

第5章 遡河生態

近年の耳石微量元素による回遊履歴推定から、成育場を淡水域に持つ川ウナギの他に、河口域や海域で成長する河口ウナギや海ウナギのいることがわかった（Tsukamoto 1998; Tsukamoto and Aral 2001）。浜名湖においても、ニホンウナギは高塩分である湖から淡水の河川まで生息していることが報告されている（横内 2010）。さらに、耳石の Sr:Ca 比を用いた回遊履歴によると、海域、河口域、淡水域の各生息域への定着は主に 0 歳時に起こるものと考えられる（横内 2010）。そのため、回遊多型の分化メカニズムを明らかにするためには、0 年魚の遡河による分布形成を調べる必要がある。そこで本章では、浜名湖の流入河川である今川と江川において、採集調査を実施し、0 年魚の遡河生態を調べた。まず、採集個体の中から 0 年魚を推定する方法を構築した上で、遡河による出現時期、河川内の分布変動、それらと環境要因との関係について検討した。次に、遡河によって形成される時空間的分布が体サイズ、色素発達段階、肥満度、摂餌状況とどのように関わっているかについて検討を行った。

第1節 湖口接岸個体

第1項 採集・標本処理

今川および江川における遡河時の個体と比較できるように、河川での採集調査と同時期、湖へ加入する個体群の採集を行った。2007年12月～2008年3月と2008年12月～2009年1月、浜名湖の湖口（新居, Fig. 5-1-1）において漁業用の定置網で採集されたシラスウナギから、毎月30～40個体のサンプリングを行った。第3章の2003年11月～2005年5月に採集し、冷凍保存した個体も使用した。

サンプリングした個体は、直ちに東大水産実験所へ持ち帰った。オイゲノール（30ppm）で麻酔をした後、全長、体重（湿重量）をそれぞれ0.1mm、1mg単位で測定し、色素発達段階を判別した。

0年魚の体のプロポーションは色素発達段階に伴って変わる（第2章, Fig. 2-4-4）。そのため、同じ全長と体重であったとしても、異なる色素発達段階の個体であれば、肥満度の評価を変える必要があるものと考えられる。例えば、同じ全長と体重であっても、その色素発達段階が最も痩せ型となる VI_{A3} である場合と、比較的肥満型である V_A である場合を同一の肥満度として取り扱うことはできないであろう。このことから、本章では、全長と体重から標準化相対肥満度（以下、肥満度とする）の算出を行い、それらの比較は同じ色素発達段階の中だけで行うこととした。

肥満度は、その個体が該当する色素発達段階の、対数変換した全長および体重の回帰直線から、その個体の残差を求め、これを残差の標準偏差で除して算出した（Fig. 5-1-2）。各色素発達段階における対数変換した全長および体重の回帰直線は第2章で算出した式（Fig. 2-4-4, Table 2-4-1）を用いた。

第2項 全長・体重・肥満度

2007年12月～2009年2月に湖口で採集された個体の全長と体重の範囲（平均±標準偏差）は53.8-64.7mm（ 58.9 ± 2.1 ）、0.093-0.198g（ 0.143 ± 0.02 ）であり、色素発達段階は V_A ～ VI_A であった（Fig. 5-1-3）

色素発達段階ごとの全長、体重、肥満度が採集月によって異なるかを調べたところ、 V_{B1} の肥満度が採集月間で有意に異なったが（ANOVA, $p < 0.05$ ）、 V_A の全長、体重、肥満度、 V_{B1} の全長、体重は採集月間で有意な違いはなかった（いずれも $p > 0.05$, Fig. 5-1-4 a）。 V_{B1} の肥満度は月の経過に伴い、わずかに減少する傾向にあった。また、2003年11月～2005年5月に採集された個体について調べたところ、 V_A の全長と肥満度が採集月間で有意に異なったが（ANOVA, $p < 0.05$ ）、それらを除いて、採集月間で有意な違いはなかった（いずれも $p > 0.05$, Fig. 5-1-4 b）。 V_A の全長は12月、1月に高く、その肥満度は11月に高い傾向が見られた。なお、2007年12月～2009年2月の肥満度

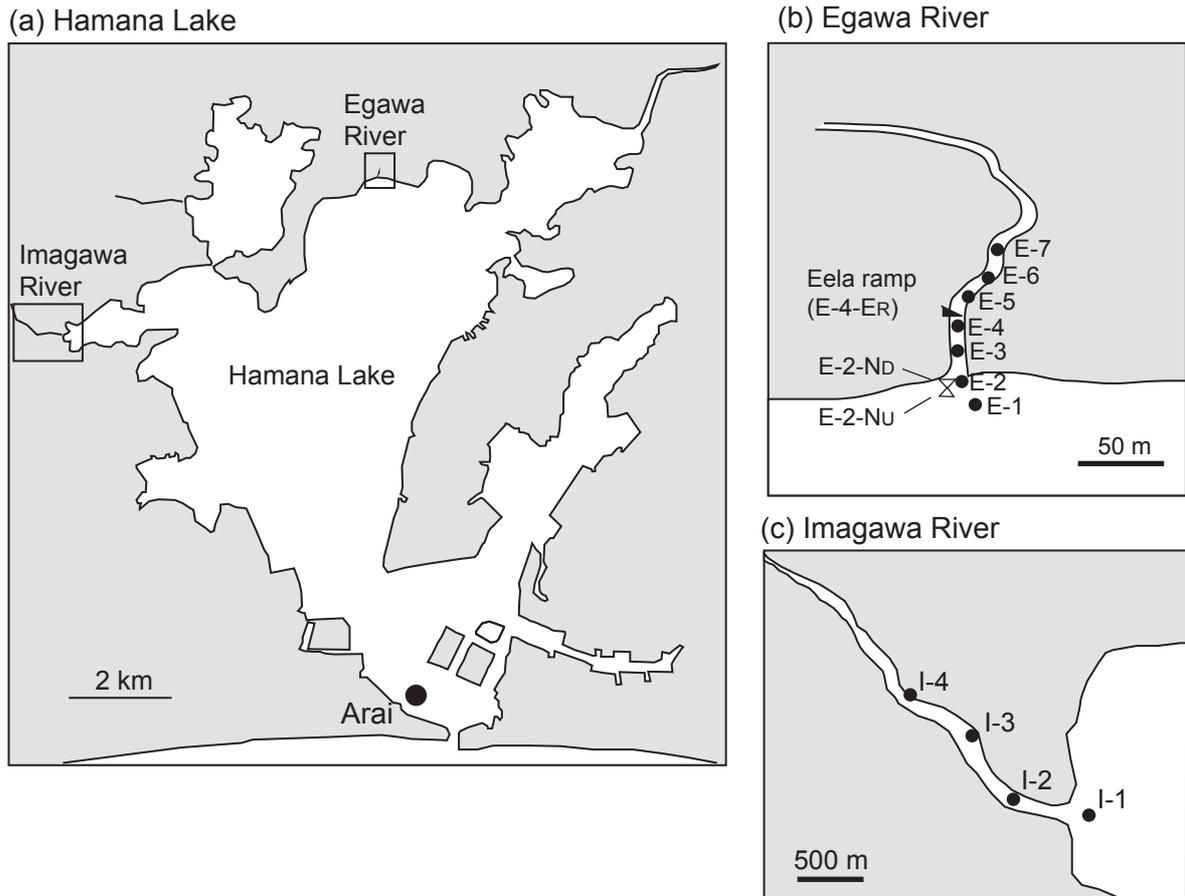


Fig. 5-1-1 Map of sampling sites for eels. (a) Hamana Lake. (b) Imagawa River. (c) Egawa River. E-2-Nu and E-2-Nd indicate station of set-nets for fish moving upstream and downstream respectively.

$$\text{Standardized relative condition} = \frac{\text{Residual}}{\text{Standard deviation of residuals}}$$

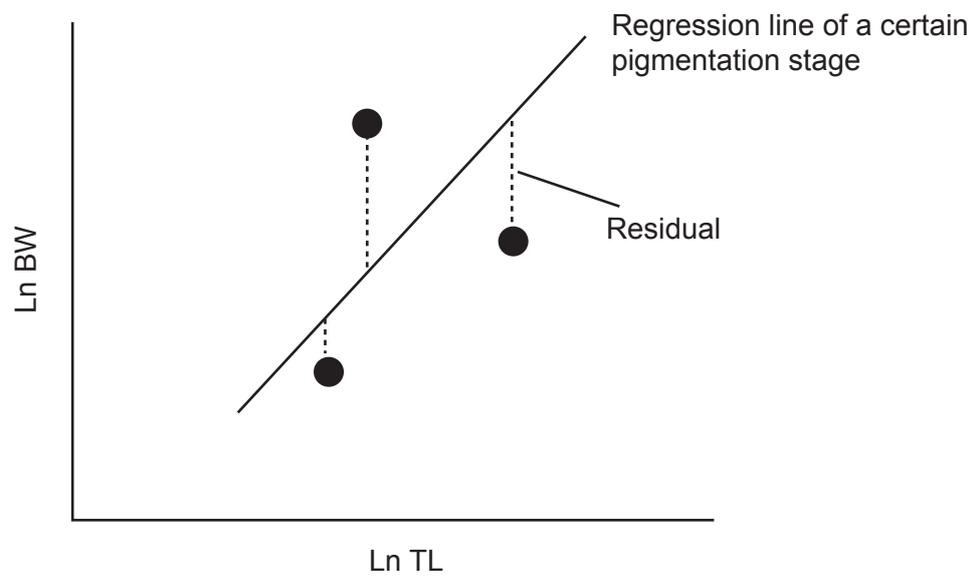


Fig. 5-1-2 Calculation of standardized relative condition.

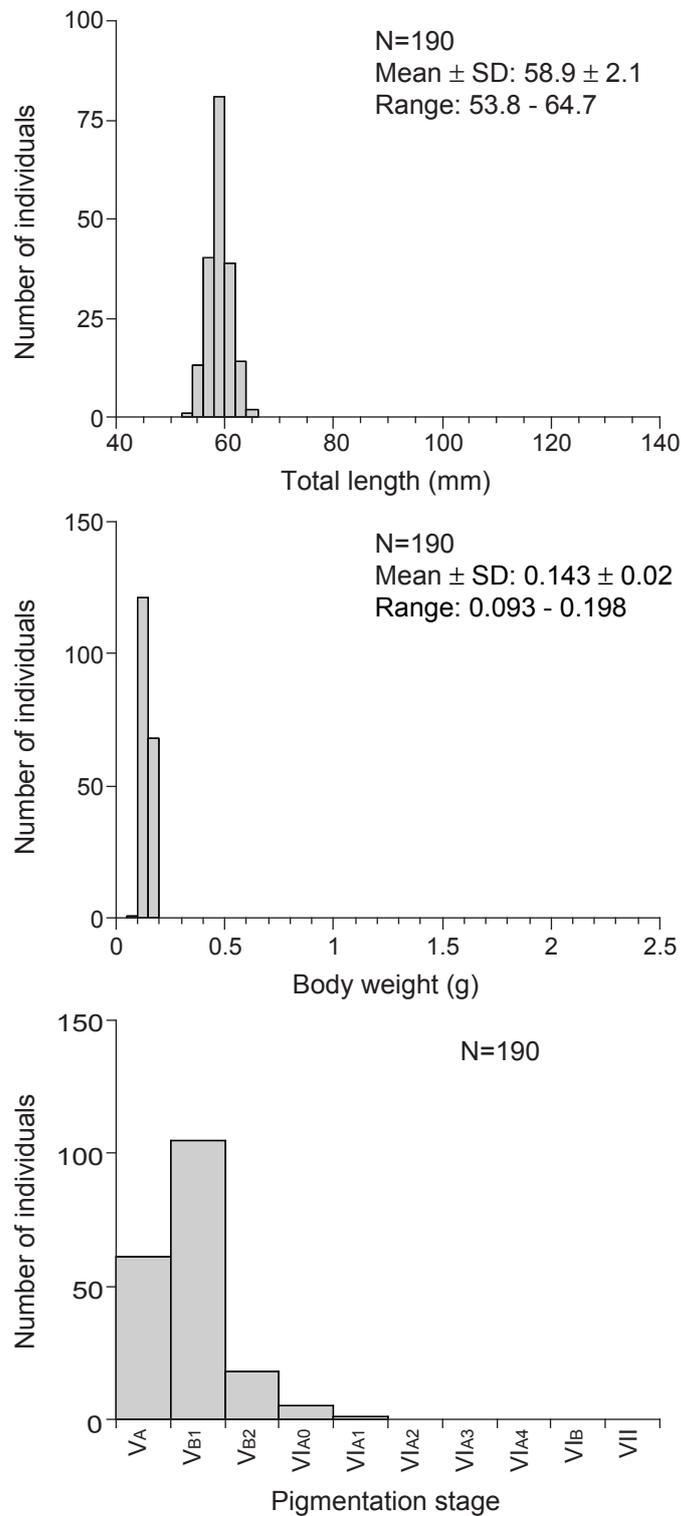


Fig. 5-1-3 Frequency distributions of total length, body weight and pigmentation stage of 0-age eels collected near the entrance of Hamana Lake (Arai) during December 2007 to January 2009.

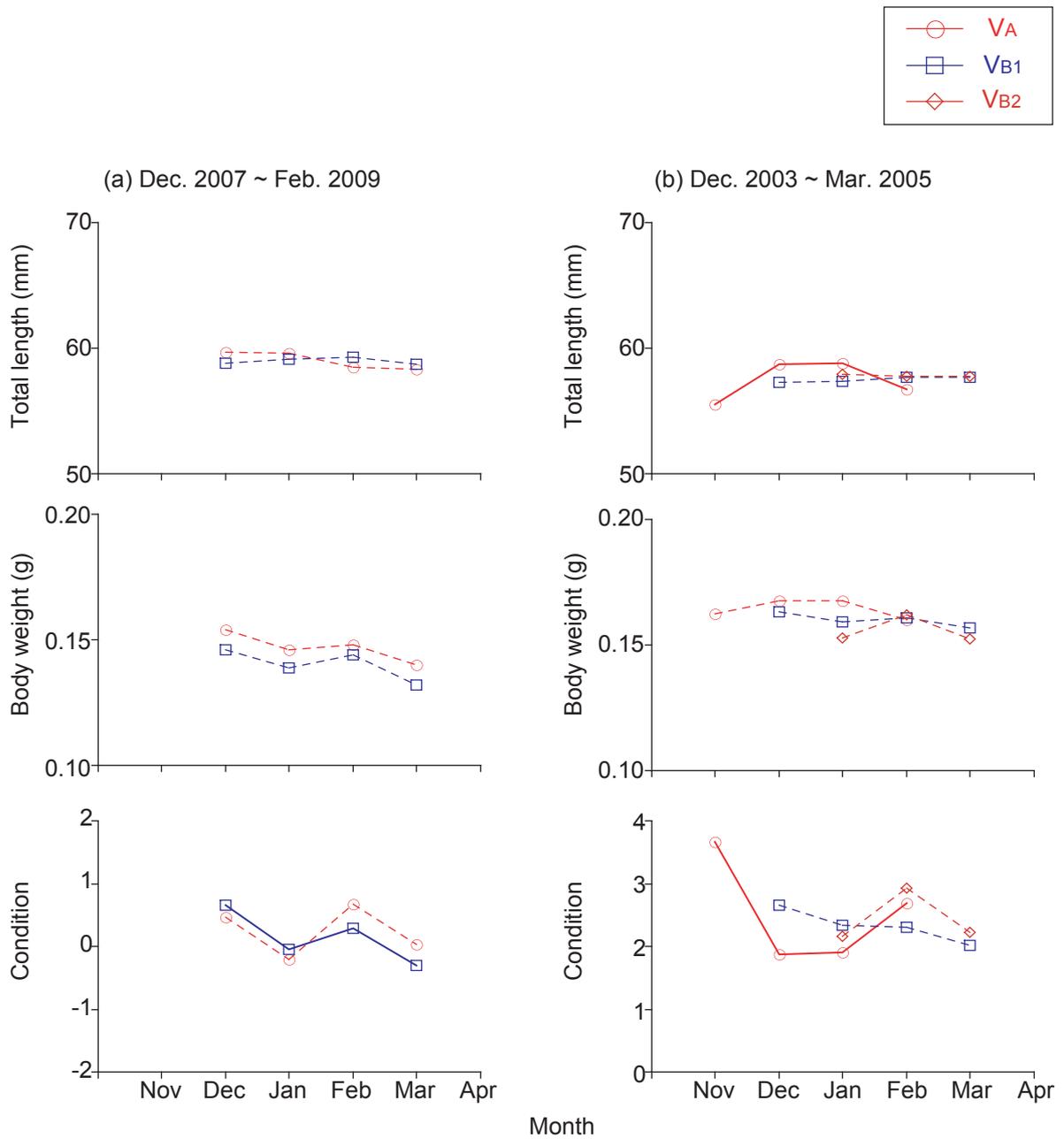


Fig. 5-1-4 Monthly change of mean total length, body weight and standardized relative condition (condition) at each pigmentation stage of 0 age eels in the mouth of Hamana Lake (Arai). Solid line indicates significant differences among months (ANOVA, $P < 0.05$). Month groups with < 5 eels are excluded.

は-1~1 の範囲であるのに対し、2003 年 11 月~2005 年 5 月の肥満度は 1.5~4 の範囲であった。後者は冷凍保存した後に解凍して計測しており、細胞が破壊され水分を多く含んだため、湿重量が重くなったものと考えられる。

第2節 今川遡上個体

第1項 調査地・物理環境

採集定点

調査地とした今川は、浜名湖の支湾である松見ヶ浦に注ぐ、流程約 4km の 2 級河川である。両岸はコンクリート護岸されており、護岸の内側で繁茂する植生の中を水流が走っている (Fig. 5-2-1 a)。河口から淡水中流域にかけて、150~200m 間隔で 4 つの採集定点 (St. I-1~I-4) を設定した (Fig. 5-1-1 c)。

環境観測

湖に接続する河口から河川中流域において、水温と塩分が季節、潮汐によってどのように変化するかを調べるため、3 ヶ月おきに定点観測を行った。観測定点は St. I-1 ~ St. I-4 間を 70~100m 間隔で設定した 8 カ所とした。観測は 2007 年 8 月~2009 年 5 月に行った。観測時刻は、大潮の満潮時および干潮時とし、各観測定点において、水深 10cm 刻みで水温と塩分を測定した。

採集定点において連続的な時系列データを得るため、2007 年 7 月~2009 年 9 月には St. I-2 に水温・塩分ロガー (Alec, Compact-CT) を設置し、10 分間隔の記録を行った。また、2007 年 10 月~2009 年 9 月には St. I-1, St. I-3, St. I-4 に水温ロガー (Onset Computer Corporation, Stowaway TidbiT) を設置し、2 時間間隔の記録を行った。

季節および潮汐による水温・塩分の変動

河口から河川中流域までの水温・塩分プロファイルは水温の季節変動と塩分の潮汐変動を示した (Fig. 5-2-2)。観測定点内の水温の範囲は 5 月で 15~28℃, 8 月で 22~30℃, 11 月で 12~22℃, 2 月で 8~12℃であり、明瞭な季節変動が見られた (Fig. 5-2-2)。春と夏 (2007 年 8 月, 2008 年 5 月, 8 月, 2009 年 5 月) には、河口の水温は河川よりも高かった。一方、冬 (2008 年 2 月, 2009 年 2 月) には、河口の水温は河川よりも低かった。塩分は、全期間を通じて、河口では 25~33, 河川では 0 であった (Fig. 5-2-3)。湖の高塩分水は、河口から 400m 上流まで入り込んでおり、河口から 100~400m 上流では、干満により、塩分が 0~33 の範囲で変動していた (Fig. 5-2-3)。

(a)



(b)



Fig. 5-2-1 Photograph of the Imagawa River near St. I-2 (a) and the estuary of the Egawa River (b).

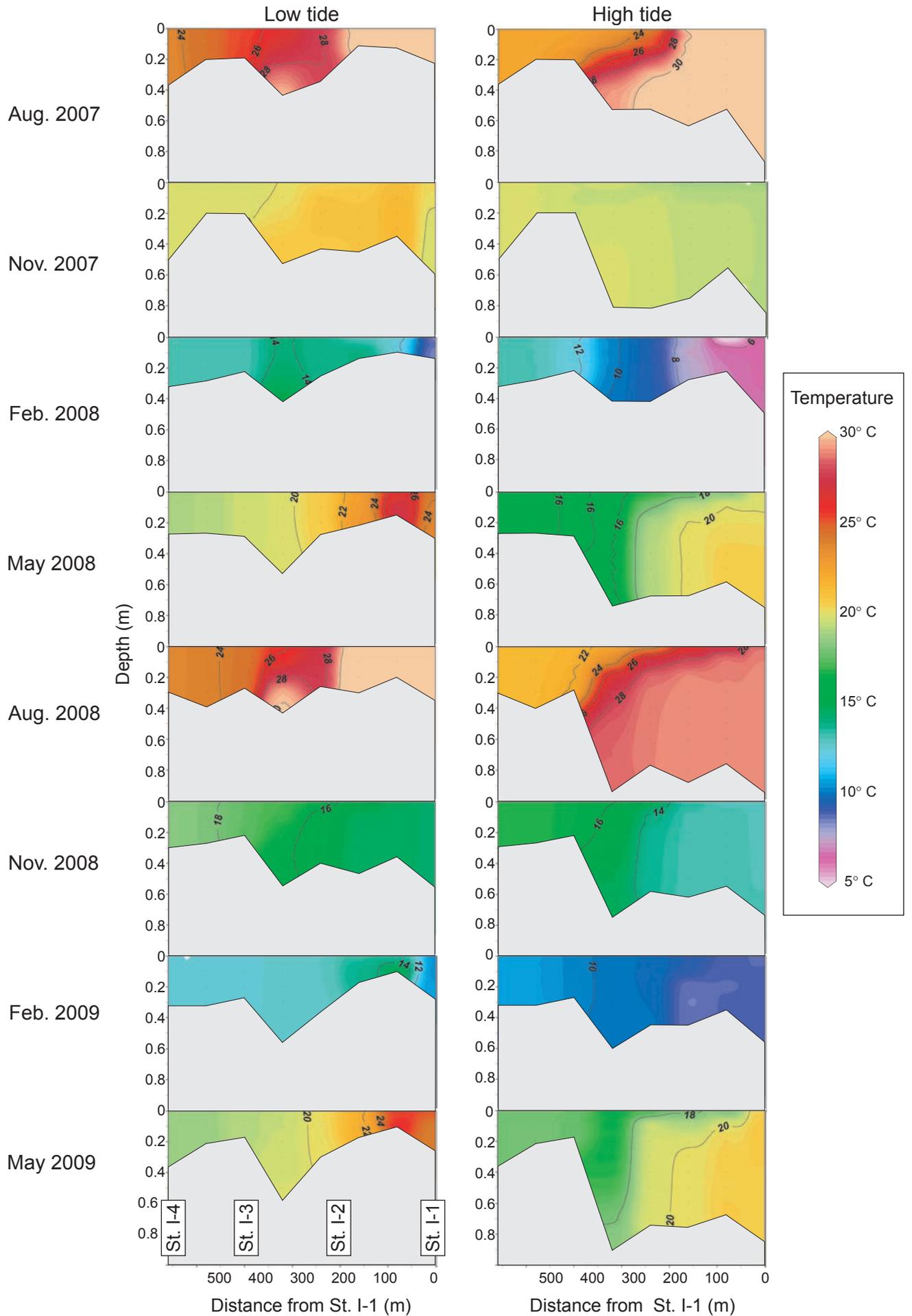


Fig. 5-2-2 Profiles of water temperature in the Imagawa River.

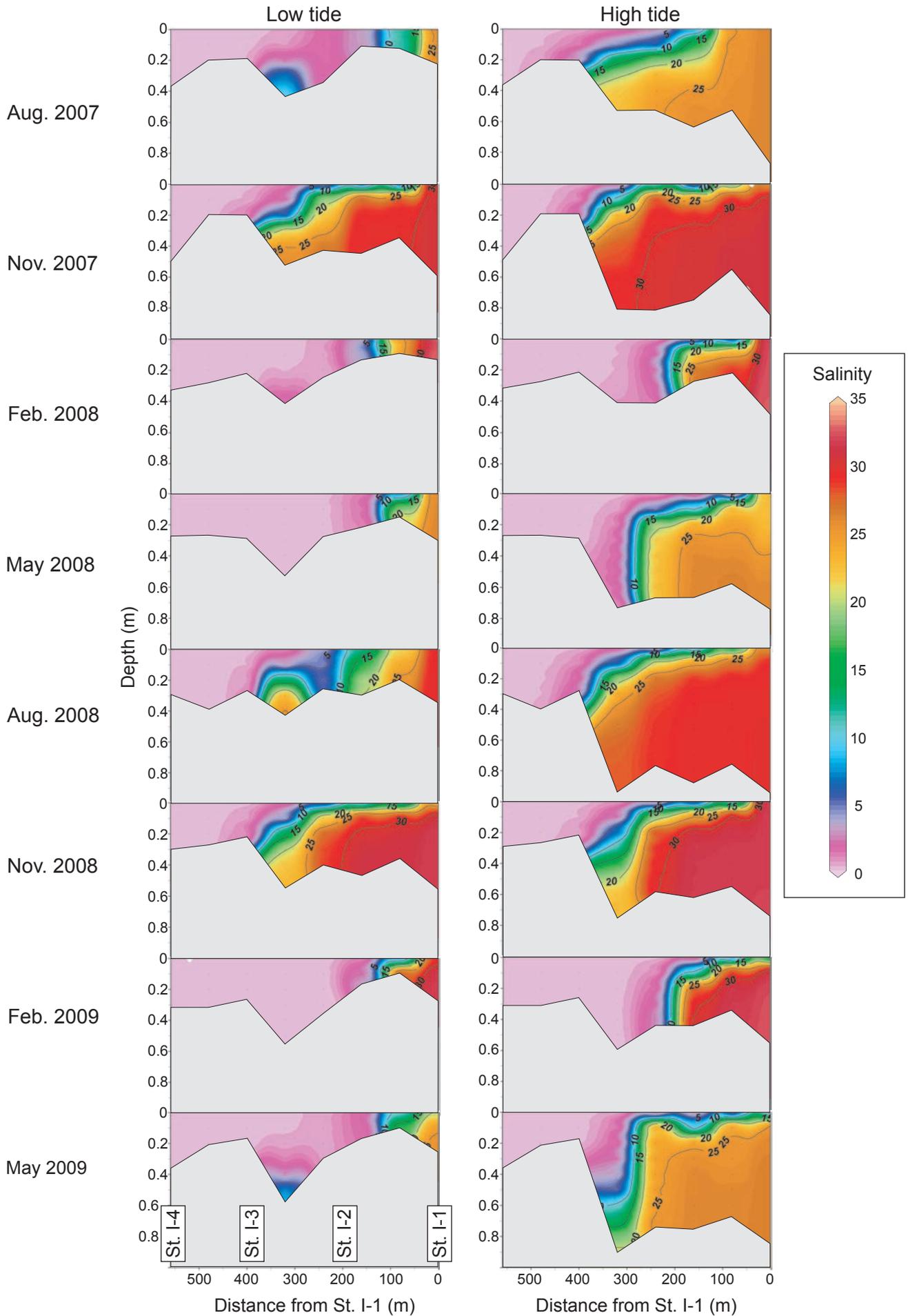


Fig. 5-2-3 Profile of salinity in Imagawa River.

ロガーに記録された時系列データを見ると (Fig. 5-2-4), 年間の水温の範囲は St. I-1 で 6°C~32°C, St. I-2 で 9°C~32°C, St. I-3 と St. I-4 で 12~23°Cとなっており, 湖における水温の変動幅は河川に比べて大きい傾向があった。

第2項 採集・標本処理・解析

採集・形態計測

St. I-1 と St. I-2 では小型定置網 (幅 7.8m, 高さ 0.9m, 目合一辺 1mm), St. I-3 と St. I-4 では電気ショッカー (Smith-Root, Inc., LR-24 Electrofisher) を用いて, ニホンウナギの採集調査を行った。小型定置網は, 毎月 3~7 日間設置し, 24 時間ごとに採集物を回収した。電気ショッカーでは毎月 1 回の採集を行った。小型定置網については 1 日当たりの採集個体数を, 電気ショッカーについては 1 回あたりの採集個体数を単位努力量当たりの採集個体数 (Catch per unit effort, CPUE) として算出した。調査期間は 2007 年 2 月~2009 年 10 月とした。

同じ月に 1 定点で 100 個体以上の採集があった場合は全個体数を計数した後, その中から 48~61 個体をサブサンプリングし, 残りはその場に放流した (Table 5-2-1)。100 個体以下であった場合には全個体をサンプルとした。

サンプリングした個体は, 直ちに東大水産実験所へ持ち帰った。オイゲノール (30ppm) で麻酔をした後, 全長, 体重 (湿重量) をそれぞれ 0.1mm, 1mg 単位で測定し, 色素発達段階を判別した。肥満度は, その個体が該当する色素発達段階の, 対数変換した全長と体重の回帰直線 (Fig. 2-4-4, Table 2-4-1) から, その個体の残差をもとめ, これを残差の標準偏差で除して, 算出した。

解析

耳石の観察と正準判別分析から 0 年魚を抽出し (次項), 解析に供した。採集された 0 年魚全体について, 全長, 体重および色素発達段階が採集月, および採集定点の間で異なるかをそれぞれ Kruskal Wallis により調べた。群間で有意に異なる場合には Steel Dwass の多重比較を行った。次に, 同じ月において, 全長, 体重および色素発達段階が定点間で異なるかを調べるため, 全長と体重については, 2 群間比較では t-test, 3 群以上の間での比較では ANOVA を行った。3 群以上の群間で有意に異なった場合には Bonferroni 補正した t-test による多重比較を行った。また, 色素発達段階について, 2 群間の比較では Mann Whitney U-test, 3 群以上の間の比較では Kruskal Wallis を行った。3 群以上の群間で有意に異なった場合には Steel Dwass の多重比較を行った。

同じ色素発達段階であっても採集月間で全長, 体重, 肥満度が異なるかを調べるた

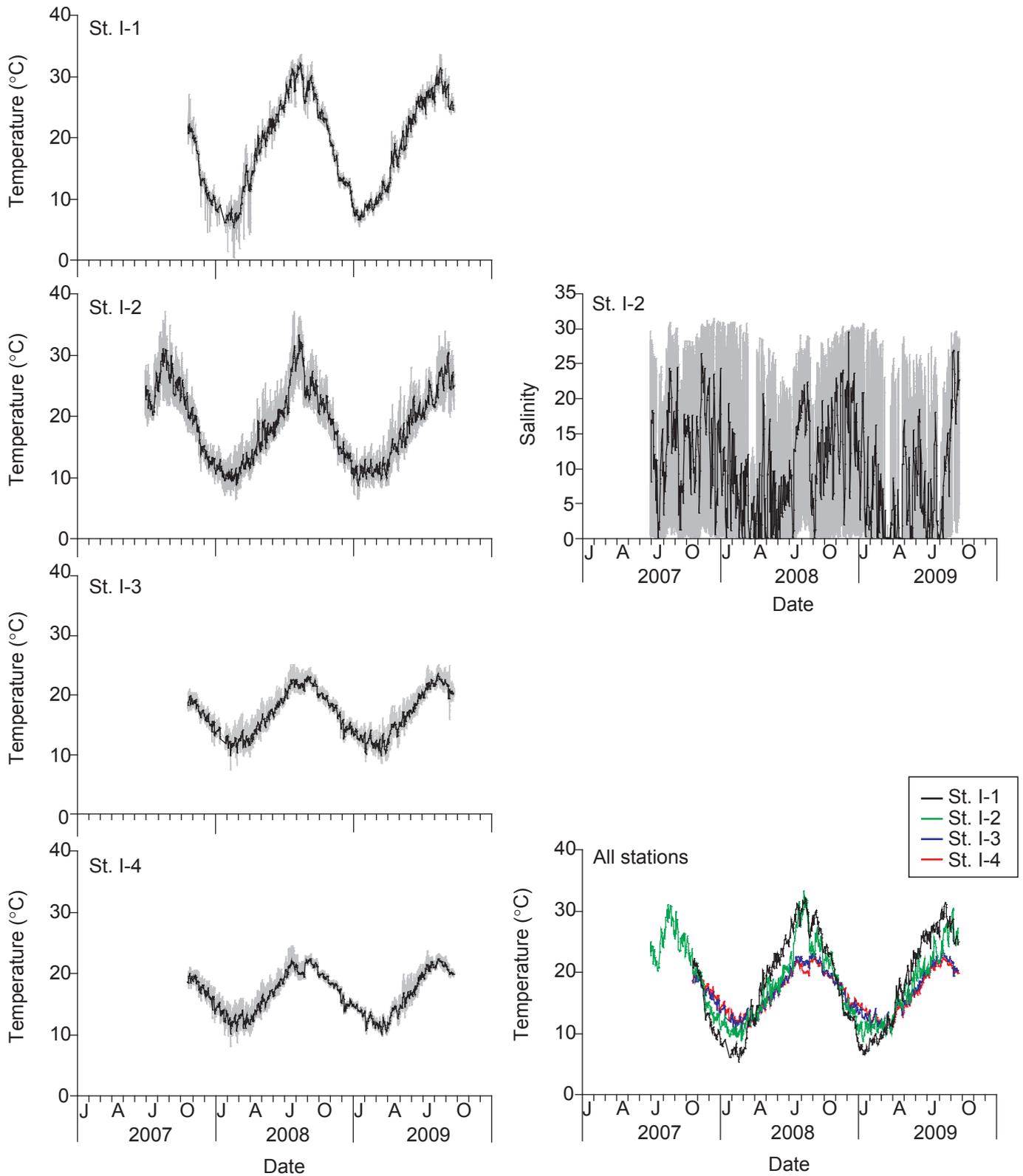


Fig. 5-2-4 Seasonal fluctuation of temperature and salinity at sampling stations of the Imagawa River. Solid lines indicate daily mean values and shaded lines indicate values at intervals of 2 hours.

Table 5-2-1 Summary of sampling for eels at St. I-1, St. I-2, St. I-3 and St. I-4 in the Imagawa River.

Station	Sampling date	No. of fishing days	Total catch	Body measurements		
				N	TL (mm)	BW (g)
I-1	17-20, 24-26 Feb 2007	7	21	21(6)	56.1 - 168	0.083 - 2.87
	16-23 Mar 2007	8	7	7(6)	57.3 - 190	0.117 - 3.59
	14-20 Apr 2007	7	18	18(4)	53.7 - 215	0.085 - 7.38
	17-26 May 2007	10	4	4(3)	54.3 - 59.7	0.082 - 0.122
	26-30 Jun 2007	5	0			
	12-18 Aug 2007	7	1	1(1)	196	7.86
	9-15 Oct 2007	7	5	5(3)	179 - 288	5.06 - 24.1
	10-16 Nov 2007	7	0			
	10-16 Dec 2007	6	0			
	6-12 Jan 2008	6	1	1(0)	59.0	0.135
	4-6, 8-10 Feb 2008	7	3	3(0)	52.3 - 58.0	0.087 - 0.117
	6-12 Mar 2008	7	3	3(0)	56.4 - 63.0	0.130 - 0.138
	6-12 Apr 2008	7	1	1(0)	59.0	0.124
	4-10 May 2008	7	4	4(0)	53.2 - 61.3	0.083 - 0.139
	2-8 Jun 2008	7	1	1(0)	55.3	0.093
	2-8 Jul 2008	7	0			
	3-7 Aug 2008	5	0			
	25-29 Sep 2008	5	3	3(3)	126-207	2.41 - 8.11
	26-31 Oct 2008	6	0			
	23-29 Nov 2008	7	0			
	23-28 Dec 2008	6	0			
	21-27 Jan 2009	7	0			
	21-27 Feb 2009	7	14	14(0)	53.8 - 64.8	0.097 - 0.197
	22-29 Mar 2009	8	190	61(0)	53.1 - 63.6	0.084 - 0.171
	24-30 Apr 2009	7	23	23(0)	53.7 - 62.3	0.084 - 0.164
	18-25 May 2009	8	5	3(0)	57.8 - 60.7	0.091 - 0.138
	21-27 Jun 2009	7	1	1(0)	349	57.2
	19-25 Jul 2009	7	1			
	16-22 Aug 2009	7	1	1(0)	115	1.272
17-22 Sep 2009	6	0				
Station	Sampling date	No. of fishing days	Total catch	Body measurements		
				N	TL (mm)	BW (g)
I-2	21-23 Feb 2007	3	68	68(10)	53.4 - 170	0.093 - 3.86
	17-19 Mar 2007	3	45	45(5)	49.9 - 194	0.079 - 3.41
	15-17 Apr 2007	3	40	40(3)	52.0 - 203	0.077 - 4.86
	18-24, 26 May 2007	8	19	19(3)	53.0 - 195	0.088 - 3.544
	26-29 Jun 2007	4	24	24(12)	57.1 - 192	0.121 - 7.71
	12-19 Aug 2007	8	9	9(9)	80.3 - 158	0.556 - 4.74
	9-15 Oct 2007	7	0			
	10-16 Nov 2007	7	0			
	10-16 Dec 2007	6	0			
	6-12 Jan 2008	7	1	1(0)	54.8	0.123
	4-6, 8-10 Feb 2008	6	7	7(0)	56.4 - 61.7	0.127 - 0.141
	6-12 Mar 2008	7	20	11(0)	56.9 - 61.5	0.116 - 0.178
	6-12 Apr 2008	6	11	5(0)	57.9 - 60.3	0.131 - 0.160
	4-10 May 2008	7	4	4(0)	54.2 - 57.7	0.100 - 0.128
	2-8 Jun 2008	7	4	4(0)	57.4 - 73.5	0.098 - 0.355
	2-8 Jul 2008	7	0			
	3-7 Aug 2008	5	3	3(3)	81.8 - 99.4	0.453 - 0.911
	25-30 Sep 2008	6	6	6(6)	115 - 193	1.229 - 7.64
	26-31 Oct 2008	6	0			
	23-29 Nov 2008	6	0			
	23-28 Dec 2008	6	0			
	21-27 Jan 2009	7	7	6(0)	57.2 - 62.2	0.116 - 0.160
	21-27 Feb 2009	7	50	50(0)	53.9 - 65.8	0.097 - 0.183
	22-29 Mar 2009	8	157	48(0)	51.8 - 64.0	0.086 - 0.181
	24-29 Apr 2009	7	22	22(0)	54.3 - 62.3	0.082 - 0.160
	18-25 May 2009	8	35	35(0)	53.7 - 73.4	0.069 - 0.353
	21-27 Jun 2009	7	2	2(0)	61.1 - 70.2	0.138 - 0.193
	19-21, 30 Jul 2009	4	46	46(0)	66.6 - 227	0.241 - 11.2
	16-22 Aug 2009	7	0			
17-22 Sep 2009	6	3	3(0)	94.2 - 208	0.734 - 7.20	

N shows the number of eels used for body measurement.

Parentheses show the number of eels for otolith age determination.

TL: total length.

BW: body weight.

Table 5-2-1 - Extended.

Station	Sampling date	Total catch	Body measurements		
			N	TL (mm)	BW (g)
I-3	24 Feb 2007	20	20(15)	56.3 - 175	0.115 - 5.72
	18 Mar 2007	44	44(14)	54.3 - 557	0.099 - 238
	17 Apr 2007	28	28(7)	53.8 - 360	0.111 - 40.7
	20 May 2007	46	46(6)	56.5 - 647	0.124 - 405
	26 Jun 2007	19	19(6)	55.9 - 457	0.107 - 129
	14 Aug 2007	12	12(9)	74.8 - 472	0.295 - 126
	13 Oct 2007	5	5(5)	83.6 - 177	0.579 - 5.11
	16 Nov 2007	9	9(0)	189 - 535	7.00 - 190
	16 Dec 2007	2	2(0)	195 - 197	6.89 - 7.82
	19 Jan 2008	1	1(0)	253.0	13.0
	17 Feb 2008	0			
	22 Mar 2008	1	1(0)	170	4.21
	12 Apr 2008	2	2(0)	51.8 - 54.2	0.081 - 0.108
	18 May 2008	7	7(1)	59.0 - 688	0.143 - 247
	14 Jun 2008	5	5(2)	58.4 - 232	0.131 - 15.7
	10 Jul 2008	2	2(0)	144 - 227	3.10 - 14.6
	7 Aug 2008	3	3(1)	66.8 - 310	0.221 - 33.4
	27 Sep 2008	0			
	28 Oct 2008	2	2(1)	177 - 196	6.35 - 9.09
	23 Nov 2008	3	3(1)	193 - 490	7.44 - 141
	23 Dec 2008	1	1(0)	288	29.3
	25 Jan 2009	0			
	28 Feb 2009	4	4(0)	56.3 - 59.8	0.138 - 0.149
	28 Mar 2009	6	6(0)	57.3 - 62.3	0.123 - 0.215
	29 Apr 2009	13	13(0)	56.8 - 524	0.116 - 198.2
	29 May 2009	16	16(0)	53.3 - 263	0.097 - 22.1
	29 Jun 2009	7	7(0)	56.8 - 64.6	0.120 - 0.181
	31 Jul 2009	0			
	24 Aug 2009	1	1(0)	75.9	0.466
	20 Sep 2009	2	2(0)	276 - 363	21.9 - 52.5
I-4	18 Mar 2007	17	17(4)	158 - 556	3.98 - 192
	17 Apr 2007	17	17(6)	122 - 484	1.90 - 123
	19 May 2007	14	14(4)	110 - 542	1.60 - 252
	28 Jun 2007	13	13(10)	61.7 - 652	0.244 - 416
	16 Aug 2007	25	25(15)	127 - 590	1.78 - 404
	20 Oct 2007	18	18(10)	137 - 353	2.97 - 51.7
	17 Nov 2007	23	23(0)	122 - 496	2.14 - 177
	16 Dec 2007	14	14(0)	109 - 520	1.20 - 171
	19 Jan 2008	5	5(4)	137 - 343	2.43 - 42.2
	17 Feb 2008	5	5(0)	104 - 257	0.772 - 15.8
	22 Mar 2008	1	1(0)	258	16.5
	12 Apr 2008	4	4(0)	119 - 235	1.42 - 10.4
	18 May 2008	16	16(11)	92.5 - 432	0.883 - 109
	16 Jun 2008	3	3(1)	133 - 515	2.82 - 185
	10 Jul 2008	3	3(0)	184 - 292	6.40 - 34.2
	7 Aug 2008	4	4(3)	111 - 217	1.35 - 11.6
	27 Sep 2008	6	6(3)	95.6 - 365	0.724 - 56.5
	31 Oct 2008	8	8(2)	169 - 600	5.22 - 330
	23 Nov 2008	5	5(4)	143 - 272	2.88 - 22.3
	23 Dec 2008	2	2(0)	302 - 483	27.6 - 122
	25 Jan 2009	3	3(1)	112 - 462	1.33 - 109
	28 Feb 2009	3	3(0)	143 - 386	2.93 - 63.6
	29 Mar 2009	1	1(0)	694	274
	29 Apr 2009	0			
	29 May 2009	3	3(0)	344 - 398	46.5 - 88.1
	29 Jun 2009	7	7(0)	68.2 - 452	0.248 - 142
	31 Jul 2009	0			
	24 Aug 2009	4	4(0)	86.7 - 149	0.416 - 3.59
	20 Sep 2009	1	1(0)	119	1.80

め、ANOVA を行った。続いて、同じ月に、同じ色素発達段階であっても、定点間で全長、体重、肥満度が異なるかを調べるため、2 群間では t-test, 3 群以上の間では ANOVA を行った。群間で有意に異なる場合には Bonferroni 補正した t-test による多重比較を行った。全ての解析の有意水準は 5% とした。また、4 個体以下の群はサンプルサイズが小さいことから、群間比較の解析から除外した。

第3項 年齢査定と判別分析

耳石標本作製・判別分析

採集された全長 250mm 以下の個体から、10mm 毎に 3~22 個体をサブサンプリングし、計 223 個体の年齢査定を行った (Table. 5-2-2)。

個体から耳石 (扁平石) を摘出し、エポキシ樹脂 (Strues, Epofix) に包埋した。次に、鉚物用スライドガラスに耳石の長径が水平になるようにして接着した。その後、粒径 $70\mu\text{m}$ と $13\mu\text{m}$ の砥石で核が露出する手前まで研磨した。研磨面を洗浄した耳石を 1% 塩酸で 20~30 秒間腐食して核を露出させた。光学顕微鏡 (Nikon, Optiphot) の下で、透明帯の本数を計数した (Fig. 5-2-5)。なお、計数に当たり、耳石核からおよそ $150\mu\text{m}$ 外側に位置するエルバーマークを成育場での加入から 0 年とした。ニホンウナギでは耳石の輪紋が年輪であることが確認されており (Lin and Tzeng 2009)、透明帯の本数を年齢として扱った。

耳石による年齢査定を行うには、耳石の抽出、包埋、研磨、観察といった処理が必要なため、大量のサンプルについて全てをこの方法で年齢査定することは困難である。そこで、年齢未査定個体の年齢を推定するために、全長と採集月から年齢群を推定する判別関数の構築を行った。なお、年齢群は 0 年魚、1 年魚、2 年魚以上の 3 群とした。耳石による年齢査定に用いた計 223 個体の年齢群、全長、採集月を学習データとし、正準判別分析を行った。これを用いて、年齢未査定個体の年齢群を推定した。

年齢と全長および採集月との関係

耳石を用いた年齢査定の結果を用いて、全長と年齢の関係を調べたところ、全長の増加に伴い高齢個体の割合は増す傾向が見られた (Fig. 5-2-6)。また、各年齢群について全長と採集月との相関を調べたところ、いずれの群においても有意な相関が見られた (0 年魚, $r=0.78$, $p<0.001$; 1 年魚, $r=0.42$, $p<0.001$; 2 年魚以上, $r=0.36$, $p<0.001$, Fig. 5-2-7)。

判別分析結果

判別分析による正判別率は、0 年魚では 100%、1 年魚では 70.7%、2 年魚以上で

Table 5-2-2 Number of samples for age determination using otolith annual rings

Total length (mm)	N
50~59.9	19
60~69.9	14
70~79.9	7
80~89.9	8
90~99.9	6
100~109.9	6
110~119.9	6
120~129.9	7
130~139.9	22
140~149.9	17
150~159.9	18
160~169.9	16
170~170.9	18
180~189.9	10
190~199.9	21
200~209.9	7
210~219.9	6
220~229.9	3
230~239.9	5
240~249.9	7

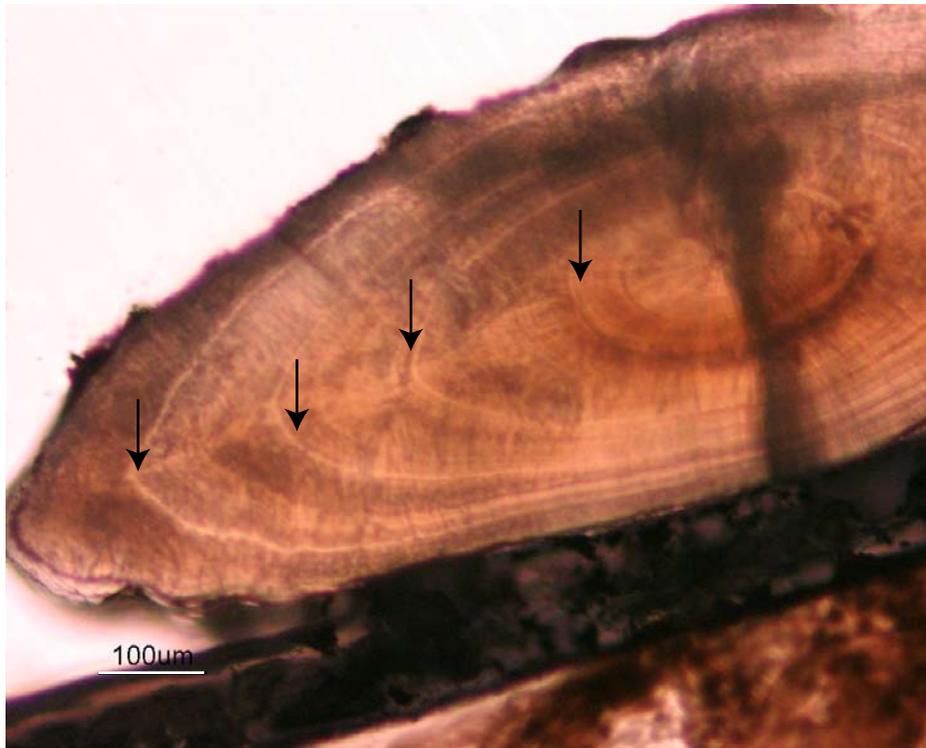


Fig.5-2-5 Photograph of an otolith of a yellow eel. Arrows indicate annual rings.

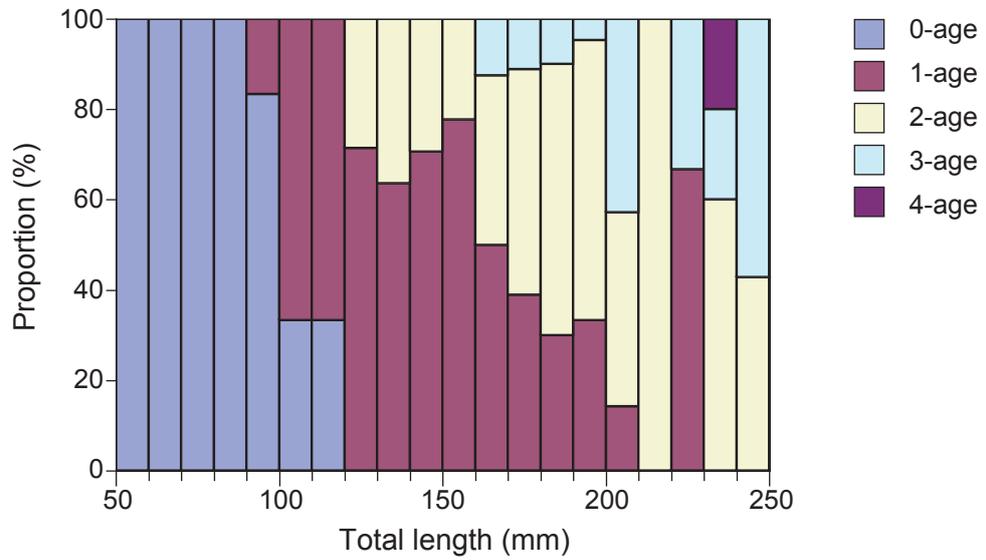


Fig. 5-2-6 Proportion of ages of eels from the Imagawa River at intervals of 10 mm in total length

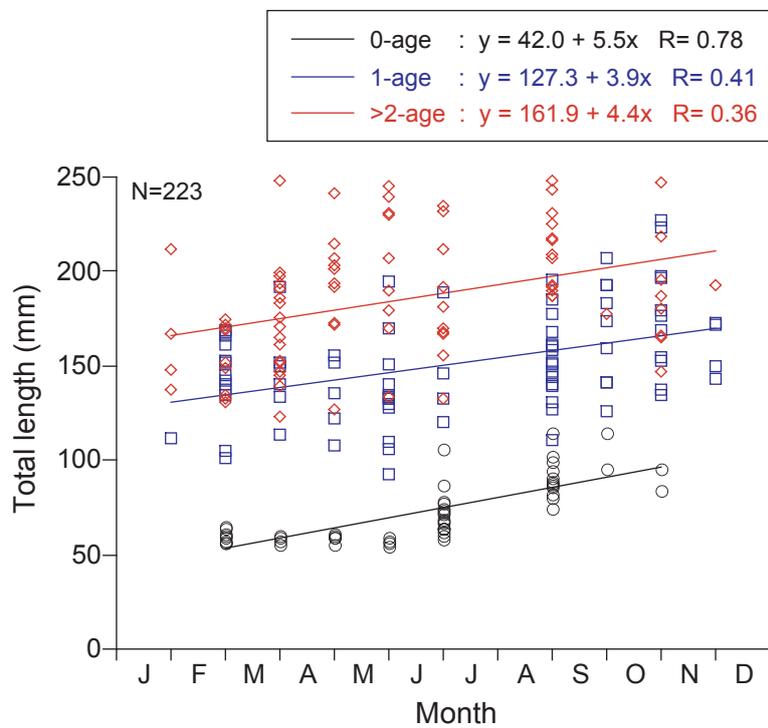


Fig. 5-2-7 Total length of 0-age, 1-age and >2-age eels from the Imagawa river according to month

は 73.8%であった (Table. 5-2-3)。また、判別分析によって 0 年魚と予想された個体の内 96.6%が正しく予想され、1 年魚、2 年魚以上と予想された個体ではそれぞれ 72.5%、では 73.8%が正しく予想されていた (Table. 5-2-3)。各年齢群の正判別率および予想の正答率はいずれも 70%よりも高く、年齢未査定の個体の年齢群を判別するのに上記判別式を応用できるものと考えられた。特に 0 年魚に関する正判別率および予想の正答率は 100%と 96.6%であり、年齢未査定の個体から 0 年魚を抽出するために利用する本章の用途において、本判別分析の精度は高かった。本章の 0 年魚に関する解析では、耳石による年齢査定で 0 年魚と推定された個体に加え、判別分析により 0 年魚と推定された年齢未査定個体を 0 年魚として取り扱うこととした。

第4項 年齢と分布

採集調査の結果、計 1376 個体のウナギが採集された (Table 5-2-1)。この内、1119 個体について形態計測を行い、その中の 223 個体については耳石による年齢査定を行った (Table 5-2-2)。耳石による年齢査定、および年齢未査定の 898 個体に関する判別分析を行い、759 個体が 0 年魚と推定された。また、2009 年 3 月の St. I-1 と St. I-2 では、100 個体以上が採集され、48-61 個体をサブサンプリングして形態計測を行ったが、この時にサブサンプリングした個体は全て 0 年魚と判別されたため、放流した個体も 0 年魚として扱うこととした。定点ごとに年齢組成を調べたところ、St. I-1 では 0 年魚が 284 個体、1 年魚が 11 個体、2 年魚以上が 9 個体、St. I-2 では 0 年魚が 542 個体、1 年魚が 18 個体、2 年魚以上が 7 個体、St. I-3 では 0 年魚が 159 個体、1 年魚が 27 個体、2 年魚以上が 75 個体、St. I-4 では 0 年魚が 12 個体、1 年魚が 61 個体、2 年魚以上が 152 個体であった (Fig. 5-2-8)。

第5項 出現時期

各定点における 0 年魚の出現時期を調べたところ、上流の定点ほど、出現は遅れる傾向が見られた (Fig. 5-2-9)。各年における CPUE 上位 3 つの採集月は、St. I-1 において、2007 年では 2 月、4 月、5 月、2008 年では 5 月、2 月、3 月、2009 年では 3 月、4 月、2 月であった。St. I-2 において 2007 年では 2 月、3 月、4 月、2008 年では 3 月、4 月、2 月、2009 年では 3 月、7 月、2 月であり、St. I-3 において 2007 年では 5 月、3 月、4 月、2008 年では 5 月、6 月、4 月、2009 年では 5 月、6 月、4 月であった。St. I-4 では、6 月以降のいくつかの月で 1~3 個体のわずかな出現が見られたただけであった。7 月以降には、いずれの定点においても 0 年魚の出現は少なかった。このことから、0 年魚は、塩分を含む St. I-1 と St. I-2 に 2 月から 4 月まで滞留し、4 月から 6 月には淡水の St. I-3 へと進入することがわかった。さらに 7 月以降はいずれの

Table 5-2-3 Comparison between observed and predicted values in the canonical discriminant analysis of age group.

Estimated age from otolith	Prediction from canonical discriminant analysis			Correct discriminant rate (%)
	0-age	1-age	>2-age	
0-age	57	0	0	100.0
1-age	2	58	22	70.7
>2-age	0	22	62	73.8
Correct prediction (%)	96.6	72.5	73.8	

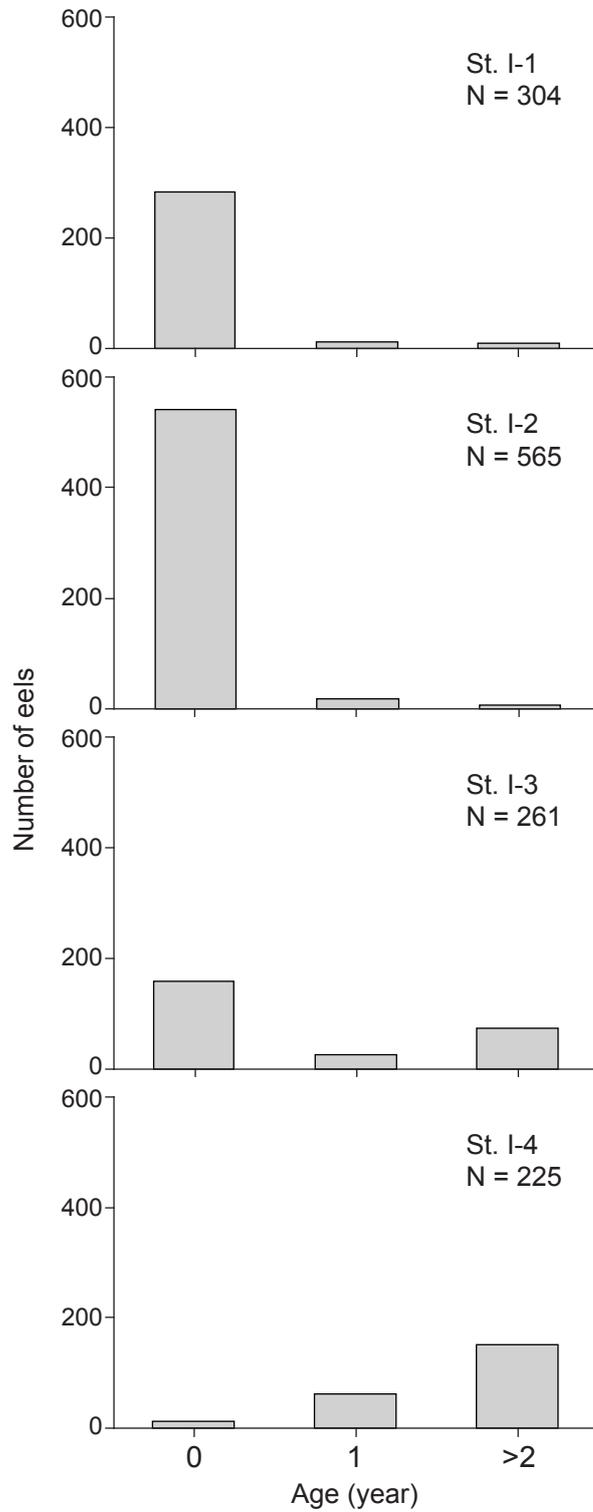


Fig.5-2-8 Age structure of eels caught at St. I-1 ~ St. I-4 in the Imagawa River

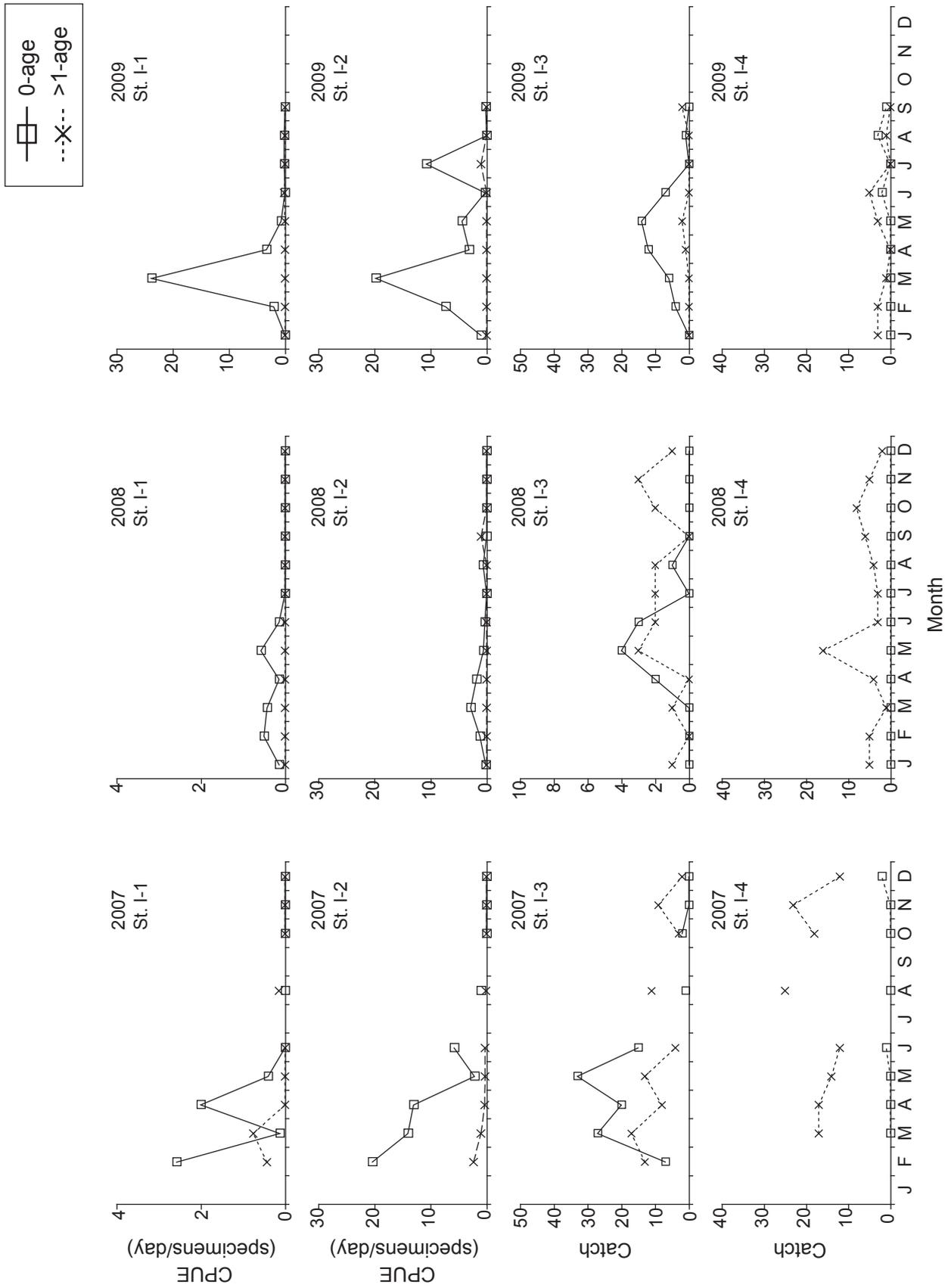


Fig. 5-2-9 Seasonal changes of Catch Per Unit Effort (CPUE) and catch of 0-age (dot line and crosses) and >1-age eels (solid line and squares) in the Imagawa River during 2007~2009.

採集定点においても出現量が減少することがわかった。

第6項 全長・体重・色素発達段階

0年魚(N=759)の全長と体重の範囲(平均±標準偏差)は49.9-123.0mm(62.5±10.2), 0.077-2.142g(0.201±0.207)であり, V_A ~VIIのすべての色素発達段階が見られた(Fig. 5-2-10, Table. 5-2-4, 5-2-5, 5-2-6)。

0年魚の全長, 体重, 色素発達段階はいずれも, 採集月間で有意な違いが認められた(Kruskal Wallis, いずれも $p < 0.001$, Fig. 5-2-11)。全長は, 2月と4月との間で有意な違いがあったのを除くと, 1月~4月の間で有意な違いはなかった(Steel Dwass, $p > 0.05$)。5月と6月の全長は4月に比べて有意に大きく($p < 0.05$), 7月と8月の全長はそれ以前のいずれの月に比べても有意に大きかった($p < 0.05$, Fig. 5-2-11)。体重は, 1月~4月において採集月間で有意な違いはなく(Steel Dwass, $p > 0.05$), 5月から7月では, いずれも前月に比べて有意に大きかった(Steel Dwass, $p < 0.05$, Fig. 5-2-11)。色素発達段階は, 3月から7月までのいずれの月でも前月に比べて有意に進んでいた(Steel Dwass, $p < 0.05$, Fig. 5-2-11)。これらのことから, 0年魚の全長と体重は1月~4月には変化なく, 5月以降に成長を始める一方で, その色素発達段階は2月から7月にかけて進行していることがわかった。

0年魚の全長, 体重, 色素発達段階はいずれも, 定点間で有意な違いが認められた(Kruskal Wallis, いずれも $p < 0.001$, Fig. 5-2-11)。全長は, St. I-3ではSt. I-1に比べて有意に大きく(Steel Dwass, $p < 0.05$), St. I-4では他の3定点に比べて有意に大きかった($p < 0.05$)。体重は, 上流の定点ほど有意に大きかった($p < 0.05$)。色素発達段階は上流の定点ほど進んでいた($p < 0.05$)。塩分の入るSt. I-2より下流では V_A ~VIIまで幅広い色素発達段階の個体が出現したのに対して, 淡水の最下流域であるSt. I-3の色素発達段階のほとんどは VI_{A3} より進行していた。このことから, 0年魚は, 体サイズの成長と色素発達段階の進行を伴って上流へ移動しており, 河口において VI_{A3} のクロコになったものの一部の個体が淡水域へ進入していることがわかった。

2月~6月の各月において, 0年魚の全長, 体重, 色素発達段階と採集定点との関係を調べたところ, 全長と体重は4月以降に定点間で有意な差が認められる一方, 色素発達段階は2月から定点間で有意な差が認められた(Fig. 5-2-12)。全長は, 2月~4月にはSt. I-1~St. I-3の間で違いはなかったが(ANOVA, $p > 0.05$), 5月にはSt. I-3の全長はSt. I-1に比べて有意に大きく(Multiple t-tests with Bonferroni correction, $p < 0.05$), 6月にはSt. I-2の全長はSt. I-3に比べて有意に大きかった(t-test, $p < 0.05$)。体重は, 2月と3月にはSt. I-1~St. I-3の間で違いはなかったが(ANOVA, $p > 0.05$), 4月と5月にはSt. I-3の体重はSt. I-1とSt. I-2に比べて有意に大きく(Multiple t-tests

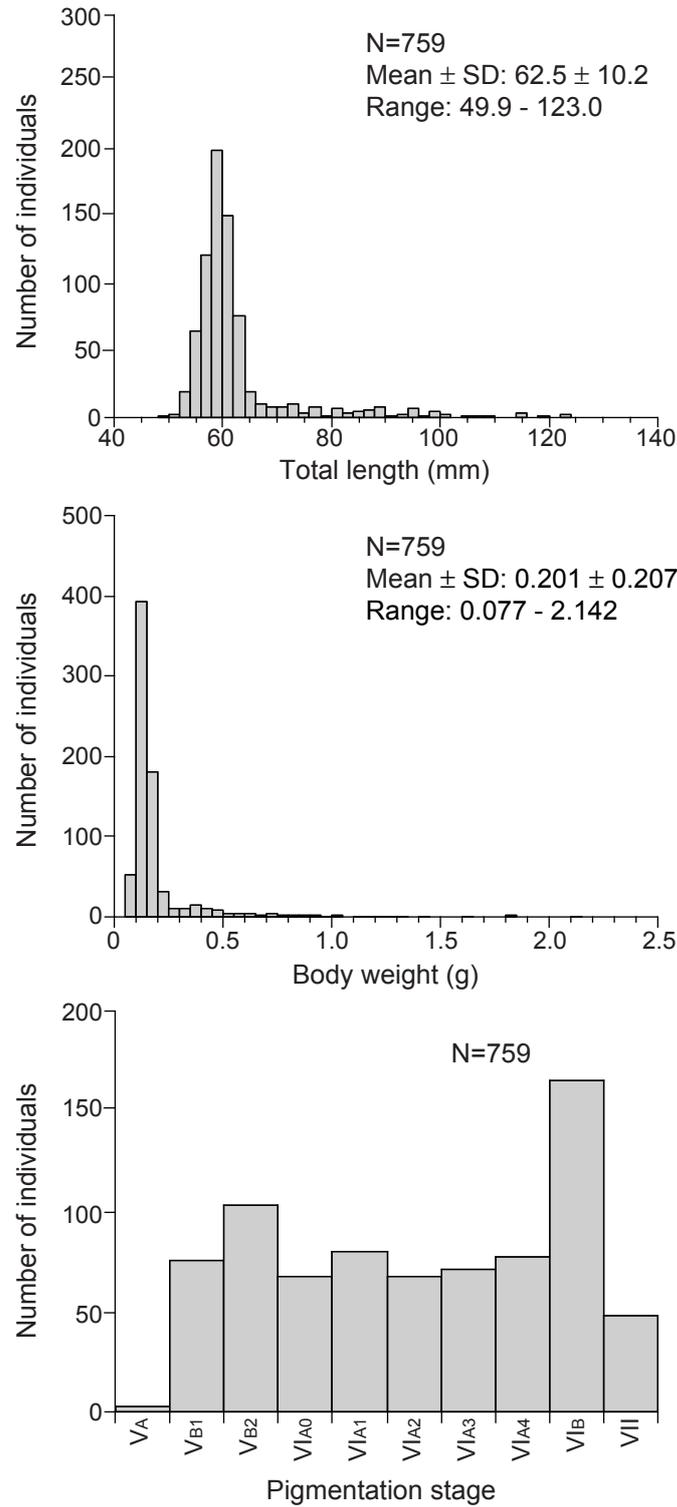


Fig. 5-2-10 Frequency distributions of total length, body weight and pigmentation stage of 0-age eels collected in the Imagawa River during May 2007 to September 2009.

Table 5-2-4 Total length (mm) of 0-age eels in each month at each station of the Imagawa River.

	St. I-1			St. I-2			St. I-3			St. I-4			Total		
	N	Mean ± SD	Range	N	Mean ± SD	Range	N	Mean ± SD	Range	N	Mean ± SD	Range	n	mean ± SD	range
Jan	1	59.1		7	57.9 ± 2.2	54.8 - 62.2							8	58.0 ± 2.1	54.8 - 62.2
Feb	35	59.1 ± 2.9	52.3 - 64.8	119	59.2 ± 2.6	53.4 - 65.8	11	58.8 ± 2.3	56.3 - 63.6				165	59.1 ± 2.6	52.3 - 65.8
Mar	65	59.7 ± 2.5	53.1 - 63.6	102	58.7 ± 2.8	49.9 - 64.0	33	58.9 ± 2.1	54.3 - 62.8				200	59.1 ± 2.6	49.9 - 64.0
Apr	41	58.3 ± 2.3	53.7 - 62.3	66	58.8 ± 2.2	52.0 - 63.1	34	59.4 ± 5.9	51.8 - 88.3				141	58.8 ± 3.5	51.8 - 88.3
May	11	57.9 ± 2.6	53.2 - 61.3	56	60.2 ± 4.7	53.0 - 73.4	51	62.2 ± 4.3	53.3 - 72.5				118	60.8 ± 4.6	53.0 - 73.4
Jun	1	55.3		29	66.5 ± 7.7	57.1 - 86.4	25	60.6 ± 3.8	55.9 - 71.2	4	82.4 ± 20.9	61.7 - 106.0	59	64.9 ± 9.4	55.3 - 106.0
Jul				43	84.3 ± 9.5	66.6 - 105.0							43	84.3 ± 9.5	66.6 - 105.0
Aug	1	115.0		11	92.2 ± 10.1	80.3 - 115.0	3	72.3 ± 5.3	66.2 - 75.9	3	90.8 ± 5.6	86.7 - 97.2	18	89.9 ± 12.7	66.2 - 115.0
Sep				2	104.6 ± 14.7	94.2 - 115.0				2	107.3 ± 16.5	95.6 - 119.0	4	106.0 ± 12.9	94.2 - 119.0
Oct							2	89.7 ± 8.6	83.6 - 95.8				2	89.7 ± 8.6	83.6 - 95.8
Nov										1	122.0		1	122.0	
Dec										2	116.0 ± 9.9	109.0 - 123.0	2	116.0 ± 9.9	109.0 - 123.0
Total	155	59.4 ± 5.2	52.3 - 115.0	435	63.1 ± 10.5	49.9 - 115.0	159	61.0 ± 5.7	51.8 - 95.8	12	97.5 ± 19.7	61.7 - 123.0			

Table 5-2-5 Body weight (g) of 0-age eels in each month at each station of the Imagawa River.

	St. I-1			St. I-2			St. I-3			St. I-4			Total		
	N	Mean ± SD	Range	n	mean ± SD	range									
Jan	1	0.135		7	0.135 ± 0.015	0.116 - 0.160							8	0.135 ± 0.014	0.116 - 0.160
Feb	35	0.134 ± 0.028	0.083 - 0.197	119	0.144 ± 0.023	0.093 - 0.217	11	0.145 ± 0.015	0.115 - 0.175				165	0.142 ± 0.024	0.083 - 0.217
Mar	65	0.134 ± 0.019	0.084 - 0.171	102	0.134 ± 0.023	0.079 - 0.181	33	0.142 ± 0.021	0.099 - 0.215				200	0.135 ± 0.021	0.079 - 0.215
Apr	40	0.114 ± 0.017	0.084 - 0.164	66	0.132 ± 0.020	0.077 - 0.174	34	0.163 ± 0.085	0.081 - 0.606				140	0.134 ± 0.048	0.077 - 0.606
May	11	0.110 ± 0.022	0.082 - 0.139	55	0.152 ± 0.064	0.088 - 0.353	51	0.203 ± 0.075	0.097 - 0.413	4	0.709 ± 0.575	0.244 - 1.431	117	0.149 ± 0.073	0.082 - 0.413
Jun	1	0.093		29	0.249 ± 0.130	0.098 - 0.626	25	0.177 ± 0.055	0.107 - 0.297				59	0.247 ± 0.044	0.093 - 1.431
Jul				43	0.532 ± 0.213	0.241 - 1.136							43	0.532 ± 0.045	0.241 - 1.136
Aug	1	1.272		11	0.885 ± 0.399	0.453 - 1.843	3	0.327 ± 0.126	0.221 - 0.466	3	0.539 ± 0.162	0.416 - 0.723	18	0.756 ± 0.407	0.221 - 1.843
Sep				2	0.982 ± 0.350	0.734 - 1.229				2	1.263 ± 0.539	0.724 - 1.801	4	1.122 ± 0.510	0.724 - 1.801
Oct							2	0.674 ± 0.134	0.579 - 0.768				2	0.674 ± 0.134	0.579 - 0.768
Nov										1	2.142		1	2.142	
Dec										2	1.407 ± 0.296	1.197 - 1.616	2	1.407 ± 0.296	1.197 - 1.616
Total	154	0.134 ± 0.095	0.082 - 1.272	434	0.209 ± 0.198	0.077 - 1.843	159	0.182 ± 0.091	0.081 - 0.768	12	0.994 ± 0.637	0.244 - 2.142			

Table 5-2-6 Monthly composition of pigmentation stages of 0-age eels caught at St. I-1, St. I-2, St. I-3 and St. I-4 of the Imagawa River. Numbers of specimens are shown.

St. I-1										
	VA	VB1	VB2	VI A0	VI A1	VI A2	VI A3	VI A4	VI B	VII
Jan			1							
Feb	1	13	14	6		2				
Mar	2	10	26	17	8	1	1			
Apr		10	5	8	6	4	5	1	2	
May				1	3	2	3	1	1	
Jun								1		
Jul										
Aug										1
Sep										
Oct										
Nov										
Dec										

St. I-2										
	VA	VB1	VB2	VI A0	VI A1	VI A2	VI A3	VI A4	VI B	VII
Jan		5			1	1				
Feb		27	37	17	27	8	3			
Mar		8	12	10	28	26	15	3		
Apr		4	7	9	6	11	12	13	4	
May					3	2	7	16	28	
Jun								6	23	
Jul								19	24	
Aug								2	9	
Sep									2	
Oct										
Nov										
Dec										

St. I-3										
	VA	VB1	VB2	VI A0	VI A1	VI A2	VI A3	VI A4	VI B	VII
Jan										
Feb			1			3	6	1		
Mar						6	16	9	2	
Apr						1	3	15	14	1
May						1		8	42	
Jun								2	23	
Jul										
Aug									2	1
Sep										
Oct										2
Nov										
Dec										

St. I-4										
	VA	VB1	VB2	VI A0	VI A1	VI A2	VI A3	VI A4	VI B	VII
Jan										
Feb										
Mar										
Apr										
May										
Jun									2	2
Jul										
Aug									1	2
Sep										2
Oct										
Nov										1
Dec									1	1

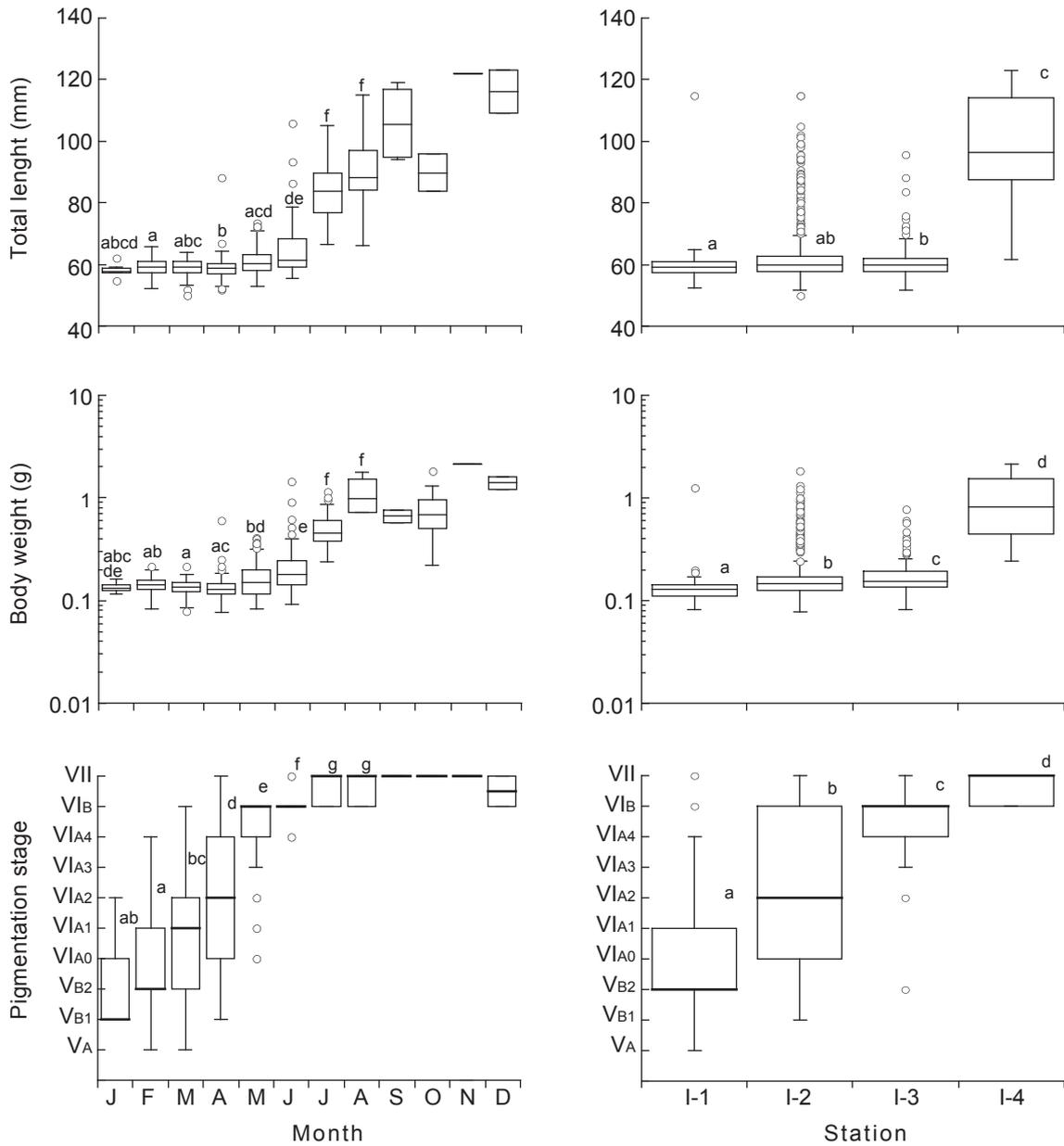


Fig. 5-2-11 Boxplots of total length (mm), body weight (g) and pigmentation stage of 0-age eels caught in each month and station at the Imagawa River during Feb 2007 to Sep 2009. Body weights were plotted on a log scale. The box and band indicate the middle 50 % and median, respectively. Whiskers in pigmentation stage indicate the maximum and minimum datum within a 1.5 interquartile range. Open circles indicate outliers. Boxes with different lower case letters are significantly different (Steel Dwass, $P < 0.05$).

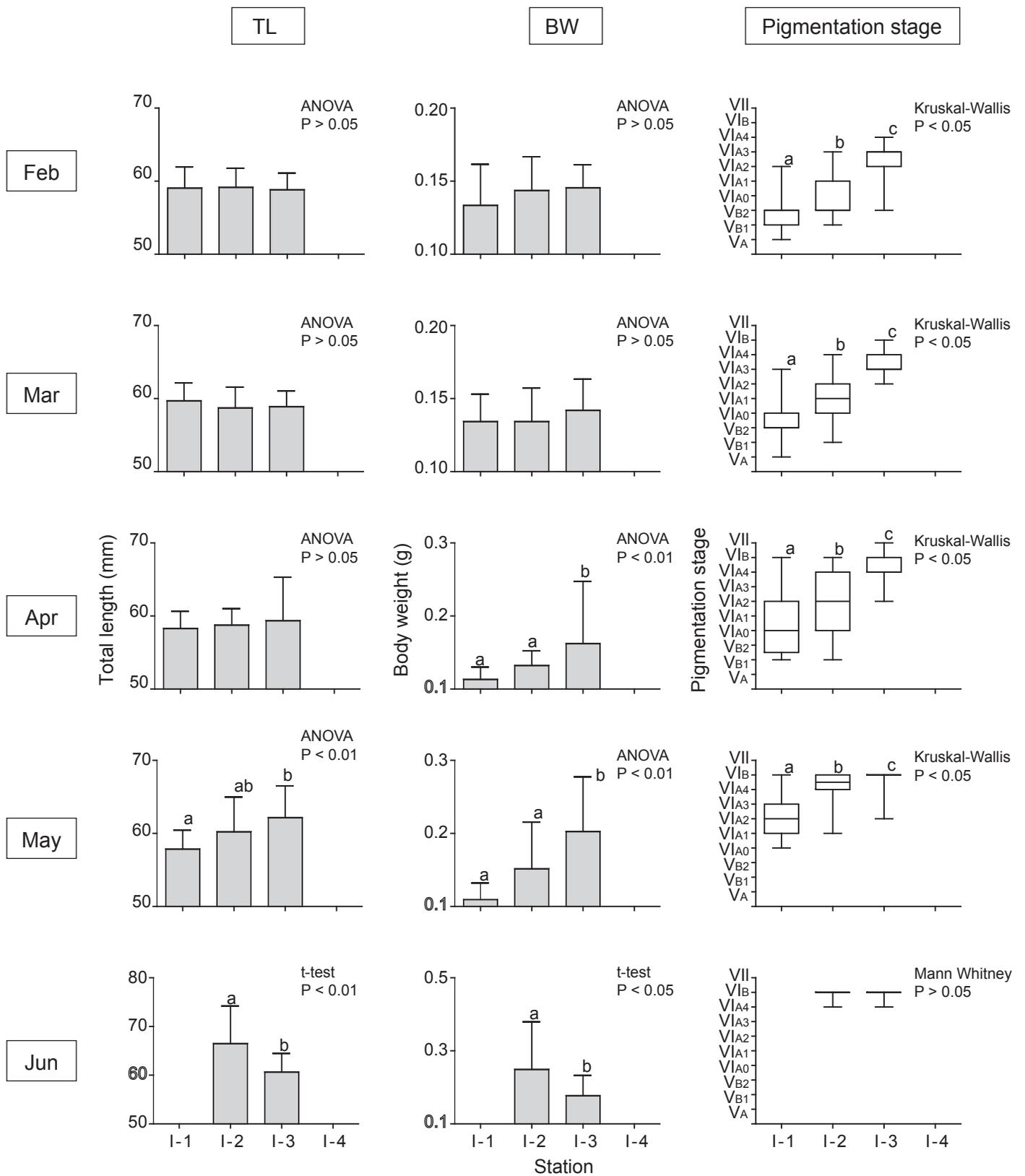


Fig. 5-2-12 Mean \pm SD total length (mm), body weight (g) and boxplots of pigmentation stage of 0-age eels caught at St. I-1, St. I-2, St. I-3 and St. I-4 of the Imagawa River in each month during February to June. The box and band in pigmentation stage indicate the middle 50 % and median, respectively. Whiskers in pigmentation stage indicate the maximum and minimum datum within a 1.5 interquartile range. Bars with different lower case letters are significantly different (TL, BW: Bonferroni's multiple comparison or t-test, pigmentation stage: Mann-Whitney test or Steel Dwass, $P < 0.05$). Groups with < 5 eels are excluded.

with Bonferroni correction, $p < 0.05$), 6月には St. I-2 の体重は St. I-3 に比べて有意に大きかった (t-test, $p < 0.05$)。色素発達段階は, 2月から5月には定点間で有意に異なり (Kruskal Wallis, いずれも $p < 0.05$), 上流ほど進んでいた (Steel Dwass, $p < 0.05$)。

第7項 色素発達段階ごとの全長・体重・肥満度

採集した個体の色素発達段階は, 時期の経過とともに進行し, 同じ月でも上流の定点ほど進んでいることを前項で記した。ここでは, 同じ色素発達段階であっても, 出現時期が早かった個体と遅かった個体で全長, 体重, 肥満度に違いがあるか, さらに同じ月, 同じ色素発達段階であっても, 下流と上流の個体ではその全長, 体重, 肥満度に違いがあるかを調べた。

まず, 同じ色素発達段階であっても, 採集月によってその全長, 体重, 肥満度が異なるかを調べたところ, 全長は $V_{B1} \sim VI_{A4}$ において, 採集月間で違いはなく (ANOVA, いずれも $p > 0.05$), VI_B の全長は採集月間で異なり ($p < 0.001$), 4月から8月にかけて月の経過とともに増加する傾向が見られた (Fig. 5-2-13)。VII (黄ウナギ) の全長は, 7月と8月で有意な違いは認められなかった。体重は V_{B2} , VI_{A0} , VI_{A2} , VI_{A4} において採集月間で有意な違いはなく (ANOVA, いずれも $p > 0.05$), V_{B1} , VI_{A1} , VI_{A3} では採集月間で有意に異なり (いずれも $p < 0.05$), 月の経過とともに減少する傾向が認められた (Fig. 5-2-13)。一方, VI_B と VII の体重は採集月間で有意に異なり (いずれも $p < 0.001$), 月の経過とともに増加する傾向が見られた (Fig. 5-2-13)。肥満度は V_{B2} , VI_{A2} , VI_{A4} , VI_B において採集月間で有意な違いは認められなかったが (いずれも $p > 0.05$), V_{B1} , VI_{A0} , VI_{A1} および VI_{A3} の肥満度は採集月間で有意に異なり (いずれも $p < 0.05$), 月の経過とともに減少する傾向が認められた。また, VII では8月の肥満度は7月に比べて有意に高かった (t-test, $p > 0.001$, Fig. 5-2-13)。これらのことから, VI_{A4} 以前の段階では, 同じ色素発達段階であっても, 月の経過とともに体重と肥満度は減少する傾向があり, 一方, VI_B および VII では, 月の経過とともに全長と体重が増加する傾向があることがわかった。

2月~6月の各月において, 同じ色素発達段階であっても, 定点間でその全長, 体重, 肥満度が異なるかを調べたところ, その体重と肥満度は上流の定点で大きい傾向にあった (Fig. 5-2-14)。2月~5月では, 3月の VI_{A2} を除いて, 全長は定点間で有意な違いはなかったが (t-test, $p > 0.05$), 体重と肥満度は採集月と色素発達段階の18の組み合わせにおいて, 上流で有意に大きかった ($p < 0.05$, Fig. 5-2-14)。6月では, それまで上流ほど大きかった全長と体重の傾向は逆転し, St.I-2 における VI_B の全長と体重は上流の St. I-3 に比べて大きかった (Fig. 5-2-14)。

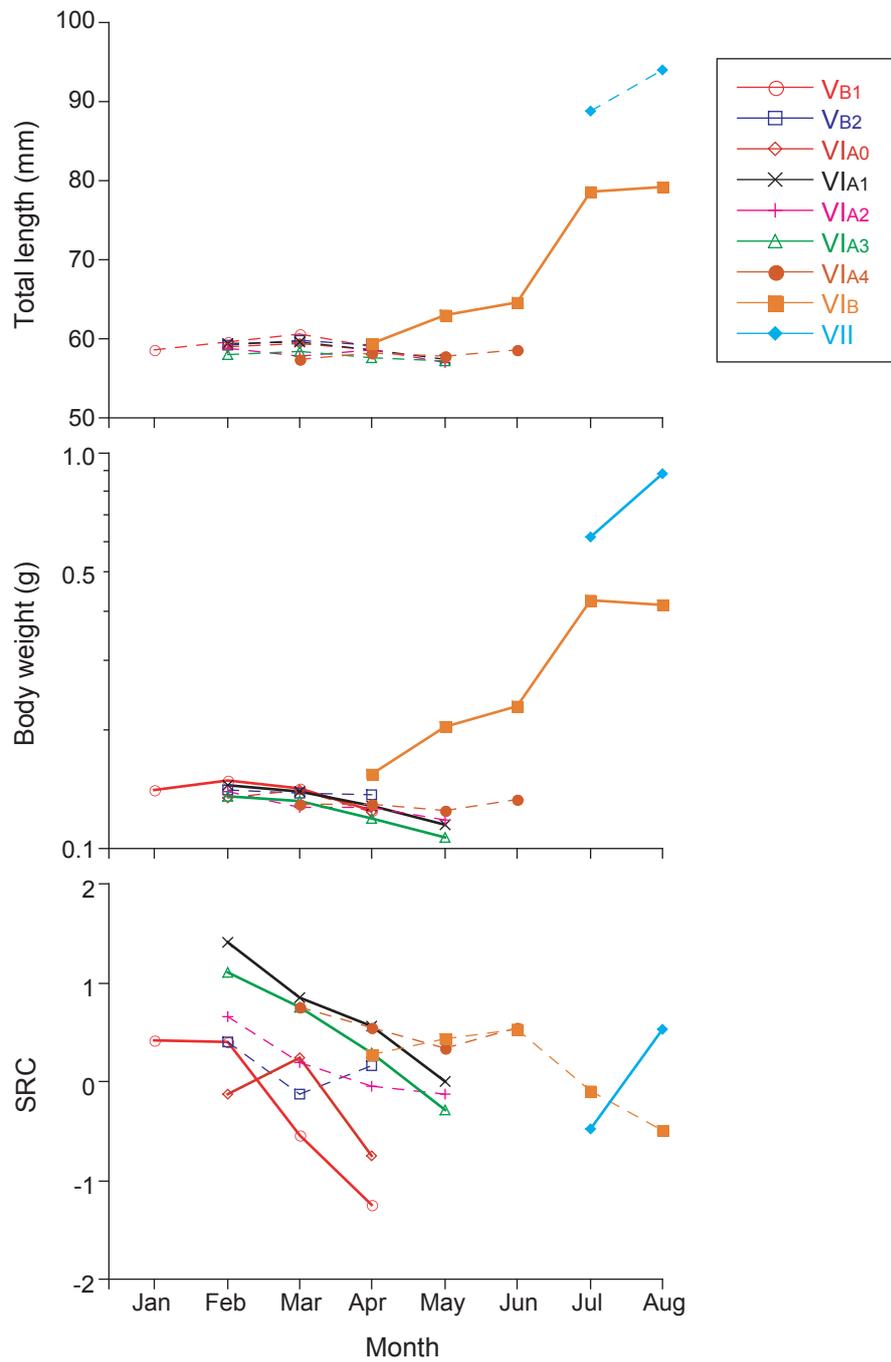


Fig. 5-2-13 Monthly change of mean total length, body weight and standardized relative condition (SRC) at each pigmentation stage of 0-age eels in the Imagawa River. Body weights were plotted on a log scale. Solid lines indicate significant differences among months (t-test or ANOVA, $P < 0.05$). Groups with < 5 eels are excluded.

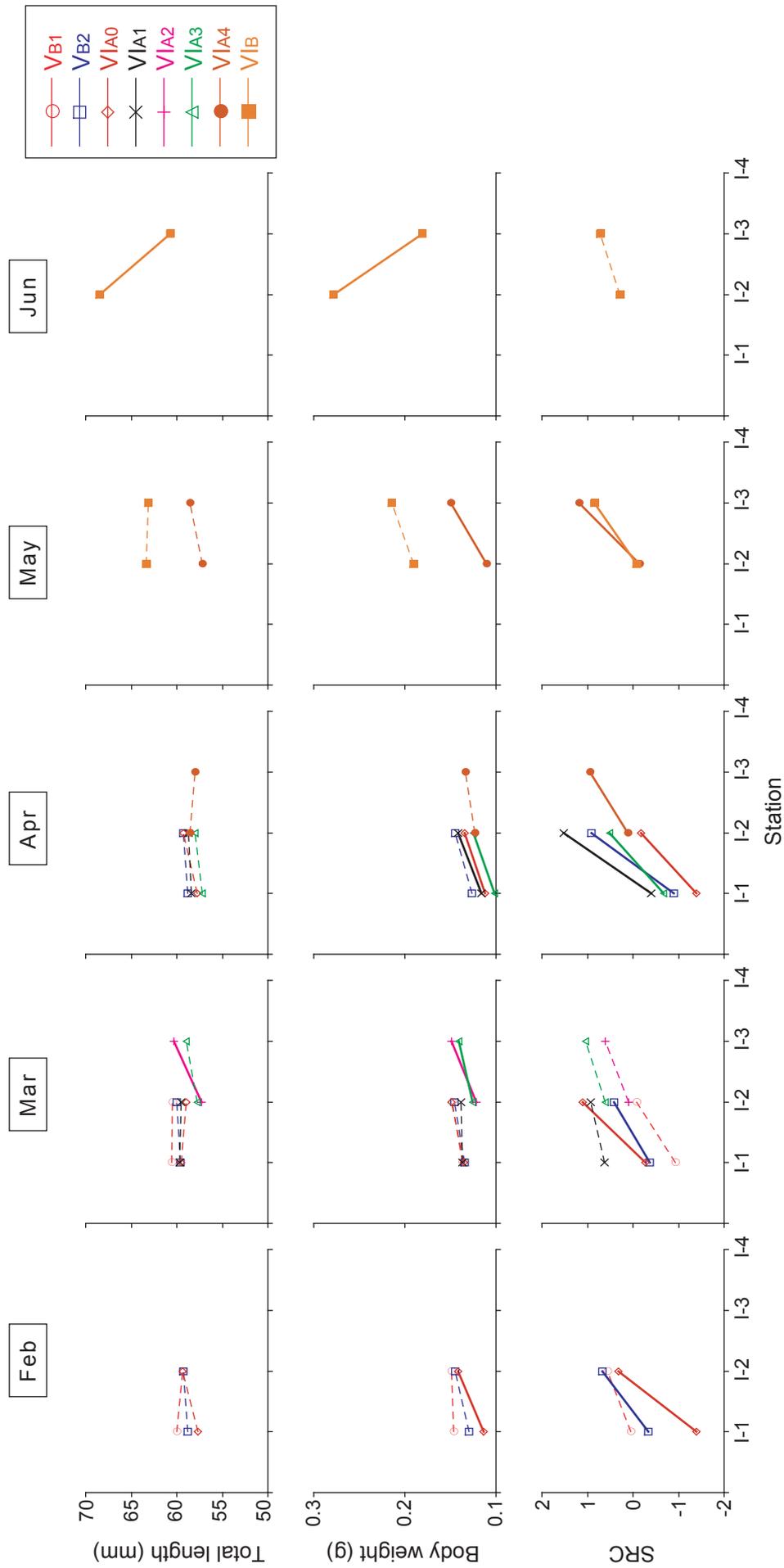


Fig. 5-2-14 Comparison of mean total length, body weight and standardized relative condition (SRC) at each pigmentation stage of 0-age eels in each month among sampling sites (St. I-1, St. I-2, St. I-3 and St. I-4) in the Imagawa River. Solid line indicates significant difference among months (t-test, $P < 0.05$). Groups with < 5 eels are excluded.