

原著論文

淵におけるイワナのカバー選択性解明の試み

山下耕憲^{*1a}・中村智幸^{*2}・鈴木直樹^{*1}・櫻本和美^{*1}Pool cover preferences in white-spotted charr *Salvelinus leucomaenis*
under resting and stressed conditionsYasunori YAMASHITA, Tomoyuki NAKAMURA,
Naoki SUZUKI and Kazumi SAKURAMOTO

Pool cover preferences were clarified in white-spotted charr *Salvelinus leucomaenis* under resting and stressed conditions. A pool was constructed in a stream and six covers were placed in various locations on the pool. Thus, covers were placed along the bank on the upper, middle, and lower parts of the pool, and along the center line of the pool at the upstream, middle, and downstream parts of the pool. The placement of the cover mouth (a hole in the cover used for access and feeding) relative to the direction of stream flow was also varied in three ways: on the side of the cover, or on the downstream- or upstream-end of the cover. Twenty charr were then introduced into the pool and the number of charr hiding under each cover was counted under resting and stressed conditions. The charr preferred covers situated in the upstream part of the pool under both resting and stressed conditions, with this tendency being more apparent under stressed conditions. When resting, charr preferred covers with the cover mouths on the sides of the pool. However, under stressed conditions, charr showed no preference for the position of the cover mouth.

キーワード：イワナ，カバー，保全，生息場所

2015年3月4日受付 2015年12月18日受理

河川に生息する魚類にとって隠れ場は、捕食者や出水からの避難場所として重要である (Devore and White 1978, Fausch 1984, Fausch and Northcote 1992)。河川において魚類の隠れ場を形成するものとして、岩や礫、植物 (倒木や流木を含む)、河岸のえぐれ、波立つ水面が挙げられる (Fausch 1984, Wesche *et al.* 1987, Heggenes 1988, Wang *et al.* 1996)。また、淵や水深の大きな瀬も隠れ場として機能する (Fausch 1984, Wesche *et al.* 1987)。隠れ場の英語訳は hiding place (ハイディングプレイス) や shelter (シェルター), refuge (リヒュージ) である。しかし、河川に生息する魚類の生態や増殖、保

全等の分野では、隠れ場を cover (カバー) と呼称することが多い。本研究でも多くの過去の研究を踏襲して隠れ場をカバーと呼称する。

河川に生息するサケ科魚類にとってもカバーは重要であり、生息水域にカバーが多いほどカワマス *Salvelinus fontinalis* やニジマス *Oncorhynchus mykiss*, カットスロートトラウト *O. clarki*, ヤマメ *O. masou*, ギンザケ *O. kisutch* の個体数や現存量は多い (Boussu 1954, Wesche *et al.* 1987, Fausch and Northcote 1992, Inoue and Nakano 1998)。また、カバーのない淵よりある淵の方がイワナ *S. leucomaenis* の定住性は高く (Nakamura 2011), サ

*1 国立大学法人東京海洋大学海洋環境学科

*2 国立研究開発法人水産総合研究センター増養殖研究所内水面研究部

*a 現所属：群馬県農政部水産試験場

〒371-0036 群馬県前橋市敷島町13

Fisheries Experimental Station, Department of Agriculture, Gunma Prefectural Government,

13, Shikishima, Maebashi, Gunma 371-0036, JAPAN

aeonenon@gmail.com

ケ科魚類にとってカバーは出水時や捕食者からの避難場所として機能する (Bisson *et al.* 1987, Shirvell 1990, Nakamura 2011)。さらに、カバーがあることにより、サケ科魚類は少ない遊泳エネルギーでより多くの餌を獲得できる (Fausch 1984)。

イワナは極東アジアに分布するサケ科魚類の一種であり、日本の本州以西では主に河川の上流に生息している (Kawanabe 1989)。日本では、本種はかつて山間部の重要な食料であったが、現在は遊漁の対象として増殖が期待されている (中村 2007)。しかし、ダム建設、河川工事等による生息環境の悪化や乱獲によってその資源量は減少している (中村 1998)。そのため、資源増殖を目的とした淵や人工産卵場の造成研究が行われている (中村 1999, 佐藤・名越 2005, 中村ら 2009)。淵における本種の定住性は高く (Nakamura *et al.* 2002)、また、淵の規模 (長さ、深さ) に関係なくカバーのある淵ほどその傾向は顕著である (Nakamura 2011)。これらのことから、カバーのある淵を保全したり、淵にカバーを造成することにより、本種の定住性を向上させることができると考えられる。しかし、保全あるいは造成すべきカバーの物理的条件、例えば淵における位置、魚の入口の向きや幅、高さ、奥行き等の知見は不足している (Nakamura 2011)。本種にとって好適なカバーの条件が明らかになれば、より効果的な増殖や保全が可能になる。

そこで本研究では、淵におけるイワナが好むカバーの物理的条件の解明を試みた。

材料と方法

淵の造成 栃木県日光市に位置する国立研究開発法人水産総合研究センター増養殖研究所日光庁舎の敷地を流れる水量約 200L/s の河川に、長さ 8m、幅 4m の淵を造成した (写真 1)。淵の両岸と上流端は垂直のコンクリートの壁であった。両岸、上流端の壁ともに、くぼみや隙間をモルタルで埋めて、実験のために設置したカバー以外に魚の隠れ場が無い状態にした。水深分布を自然の淵と似通った状態にするため、落ち込み下の上流端付近が最も深くなるように造成した。水深は、上流端付近の最深部で約 55cm であり、そこから徐々に浅くなり、上流端から 5m の地点で約 20cm となり、そこから下流端ま

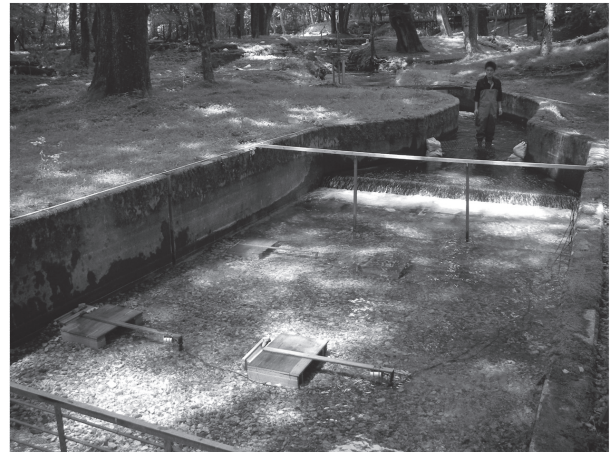


写真 1. 造成した淵とそこに設置されたカバー

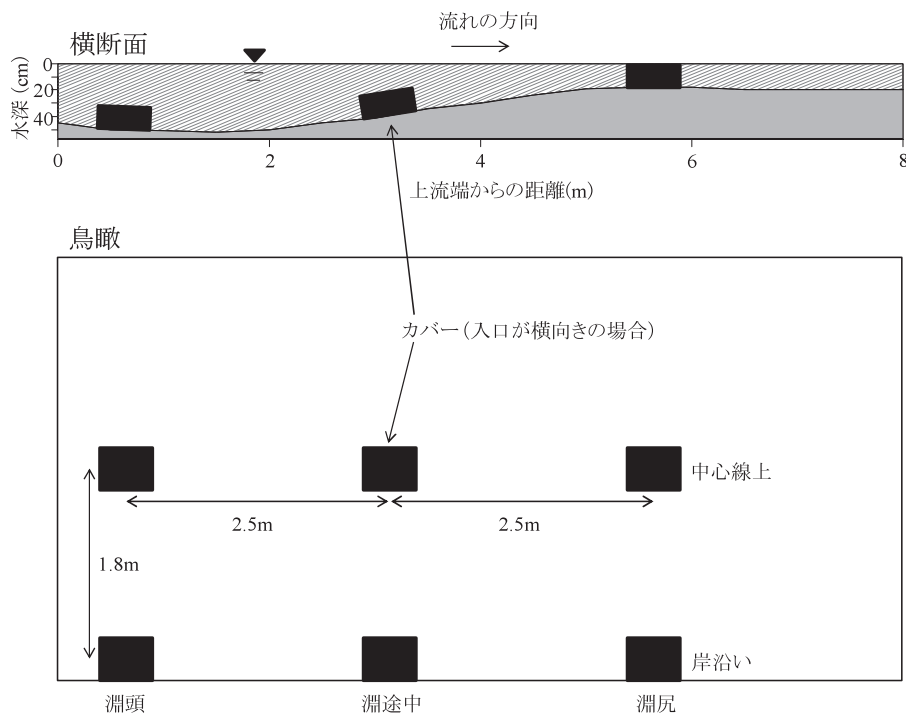


図 1. 淵の横断面と鳥瞰およびカバーの位置

でほぼその深さであった（図1）。表層流速は上流端付近で約15.5cm/s、中間付近で約16.0cm/s、下流端付近で約30.3cm/sであった。淵の底には粒径5～40mmの礫を敷き、実験用の魚が逸出しないように淵の下流端に金網を張ったフェンスを設置した。上流側については、上流方向に逃げようとした魚が後述の淵頭のカバーにすべて入らないようにするため、淵の上流端から8mの位置に高さ70cmの木製の垂直の段差を設けて、そこまで魚が遡上できるようにした。段差までの間の川幅は2m、水深は8cmであった。この川の水源は湧水のため、水温は年間を通して約10°Cである。

カバーの設置 コンクリートブロック（長さ×高さ×厚さ=39cm×19cm×10cm）をコの字型に置き、その上に天板として被せたコンポジットパネル（通称コンパネ、木製）を針金で固定し、カバーを作成した（写真2）。岩や礫、植物の下や川岸のえぐれ等のタイプのカバーを模して作った。カバーの中（天板の下）のスペースは、入口正面からみると幅39cm、高さ19cm、奥行き39cmであった。カバーの中を観察できるように、カバー入口（カバーの開口部、魚の入口）の手前に動画で観られる水中カメラを設置した（写真2）。供試魚を人影等で脅すことを防ぐため、淵から離れた場所にテントを設営し、その中にモニターを設置して水中カメラからの映像を観察した。

淵の右岸沿いと縦断中心線上の、それぞれ上流端、中ほど、下流端近くの合計6箇所にカバーを1個ずつ設置した（図1、写真1）。以降、淵の右岸沿い、縦断中心線上をそれぞれ岸沿い、中心線上と呼称し、上流端、中ほど、下流端近くをそれぞれ淵頭、淵途中、淵尻と呼称する。岸沿いと中心線上のカバーの中心位置の間隔は1.8mであった。淵頭、淵途中、淵尻のカバーについては2.5m間隔で設置し、淵の上流端からカバーの中心位置までの距離は淵頭0.5m、淵途中3.0m、淵尻5.5mであった。ただし、カバー入口が上流向きの場合については、淵頭のカバーを横向きおよび下流向きと同じ場所に設置した



写真2. カバーの外観

ところ、水中カメラの映像に淵頭の落ち込みで発生する白泡が映ってカバー内を観察できなかった。そのため、全てのカバーをカバー入口が横向きおよび下流向きの場合に比べて下流に70cmずらして設置した。後述するように、カバー入口の向きは、流れに対して横向き（流心向き）、下流向き、上流向きの3通りに変化させた（写真1はカバー入口が横向きの場合）。

供試魚 増養殖研究所日光庁舎で継代飼育されている栃木県那珂川産のニッコウイワナ *S. l. pluvius* の2歳魚を実験に使用した。後述するように、1回の実験に20尾を使用し、死亡した場合には死亡個体とほぼ同サイズの魚を補充してその後の実験を行った。自然河川の淵におけるイワナの1歳以上魚の生息密度が約0.6尾/m²という研究事例（Tanida *et al.* 1989）があることから、本研究では供試魚数を20尾とした（密度は0.63尾/m²）。供試魚の標準体長と体重（平均±標準偏差、*n*=20）は213.1±5.0mm、135.4±12.0gであった。

なお、今回のような実験では、供試魚の個性（個体毎の性質の違い）を打ち消すために、実験毎に異なる個体を使用するのが理想である。しかし、今回は似通ったサイズの供試魚を多く確保できなかったため、上記のように実験を通してほぼ同じ魚を使用した。また、継代飼育魚ではなく野生魚を使用するのが理想であるが、野生魚が人工的に造成された淵と実験のストレスに馴致するかどうかわからないため、今回は継代飼育魚を使用した。

実験方法 カバー入口が横向きの場合、下流向きの場合、上流向きの場合の順に、次のように実験を行った。淵に供試魚（20尾）を放流し、1時間安静にした。安静時間を1時間とした理由は、ほとんどの魚が放流あるいは後述する警戒後1時間以内に摂餌を開始することが予備実験で確認されたためである。安静後、カバー毎に中にいる魚の個体数を水中カメラで観察して記録した。その数値を「平常時」のデータとした。データの記録後、カバーの中に手や棒を入れて、中にいる魚を追い出した。そして、1時間の安静後、上記の作業を5回行い、実験回数を計6回とした。

平常時のデータを収集後、平常時の場合と同様にカバー入口が横向きの場合、下流向きの場合、上流向きの場合の順に警戒時の実験を行った。淵に供試魚（20尾）を放流し、1時間の安静後、約40秒間淵全体をジグザグに人が歩いて魚を脅した（歩行速度は約1m/s）。脅した後、平常時と同様の方法でカバーの中にいる魚の個体数を記録した。その数値を「警戒時」のデータとした。平常時の場合と同様に実験を計6回行った。脅すために歩いた方向と回数は、上流から3回と下流から3回であり、歩く方向を1回毎に変えた。

魚によるカバーの使用状況と太陽光の照度との関係を検証するため、淵の岸に照度計（UA-002-64 HOBO Pendant Temp/Light, 64K, Onset）を設置して5分間隔で照度を記録した。

カバー入口が横向きの場合について2013年7月18、19日、下流向きの場合について同年7月30、31日、上流向きの場合について同年7月31日、8月1日にそれぞれ実験を行った。1日の実験の終了後には、魚を淵から回収し、実験を行った淵と同系統の水をかけ流した水槽（直径155cm、高さ85cmのFRP製円形水槽。水深50cm）に収容し、その後の実験に使用した。

解析方法 実験のパターン毎（例えば、平常時でカバー入口が横向きの場合）に、それぞれのカバーで確認された個体数の6回の実験の合計値を各カバーの使用個体数とした。それらのデータと魚の状態（平常時、警戒時）およびカバーの諸条件（入口向き：横、下流、上流；横断方向位置：岸沿い、中心線上；縦断方向位置：淵頭、淵途中、淵尻）の関係を解析した。魚の状態やカバーの諸条件によってカバーの使用個体数をクロス集計し、比率の差の検定を行った。分散分析や一般線形モデル等の分析ではなく、比率の差の検定を行った理由は、例えば20尾中カバーを使用した魚が12尾、カバーを使用しない魚が8尾というように、それぞれのデータが独立していないためである。データがa行×1列（a≥2）の場合はカイ2乗法による適合度検定、a行×b列（a≥2、b≥2）の場合はカイ2乗検定を行った。多重比較については、a行×1列（a≥3）とa行×2列（a≥3）の場合はBon Ferroniの補正を行い、a行×b列（a≥2、b≥3）の場合は残差分析を行った。実験回数とカバー使用尾数および照度とカバー使用尾数の関係解析にはSpearmanの順位相関検定を行った。いずれの検定でも、有意水準を5%（p<0.05）とした。

結果

平常時 実験全体（計360尾）で、カバーの使用個体数は131尾（36.4%）、不使用個体数は229尾（63.6%）であり（表1）、使用個体より不使用個体の比率の方が有意に高かった（カイ2乗法による適合度検定； $\chi^2=26.678$, $df=1$, $p<0.0001$ ）。

カバーの使用・不使用についてカバー入口の向きに着目すると（表1）、横向きの場合（計120尾）にカバー使用個体数は60尾（50.0%）、不使用個体数は60尾

（50.0%）、下流向きの場合（計120尾）にカバー使用個体数は40尾（33.3%）、不使用個体数は80尾（66.7%）、上流向きの場合（計120尾）にカバー使用個体数は31尾（25.8%）、不使用個体数は89尾（74.2%）であった。入口の向きの中で使用個体数と不使用個体数の比率に有意差が認められ（カイ2乗検定； $\chi^2=15.865$, $df=2$, $p<0.0001$ ）、横向きのカバー使用個体の比率は他の2者に比べて有意に高かった（Bon Ferroniの補正による多重比較：横向きと下流向きの間、 $\chi^2=6.857$, $df=1$, $p=0.009$ ；横向きと上流向きの間、 $\chi^2=14.886$, $df=1$, $p<0.0001$ ；下流向きと上流向きの間、 $\chi^2=1.620$, $df=1$, $p=0.203$ ）。

カバーを使用していた131尾についてカバーの横断方向位置に着目すると（表1）、岸沿いのカバーを使用していたのは70尾（53.4%）、中心線上のカバーを使用していたのは61尾（46.6%）であり、両者間で比率に有意差は認められなかった（カイ2乗法による適合度検定； $\chi^2=0.618$, $df=1$, $p=0.432$ ）。

カバー使用の131尾についてカバーの縦断方向位置に着目すると（表1）、淵頭のカバーを使用していたのは83尾（63.3%）、淵途中のカバーを使用していたのは31尾（23.7%）、淵尻のカバーを使用していたのは17尾（13.0%）であった。3者間で比率に有意差が認められ（カイ2乗法による適合度検定； $\chi^2=55.389$, $df=2$, $p<0.0001$ ）、淵頭のカバー使用個体の比率は他の2者に比べて有意に高かった（Bon Ferroniの補正による多重比較：淵頭と淵途中の間、 $\chi^2=23.719$, $df=1$, $p<0.0001$ ；淵頭と淵尻の間、 $\chi^2=43.560$, $df=1$, $p<0.0001$ ；淵途中と淵尻の間、 $\chi^2=4.083$, $df=1$, $p=0.043$ ）。

警戒時 実験全体（計360尾）で、カバーの使用個体数は227尾（63.1%）、不使用個体数は133尾（36.9%）であり（表2）、使用個体の比率の方が有意に高かった（カイ2乗法による適合度検定； $\chi^2=24.544$, $df=1$, $p<0.0001$ ）。

カバー入口の向きに着目すると（表2）、横向きの場合（計120尾）、下流向きの場合（計120尾）ともにカバー使用個体数は78尾（65.0%）、不使用個体数は42尾（35.0%）、上流向きの場合（計120尾）にカバー使用個体数は71尾（59.2%）、不使用個体数は49尾

表1. 平常時におけるイワナのカバーの使用・不使用個体数

カバー 入口の向き	カバー使用個体数*						カバー 不使用 個体数*
	計	横断方向位置		縦断方向位置			
		岸沿い	中心線上	淵頭	淵途中	淵尻	
横	60	42	18	37	13	10	60
下流	40	11	29	26	13	1	80
上流	31	17	14	20	5	6	89
計	131	70	61	83	31	17	229

*6回の実験の合計

表 2. 警戒時におけるイワナのカバーの使用・不使用個体数

カバー 入口の向き	カバー使用個体数*						カバー 不使用 個体数*
	計	横断方向位置		縦断方向位置			
		岸沿い	中心線上	淵頭	淵途中	淵尻	
横	78	52	26	59	15	4	42
下流	78	32	46	62	13	3	42
上流	71	48	23	57	7	7	49
計	227	132	95	178	35	14	133

*6回の実験の合計

(40.8%) であり、入口の向きの中で使用個体と不使用個体の比率に有意差は認められなかった(カイ 2 乗検定; $\chi^2=1.169$, $df=2$, $p=0.558$)。

カバー使用の 227 尾についてカバーの横断方向位置に着目すると(表 2), 岸沿いのカバーを使用していたのは 132 尾 (58.2%), 中心線上のカバーを使用していたのは 95 尾 (41.8%) であり、岸沿いのカバー使用個体の比率の方が有意に高かった(カイ 2 乗法による適合度検定; $\chi^2=6.031$, $df=1$, $p=0.014$)。

カバー使用の 227 尾についてカバーの縦断方向位置に着目すると(表 2), 淵頭のカバーを使用していたのは 178 尾 (78.4%), 淵途中のカバーを使用していたのは 35 尾 (15.4%), 淵尻のカバーを使用していたのは 14 尾 (6.2%) であった。3 者の間で比率に有意差が認められ(カイ 2 乗法による適合度検定; $\chi^2=210.511$, $df=2$, $p<0.0001$), カバー使用個体の比率は他の 2 者に比べて淵頭で有意に高く、淵尻に比べて淵途中で有意に高かった(Bon Ferroni の補正による多重比較: 淵頭と淵途中の間, $\chi^2=96.005$, $df=1$, $p<0.0001$; 淵頭と淵尻の間, $\chi^2=140.083$, $df=1$, $p<0.0001$; 淵途中と淵尻の間, $\chi^2=9.000$, $df=1$, $p=0.003$)。

平常時と警戒時の比較 平常時(計 360 尾)のカバー使用個体数は 131 尾 (36.4%), 不使用個体数は 229 尾 (63.6%) であり、警戒時(計 360 尾)のカバー使用個体数は 227 尾 (63.1%), 不使用個体数は 133 尾 (36.9%) であった(表 1, 表 2)。平常時と警戒時の間で使用個体と不使用個体の比率に有意差が認められ(カイ 2 乗検定; $\chi^2=51.202$, $df=1$, $p<0.0001$), 警戒時の方が使用個体の比率は高かった。

カバー入口の向きに着目すると(表 1, 表 2), 平常時のカバー使用個体数(計 131 尾)は横向きの場合に 60 尾 (45.8%), 下流向きの場合に 40 尾 (30.5%), 上流向きの場合に 31 尾 (23.7%) であり、警戒時の使用個体数(計 227 尾)は横向きの場合に 78 尾 (34.4%), 下流向きの場合に 78 尾 (34.4%), 上流向きの場合に 71 尾 (31.2%) であった。入口の向きについて平常時と警戒時の間で使用個体の比率に有意差は認められなかった(カイ 2 乗検定; $\chi^2=4.879$, $df=2$, $p=0.087$)。ただし, p 値は 0.087 とそれほど小さくなく、残差分析では入口が横向きの場

合に警戒時より平常時の方が使用個体の比率は有意に高かった(調整済み残差 = |2.1|, $p=0.036$)。

カバーの横断方向位置に着目すると(表 1, 表 2), 平常時のカバー使用個体数は岸沿いの場合に 70 尾 (53.4%), 中心線上の場合に 61 尾 (46.6%) であり、警戒時の使用個体数は岸沿いの場合に 132 尾 (58.2%), 中心線上の場合に 95 尾 (41.8%) であった。横断方向位置について平常時と警戒時の間で使用個体の比率に有意差は認められなかった(カイ 2 乗検定; $\chi^2=0.751$, $df=1$, $p=0.386$)。

カバーの縦断方向位置に着目すると(表 1, 表 2), 平常時のカバー使用個体数は淵頭の場合に 83 尾 (63.3%), 淵途中の場合に 31 尾 (23.7%), 淵尻の場合に 17 尾 (13.0%) であり、警戒時の使用個体数は淵頭の場合に 178 尾 (78.4%), 淵途中の場合に 35 尾 (15.4%), 淵尻の場合に 14 尾 (6.2%) であった。縦断方向位置について平常時と警戒時の間で比率に有意差が認められた(カイ 2 乗検定; $\chi^2=10.094$, $df=2$, $p=0.006$)。淵頭, 淵途中, 淵尻それぞれについてみると, カバー使用個体の比率は淵頭では平常時に比べて警戒時の方が高く、淵尻では警戒時に比べて平常時の方が高かった(残差分析: 淵頭, 調整済み残差 = |3.1|, $p=0.002$; 淵尻, 調整済み残差 = |2.2|, $p=0.028$)。淵途中の調整済み残差は |1.9|, p 値は 0.057 であり, 有意ではないが警戒時に比べて平常時の方がカバー使用個体の比率は高いという傾向が認められた。

実験回数とカバー使用個体数の関係 実験回数とカバー使用個体数の間(図 2)には, 警戒時でカバー入口が下流向きの場合に有意な負の相関が認められたが(Spearman の順位相関検定; $r=-0.841$, $p=0.036$), それ以外の場合では有意な相関は認められなかった(Spearman の順位相関検定; 平常時・横向き, $r=-0.334$, $p=0.518$; 警戒時・横向き, $r=-0.116$, $p=0.827$; 平常時・下流向き, $r=-0.464$, $p=0.354$; 平常時・上流向き, $r=0.309$, $p=0.552$; 警戒時・上流向き, $r=0.088$, $p=0.868$)。

照度とカバー使用個体数の関係 照度とカバー使用個体数の間(図 3)には, カバー入口が横向き, 下流向き, 上流向きのいずれの場合でも, 平常時, 警戒時と

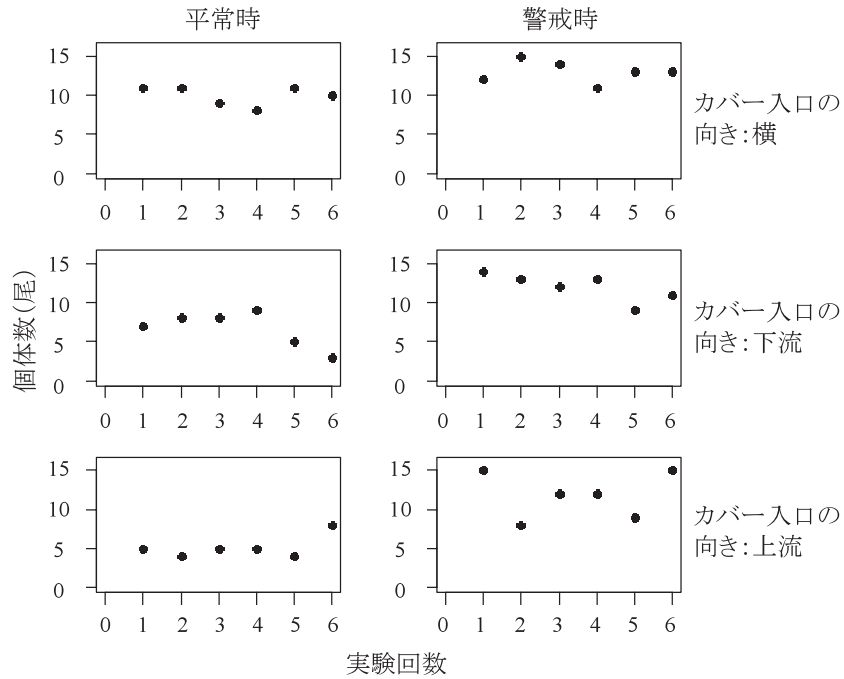


図2. 実験回数とカバー内で確認されたイワナの個体数の関係

もに、有意な相関は認められなかった (Spearman の順位相関検定: 平常時・横向き, $r=-0.395$, $p=0.439$; 警戒時・横向き, $r=-0.406$, $p=0.425$; 平常時・下流向き, $r=-0.603$, $p=0.205$; 警戒時・下流向き, $r=-0.588$, $p=0.219$; 平常時・上流向き, $r=-0.339$, $p=0.510$; 警戒時・

上流向き, $r=-0.059$, $p=0.912$)。

考 察

実験回数, 照度の影響 警戒時で入口が下流向きの場合

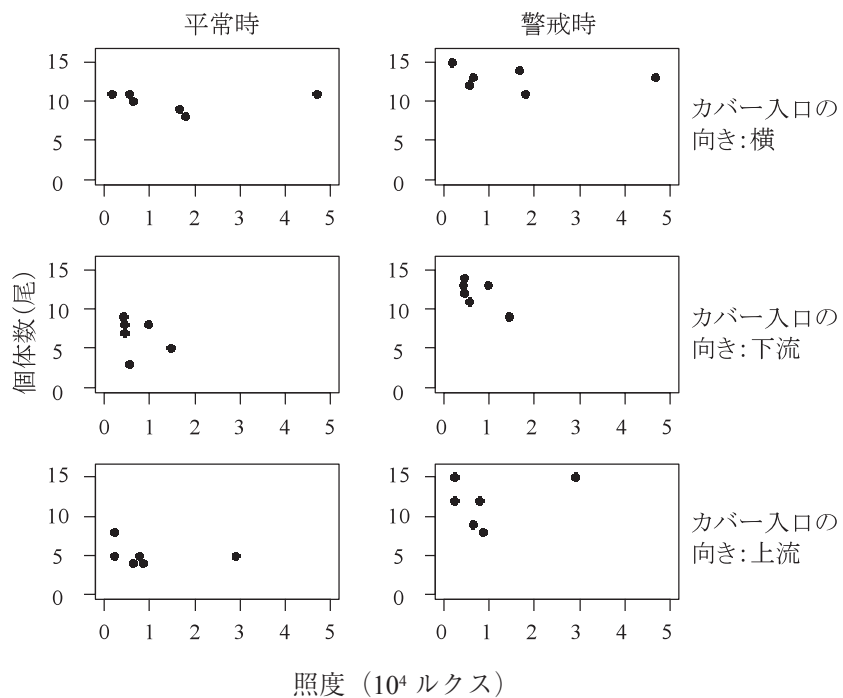


図3. 淵表面の照度とカバー内で確認されたイワナの個体数の関係

に実験回数とカバー使用個体数の間に負の相関が認められたが、その他の場合では両者の間に特に相関は認められなかった。警戒時・入口下流向きの場合に負の相関が認められた理由は不明であるが、相関があったのはこの場合のみであることから、例えば実験が進むにつれてカバーに対する魚の警戒心が増大してカバーを使用する個体数が減少するというような実験回数が結果に及ぼす影響は軽微であったと言える。また、照度とカバー使用個体数の間に有意な相関は認められず、実験時の天候や時間帯による照度の違いも実験結果に影響を及ぼさなかったと言える。

カバーの位置 今回の実験の結果、カバーの縦断方向位置についてみると、平常時、警戒時ともに、淵途中や淵尻に比べて淵頭のカバーの使用個体数は多く、その傾向は警戒時の方が強いことが明らかになった。イワナには、警戒時に淵頭にあるカバーに逃げ込むことによって安全を確保する特性があると考えられる。一般に淵頭の水深は深い。1歳以降のイワナは河川内のより深く、より流速の小さい場所に定位して摂餌することが多い（山本ら 2001, 柳生 2009）。また、淵頭には餌が多く流れ込むため、淵頭はサケ科魚類にとってエネルギー獲得が最大になる場所である（Hughes 1992, Huntingford 1993, Nakano 1995）。これらのことから、水深があって流速が遅く、流れてくる餌の量が多いため、淵頭のカバーの使用個体数は平常時にも多かったと考えられる。いっぽう、平常時には警戒時に比べて淵途中や淵尻のカバーの使用個体数が多かった。イワナを含むサケ科魚類は個体間の干渉行動が激しく、なわばりを持つ（Chapman 1962, 中野・谷口 1996）。淵頭だけでなく淵途中や淵尻のカバー周辺にもなわばりを持って摂餌する個体がいるため、淵途中や淵尻のカバーの使用個体数が多かったと考えられる。

カバーの横断方向位置についてみると、警戒時に岸沿いのカバーの使用個体数が多かった。魚類は物理的環境が好適な場所に移動する（Shirvell 1990）。イワナには、岸沿いのカバーの方が安心する「接岸性」と言うべき性質があるのかもしれない。

カバー入口の方向 今回の実験では、平常時に入口が横向きのカバーの使用個体数が多く、警戒時に入口の向きの間でカバーの使用個体数に差はなかった。警戒時には逃避が最優先されるため、カバーの入口向きに対する選好性はなかったと考えられる。

平常時に入口が横向きのカバーの使用個体数が多かった理由を考察する。河川におけるサケ科魚類の成長率は定位位置によって決定される（Fausch 1984, Rimmer *et al.* 1984）。成長率が最大になる定位位置は、獲得する餌の量が最大で、なおかつ遊泳のためのエネルギー消費が最小の場所であり、それは多量の餌が流下する流速の早い場所のすぐ近くの流速が遅い場所である（Fausch 1984, Rimmer *et al.* 1984）。入口が横向きであれば、カバーの中にいる魚は流下してくる餌を発見しやすい。また、

餌を摂りに行き、カバーの中に戻るまでの時間も短くて済むため、捕食者に襲われる可能性も低い。それに対して、入口が下流向きのカバーはその中にいる魚にとって摂餌に不向きである。なぜならば、一般に餌は上流から流れてくるのにカバーの入口が下流を向いているため、流下する餌を発見しにくいからである。いっぽう、入口が上流向きのカバーの場合は、今回の実験では強い流れが直接カバーの中に入って流れが安定せず、魚が定位しにくいように見えた。以上のように、入口が横向きのカバーは、最小の遊泳エネルギーで、なおかつ安全により多くの摂餌が可能な構造であるため、平常時に使用個体数が多かった可能性がある。

結論と今後の課題 以上の結果と考察から、淵におけるイワナとカバーの関係について、次の2つのことが言える。ひとつは、平常時、すなわち摂餌用には入口が横向きのカバーが淵の随所にあるのが良いということである。もうひとつは、警戒時、すなわち避難用には淵頭の岸寄りにカバーがあるのが良く、その場合に入口の向きは特に関係ないということである。

ただし、今回の実験には無視できない欠点がある。すなわち、同じ個体を繰り返して実験に使用したこと、および入口が上流向きのカバーを横向き・下流向きの場合と若干異なる位置に設置したことである。今後、実験毎に異なる個体を使用するとともに、入口がどの方向を向いているカバーであっても設置位置を統一して実験を行う必要がある。また、サケ科魚類では、同じ種であっても、体サイズが異なると好適な生息場所の物理的条件は異なる（Lewis 1969, Rimmer *et al.* 1984, Bisson *et al.* 1988, Shirvell 1990, Fausch 1993）。今回の実験は夏（7月下旬～8月上旬）に行われたが、季節によってサケ科魚類の好む流速や水深は異なる（Rimmer *et al.* 1984, McMahon and Hartman 1989）。さらに、同じ体サイズの魚であっても、水深や流速、川幅等によって好適なカバーの位置や入口の向きに差のある可能性がある。したがって、今後は水深や流速、川幅、魚の体サイズ、季節等の条件を変化させて本種のカバー選択性を明らかにする必要がある。

謝 辞

本研究を行うにあたり、国立研究開発法人水産総合研究センター増養殖研究所内水面研究部の内田和男部長（当時）をはじめとする職員の方々に終始多大な御協力をいただいた。これらの方々に深く心から感謝する。本研究は水産庁「平成25年度内水面資源生息環境改善手法開発事業」の一環として実施された。

文 献

Bisson P A, Bilby R E, Bryant M D, Dolloff C A, Grette G B, House

- R A, Murphy M L, Koski K V and Sedell J R (1987) Large woody debris in forested streams in the Pacific Northwest: past, present, and future. in "Streamside Management : Forestry and Fishery Interactions. Contribution 57" (ed. by E. O. Salo and T. W. Cundy), University of Washington, Institute of Forest Resources, Seattle, p.143-190.
- Bisson P A, Kullivank and Nielsen J L (1988) Channel hydraulics, habitat use, and body form of juvenile coho salmon, steelhead, and cutthroat trout in streams. *Trans. Am. Fish. Soc.*, **117**, 262-273.
- Boussu M F (1954) Relationship between trout populations and cover on a small stream. *J. Wildl. Manage.*, **18**, 229-239.
- Chapman D W (1962) Aggressive behavior in juvenile coho salmon as a cause of emigration. *J. Fish. Res. Board Can.*, **19**, 1047-1080.
- DeVore P W and White R J (1978) Daytime responses of brown trout (*Salmo trutta*) to cover stimuli in stream channel. *Trans. Am. Fish. Soc.*, **107**, 763-771.
- Fausch K D (1984) Profitable stream positions for salmonids: relating specific growth rate to net energy gain. *Can. J. Zool.*, **62**, 441-451.
- Fausch K D (1993) Experimental analysis of microhabitat selection by juvenile steelhead (*Oncorhynchus mykiss*) and coho salmon (*O. kisutch*) in a British Columbia stream. *Can. J. Fish.*, **50**, 1198-1207.
- Fausch K D and Northcote T G (1992) Large woody debris and salmonid habitat in a small coastal British Columbia stream. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **49**, 682-693.
- Heggnes J (1988) Effects of short-term flow fluctuations on displacement of, and habitat use by, brown trout in a small stream. *Trans. Am. Fish. Soc.*, **117**, 336-344.
- Hughes N F (1992) Ranking of feeding positions by drift-feeding arctic grayling (*Thymallus arcticus*) in dominance hierarchies. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **49**, 1994-1998.
- Huntingford F A (1993) Can cost-benefit analysis explain fish distribution patterns?. *J. Fish Biol.*, **43** (Supplement A), 289-308.
- Inoue M and Nakano S (1998) Effects of woody debris on the habitat of juvenile masu salmon (*Oncorhynchus masou*) in northern Japanese streams. *Freshwater Biol.*, **40**, 1-16.
- Kawanabe H. (1989) Japanese char(r(r)s and masu-salmon problems: a review. *Physio. Ecol. Japan, Spec.* **1**, 13-24.
- Lewis S L (1969) Physical factors influencing fish populations in pools of a trout stream. *Trans. Am. Fish. Soc.*, **98**, 14-19.
- McMahon T E and Hartman G F (1989) Influence of cover complexity and current velocity on winter habitat use by juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **46**, 1551-1557.
- 中村智幸 (1998) イワナにおける支流の意義. 「魚から見た水環境—復元生態学に向けて/河川編—自然復元特集 4」(森誠一編), 信山社サイテック, 東京, p.177-187.
- 中村智幸 (1999) 鬼怒川上流におけるイワナ, ヤマメの産卵床の立地条件の比較. *日水誌*, **65**, 427-433.
- 中村智幸 (2007) イワナをもっと増やしたい! フライの雑誌社, 東京, 199 p.
- Nakamura T (2011) Relationships between physical characteristics of pools and the residency of stream-dwelling white-spotted charr. *Aquacult. Sci.*, **59**, 427-433.
- Nakamura T, Maruyama T and Watanabe S (2002) Residency and movement of stream-dwelling Japanese charr, *Salvelinus leucomaenis*, in a central Japanese mountain stream. *Ecol. Freshw. Fish.*, **11**, 150-157.
- 中村智幸・徳田幸憲・高橋剛一郎 (2009) 人工産卵河川におけるイワナの産卵と当歳魚の動態. *応用生態工学*, **12**, 1-12.
- Nakano S (1995) Individual differences in resource use, growth, and emigration under the influence of a dominance hierarchy in fluvial red-spotted masu salmon in a natural habitat. *J. Anim. Ecol.*, **64**, 75-84.
- 中野 繁・谷口義則 (1996) 淡水性サケ科魚類における種間競争と異種共存機構. *魚類学雑誌*, **43**, 59-78.
- Rimmer D M, Paim U and Saunders R L (1984) Changes on the selection of microhabitat by juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) at the summer-autumn transition in a small river. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **41**, 469-475.
- 佐藤拓哉・名越 誠 (2005) 山地溪流域における淵の造成による河川環境の局所的回復と魚類個体群の短期的な反応. 関西自然保護機構会誌, **27**, 35-43.
- Shirvell C S (1990) Role of instream rootwads as juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) and steelhead trout (*O. mykiss*) cover habitat under varying streamflows. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **47**, 852-861.
- Tanida K, Maruyama T and Saito Y (1989) Feeding ecology of Japanese charr (*Salvelinus leucomaenis*) in a high moor and adjacent streams in central Japan. *Physio. Ecol. Japan, Spec.* **1**, 279-294.
- 柳生将之 (2009) 山地河川におけるイワナの採餌選択性. *魚類学雑誌*, **56**, 111-118.
- 山本 聡・三城 勇・小原昌和 (2001) 千曲川水系の山地溪流におけるイワナの微小生息場所の物理的環境. 長野県水産試験場報告, **5**, 1-8.
- Wang L W, Simonson T D and Lyons J (1996) Accuracy and precision of selected stream habitat estimates. *North Am. J. Fish. Manag.*, **16**, 340-347.
- Wesche T A, Goertler C M and Frye C B (1987) Contribution of riparian to trout cover in small streams. *North Am. J. Fish. Manag.*, **7**, 151-153.