

鼠ヶ関川におけるアユ個体数の推定

内田和男^{*1}・清水昭男^{*1,2}・阿部信一郎^{*1}・佐藤年彦^{*3}・桂 和彦^{*3}・坂野博之^{*1}

Estimation of population number of ayu in the Nezugaseki River

Kazuo UCHIDA^{*1}, Akio SHIMIZU^{*1,2}, Shin-ichiro ABE^{*1}, Toshihiko SATO^{*3},
Kazuhiko KATSURA^{*3} and Hiroyuki SAKANO^{*1}

Abstract In 2001~2003 population numbers of ayu were estimated by direct underwater counting with a line transect method from April to December in the Nezugaseki River. Ayu migrated upstream from the sea into the river on May to June in 2001-2003. The maximum numbers of ayu in the river were estimated as 70,000, 105,00 and 27,000 individuals, respectively, and the fish survived 11-18% on October and then spawned. In 2003 a mark-recapture test revealed that the hatchery-reared ayu released in the Nezugaseki River showed similar survival and growth to wild ayu stock.

Key words: ayu, population number, line transect, stock enhancement

アユ資源は近年、総じて低水準にあり、アユ漁業に深刻な影響を与えている。アユの種苗放流は寸断された河川上流に再び漁場を提供するなど、着実な効果が確認されている。一方、放流アユが天然アユや他魚種に与える影響が懸念されはじめた。このため、放流魚の資源添加・再生産過程を把握して天然集団への影響を明らかにすることが望まれている。これまでに、放流魚が産卵に加入し、水域によっては天然魚と産卵が重複することが明らかにされている (Otake *et al.*, 2002)。また、飼育実験によりアユが同種やウグイ等他種の成長に与える影響が解析されており、その影響を軽減するための放流 (生息) 密度が試算されている。ところが、放流魚のみならず天然アユについても河川生活期の個体数変化はほとんどわかっていなかった。このため、河川では放流魚が与える影響を定量的に示すことができない。

そこで、平成13~15年度に実施された本プロジェクト研究「生態系保全型増養殖システム確立のための種苗生産・放流技術の開発 (第1期実施課題)」においては、河川におけるアユの生息個体数の変化を明らかにすることを目的に、山形県鼠ヶ関川をモデル河川として、遡上・漁場定着から産卵加入に至る間の減耗過程を標識放流法、DeLury法、目視法等を用いて解析した。その結果、潜水目視法によって河川に遡上・定着したアユの産卵までの減耗過程を把握することが可能だと判断された。本課題で取り組み始めた放流魚の資源添加・再生産過程の調査は、同プロジェクト研究の第2期実施課題 (平成16年から18年度) に引き継がれて放流アユが天然アユの成長と卵生産量に与える影響が定量的に解析されている。本稿では潜水目視法による河川生活期のアユ生息数の定量手法を紹介する。

2006年1月19日受理 (Received: January 19, 2006)

^{*1} 中央水産研究所内水面研究部 〒386-0031 長野県上田市小牧1088 (National Research Institute of Fisheries Science, Freshwater Fisheries Division, 1088 Komaki, Ueda, Nagano 386-0031, Japan)

^{*2} 現在所属: 中央水産研究所資源評価部 〒236-8648 神奈川県横浜市福浦 (Present address: National Research Institute of Fisheries Science, Fisheries Research Agency, Yokohama, Kanagawa 236-8648, Japan)

^{*3} 山形県内水面水産試験場 〒992-0063 山形県米沢市 (Yamagata Prefectural Inland Water Fisheries Experiment Station, Yonezawa, Yamagata 992-0063, Japan)

調査河川ならびに個体数推定法

調査河川

アユの河川生活史を通じた個体数変化を把握するため、アユが漁業権魚種に指定されて毎年放流が実施されていること、調査が容易な規模の河川であること、また、冬季に海域での調査が可能であることを満たすモデル河川として山形県鼠ヶ関川を選定した (Fig. 1)。鼠ヶ関川は、閉鎖的な湾 (鼠ヶ関湾, 水域の面積0.25 m²) を介して日本海北部に注ぐ、流程十数km (川幅約10m) の規模が小さい2級河川である。河口から上流約4~5 kmに落差5 m程度の堰堤 (以下、第4 堰堤と呼ぶ) が設置されており、その上流へはアユ、シロサケ等の魚類は移動できない。天然アユが遡上できる河口から第4 堰堤までの範囲を調査区間とした。なお、河口から第4 堰堤までの距離は、河川地図上では4 kmと算定されたが、河川敷の範囲内で流れが蛇行しているため流芯に沿った河川長の実測値は約5 kmであった。そこで、データの集計にあたっては実測した川の長さを用いた。調査区間内にはさらに3つの堰堤が、およそ1 km毎に設置されている。最下流の堰堤 (以下、第1 堰堤) は、全面魚道が設けられ小型のアユも停滞することなく遡上できる。下流側から2つめの堰堤 (第2 堰堤) は、落差1 m程の傾斜が大きいスロープに沿って水が流れる構造である。第2 堰堤では通常の流量のとき流速が1.5mを越えるため小型アユ (体長7 cm程度まで) の遡上が阻害され、5月~6月の遡上時期には堰堤直下に多くのアユが密集することがある。3つめの堰堤 (第3 堰堤) は落差70cm程度で傾斜が緩やか (約30°) なスロープが設けられており、アユは容易に遡上できる。鼠ヶ関川では堰堤がアユの分布に大きく

影響するため、各堰堤で仕切られた4つ (河口から第1 堰堤まで、第1 堰堤から河口まで、第2 堰堤から第3 堰堤まで、および、第3 堰堤から第4 堰堤まで) の堰堤区間に分けて個体数センサスやアユのサンプリングを実施した。

個体数推定法

この課題では、遡上・定着から産卵期のアユの生息数を把握することを目的とした。アユの生息密度は、河口からの距離、水深、瀬や淵など河床型、あるいは、河川横断面に沿って流芯部と岸よりで異なることがしばしば観察されており、ランダムに分布するものではない。さらに、遡上時期のアユは河口から順次上流部へと分布を拡げる (Abe *et al.*, 2002)。アユは7月から9月は移動が小さいものの、産卵期には上流に分布していた個体が下り始める。このように、河川に生息するアユの分布は、非定常的であることを考慮すると、遡上・定着から産卵までの個体数変化を把握するためにはアユが生息する調査区間全体の個体数を計数するのが望ましい。アユの個体数推定法としては、標識放流法 (ピーターセン法) や除去法 (DeLury法) が用いられているが、堰堤による生息域の分断が懸念される鼠ヶ関川では適用が難しいと判断された。そこで、直接アユを数える潜水目視法 (ライトランセクト法) を採用することとした。なお、アユの潜水目視法については水野 (1991) が紹介している。

潜水目視による直接観察

2001~2003年4~10月に少なくとも月1回、流程5 kmを潜水目視 (幅2 mのライトランセクト法, 目視面積9,600m²) してアユの個体数および体長を計測した。

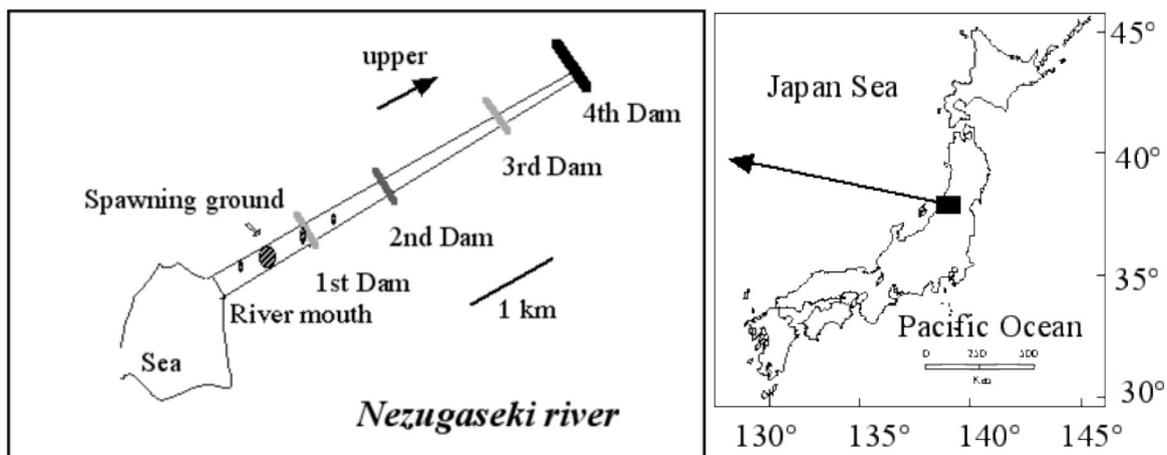


Fig. 1. Map showing the study section divided by the four dams (river mouth-1st dam, 1st -2nd dam, 2nd -3rd dam and 3rd -4th dam) in the Nezugaseki River (Yamagata Prefecture).

鼠ヶ関川のアユは、ウグイ、ヤマメ、イワナ、アブラハヤ、スミウキゴリなど他魚種と形態や遊泳行動の違いにより水中でも容易に判別できる。観察は、ドライスーツ、水中めがね、シュノーケルおよび厚手の手袋を着用した観察者1～2名と、記録者1名により行った。観察者は第4堰堤を始点に上流から下流に向かって、基本的には流芯部に身体を位置させて降り、流れに対して垂直方向を目視して幅2mの視野内に出現したアユの個体数を計数した。河川の蛇行点など多くの地点で、流芯部は川断面の中心に位置せず、左岸側と右岸側では水深（流速・流量）が異なることが多い。アユは、河川断面に水深の違いに応じて分布密度や体長組成が異なる。河川断面の左岸側と右岸側の分布等の偏りを排除するために、流芯を流れる観察者は左右交互に観察した。また、この観察中、適時水面に顔を出して観察者自身の位置や幅2mの距離感を補正した。流速が高すぎて流芯部に体を保持できない早瀬などでは、頭部を上流に向けて大きめの石に掴まる、あるいは、流速の低い岸寄りに移動して、センサスする範囲のアユ個体数を正確に計数できるよう配慮した。

アユの個体数は、瀬や淵等河床型にあわせた小区間（10～88m、平均34m）毎に記録した。記録者は、予めこの小区間の特徴（河床型、川幅、流長、水深、構造物、目印など）を記載した模式河川地図を携帯し、また、岸の草木や杭につけた目印（ピンク蛍光色工事用テープ等）を参考にして地図上の位置を確認して4月から10月の各調査において、同一の小区間についての報告を観察者から受けて記録するよう配慮した。河川では豪雨・増水により流芯の位置、土石の大きさ、流長あるいは河床型が変化するので各月の観察ごとに記録者が携帯する模式河川地図は、距離や河床型などの記載に微調整を加えて更新されている。

小区間（長さ平均33m）毎に発見したアユの数を目視した面積（幅2m×小区間の長さ）で除して、その区間の生息密度（個体数/m²）を算出した。さらに、この小区間に生息するアユの数は、アユの密度に小区間の（目視しなかった部分を含めた）全面積（川幅×長さ）を乗じて算出した。

目視観察の精度を確かめるために、2002年の6月と7月に観察者2人で同一の場所を観察して、小区間毎に発見したアユの個体数を比較した。両者の目視個体数は、6月と7月の観察において、それぞれ、傾き1.01または0.98の直線に回帰された（Fig. 2）。小区間内で発見したアユ個体数の平均値は、6月は観察者Aが120（n=45）および観察者Bが127（n=45）であった。また、7月はそれぞれ、45（n=39）および45（n=39）であった。これらの結果から観察者2人の間の平均値（総数）

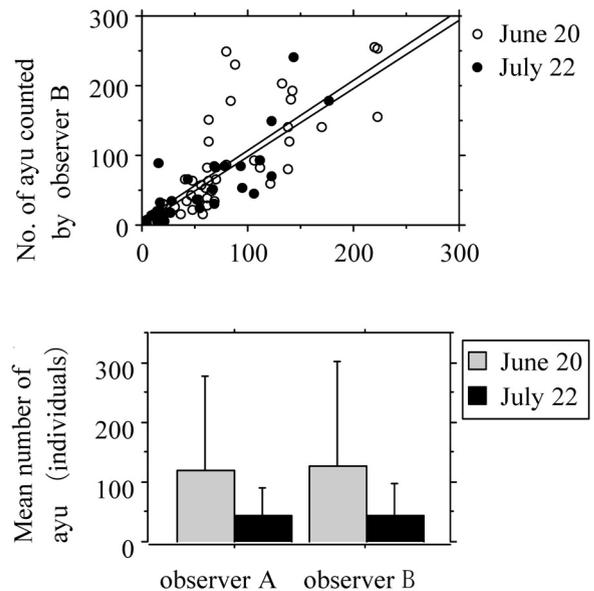


Fig. 2. Upper: The relation between the numbers of ayu counted by the observers A and B.

The both regression lines have slopes of about 1 ($r=0.919$ for Jun and $r=0.851$ for July 22). Lower: Mean number of ayu counted by observer A and B in small sections (near 50m length, 2m width) on June 20 ($n=45$) and July 22($n=39$).

はほぼ等しいと見なされた。鼠ヶ関川は比較的透明度が高く、通常観察者の位置から5m以上離れた両岸のアユ（体長6cm）を判別することができる。従って、2mの枠内における発見率はほぼ100%と見なした。現時点では、目視観察による個体数推定値は妥当な値であると考えている。しかし、増水に伴い河川の透明度が低下したときには、アユの発見率が明らかに低下し、単に、アユが確認できる距離で直線的に回帰したときには個体数を過小評価すると推定された。例えば、アユが確認できる距離が2mから1mになったときに単純に目視（距離）面積を50%と見なして生息尾数を算定すると明らかに過小評価する。ヒトの目をセンサーとして実測した個体数が正しいとしても、透明度が低下したときには発見率の補正を要するが、現時点では十分な検討はなされていない。目視個体数から資源量を推定する方法は、今後のさらなる理論的・技術的な測定精度の改善を要する。

調査河川におけるアユの動態について

鼠ヶ関川におけるアユの生活

2001年から2003年の調査で鼠ヶ関川のアユは4月下旬

旬頃～6月中旬に遡上・定着し、河口から上流5 kmまでの区間に分布する。毎年5000個体程度の人工種苗(最上川水系F1)が、第2堰堤と第3堰堤の中間地点に放流されている。成長したアユは7月1日以降友釣りで漁獲される。また、7月15日以後は第2堰堤より下流部では投網漁業も解禁されている。産卵は9月下旬から～11月の約2ヵ月間に、第1堰堤から河口までに局在する産卵場で行われる。仔魚の降下は9月下旬に始まり10月中旬に盛期をむかえて12月中旬に終わる(佐藤ら, 2002)¹。

鼠ヶ関川におけるアユの密度変化

2001年の調査では、遡上アユが4月28日に河口付近で発見された。同年5月と6月にはアユ個体密度は第2堰堤より下流側(河口から第1堰堤まで、および、第1堰堤から第2堰堤まで)が上流(第2堰堤から第3堰堤および第3堰堤から第4堰堤)より高く、7～9個体/m²に達した(Fig. 3, Abe *et al.* 2002)。他方、同時期の上流区間では生息密度は1個体/m²以下の低い値を示している。第2堰堤より下流のアユが上流部より多い傾向は他の年度にも認められ、第2堰堤がアユの遡上を阻害している事実が確認されている。個体密度の減少は上流よりも下流側が著しく、8月と9月の生息密度は、上流側と下流側の差が縮小した。雌雄とも8月中旬に生殖腺が急速に発達し始め、9月中旬には産卵可能なメスが現れ、10月と11月には産卵個体を確認した(Shimizu *et al.*, 2005)。産卵期のアユは下流に移動するため、10月には上流側の個体密度が激減した。

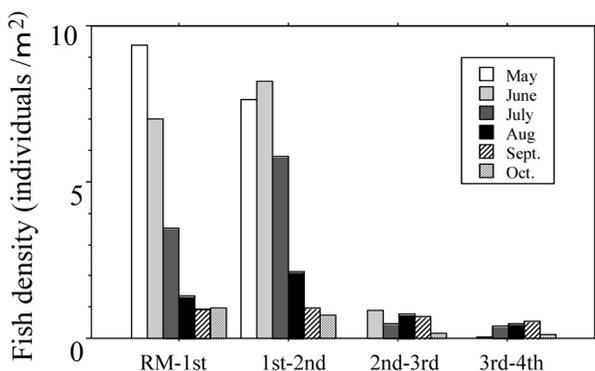


Fig. 3. Density of ayu in the four sections, RM-1st (river mouth - 1st dam), 1st - 2nd dam, 2nd - 3rd dam and 3rd - 4th dam, in May to October in 2001.

河川全体の個体数

生息密度に水域面積を乗じて推定した調査区間全域(約52,000m²)におけるアユの生息尾数は、2001年の5月から6月が最大の70,000尾以上に達した。その後、指数関数的に減少して、10月の産卵期には定着したアユの11%(約2万尾)が生き残ると推定された(Fig. 4)。2002年と2003年にも、アユの生息尾数は、5～6月が最大で、それぞれ10.6万および2.7万尾(うち放流魚1.2万尾)に達し、その後、指数関数的に減少して10月の産卵期には1.7万(16%)および0.5万尾(18%)が生き残ると推定されている。目視観察法(ライントランセクト法)を用いることにより遡上稚魚から産卵親魚に至るアユの生き残りの過程が把握できる。この個体数のモニタリング結果は、現在、日本海側の水域におけるアユ資源の変動過程やその機構を明らかにするための基礎知見として活用されている。

アユの現存量(資源量)

河川内のアユ個体数が把握されていれば、時期別・場所別(月・堰堤区間)の個体重の情報を得ることによって、アユの現存量を見積もることができる。

まず、投網等で採集した個体の体長-体重関係にもとづき目視個体の体長から個体重を算出した。鼠ヶ関川では堰堤区間や河川形態によって生息密度や体長組成が異なる。そこで、小区間毎に平均的な体長(体重に換算)と生息数から現存量を算定し、その値を4つの堰堤区間あるいは河川全体について集計した。このようにして求めたアユの現存量は2001～2003年に、それぞれ、最大1,000kg(8月)、600kg(5月)および400kg(7月)に達した。

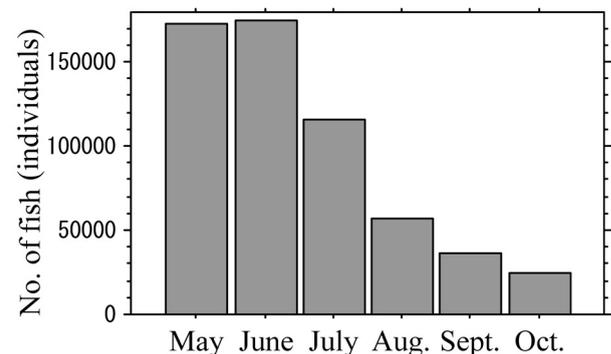


Fig. 4. Seasonal changes in the total number of ayu in the Nezugaseki River in 2001.

¹佐藤年彦・内田和男・清水昭男・阿部信一郎・桂和彦・平野央・荒木康男・高澤俊秀(2002) 鼠ヶ関川および周辺海域における仔アユの移動と分布, 平成14年度日本水産学会講演要旨, p. 39.

親魚の現存量と産卵ポテンシャル

産卵期の現存量と体重当たりバッチ産卵数がわかれば、アユの卵生産量（産卵ポテンシャル）が把握できる。2001年から2003年10月の雌親現存量は、実測したアユの平均体重に生息尾数を乗じて、それぞれ、205, 114および67kgだと計算された。鼠ヶ関川では毎年10月初旬に産卵がある。鼠ヶ関川のアユは10月から11月の間に同一個体が複数回産卵（多回産卵）することがわかってきたが（Simizu *et al.*, 2005），初回産卵については雌親1gあたり798個の卵をもつので（清水ら未発表，2004），各年10月初めの卵生産量（産卵ポテンシャル）は、それぞれ、11.6千万個，9千万個および5千万個と推定された。多回産卵を考慮した場合の卵生産量については今後さらなる検討を要する。

降下仔魚

アユ降下仔魚の総数は、9月下旬から12月，河口付近ではほぼ5日毎に採集調査を実施して，流量密度法を用いて一日の降下仔魚数を算定し，期間内の変化を直線的とみなして引き延ばして推定した（佐藤ら未発表）。アユの降下仔魚総数は2001～2003年がそれぞれ，2800万，1768万および343万尾であった。産卵ポテンシャルから推定される卵数と仔魚数の関係から，鼠ヶ関川では卵から仔魚降海までの生き残りは2001～2003年にそれぞれ24，20および7%と推定された。また，降海から遡上までのアユの生き残りは2000年級群（2000年秋生まれ）～2002年級群がそれぞれ，1，0.4，0.08%と推定された。これよりアユの減耗は河川生活期より海洋生活期が著しく，年変動も大きいことが示唆される（内田，2003）。

放流魚の資源添加・再生産過程

放流魚の資源添加・再生産過程を把握するために2003年6月4日に山形県が生産したアユ人工種苗（鱠切除による標識，最上川水系F1，12,000尾）を第2堰堤と第3堰堤の中間地点に放流して追跡調査した。時期別・堰堤区間別のアユの生息数は潜水調査で推定されている。各堰堤区間毎に電気ショッカーや投網を用いてアユを採集して，体長，体重，性，生殖腺重量を測定した。また，標識の有無を確認して放流魚と天然魚に判別して，放流魚の混獲率を求めた。堰堤区間毎に生息数に混獲率を乗じて，放流魚と天然魚の生息数を求め，さらに，河川全体の放流魚と天然魚の生息数に換算した。その結果，河川全体における放流魚の混獲率は，6月から10月初めまでの期間を通して，約40%と推定されている。2003年の放流魚は天然魚と遜色なく成長して生き残り，天然魚と同調して産卵に加入

することが明らかにされた。ただし，放流魚は天然魚より産卵期間中の死亡率が高く，早期に産卵を終えた。

ま と め

河川における放流アユの資源添加・再生産過程を定量評価する手法を開発するために，山形県鼠ヶ関川をモデル河川として漁場定着，産卵加入，孵化および海域への加入の各生活史段階における減耗過程を標識放流法，除去法，目視法，分布密度法等を用いて解析した。その結果，潜水目視法により河川生活期のアユ個体数の把握が可能であることが示され，2001～2003年の5～6月に遡上・定着したアユの11～18%が10月の産卵期まで生き残ると推定された。さらに，時期別・場所別に潜水目視で推定した個体数と放流魚の混獲率のデータを活用して，2003年に試験的に放流されたアユ（最上川水系F1）が，天然魚と遜色なく資源に添加して産卵に加入することが明らかにされた。

河川におけるアユの生活史をととした個体数変化を潜水調査によりモニタリングし，適当な採集調査で得られる放流魚と天然魚の混獲率，体長・体重・成熟に関する情報を加味することによって，アユの資源量（現存量），卵生産量，環境収容力等，個体群動態の解析に資する情報が得られると考えられた。放流魚が競争や交雑を通して天然集団に与える影響を知るためには，アユの環境収容力と放流魚の繁殖特性の把握が必要である。アユの環境収容力と繁殖特性の解析は，個体数のモニタリングを継続するとともに，平成16年度から18年度に実施される本プロジェクト研究第2期の中心課題としたい。

文 献

- Abe S., Uchida K., Shimizu A., Nagumo T., and Tanaka J., 2004: Algal succession corresponding with the upstream migration of ayu *Plecoglossus altivelis* in the Nezugaseki River. *Jap. J. Phycol.* **52** (Supplement), 11-15.
- 水野信彦, 1991: 漁場平坦化の影響. 河川形態変化影響調査報告書-魚にやさしい川のすがた (水産庁編). 81-162.
- Otake T., Yamada C., Uchida K. 2002: Contribution of stocked ayu (*Plecoglossus altivelis altivelis*) to reproduction in the Nagara River, Japan. *Fisheries Sci.*, **68**, 948-950.
- Shimizu A., Uchida, K., Abe, S., Udagawa, M., Sato, T., and Katsura, K., 2005: Evidence of multiple

spawning in wild amphidromous type ayu.

Fish. Sci., **71**, 1379-1381.

内田和男, 2003 : アユの資源管理について, アユ資源

研究部会報告書平成12年度から平成14年度までの
とりまとめ, (全国湖沼河川養殖研究会アユ資源研
究部会編), p.17.