千曲川における DeLury 法によるアユの資源尾数推定

山本 聡,^{1*} 故松宮 義晴²

(2000 年 1 月 21 日受付, 2000 年 8 月 16 日受理)

¹長野県水産試験場佐久支場, ²東京大学海洋研究所資源解析部門Estimation of the Population Size in Number of Ayu, *Plecoglossus altivelis altivelis*,
by the DeLury's Method in the Chikuma RiverSatoshi Yamamoto,^{1*} the late Yosiharu Matsumiya²¹Nagano Prefectural Fishries Experimental Station Saku Branch, Nagano 385-0042, ²Department of Population Dynamics of Marine Organisms, Ocean Research Institute, University of Tokyo, Tokyo 164-8639, Japan

The initial population number of ayu fish at the beginning of the fishing season and catchability coefficient estimated using DeLury's method and the stocking effect was examined in the Chikuma River. The accumulative catch and the CPUE of the Tomozuri angling fishery observed by hourly sighting were used for estimation. Since the number of the released fingerlings was known, the survival rates until the beginning of the fishing season were calculated to be 13.0% in 1997 and 36.9% in 1998. The results showed that DeLury's method was applicable to the assessment of the ayu population.

キーワード: アユ, デルーリー法, 資源量推定, 放流効果, 生残率, 千曲川

アユ *Plecoglossus altivelis altivelis* は日本の内水面における重要魚種である。各地で増殖事業が盛んに行われ, 1998 年における日本全国でのアユ放流尾数は第 10 次漁業センサスによると約 2 億尾である。効率的な増殖事業のためには, 解禁日当初の資源尾数を推定して放流魚の生残(歩留り)を把握する必要がある。資源尾数の推定にはいくつかの方法があるが, 対象漁場が比較的大きな河川の場合, 標識放流法的前提条件を満たさない, 透視度が低いため目視調査ができないなどの理由から, これらの方法による資源尾数の推定は困難である。一方, DeLury¹⁾は, 資源が漁獲のみによって減少し, 漁場への出入りが無い時に, 初期資源量と漁具能率を推定する方法を示した。この推定のためには, 対象生物の移動性が少なく, 自然死亡が無視でき, 単位努力あたりの漁獲量が資源量に比例して変化するという条件が必要である。このため, ナマコ, アワビなどの移動の少ない根付資源²⁻⁴⁾や内水面の小さい資源^{5,6)}の解析に有効である。アユでは解禁日から

強度な漁獲努力が加えられ, 短期間であれば上記の条件を満たしていると考えられるが, DeLury 法による解析事例は少なく, 放流アユに関しては石田⁶⁾があるにすぎない。ここでは, 友釣りによる釣獲情報を用いた DeLury 法¹⁾を千曲川のアユ資源に適用し, 資源尾数の推定を試みた。アユの資源尾数推定にあたっての, DeLury 法の有効性について議論した。

方 法

調査概要と種苗放流 長野県佐久市の千曲川のアユ資源を調査対象とした (Fig. 1)。調査水域は天然アユのそ上がなくすべての資源を種苗放流に依存する一代回収型の漁場である。

調査は, 1997 年と 1998 年に佐久市高柳の養魚取水堰堤から養魚場用水放水口までの 500 m の区間 (Fig. 1) で行った。平均河川幅は 40.6 m, 水域面積は 20,300 m² である。調査区間は友釣り専用区で, 調査期間中は他の漁法による漁獲はなかった。

* Tel : 0267-62-0162, Fax : 0267-64-1150, E-mail : suisa@janis.or.jp

Fig. 1. Location of survey area.

調査区間へは、1997年には4月28日から5月19日にかけて、平均体重8.9gのアユ稚魚が16,300尾放流された。1998年には5月9日から6月24日にかけて平均体重14.1gのアユ稚魚が19,670尾放流された。この他に、解禁日以降の12日から15日後に体重30g前後の成魚が追加放流された。

調査方法 調査期間は、解禁日(7月第1土曜日)から成魚放流が行われる前日までで、1997年が7月5日から19日まで、1998年が7月4日から15日までとした。CPUE(単位努力あたりの釣獲量)、釣り人数、釣獲時間は目視により調査した。調査は午前9時から11時と午後1時から3時の間でそれぞれ1時間ずつ、調査区間全体を見通せる場所から双眼鏡を用いて釣り人数を計数し、それぞれの釣り人が釣り上げたアユの尾数を個々に記録した。午前と午後の釣り人1人1時間あたりの釣獲尾数の平均を当該日のCPUEとした。さらに目視調査の

Fig. 2. Relationship of CPUE by creel census on CPUE by sighting observation. The points in the figure show the data and the lines the regression.

精度を確認するために、10人程度の釣り人から釣獲尾数と釣獲時間の聞き取り調査も行った。目視調査に基づいたCPUEをX、聞き取り調査からのCPUEをYとすると、両者の間で以下の統計的に有意な関係が得られた (Fig. 2)。

$$1997年: Y = 1.1387X + 0.0924$$

$$(n=9, r=0.931: p<0.01) \quad (1)$$

$$1998年: Y = 1.1882X + 0.0064$$

$$(n=10, r=0.861: p<0.01) \quad (2)$$

聞き取り調査による実際のCPUE(Y)は目視調査によるCPUE(X)よりも大きいと考えられたので、目視調査から推定したXを補正するため、年ごとに(1)と(2)式により個々のXからYを計算して解析に用いた。

DeLury法 DeLury法には2つの方法があるが、本報では次に示すモデルを用いた。毎日の単位努力あたりの漁獲量(以下CPUEと略称する) C_i /

X_t (尾/人・時間), その前日までの累積漁獲量 K_t (尾), N_t (尾) を第 t 日の資源量とすると

$$C_t/X_t = qN_{t-1} = q(N_0 - K_t) = qN_0 - qK_t \quad (3)$$

が成り立つ。ここで q (人・時間あたり) は漁具能力を示す。

上述のように解析に用いる CPUE は観測値でなく推定値である。すなわち X を目視 CPUE, Y を推定 CPUE, K を累積漁獲尾数として

$$\hat{Y}_i = \alpha + \beta X_i + \varepsilon_i, \varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2) \quad (4)$$

$$\hat{Y}_i = \hat{\alpha} + \hat{\beta} X_i \quad (5)$$

というモデルを用いた。したがって、推定に用いる(3)式は

$$\hat{Y}_i = a + bK_i + e_i, e_i \sim N(0, S^2) \quad (6)$$

の形である。 Y_i の推定値 $\hat{Y}_i$ には観測誤差に由来する推定誤差 (平均 0, 分散 v_i^2) があり, それとプロセス・エラー (e_i) が独立であると仮定すると

$$E[\hat{Y}_i - (a + bK_i)] = 0 \quad (7)$$

$$V[\hat{Y}_i - (a + bK_i)] = s_i^2 + v_i^2 \quad (8)$$

$$v_i^2 = V(\hat{Y}_i) = \sigma^2 \{ (1/n) + (X_i - \bar{X})^2 / \sum (X_i - \bar{X})^2 \} \quad (9)$$

となる。つまり分散が一定ではない。したがって単純な最小 2 乗法は使えないことになる。そこで σ^2 の推定値

$$\hat{\sigma}^2 = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 / (n - 1) \quad (10)$$

を使って(10)式より v_i^2 の値を計算し, 対数尤度

$$LL = -\frac{1}{2} \sum_i \ln \{ 2\pi (s^2 + v_i^2) \} - \sum_i \frac{(\hat{Y}_i - a - bK_i)^2}{2(s^2 + v_i^2)} \quad (11)$$

を最大にするようにパラメータ a, b, s^2 を MS-Excel のソルバーを用いて求めた。信頼区間は ($-2 \times$ 尤度比) が漸近的に χ^2 分布に従うことを利用して計算した。例えば $\hat{a}$ の 95% 信頼区間は

$$2\{LL(\hat{a}, \hat{b}, \hat{s}^2) - LL(a, \hat{b}, \hat{s}^2)\} = \chi^2(1, 0.05) = 3.84 \quad (12)$$

になるように a の値を探した。

釣り人数は, 午前と午後の目視調査のそれぞれの開始時と終了時における人数の平均値とした。釣獲時間は 1 人目の釣り人が確認された時刻から釣り人がいなくなった時刻までとした。当該日の釣獲尾数は CPUE (単位は尾/人・時間) に釣り人数と釣獲時間を乗じて算出した。調査期間中の総釣り人数 (延べ数) と総釣獲尾数は 1997 年が 177 人と 1,529 尾, 1998 年が 240 人と 3,516 尾であった。

結 果

資源尾数の推定 推定結果を Table 1 と Fig. 3 に示す。1997 年は, 強風の影響が強かった 7 月 5 日と 6 日および濁りの影響が強かった 7 月 10, 11, 18 日のデータを除いて, 10 日間のデータを用い推定した (Fig.)。1998 年は, 調査期間中 (12 日間) 友釣りに関して条件の悪い日はなかった。Table 1 の値を用い, 1997 年の解禁翌々日の資源尾数 $N_{t=2}$ を算出すると, 1,482 尾となった。解禁日およびその翌日に 645 尾が漁獲されているので, 1,482 尾にこの漁獲尾数を加算して, 解禁日の資源尾数 N_0 (95% 信頼区間) は 2,127 尾 (1,674~2,957 尾) と推定された。同様に 1998 年の解禁日の資源尾数 N_0 (95% 信頼区間) は, 7,250 尾 (5,540~9,896 尾) と推定された。

種苗の放流効果 放流尾数と解禁日の資源尾数の推定値 $\hat{N}_0$ から計算される放流から解禁までの生残率 (95% 信頼区間) は, 1997 年が 13.0% (10.3~18.1%), 1998 年が 36.9% (28.2~50.3%) となった (Table 1)。放流は数日かけて実施されたが, 期間の中間日に一括放流したと考えて, 解禁までの同値の 1 日あたりの死亡率 (95% 信頼区間) を計算すると, 1997 年が 3.48% (2.93~3.88%), 1998 年が 2.98% (2.06~3.77%) となった。

考 察

DeLury 法を用いてアユの資源尾数を推定した事

Table 1. Estimates of initial population size N_0 , catchability coefficient q , and stocking effect based on DeLury's method for Ayu in the Chikuma river

Year	1997	1998
Number of stocking	16,300	19,670
Initial population number $N_0(\hat{\mu}_{0.95})$	2,127 (1,674~2,957)	7,250 (5,540~9,896)
Catchability coefficient q ($\cdot \text{angler}^{-1} \cdot \text{hour}^{-1}$) ($\hat{\mu}_{0.95}$)	0.098 (0.069~0.126)	0.035 (0.027~0.042)
Survival rate from release of juveniles to the beginning of fishing season % ($\hat{\mu}_{0.95}$)	13.0 (10.3~18.1)	36.9 (28.2~50.3)
Mortality rate per day % ($\hat{\mu}_{0.95}$)	3.48 (2.93~3.88)	2.98 (2.06~3.77)

Fig. 3. Relationship of CPUE on accumulative catch for ayu in the Chikuma River. The points in the figure show the data and the lines indicate those by MLE.

例としては、羽田⁷⁾が天竜川において「えさ釣り」の釣獲情報からの解析を行い、天然遡上尾数の推定を行っている。石田⁶⁾は友釣り漁法の特長性を考慮し、群れアユは友釣りでは釣れないと仮定したモデルにより群馬県温川の放流アユについて解析を行っている。今回の調査では、淵やごく浅い瀬を狙ったいわゆる「泳がせ釣り」により、強固なナワバリを持たないアユも釣られていたため、本報では友釣りの対象は資源全体に波及しているとして取り扱った。

石田⁶⁾は解禁までの生残率を1951年が65.5%、1952年が48.6%であったとしている。同じく松宮・小出水⁸⁾はCIR法を活用して、1991年のある河川の解禁までの生残率を53.5%と推定している。また、群馬県水産試験場⁹⁾は1982年から1984年に行われた標識放流などによる生残率調査のとりまとめで、解禁までの放流アユの生残率は種苗に問題さえなければ30%から90%の範囲にあり、通常は生残率50%を上回ると推測している。千曲川における1998年の生残率は既存の知見の範囲内で妥当な値であった。1997年ではかなり低い値となった

が、原因については確証が得られていないが、7月10日、11日に増濁水により散逸あるいは死亡があって生残率を実際よりも低く推定した可能性がある。

漁具能率 q は単位努力あたりの漁獲率を表す。千曲川では釣り人1人が1時間で調査水域の対象資源の0.035%（1998年）から0.098%（1997年）を釣り上げたことを意味する。漁具能率 q に年間で差がでたことは、1998年の解禁日が豊漁であったため翌日から釣り人が集中し、1997年に比べて1人あたりが専有できる水域面積が小さかったことが影響したとも考えられる。

友釣りのための天候や水況が整い、釣獲尾数や釣り人数を把握できれば、アユ資源調査にDeLury法は適用できると考えられる。今回の調査で推定した資源特性値は、既存の知見と比較してほぼ妥当な値が得られた。今回行った目視調査は、特別な調査や釣獲を必要とせず、少人数で簡単に行える利点がある。目視調査では、複数の釣り人が同時に釣り上げる場合などに若干の見落としがあるため、実際の値よりも小さく見積もられる。聞き取りなどによる補完調査を実施し、修正した値により解析する必要がある。

謝 辞

本報告をまとめるに当りご指導いただいた東京大学海洋研究所助教授の松田裕之博士に厚くお礼申し上げます。また調査にご協力いただいた長野県水産試験場の皆様方に感謝を申し上げます。そして本報の御校閲を賜り、適切なご助言とご指導をいただいた匿名の査読者の方々に心よりお礼申し上げます。

文 献

- 1) DeLury DB. On the estimation of biological populations. *Biometrics* 1947; **3**: 145-167.
- 2) 小島 博, 石橋喜美子. 徳島県海部郡産クロアワビの資源特性値の推定. *東海水研報* 1960; **118**: 11-20.
- 3) 松宮義晴. 長崎県大村湾におけるマナマコ資源の解析. *長崎大学水産学部研報* 1984; **55**: 1-8.
- 4) 平山信夫, 山田作太郎, 菊地 弘, 山田潤一. DeLury法の修正とアワビ採捕漁業への応用. *日水誌* 1988; **55**: 409-416.
- 5) Nagoshi M. Ecological studies on the population of genigorobuna, *Carassius cuvieri* Temminck et Schlegel, in Lake Biwa II. *Report of Faculty of Fisheries, Prefectural University of Mie* 1965; **5**: 307-317.
- 6) 石田力三. 放流アユの生残率と漁獲率. *淡水研報* 1965; **15**: 1-11.
- 7) 羽田好孝. 平成8年の天竜川のアユ資源について. *はまな* 1997; **437**: 1-3.
- 8) 松宮義晴, 小出水規行. Change-in-Ratio Methodsによる水

産資源の評価. 数理生物学における決定論・確率モデルの基礎理論的研究, 統計数理研究所共同研究レポート 1995; **76**: 17-30.

- 9) 群馬県水産試験場. 適正放流基準の検討, アユの放流研究 (アユ放流研究部会昭和 57~59 年度のとりまとめ), 全国湖沼河川養殖研究会アユ放流研究部会, 1986; 17-24.