サクラマスの脂質—III

降海時期における河川残留型および降海型サクラマス 幼魚の脂質組成の相異*1

太田 亨・山田 実

(1974 年 5 月 17 日受理)

Lipids of *Masu* Salmon—III

Differences in the Lipids of Residual Type and Seaward Migration Type of *Masu* Salmon Parr during the Period of Seaward Migration

Tōru ŌTA*2 and Minoru YAMADA*2

Differences in the lipid compositions and the fatty acid compositions of the residual type and seaward migration type of *Masu* salmon parr (*Oncorhynchus masou*) flesh lipids during the period of seaward migration were investigated.

The results obtained are summarized as follows:

- 1) The lipid content of the seaward migration type was less than one-half that of the residual type.
- 2) Comparison of the residual type and seaward migration type lipid compositions indicated a lower content of triglycerides and higher contents of phospholipids and free sterols in the seaward migration type.
- 3) The contents of each fatty acid were uniformly lower in the seaward migration type than in the residual type, the decrease in palmitoleic and oleic acids being more conspicuous in the seaward migration type.

It was considered that the consumption of lipids (mainly triglycerides) as the energy source in the seaward migration type swelled during the period of seaward migration and that, among the fatty acids, the monoenoic acids might be chiefly consumed. Furthermore, the consumption of polyenoic acids as well as saturated and monoenoic acids might increase during the latter stage of smolt-transformation.

河川で生活するサクラマス幼魚 (*Oncorhynchus masou*) の中で降海型のサクラマス幼魚が春に変態 (スモルト化) して降海移動をおこなう際には、脂質も移動のためのエネルギー源として消費されると思われ、その結果脂質成分にも変化のあることが考えられるが、この点については前報¹⁾で養殖サクラマス幼魚を試料として変態時期の脂質含量と脂肪酸組成の変動を調べ、変態の進行にともない筋肉中の脂質含量が減少し、また脂肪酸では 16:0, 18:1 が主に減少することをあきらかにした。さらに天然サクラマス幼魚の筋肉脂質の周年にわたる変動を調べ、河川残留型と降海型とでは脂質含量や脂肪酸組成の変動に相異があり、その中で春では河川残留型の脂質含量が増大するのに対し降海型は逆に減少する傾向を示すなど、養殖サクラマス幼魚における結果とほぼ同様な脂質の変動の傾向があることを報告した²⁾。

しかし降海時期におけるサクラマス幼魚の脂質の変化についてはたんに脂質含量や脂肪酸組成だけでなく脂質組成なども詳しく調べ考察する必要があると思われるので、本報では天然および養殖サクラマス幼魚を

*1 北海道大学水産学部七飯養魚実習施設業績第4号

*2 北海道大学水産学部 (Faculty of Fisheries, Hokkaido University, Hakodate, Japan)

試料として、降海時期における河川残留型と降海型の脂質組成の相異について比較検討した。

実験方法

試料魚 実験にもちいた河川残留型 (Residual type) および降海型 (Seaward migration type) サクラマス幼魚は天然魚の場合は前報²⁾の試料と同様、北海道南部の湯出川より 1969 年 4 月 30 日に捕獲したものであり、養殖魚は北海道大学水産学部七飯養魚実習施設で飼育されたものを 1971 年 5 月 17 日に採取した。試料魚の体長、体重を Table 1 に示した。

Table 1. Body length, body weight and lipid content of the flesh of *Masu* salmon parr

Type	Sex*	Body length cm	Body weight g	Lipid content %	
		Wild fish		(Average)	
Residual type	M	12.9	37.5	4.1	(4.2)
	M	14.7	52.2	4.3	
Seaward migration type	M	12.0	25.7	1.3	(1.9)
	F	13.5	36.3	2.3	
	F	14.2	39.2	2.2	
		Cultivated fish			
Residual type	M	11.0	15.8	2.2	(3.1)
	M	12.2	28.8	2.9	
	M	12.6	30.7	3.2	
	M	15.0	60.5	4.1	
Seaward migration type	F	12.6	26.3	1.4	(1.4)
	F	13.5	34.0	1.5	
	F	13.8	36.8	1.3	

* M—Male, F—Female

カラムクロマトグラフィー (CC) 試料魚の筋肉部より BLIGH and DYER 法³⁾で抽出した総脂質をケイ酸 (マリンクロット社製): セライト 545 (2:1W/W) の吸着剤 (110°C, 5 時間活性化), およびクロロホルム、メタノールなどの溶剤をもちいクロマトグラフィーをおこない中性脂質とリン脂質とに分画した⁴⁾。

中性脂質の CC は吸着剤としてケイ酸 (関東化学社製, 試料に対し 120 倍量, 110°C, 5 時間活性化) を使用し, 溶剤は n-ヘキサン, エチルエーテル, メタノール系をもちいておこない, n-ヘキサンで炭化水素, 2% エチルエーテル-n-ヘキサンでステリンエステル, 10% エチルエーテル-n-ヘキサンでトリグリセリド, 50% エチルエーテル-n-ヘキサンでジグリセリド, 遊離ステリン, 25% メタノール-エチルエーテルで遊離脂肪酸などの各成分を溶出させた⁵⁾。なお CC で完全に分画されない区分についてはさらに薄層クロマトグラフィー (TLC) [ワコーゲル B-5, 0.5 mm, 110°C, 1 時間活性化, n-ヘキサン: エチルエーテル: 酢酸 (70: 30: 1 V/V)] により分画をおこない各成分を分取精製した。脂質成分の確認は TLC および赤外線吸収スペクトルの測定 (クロロホルム溶液法) などでおこなった。

ガスクロマトグラフィー (GLC) 各脂質成分中の脂肪酸はジアゾメタンでメチルエステル化したのち, 柳本製ガスクロマトグラフ G-8FP 型 (水素炎イオン化検出器付) を使用し, 10% DEGS カラム (クロモゾルプ W AW 80-100 メッシュ, 3 mm×1.5 m), カラム温度 185°C, 注入口および検出器温度 230°C などの条件で分析した。脂肪酸の定性および定量は前報²⁾と同様の方法でおこなった。また炭化水素については 2% Silicone OV-17 カラム (クロモゾルプ W AW DMCS 80-100 メッシュ, 3 mm×75 cm), カラム温度 170-200°C (昇温条件 4°C/min), 注入口温度 250°C で, さらにステリンは酢酸エステルとしたのち炭化水素の場合と同じカラムを使用し, カラム温度 240°C, 注入口温度 270°C で分析した。成分ピークの確認は標準物との比較でおこなった。

結果および考察

脂質含量と脂質組成における相異 試料魚筋肉中の脂質含量を Table 1 に示した。脂質含量の平均値は河川残留型において天然魚 4.2%，養殖魚 3.1% であるのに対し，降海型は天然魚 1.9%，養殖魚 1.4% と降海型が河川残留型の半分以下の値となっている。なお養殖魚における肝臓中の脂質含量は河川残留型 4.6%，降海型 3.4% と筋肉の場合ほど顕著ではないが降海型ですくない傾向が認められた。

Table 2. Lipid composition in the flesh of *Masu* salmon parr (as % total lipids)

Lipid class	Wild fish		Cultivated fish	
	R*	S*	R	S
Hydrocarbons	0.4	0.8	0.1	0.1
Steryl esters	0.9	0.7	0.4	0.4
Triglycerides	75.4	58.9	64.3	20.9
Diglycerides	2.5	2.7	1.6	2.6
Free fatty acids	0.8	6.1	4.3	4.1
Sterols	3.8	5.6	2.0	5.1
Phospholipids	16.1	25.5	26.7	66.2

* R—Residual type, S—Seaward migration type

各試料魚の脂質組成を Table 2 に示した。河川残留型と降海型の脂質組成における大きな相異はトリグリセリドとリン脂質の含量にみられる。すなわち，トリグリセリド量は河川残留型に比し降海型ですくなく，とくに養殖魚においてその差が大きく降海型は河川残留型の 1/3 であった。

しかしリン脂質量は逆に降海型の方が多く，また遊離ステリン量も同様であった。

Fig. 1. Lipid composition of the flesh of *Masu* salmon parr (mg/100 g of flesh). R—Residual type, S—Seaward migration type, H—Hydrocarbons, SE—Steryl esters, TG—Triglycerides, DG—Diglycerides, FFA—Free fatty acids, ST—Sterols, PL—Phospholipids

脂質含量と脂質組成比から筋肉中における各脂質成分の量を筋肉 100 g 中の mg 数としてあらわした場合の河川残留型と降海型の相異を Fig. 1 に示した。天然魚降海型のトリグリセリド量は筋肉 100 g 中 1120 mg で河川残留型 3170 mg の 35%。また養殖魚では降海型が 290 mg で河川残留型 1990 mg の 15% であった。これに対しリン脂質量は，天然魚では河川残留型 680 mg，降海

Fig. 2. Gas-liquid chromatograms of hydrocarbons and steryl acetates in the flesh lipids of wild *Masu* salmon parr (Residual type).

型 490 mg, 養殖魚においては河川残留型 830 mg, 降海型 930 mg と天然魚と養殖魚との間に量的なちがいはあるが河川残留型と降海型との差はあまり大きくなく, また型による一貫した傾向も認められない。リン脂質が細胞膜の主要構成成分であることを考えると魚の組織中では生物学的な変化(変態)にあまり影響を受けず量的にはほぼ一定の値を示すものと考えられる。

サケ類が降海する際にはさきにも述べたように変態をおこない体表面が銀化(Silvering)し運動性が活発になるが, このような変化と甲状腺ホルモンとは密接に関連することが知られている⁶⁾。TAKASHIMA ら⁷⁾はニジマスに数種のホルモンを投与して血漿中の脂質やリポ蛋白質の変動を調べ, 甲状腺末を投与したニジマスでは脂質やリポ蛋白質の含量が低下することをあきらかにした。このようなことから降海型サクラマス幼魚における筋肉中の脂質含量やトリグリセリド量が河川残留型に比しすくないのは甲状腺機能の変化と関連していることが充分考えられる。すなわち, 降海時期において甲状腺機能の向上にともない降海のための活動

Table 3. Fatty acid composition of each fraction in the lipids of wild *Masumonon parr* (%)

Fatty acid	Residual type					Seaward migration type				
	SE*1	TG*1	DG*1	FFA*1	PL*1	SE	TG	DG	FFA	PL
Saturated acid										
12: 0	1.1	0.7	1.0	3.4	tr*2	2.9	0.7	0.6	tr	0.2
14: 0	1.2	3.7	2.1	3.7	1.0	0.8	3.5	1.9	2.2	0.8
15: 0	1.0	0.8	0.5	2.1	0.2	0.8	0.6	0.4	0.5	0.2
16: 0	27.5	19.4	17.6	28.6	25.5	25.5	21.5	18.6	29.8	24.6
17: 0	1.7	1.1	1.0	2.2	1.3	2.3	1.1	0.6	0.9	0.9
18: 0	4.4	5.6	4.5	7.8	8.4	4.8	5.5	5.1	3.8	7.3
Total	36.9	31.3	26.7	47.8	36.4	37.1	32.9	27.5	37.2	33.8
Monoenoic acid										
14: 1	0.7	2.1	1.2	1.8	0.1	0.4	1.4	0.9	0.8	0.2
15: 1	1.2	0.4	0.2	1.7	0.5	0.9	0.3	0.2	0.3	0.6
16: 1	12.6	15.8	13.7	9.2	6.5	9.6	14.1	11.8	11.2	4.7
17: 1	0.9	1.1	0.8	1.5	0.9	1.0	1.4	0.9	0.9	0.5
18: 1	20.4	27.5	30.6	15.9	17.8	17.3	25.5	27.4	19.9	15.4
19: 1	0.7	0.3	0.3	0.2	tr	0.9	0.3	0.4	0.2	0.2
20: 1	2.5	1.7	1.6	1.3	0.5	1.9	1.1	1.6	0.7	0.6
22: 1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Total	39.0	48.9	48.4	31.6	26.3	32.0	44.1	43.2	34.0	22.2
Polyenoic acid										
18: 2	2.7	7.5	6.3	1.7	4.3	3.5	6.1	5.1	4.6	4.0
18: 3	1.8	5.1	3.9	0.9	2.5	3.3	7.8	5.1	4.2	3.4
18: 4	—	0.6	tr	tr	0.4	—	0.8	0.4	0.4	0.5
20: 2	1.7	1.1	0.9	tr	1.0	1.1	0.8	0.6	0.5	0.6
20: 3	0.6	tr	0.3	tr	0.5	0.6	tr	0.3	tr	0.4
20: 4ω6	3.1	0.9	2.5	2.4	4.1	3.7	1.0	2.4	2.1	3.8
20: 4ω3	0.8	0.4	tr	0.8	0.4	0.7	0.4	0.4	0.4	0.4
20: 5	7.6	2.4	5.2	5.4	5.6	9.3	3.5	5.9	9.0	8.1
22: 4ω6?	1.0	tr	tr	tr	0.6	1.2	tr	0.7	tr	0.4
22: 5ω6	tr	tr	tr	tr	1.1	tr	tr	tr	tr	tr
22: 5ω3	tr	0.7	0.7	1.1	2.0	tr	1.0	1.8	0.9	2.4
22: 6	4.8	1.1	5.1	5.4	14.8	7.4	1.6	6.6	6.7	19.0
Unknown	—	—	—	2.9	—	—	—	—	—	1.0
Total	24.1	19.8	24.9	20.6	37.3	30.8	23.0	29.3	28.8	44.0

*1 SE—Seryl esters, TG—Triglycerides, DG—Diglycerides, FFA—Free fatty acids, PL—Phospholipids

*2 Trace

性が増大し、そのためのエネルギー源として脂質が消費され成分中トリグリセリドが利用されるものと思われる。なおこの際にはトリグリセリドの加水分解に関与するリパーゼの活性が高まることが予想され、この作用に甲状腺刺激ホルモンが関係していることも考えられる⁸⁾。

またトリグリセリドの減少度については天然魚と養殖魚の間に差異があり、養殖魚の方がトリグリセリド量の低下の度合いが大きかった。この差異は生活環境のちがいに由来したものとも考えられるが、変態の過程からみると時期的に養殖魚は変態後期⁹⁾に該当すると思われ、このように生活環境の影響ばかりでなく変態の進行度の差異が脂質の代謝にも影響していることが推察される。

脂質成分中炭化水素およびステリンについては GLC による分析で成分の確認をおこなった。Fig. 2 に天然魚河川残留型についてのクロマトグラムを示した。この結果は他の試料魚についても同様であって、炭化水素はスクワレンが主要成分であり、ステリンエステル、遊離ステリン中のステリンはコレステリンが主要成分であった。

脂肪酸組成の相異 天然魚および養殖魚筋肉脂質成分中の脂肪酸組成を Table 3, 4 に示した。各成分中

Table 4. Fatty acid composition of each fraction in the lipids of cultivated *Masu* salmon parr (%)

Fatty acid	Residual type				Seaward migration type			
	TG*1	DG*1	FFA*1	PL*1	TG	DG	FFA	PL
Saturated acid								
12:0	tr*2	tr	tr	—	tr	tr	tr	—
14:0	2.6	3.1	2.6	1.6	2.1	3.1	2.7	1.6
15:0	0.2	0.4	0.2	0.3	0.3	0.7	0.4	0.6
16:0	21.5	18.5	25.2	39.8	14.6	31.7	34.0	44.6
17:0	0.2	0.4	tr	0.6	0.4	0.6	0.4	1.3
18:0	4.4	3.8	3.1	5.7	3.9	5.9	1.8	5.8
Total	28.9	26.2	31.1	48.0	21.3	42.0	39.3	53.9
Monoenoic acid								
14:1	0.1	0.2	0.2	tr	0.2	0.4	tr	—
15:1	tr	0.3	tr	0.5	tr	0.6	tr	1.2
16:1	10.0	11.9	7.6	4.6	7.5	7.2	5.2	3.3
17:1	0.3	0.6	tr	0.3	0.4	0.7	0.3	—
18:1	35.8	35.1	26.8	19.6	33.3	23.1	12.9	14.7
19:1	—	—	—	—	—	—	—	—
20:1	2.9	3.0	1.8	tr	5.3	2.6	tr	—
22:1	0.9	0.7	tr	tr	1.9	tr	—	—
Total	50.0	51.8	36.4	25.0	48.6	34.6	18.4	19.2
Polyenoic acid								
18:2	16.4	15.3	17.8	8.0	24.1	13.3	19.8	5.9
18:3	1.0	1.2	0.7	—	1.9	1.3	2.0	—
18:4	tr	—	—	—	tr	—	—	—
20:2	0.5	0.5	tr	tr	0.6	tr	tr	0.3
20:3	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	—
20:4 ω 6	tr	0.5	1.0	1.3	0.5	0.8	1.9	2.2
20:4 ω 3	tr	0.3	tr	tr	tr	tr	—	—
20:5	0.7	0.9	2.7	2.8	0.7	2.3	4.3	4.2
22:4 ω 6?	—	—	—	—	—	—	—	—
22:5 ω 6	—	—	—	—	—	—	—	—
22:5 ω 3	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr
22:6	2.4	3.3	10.2	14.9	2.2	5.7	14.2	14.3
Total	21.0	22.0	32.4	27.0	30.0	23.4	42.2	26.9

*1 TG—Triglycerides, DG—Diglycerides, FFA—Free fatty acids, PL—Phospholipids

*2 Trace

の脂肪酸組成をみると天然魚、養殖魚いずれの場合も河川残留型、降海型に関係なくトリグリセリドとジグリセリドの脂肪酸組成は類似し、また遊離脂肪酸とリン脂質の脂肪酸組成が類似している。飽和酸は一般に遊離脂肪酸、リン脂質に多く、モノエン酸はトリグリセリド、ジグリセリドに多い傾向が認められた。ポリエン酸のうち 18:2, 18:3 はトリグリセリド、ジグリセリドで含量が多く、その他のポリエン酸は遊離脂肪酸、リン脂質の方で含量が多かった。

養殖魚において遊離脂肪酸中の 20:5, 22:6 の含量が多く、リン脂質中の含量と比較的類似していることから遊離脂肪酸はリン脂質の加水分解による産物とも考えられるが、天然魚の場合には遊離脂肪酸中の 22:6 量はリン脂質におけるよりもすくない。また他の脂肪酸、たとえば養殖魚の場合 18:2 の含量は遊離脂肪酸とリン脂質とに差異が認められることから、かならずしも遊離脂肪酸はリン脂質の加水分解産物のみでなくグリセリド由来の脂肪酸代謝過程における中間物質としての脂肪酸も存在していることが考えられる。

なお天然魚におけるステリンエステル中の脂肪酸組成はグリセリド中の脂肪酸組成とことなりポリエン酸中で 18:2, 18:3 の含量がすくなく、逆に 20:5, 22:6 が多い傾向を示し、遊離脂肪酸やリン脂質中の組成と比較的類似していた。

Fig. 3. Differences in the contents of major fatty acids in neutral lipids of residual type and seaward migration type of *Masu salmon parr* (mg/100 g of flesh).

C—Cultivated fish, W—Wild fish, □—Residual type, ■—Seaward migration type

河川残留型と降海型とにおける脂肪酸組成の差異をみると、トリグリセリドについては天然魚の場合降海型の方が 16:1, 18:1 の両者とも含量がすくなく、20:5, 22:6 などのポリエン酸量はやや多かった。また養殖魚においては 16:0 が河川残留型 21.5% に対し降海型は 14.6% と降海型ですくない値を示し、さらに 16:1, 18:1 など天然魚におけるのと同様すくなかった。天然魚および養殖魚に共通して降海型では総モノエン酸含量がすくなく、逆に総ポリエン酸含量が多かった。この傾向はジグリセリドにおいても同様であった。遊離脂肪酸の組成は天然魚においてモノエン酸含量は降海型で多いが、養殖魚の場合にはさきのトリグリセリド、ジグリセリドと同様降海型の方がすくなく、ポリエン酸含量は天然魚、養殖魚とも降海型で多かった。またリン脂質中においても天然魚および養殖魚に共通してモノエン酸含量が降海型ですくなかった。

このように各脂質成分において河川残留型と降海型の脂肪酸組成に差異のあることがわかったが、さらに両者の相異を検討するために中性脂質中の主要脂肪酸量を筋肉 100 g 中の mg 数としてあらかし河川残留型と降海型を比較した結果を Fig. 3 に示した。いずれの脂肪酸も降海型においてすくない値を示したが、養殖魚の方が天然魚におけるよりも減少の度合いが大きかった。その中でも天然魚および養殖魚に共通して特に減少の度合いの大きい脂肪酸は 16:1, 18:1 であり、降海型における 16:1 量は天然魚では河川残留型が 517 mg に対し 177 mg と 34% まで、養殖魚では河川残留型 215 mg に対し 28 mg と 13% まで減少しており、ま

た 18:1 量は天然魚で河川残留型 908 mg に対し 322 mg と 35% まで、養殖魚では河川残留型が 767 mg に対し 113 mg と 15% まで低下している。さきに降海型において脂質含量が河川残留型よりすくなく、また脂質成分中でトリグリセリド量もすくなく値を示すことは降海型サクラマス幼魚が降海のためのエネルギー源としてトリグリセリドを消費した結果と考察したが、その中で利用される脂肪酸としてはこのような結果からみると 16:1, 18:1 などのモノエン酸が主体であると考えられる。

なお天然魚と養殖魚とでは降海型の脂肪酸の減少の傾向に相異があり、養殖魚の方が飽和酸やモノエン酸に加えてポリエン酸においても減少の度合いが大きい。このような結果についてはすでにのべたごとく変態の進行における差異が関連すると思われる、養殖魚のように変態の後期では飽和酸やモノエン酸のほかにもポリエン酸などもエネルギー源としての利用度が高まるものと推定される。

要 約

天然および養殖サクラマス幼魚を試料として、降海時期における河川残留型と降海型の筋肉脂質の脂質組成と脂肪酸組成の相異を調べた結果を得た。

- 1) 筋肉部の脂質含量は降海型の方がすくなく、河川残留型の 1/2 以下であった。
- 2) 降海型と河川残留型とにおける脂質組成を比較すると、降海型の方が河川残留型よりトリグリセリド量がすくなく、逆にリン脂質、遊離ステリン量が多かった。しかしリン脂質量を筋肉 100 g 中の mg 数としてあらし比較すると、降海型と河川残留型との間に大きな差異はなかった。
- 3) 主要脂肪酸量を筋肉 100 g 中の mg 数としてあらし両型を比較すると、降海型ではいずれの脂肪酸もすくなく値を示すが、その中でも 16:1, 18:1 などの脂肪酸の減少の度合いが大きかった。

このような結果から、降海時期においては降海型サクラマス幼魚筋肉中の脂質（主にトリグリセリド）がエネルギー源として消費される割合も高まるものと考えられ、脂肪酸中主に 16:1, 18:1 などのモノエン酸が利用されていると考察出来る。さらに変態の後期においては飽和酸やモノエン酸のほかにもポリエン酸なども消費されることが推定された。

本研究をおこなうにあたり北海道大学水産学部 久保達郎助教授、東北区水産研究所 小坂 淳氏に試料入手についての御援助と多大な御助言をいただいた。深く感謝の意を表する。

文 献

- 1) 太田 亨・山田 実：北大水産彙報，22, 151-158 (1971).
- 2) 太田 亨・山田 実：本誌，40, 699-706 (1974).
- 3) E. G. BLIGH and W. J. DYER: *Can. J. Biochem. Physiol.*, 37, 911-917 (1959).
- 4) J. N. ROEHM, D. J. LEE, J. H. WALES, S. D. POLITYKA and R. O. SINNHUBER: *Lipids*, 5, 80-84 (1970).
- 5) 今井 陽：生物化学実験法 VIII, 共立出版，東京，1967, pp. 157-182.
- 6) 野村 正：化学の領域，16, 345-352 (1962).
- 7) F. TAKASHIMA, T. HIBIYA, PHAN-VAN NGAN and K. AIDA: 本誌，38, 43-49 (1972).
- 8) 岡庭 弘・内藤周幸：脂質 2, 第 1 版，共立出版，東京 1972, pp. 382-397.
- 9) 久保達郎：北海道さけ・ますふ化場研報，19, 25-32 (1965).