

## 多摩川中流におけるアユの遡上数推定の試み

高瀬智洋<sup>1\*</sup>・橋本 浩<sup>2</sup>・安斎武治<sup>1</sup>

### Attempt of estimating the number of ayu (*Plecoglossus altivelis altivelis*) migrating upstream in the middle reach of Tama River

Tomohiro TAKASE\*, Hiroshi HASHIMOTO and Takeharu ANZAI

**Abstract:** In the middle reach located 47.8 km from the estuary in Tama River, we investigated the number of ayu (*Plecoglossus altivelis altivelis*) migrating upstream for 10 weeks from May to July, 2015. It was estimated by the area-under-the-curve method (AUC) with the standard error based on the bootstrap method. The estimated total number of ayu migrating upstream was 10,023 individuals, and the standard error was 4,814. This is the first report to estimate the number of ayu upstream migrating in the middle reach of Tama River. Based on the results of age and otolith Sr/Ca ratio in 20 specimens, seawater history was confirmed in all the specimens. So, ayu collected at the survey point were considered natural resources.

**Key Words:** *Plecoglossus altivelis altivelis*; middle reach of Tama River; upstream migration; estimation of number

\* Corresponding author: Tokyo Metropolitan Islands Area Research and Development Center for Agriculture, Forestry and Fisheries. 2-7-104 Kaigan, Minatoku, Tokyo, 105-0022, Japan.

Tomohiro\_Takase@member.metro.tokyo.jp

アユ *Plecoglossus altivelis altivelis* は、内水面漁業における重要魚種の一つで、両側回遊型の生態をもつ。毎年、春になると海から川へと遡上し、中上流域で成長する。

多摩川では、戦後の高度経済成長期に環境汚染により、天然アユの遡上が見られなくなった。しかし、環境改善が徐々にすすみ、1975年頃に再び天然アユの遡上を確認され(小泉1996)、近年では、推定100万尾以上が遡上するに至っている(東京都島しょ農林水産総合センター <http://www.ifarc.metro.tokyo.jp/22,20087,44.html>)。この増加した天然アユ資源を維持していくとともに、更なる活用をしていこうとの機運が高まっている。

一方、上流域では、天然アユの遡上数が増えたとの実感は乏しい。下流域に100万尾以上の遡上があったとしても、上流域までには河川横断構造物も複数あり、資源を維持、活用できるほど上流には遡上していない

との意見は根強い。天然アユ資源を流域全体で維持、活用していくためには、下流域に限らず、中上流域についても遡上実態を把握し、それに基づいて対策を検討することが望ましい。

しかしながら、過去に天然遡上そのものが見られなくなり、中上流域では遡上に関する調査自体が皆無であった。天然遡上が下流域で再び見られるようになって以降も、中上流域におけるアユの遡上については、標識放流した天然アユの再捕記録や遡上速度の報告(前田・藤原2011)にとどまる。

そこで、本研究では、天然アユの遡上が増加した中、まずは中流域で、どのくらいのアユが遡上しているのか定量的に把握することを試みた。なお、例年、中流域から下流域では、上流域ほど多くはないものの数万尾の人工種苗を中心としたアユが放流されている(東京都産業労働局農林水産部水産課2015)。人工種苗は、とびはね行動、遊泳力ともに天然アユに劣り(相川

1 東京都島しょ農林水産総合センター振興企画室 〒105-0022 東京都港区海岸2-7-104

2 東京都島しょ農林水産総合センター大島事業所 〒100-0212 東京都大島町波浮港18

2008), 遡河性に乏しい (内田 1990)。そのため, 中流域を遡上していくアユの大半が天然アユと想定されるが, 確認はされていない。今回, 調査地点で採取したアユの一部について, 耳石の日齢および Sr/Ca 比を解析し, その生活履歴から天然遡上アユであることを確認したので併せて報告する。

材料および方法

アユの遡上数調査

流程 138 km の多摩川において, 河口より 47.8 km に位置する昭和用水堰にて調査を行った (Fig. 1)。本地点が含まれる田園調布取水堰から青梅市 (河口から約

60 km) までの区間は, 河川勾配は 1/700 ~ 1/200, 河川形態は Bb 型ないし Bb - Bc 移行型であり, 中流域に相当する (可児 1944, 加藤 2011)。本調査地点は,

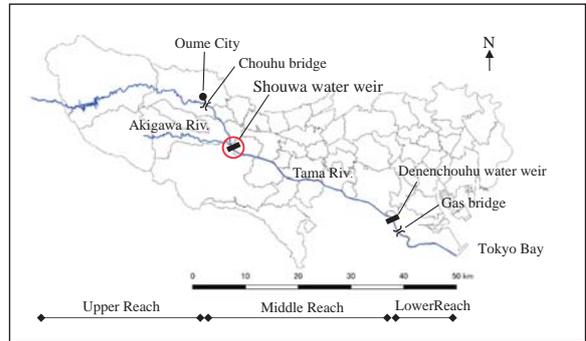


Fig. 1 Location of the Shouwa water weir.

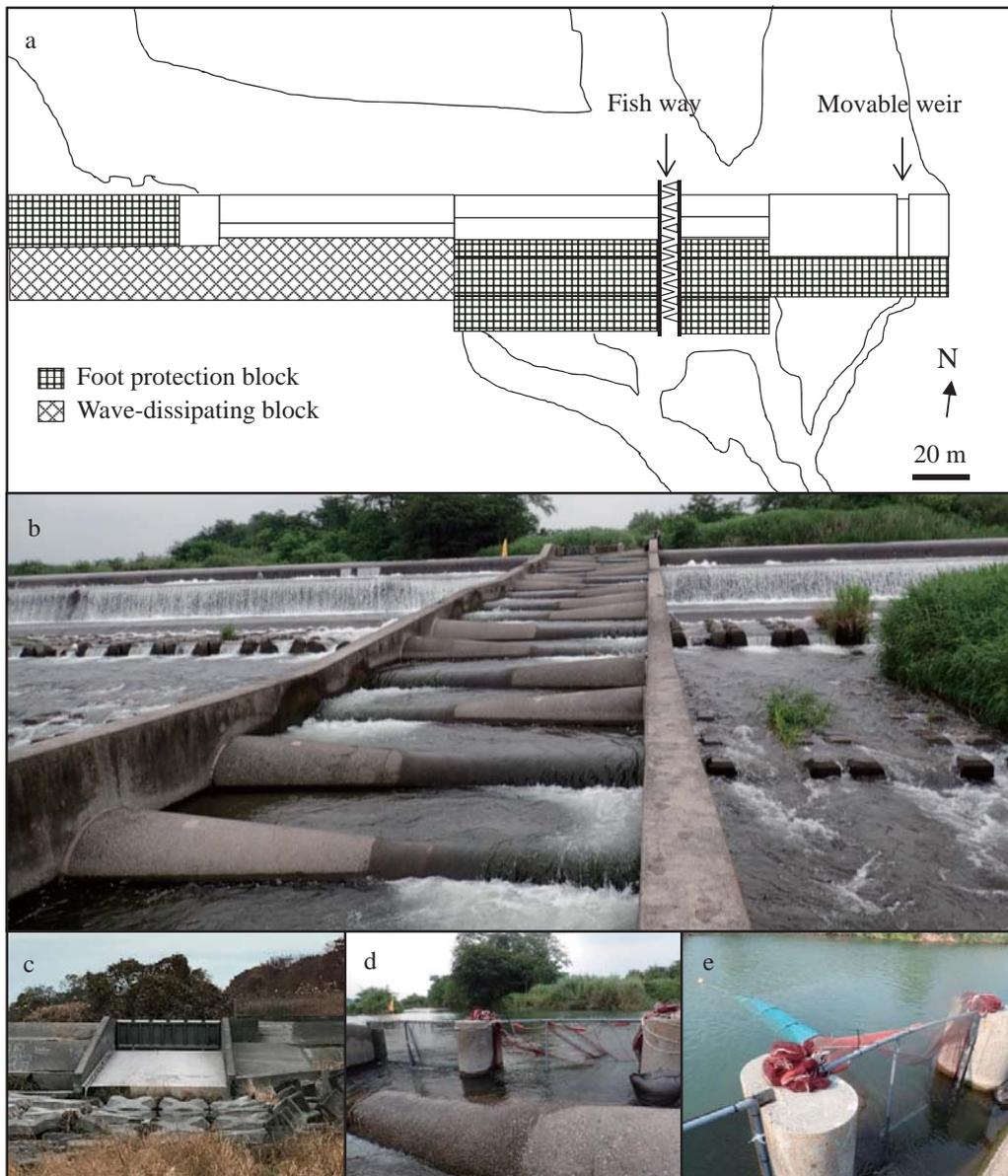


Fig. 2 Structure and photographs of Shouwa water weir. a, Structure of Shouwa water weir; b, Shouwa water weir from the downstream side; c, Movable weir from the downstream side; d, e, Fixed net set on upstream of fishway.

代表的な支流である秋川との合流地点直下に位置し、アユが上流域へと遡上する途中の地点として重要である。

昭和用水堰は堰長 349.1 m で（東京都水産試験場 1989），大半が固定堰であるが，左岸側に可動堰があり，中央寄りには 1999 年に改築されたハーフコーン型魚道（幅員 6.0 m，全長 56.7 m，勾配 1/10，落差 5.28 m，コーン径：大径 80 cm，小径 30 cm）を備える（Fig. 2a, 2b）。固定堰は高さ 2.0 m に達し（Fig. 2b），また可動堰は豪雨等を除き倒伏しないことから（Fig. 2c），平水時においてアユは魚道のみを遡上するとみなせる。そこで，魚道の upstream 開口部に定置網を設置して（Fig. 2d, 2e），平水時におけるアユ遡上数の調査を行った。

調査は，2015 年の天然アユ遡上期に行った。期間は，下流域のガス橋付近（Fig. 1）で行われている遡上数調査（<http://www.ifarc.metro.tokyo.jp/22,16308,44.html>）および前田・藤原（2011）の昭和用水堰までのアユの遡上速度 1.08 km / 日を参考に，昭和用水堰における天然アユの主たる遡上期とみられる 5 月 26 日から 10 週間とした。

期間中，1 回あたり連続 48 時間の採集を目安に，定置網を設置して入網した魚類を計数した。定置網は 2015 年 5 月 26 ~ 29 日，6 月 2 ~ 4 日，6 月 10 ~ 11 日，6 月 16 ~ 18 日，6 月 23 ~ 26 日，6 月 29 ~ 7 月 1 日，7 月 7 ~ 9 日，7 月 13 ~ 15 日，7 月 28 ~ 30 日の 9 回設置した。

定置網には，間口 69.0 cm，輪の直径 38.4 cm，胴網と袋網の合計の長さが 304 cm で目合 4 mm のものを用いた。アユについては一部を耳石分析用に持ち帰ったが，それ以外はその場で放流した。

なお，昭和用水堰の流域近傍には，水位観測を行っ

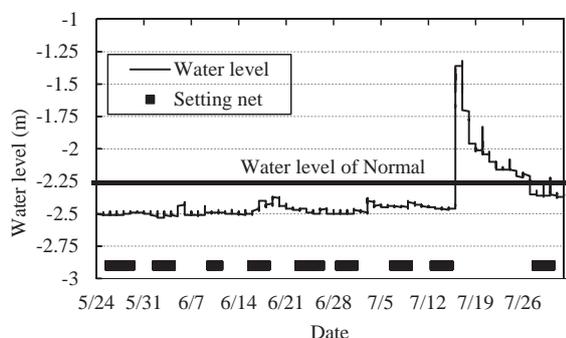


Fig. 3 Changes in water level at the Choufu bridge during the survey period and setting period of fixed net in the Showa water weir. It was assumed that the water level was -2.25 m or less as normal. During the 10 weeks, the fixed net was set nine times in approximately 48 hours once.

ている調布橋水位観測所（Fig. 1）がある（国土交通省水文学データベース <http://www1.river.go.jp/>）。この観測地点（水位標の 0 点高 A. P. 147.4 m）における時間別水位で -2.25 m 以下を平水時と仮定し，それを上回っていた 7 月 16 ~ 23 日の間は非平水時で（Fig. 3），増水および濁水のため，アユの遡上はないとし，その間の遡上数を 0 尾とした。

当該期間中の昭和用水堰における平水時のアユの推定総遡上数を，定置網への入網数結果を基礎に Area-Under-the-Curve（AUC）法により推定した。AUC 法は遡上数推定方法の一つで，サケ属魚類で用いられている（横山ら 2010）。本法は遡上数の実測値を図上にプロットし，実測値（折れ線）と X 軸（日数）間の面積を下式に基づき，台形近似して遡上数を推定する方法である。

$$x_i = \frac{c_i}{r_i} \times 24$$

$$AUC = \sum_{i=2}^n \frac{(t_i - t_{i-1})(x_i + x_{i-1})}{2}$$

ここで， $x_i$  は調査回次  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) における日間遡上数， $c_i$  は調査回次における定置網へのアユ入網数， $r_i$  は調査回次における定置網設置時間数， $t_i$  は調査回次における調査開始日，AUC は平水時におけるアユの総遡上数である。なお，非平水時の 7 月 16 ~ 23 日の間については，7 月 16 日並びに 7 月 23 日を調査開始日とする調査回次を仮定し，その回次における日間遡上数を 0 とみなした。AUC 法により推定した遡上数の誤差は，ブートストラップ法（Efron and Tibshirani 1993）により算出した。具体的には，日間遡上数  $x_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) のくり返しを許して  $i$  個リサンプリングし，遡上数を推定することを  $B$  回くり返し，次式により算定した。

$$SE(AUC) = \sqrt{\frac{\sum_{b=1}^B (AUC_b - AUC_{bm})^2}{B - 1}}$$

ここで， $SE(AUC)$  は AUC 法により推定した調査期間におけるアユ推定遡上数の標準誤差， $AUC_b$  は反復回数  $b$  回における AUC のブートストラップ推定値， $AUC_{bm}$  はブートストラップ推定値の平均値を表す。なお，ブートストラップのサンプルは，繰り返しを許して，平水時に取ったデータのみを用いて，データと同じ数の日間遡上数をリサンプリング（9 回）した。非

平水時については、7月16日と23日における日間遡上数を0尾で固定し、かつりサンプリングから外した。ブートストラップ反復は1,000回行った。パーセントイル法による95%信頼区間の算定方法は、ブートストラップ・サンプルの $a$ 番目を下側信頼限界、 $(1-a)$ 番目を上側信頼限界とした。ただし、 $a$   $B$  および  $(1-a) B$  は自然数であり、 $a = 0.025$  である (Efron and Tibshirani 1993)。

### 耳石の日周輪および Sr/Ca 比

2015年6月3日および7月15日に入網したアユのうち各10尾を試料とした。各試料について、標準体長を測定した。耳石(扁平石)の摘出、日周輪の観察および Sr/Ca 比分析を、一般財団法人九州環境管理協会に委託し、下記の方法で実施した。

摘出した左右の耳石のうち損傷の少ない側について、付着物を除去後、エタノール中で洗浄した。耳石の凸面が上になるように Luft 法によりエポキシ樹脂(日新 EM 社, Quetol812)に包埋した。耳石の核が露出するまで凸面から耐水サンドペーパー(#180~1,500)および超精密仕上げ用研磨フィルム(#3,000~10,000)で研磨し、1  $\mu\text{m}$  のダイヤモンドペーストで研磨面を鏡面仕上げした。

耳石日周輪の観察は、Tsukamoto and Kajihara (1987)に従い、光学顕微鏡(100~200倍)を用い、孵化時の耳石の直径を28  $\mu\text{m}$  として(塚本1991)、その外側から周縁部までの輪紋数を日齢とし計数した。

耳石日周輪観察後の試料については、研磨面に金蒸着を施し、波長分散型電子線マイクロアナライザー(以下 EPMA, JXA8200 型, 日本電子)分析に供した。測定条件を加速電圧15kv, 電流値  $5 \times 10^8$  A に設定し、直径5  $\mu\text{m}$  の電子ビームを5  $\mu\text{m}$  間隔で各点1秒間照射し、耳石核から輪紋計数を行った直線に沿って縁辺まで Sr および Ca の X 線強度を線分析した。Sr と Ca の X 線強度の濃度変換(重量%)には SrTiO<sub>3</sub> 99.99% (No.025, JEOL 社製) と CaSiO<sub>3</sub> 99.29% (No. M8, JEOL 社製) を標準試料として用い、データ解析

においては Sr と Ca の濃度比を1,000倍にした値を用いた(以下, Sr/Ca 比)。

なお、試料の1つ(No. 16)については、加速電圧15 kv, 電流値  $5 \times 10^8$  A, 測定時間0.1秒, 画素の大きさ10  $\mu\text{m}$  とし(海野ら2007), 面分析により、マップ上に Sr/Ca 比を算出した。マッピングの結果から代表的なラインを選んで、耳石の中央部から周縁部までの Sr/Ca 比を抽出した。

日齢査定および耳石 Sr/Ca 比の分析結果から、発育に伴う耳石上の Ca と Sr の濃度変化を調べた。

## 結果

### アユの推定遡上数

定置網調査の結果、各調査回次におけるアユの入網数は最多1,895尾、最少1尾で、日間遡上数にすると、最多874.62尾、最少0.45尾となった(Table 1)。

AUC 法による調査期間におけるアユの推定総遡上数は10,023尾となった(Fig. 4)。ブートストラップ法により求めた標準誤差は4,814尾、95%信頼区間は2,917~21,210尾となった。

アユ以外に入網した魚類は、オイカワ *Zacco platypus* 69尾、ウグイ *Tribolodon hakonensis* 7尾、アブラハヤ *Phoxinus lagowskii steindachneri* 2尾、カワムツ *Zacco temminckii* 2尾、シマドジョウ *Cobitis biwae* 2尾、ジュズカケハゼ *Gymnogobius laevis* 2尾、ヤマメ *Oncorhynchus masou masou* 1尾そしてヨシノボリ属複数種 *Rhinogobius* spp. 12尾であった。入網した魚類

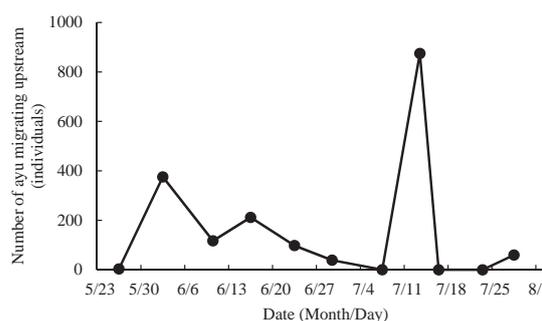


Fig. 4 Estimated the number of ayu migrating upstream.

Table 1 Outline of survey in Shouwa water weir

Survey times (i)	1th	2th	3th	4th	5th	6th	7th	8th	9th*	10th*	11th
period	5/26-29	6/2-4	6/10-11	6/16-18	6/23-26	6/29-7/1	7/7-9	7/13-15	7/16	7/23	7/26-8/1
Amount of time setting net (h): $r_i$	68	52	24	49	69	45	53	52	0	0	47
Number of collected ayu (inds.): $c_i$	10	814	117	428	283	73	1	1,895	0	0	117
$c_i/r_i$ (inds/h)	0.15	15.65	4.88	8.82	4.08	1.62	0.02	36.44	0.00	0.00	2.48
$x_i$ (inds/day)	3.53	375.69	117.00	211.79	97.96	38.93	0.45	874.62	0.00	0.00	59.64

\* When the water level was higher than normal

のうちアユが占める割合は98%であった。魚類以外には、モクズガニ *Eriocheir japonica* 5 個体、スジエビ *Palaemon paucidens* 2 個体、カワリヌマエビ属の一種 *Neocaridina* sp. 22 個体が入網した。

### 耳石日周輪および Sr/Ca 比分析

2015 年 6 月 3 日および 7 月 15 日に入網したアユのうち分析に供した計 20 検体の標準体長は 52.3 ~ 112.7 mm, 日齢は 156 ~ 264 日であった (Table 2)。また, 日齢から推定される孵化日は, 2014 年 10 月 6 日 ~ 12 月 29 日となった (Table 2)。

耳石 Sr/Ca 比について, 線分析および面分析の結果, 全ての検体において日齢の前半では Sr/Ca 比 4 程度となるが, 途中低下し, 日齢の後半においては 2 程度で推移するチャートパターンとなった (Fig. 5, 6)。

### 考 察

#### アユの由来の確認

本調査地点で採取したアユの日齢と耳石 Sr/Ca 比の分析の結果, 20 検体全てにおいて, 日齢の前半では

Table 2 Results of age analysis by otolith of collected ayu

No.	Collected date	Standard (mm)	Age (days)	Hatching date
1	Jun. 3, 2015	80.5	216	Oct. 30, 2014
2		79.0	156	Dec. 29, 2014
3		59.4	219	Oct. 27, 2014
4		69.1	166	Dec. 19, 2014
5		68.6	185	Nov. 30, 2014
6		61.1	240	Oct. 6, 2014
7		65.3	236	Oct. 10, 2014
8		57.3	206	Nov. 9, 2014
9		58.2	227	Oct. 19, 2014
10		52.3	220	Oct. 26, 2014
11	Jul. 15, 2015	112.7	241	Nov. 16, 2014
12		105.5	244	Nov. 13, 2014
13		95.1	245	Nov. 12, 2014
14		90.8	235	Nov. 22, 2014
15		94.1	231	Nov. 26, 2014
16		83.9	242	Nov. 15, 2014
17		94.2	256	Nov. 1, 2014
18		89.8	241	Nov. 16, 2014
19		95.2	229	Nov. 28, 2014
20		83.4	264	Oct. 24, 2014

Table 3 Origin and quantity of ayu released in downstream from Shouwa water weir by birth cards

Release Date	Origin	Quantity of release Weight (kg)	Date of starting intermediate breeding	Date of collecting eggs
2015/5/26	Hatchery-reared	190	-	2014/9/20 ~ 10/8
2015/5/28	Hatchery-reared	210	-	2014/9/20 ~ 10/8
2015/5/30	Hatchery-reared	134	2015/1/13	-

-: no description

Sr/Ca 比 4 前後で推移し, その後緩やかに低下し, 日齢後半では 2 前後で推移するチャートが描かれた (Fig. 5, 6)。耳石中の Ca 含量は生息場所に関係なくほぼ一定であるが, Sr 含量は海に生息していた場合は高く, 淡水中では激減する (Secor *et. al.* 1995, Otake and Uchida 1998), 日齢の増加に伴う耳石 Sr/Ca 比の低下は, 高塩分環境から低塩分環境へ移行を示唆する。

一般に, 日齢と耳石 Sr/Ca 比の関係は, 湖産アユ, 天然アユ, 人工種苗アユで, それぞれ独自のチャートパターンをもつ。湖産アユは, 仔稚魚期から放流される幼魚期まで一貫して淡水で飼育されるため, 日齢と耳石 Sr/Ca 比に大きな変化はなく, 終始 2 程度の低レベルで推移する (Otake and Uchida 1998)。一方, 天然のアユについては, 孵化後直ちに降海し, 河口周辺の砂浜の波打ち際を主要な生息場所としながら生長する。その後, 春から初夏に河川を遡上する。Sr/Ca 比は, 孵化後海域の環境の影響を受け, 一般的に耳石核からは 7 以上で推移し, その後緩やかに低下する変化がみられる (大竹 2007)。なお, 植野ら (2012) は, 大阪府の大和川の天然アユの仔稚魚期の耳石 Sr/Ca 比が 4 程度であることを報告し, 間野ら (2014) は, 耳石 Sr/Ca 比が 4 以上あれば降海履歴があると判断している。人工種苗アユは, 淡水中で産卵させ, 孵化後 4 ~ 5 日から約 3 ヶ月程度まで 1/3 濃度の海水で飼育される。稚魚は, その後 3 ~ 4 ヶ月程度淡水で慣らした後に放流される。希釈海水で飼育されるため, 耳石 Sr/Ca 比は, 天然アユと同様に仔稚魚期に高く, その後低下する傾向を示す。希釈海水から淡水に移されるため, Sr/Ca 比が急激に低下すること, 天然アユに比べ海水での生活履歴が短いことが特徴である (清家ら 2002, 海野ら 2007)。

今回分析に供した 20 検体は, いずれもふ化後から採捕までの間に Sr/Ca 比が 2 を明らかに超える期間があり, 湖産アユではなかった。また, No. 2, 11, 16 および 18 の 4 検体を除くと, 海水もしくは汽水域での生活履歴が 4 か月間以上認められた (Fig. 5, 6)。なお, 本調査地点より下流で, 流域の漁業協同組合により 3 回にわたりアユ人工種苗が放流されている。それ

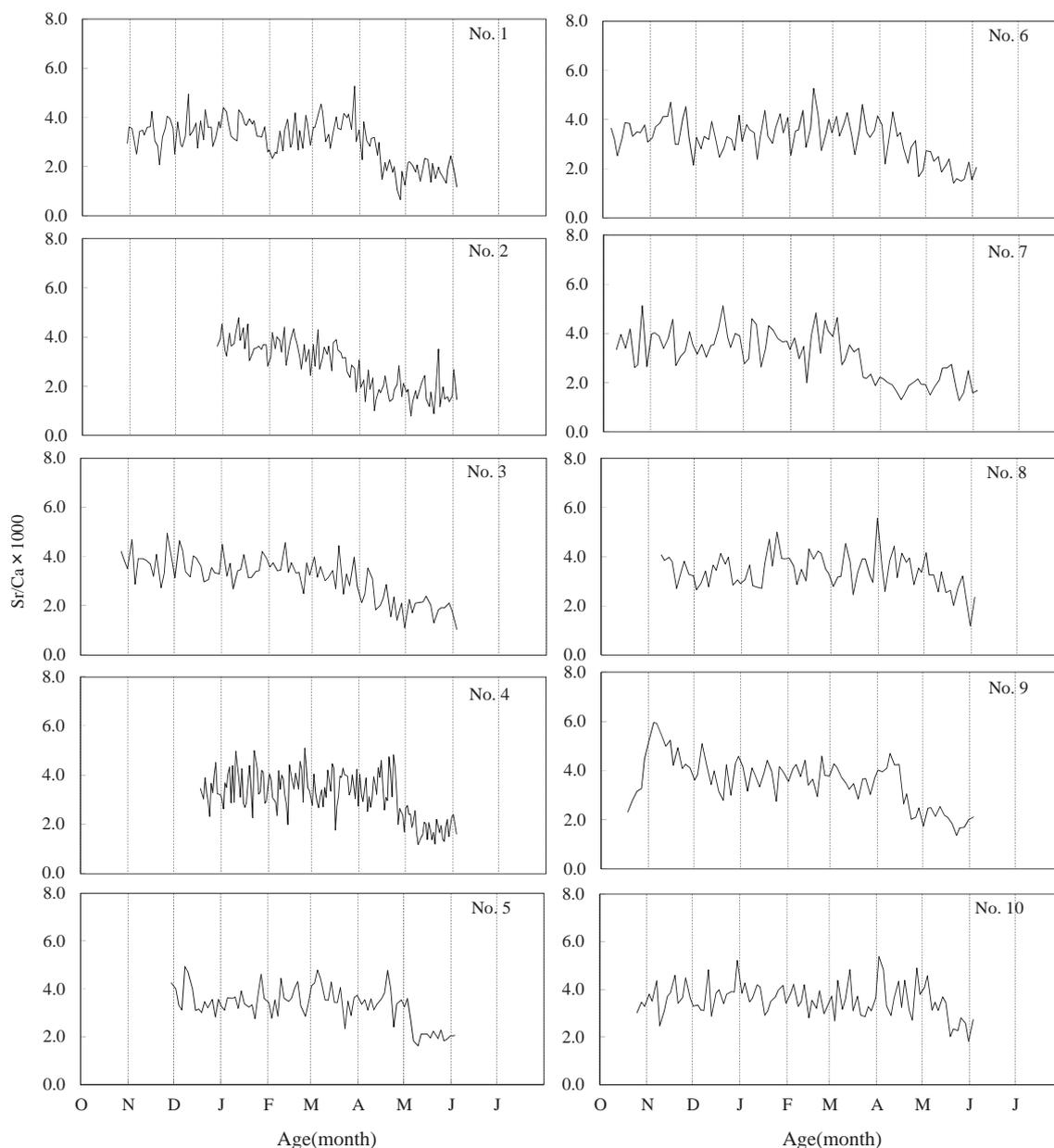


Fig. 5 Changes in otolith Sr/Ca ratio of ayu from hatching date to collected date, collected by fixed net in June 3, 2015.

ら放流種苗の来歴カードを入手し、その4検体の日齢と耳石 Sr/Ca 比分析結果を照合させた結果、5月26、28日放流種苗とは孵化日が明らかに異なる (Table 2, 3)。そして、5月30日放流種苗は、1月13日から淡水飼育に移行したが、4検体の中に、それに同期して耳石 Sr/Ca 比が低下した個体はなかった。これらより、20検体はいずれも、本調査地点より下流で放流された人工種苗にも該当せず、天然アユと判断された。

#### アユの推定遡上数

調査期間中に昭和水堰の魚道を遡上したアユの総数は10,023尾、標準誤差は4,814尾、95%信頼区間は2,917～21,210尾と推定された。本調査地点は魚道以

外に遡上ルートがないこと、一般に濁りを嫌うアユは急な増水時には遡上しないと考えられることから、これらの推定数は調査期間におけるアユの遡上数の範囲を表すと考えられる。

2015年の多摩川下流域のガス橋(河口から約11.0km)における推定遡上数は435万尾(東京都島しょ農林水産総合センター <http://www.ifarc.metro.tokyo.jp/22,16308,44.html>)であった。この値を基準にすると、下流域に遡上した稚アユのうち、中流域にある昭和水堰まで遡上した天然アユの割合は、点推定で0.23%、95%信頼区間では0.07～0.49%であった。この割合について、同年のうちに下流域と中流域の両方で遡上数調査をした他河川の報告がなく比較できなかった。しか

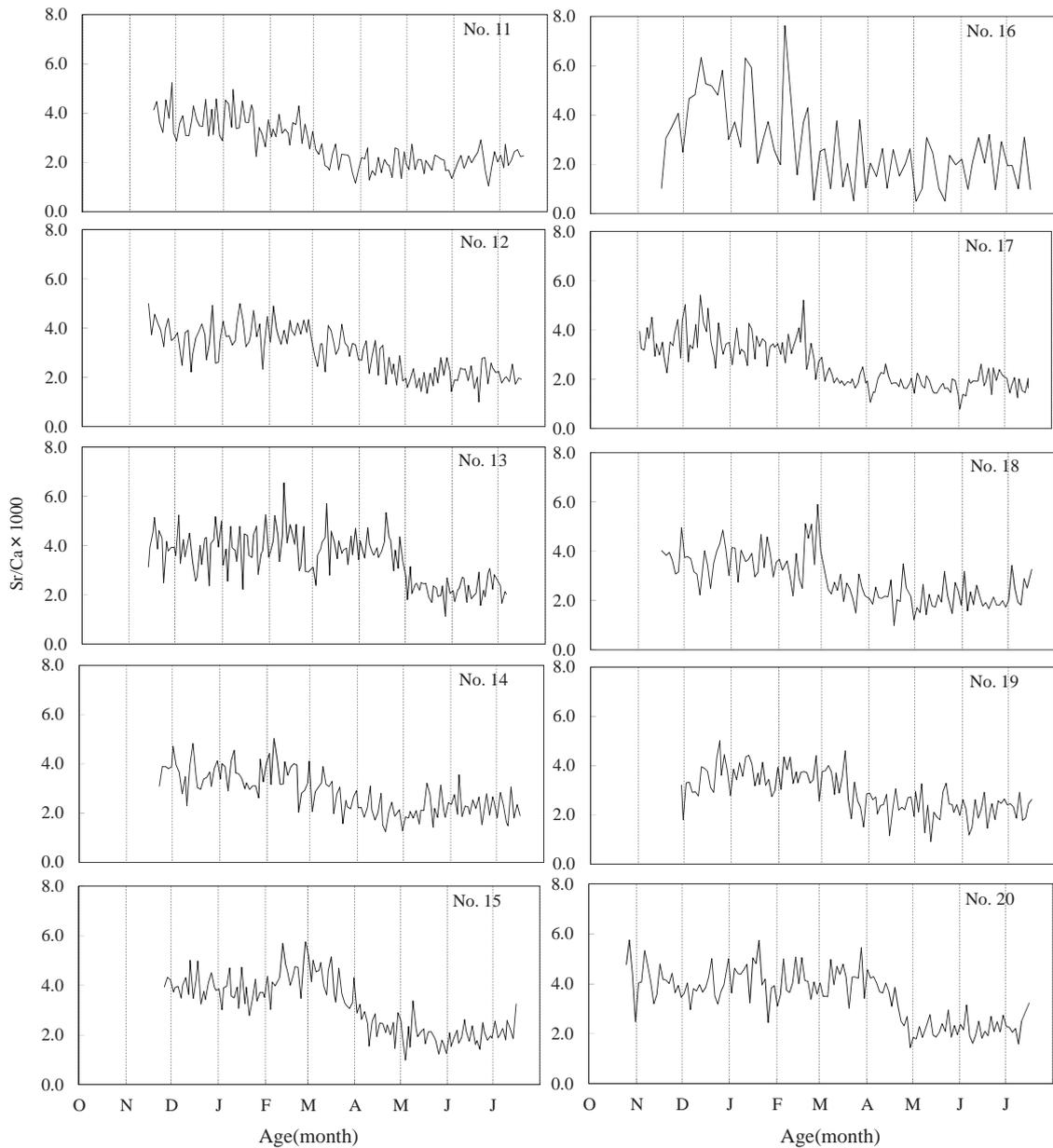


Fig. 6 Changes in otolith Sr/Ca ratio of ayu from hatching date to collected date, collected by fixed net in July 15, 2015.

し、今回得られた値自体が、多摩川の下流域で天然アユの遡上が増加した中、中流域における遡上実態を表した初めての知見として価値あるものとする。

なお、長良川の中流でアユの遡上数を研究した笹ら(2005)によれば、本調査地点とほぼ同じ河口より約50kmの中流地点の年遡上数は100～800万尾とし、本調査地点における推定遡上数を大きく上まわる。ただし、長良川では下流域における推定総遡上数が算定されておらず、割合の比較はできない。それでも多摩川と長良川を比較すると、それぞれ流程は138kmと166km、水源の標高は1,953mと1,709mと比較的類似するものの、平均流量は14.5 m<sup>3</sup>/s(東京都環境保全局1996)と174.6 m<sup>3</sup>/s(河川流量:伊勢湾環境データベース

ス <http://www.isewan-db.go.jp/ise-gaiyo/A3a.asp>)、河口から各調査地点までの河川横断構造物は多摩川9つ(前田・藤原2011)、長良川1つ(笹ら2005)と、多摩川は流量が少ない一方で、河川横断構造物が多い。このことが中流地点におけるアユの遡上数が長良川よりも著しく少ない原因の一つかもしれない。

本研究では、AUC法およびブートストラップ法を用いて推定総遡上数、標準誤差および95%信頼区間を算出した。調査地点ではアユの遡上に係る知見が乏しく、遡上開始時期、遡上期間は仮定に基づいたため、遡上アユの一部は調査から漏れている可能性がある。また、増水時に下流に降下し、その後再度遡上するアユがいた場合、重複計数されている可能性もある。更

に、推定された誤差（標準誤差/総遡上数）は、48%と小さいとは言えなかった。このように課題は少ないが、これまで知見の皆無であった中流域におけるアユの遡上数を定量的に明らかにした意義は大きいと考える。今後、遡上数の年変化を比較する場合、誤差は重要になるが、通常、誤差を小さくするためには調査に係る労力と時間を今以上に費やす必要がある。精度向上と労力、経費のバランスをどう図るかも今後の検討課題である。

なお、本調査地点においては、定置網に入網した魚類のうち98%がアユであった。そのため種判別等の必要性は低く、魚影の計数をもって概ねアユの遡上数を表現できると考えられた。一般に、ビデオ、超音波や電極等を用いた自動観測は、魚種判別が困難なことが欠点とされるが、単純な計数においては優れる。本調査地点においては、これらの方法の適用により、係る労力を抑えつつ、調査頻度・時間を増やすことが可能と考えられ、結果として精度向上も期待できる。

多摩川では、中流に滞留するアユを採捕し上流で放流する（産経ニュース：<http://www.sankei.com/premium/news/150612/prm1506120009-n1.html>）等、天然アユ資源の新たな活用が始まっている。本研究の結果は、アユの遡上を定量的に把握する手法の確立、並びにそれを用いた天然アユ資源の維持と、更なる有効活用に寄与するものとする。

## 要 約

多摩川の河口から47.8 kmの中流地点において、5月から7月までの約10週間、アユの遡上数を調査した。

AUC法およびブートストラップ法による推定遡上数は10,023尾、標準誤差は4,814尾、95%信頼区間は2,917～21,210尾となった。

日齢および耳石Sr/Ca比を解析した結果、供した20検体の全てが天然遡上アユと確認された。

キーワード：アユ、多摩川、中流域、遡上数推定

## 謝 辞

本研究の遂行にあたり、東京都島しょ農林水産総合センター振興企画室の方々には、定置網の設置ならびに測定などにご協力をいただいた。米沢純爾水産資源解析専門員には統計に係るご助言並びにご校閲を頂いた。また、東京都内水面漁業協同組合連合会の方々には、調査についてご理解とご協力を頂いた。ここに記して関係各位に著者らの深甚な謝意を表す。

## 文 献

- 相川英明. 2008. 海産アユとアユ人工種苗の行動特性. 神奈川県水産技術センター研究報告書, **3**: 59-63.
- Efron, B and R. J. Tibshirani. 1993. An Introduction to the Bootstrap. Chapman & Hall, New York, 456pp.
- 可児藤吉. 1944. 溪流棲昆虫の生態. 古川晴男編, 昆虫上, 研究社, 東京, pp. 171-317.
- 加藤憲司. 2011. 多摩川水系における魚類資源. 海洋と生物, **33**: 497-505.
- 小泉正行. 1996. アユの生態, 東京湾の水産と環境. 水産海洋研究, **60**: 259-283.
- 前田洋志・藤原直. 2011. 多摩川におけるアユの遡上生態. 海洋と生物, **33**: 530-537.
- 間野静雄・淀太我・石崎大介・吉岡基. 2014. 長良川におけるアユの由来別の成長特性. 水産増殖, **62**(1): 89-97.
- 大竹二雄. 2007. 第9章耳石のミネラルでアユやウナギの回遊を探る. 大越健嗣編, 海のミネラル, 成山堂書店, 東京, pp. 166-179.
- Otake, T. and K. Uchida. 1998. Application of otolith microchemistry for distinguishing between amphidromous and non-amphidromous stocked ayu, *Plecoglossus altivelis*. *Fish. Sci.*, **64**: 517-521.
- 笹浩司・後藤浩一・実松利朗・嶋田啓一・井口謙・和田清. 2005. 長良川中下流における稚アユの遡上特性と遡上量調査の効率化に関する一考察. 河川技術論文集, **11**: 453-458.
- Secor D.H., A. Henderson-Arzapalo and P. M. Piccoli. 1995. Can otolith microchemistry chart patterns of migration and habitat utilization in anadromous fishes? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **192**: 15-33.
- 清家 暁・岡部正也・佐伯 昭・海野徹也・大竹二雄・中川平介. 2002. 耳石Sr/Ca比による高知県伊尾木川および物部川産アユの由来判別. 日水誌, **68**: 852-858.
- 東京都環境保全局水質保全部. 1996. 都内河川の水質・水生生物の15年間の変動データ集. 324pp.
- 東京都産業労働局農林水産部水産課. 2015. 漁業協同組合別、産地別、あゆ放流実績. 東京都の水産平成26年版: 29.
- 東京都水産試験場. 1989. 多摩川における魚道効果調査一Ⅱ. 東京都水産試験場調査研究要報, (175), pp.1-37.

- Tsukamoto, K and T. Kajihara. 1987. Age determination of ayu with otolith. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **53**: 1985-1997.
- 内田和男. 1990. アユの種苗性と遡河行動. 水産増殖, **38**: 210-211.
- 植野裕章・永井俊輔・松井百恵・松岡拓郎・亀井哲夫・長田芳和. 2012. 大和川のアユ *Plecoglossus altivelis altivelis* の耳石 Sr/Ca 比を用いた天然遡上の確認. 大阪教育大学紀要第3部門, **61**: 17-21.
- 海野徹也・柴 智久・検崎仁美・柴田恭宏・長澤和也. 2007. 耳石 Sr/Ca 比による広島県芦田川水系における陸封アユの確認. 広島大学大学院生物圏科学研究科紀要, **46**: 35-42.
- 横山雄哉・越野陽介・宮本幸太・工藤秀明・北田修一・帰山雅秀. 2010. 知床半島ルシャ川におけるカラフトマス *Oncorhynchus gorbuscha* の産卵遡上動態評価. 日本水産学会誌, **73**: 383-391.