関係数は0.60、pool 長は0.51、pool 幅は0.40である。広瀬、丸谷 (1991) は、淵の最大水深、淵の長さ、淵の最大幅と淵の大きさに正の相関があることを示している。そして、特に淵の最大水深と長さが、淵の大きさに強く関係していると述べている。

道上ら (1995) は、淵の水深と落差に正の相関があり、落下水脈が高いほど大きな淵が生じる

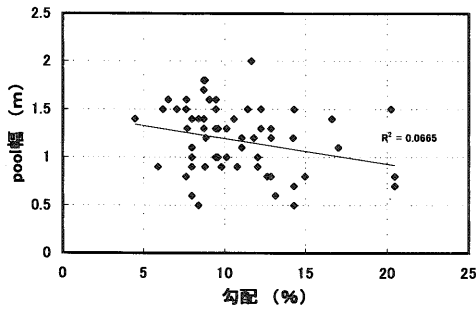


図-24 c 勾配と pool 幅との関係

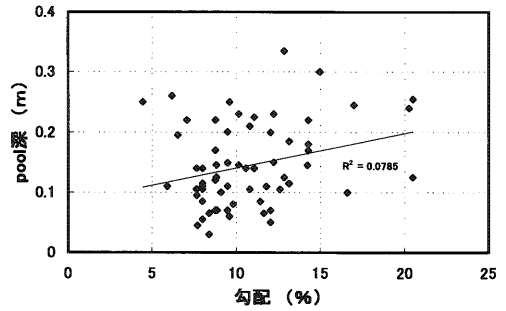


図-24 d 勾配と pool 深との関係

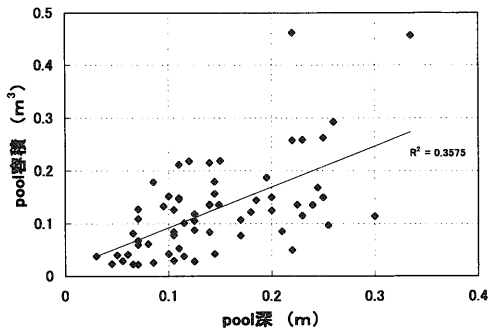


図-25 a pool 深と pool 容積との関係

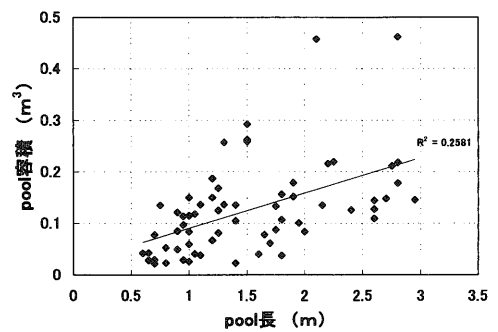


図-25 b pool 長と pool 容積との関係

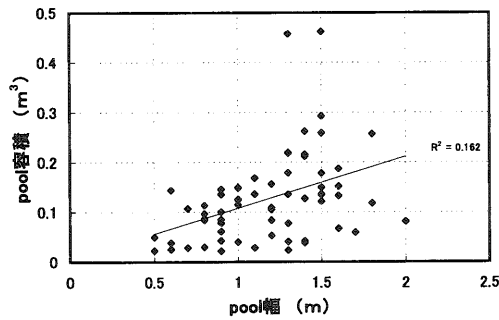


図-25 c pool 幅と pool 容積との関係

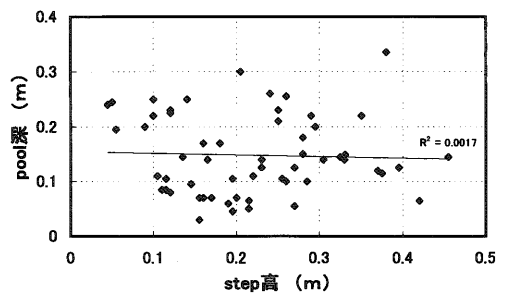


図-26 step 高と pool 深との関係

と述べている。実際、step から pool への落差が高ければ、流水のエネルギーも増加し、pool の水深も深くなると考えられる。しかし、本調査溪流における落差 (step 高) と pool 深の関係には、相関は認められない (図-26)。

V まとめ

本調査溪流の step は、平均粒径20cm 程度の礫によって構成され、同程度の落差 (step 高) をもっている (図-17)。また、河床勾配と step 間隔は密接に関係しており、勾配が急になるにつれて step 間隔が狭くなる傾向がある (図-11)。この傾向は海外の事例でも同様であり (図-12)、この傾向は溪流において一般的にみられるものであると考えられる。ところで、step 高がほぼ一定であるということは、河床勾配と step 間隔の係りにみられる傾向が step 高を高くすることによって落差をかせぐことでもたらされるのではなく、step 間隔を狭くする、つまり step 数を多くすることによって落差をかせぐことでもたらされることを意味している。

本調査溪流の平均的な pool 構造を pool 深, pool 長, pool 幅, pool 容積でみると、それぞれの平均と標準偏差は、 $0.14 \pm 0.07\text{m}$, $1.53 \pm 0.66\text{m}$, $1.20 \pm 0.34\text{m}$, $0.13 \pm 0.10\text{m}^3$ となった。また、pool 構造の一部に河床勾配が影響を与えていることが認められた。すなわち、勾配が約14%以上になると pool 長は一定の長さを越えずに約1.5m の範囲におさまる (図-24a)、pool 容積も pool 長の影響を受けて、勾配が約14%以上になると約0.2 m^3 の範囲におさまる (図-24b)。これらは、勾配と step 間隔の係りが pool の大きさに影響するためであると考えられる。しかし、勾配と pool 幅や pool 深の間には、特定の係りは認められなかった (図-24c, 図-24d)。

調査溪流の特徴は、流木や枝を構成材料とする step (woody debris, step woody debris) が、約30%に及ぶことである。しかし、流木や枝の影響を受けて形成される pool は約20%であり、Robison et al. (1990) および阿部ら (1996) の研究例 (40~75%) に比べて少ない。これは、彼らの調査河川の流路幅が約4~26m であるのに対して、本調査溪流での流路幅は約1.4m と狭く、倒流木が流路内に入りにくいいため、倒流木によって形成される pool が少ないためと考えられる。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、筑波大学農林技術センター八ヶ岳演習林のスタッフの方々には、種々のご便宜をいただきました。ここに記して感謝いたします。

本稿は秋山智弘の平成9年度筑波大学大学院農学研究科修士論文の一部に加筆・修正したものである。

引用文献

- 阿部俊夫・中村太士 (1996) : 北海道北部の緩勾配小河川における倒流木による淵およびカバーの形成, 日本林学会誌, 78(1), 36-42
- 芦田和男・江頭進治・沢田豊明・西本直史 (1985) : 山地河道における階段状河床形の構造, 京都大学防災研究所年報, 28(B2), 325-335
- Grant, G. E. (1988) : Morphology of High Gradient Streams at Different Spatial Scales,

- Western Cascades, Oregon, 砂防学会ワークショップ「荒廃溪流における地形変化と堆積土砂の制御」, 1-12
- 広瀬健一郎・丸谷知己 (1991) : 溪流魚の分布構造に影響する河床縦断形について, 平成3年度砂防学会研究発表会概要集, 180-183
- 可児藤吉 (1944) : 溪流棲昆虫の生態, 古川晴男編「昆虫」上, 研究社, 1-17 (1970)
- Keller, E. A. and F. J. Swanson (1979) : Effects of Large Organic Material on Channel Form and Fluvial Processes, *Earth Surface Processes*, 4, 361-380
- 道上 正・藤田正治・池見 拓 (1995) : 山地河川の淵の形成と形状, 平成7年度砂防学会研究発表会概要集, 131-134
- Richard, A. M. (1982) : The Geomorphic Significance of Log Steps in Forest Streams, *Annals of the Association of American Geographers*, 72, 99-108
- Robison, E. G. and R. L. Beschta (1990) : Coarse Woody Debris and Channel Morphology Interactions for Undisturbed Streams in Southeast Alaska, U.S.A., *Earth Surface Processes and Landforms*, 15(2), 149-156
- Takahashi, G. (1990) : A Study on the Riffle-Pool Concept, *地形*, 11(4), 319-336
- Whittaker, J. G. (1987) : Sediment Transport in Step-Pool Streams, In Thorne, C. R., Bathurst, J. C. and Hey, R. D. eds., *Sediment Transport in Gravel-Bed Rivers*, John Wiley & Sons Ltd., 545-579
- Wohl, E. and T. Grodek (1994) : Channel Bed-Steps along Nahal Yael, Negev desert, Israel, *Geomorphology*, 9, 117-126

Summary

We analyzed the structure of step-pools of a forested mountain stream in the headwaters of the Misawa River in the Chikuma River System as a first step in clarifying the influence of sediment control works on the physical habitat of streams. Steps of the research site are made up of approximately 20 cm gravel (mean diameter) and are almost constant in height, which is related to mean gravel size. This suggests that the step height depends on the gravel size. In addition, the step length of the reach decreases with increasing channel gradient, similar to examples of other countries. This suggests that the stream does not adjust the step height to suit the increased gradient, but adjusts the step length or the number of steps because the step height is almost constant throughout the reach. The pool structure of the reach has a depth of $0.14 \pm 0.07\text{m}$, length of $1.53 \pm 0.66\text{m}$, width of $1.20 \pm 0.34\text{m}$, and volume of $0.13 \pm 0.10\text{m}^3$ (mean and variance). In the reach where the channel gradient is steeper than roughly 14 degrees, the pool length is 1.5m or less and the pool volume is 0.2m^3 or less because the relationship between the gradient and step length or number affects pool length and

volume. However, we could not find a significant relationship between the gradient and pool width or depth. Finally, this research revealed that steps composed of woody debris accounted for approximately 30 percent of all steps. However, pools composed of woody debris accounted for only 20 percent. This value is quite low compared with other research results because fallen trees along the research site could not easily enter the stream channel due to narrow stream.