

相模川におけるアユ仔魚の降下生態

養宮 敦・戸井田 伸一

Downstream migration of the larvae of
Ayu, *Plecoglossus altivelis* in the Sagami River

Atsushi MINOMIYA* , Shin-ichi TOIDA*

Abstract

From 1998 to 2000 we performed ecological observation on ayu, *Plecoglossus altivelis*, larvae in Sagami River, Kanagawa Prefecture, especially on their down-stream migration. We have confirmed 13 spawning ground of the fish. To estimate the seasonal as well as diurnal peak of the migration, the larvae were netted 6.5km up-stream from the rivermouth: The seasonal peak of the migration occurred in early November. The ALC-labelled ayu were released from the two different spawning ground to trace their migration mode. The peak of the diurnal migration of the labelled larvae, which were released from the upper-stream, corresponded with that of our preliminary estimation, suggesting the primary spawning ground. When released from the spawning ground at the upper-stream, however, a larger number of the larvae was lost as compared with release from the lower-stream. Survival rate of the population from the lower-stream spawning ground is higher than that of the upper-stream. Control of the spawning ground at the lower-reaches is indispensable for maintenance of the natural resources of ayu.

緒 言

アユ *Plecoglossus altivelis altivelis* は、サケ目アユ科に属する両側回遊魚である。秋に河川下流部で産みつけられた卵は、孵化後海に降下する。冬の約6カ月間を海で過ごしたアユは春に河川に遡上する(塚本¹⁾)。

相模川は神奈川県中央部に位置する、全長115km、流域面積1,794km²、県内流程55.6km、流域面積675km²の県下最大の河川である(神奈川県百科事典刊行会²⁾)。本県における河川漁獲量の約71.6%を占める県下最大の内水面漁場となっている(関東農政局神奈川統計情報事務³⁾)。

本県河川における総漁獲量のうちで、アユの占める割合は約46.8%(関東農政局神奈川統計情報事務³⁾)と最も高く、アユ資源の維持培養を図ることは重要な課題である。アユの増殖対策として、相模川では相模川漁業協同組合連合会等により、年間約300万尾が放流されている(相模川漁業協同組合連合会⁴⁾)。しかしながら、相

模湾で採捕される稚アユの量や河川への遡上量は年変動が激しく、安定した資源確保を困難にしている。

これまで相模湾における稚アユおよび相模川におけるアユ仔魚の降下状況について多くの調査が行われ(小川ほか⁵⁾、村山・成岡⁶⁾、松浦・小川⁷⁾、松浦・柴田⁸⁾、石崎ほか^{9,10,11)}、相澤ほか¹²⁾)、少しずつ資源変動要因が解明されてきた。

海産アユ資源の変動要因を解明するためには、まず海産アユの降下・降海生態を明らかにすることが必要である。そこで本研究では補給源の一つである相模川においてアユ仔魚の降下生態を明らかにするため、アユの主要な産卵水域、アユ仔魚の降下尾数、標識放流による降下時間および減耗量等について調査を実施した。

Table 1 Spawning ground of ayu in Sagami River from 1998 to 2000.

●:Eggs confirmed
○:Eggs not confirmed
-:Not observed

表 1 相模川における産着卵確認地点 (1998-2000)。

●:産着卵あり
○:産着卵なし
-:調査なし

Site of survey	Year		
	1998	1999	2000
St. 1	●	●	●
St. 2	●	○	○
St. 3	●	●	●
St. 4	●	○	○
St. 5	-	●	●
St. 6	-	●	●
St. 7	○	●	●
St. 8	-	●	○
St. 9	●	●	●
St. 10	●	●	●
St. 11	●	●	●
St. 12	-	●	●
St. 13	●	●	●

1998~2000年に観察した仔魚降下推定量の割合の日周変化をFig. 3に、仔魚採集個体数および平均降下密度(尾/m³)をTable 2に示した。1998年11月4~5日の調査では、21:00から降下量が増えはじめ23:00にピークに達した後減少し、2:00に再び増え、朝方にかけて次第に減少した。同年11月17~18日は、19:00から増え始め0:00にピークに達した後、朝方にかけて減少した。1999年12月9~10日には0:00から増え始め、2:00にピークに達した後、朝方にかけて次第に減少した。2000年11月9~10日には21:00から増え始め23:00までほぼ等しく推移し、再び0:00に急激に増え1:00にピークに達した後、朝方にかけて次第に減少した。これらはいずれも夜間にピークを示す一峰型であった。1999年および2000年における調査日別降下推定量の割合の日周変化をFig. 4に示した。両年ともに仔魚の採集個体数は、12月中旬以降著しく減少した。11月および12月中旬まで、概ね夜間に1つのピークを持つ一峰型を示していた降下量は、12月下旬にはピークが不明瞭になった。

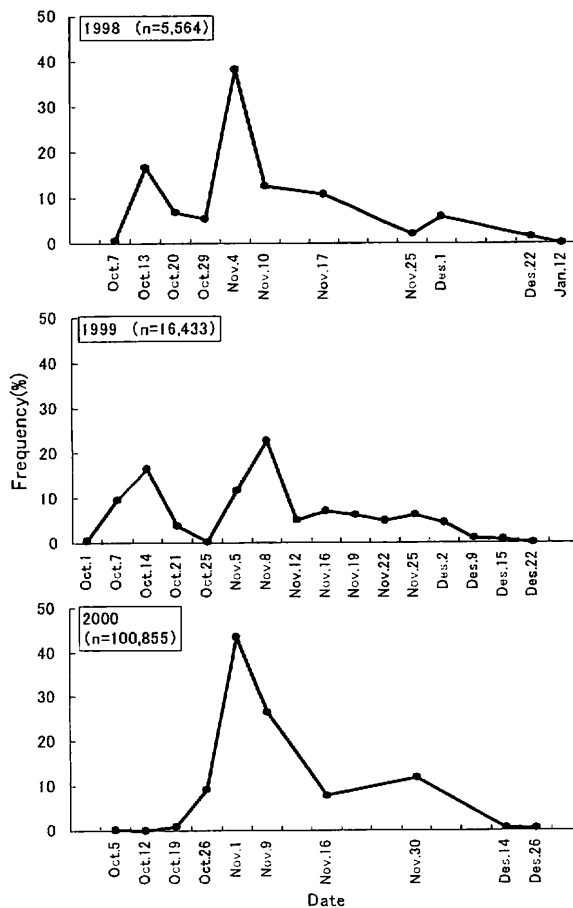


Fig. 2 Seasonal changes of the number of downstream-migrating ayu larvae in the Sagami River.

図 2 相模川のSt.14におけるアユ仔魚降下推定量の月別変化 (1998-2000)

Table 2 Number of downstream-migrating ayu larvae. The fish were collected at intervals of one hour at the St.14 in the Sagami River.

*:Density of ayu larvae per m³ of water.

表 2 相模川のSt.14における24時間調査によるアユ仔魚採集尾数(1998-2000)

*:平均降下密度(尾/m³)。

Hour	Nov.4-5,1998		Nov.17-18,1998		Dec.9-10,1999		Nov.9-10,2000	
	Number of larvae	Density larvae	Number of larvae	Density larvae	Number of larvae	Density larvae	Number of larvae	Density larvae
11:00	13	0.03	1	0.00	2	0.02	169	0.31
12:00	9	0.03	3	0.01	6	0.06	100	0.19
13:00	6	0.02	3	0.01	4	0.04	65	0.12
14:00	6	0.02	2	0.01	1	0.02	47	0.09
15:00	4	0.01	1	0.00	5	0.04	12	0.04
16:00	4	0.02	11	0.04	0	0.00	25	0.08
17:00	6	0.02	15	0.05	10	0.05	170	0.23
18:00	7	0.03	16	0.06	13	0.05	293	0.34
19:00	17	0.06	25	0.10	16	0.08	280	0.43
20:00	23	0.09	54	0.19	10	0.04	518	0.84
21:00	152	0.47	72	0.22	13	0.04	448	2.92
22:00	703	1.80	123	0.32	8	0.03	2187	3.17
23:00	717	1.73	51	0.18	6	0.02	1803	3.00
0:00	478	1.61	210	0.72	16	0.06	3829	6.17
1:00	320	0.22	159	0.53	32	0.26	5742	8.34
2:00	337	1.13	125	0.46	75	0.64	3783	6.39
3:00	215	0.75	88	0.26	70	0.62	4031	7.41
4:00	149	0.48	60	0.24	25	0.30	3389	5.92
5:00	51	0.22	46	0.15	21	0.30	2580	4.64
6:00	44	0.15	5	0.02	2	0.03	1711	2.83
7:00	16	0.07	1	0.01	1	0.01	964	1.74
8:00	18	0.09	13	0.05	1	0.01	574	1.13
9:00	18	0.10	2	0.03	6	0.08	399	0.74
10:00	12	0.05	15	0.12	8	0.09	239	0.44
Total	3325		1101		351		33358	

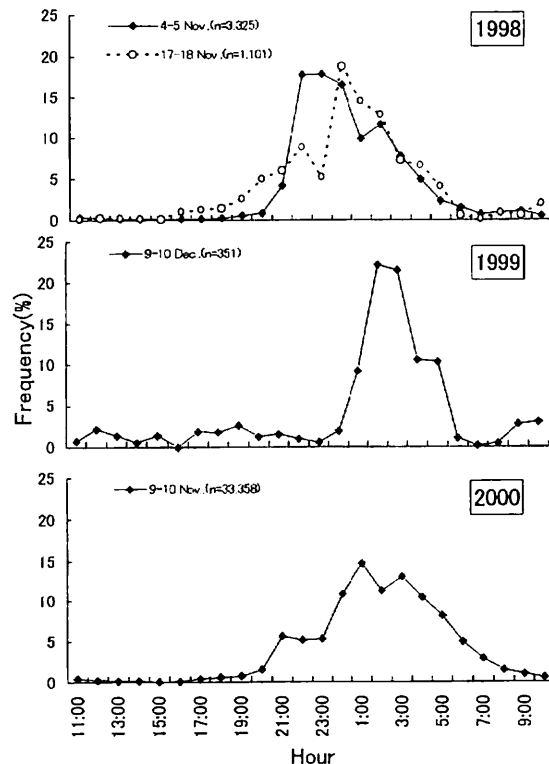


Fig. 3 Diurnal change of the number of downstream-migrating ayu larvae in the Sagami River.

図 3 相模川のSt.14におけるアユ仔魚降下推定量の日周変化(1998-2000)

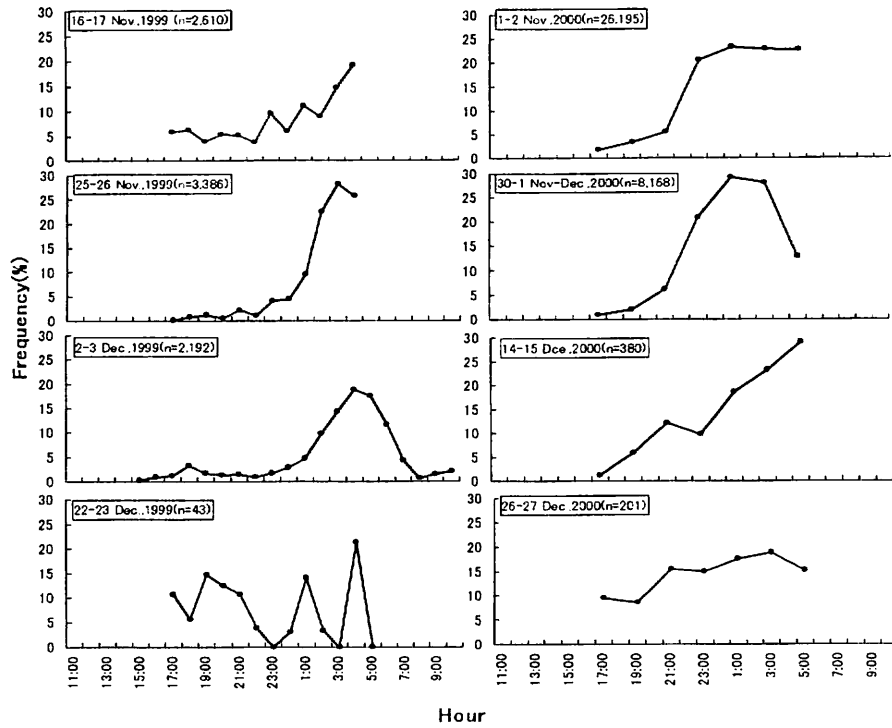


Fig. 4 Seasonal and diurnal changes of the number of downstream-migrating ayu larvae in the Sagami River.

図 4 相模川のSt.14におけるアユ仔魚降下推定量の調査日別の日周変化 (1999-2000)

降下仔アユの体長および卵黄の有無

1998年11月17~18日に採集した仔魚の体長組成をFig. 5に、卵黄吸収個体の出現頻度をFig. 6にそれぞれ示した。仔魚の体長範囲は4.6~7.6mmで、6.6mmにモードがあった。殆どの降下仔魚で卵黄が確認され、卵黄吸収個体は約2.6%であった。調査時刻別に見ると、6:00が20.7%と最も高く、ついで17:00および8:00の7.3%、4:00の6.7%であった。

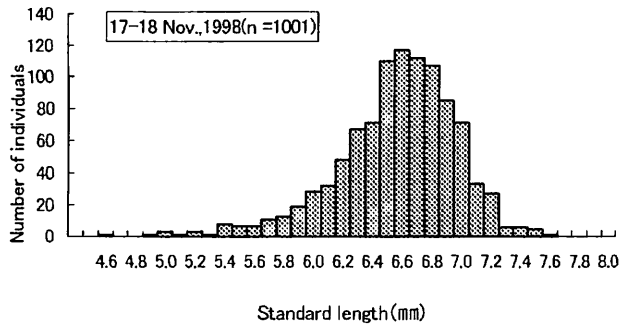


Fig.5 Composition of standard length of downstream-migrating ayu larvae in the Sagami River in 1998.

図 5 相模川のSt.14で採集した降下アユ仔魚の体長組成

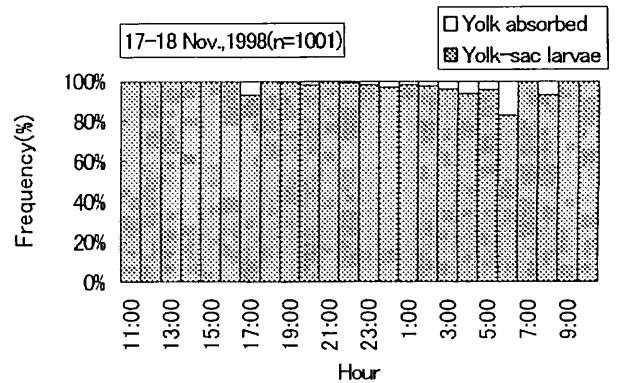


Fig.6 Diurnal changes of the number of larvae of ayu with or without yolk-sac in the Sagami River in 1998.

図 6 相模川のSt.14で採集したアユ仔魚にみられる採集時刻別の卵黄の有無 (1998)

標識放流調査

ALC標識放流に使用した2群の仔魚を100個体ずつ蛍光顕微鏡により観察した。全個体に蛍光が確認され、この方法の確実性が認められた。

ALC標識による放流試験の結果をTable 3に、St.14における調査時刻別再捕尾数および降下密度(尾/m²)をTable 4に、St.14における仔魚の降下推定量およびALC標識仔魚の降下推定量の調査時刻別推移をFig. 7にそれぞれ示した。2000年11月9日の19:30から20:30にSt. 6から放流した標識仔魚は、約8.5km下流のSt.14において6時間後の1:00から再捕され、2:00に再捕量のピークを示した。11月16日の17:00から17:30にSt.11から放流した標識仔魚は、約3.5km下流のSt.14において、4時間後の21:00から再捕され22:00に再捕量のピークを示した。St. 6放流群のピークの時刻は、同日の仔魚降下推定量のピーク時刻と概ね一致した。St.11放流群のピークは、同日の仔魚降下推定量のピークより早い時刻に出現した(Table 4、Fig. 7)。また、St. 6から放流した標識仔魚のSt.14における降下推定量は約4.9万尾で推定降下率は約5.8%、St.11から放流した標識仔魚のSt.14における降下推定量は約3万尾で、推定降下率は約13.5%であった(Table 3)。

Table 3 Survey of ayu larvae labelled ALC.
表 3 相模川におけるALC標識アユ仔魚調査の概要(2000)

Date	9-10 Nov.2000	16-17 Nov.2000
Release		
Station	St.6	St.11
Distance from recapture point(km)	8.5	3.5
Time	19:30-20:30	17:00-17:30
Number of ALC larvae (n) (a)	846,667	223,333
Recapture		
Number of ALC larvae (n) (b)	247	210
Estimated number of ALC larvae (n) (c)	48,942	30,098
Rate of ALC larvae (%) (b/a × 100)	0.03	0.09
Rate of estimated number of recaptured (%) (c/a × 100)	5.78	13.48

Table 4 Number of ayu larvae labeled ALC recaptured at the St.14 in the Sagami River. Number of larvae per m² in parentheses.

表 4 相模川のSt.14におけるALC標識アユ仔魚の時刻別再捕尾数(2000)。括弧内は降下密度(尾/m²)。

Hour	2000.Nov.9-10 Number of larvae			2000.Nov.16-17 Number of larvae		
	Left	Center	Right	Left	Center	Right
17:00				0	0	0
18:00				0	0	0
19:00				0	0	0
20:00	0	0	0	0	0	0
21:00	0			0	1 (0.01)	5 (0.03)
22:00	0	0	0	4 (0.07)	31 (0.25)	109 (0.60)
23:00	0	0	0	3 (0.04)	7 (0.06)	35 (0.21)
0:00	0	0	0	1 (0.01)	2 (0.02)	8 (0.05)
1:00	0	7 (0.04)	26 (0.10)	1 (0.01)	0	2 (0.01)
2:00	10 (0.09)	35 (0.27)	69 (0.29)	0	0	0
3:00	0	22 (0.15)	58 (0.27)	0	0	1 (0.01)
4:00	0	3 (0.02)	8 (0.04)	0	0	0
5:00	0	1 (0.01)	0	0	0	0
6:00	0	1 (0.01)	3 (0.01)			
7:00	0	1 (0.01)	2 (0.01)			
8:00	0	0	0			
9:00	0	0	1 (0.00)			
10:00	0	0	0			
11:00	0	0	0			
12:00	0	0	0			
13:00	0	0	0			
14:00	0	0	0			
15:00	0	0	0			
16:00	0	0	0			
17:00	0	0	0			
Total	10	70	167	9	41	160

(Left; left shorefront, Center; center-current, Right; right shorefront)

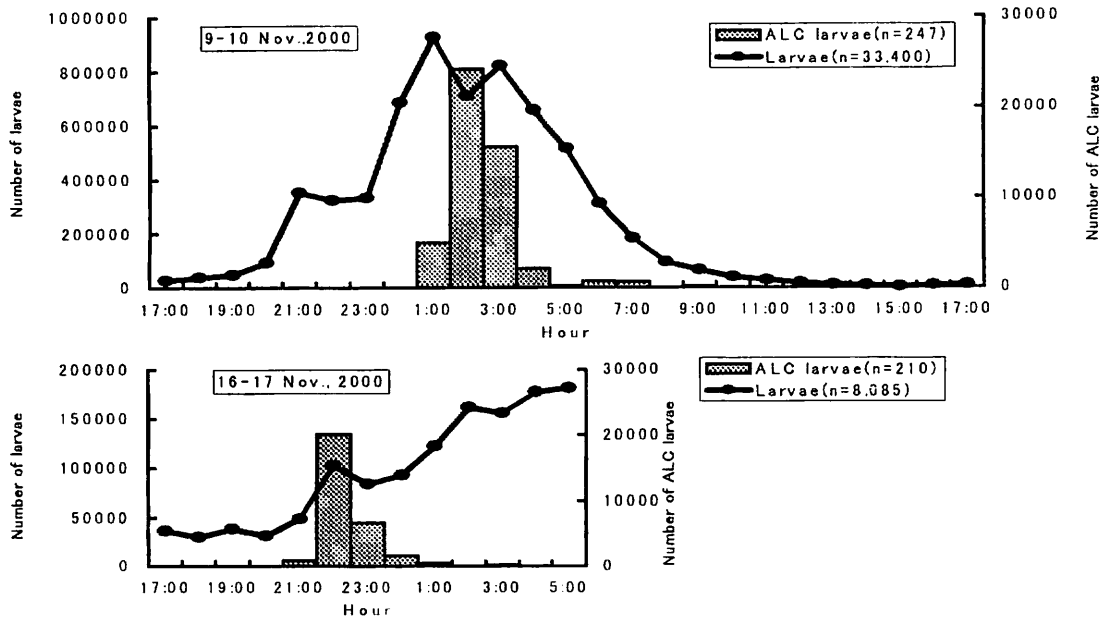


Fig. 7 Diurnal changes of the estimated number of migrating and the recaptured ALC-labelled larvae collected at St.14 in the Sagami River in 2000. The upper graph= The ALC-labelled larvae is stocked at St.6 during 19:30 to 20:30 in 9 Nov.,2000. The lower graph= The ALC-labelled larvae is stocked at St.11 during 17:00 to 17:30 in 16 Nov.,2000.

図 7 相模川のSt.14におけるアユ仔魚降下推定量とALC標識アユ仔魚降下推定量の日周変化(2000) 上のグラフ=2000年11月9日の19:30-20:30にSt.6でALC標識アユ仔魚を放流した。 下のグラフ=2000年11月16日の17:00-17:30にSt.11でALC標識アユ仔魚を放流した。

降下のピーク時刻と河川流量の関係

St.14における降下量の日周変動と河川流量との関係を把握するため17:00からピーク時刻までの経過時間(標識放流調査は、放流開始時刻からピーク時刻までの経過時間)と調査時間内の平均河川流量(m³/sec)との関係を求めた(Fig. 8)。ただし、解析に用いたデータは1998年および1999年の24時間調査と12時間以上行った調査で、降下推定量の日周変動が一峰型を示した1999年12月2~3日と2000年11月30日~12月1日および2000年11月9~10日の標識放流調査のデータを用いた。St.14における17:00から降下量ピーク時刻までの経過時間(h)と平均河川水量(f)の関係は

$$f = -7.8479h + 91.559$$

となり、両者の間に負の相関(r=0.886)が認められた。

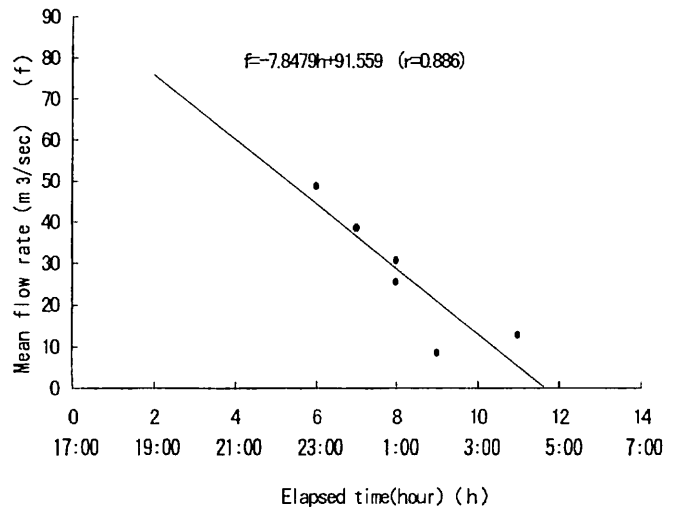


Fig. 8 Relationship between mean flow rate and elapsed time during from 17:00 to the peak time of estimated number of downstream-migrating ayu larvae collected at the St. 14 in the Sagami River.

図 8 相模川のSt.14における17:00から仔魚降下量ピークまでの経過時間と河川平均流量との関係(1998-2000)。

考 察

1999年と2000年のアユ産卵は、概ね同じ水域で確認された。しかしながら、1998年の産卵はSt. 2、St. 4およびSt. 7において他の年とは異なっていた。一般にアユの主要な産卵水域は、同一河川内ではほぼ毎年一定の場所に形成されるとされる(石田¹⁰⁾)。アユの産卵と水深、流速および河床の状態には密接な関係がある(白石・鈴木⁵⁾、石田^{16,17)})。1998年の増水による河川環境の変化がこれらの産卵水域に影響を与えたものと考えられる。

仔魚降下推定量の割合の変化は1998～2000年の11月上旬に最大のピークがあり、また、1998～1999年の10月中旬に小さなピークがあることから、相模川におけるアユ仔魚の降下は10月中旬～11月上旬が盛期であると考えられた。仔魚降下推定量のピーク日であった1998年11月4日、1999年11月5日および2000年11月1日の調査時間中の平均水温は、それぞれ16.2℃、16.0℃および16.4℃であり、アユ卵の孵化時間と水温の関係式(Masaaki, K, et al.¹⁸⁾)から産卵日は、1998年は10月20日、1999年は10月21日および2000年は10月18日とそれぞれ算出され、相模川のアユの産卵盛期は10月中～下旬と考えられる。1985～1987年の相模川では11月下旬～12月中旬が仔魚降下推定量のピークであり(石崎ほか^{19,20)})、これがアユ仔魚降下の盛期と考えられることから、約10年の間に相模川ではアユ仔魚降下の盛期が1ヶ月近く早くなっていることになる。

1998年の24時間調査日および、1999年～2000年の11月上旬から12月中旬までの仔魚降下推定量の日周変動は、概ね一峰型を示した。アユ仔魚の遊泳速度は3 cm/sec程度であることから(小山¹⁹⁾)、河川内では概ね川の流れに乗って降下すると推察される。ピーク時刻と河川流量に負の相関が認められたことから、この時期の降下ピークに含まれる仔魚は同一の産卵水域からの降下によるものと考えられる。また2000年11月9～10日の標識放流調査による降下推定量のピーク時刻は、仔魚降下推定量のピーク時刻と概ね一致した。相模川で得られた卵による実験では、アユの孵化時刻は17:00～20:00に集中するとされている(木村²⁰⁾)。このことから、標識魚を放流した時刻(19:30～20:30)には産卵水域において多くの孵化が起こっていたと推察され、標識仔魚は概ねSt. 6での孵化のピーク時刻に放流されたと考えられる。これらのことから、11月上旬から12月中旬に降下量のピークを示した仔魚群は、St. 6付近で産卵され孵化した個体群である。なお、産卵後期になると産卵水域が下流に移ることが知られている(白石・鈴木⁵⁾)。12月下旬に仔魚降下推定量の割合のピークが不明瞭になるのは、産卵後期になり上流にあるSt. 6付近からの降下量の相対的な割合が低下し、下流域で孵化した個体群が加わったことによるものと考えられる。

1998年11月17～18日の調査では、殆どの降下仔魚に卵黄がみられたが、すでに卵黄の吸収の完了している個体も僅かながら認められた。アユは孵化後約3～9日で卵

黄を吸収することから(兵藤・関²¹⁾)、少数ではあるが相模川では3日以上をかけて降下している個体が存在する。塚本²²⁾は長良川の調査で降下中の仔魚が摂餌し、成長する可能性を示唆している。しかしながら、一般的に河川中にはアユ仔魚の初期餌料となるプランクトンは殆どみられないので、アユは卵黄を消費しながら海まで降下する(小山¹⁹⁾)。アユ仔魚は絶食日数が6日以上になると摂餌しても50%以上の個体がへい死する(兵藤・関²¹⁾)。今後はSt. 4から河口までの約6.5km間に卵黄吸収個体がどの程度増加するか把握することが必要と考えられる。卵黄の吸収速度は、水温が高いほど速いことが知られていることから(森ほか²³⁾)、調査日毎の卵黄吸収個体の出現頻度等を把握することも必要である。また、相模川において仔魚の河川降下中の摂餌および成長についても究明する必要がある。

St. 6とSt.11から放流した標識仔魚の再捕率が異なることから、産卵水域の位置により仔魚の生存率が異なる可能性がある。琵琶湖に注ぐ芹川では、1,600mを降下するアユの死亡率は64.2%と推定されており、この要因の一つに、仔魚降下時の減耗の差異が上げられる(水谷ほか²⁴⁾)。和歌山県長野川の調査では、1kmを降下する間の減耗率は99.9%と推定され、この要因はカワムツ、*Zacco temminckii*の稚魚による食害であったとの報告がある(山崎ほか²⁵⁾)。いずれも他魚種の食害による減耗が考えられるものの、他の魚類等によるアユ仔魚の食害については、オイカワ、*Zacco platypus*、ハス、*Opsariichthys uncirostris uncirostris*、ウグイ、*Triboiodon hakonensis*、ヒガイ、*Sarcocheilichthys variegatus*、ヨシノボリ類、*Rhinogobius sp.* 等で調べられ、いずれの魚種も夜間の摂餌活動は不活発とされる(水谷^{24,25,26)})。この他の減耗要因として、取水施設による夜間取水が考えられる。小山¹⁹⁾は、長良川、江の川および信濃川にある取水施設の取水口の流速はいずれもアユ仔魚の泳力限界を超えていたと報告している。St. 6～St.14間には、相模取水施設と寒川取水施設があり、夜間取水を行っていることから、取水による減耗も考えられる。

減耗以外の要因としては、個体ごとの降下時間の差異が考えられる。St.14に最も早く到達した個体と最も遅い個体とでは、St. 6からの放流では8時間、St.11では6時間の差があった。前述のように降下に3日以上を費やす個体もある。これらは24時間の調査では再捕できない。また、降下仔魚は流心部で多く採集される傾向があり(塚本²²⁾、田子²⁰⁾)、St.14においても流心部に近い右岸側の採集尾数および降下密度(尾/m²)が高くなる傾向があった。2000年11月9～10日は11月16～17日に比べ河川流量が多く、流心部付近の調査が困難であったことが再捕率の低下につながった可能性もある。今後調査を継続し、確認していく必要がある。

今回の標識放流調査の再捕率を比較するとSt.11からの放流群はSt. 6の約3倍であったことから、減耗を抑えるという点について、下流の産卵場の有効性が示唆された。現在、相模川漁業協同組合連合会では増殖事業の

・環として、上流の産卵水域に産卵のために集まるアユを採捕し、St.12への移収を行っている。下流の産卵水域の産卵量を増加させることは有効な増殖手段と考えられる。しかし、親魚採捕・移収作業は深夜におよび、多大な労力と危険を伴うことから、より効果的かつ省力的に下流の産卵水域の産卵量を増大させるための手法を開発する必要がある。

今回の結果は、主要な産卵水域と河口から約6.5km上流地点間の結果であり、河口までの到達時間および減耗等は分かっていない。アユ仔魚の河口域への到達時間に関する研究は、富山県庄川での報告(田子³⁰⁾)がある以外は殆どみられない。海産アユを一定量確保するためには、河口までの到達時間および減耗の状況を把握するなど生態学的な検討が不可欠である。一方、熊野川および四万十川では降海せず河口の汽水域で生活するアユ仔魚が確認されている(塚本ほか³¹⁾, 高橋ほか³²⁾) いずれにしても、汽水域を含む相模川全般にわたる同時進行的な調査が必要であろう。

謝 辞

今回の調査は「相模川水系魚類生息状況調査(神奈川県内広域水道企業団委託)」の一環として実施された。

本論文の作成にあたって、神奈川県理学部 小笠原強教授にはご校閲を頂いた。西洲地区行政センター 高橋昭夫水産課長および環境農政部水産課 安藤隆技幹、神奈川県水産総合研究所内水面試験場 佐藤茂場長および花本栄二前場長をはじめ職員の皆様には調査にご協力いただいた。特に、内水面試験場の渡邊芳明主任研究員、故江成節子非常勤職員には標識放流用のアユの採卵および卵管理にご協力いただいた。また、神奈川県企業庁利水局城山事務所には相模川の流量に関する資料についてご提供をいただき、相模川漁業協同組合連合会の皆様には調査の実施にあたり、種々のご協力をいただいた。皆様に深く感謝申し上げます。

引用文献

- 塚本勝巳(1988): 現代の魚類学(上野輝彌, 沖山宗雄編), 朝倉書店, 東京, pp.100-133.
- 神奈川県百科事典刊行会(1983): 神奈川県百科事典, 大和書房, 東京, 927pp.
- 関東農政局神奈川統計情報事務所(2001): 平成11-12年神奈川県農林水産統計年報(水産編), 67pp.
- 相模川漁業協同組合連合会(2001): 創立50周年記念誌, 111pp.
- 小川良徳・松浦秀喜・山本武人(1967): 相模湾における海産稚アユに関する研究-I, 木曾三川河口資源調査報告第4号上, 175-189.
- 村山隆夫・成岡敏夫(1967): 1967年11月~1968年1月における相模川のアユ仔魚及び卵の降海状況調査, 神奈川県淡水魚増殖試験場報告, 6, 42-49.
- 松浦秀喜・小川良徳(1969): 相模湾における海産稚アユに関する研究-II-相模川における昭和42年の流下仔アユについて-, 水産増殖, 16(5), 279-284.
- 松浦秀喜・柴田勇夫(1972): 相模湾稚アユ資源総合調査報告書, 神水試資料No.192, 43pp.
- 石崎博美・小林良雄・作中宏・佐藤茂・小山忠幸(1986): 昭和60年度指定調査研究助成事業報告書-海産稚アユの資源生態に関する研究-, 35pp.
- 石崎博美・小林良雄・佐藤茂・小山忠幸(1987): 昭和61年度指定調査研究助成事業報告書-海産稚アユの資源生態に関する研究-, 32pp.
- 石崎博美・土屋久男・岡彬・佐藤茂・小山忠幸(1988): 昭和62年度指定調査研究助成事業報告書-海産稚アユの資源生態に関する研究-, 36pp.
- 相澤康・安藤隆・勝呂尚之・中田尚宏(1999): 相模川におけるアユ, *Plecoglossus altivelis* の遡上生態について, 水産増殖, 47(3), 355-361.
- Katsumi, T.(1988): Otolith Tagging of Ayu Embryo with Fluorescent Substances, Nippon Suisan Gakkaishi, 54(8), 1289-1295.
- 石田力三(1964): アユの産卵生態-IV-産卵水域と産卵場の地形-, 日本水産学会誌, 30(6), 478-485.
- 白石芳一・鈴木規夫(1962): アユの産卵生態に関する研究, 淡水研報, 12,83-107.
- 石田力三(1961): アユの産卵生態-II-産卵魚の体型と産卵床の砂礫の大きさ-, 日本水産学会誌, 27(12), 1052-1057.
- 石田力三(1962): アユの産卵生態-III-産卵場の水深と産卵魚の体型-, 日本水産学会誌, 28(4), 399-404.
- Masaaki, K., Toshio, I., Hiroki, Y and Yoshio, S.(1986): Effectsof Temperature and Salinity on Egg Hatch of the Ayu *Plecoglossus altivelis*, Bull. Fac. Fish., Mie Univ., 13,17-24.
- 小山長雄(1978): アユの生態, 中公新書, 東京, 176pp.
- 木村関男(1954): アユ卵の自然及び実験室内での孵化と光線との関係について, 水産増殖, 1(3/4), 36-39.
- 兵藤則行・関泰夫(1985): 海産稚仔アユに関する研究-II, 新潟県内水面水産試験場調査研究報告, 12, 15-22.
- 塚本勝巳(1991): 長良川・木曾川・利根川を流下する仔アユの日齢, 日本水産学会誌, 57(11), 2013-2022.
- 森直也・関泰夫・星野正邦・佐藤雍彦・鈴木惇悦・塚本勝巳(1989): 信濃川水系を流下する仔アユの日令とさいのう体積, 新潟県内水面水産試験場調査研究報告, 15, 1-7.
- 水谷英志・大野喜弘・田沢茂(1979): 各種魚類による流下アユ仔魚の食害-III-芹川河口域における流下アユ仔魚の減耗と棲息する魚類の胃内容物について-, 滋賀県水産試験場報告, 30, 33-38.
- 山崎幸夫・塚本勝巳・望月賢二・石田力三・沖山宗

- 男・梶原武(1986)：河川流下仔アユの減耗－耳石標識仔魚の放流実験－，1986年度日本水産学会春期大会講演要旨，p, 252.
- 26) 水谷英志(1975)：各種魚類による流下アユ仔魚の食害〔Ⅰ〕－実験人工河川の河口域に棲息する魚類の胃内容物について－，滋賀県水産試験場報告，27, 23-25.
- 27) 水谷英志(1976)：各種魚類による流下アユ仔魚の食害〔Ⅱ〕－実験人工河川河口域と姉川のアユ産卵場付近に棲息する魚類の胃内容物について－，滋賀県水産試験場報告，28, 21-28.
- 28) 塚本勝巳(1993)：流下仔魚調査法，「河川生態環境工学」(玉井信行，水野信彦，中村俊六編)，東京大学出版会，東京，pp. 266-267.
- 29) 田子泰彦(1999)：庄川におけるアユ降下仔魚量の推定，日本水産学会誌，65(4)，718-727.
- 30) 田子泰彦(1999)：庄川におけるアユ仔魚の河口域への到達時間の推定，水産増殖，47(2)，215-220.
- 31) 塚本勝巳・望月賢二・大竹二雄・山崎幸夫(1989)：川口水域におけるアユ仔稚魚の分布・回遊・成長，水産土木，50, 47-57.
- 32) 高橋勇夫・木下泉・東健作・藤田真二・田中克(1990)：四万十川河口内に出現するアユ仔魚，日本水産学会誌，56(6)，871-878.