

## サクラマス (*Oncorhynchus masou*) の生理学的研究 - II 淡水生活期における脂質含量の変化\*<sup>1</sup>

野村 哲一\*<sup>2</sup>・真山 紘\*<sup>2</sup>・大熊 一正\*<sup>2</sup>

### Physiological Studies of Masu Salmon (*Oncorhynchus masou*) - II. Changes of Total Lipid in Freshwater Life

Tetsuichi NOMURA\*<sup>2</sup>, Hiroshi MAYAMA\*<sup>2</sup>, and Kazumasa OHKUMA\*<sup>2</sup>

#### Abstract

Changes of total lipid of masu salmon (*Oncorhynchus masou*) in freshwater life was studied. Lipid was extracted from the sample using Folch's method with chloroform-methanol(2:1) solution. The lipid content in the egg of masu salmon was reached about 15 % and this was somewhat higher than that of chum, pink and sockeye salmon eggs, which was around 12 % . Although the lipid content was stable and no significant changes was observed through egg stage, the content decreased one week before hatching to about 90 % of that observed at fertilization. After hatching, the total lipid of fry decreased gradually with growth. During the emerging period, total lipid reduced to 60 % of the amount observed at fertilization. The lipid content of masu salmon fingerling after release to river increased to 5 % in summer with their growth. But in the following season it gradually became lower, and was marked by the lowest observed concentration during wintering of 1 to 2 %.

サクラマスは、サケ、カラフトマスと並んでわが国におけるサケマス増殖事業の主要な対象魚種であるが、近年はその資源量が2,000トン程度まで激減している (待鳥・加藤 1985)。このためサクラマスの資源増大のための有効な増殖技術の開発が望まれているが、サクラマスはサケ、カラフトマスに比較すると稚魚期において生産力の乏しい河川での一年半以上の長期の生活を有しており、海洋における回遊も沿岸域に限られるため、種々の成長段階において、様々の漁業の影響を強く受ける。そのようなサクラマスの生活史の特徴から増殖にあたっては必ずしもサケ、カラフトマスの増殖技術をそのまま適用することは困難であり、サクラマスの生物学的な特質を生かした新たな増殖技術の開発が必要である。そのためにはサクラマスの生物学

北海道さけ・ますふ化場研究業績第311号

\*<sup>1</sup>本報告の概略は昭和61年度日本水産学会春季大会および昭和62年度日本水産学会春季大会で口頭発表した本研究は、農林水産省「沿岸漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究(マリーナランディング計画)」の一部である (MRP 62-IV-6)

\*<sup>2</sup>水産庁北海道さけ・ますふ化場 (Hokkaido Salmon Hatchery, Fisheries Agency of Japan, 2-2 Nakanoshima, Toyohira, Sapporo 062 JAPAN)

的な特質をサケ、カラフトマスとの十分な比較の上で明らかにして行くことがまず必要であるとする。

著者らは以上の観点から、天然生育のサクラマスについて生理学的な検討を続けてきたが、本報告ではサクラマスのスマルト化幼魚出現までの淡水生活期の脂質含量について報告する。

脂質は魚体を構成する成分としては蛋白質と並んで量的にも多く、種々の生理活性を持つ主要な成分であるが、蛋白質と比較すると研究の歴史も短く検討すべき課題の多い分野でもある。近年魚類の脂質に関する研究は魚類の栄養学的な面や、食品学的な面から目ざましい発展をとげているが (Watanabe 1982, Ackman 1980)、天然生育のサケ科魚類の脂質に関する知見は少なく、天然生育のサクラマスを供試した脂質に関する報告は、寺尾他 (1976) の親魚に関する報告、太田・山田 (1974) のサクラマス幼魚についての報告、野村 (1984) のサクラマスの筋肉内粗脂肪量についての報告があるにすぎない。

### 材料および方法

供試魚の脂質含量の測定は、小型魚では魚体全体を供試したが大型の魚体では種々の部位に分けて供試した。脂質の定量はFolch (1957) にもとづきクロロホルム-メタノールを用いて行った。脂質含量は試料の湿重量に対する%として示したが項目によっては脂質量と表示して、脂質の絶対量をもって示したものもある。供試材料の採集地点を図1に示したが、供試魚の体長、体重等の測定結果については必要に応じて各項目毎に記載した。生活期の名称については可能な限り久保 (1980) に従った。



図1 供試材料の採集地点

### 結果および考察

**卵期における脂質含量の変化：**サクラマスの卵期における脂質含量の変化を検討するためにまず、図1に示した尻別川、風蓮川、斜里川に遡上した各10尾のサクラマス親魚から採卵した卵 (一尾あたり約5g) について脂質含量を測定した。比較のため十勝川、網走川、斜里川に遡上したサケ、斜里川、岩尾別川に遡上したカラフトマス、勇払川に遡上したベニザケの親魚から採卵した卵についても脂質含量を測定した。供試尾数と親魚の平均体長、体重、及び卵の平均重量、脂質含量の平均値と標準偏差値は表1に示した。供試し

サクラマス、サケ、カラフトマスの淡水生活期における脂質含量の変化

表1 サクラマス、サケ、カラフトマス卵の脂質含量

魚種	採集河川	供試尾数	体長 (cm)	体重 (g)	卵重 (mg)	脂質含量 (%)
			平均S. D.	平均S. D.	平均S. D.	平均S. D.
サクラマス	尻別川	10	57.3 (3.5)	2321 (481.8)	159 (27.2)	15.5 (1.1)
	風蓮川	10	47.4 (5.9)	1059 (337.0)	99 (22.4)	14.2 (0.9)
	斜里川	10	40.1 (3.4)	547 (150.3)	116 (22.1)	15.0 (1.3)
サケ	十勝川	10	68.8 (4.9)	3325 (1066.3)	248 (61.8)	13.0 (0.6)
	網走川	10	64.8 (3.9)	2872 (557.1)	227 (24.0)	12.7 (0.3)
	斜里川	10	64.6 (4.3)	2660 (620.4)	229 (27.5)	13.5 (0.9)
カラフトマス	斜里川	10	50.2 (2.3)	1483 (251.6)	155 (19.8)	12.8 (0.8)
	岩尾別川	10	51.2 (2.2)	1499 (265.1)	150 (24.7)	12.0 (1.1)
ベニザケ	勇払川	10	39.5 (2.9)	626 (99.4)	59 (12.3)	12.2 (0.6)

た魚種内ではサクラマスの卵が最も高い脂質含量を示し、尻別川では15.5%、斜里川では15.0%、風蓮川では14.2%の値を示した。一粒当たりの卵重の小さな風蓮川に遡上した親魚からの卵が、供試した卵の中では最も低い脂質含量を示したが、何れの河川でも脂質含量の平均値の標準偏差は小さく、個体による卵の脂質含量の変動は少ないことが示された。採集した各河川間においては脂質含量の平均値に有意の差は認められなかった。

これに対してサケ、カラフトマス、ベニザケの卵における脂質含量は表1に示したように、何れの河川においてもサクラマスの卵より低く、12~13%の値を示した。

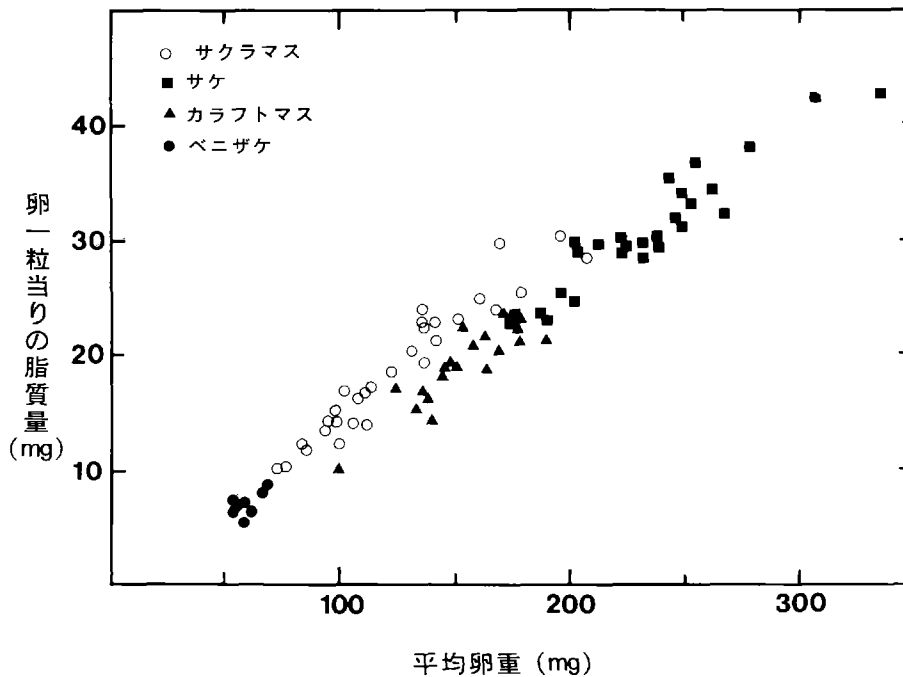


図2 供試した卵の平均重量と卵一粒当たりの脂質量の関係

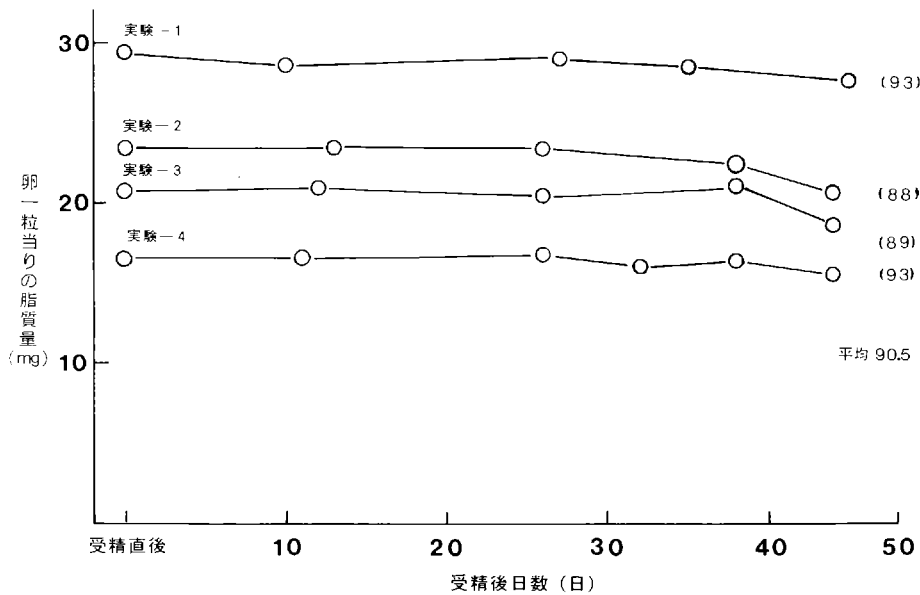


図3 受精後からふ化までの卵一粒当たりの脂質量の変化。( )は受精直後を100としたときのふ化時の脂質量の指数

サクラマスは河川により親魚の大きさが表1に示した様に大きく異なり、それにもない卵の一粒当たりの平均重量も大きく異なる。また供試3魚種の卵重量は魚種により異なることから、単に平均値により脂質含量の比較を行うことは種々の疑問がある。そのため供試した個体の卵の平均重量と脂質の絶対量の間を、縦軸に卵一粒当たりの脂質量、横軸に卵一粒当たりの平均重量を取り図2に示した。

表1に示したように脂質含量の標準偏差値が小さいことから、卵重量と脂質の絶対量の間でも直線的な関係が認められた。同じ平均卵重量の卵においても、供試した3魚種中ではサクラマス卵が最も高い脂質含量を示している。

つぎに受精後からふ化直前までの脂質含量の変化について検討した。常法により受精させた供試卵を10.4℃の水温下で管理し、ふ化直前までの脂質含量の変化について4回の実験で検討した。卵一粒当たりの脂質量は図3に示したように受精直後から、ふ化一週間前までは変化が認められず、受精直後の値を示したが、ふ化直前には、受精直後の卵一粒当たりの脂質量を100とすると平均で90まで減少を示した。

サケ科魚類の卵の脂質含量については安藤(1962,1968)、須山・荻野(1958)のニジマスに関する報告、高間他(1969)のサケ卵に関する報告、Atchison(1975)のカワマスに関する報告、Idler and Bitners(1960)のベニザケに関する報告が見られるが、サクラマスの卵の脂質含量についての報告はみられない。前記した報告中のニジマス、サケ卵の脂質含量は本報告と同様に12%前後の値を示している。本報告のベニザケ卵は12.3%の脂質含量を示しているが、供試した卵の平均重量が59mgと小さく、必ずしもベニザケを代表しているとは考えられないが、Idler and Bitners(1960)がベニザケの成熟時における卵の脂質含量として報告している10.7%に比べると高い値を示した。本報告中のカラフトマス、ベニザケについての結果を合わせ考えるとサクラマスの卵の脂質含量は供試したサケ科魚類中では最も高い脂質含量を示すと考えられる。サクラマス卵がこの様な高い脂質含量を示したのは野村他(1987)\*で報告したようにサクラマス親魚の筋肉部

\*野村哲一・貞山 紘・大熊一正(1987):サクラマスの生理学的研究-II 海洋生活期および河川遡上期の脂質含量の変化, 昭和62年度日本水産学会春季大会講演旨集77P.

サクラマスの淡水生活期における脂質含量の変化

の脂質含量が高いことも影響していると考えられるが、この理由については更に海洋生活期のおよび成熟期におけるサクラマスの脂質含量の変化と合わせて総合的に考察する必要がある。

受精直後からふ化直前までの脂質含量についての变化は、前記した卵の脂質含量の安藤 (1962, 1968), 須山・荻野 (1958) のニジマスに関する報告, 高間他 (1969) のサケに関する報告, Atchison (1975) のカワマスにおける結果と同様であった。ふ化直前における脂質含量は受精直後の値を100とすると90まで減少しているが、この減少の理由はふ化直前における、胚の運動により消費される脂質と、胚の形成のために使用される脂質の減少によるためと考えられる。以上記したようにサクラマス卵は脂質含量がサケ, カラフトマス, ベニザケに比べると高いこと, 受精直後からふ化直前までの脂質含量の変化はわずかであることが明らかとなった。

**前期仔魚期における脂質含量の変化：**ふ化後から浮上期までのいわゆる前期稚魚期における脂質含量について検討するため以下の実験を行なった。卵発生時の脂質含量の検討と同様に、サクラマス及び比較のためサケ, カラフトマスのふ化後の前期稚魚を10.4℃の水温で飼育して、ふ化してから浮上して遊泳を始めるまで一週間ごとに供試魚の体重, 水分, 粗蛋白質量, 脂質含量を測定した。前期稚魚期においては経時的に体重も増加するため、結果は稚魚一尾当たりの各成分の絶対値として図4に示した。水分含量はふ化後から経時的に増加して、ふ化直後には一尾当たり89.4mgであったものが浮上期には204.7mgまでに増加した。これに対して粗蛋白質量と脂質量はいずれも水分とは逆にふ化直後から浮上期まで経時的に減少を示した。すなわち一尾当たりの脂質量はふ化直後に18.5mgであったものが浮上期には10.7mgまで約40%の減少を示し、粗蛋白質量の減少割合は脂質量の減少に比べると少なく、ふ化直後には一尾当たり37.4mgが浮上期には31.8mgまで減少を示した。比較のため供試したサケ, カラフトマスにおける結果でもほぼ同様の变化を示した。

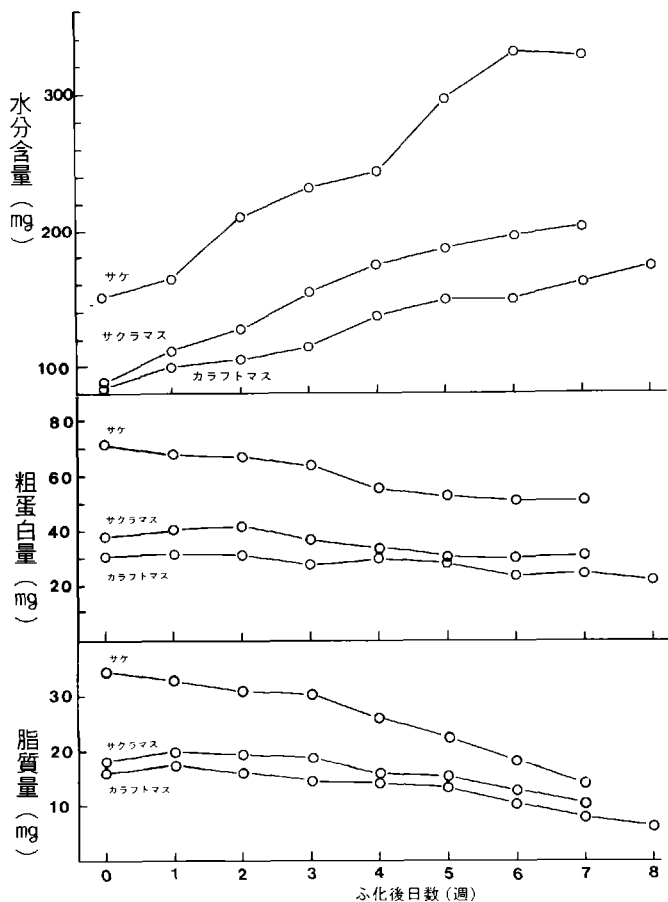


図4 前期稚魚期における稚魚一尾当たりの水分, 粗蛋白, 脂質量の変化

的に増加して、ふ化直後には一尾当たり89.4mgであったものが浮上期には204.7mgまでに増加した。これに対して粗蛋白質量と脂質量はいずれも水分とは逆にふ化直後から浮上期まで経時的に減少を示した。すなわち一尾当たりの脂質量はふ化直後に18.5mgであったものが浮上期には10.7mgまで約40%の減少を示し、粗蛋白質量の減少割合は脂質量の減少に比べると少なく、ふ化直後には一尾当たり37.4mgが浮上期には31.8mgまで減少を示した。比較のため供試したサケ, カラフトマスにおける結果でもほぼ同様の变化を示した。

本報告の前期稚魚期における変化は坂田他 (1985) のサケ, Atchison (1975) のカワマスに関する報告と比較してもサクラマスの特質と考えられるものは認められない。しかしこの時期には卵黄として親魚から受継いだ栄養成分以外には外部からの栄養成分の補給はないため、脂質含量の減少は以後の仔魚の生残率にも影響すると考えられ、人工増殖事業においては重要な点であろう。

**河川放流後からスモルト出現期前までの脂質含量の変化：**ふ化後から浮上期までの変化について前項で報告した

が、ここでは河川放流後からスモルトの出現期前までの脂質含量の変化について報告する。本報告では主として北海道南部の尻別川におけるサクラマスの河川生活期における脂質含量の変化について、1983年6月から1984年2月までと、1986年6月から1987年4月までの2回検討した。

1983年には平均体重0.37g、体長3.5cmの稚魚40万尾を5月1日より20日まで水産庁、北海道さけますふ化場尻別事業場より放流し、1986年には、平均体重1.10g、体長4.7cmの稚魚80万尾を5月25日に12点に分散して放流した。尻別川における放流尾数は、種卵の供給状況により影響を受けているが、供試魚の採集を行なった尻別川水系目名川（以下目名川とする）水域の放流尾数については、これらの調査年には一定密度となるように放流尾数を調整した。また稚魚の放流と同様に1983年5月10日には6万尾、1986年4月20日には11万尾の人工飼育スモルトが放流された。調査は放流後から定期的に採集地点において投網、またはタモ網等によりサクラマス稚魚を採集して、小型の個体では数尾を、大型の個体では個々に脂質含量を測定した。これらの人工飼育サクラマス稚魚の放流に先立って行なった調査では天然産卵に由来すると考えられる稚魚は各調査地点で数尾採集されただけであり、これら採集した供試魚はほとんど人工飼育由来のサクラマス稚魚と考えられた。

2回の調査における調査毎の魚体全体の脂質含量の平均値と標準偏差値を表2に示した。放流後の脂質含量はこの2回の調査においては、8月に最も高い脂質含量を示した。しかし1983年における調査では8月に減少した脂質含量が再び10月に増加を示しているが1986年の調査では8月以後は脂質含量は低下を示している。11月以後の冬季間には脂質含量は2%以下の低い値を示すに留まり、越冬中におけるサクラマスの脂質含量は極く低い値であることが明らかとなった。これらの脂質含量の変化には前記したように年度によりその変化に差が認められるが、天然生育のサクラマスは体長の変異も大きく、一概に脂質含量の平均値で変化を検討することには疑問が残る。そのため供試尾数の多い1986年の結果について、体長と脂質含量の関係を図5に示した。放流後から脂質含量の増加する8月までの期間には体長と脂質含量の間には明確な正の相関が認められ、9月以後の期間では8月より大型の個体でも脂質含量は5%以下の値を示した。しかし以後は脂質含量はいずれの大きさの幼魚でも低下し12月には2%以下の値を示す個体も出現している。このような状況はごく大型の個体をのぞいては1から2月にも認められ、3月には体長9cm以上の個体では脂質含量の増加が認められ、4月には再び夏季と同様に体長と脂質含量の間には正の相関が認められるようになり、高い脂質含量を示す個体が出現してきた。しかしいずれの時期でも体長7cm以下の小型の個体では脂質含量は2%以下の低い値を示すに留まった。

つぎに1983年8月27日と1984年1月22日に採集したサクラマス幼魚について部位別に夏季および越冬時期の脂質含量を比較した。表3に示したように内臓部では8月には1.8%から11.6%と高い脂質含量を示したが、各部位別の脂質の絶対量で考えるとサクラマス一尾に含まれる脂質の7.4%から29%が内臓部に含まれていることとなる。これに対して冬季の1月22日では脂質含量では内臓部でも体長が13.6cmの大型の個体以外は1.1%から1.7%と極く低い脂質含量を示している。冬季間には内臓の重量も減少することから内臓部の脂質の絶対量の減少はさらに大きくなる。サクラマス一尾の体内における脂質含量の絶対値では内臓部より筋肉及び皮膚の重量が割合として多いため、筋肉部での脂質含量の変化がサクラマス魚体内での脂質含量の変化に大きく影響している。

次に放流後から秋季までの部位による脂質含量の変化を明らかにするため、前項と同様に1987年5月25日に平均体重1.2g、体長5.1cmの稚魚60万尾を目名川に放流し、放流後の脂質含量の変化を、肝臓、肝臓以外の内臓、その他の魚体（主として筋肉部）の3部分にわけて検討した。各部位とも10尾をプールサンプルとして分析に供した。

サクラマスの淡水生活期における脂質含量の変化

表2 尻別川で採集したサクラマスの脂質含量の変化

採集年月日	供試尾数	体長 (cm)		体重 (g)		脂質含量 (%)	
		平均	(S. D.)	平均	(S. D.)	平均	(S. D.)
1983-6- 2	*	—	—	—	—	1.7	—
6-10	*	—	—	—	—	1.5	—
6-24	*	—	—	—	—	2.3	—
7-19	10	7.62	0.96	6.31	2.41	3.4	0.44
8-26	10	8.82	0.67	8.99	1.98	4.8	0.98
9-27	10	8.91	1.07	8.65	3.50	3.1	0.70
10-21	15	9.34	1.19	9.83	3.97	4.0	1.60
1984-1-27	5	8.00	0.21	4.52	0.23	1.6	0.21
2-28	5	9.90	0.58	9.20	1.98	2.3	0.80
1986-6-27	12	5.93	0.52	2.91	0.62	1.3	0.42
7-23	5	6.96	0.65	4.17	1.26	2.1	0.68
8-26	20	7.63	1.06	5.77	2.18	3.1	0.95
9-26	10	8.95	1.57	10.32	6.56	2.2	1.38
10-30	10	9.93	0.96	10.77	3.24	2.5	0.96
11-19	10	7.56	0.37	4.33	0.51	1.6	0.58
12-17	22	8.26	1.72	8.87	8.96	1.9	1.16
1987-1-22	24	9.13	1.84	8.30	5.93	2.2	1.10
2-26	25	8.50	1.67	7.06	4.12	1.9	0.55
3-25	22	9.61	2.12	10.71	6.21	2.4	0.64
4-26	26	9.10	2.26	11.35	9.36	3.6	1.26

\*10尾のプールサンプルとして分析した。

脂質含量の変化は肝臓では放流後から秋季の脂質含量の低下する時期まで約2%と変化を示さないが、肝臓以外の内臓とその他の部位では、いずれも夏季までの脂質含量の増加が顕著に認められた(図6)。しかし、魚体内の内臓の占める割合は10%程度であり、サクラマスの一尾の脂質の絶対量は主として筋肉部の脂質含量により影響される。しかしこのいずれの部位においても脂質含量は9月以後低下を示し、変化の様子は前報(野村 1984)および本報告の前項の結果と同様であった。

天然河川に生育しているサクラマスの脂質含量の変化については太田・山田(1974)の報告があるが他にはみられない。本報告と太田・山田(1974)の報告では何れも、変化の傾向は同様でありほぼこれらの変化がサクラマスの河川生活における脂質含量の変化の傾向と考えられる。真山他(1983)の報告によれば目名川における餌料生物の量は8月以後低下を示し冬季間に増加を示す事が報告されている。秋季におけるサクラマスの脂質含量の低下はこれらの餌料生物の減少と、夏季における高水温による摂餌の低下が影響しているものと推察される。冬期間には餌料生物の量は増加するが低水温により消化吸収が行なわれないために低い脂質含量になったと推察される。表2に示した河川放流後の脂質含量の変化には前報(野村 1984)の結果に比べると差が認められる。前報(野村 1984)の目名川における放流尾数は、本報告の放流尾数と同じであり、脂質含量の変化の差は河川のサクラマスの密度の差によるためではなく、むしろ河川の餌生物や物理環境の年変化に大きく影響されたと推察される。夏季における脂質の蓄積はそれ以後の脂質の低下に備える

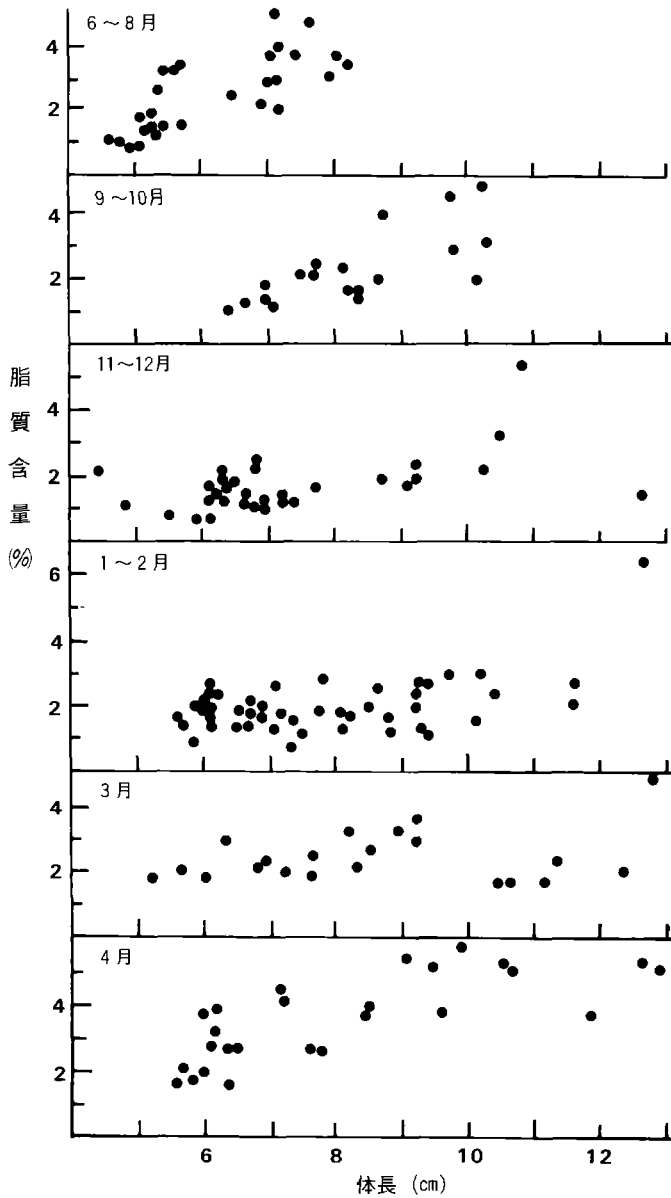


図5 河川放流後の脂質含量の変化

ためには重要な点であろうが、河川の生産力の上限を越えたサクラマス放流は、夏季における脂質の蓄積の妨げとなり、以後の脂質含量の減少をさらに促進する結果となるであろう。冬季間における日名川の河川水温は0-1℃まで低下するため代謝も低下し、川辺の流れの少ない場所に生活している限りにおいては、これらの低い脂質含量でも生存することは可能であろうが、春季の水温の上昇とスモルトにおける生理活性の上昇期には蓄積した栄養成分の不足から死に至ることも考えられ、河川におけるサクラマスの生残率の向上のためにはこのような脂質含量の減少は重要な問題であろう。現状において採集している越冬中のサクラマス幼魚はごく限られた地点に生息していた個体であり、必ずしも河川全ての越冬中のサクラマスを代表しているとは言えないが、河川を生産力に有効に利用するためには、河川内のより広範な場所の利用は不可欠であり、本報告の採集地点のような比較的中流域でも越冬場所として利用し、河川を生産を効率的に利用する必要がある。このためにはさらに他の成分を含めて、越冬期の生理状況について検討する必要がある。冬季間における低い脂質含量は、河川における稚魚の生残率にも大きな影響を与えているものと推察され、この点からも河川における人工種苗の放流に当たっては河川を生産力に応じた適正な尾数の放流の重要性が指摘される。



サクラマス<sup>1</sup>の淡水生活期における脂質含量の変化

表3 夏季と冬季間における脂質含量の差

採集年月日	体長 (cm)	体重 (g)	全魚体 脂質含量 (%)	部位別脂質量 (mg)		部位別脂質含量 (%)	
				内臓以外の部分	内臓	内臓以外の部分	内臓
1983年8月27日	7.7	5.1	1.5	72.7 (92.6)	5.8 (7.4)	1.6	9.1
	7.7	6.7	2.8	162.0 (85.0)	28.5 (14.9)	2.6	4.1
	8.2	6.8	5.4	797.8 (78.9)	212.8 (21.1)	3.1	11.6
	7.5	5.3	4.1	154.8 (70.9)	63.6 (29.1)	3.4	10.5
	6.4	3.3	2.4	73.8 (92.9)	5.6 (7.1)	2.6	1.8
1984年1月22日	13.6	27.6	6.4	1521.6 (86.4)	329.3 (13.6)	6.2	10.1
	12.6	20.0	2.8	495.7 (89.0)	61.6 (11.0)	2.8	3.1
	10.7	12.4	3.0	324.0 (84.1)	41.3 (15.9)	3.0	3.3
	11.2	12.9	3.0	343.9 (88.4)	44.9 (11.6)	3.0	4.7
	11.2	13.3	1.6	199.7 (91.7)	18.0 (8.3)	1.7	1.3
	10.2	10.5	2.5	248.0 (93.4)	17.3 (6.6)	2.7	1.8
	8.4	5.4	0.8	42.1 (97.4)	1.1 (2.6)	0.9	0.1

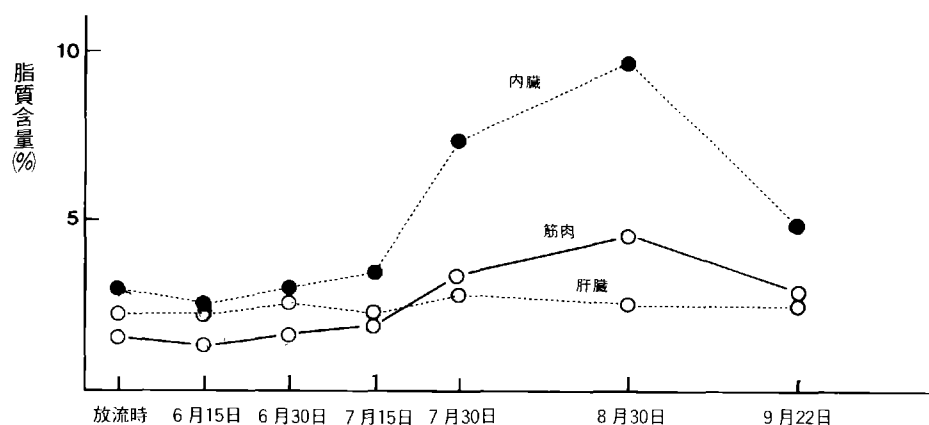


図6 河川放流後から秋季までの魚体各部位の脂質含量の変化

要 約

1. サクラマスの淡水生活期の脂質含量について検討した。
2. サクラマス卵の脂質含量は15%前後と、サケ、カラフトマス、ベニザケ卵にくらべて高い値を示した。
3. 受精以後ふ化直前までの脂質含量の変化は認められなかったが、ふ化直前には脂質含量の低下が認められた。
4. ふ化後前期仔魚期においては脂質量は経時的に減少し、浮上時期にはふ化直後の約60%の脂質量となった。

野村・真山・大熊

5. 河川放流後のサクラマス<sup>1</sup>の脂質含量は成長にともない夏季には5%前後まで増加するが、その後低下を示し、冬季間には1から2%の低い脂質含量となった。

## 謝 辞

本研究の推進に当たって終始ご指導頂いた北海道さけ・ますふ化場小林哲夫前場長、阿部進一調査課長に深謝するとともに、標本の採取に協力頂いた北海道さけ・ますふ化場敷生事業場長松村幸三郎（前尻別事業場長）、尻別事業場長本間広巳の各氏に深謝致します。また加藤郁子さんには脂質の定量に多大の労を煩わせた、記して深謝致します。

## 文 献

- Ackman, R. G. (1980) : Fish lipids. Part 1. Advanced in fish science and technology (Connell ed. ) , 86-103, Fishing News Books Ltd., England.
- 安藤一夫 (1962) : にじます卵発生中の脂質の変化. 日水誌**28**(1), 73-76.
- 安藤一夫 (1968) : 養殖魚類の脂質に関する生化学的研究, 東京水産大学研究報告54, 61-98.
- Atchison, G. J. (1975) : Fatty acid levels in developing brook trout (*Salvelinus fontinalis*) eggs and fry. *J. Fish. Res. Bd. Canada* **32**, 2513-2515.
- Folch, J., M. Lees, and G. H. Sloane Stanley (1957) : A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J. Biol. Chem.* **226**, 497-509.
- Idler, D. R. and I. Bitners (1960) : Biochemical studies on sockeye salmon during spawning migration. IX. Fat, protein and water in the major internal organs and cholesterol in the liver and gonads of the standard fish. *J. Fish. Res. Bd. Canada* **17** (1) : 113-122.
- 久保達郎(1980) : 北海道のサクラマスの生活史に関する研究. さけ・ますふ研報 (34), 1-95.
- 待鳥精治・加藤史彦 (1985) : サクラマス (*Oncorhynchus masou*) の産卵群と海洋生活. 北太平洋漁業国際委員会研究報告 (43), 1-118.
- 真山 紘・大熊一正 (1983) : 河川滞留期サクラマス幼魚の摂餌生態. 昭和57年度マリンランティング計画プログレスレポート サクラマス (3), 92-102, 北海道さけ・ますふ化場.
- 野村哲 (1984) : サクラマスの生理学的研究-I. 筋肉内粗脂肪量について, さけ・ますふ研報 (38), 33-41.
- 太田 亨・山田 実 (1974) : サクラマスの脂質-II 河川で生活するサクラマス幼魚の筋肉脂質の季節的変動. 日水誌**40** (7), 699-706.
- 坂田澄夫・中野 広・安藤義秀・白旗総一郎 (1985) : 成長にともなうサケ稚魚のグリコーゲンと脂質含量の変化. 北水研報 (50), 79-82.
- 須山三千三・荻野珍吉 (1958) : ニジマス発生中の一般成分の変化. 日水誌**23**(12), 785-788.
- 高間浩蔵・座間宏一・五十嵐久尚 (1969) : サケ卵発生過程における脂質成分の変化. 北大水産学部研究彙報**20**(2), 118-126.
- 寺尾俊郎・岡田鳳二・伊藤小四郎・米川年三・田中寿雄 (1976) : サクラマスの蓄養中の体筋肉, 肝臓及び血清中の生化学組成変化について. 北海道水産孵化場研報 (31), 1-18.
- Watanabe, T. (1982) : Lipid nutrition in fish. *Comp. Biochem. Physiol.* **73B**, 3-15.