

流水中の濁りがサクラマス (*Oncorhynchus masou*) 幼魚の 摂食行動に与える影響

真山 紘

〒062-0922 札幌市豊平区中の島2-2 水産庁さけ・ます資源管理センター

Effects of Turbidity on the Feeding Behavior of Juvenile Masu Salmon (*Oncorhynchus masou*)

Hiroshi Mayama

Research Division, National Salmon Resources Center, Fisheries Agency of Japan,
2-2 Nakanoshima, Toyohira-ku, Sapporo 062-0922, Japan

Abstract.— Field surveys and laboratory experiments were conducted to determine the effects of turbidity on the feeding behavior of juvenile masu salmon (*Oncorhynchus masou*) in running water. Feeding rate of newly emerged juveniles collected in a stream of the Mena River, showing high turbidity (28-67 nephelometric turbidity units, NTU), tended to be declined compared to those at the lower turbidity levels (5-7 NTU), while no significant difference was found in yearling juveniles between clear and turbid waters. Results from the analysis of stomach content and drifting fauna indicate that large yearling juveniles shifted their feeding sites from faster waters to slower-flowing places near shore where many other animals also might gathered during high water with high turbidity, and took sufficient amount of food by foraging for these animals. On the other hand, the feeding ability of underyearling juveniles might be decreased in high turbid water, because their main prey were limited to smaller size. Foraging rates for artificial dry food and the percentage of fish feeding at 5 levels of turbidity (0-105 NTU), using two types of suspended sediment (white kaolin and red-clay), were reduced significantly only in red-clay turbidity. Active feeding tended to occur at the intermediate turbidity levels (13-29 NTU) compared to the clear condition (<1 NTU).

Key words: masu salmon, turbidity, feeding behavior

緒 言

サケ属魚類は融雪増水により河川の濁度が高まる季節に稚魚が産卵床から離脱して河川生活を始める(小林 1977)ことから、濁りはこれら幼稚魚の初期生活に少なからず影響を与えていると考えられる。慢性的な濁りは成長低下や移動をもたらす(Sigler et al. 1984), たとえ短期間でも強い濁りに遭遇すると順位性が崩壊し、再び清水に戻っても安定した社会関係が回復するまでに時間を要し個体群の適応度を低下させる(Berg and Northcote 1985)。強い濁りは生存率をも低下させる(Newcombe and MacDonald 1991)など、生理的な

影響の大きいことも知られている(Cordone and Kelley 1961)。しかし、その初期生活期に濁度の高い入江に長期間滞在するマスノスケ(*Oncorhynchus tshawytscha*)は、濁りを被食圧低下のためのカバーとして利用していると考えられ(Gregory 1993)、濁りの効果は否定的なものだけではない。

視覚で餌を摂る魚類にとって河川水の濁りは餌料への反応距離を短くし(Vinyard and O'Brien 1976; Confer et al. 1978; Gregory and Northcote 1993)、摂食効率の低下を招く(Gardner 1981; Berg and Northcote 1985)ことが広く知られていることから、河川の中を流下する小動物を視覚によって確かめて摂るサケ科魚類(Chapman 1966)にとってその影響が特に大きいに違いない。

河川水の濁りは季節的に生じる融雪増水や偶発的な降雨や河川工事に伴って発生するが、その度合いは沿

川の開発の進展と共にいっそう強まると考えられる。サクラマス (*O. masou*) は浮上から降海までの期間が少なくとも1年と長い(久保 1980) ことから、浮上後すぐ降海するサケ (*O. keta*) やカラフトマス (*O. gorbuscha*) に比べ濁りの影響を受ける機会が多く、河川水への濁りの加入がその個体群に与える影響は大きい。

本研究では、サクラマスの適正な資源管理と河川環境保全のための基礎的知見を得ることを目的とし、サクラマスの生息河川での野外調査に人工的な流れの中での実験観察を組み合わせ、濁りが加わった流水中での摂食行動の変化を確かめた。

材料および方法

河川生活幼稚魚調査 サクラマス幼稚魚の摂食行動に与える濁りの影響を明らかにするため、北海道南西部の尻別川水系目名川の中流域(尻別川本流との合流点から約6 km上流)で採集された幼稚魚の胃内容物の量と質の違いを河川水の濁りとの関連で比較検討した。

降雨により増水し濁度が28-88 NTU (Nephelometric Turbidity Units; Greenberg et al. 1992) と高かった日(1997年5月8日; 以下「濁水日」と記す)と、増水が収まり濁度が5-7 NTUに低下した翌日(5月9日; 以下「清水日」と記す)それぞれの9時、12時、15時に、目名川左岸側の同一区域内でタモ網(口径1 m×0.5 m, 目合4 mmのモジ網製)と投網(目合1.5 cm, 網丈3.7 m)を用いサクラマス幼稚魚を採集した。各調査時毎には当歳魚10個体、1歳魚5個体の採集を目標とした。当歳魚(0+)はすべての調査時に9-13個体採捕されたが、これらはすべて自然産卵由来のもので、その体サイズ(尾叉長29-49 mm, 平均38.0 mm)から、産卵床を離脱して遊泳生活を始めた直後のものから長くても1ヶ月未満の稚魚と考えられた。1歳魚(1+)は濁水日の12時には1個体にとどまったが、その他の時間帯には5-7個体採集された。1歳魚の尾叉長は83-149 mm(平均110 mm)と変動幅が大きかった。なお、採集魚がわずか1個体にとどまった濁水日の12時の胃内容分析結果は参考程度にとどめた。

採集魚は現場で10%ホルマリン固定し、後日実験室で魚体測定と胃内容物の分析を行った。胃内容物に出現した動物の分類は、水生昆虫類は科まで、その他の動物は目または綱までにとどめ、それぞれの種類別に個体数を数えその湿重量を秤量した。また、水生双翅目昆虫については、幼虫の他に蛹期個体や蛹から脱皮中の羽化過程の個体も数多く出現したことから、それぞれを区別して扱った。水生昆虫類の分類は川合(1985)によった。消化が進み個体毎の原型をとどめないものや水生昆虫の抜け殻などは、消化物等と表示

し湿重量のみ秤量した。摂食度合は胃内容物重量(湿重量)の魚体重に対する比率(%:胃内容量指数)で表した。また、胃内容物中にある特定の種類の生物が出現した幼魚の個体数の、全調査個体数に対する比率をそれぞれの餌生物の出現率と表示した。

河川生活期のサクラマス幼稚魚は流下動物を主要な餌とする(JIBP-JPF Research Group of the Yurappu River 1975; 真山 1992) ことから、食性との比較のため流下ネット(口径25 cm×25 cm, 側長70 cm, 目合1.7 mm(NGG54))の上端を水面上に5 cm出るように河川内に固定して主に表層の流下動物を採集した。この採集は食性調査魚の採集と同時にを行った。採集時間は流下物の多寡により日詰まりの生じないよう適宜調整した。採集物はホルマリン固定して実験室に持ち帰り、餌料対象となる小動物を主に植物破片からなるデトリタス等からより分けた後に胃内容物と同様に分類した。採集時毎に異なる採集条件での流下量を相対値で比較するため、単位濾過水量(1 m³)当りの値(個体数および湿重量)を求めた。

これら流下動物の個体数組成と同じ時間帯に採集されたサクラマス幼稚魚の胃内容物の個体数組成から、出現率が高い主な餌生物についてIvlevの選択指数を求めた。Ivlevの選択度指数(E)は次式で算出した。

$$E = (ri - pi) / (ri + pi)$$

(ri , ある種類の摂食物中の相対量; pi , ある種類の流下動物中での相対量)

水槽実験 濁りがサクラマス幼魚の摂食行動に与える影響を実験的に確かめるため、懸濁物質溶液を流水式の水槽に注ぎ、濁度変化とサクラマス幼魚の摂餌量との関係を観察した。

実験に用いた装置は、ジャパンアクアテック社製の定流循環水槽SOC-10(魚の収容部の長さ600 mm, 幅350 mm, 水深325 mm)で、本装置はポンプが直結された水槽部と水温制御部からなり、流速と水温を一定に保ちながら遊泳行動を観察することが可能である。また、水槽の水は循環使用されるため、一定濃度の濁水を作るとそれが循環することから、かけ流し式の水槽に比べ濃度調整が容易で、使用する濁水も少量ですむ利点がある。

使用した懸濁物質は、白色系の物質として和光純薬工業製の白陶土(カオリン)を、赤色系として千歳川河岸で得られた赤黄色の粘土の懸濁液を用い、2種類の濁りに対する影響を調べた。実験濃度として濁度が、15, 30, 70, 105 NTU前後となるように調整し、対照区として濁りを加えない原水(地下水, <1 NTU)のみの実験区を設定した。

実験時には水槽内の流速を20 cm/s, 水温を8.0℃に設定した。室内実験のため上方から蛍光灯で照明し、水槽の水面の照度は375 luxだった。

実験魚として、さけ・ます資源管理センター千歳支

所付近の石狩川水系千歳川上流域で1996年11月下旬に採捕したサクラマス幼魚を用いた。これらは鱗の形状や体色の特徴から10月下旬に放流されたもので、秋季放流魚の摂食行動の順応に関する既往の知見(真山1992)から、放流後1ヶ月を経過しすでに流下する餌を摂る能力を身につけ、しかも人工餌料への指向性が未だ失われていないと考えられたことから、実験魚として適正と判断した。採捕時の河川水温は6-8℃だった。採捕魚は水温8.1℃の地下水が注水された水槽に少なくとも12時間静置した後に実験に用いた。供試魚の実験区毎の平均尾叉長は82.6-99.8 mmだった。

設定流速で循環する実験水槽に供試魚を16個体收容し、15分間実験流速に馴らした後に懸濁物質の高濃度溶液を水槽に注入し、濁度計(堀場製作所製水質チェッカーU-10)で計測しながら指定濃度に近似した値の溶液とした。濁りを加えた5分後に1回目の配合餌料(さけ・ます飼育用クランブル, 平均粒径1.38 mm)2 gを水槽内に投入し、その後5分毎に4回2 gずつ合計5回(投餌総量10 g)投餌した。水槽の上下流端は日合い5 mmの金網で仕切ったが、投入された人工餌料はその隙間を通り水と共に循環を繰り返した。最終投餌から15分経過した時に実験魚を取り上げ、麻酔後魚体測定して胃の中の人工餌料を取り出し湿重量を秤量した。摂餌度合い(胃内容量指数)は摂取した人工餌料の湿重量の魚体重に対する比率(%)で算出した。

結 果

河川生活幼魚調査 北海道南部を通過した低気圧の影響により、目名川流域の蘭越町では調査日初日(濁水日)早朝の強い降雨により日降水量が27 mmに達した*。調査地点の河川水位は調査開始時(9時)に最も高く、降雨が止んだ12時以降は徐々に低下し、好天に転じ増水が収まった翌日は水位が安定した。濁度も調査開始時が最も高く(88 NTU)、水位の減少と共に濁度は徐々に低下し、流量が安定した翌日には5-7 NTUまで低下した(Table 1)。

Table 1. Turbidity (nephelometric turbidity units, NTU), water temperature (WT), and water level in the Mema River during field surveys in May 1997.

Date	Time	Weather	WT (°C)	NTU	Water level (cm)
May 8	9:00	Rainy	5.9	88	21.0
	12:00	Cloudy	6.2	67	18.5
	15:00	Cloudy	7.2	28	12.0
May 9	9:00	Fine	6.7	7	0.5
	12:00	Fine	10.1	5	0.0
	15:00	Cloudy	11.5	7	1.0

*札幌管区気象台編, 1997. 北海道の気象, 41 (5): 1-149.

濁水日と清水日に採集されたサクラマス幼稚魚の平均胃内容量指数を比較すると、当歳魚では9時には1.4前後と両日間ではほとんど差がなかったが、その後は清水日の増加量が多く、15時には有意差を示した(U-test, $p < 0.05$) (Fig. 1)。一方、1歳魚では経時的に増加する傾向がみられず、どの時間帯でも両日の値に有

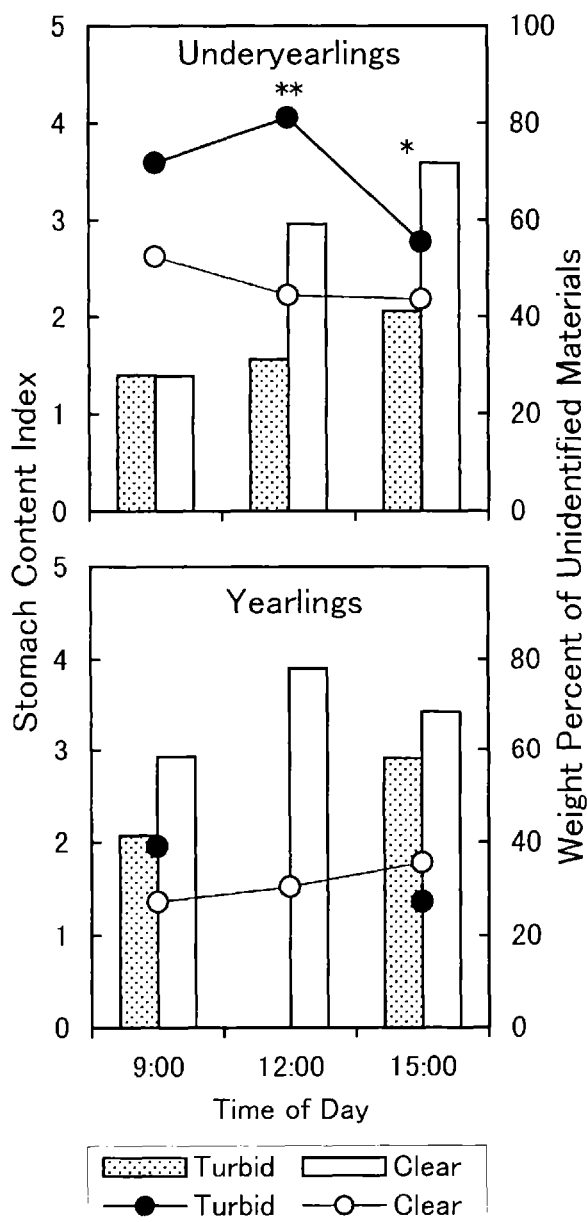


Fig. 1. Changes in amount of food in stomachs (columns), expressed as a percentage of wet body weight (stomach content index), and wet weight percentage of unidentified matter of stomach content weight (lines) of juvenile masu salmon captured in clear or turbid stream. Asterisks above columns and points show significant difference (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$) among clear and turbid waters.

意差は認められなかった。

消化物等の胃内容物に占める重量比率は、当歳魚で各調査時毎の平均値が43.6-81.2%と高く、特に濁水日にはすべての調査時で50%をこえた (Fig. 1)。さらに、胃内容物がこれら消化物等だけからなる魚の比率も濁水日に高く、9時には分析魚9個体中4個体、12時に13個体中4個体、15時に13個体中1個体と、清水日にはまったく出現しなかったことと比べ対照的だった。1歳魚の消化物等の重量比率は、濁水日27.2-39.2%、清水日27.2-35.6%と、当歳魚に比べ常に低く、濁度の違いによる差はみられなかった。

調査時毎の胃内容物への餌料動物の出現頻度と個体数・重量組成を当歳魚と1歳魚に分けてそれぞれ Appendix tables 1 and 2に、これらをおおまかに種類分けし Figs. 2 and 3に示した。

当歳魚の胃内容物への出現頻度で最も高かったのはユスリカ Chironomidae で、濁水日にはその幼虫が、清水日には蛹の出現比率が高まる傾向がみられた。これに次いで高かったのは、濁水日にはガガンボ Tipulidae、清水日には水表皮性微細昆虫の粘管目 (トビムシ, Collembola) で、それぞれ異なる濁度条件下で対照的な出現度合いを示した。

当歳魚の胃内容物の個体数組成で最も多かったのも

ユスリカで、濁水日に幼虫がそして清水日に蛹の比率が高まるという出現頻度と同様の傾向が示された。これに次いで多かったのは、濁水日にはガガンボとトビムシで、濁度が低下してきた15時にはカゲロウ類も増加した。清水日には常にトビムシが多く、ユスリカと合わせると84.0-92.9%に達した。湿重量の構成比で最も多かったのもユスリカで、両日とも経時的に減少し、代わってカゲロウ類とガガンボが増加した。

1歳魚の胃内容物への出現頻度が最も高かったのはマダラカゲロウ Ephemereidae で、濁水日には60.0-85.7%、清水日にはすべての時間帯で100%となった。この他に多く出現したのは、濁水日には貧毛類とユスリカで、清水日にはユスリカ、ガガンボ、ヒラタカゲロウ Ecdyonuridae だった。清水日には餌料生物相が多様化し、濁水日にまったく採餌されていなかったカゲロウ類、カワゲラ類、トビケラ類の羽化過程個体が出現し、これら水面を流下するものが増加したことから視覚の回復と摂食方法の変化が確かめられた。しかし、貧毛類と魚類の出現率は濁水日に比べ低下した。胃内容物に出現した魚類は、清水日の9時のドジョウ科稚魚 (2個体) を除けばすべて浮上直後と思われるサクラマス稚魚で、濁水日に8個体と清水日 (15時) に1個体、合わせて9個体が捕食された。

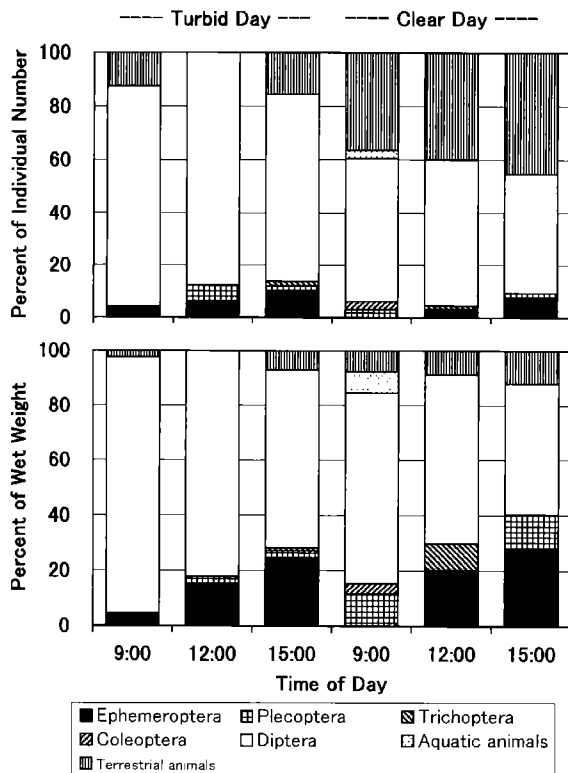


Fig. 2. Changes in percentage composition of individuals (upper) and wet weight (lower) of major prey categories in underyearling masu salmon captured in clear or turbid stream.

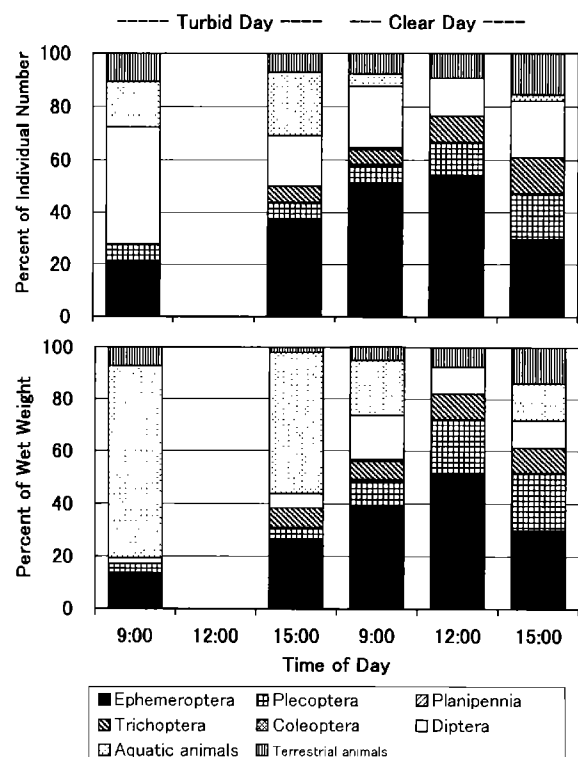


Fig. 3. Changes in percentage composition of individuals (upper) and wet weight (lower) of major prey categories in yearling masu salmon captured in clear or turbid stream.

1歳魚の胃内容物の個体数組成では、ユスリカ、マダラカゲロウ、そしてカワゲラ類の羽化過程個体と優占種は調査時毎に変化した。出現率同様マダラカゲロウが常に高かった。ユスリカは出現率は高かったものの幼魚1個体当たりの摂食個体数は少なかった。湿重量の構成比で最も多かったのは、濁水日の9時に魚類(61.5%)、15時に貧毛類(28.9%)と水生昆虫以外水生動物によって占められ、清水日にはマダラカゲロウが常に優占した。

単位流水量(1 m³)当たりの流下動物量は、個体数では濁水日に34.5-41.8個体と、清水日の5.4-11.1個体との間に大きな差がみられたが、湿重量では濁水日13.3-22.0 mg、清水日3.2-22.4 mgと差が小さく、濁水日の流下個体の平均体サイズは小型だったことが伺われた(Fig. 4)。

なお、流下ネットで採集されたすべての流下物から長径10 mmを越す大型のものを除き、餌対象物とほぼ同様の大きさの流下物(ほとんどが葉枝片からなるデトリタス)の単位流水量当たりの湿重量を求めたところ、濁水日に28.9-61.0 mg(平均47.9 mg)、清水日には4.8-5.5 mg(平均5.0 mg)と濁水日にきわめて多く、平均値で比較すると9.5倍の差が生じた。

各調査時における流下動物量を単位流水量当たりの値で種類別にAppendix table 3に示した。最も流量が

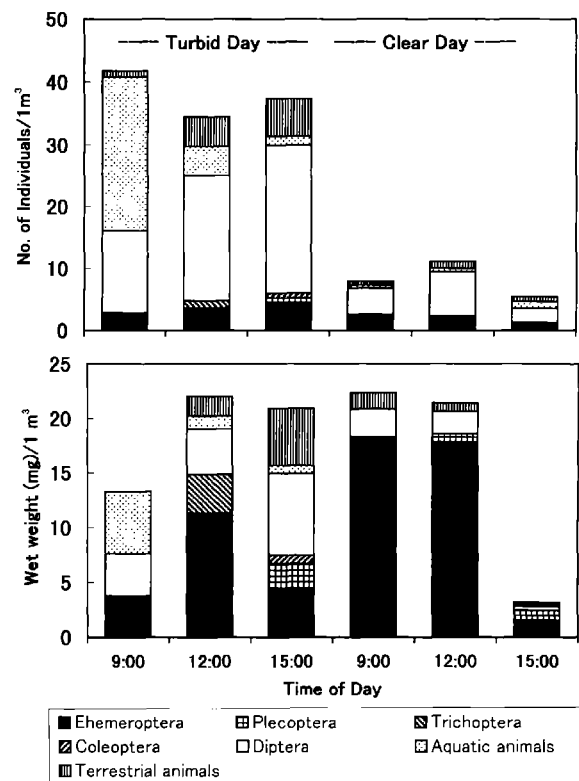


Fig. 4. Changes in number of individuals (upper) and wet weight (lower) of drifting animals per unit volume of water (1 m³), collected in clear or turbid stream.

多かった濁水日の9時には貧毛類が個体数、湿重量共に優占したが、これ以降は清水日を含めて個体数では常にユスリカ幼虫が優占し、特に濁水日には全体の半数以上を占めた。一方、湿重量で多かったのは濁水日にはマダラカゲロウとユスリカで、清水日にはヒラタカゲロウ、コカゲロウ Baetidae、マダラカゲロウと経時的に変化したものの常にカゲロウ類が優占した。

これら流下動物とサクラマス幼稚魚の胃内容物の個体数組成から、出現率が高い主な餌生物について Ivlev の選択指数を求めたところ、当歳魚はトビムシとユスリカの蛹に対し特に清水日に強い選択性を有したが、清水日にはユスリカ幼虫とコカゲロウに対する選択性

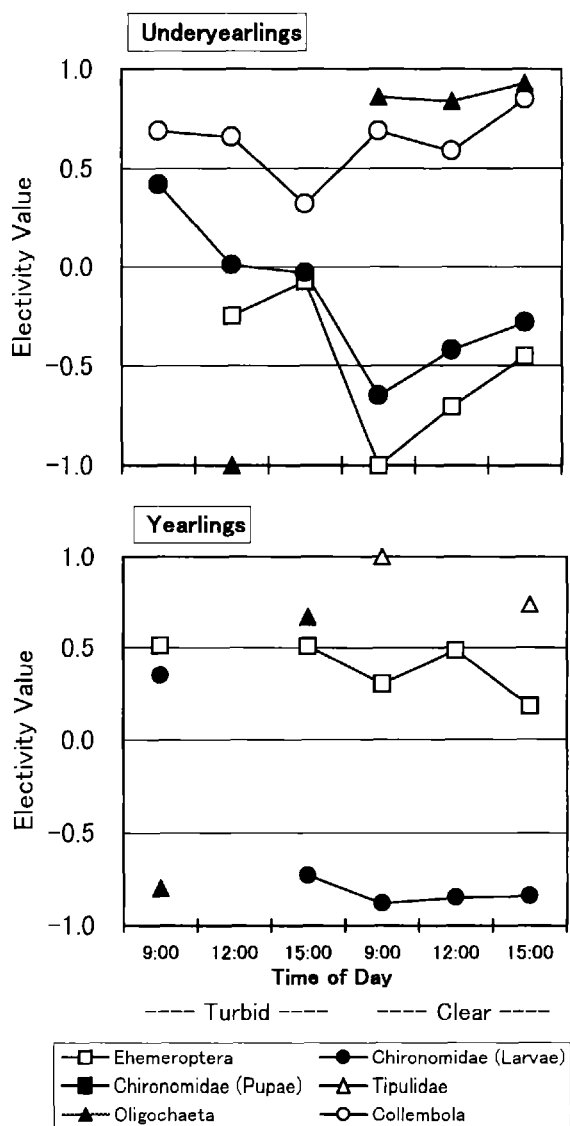


Fig. 5. Changes in Ivlev's electivity values of major prey items for juvenile masu salmon captured in clear or turbid stream. Taxa which occurred high frequency (>10%) in individual composition of stomach content and/or drifting animal in each sampling time were used.

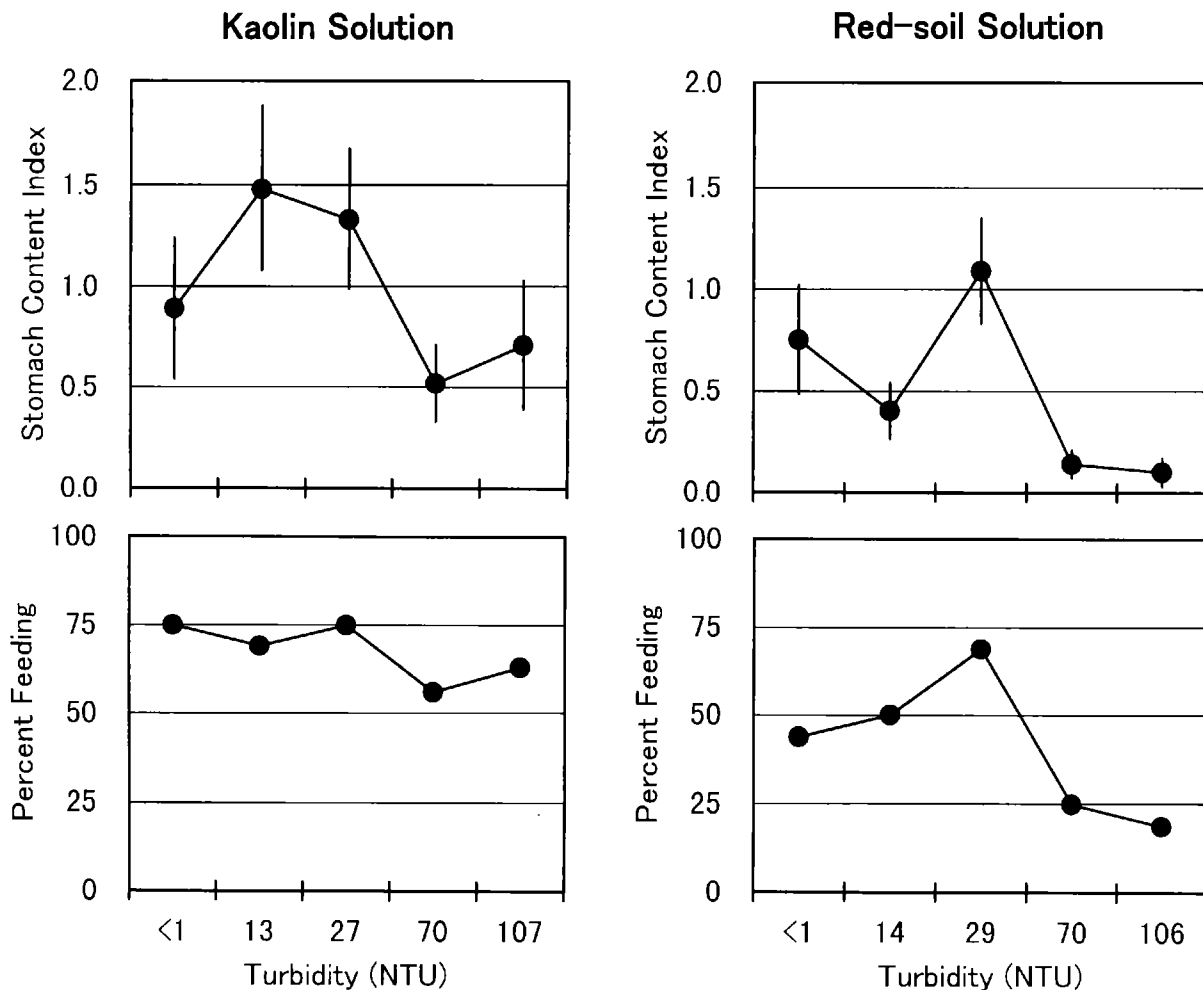


Fig. 6. Effect of turbidity (nephelometric turbidity units, NTU) on mean stomach content index of juvenile masu salmon and percentage of salmon foraging. Vertical bars indicate standard error (n=16 each).

の低下傾向が示された。これに対し1歳魚はカゲロウ類には比較的高い選択性を示したが、ユスリカ幼虫に対しては特に清水日にきわめて低かった (Fig. 5)。しかし、摂食選択性と濁度変化との関連は明確でなく、むしろ浮上直後の小型魚と大型の1歳魚との食性の違いを良く表し、当歳魚はユスリカ幼虫やトビムシなど小型の餌動物に、1歳魚は大型のマダラカゲロウが主体のカゲロウ類への選択性の強いことが示された。

水槽実験 白陶土による白色の濁りの中で胃内容量指数が最も高かったのは、濁度が13 NTUの時の1.48で、27 NTUの時が1.33でこれに次ぎ、濁りが全くない時は0.89だった (Fig. 6)。そして、濁度が70, 107 NTUとさらに高まったときには0.52-0.71まで低下したが、この濁度範囲内では摂餌行動に与える影響が認められなかった (ANOVA, $p=0.344$)。また、どの濁度の場合にもサクラマス幼魚毎の摂餌度合いの変異が大きく、供試魚の中にはまったく摂食しない個体も多く存在したことから、供試魚全体 (各16個体) の中の餌を摂った個体の比率を求めると、濁度が低いとき

は75%前後とほぼ一定で、濃度が高まった時にも半数以上は餌を摂っていて濃度間の差は認められなかった。

一方、赤黄色の粘土の濁りの中では、濁度の低いとき (0, 14 NTU) の胃内容量指数が0.75, 0.40と比較的低く、最も高かったのは29 NTUの時の1.06で、これを越えた70, 107 NTUの時にはそれぞれ0.14と0.10と極めて低い値となり、濁度の高まりが摂餌行動に影響を与えていることが確かめられた (ANOVA, $p<0.01$) (Fig. 6)。摂食魚の比率は低濃度時には低いものの徐々に高まり、摂食活動が最も高かった29 NTUの時に69%と最大で、さらに濁度が高まると25%以下に低下した。白色の濁りに比べ胃内容量指数、摂食魚の比率共にすべての濃度で低く示された。

考 察

河川生活期サクラマス幼魚の食性分析の結果、浮上間もない当歳魚の摂食活動は河川の増水に伴う濁度の高まりにより不活発となったのに対し、大型の1歳魚

の場合は摂食量が有意に低下しなかった。濁水時に大型魚の摂食量が低下しなかった理由を、その食性の変化から推察してみる。濁りの強まった時に、これら大型魚は魚類や貧毛類のような水生昆虫以外の大型の餌を摂取していたことが特徴的だった。このことから、大型魚は流下動物を視覚で認識することが不可能な濁水時に流心から岸寄りに生息場を移し、同様に強い流れを避けて岸寄りにいた小型の魚と生息場が狭い範囲で重なり合い小型魚を捕食する機会が増したと考えられた。濁りは捕食者から発見されるのを避けるためのカバーとして機能し被食圧を減少させるが、一方では捕食者の接近に対する危険の感知を遅らせる (Gregory 1993) という二面性を持ち、濁水中での偶発的な遭遇により捕食されたと推定される。また、餌への反応距離に影響を与える条件として、餌の大きさ、見えやすさ、動きがあげられる (Confer and Blades 1975) ことから、餌として利用された魚類の大きさや運動性は、清水時の餌として利用度合いの高い水生昆虫に比べ、強い濁りの中で見つけられやすい要素として機能していたと言えよう。同様に、水生貧毛類の場合も大きさの面で被食されやすい条件を備えていたと思われる。

一方、浮上直後の小型魚の場合、濁度の変化と関係なく餌生物が小型のものに限られ、摂食場所も流れの緩やかな岸寄りに限定されるため、濁りの加入は摂食能力の著しい低下をもたらしたに過ぎなかったと考えられる。

濁水日の流下物の中には清水日に比べ小型の餌動物が数多く混じっていることが知られたが、デトリタスの流下量も清水日の9.5倍になったこと、そして水槽実験の結果、河川の濁りに近い赤黄色の濁りの流水中では70 NTUの時に摂食活動が著しく低下したことから、濁水日の9時 (88 NTU) と12時 (67 NTU) には流れに乗って流下する餌動物を認識することはほとんど不可能だったと推測される。濁水日の15時になって濁度が28 NTUと低下したが、同様の濃度で行った水槽実験結果では摂食効率が比較的高かったことから、実験条件と同様の流速地点に定位した場合には流下動物を利用することが可能な濁度に回復していたと思われる。しかし、この時間帯のデトリタスの流下量は減少したとはいえ清水日の平均の5.8倍と多く、これらの中に混入している餌動物を認識することは引き続き困難だったに違いない。

以上のことから、大型の1歳魚は増水により流速が増した濁水環境のもとでも、低流速の河岸寄りで生息場所が重なる大型の餌動物を摂取することにより清水時と同量の餌を確保することが可能だったが、小型魚は餌対象生物のサイズが小型のものに限られるため濁水時には視認度が著しく低下し、清水時に比べ摂食量が低下したと考えられた。

白陶土と赤色の粘土という異なる色の懸濁物質を用いた流水式の水槽実験で、赤黄色系の濁りの中では同じ濁度 (NTU) の白色系の濁水中に比べサクラマス幼魚の摂食率が全体に低く、特に高濁度の時に顕著に低下した。褐色の人工配合餌料を用いた今回の実験では、赤黄色の濁りの中で同色系の餌を見つけにくく両者の摂取率に差が生じたと考えられ、同じ値の濁度でもその成分の違いにより餌の認識度合いに大きな影響を与えることが示唆された。

また、全く濁りのない清澄な水に比べ、ある程度濁りの加わった条件下でサクラマス幼魚の摂食活動が活発化することは2種の濁水中で共通して観察された。餌に対する反応距離が濁りの加入により低下するにもかかわらず、ある程度濁度が高まった時に摂食活動が活発化することはマスノスケ幼魚を用いた実験でも観察されていて、このような現象は捕食者に対する潜在的な危険の回避を反映した結果であると考えられている (Gregory and Northcote 1993)。しかし、サクラマス幼魚が一時的に濁りの中に逃げ込むことはあるかもしれないが、マスノスケ幼魚で知られているような濁水中での長期滞留 (Levy and Northcote 1982) はこれまで観察記録がなく、生活様式が異なるサクラマス幼魚での実験結果をマスノスケ幼魚同様の行動とみなすには疑問が残る。

河川生活期のサクラマス幼魚は個体間の相互作用 (摂食なわばり) の強いことが知られている (Maeda and Hidaka 1979; 山岸・中村 1983) ことから、今回のように複数の幼魚を収容した実験条件下では、濁りが加わるにより個体間の認識度合いが低下し、結果的に摂食活動の向上をもたらす要因の一つとして作用した可能性が示唆された。濁度の変化と相互作用の関連を明らかにするためには、濁水中の魚の行動観察の難しさを有するが、より詳細な検討が必要である。

謝 辞

現地での河川調査及び室内実験を行うに当たり、当センター尻別事業所、千歳支所の職員各位には多大の尽力を頂いた。心から感謝申し上げる。

引用文献

- Berg, L. B., and T. G. Northcote. 1985. Changes in territorial, gill-flaring, and feeding behavior in juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) following short-term pulses of suspended sediment. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **42**: 1410-1417.
- Chapman, D. W. 1966. Food and space as regulators of salmonid populations in streams. *Am. Naturalist*, **100**: 345-357.

- Confer, J. L., and P. I. Blades. 1975. Omnivorous zooplankton and planktivorous fish. *Limnol. Oceanogr.*, **20**: 571-579.
- Confer, J. L., G. L. Howick, M. H. Corzette, S. L. Klammer, S. Fitzgibbon, and R. Landesberg. 1978. Visual predation by planktivores. *Oikos*, **34**: 27-37.
- Cordone, A. J., and D. W. Kelley. 1961. The influences of inorganic sediment on the aquatic life of streams. *Calif. Fish and Game*, **47**: 189-228.
- Gardner, M. B. 1981. Effects of turbidity on feeding rates and selectivity of bluegills. *Trans. Am. Fish. Soc.*, **110**: 446-450.
- Greenberg, A. E., L. S. Clesceri, and A. D. Eaton. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater (18th edition). American Public Health Association, New York. 1100 p.
- Gregory, R. S. 1993. Effect of turbidity on the predator avoidance behaviour of juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **50**: 241-246.
- Gregory, R. S., and T. G. Northcote. 1993. Surface, planktonic, and benthic foraging by juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in turbid laboratory conditions. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **50**: 233-240.
- JIBP-JPF Research Group of the Yurappu River. 1975. Productivity of biotic communities in the Yurappu River. In *Productivity of communities in Japanese inland waters* (edited by S. Mori and G. Yamamoto). University of Tokyo Press, Tokyo. pp. 287-338.
- 川合禎次. 1985. 日本産水生昆虫検索図説. 東海大学出版会, 東京. 409 p.
- 小林哲夫. 1977. サケの生活 母なる川での死と誕生. *アニマ*, **47**: 6-19.
- 久保達郎. 1980. 北海道のサクラマス生活史に関する研究. *さけ・ますふ研報*, **34**: 1-95.
- Levy, D. A., and T. G. Northcote. 1982. Juvenile salmon residency in a marsh area of the Fraser River estuary. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **39**: 270-276.
- Maeda, N., and T. Hidaka. 1979. Ethological function of the parr marks in a Japanese trout, *Oncorhynchus masou f. ishikawai*. *Zool. Mag.*, **88**: 34-42.
- 真山 紘. 1992. 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. *さけ・ますふ研報*, **46**: 1-156.
- Newcombe, C. P., and D. D. MacDonald. 1991. Effects of suspended sediments on aquatic ecosystems. *N. Am. J. Fish. Manag.*, **11**: 72-82.
- Sigler, J. W., T. C. Bjornn, and F. H. Everest. 1984. Effects of chronic turbidity on density and growth of steelheads and coho salmon. *Trans. Am. Fish. Soc.*, **113**: 142-150.
- Vinyard, G. L., and W. J. O'Brien. 1976. Effects of light and turbidity on the reactive distance of bluegill (*Lepomis macrochirus*). *J. Fish. Res. Board Can.*, **33**: 2845-2849.
- 山岸 宏・中村 将. 1983. 稚魚期の攻撃性に性差はあるのか. サクラマス (*Oncorhynchus masou*) の場合. *動物学雑誌*, **92**: 43-50.

Appendix table 1. Percentage frequency of occurrence (F), and percentage composition of individual number (N) and wet weight (W) of food items in underyearling masu salmon stomachs.

Prey taxa	Turbid day (May 8)									Clear day (May 9)								
	9:00			12:00			15:00			9:00			12:00			15:00		
	F	N	W	F	N	W	F	N	W	F	N	W	F	N	W	F	N	W
Aquatic insects																		
Ephemeroptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Siphonuridae	-	-	-	-	-	-	15.4	3.4	4.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ecdyonuridae	-	-	-	-	-	-	15.4	3.4	8.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Baetidae	11.1	4.2	4.5	7.7	6.3	15.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45.5	6.1	22.6
Ephemerellidae	-	-	-	-	-	-	15.4	3.4	11.8	-	-	-	16.7	3.23	20.18	27.3	1.7	4.8
Plecoptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Taeniopterygidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.1	3.0	11.5	-	-	-	-	-	-
Nemouridae	-	-	-	7.7	6.3	2.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.1	0.6	4.8
Chloroperlidae	-	-	-	-	-	-	7.7	1.7	2.4	-	-	-	-	-	-	9.1	1.1	8.1
Trichoptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rhyacophiliidae	-	-	-	-	-	-	7.7	1.7	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emerging	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16.7	1.3	9.6	-	-	-
Coleoptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elmidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.1	3.0	3.8	-	-	-	-	-	-
Diptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tipulidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Larvae	22.2	8.3	9.1	15.4	12.5	15.4	30.8	10.3	12.9	-	-	-	16.7	1.9	8.8	9.1	0.6	0.8
Pupae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.1	3.3	8.1
Psychodidae	-	-	-	-	-	-	7.7	1.7	2.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chironomidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Larvae	44.4	50.0	54.5	23.1	43.8	46.2	61.5	37.9	25.9	33.3	9.1	11.5	66.7	19.4	10.5	81.8	19.3	17.7
Pupae	22.2	25.0	29.5	15.4	25.0	15.4	23.1	15.5	11.8	44.4	30.3	34.6	75.0	32.9	38.6	81.8	20.4	15.3
Emerging	-	-	-	7.7	6.3	5.1	15.4	3.4	4.7	33.3	15.2	23.1	8.3	1.3	3.5	18.2	1.1	4.8
Empididae	-	-	-	-	-	-	7.7	1.7	7.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ceratopogonidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.1	0.6	0.8
Aquatic animals	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gammaridae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.1	3.0	7.7	-	-	-	-	-	-
Terrestrial animals	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Collembola	11.1	4.2	0.0	-	-	-	15.4	6.9	1.2	66.7	36.4	7.7	58.3	39.4	7.9	45.5	43.1	6.5
Coleoptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.1	0.6	0.8
Hemiptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.3	0.6	0.9	9.1	0.6	0.0
Diptera	22.2	8.3	2.3	-	-	-	15.4	6.9	4.7	-	-	-	-	-	-	9.1	0.6	2.4
Araneae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.1	0.6	2.4
Isopoda	-	-	-	-	-	-	-	1.7	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Number of fish examined	9			13			13			9			12			11		

Appendix table 2. Percentage frequency of occurrence (F), and percentage composition of individual number (N) and wet weight (W) of food items in yearling masu salmon stomachs.

Prey taxa	Turbid day (May 8)						Clear day (May 9)					
	9:00			15:00			9:00			12:00		
	F	N	W	F	N	W	F	N	W	F	N	W
Aquatic insects												
Ephemeroptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Siphonuridae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ecdyonuridae	20.0	2.1	3.4	-	-	-	16.7	1.4	0.5	28.6	1.1	0.2
Baetidae	40.0	6.4	1.5	-	-	-	66.7	11.1	7.0	85.7	8.7	5.1
Ephemerellidae	60.0	12.8	8.7	-	-	-	66.7	3.5	1.0	42.9	2.7	1.0
Ehmeridae	-	-	-	-	-	-	100.0	34.0	29.2	100.0	37.2	37.3
Emerging	-	-	-	-	-	-	16.7	0.7	1.6	-	-	-
Plecoptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42.9	4.4	7.8
Taeniopterygidae	20.0	4.3	1.2	-	-	-	16.7	0.7	0.3	57.1	2.7	1.5
Nemouridae	-	-	-	-	-	-	33.3	2.1	0.5	14.3	0.5	0.1
Perlidae	20.0	2.1	2.4	100.0	33.3	37.7	50.0	2.8	6.6	57.1	3.3	12.4
Chloroperlidae	-	-	-	-	-	-	16.7	0.7	0.3	-	-	-
Emerging	-	-	-	-	-	-	16.7	0.7	1.1	57.1	6.0	6.7
Planipennia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Osmiidae	-	-	-	-	-	-	16.7	0.7	0.7	-	-	-
Trichoptera												
Stenopsychidae	-	-	-	-	-	-	50.0	2.8	5.2	28.6	2.2	4.2
Hydropsychidae	-	-	-	-	-	-	33.3	2.1	1.8	42.9	1.6	0.9
Rhyacophilidae	-	-	-	-	-	-	16.7	0.7	0.2	14.3	0.5	1.2
Glossomatidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emerging	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42.9	5.5	3.4
Coleoptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dytiscidae	-	-	-	-	-	-	16.7	0.7	0.7	-	-	-
Diptera												
Tipulidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Larvae	-	-	-	100.0	33.3	57.1	83.3	9.7	4.0	42.9	4.4	1.6
Pupae	-	-	-	-	-	-	16.7	0.7	0.3	-	-	-
Blepharoceridae	-	-	-	-	-	-	66.7	6.3	11.8	42.9	3.3	6.9
Larvae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.3	0.5	1.5
Pupae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chironomidae	40.0	42.6	2.1	-	-	-	33.3	2.8	0.3	85.7	3.8	0.4
Larvae	20.0	2.1	0.1	-	-	-	16.7	1.4	0.3	28.6	1.6	0.1
Pupae	-	-	-	-	-	-	16.7	0.7	0.1	14.3	0.5	0.0
Emerging	-	-	-	-	-	-	16.7	0.7	0.0	-	-	-
Ceratopogonidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aquatic animals												
Oligochaeta	60.0	6.4	11.8	-	-	-	16.7	1.4	1.6	-	-	-
Gammaridae	20.0	2.1	0.3	-	-	-	33.3	2.1	0.9	-	-	-
Pisces	20.0	8.5	61.5	-	-	-	16.7	1.4	18.6	-	-	-
Terrestrial animals												
Collembola	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coleoptera	-	-	-	-	-	-	33.3	1.4	0.6	14.3	0.5	0.4
Hymenoptera	-	-	-	-	-	-	16.7	0.7	0.0	-	-	-
Lepidoptera	40.0	4.3	7.0	-	-	-	33.3	2.8	1.0	-	-	-
Diptera	40.0	4.3	0.1	-	-	-	14.3	1.8	0.3	71.4	8.2	7.0
Aranidae	20.0	2.1	0.1	-	-	-	14.3	2.6	0.8	14.3	0.5	0.1
Isopoda	-	-	-	-	-	-	33.3	2.8	3.5	-	-	-
Chilopoda	-	-	-	-	-	-	14.3	0.9	0.1	-	-	-
Number of fish examined	5			7			6			7		
				1						6		

Appendix table 3. Individual number (N) and wet weight (W) of drifting invertebrates per unit volume of water (1 m³), collected in turbid water day (May 8) and clear water day (May 9).

Prey Items	Turbid Water (May 8)						Clear Water (May 9)					
	9:00			12:00			15:00			9:00		
	N	W (mg)		N	W (mg)		N	W (mg)		N	W (mg)	
Aquatic insects												
Ephemeroptera												
Siphonuridae	0.95	0.95	-	-	-	2.24	0.75	0.43	0.43	0.43	-	0.09
Ecdyonuridae	-	-	0.60	3.57	-	-	-	0.64	14.70	-	-	0.09
Baetidae	-	-	-	-	-	-	-	0.21	2.13	0.94	8.27	0.09
Leptophlebiidae	1.90	2.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ephemerellidae	-	-	2.98	7.74	2.24	3.74	0.85	0.85	0.85	0.94	3.76	1.55
Emerging	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.19	5.83	-
Plecoptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Emerging	-	-	-	-	0.75	2.24	-	-	-	0.19	0.75	0.18
Trichoptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hydropsychidae	-	-	-	-	-	-	-	0.21	0.00	-	-	-
Rhyacophilidae	-	-	0.60	0.60	-	-	-	-	-	-	-	-
Emerging	-	-	0.60	2.98	-	-	-	-	-	-	-	-
Coleoptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elmidae	-	-	-	-	0.75	0.75	0.21	0.21	0.21	-	-	-
Diptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tipulidae	-	-	0.60	0.60	0.75	0.75	-	-	-	-	-	0.09
Blepharoceridae	-	-	0.60	0.00	0.75	0.00	0.21	0.00	-	-	-	0.09
Psychodidae	0.95	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chironomidae	8.55	2.85	14.88	2.38	14.96	3.74	3.41	1.70	1.50	5.26	1.50	1.83
Chironomidae (P)	1.90	0.00	1.79	0.60	2.99	1.50	0.43	0.64	0.38	0.94	0.38	0.09
Chironomidae (E)	-	-	1.19	0.60	4.49	1.50	0.21	0.21	0.19	0.75	0.19	0.18
Empididae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.19	0.00	-
Ceratopogonidae	1.90	0.95	1.19	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
Aquatic animals												
Oligochaeta	23.74	5.70	4.17	1.19	1.50	0.75	0.21	0.00	-	-	-	0.18
Ostracoda	0.95	0.00	0.60	0.00	-	-	-	-	0.19	0.00	0.00	0.55
Hydracarina	-	-	-	-	-	-	0.21	0.00	0.38	0.00	0.00	0.37
Terrestrial animals												
Collembola	-	-	3.57	0.60	-	-	0.21	0.00	0.38	0.00	0.00	0.09
Coleoptera	-	-	-	-	1.50	4.49	-	-	-	-	-	-
Hymenoptera	-	-	-	-	0.75	0.75	0.21	0.64	0.38	0.56	0.18	0.27
Hemiptera	-	-	-	-	0.75	0.00	-	-	0.19	0.00	0.00	0.09
Diptera	0.95	0.00	-	-	2.24	0.00	0.21	0.85	0.19	0.19	0.19	0.09
Araneae	-	-	1.19	1.19	-	-	-	-	-	-	-	0.09
Acarina	-	-	-	-	0.75	0.00	-	-	-	-	-	0.09
Total	41.78	13.29	34.51	22.02	37.41	20.95	7.88	22.36	11.09	21.44	5.39	3.20
Wet weight of debris (g)												
per 1 m ³	-	61.0	-	53.9	-	28.9	-	5.5	-	4.8	-	4.8