

越冬期におけるサクラマス幼魚の
好適物理環境条件

THE SUITABLE PHYSICS ENVIRONMENTAL CONDITIONS IN
OVERWINTERING OF JUVENILE MASU SALMON

中里 享史¹・巻口 範人²・渡邊 康玄³
Takafumi NAKASATO, Norito MAKIGUCH and Yasuharu WATANABE

¹正会員 社団法人北海道栽培漁業振興公社 (〒060-0003 札幌市中央区北3条西7丁目1番地)

²社団法人北海道栽培漁業振興公社 (〒060-0003 札幌市中央区北3条西7丁目1番地)

³正会員 工博 独立行政法人北海道開発土木研究所 (〒062-8602札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)

Because of its high dependence on and relation to river, juvenile masu salmon (*Oncorhynchus masou masou*) can be an index when we consider river environment. In Hokkaido which is covered with snow in winter, overwintering term is the time sever to juvenile masu salmon surviving, as water temperature and fish metabolism decrease. So reduction of overwintering condition has the large influence on juvenile masu salmon. In this point, paying attention to overwintering term, we argue about suitable physical conditions for juvenile masu salmon using Froude number, main-ingredients analysis and so on.

Key Words: juvenile masu salmon, overwintering, physical environment, cover

1. はじめに

サクラマスの生活史は、遡上・産卵・河川生活そして海洋生活へと移行する。ふ化してから降海するまでの約1年間は河川で過ごし、サケなど他のサケ科魚類より、河川生活が長く、河川との関わりが極めて高い魚種である。このことから、サクラマス幼魚は、河川環境を考える上での指標となる。

積雪地帯で寒冷な北海道においては、越冬期の環境が劣悪であればサクラマスの生残に与える影響は大きい。冬期間の死亡率の増大は、越冬に適した環境が失われることに起因していることが知られている¹⁾。また、この時期は水温や代謝機能が低下し、サクラマス幼魚にとって生残に厳しい時期でもあり、越冬環境の質が生残率を左右する重要な要因ともなっている^{1), 2)}。

この報文は、サクラマスの生態的研究のうち、特に越冬期の好適な物理環境を解明することを目的として、2カ年の現地調査を基に、サクラマス幼魚の分布と各物理環境条件について検討した。

2. 調査方法

(1) 調査区間

調査河川は、道北の内陸に位置し、サクラマス幼魚が優占的に生息するA河川とその支流のB河川及びC河川の3河川とした。調査地点は、A河川にa地点、B河川にb及びc地点、C河川にd及びe地点の計5地点で実施した。

各調査地点に、瀬と淵から構成する一単位形態が1対以上含まれるように調査区間を設定した。調査区間内の流心部を中心線とし、これに沿って2~5m間隔で直角になるように横断線を設けた。

また、横断線上に左右岸、中心線及び中心線から左右岸までの1/2の距離で分割し、区画されたセルを調査単位とした(表-1, 図-1)。

表-1 地点別調査区間

調査地点	調査区間 (m)	川 幅 (m)	縦断測線 間隔 (m)
a	255	14.0~26.5	5
b	78	3.5~14.7	3
c	60	4.0~9.3	2
d	88	2.8~8.6	2
e	62	2.8~7.3	2

(2) 水深・流速

水深・流速は、各セルの四隅において測定し、四隅の値の平均値を各セルの代表値とした。水深は、1cm単位で測定した。流速は、セルごとの流れ場をより正確に把

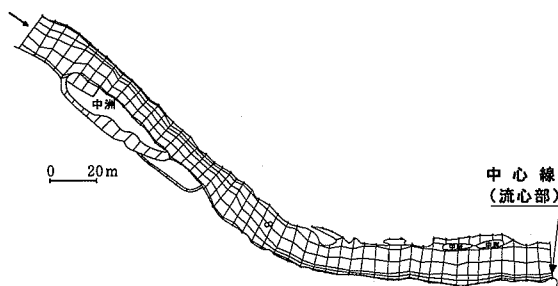


図-1 調査区間図 (a地点)

握するため、各隅の水深によって、全水深0.3m以下の場合には60%, 0.3~0.5mの場合には20%, 80%, 0.5m以上の場合には20%, 50%, 80%のそれぞれの箇所について電磁流速計(東京計測(株)社製,SF5511)を用いて測定した。

(3) カバー

セル毎に、カバーの種類、構造、位置を記録し、被覆度(各セルの水面積に対する被覆割合)を算出した。

なお、カバーの種類は、倒流木、枝、根、ヨシ、ササ、雪庇、洗掘及び礫とし、水中及び水面上50cm以内のものをカバーとした。

(4) 河床底質

セルごとの河床表面を形成する礫径は岩盤、砂(<2mm)、細礫(2~30mm)、中礫(30~100mm)、粗礫(100~250mm)、巨礫(≥250mm)と6区分³⁾して、礫径の範囲と平均的な礫径について目視計測した。

(5) サクラマス幼魚の採捕

セルごとに電気ショッカー(Model 12-A Backpack Electrofisher Smith-Root社製)を用いて採捕し、確認箇所、採捕尾数、体長(尾叉長)を記録した。また、サクラマス幼魚が確認された箇所についてもカバーの種類、水深・流速を測定した。採捕終了後に、尾叉長と体重を測定した。

3. 解析手順及び方法

(1) 流路区分と分布

水面勾配と河床勾配の実測データと現地での目視観察を基に流路区分し⁴⁾、瀬・淵を構成する流路単位や連続性の中で、サクラマス幼魚が、巨視的にみてどのような箇所を越冬場として利用しているのかを把握した。

(2) フールド数と分布

局所的なフルード数(以下 Fr)によって瀬・淵の区分が可能であることが真駒内川³⁾や群別川⁴⁾で報告されていることから、Frを用いて区分し、どのような流れの状況を越冬場として利用しているのかを定量的に把握した。

(3) 物理環境と分布

サクラマス幼魚が確認された箇所の物理環境(水深・流速・カバーの種類・被覆度・河床底質)について整理し、微視的にみてどのような箇所を越冬場として利用しているのかを把握した。

(4) 物理環境因子の抽出

物理環境の各因子についてサクラマス幼魚が採捕されたセルと採捕されなかったセルについてKolmogorov-smirnov検定(以下 z検定)を行い、物理環境因子を抽出した。

(5) 物理環境因子の評価

z検定の結果、有意な差が認められた因子を必ず用いるようにして、これに有意な差が認められなかった因子を加えた組み合わせについて主成分分析と選択度指数の関係を検討した。

各主成分分析で得られた第1主成分と第2主成分及び第1主成分と第3主成分の得点を用いて、それぞれ散布図を作成し、直行座標軸で分離された4象限に基づき4タイプの対象セルに分類した。

これらの主成分分析によって分離された対象セルの分類は、物理環境因子のみによる評価であり、サクラマス幼魚の分布状況とは関連がないことから、どの分類がサクラマス幼魚の分布状況を反映しているのかを把握するため4タイプに対する選択度指数を求め比較した。

なお、選択度指数は、Jacobsの選択度指数⁵⁾(1)を用いた。選択度指数は、-1~1の値をとり、1が最も選択性が高く、-1は選択性が低い物理環境と判断される。

$$D_{sa} = \frac{(r_s - p_a)}{(r_s + p_a - 2r_s p_a)} \quad (1)$$

ここに、 D_{sa} : サクラマス幼魚sの物理環境タイプaへの選択度、 r_s : sが分布したセルのうちaの占める割合、 p_a : 分離された調査対象セル全体に占めるaの割合である。

4. 調査結果

サクラマス幼魚は、一般に水温が5℃以下になる時期には越冬場へ移行していることから¹⁾、水温観測データを参考に各河川の水温が5℃以下になる時期として、現地調査を平成14年11月22~28日及び平成15年11月26日~12月2日に実施した。

また、現地調査は、5地点で実施しているが、ここでは調査区間が長く、調査対象セル数が317個(H14)、337個(H15)と最も多いA河川のa地点を例として、以下に述べる。

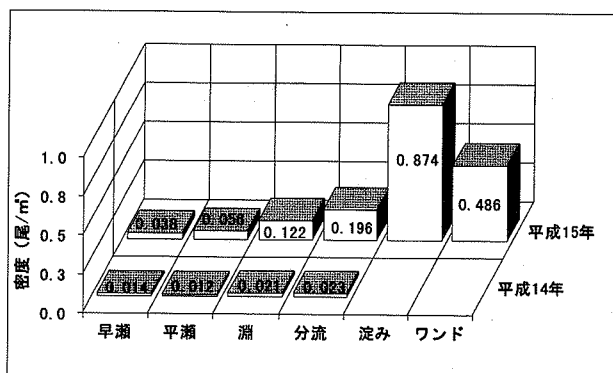


図-4 流路区分別生息密度 (a地点)

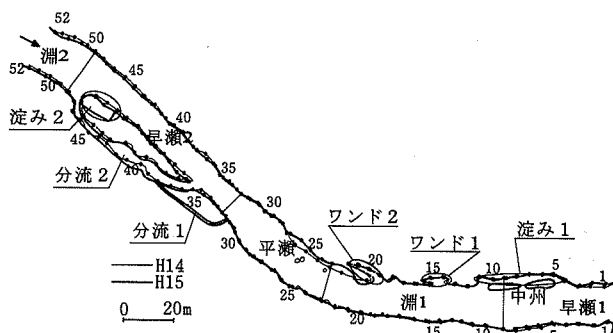


図-2 比較平面図 (a地点)

(1) 調査区間状況

図-2は、平成14、15年のa地点における比較平面図である。調査日の流量は、平成14年が5.15～5.64m³/sであったのに対し、平成15年は5.66～7.17m³/sと平成14年を上回る流量であった。このことから、平成15年は、平成14年にはみられなかった下流 (No. 5～10) の左岸寄りに中洲がみられ、水際には淀み (No. 4～11) が形成されていた。また、その上流側にはワンドが2箇所 (No. 14～15, No. 19～22) 形成されていた。平成14年と同様に上流側の中洲によって右岸側に分流 (No. 36～48) が形成されていたが、平成15年は、その分流に、さらに小さな分流 (No. 32～37) が形成されていた。

なお、上流側の中洲の一部分については、ヨシ群落の中を緩やかではあるが、流れがあったことから、淀み (No. 45～47) として区分した。

(2) 流路区分と分布状況

水面勾配と河床勾配の実測データを用いた流路区分と現地における目視観察での流路区分とに大きな差は認められず、図-3のように区分された。さらに、分流・淀み・ワンドの部分の水際域とし、それ以外の部分を水域とした。また、水域は、さらに前述の早瀬・平瀬・淵の3区分とした。図-4に示す流路区分別の生息密度をみると、水域 (早瀬・平瀬・淵) では、2カ年とも淵、平瀬、早瀬の順に高い値を示し、早瀬においても生息密度は低いサクラマス幼魚は分布していることが知られた。また、水際域 (分流・淀み・ワンド) の生息密度は、平成14年は分流のみであるが、淵における生息密度を上回る

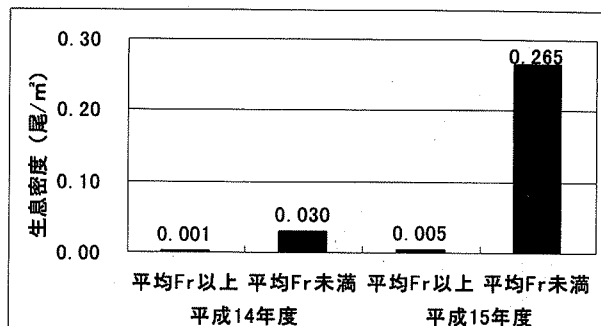


図-5 平均Fr区分と生息密度 (a地点)

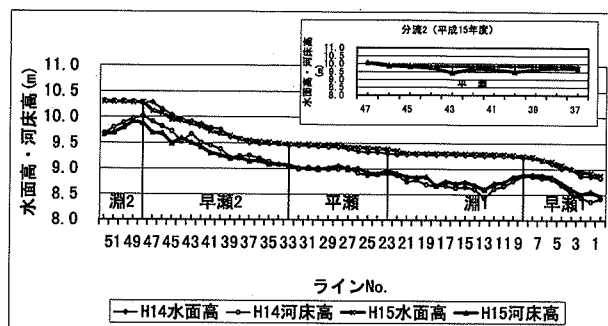


図-3 縦断面図と流路区分 (a地点)

値であり、平成15年においても淀み、ワンド、分流の順に高い値を示し、2カ年とも水域よりも水際域で生息密度が高い値を示した。

(3) フルード数区分と分布状況

同一地点においても流量の変化によってFrは変化し、瀬・淵などの境界値も異なることから、絶対値を用いてサクラマス幼魚の分布状況を把握することには、不都合が生じる。そこで、調査区間の平均Frを基準値として相対的なFr値の分布状況を把握することとした。

図-5は、区間平均Frを基準値として、各セルのFrが基準値より大きいのか、小さいかで生息密度を算出した図である。2カ年とも平均Frより低い値を示すセルで生息密度は高い値を示した。区分されたセルにサクラマス幼魚の分布状況を重ねると図-6のようになり、サクラマス幼魚は、平均Frよりも低いセルに平成14年は約97%の個体が、平成15年は約98%の個体が分布していた。また、水際域を除いた水域での分布状況をみると、流心部側の河岸部寄りに多く分布している傾向にあった。

(4) 物理環境と分布状況

物理環境因子と採捕尾数頻度を図-7に示した。各因子についてみると、水深・流速は、それぞれ0.3m以浅、0.2m/s以下で採捕尾数が多かった。カバールの種類は、複数のカバールが存在する複合で多く、被覆度は平成14年が50～60%が多かったのに対し、平成15年は被覆度による採捕尾数の多寡に大きな相違はみられなかった。また、河床底質は、中礫で多く採捕された。

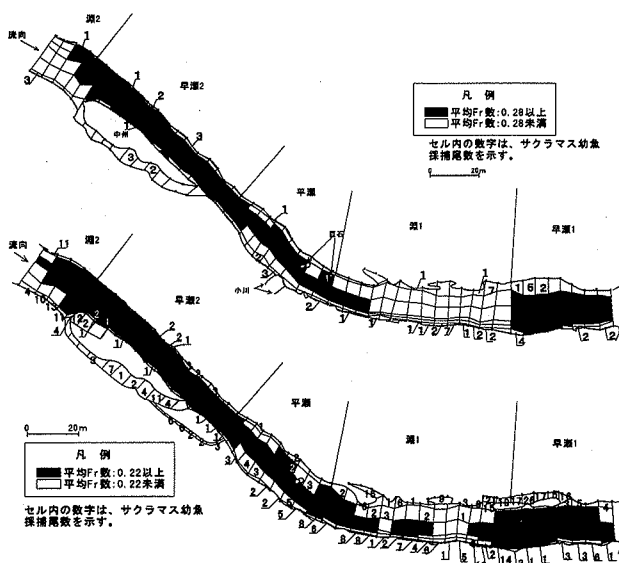


図-6 a地点における平均Fr区分とサクラマス幼魚分布状況(上段:H14, 下段:H15)

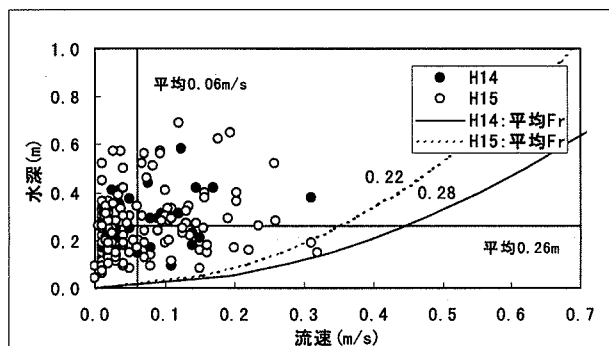


図-8 採捕箇所の水深と流速(a地点)

なお、サクラマス幼魚が採捕された箇所の水深と流速の関係を図-8に示した。2カ年の結果では、水深0.4m以下、流速0.05m/s以下に多く分布している傾向にあった。この散布図に、平均Frを重ねると、ほとんど全てのサクラマス幼魚が平均Frよりも低い箇所に分布していることがわかる。

(5) 物理環境因子の抽出

z検定の結果、平成14年は水深、流速、被覆度の3因子に有意な差が認められ、平成15年は上記3因子に河床底質を加えた全4因子に有意な差が認められた(表-2)。

(6) 物理環境因子の評価

検定結果から、有意な差があった因子と他の因子を加えた組み合わせ全て(平成14年は2通り、平成15年は全4因子に有意な差があったことから1通り)について主成分分析と選択度指数の関係を検討した。

その結果、全4因子を用いた第1主成分と第3主成分からなる散布図のⅢタイプ、すなわち水深が浅く、流速の緩やかな被覆度の高いセルに2カ年とも選択度指数が最

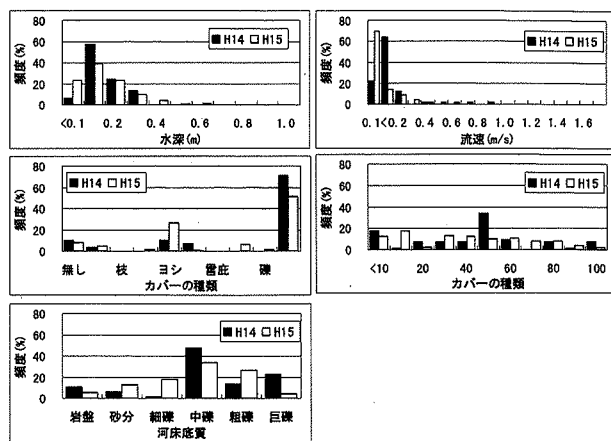


図-7 各物理環境因子と採捕尾数頻度(a地点)

表-2 z検定結果(a地点)

環境因子	検定方法	有意差			
		H14		H15	
水深	Z-Test	p>0.05	無	p>0.1	無
流速	Z-Test	p>0.1	無	p<0.01	有
被覆度	Z-Test	p<0.05	有	p<0.01	有
河床底質	Z-Test	p>0.1	無	p>0.1	無

表-3 a地点における各タイプに対する選択度指数(上段:H14, 下段:H15)

水深	流速	被覆度	底質	PC-1, PC-3			
				I	II	III	IV
●	●	●	○	-1.00	-0.62	0.70	-0.13
●	●	●	○	-0.92	-0.44	0.88	-0.02

水深	流速	被覆度	底質	PC-1, PC-3			
				I	II	III	IV
●	●	●	●	-0.90	0.16	0.76	0.13

● : 有意な差が認められた因子 ○ : 有意な差が認められなかった因子
 : 選択度指数が高いタイプ

も高い値を示した(表-3, 図-9)。

5. 好適物理環境条件

サクラマス幼魚の分布について、巨視的にみた場合と微視的にみた場合の繋がりを検討するため、平均Frと主成分分析によって分類された4タイプの組み合わせの生息密度を図-10, 11に示した。

越冬期における生息密度の高い場所は、a, b及びc地点の3地点では、水深が浅く、流速の緩やかな被覆度の高い場所、もしくは、流速が速くても水深の深い被覆度の高い場所であった。

d地点では、年によって異なり、平成14年は水深が深く、被覆度の高い場所であり、平成15年は流速の緩やかな、被覆度の高い場所であった。

e地点では、2カ年とも流速の緩やかな被覆度の高い場所であった。しかし、平成14年は、区間平均Frよりも高い場所で流速の緩やかな被覆度の低い場所においても生息密度は高い値を示した。この要因としては、区間平均

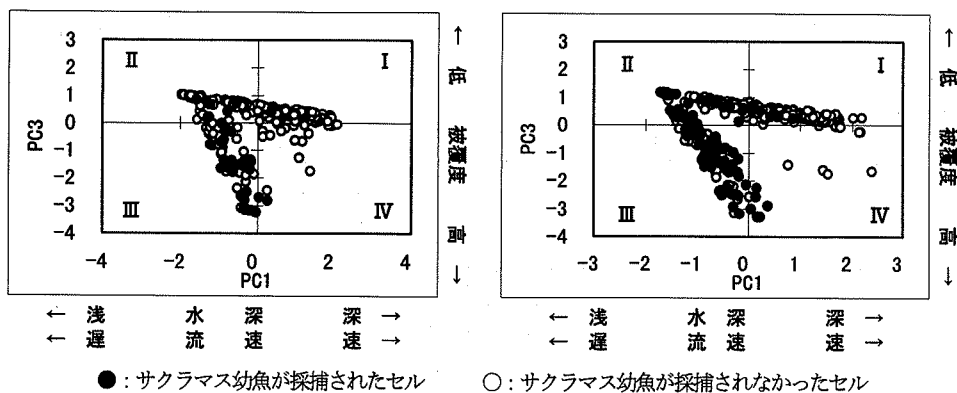


図-9 a地点における第1,3主成分を用いた散布図 (左:H14, 右:H15)

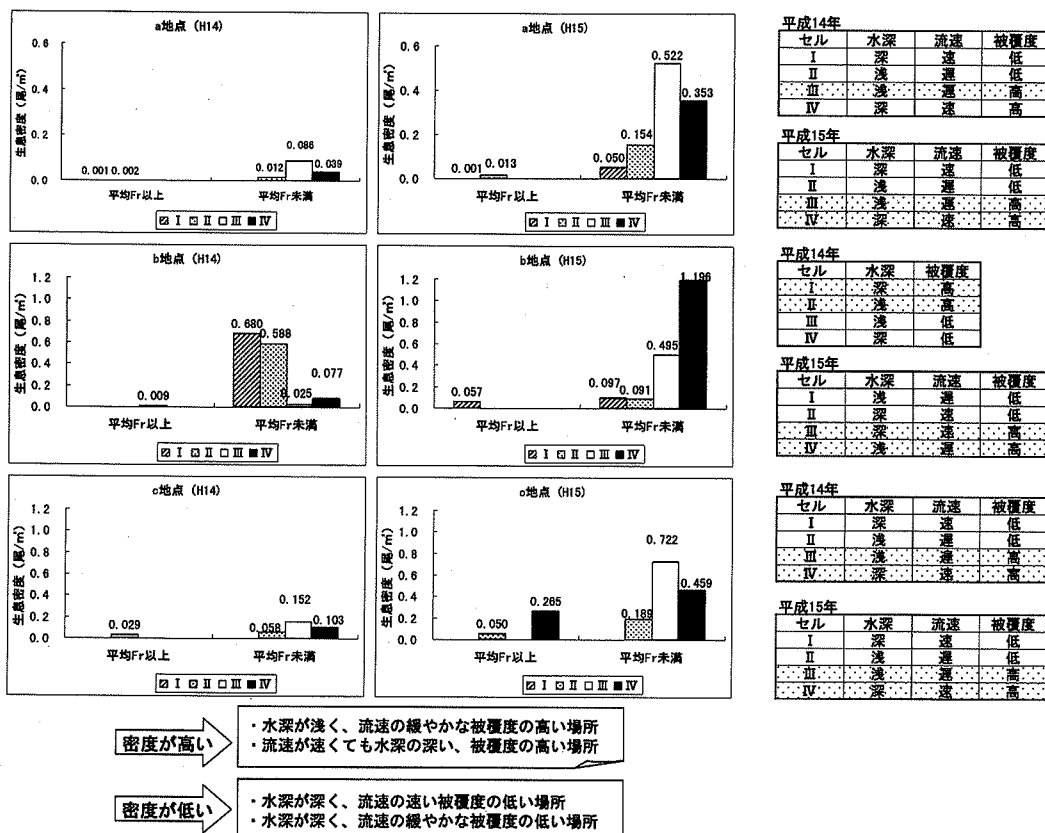


図-10 a,b,c地点におけるFr及び主成分分析別生息密度

Frよりも高い場所で採捕されたサクラマス幼魚は1個体であるが、面積が非常に小さいために生息密度が高くなったものと判断された。

6. まとめ

越冬期におけるサクラマス幼魚の生息場所については、河岸部などのカバーのある流速の遅い場所と報告^{1),6),7),8)}されている。

今回の結果では、越冬期におけるサクラマス幼魚の生息場所を巨視的にみると、淵や平瀬といった同じ流路単位の中でも流心部側のFrの低い河岸部寄りでは生息密度が高いことが知られた。このことは、サクラマス幼魚は、

越冬期においても少なからず摂食することが報告^{9),10)}されていることから、より多くの水生昆虫が流下してくる流心部側を生息場所としているものと考えられる。

また、増水などによって水際域にワンドなどが形成されるとFrが低いことから、このような箇所においても生息密度が高くなることが示唆された。

次に、微視的にみると、サクラマス幼魚の生息密度が高い場所は、水深が浅く、流速の緩やかな被覆度の高い場所であり、上述した既報と同様であった。しかし、地点によっては、水深が深く、流速の速い被覆度の高い場所においても生息密度は高い傾向を示した。この要因としては、水深が深い場合、流速が速くても底層には流速の低い箇所が生じるためと考えられる。以上のことから、越冬期におけるサクラマス幼魚の好適物理環境は、流心

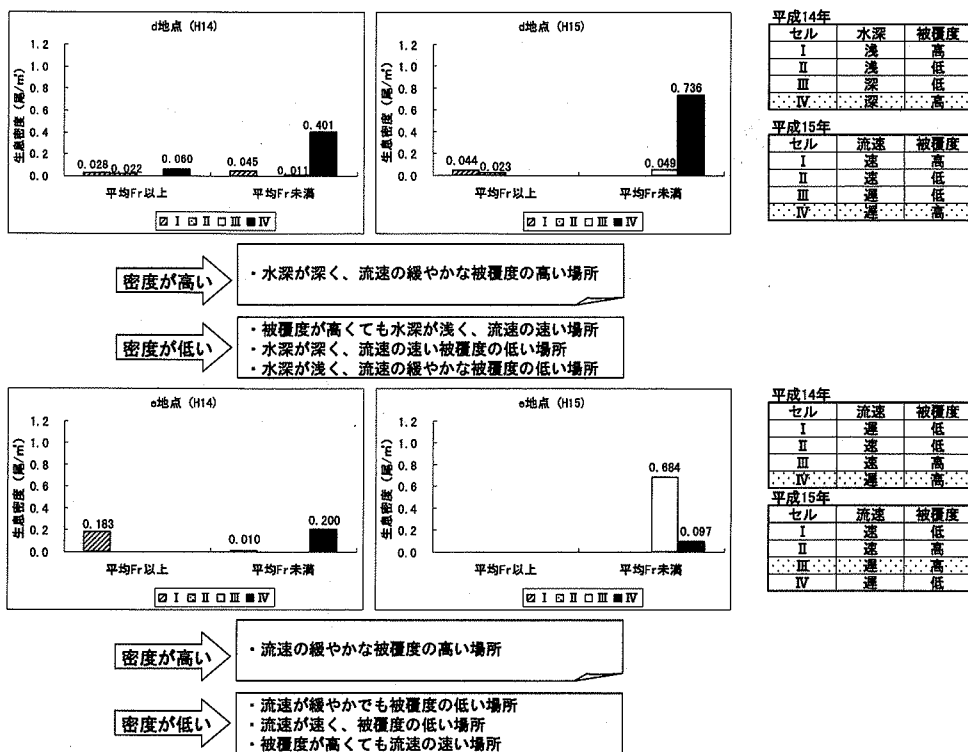


図-11 d,e地点におけるFr及び主成分分析別生息密度

部側の河岸部寄りに形成される平均Frよりも低い場所であり、且つ流速の緩やかな被覆度の高い場所であることが示された。

なお、各地点とも必ず被覆度が含まれていることから、カバーに着目し、各地点のカバーについて種類別にz検定を行ったが、有意な差が認められたのは三輪橋のササについてのみであり、その他の地点では有意な差が認められなかった。

しかし、倒流木やヨシなどのカバーには、流速を減衰させる効果があると考えられることや流速が減衰することによってサクラマス幼魚は代謝を押さえることが出来ると考えられる。これらのことから、今後、さらにデータを蓄積し、カバーの種類について検討する必要がある。

本検討によって、越冬期には流速の緩やかな被覆度の高い場所が必要であり、いわゆる多様な生息環境を保全することが重要であることが示された。

謝辞：本報告をまとめるに当たり多数のご指導とご助言を頂いた（社）北海道栽培漁業振興公社の井上 聡博士、（独）さけ・ます資源管理センターの真山 紘博士、北海道大学大学院の黒木 幹男博士、また、現地調査にご協力を頂いた方々に、ここに記して謝意を表す。

参考文献

1)真山 紘：サクラマス*Oncorhynchus masou* (Brevoort) の淡水域の生活および資源培養に関する研究、北海道さけ・ますふ化場研究報告、第46号、pp1-156, 1992。

2) 鈴木研一・永田光博・中島美由紀・大森始：北海道北部におけるサクラマス幼魚の越冬時の微生物場所とその物理環境、北海道立水産孵化場研究報告、第54号、pp. 7-14, 2000。
 3)北谷啓幸・丸岡昇・渡辺洋一：真駒内川における魚類の越冬環境について、リバーフロント研究報告、第13号、pp. 45-52, 2002。
 4)野上毅・渡邊康玄・中津川誠：急流河川における河床地形の定量的区分、土木学会、水工学論文集、第47号、pp1,087～1,092, 2003。
 5) Jacobs, J. Quantitative measurements of food selection: a modification of the forage ratio and Ivlev's electivity index, *Oecologia*, 14, pp413-417, 1974。
 6)小林美樹・下田和孝・竹内勝巳：北海道南部地域におけるサクラマス幼魚の越冬生態、日本水産学会、平成10年度春季大会講演要旨集、pp. 80, 1998。
 7)小林美樹：サクラマス幼魚の越冬環境と人工越冬床の造成、日本水産学会、平成10年度春季大会講演要旨集、pp. 80, 1998。
 8)中里享史・伊藤忠雄・渡辺彰彦・中尾勝哉：中小河川における魚類生息環境（サクラマス）の保全について、応用生態工学研究会、第2回研究発表会講演集、pp. 41-44, 1998。
 9)井上聡・石城謙吉：冬季の河川におけるヤマメの生態、陸水学雑誌、第29号、pp27-36, 1968。
 10)久保達郎：北海道のサクラマスの生活史に関する研究、北海道さけ・ますふ化場研究報告、第34号、pp1-95, 1980。

(2004. 4. 7受付)