

## ヤマメの生息におけるプール内の河床礫の影響

山口, 和也  
九州大学農学部砂防学講座

丸谷, 知己  
九州大学農学部砂防学講座

<https://doi.org/10.15017/23570>

---

出版情報：九州大学農学部学藝雑誌. 50 (3/4), pp.173-178, 1996-03. 九州大学農学部  
バージョン：  
権利関係：



## ヤマメの生息におけるプール内の河床礫の影響

山口和也・丸谷知己

九州大学農学部砂防学講座

(1995年12月10日受理)

### Effect of Large Rocks Distribution in a Pool on Fish Habitat Formation

Kazuya YAMAGUCHI and Tomomi MARUTANI

Soil and Water Conservation Laboratory, Faculty of Agriculture,  
Kyushu University, Fukuoka 812-81

#### はじめに

九州山地を流下する河川の源流部には、淡水魚のヤマメ (*Oncorhynchus masou masou*) が多数生息している。一般に河川源流部では、流下方向に数メートルから数十メートルの間隔で急勾配部と緩勾配部とが交互に形成される階段状河床地形 (芦田ら, 1984) が見られ、その急勾配部は瀬 (step), 緩勾配部または逆勾配部は淵 (pool) と定義され、瀬と淵の間に早瀬 (riffle) が形成されることもある。これら瀬と淵とが交互に形成される河川地形の構造 (以下, step-pool system) は河床の基岩においてもみられるが、土砂生産の多い山地源流部では主に基岩上に離散的に堆積した砂礫によって形成されることが多い。ヤマメはこれらのプール内に生息している。

近年では、下流河川で行われてきた砂防工事が土砂生産源である九州山地の河川源流部へと進捗し、それに伴って砂防ダムがヤマメの生息域に建設される機会が増加してきた。砂防ダムは流水と細粒土砂を疎通させて粗粒土砂 (砂礫) のみを貯留する構造となっているため、砂礫と流水とによって形成される step-pool system を変化させ、ヤマメの生息環境に大きな影響を与えることが予測される。このことから、step-pool system とヤマメの生息数との関係を明らかにすることは今後の重要な課題となるものと思われる。

ヤマメが河川に生息するためには、水温や餌の絶対量のほかに、日常的な採餌行動に利用される採餌場所と、産卵時のみ利用される産卵場所と、洪水や濁水ま

たは外敵の侵入時に一時的に利用される退避場所という3つの生息場所を必要とする (広瀬・丸谷, 1993)。本研究では、これらのうち外敵の侵入時に利用される退避場所として、プール内の河床礫が河床との間に形成する隙間に着目し、プール体積にしろめる河床礫の面積とヤマメ個体数との関係を調べた。

なお本研究を行うにあたって九州大学宮崎演習林の職員から淡水魚類試験溪流の維持管理に御配慮をいただいた。

#### 調査方法

調査は、一ツ瀬川支流大藪川の源流部 (宮崎県椎葉村九州大学宮崎演習林内) に位置する3700m 区間において行った。この区間は、平均河床勾配 $14^{\circ}$ の急勾配河川である (図1)。大藪川流域は、中生層砂岩、頁岩、泥岩からなる破碎帯に属し、河床礫の多くは破碎作用により扁平となったいわゆる千枚岩から構成されている。また、この区間は、淡水魚類試験溪流 (禁漁区) に指定され、ヤマメの個体および生息環境は自然状態で維持されている。

3700m の調査区間内には1995年現在で219個のプールが形成されており、ヤマメの個体数 ( $N$ ) は、1年間に数回 (季節ごと) プールごとに計測されている。個体数の計測は、潜水によって直接カウントしている。さらに、これらのプールのうち、湾曲や合流の影響のない区間で5つのプールを選び、15分間の潜水によって退避行動を観察した。退避行動は、5 cm 以下の礫投入、5 cm 以上の礫投入、人間の直接侵入の3段階

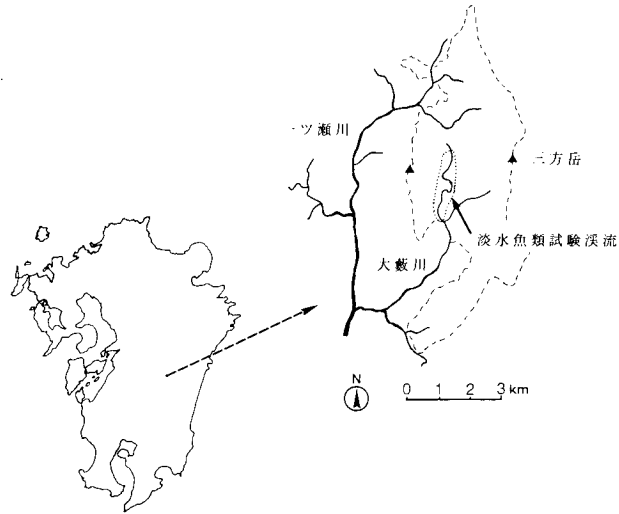


図1 調査対象地

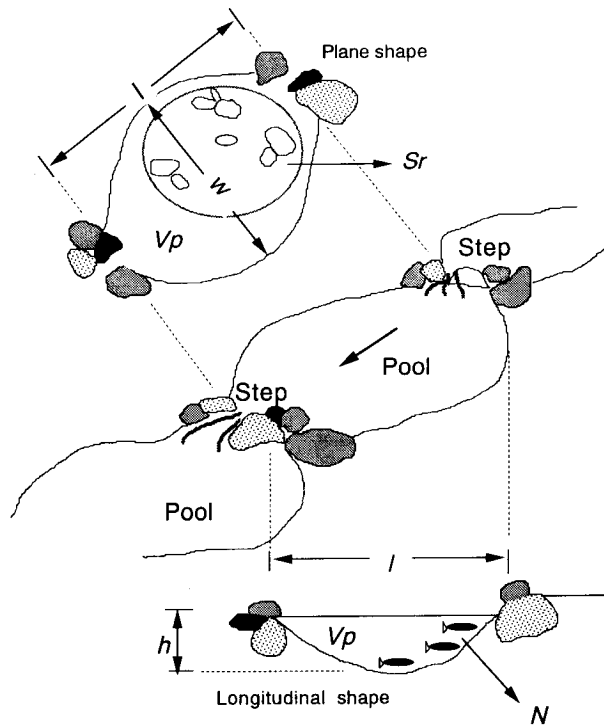


図2 プールおよび礫の計測方法

によって生起させたが、ここでは5 cm以上の礫投入による結果に基づいて解析した。

プールの形状(図2)は、プール上流側の落水部から下流側の流出部までの距離をプール長( $l$ ; m)、こ

れに直交する最大幅をプール幅( $w$ ; m)、最深部での深さをプール深( $h$ ; m)として、これらからプール体積( $V_p$ ;  $m^3$ )を次式で求めた。

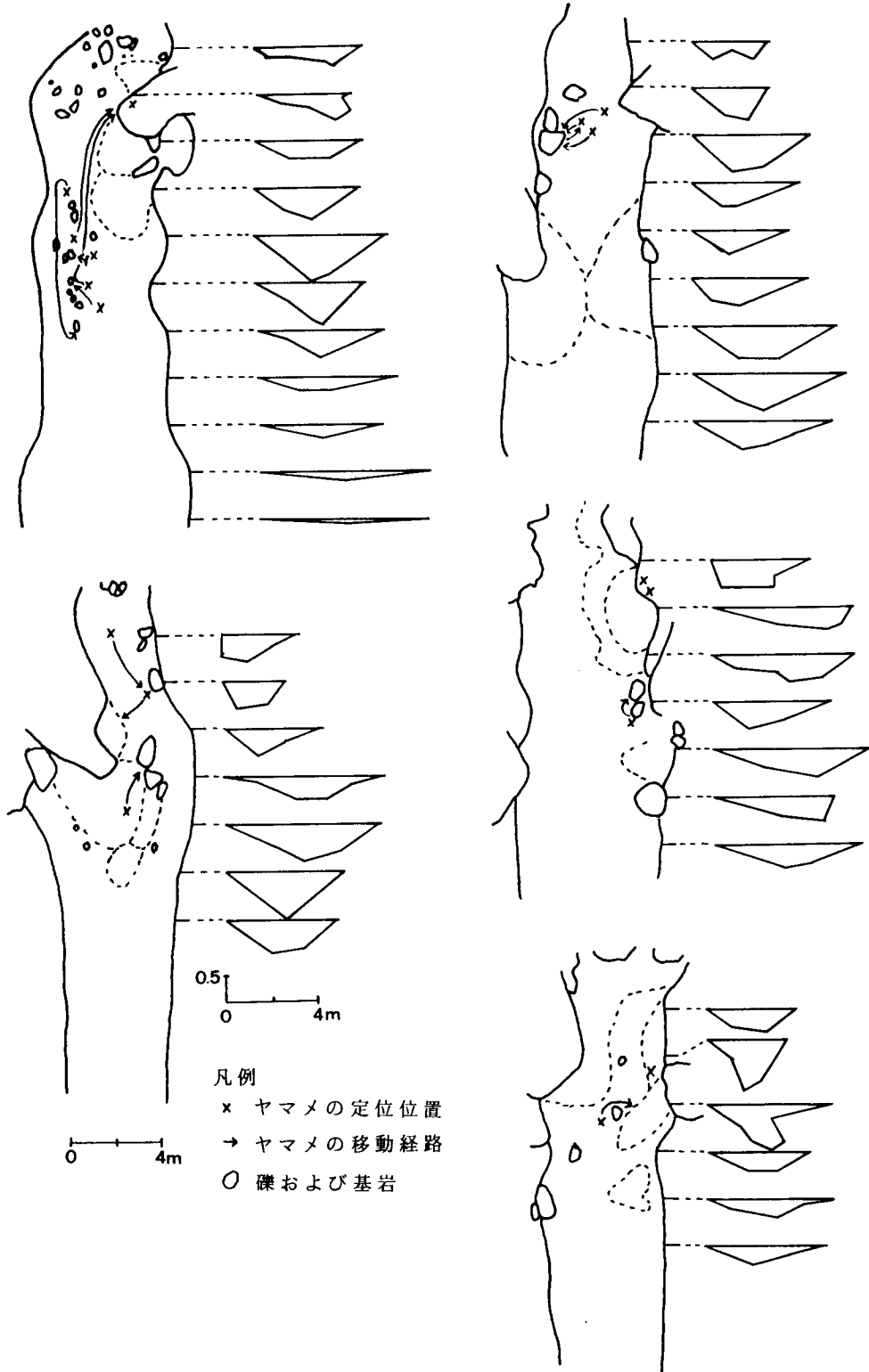


図3 礫投入によるヤマメの退避行動

$$V_p = 1/3 (l \times w \times h)$$

プール内の礫の形状は、河床と河床礫の間に20cm以上の隙間を形成する礫について長径、短径、高さを計測し、長径と短径とから礫の水平投影面積 ( $s; m^2$ ) をもとめ、それぞれのプールごとの合計値  $S_r = \sum s$  ( $S_r; m^2$ , 以下、礫面積) を算出した。さらにそれぞれのプールの水平面積  $A$  ( $A; m^2$ ) を  $A = l \times w$  によって求め、これに対する礫面積の割合  $D_r$  (以下、礫密度) を次式によって求めた。河床の基岩が突出して礫と同様に隙間を形成している場合もこれに含めた。

$$D_r = \sum_{k=1}^n s_k / (l \times w)$$

ここで  $s_k$  は礫ごとの水平投影面積、 $n$  は礫の個数。

## 調査結果

図3には、湾曲などによって水流が規制されていない5つのプールをとりあげ、それぞれの形状(平面図、横断面図)とプール内におけるヤマメの退避行動を示した。いずれのプールも中央付近で最深部を示し、上流側の落水部および下流側の流出部では相対的に浅くなっていた。礫は落水部から最深部にかけて多く分布し、とくに大きな礫ほど最深部近傍に分布していた。大部分のヤマメは落水部から最深部の間に定位しており、5cm以上の礫の投入により、ほとんどのヤマメは礫の隙間に退避した。退避経路および退避位置を平面図に示した。

図3より、基岩および河床礫を含めていくつかの決まった礫が退避場所として選ばれているが、退避に際して次々と礫をつたって最終的に一方所に退避することがわかった。このことから、礫が離散して分布するよりも、近接あるいは重なり合って分布するほうが退避行動にとって有利であることが示唆された。礫の個数と礫径とからプール内における礫の集合状態を定量化することは困難であるが、プール体積にしろる礫面積が大きいほど確率的には多くの退避場所が存在すると考えられるので、礫密度  $D_r$  を用いて礫の集合状態を表した。

図4には、プール体積  $V_p$  とヤマメ個体数  $N$  との関係を示した。図ではプール体積の増加にともないヤマメ個体数も増加する傾向がみられるが、各点は散らばっており一定の相関関係に回帰することはできない。ヤマメ個体数は、プール体積以外の多くの環境条件によって規定されるが、他の環境条件がヤマメの生息に

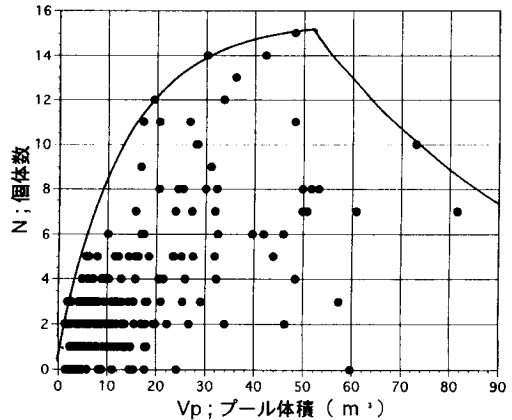


図4 プール体積とヤマメ個体数の関係

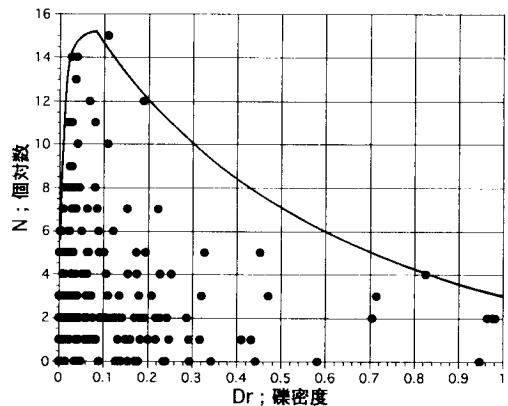


図5 礫密度とヤマメ個体数の関係

最適であった場合でも、ヤマメ個体数の上限値はプール体積によって規定されるものと考えられる。一般には、これを環境収容力(ピーラー, 1969)と定義している。ここで計測されたヤマメ個体数は、必ずしもプールごとの最適な環境条件を反映しているとはいえないが、同一体積のプールについてヤマメ個体数の最大値をプールごとの個体数の上限値と仮定すれば、個体数の最大値の包絡線が環境収容力を示すといえる。図における近似的な包絡線として、(1)  $0 < V_p < 52$  と (2)  $52 < V_p$  とで2つの曲線を描くことができる。プール体積が変化するにつれてヤマメ個体数が無限に増加したり負になることはなく、プール体積が増加しても一定個体数以上には増加しないものと考え、次のような曲線を包絡線とした。

$$0 < V_p < 52 \quad N = K_1(1 - \exp(\mu_1 V_p)) + \psi_1 \quad (1)$$

$$52 < V_p \quad N = K_2 \exp(\mu_2 V_p) \quad (2)$$

ここでプール体積ごとのヤマメ個体数の最大値を代入して、 $K_1$  および  $K_2$ ,  $\mu_1$ ,  $\mu_2$ ,  $\psi_1$  をもとめると、 $K_1 = 15.05$ ,  $K_2 = 41.4$ ,  $\mu_1 = -0.078$ ,  $\mu_2 = -0.019$ ,  $\psi_1 = 0.337$  となった。同一のプール体積においてみられるヤマメ個体数のばらつきは、プール内の他の環境条件によるものと予想される。

次に、プール内の環境条件のひとつとして、ヤマメの退避場所を提供する河床と河床礫との隙間が個体数におよぼす影響を調べた。図5には、ひとつのプール内の礫密度  $Dr$  とヤマメ個体数  $N$  との関係を示した。個体数は同じ礫密度においてもばらついているが、前と同じ理由で、ひとつのプールにおいて他の条件が最適であった場合には、ヤマメの個体数は同一礫密度での最大値を示すと考えて、各礫密度での個体数の最大値について包絡線を描いた。礫密度が変化することでヤマメ個体数が無限に増加したり負になることはないと考えられるので、図において、次の様な2つの包絡線を描くことができる。

$$0 < Dr < 0.08 \quad N = K_3(1 - \exp(\mu_3 Dr)) + \psi_3 \quad (3)$$

$$0.08 < Dr \quad N = K_4 \exp(\mu_4 Dr) \quad (4)$$

ここで礫密度ごとのヤマメ個体数の最大値を代入して、 $K_3$  および  $K_4$ ,  $\mu_3$ ,  $\mu_4$ ,  $\psi_3$  をもとめると  $K_3 = 11.12$ ,  $K_4 = 17.90$ ,  $\mu_3 = -63.05$ ,  $\mu_4 = -1.88$ ,  $\psi_3 = 4.18$  となった。

## 考 察

### (1) プール体積および礫密度とヤマメ個体数の関係の境界条件

式(1)と(2)、および式(3)と(4)との境界条件は、それぞれ  $V_p = 52\text{m}^3$  および  $Dr = 0.08$  であった。プール体積とヤマメ個体数および礫密度とヤマメ個体数のそれぞれの関係に境界条件が存在することについて以下のように考察した。

プール体積が増加するほどヤマメ個体数が増加することは、これまでも環境収容力によって説明されてきた(ビール、1969)。しかし、本調査の結果では、ヤマメ個体数は上限値に漸近するだけでなく、 $V_p = 52\text{m}^3$  を境にして減少する傾向が見られた。山地急流河川でプール体積が増加する最大の原因は(a)河床勾配が緩やかになることと、(b)小さなプールが砂礫で埋積され連続したひとつのプールになることである。

(a)河床勾配が緩やかになることにより、ステップ間隔は長くなる。しかし、同時にプール内での流速は著しく減少し、ときには死水状態に近い流れを形成する。ヤマメの定位位置では流速が0.2~0.9m/secであることが報告(中村, 1991)されており、ステップ間隔が長くなれば定位は落水部近傍の狭い範囲に限られることになる。

(b)小さなプールが砂礫で埋積されてひとつのプールを形成するには、埋積後の河床面よりさらに高い位置に水面が維持される必要がある。そのような水面が維持されるためには、小さなプール群の最下端のステップ部に粗大な礫が多数組上がってダム状になっていることが条件となる。しかし、このような河床形態をとるためには、土石流フロントの堆積や川岸斜面からの落石による河道閉塞以外にありえない。このようなプールが形成される機会は少なく、形成されても安定した定位が困難であるといえる。

以上(a)(b)の理由により、プール体積が一定以上に増加すると逆にヤマメが定位する範囲が狭くなり、個体数が減少するものと考えられる。

礫密度が一定値( $Dr = 0.08$ )より増加すると逆に個体数が減少する原因は、以下のように考えられた。ある一定のプール体積において礫密度のみが増加すると最終的にはプールの水平面積が礫で埋積された状態となり、これは形態的には早瀬といわれる(可見, 1970)。すなわち、ある一定以上に礫密度が増加することは、プール内に礫が存在する状態ではなく、ひとつのプールが礫によって細かく分割された状態になり、その極限状態が早瀬である。これらの礫を含んでひとつのプールとし、そこでカウントされた個体数は、いくつもの小さな「疑似プール」の個体数を合計していることになる。プール体積が一定以上小さくなるとヤマメ個体数は急速に減少することは上記の結果にもみられた。したがって、このようなプールでのヤマメの個体数は「疑似プール」での個体数総和であるために、当然少なくなるものと考えられた。

以上のように、プール体積および礫密度とヤマメ個体数との関係が一定の境界条件( $V_p = 52\text{m}^3$  および  $Dr = 0.08$ )をもつことが定性的に説明された。本調査河川においては、他の環境条件の影響も考慮されねばならないが、少なくとも  $V_p = 52\text{m}^3$  および  $Dr = 0.08$  の条件でヤマメ個体数の増加をはかることができるものと考えられた。

### (2) プール内での礫の役割と河床形態の保全

プール内で礫と河床との間に形成された隙間がヤマ

メの退避位置となり、ヤマメの個体数分布に影響があると考へて本研究を進めた結果、プール体積および礫密度とヤマメの個体数との関係に一定の境界条件が存在することがわかった。この境界条件 ( $V_p=52\text{m}^3$  および  $Dr=0.08$ ) の時にヤマメの個体数が最大となることから、これを考慮に入れてヤマメの生息数を最大限に保つような河床形態の保全を考へた。

河川内に砂防ダムが築設されると、一般にダムポケットのみならずその影響によって上流側の長い区間で堆積作用が生じるため、ヤマメの生息場所であるプールが多数埋積する。このため、ヤマメの退避位置となる礫も埋積し、ヤマメ個体数は一時的に減少するものと思われる。しかし、砂防ダムが満砂して調節量の範囲で河床が変動する時期には、上流部での堆砂速度も減少していることが多いので、プール体積及び礫密度とヤマメの個体数の間の境界条件に基づいて、適度の粗大礫を投入して step-pool system を構築すればヤマメの個体数の回復が期待できることが示唆された。

### おわりに

ヤマメの行動を観察した結果、ヤマメは退避行動として河床礫と河床の隙間に退避することがわかった。このことをもとにプール体積とヤマメの個体数および礫密度とヤマメの個体数の関係について解析した。両者ともに数値がばらついたが、同一プール体積、同一礫密度におけるヤマメの個体数の最大値がヤマメの最適環境を表すものと仮定して、四種の包絡線を描いた。

この包絡線からプール体積と礫密度の増加がヤマメの個体数を必ずしも増加させるのではなく、ある境界条件を持つことがわかった。本論は、ヤマメが一つのプール内に限って退避行動をするという仮定に基づいて進められた。しかし、実際にはヤマメは一つのプール内にとどまらずいくつかのプールにわたって退避行動を行うこともある。またヤマメは一つのプールに永住するとは限らず、産卵や、洪水、濁水に伴う退避の際に広範囲にわたり移動するものと思われる。そのため今後はヤマメの個体数の季節変化や、連続したプールでのヤマメの移動を確認した上で、一つのプールだけではなく連続したプールを対象とした調査研究が必要であろう。

### 文 献

- 芦田和男・江頭進治・安東尚美 1984 階段状河床地形の形成機構と形状特性に関する研究。第28回水理講演会論文集：743-749
- 広瀬健一郎・丸谷知己 1993 山地河川における階段状河床地形とヤマメ (*Oncorhynchus masou masou*) 産卵床の形成位置に関する研究。九大演報, 68: 73-84
- 可児藤吉 1970 可児藤吉全集 全一卷。思索社, 東京
- 南雲仁一・合田周平・藤村貞夫訳 1969 E.C.ピールー: 数理生態学。産業図書, 東京
- 中村俊六 1993 魚道的设计 (水工学シリーズ91-A-6)。土木水理委員会, 東京

### Summary

From the aspect of fish habitat formation, the investigation of step-pool system is important for the management of mountainous stream, since the step-pool system constructed by bed rock or many large rocks is indispensable for Yamame (*Oncorhynchus masou masou*) to form their habitat. The effect of large rocks in a pool, which are especially used for the temporal escape from a disturbance was analyzed based on the maximum numbers of fishes in a pool.

The critical condition of pool size, related to the maximum numbers of fishes by two equations, was given as  $52\text{m}^3$  in volume of a pool, and the critical condition of rocks spaced in a pool, related to the maximum numbers of fishes by two equations too, was given as  $0.08\text{m}^2/\text{m}^2$  in horizontal area of large rocks occupied a pool. These result simply that the large rocks spaced in a pool play a important role for the formation of fish habitat when the large rocks occupy adequate area in a pool.