

卵数法を用いた宍道湖、中海におけるワカサギ親魚の資源量推定

藤川裕司^{1†}, 今井千文²Estimation of spawning population of pond smelt *Hypomesus nipponensis* by the egg production method in Lakes Shinji and Nakaumi, JapanYuji FUJIKAWA^{1†} and Chifumi IMAI²

宍道湖のワカサギは1994年以来不漁が続いており、宍道湖漁業協同組合は産卵親魚の保護策として、主な産卵場である斐伊川の河口域を、産卵期に刺網操業禁止域としている。しかし、資源はいまだに回復しておらず今後、さらなる対策を検討する必要がある。その基礎資料とするため、資源量推定を実施した。ワカサギは砂礫に付着卵を生みつけるため、産卵数を調べることによって親魚の資源量を推定することが可能である。そこで、本研究では、卵数法を用いて資源量の推定を行った。2004年の産卵期に斐伊川内の主要産卵場の面積は242,987 m²、底質の深さ6 cmまでの単位面積 (0.05 m²) 当たりの卵数の平均値は88.4粒であり、深さ6 cmまでの産卵量は429,601,016粒と推定された。これより、産卵雌親魚資源尾数は39,247尾、雌雄の資源量は861 kgと算出された。しかし、底質を層別に調べた結果、ワカサギの卵は底質の深さ15 cmまで存在し、深さ6 cmまでの2.25倍であった。この値で補正すると産卵親魚資源量は1,937 kgと推定された。

Pond smelt catch in Lake Shinji has been at a low level since 1994. The population has not yet recovered, nevertheless gill-net catch has been banned in spawning season at the river mouth of Hii River, the major spawning ground. We carried out population estimation by the egg production method for fundamental information on further stock management policy. Pond smelt attaches their adhesive eggs to sands or gravels at the bottom. Mean number of pond smelt eggs sampled from 0–6 cm layer of sandy bottom was 88.4 per unit area of 0.05 m² by egg sampling survey in the 2004 spawning season. Total area of major spawning ground in Hii River was 242,987 m². Total number of eggs in 0–6 cm layer of sandy bottom was estimated as 429,601,016. Number of spawning females was calculated as 39,247 individuals, and biomass of both sexes was estimated as 861 kg. Moreover, 2.25 fold eggs were deposited to a depth of 0–15 cm layer compared with 0–6 cm. Spawning population was estimated as 1,937 kg, using the value.

Key words: egg production, estimation of spawning population, *Hypomesus nipponensis*, pond smelt

はじめに

ワカサギ *Hypomesus nipponensis* は、ロシア連邦ハバロフスクのウスリー川、オホーツク海に面したサハリンの河川、ベーリング海に面したアナジリ川、東シベリア海に面したコリマ川 (Berg, 1962) から、日本の太平洋岸では霞ヶ浦、日本海側では宍道湖 (浜田, 1980) に至る水域に分布する冷水性の魚である (落合・田中, 1986)。宍道湖のワカサギは、宍道湖七珍に挙げられ、庶民の食材として古くから

親しまれてきた。宍道湖、中海におけるワカサギの主たる産卵場は宍道湖流入河川の斐伊川であり、産卵期は週上時期から1月中旬から2月中旬と考えられている (藤川・片山, 2014)。

ワカサギは宍道湖では主に刺網やます網 (小型定置網) で漁獲されている。漁獲量は、ます網だけでも1981–1989年に毎年18–174トンあった。しかし、1990年夏季の高水温を期に資源量は激減し (藤川ほか, 2003)、その後、いったん回復したものの1994年の夏季に再び高水温の影響で大きく減少し (藤川ほか, 2003)、その後は低い水準で推移している。

このように資源が低水準で推移しているにもかかわらず、1996年から2000年までの間、刺網による漁獲量は1人1日当たり2.6–4.6 kgもあった (藤川ほか, 2004)。これは、漁業者が産卵期に斐伊川に蝸集する群れを漁獲する

2015年3月18日受付, 2016年2月29日受理

¹ 元島根県水産技術センター内水面浅海部

Inland Water Fisheries and Coastal Fisheries Division, Shimane Prefectural Fisheries Technology Center, Izumo, Shimane 691-0076, Japan (original affiliation).

² 水産大学校

National Fisheries University, Shimonoseki, Yamaguchi 759-6595, Japan

† yuji.f@green.megaegg.ne.jp

ことを目的に刺網を設置していたためと考えられた。一方、資源量の減少を受けて、宍道湖漁業協同組合は2003年以降、1月15日から2月15日の1ヶ月間、斐伊川河口沖560 m以内での刺網漁業を禁止しているが（藤川ほか、2004）資源量は現在まで回復していない。

2003年の1-2月の刺網のべ出漁日数は250日で、1人1日当たり漁獲量は1.5 kgにも達した（藤川、2004）、一方で、同時期に、ます網は宍道湖全域に12統が設置されたものの、総漁獲量はわずか56 kgしかなかった。これは、刺網操業禁止水域のすぐ外側に刺網を設置することで、産卵のために集まったワカサギを漁獲しているためと考えられた。以上のことから、今後さらなる対策を講じる必要がある。資源管理策を考えるには上で、資源量推定結果は重要な基礎情報である。

ワカサギの資源量を推定するには、Delury法がよく用いられている（白石、1960; 鳥澤、1999; 冨永、2004）。これは、ワカサギが漁獲に際して、短期間に強い漁獲圧力を受けることが多いためである。以前の研究では、宍道湖でも、ます網月別漁獲量資料を使って、この手法で資源量が推定されている（川島、1989）が、漁獲量が多いと考えられる刺網を考慮していない。そもそも、宍道湖では、刺網の漁獲量と漁獲努力量の資料がないので、Delury法を用いることはできない。なお、2000-2005年ではそれらは推定されているもの（藤川・内田、2015）、この期間は不漁期に当たるため漁獲量は非常に少ないので、誤差が大きいと考えられたのでDelury法を用いることができなかった。

卵数法はDelury法など漁業統計を利用する資源量推定法とは異なり、産卵量から資源量を推定する手法で、漁獲統計を使用しない（田中、1985）。ワカサギは砂礫に粘着卵を産み付ける。したがって底質を採取し、砂礫に含まれる卵を計数することでその分布密度を得ることができる。また、ワカサギの産卵回数は年に1回と考えられるため（白石、1960; 落合・田中、1986; 片山、1996）、比較的容易に1匹当たり産卵数を推定することができる。これらのことから、ワカサギの産卵親魚資源量を推定するには卵数法が適していると考えられ、この方法を用いて産卵親魚資源量を推定した。

材料と方法

産卵場調査

宍道湖は鳥根県出雲市と松江市、中海は鳥根県松江市、安来市と鳥取県境港市および米子市にまたがる汽水湖であり、両湖は大橋川により繋がっている。藤川・片山（2014）による宍道湖、中海へ流入する河川における2004年、2005年の大規模な産卵場調査によりワカサギの産卵は最大の流入河川で一級河川である斐伊川の下流および河口域に集中することが明らかになっている。したがって、本研究ではFig. 1に影で示す斐伊川最下流域を宍道湖、中海における

主たる産卵場と規定し、その範囲内の21の調査点において2004年2月18日と19日に実施された産卵量調査結果を使用した。産卵場内の調査点の緯度と経度をハンディ型GPS（エンベックス気象計社）で計測し、産卵場面積、242,987 m²を求めた。産卵場水域の川幅は、約140-240 mで、最も上流の調査点から河口までの距離は約1,700 mであった。

産卵量推定のための採泥調査の概要を以下に示す。底質採集には水深が0.3 m以深の調査点ではスミス・マッキンタイヤ採泥器を、0.3 m以浅の調査点では採泥棒（藤川・片山、2014）を使用し、深さ約6 cmの底質を採取した。両採泥器の採集面は0.25×0.25 mの正方形で、面積は0.05 m²であり、これを以後単位面積とする。本調査で得られた平均出現卵数の信頼限界についてはスネデカー・コクラン（1972）の方法により求めた。

調査時のワカサギ卵がふ化していないことを確認するため、Fig. 1のSite Eの水深0.7 mの底部に設置した水温データロガー（JFEアドバンテック社）により、2003年12月27日から2004年3月31日までの10分間隔の水温を計測した。

ワカサギ卵の底質における層別採集調査

ワカサギ卵は底質の深さ10 cmまで出現することが報告されている（七條ほか、2000）。そこで、本研究でも2004年3月9日から10日に、Sites-A-F（Fig. 1）において、底質中の卵の層別分布を調べた。内径15 cmの塩化ビニル樹脂製パイプを用い、それを川底へ深さ15 cmまで挿しこんだ後、パイプの周りの砂礫を取り除き、底を仕切り板で塞いだ後底質を取り上げた。パイプの内側には目盛り刻んでおり、それを用いて、上部から3 cm間隔で砂礫を区分した。それらの砂礫に10%ホルマリンを直ちに加え卵を固定した。実験室においてローズベンガル水溶液で卵を染色した。0.5 mm目合い篩にかけ、卵を選別・採取した。実体顕微鏡を用いてワカサギの卵を同定した。膜状の付着器を有するものをワカサギ卵とした。

体重と抱卵数の関係と性比

卵巣内の成熟した卵の直径は同一個体ではほぼ均一であることから、雌は年に1回、一晚で産卵を終了すると推測されている（白石、1960; 落合・田中、1986; 片山、1996; 鳥澤、1999）。成熟雌の抱卵数と産卵数は、ほぼ一致するとして（片山、1996）解析を進めた。

2004年1月26日から2月4日に船川河口沖に設置されたます網（Fig. 1）で採集したワカサギ標本により体重と抱卵数の関係を調べた。成熟個体は、腹部を軽く押し、半透明でオレンジ色の卵が流れ出てくるか否かで判別できるため（鳥澤、1999; 片山、1996）、その方法を用いてワカサギの成熟度を調べた。成熟していると判断した19個体について、体重を計測した後、開腹し卵巣を取り出し、その重量を計測した。その後、卵巣の頭部側から尾部側にかけての5ヶ所から副標本を採取した。副標本の卵巣重量に対する割合は2.35-15.9%の範囲であった。副標本内の卵数を

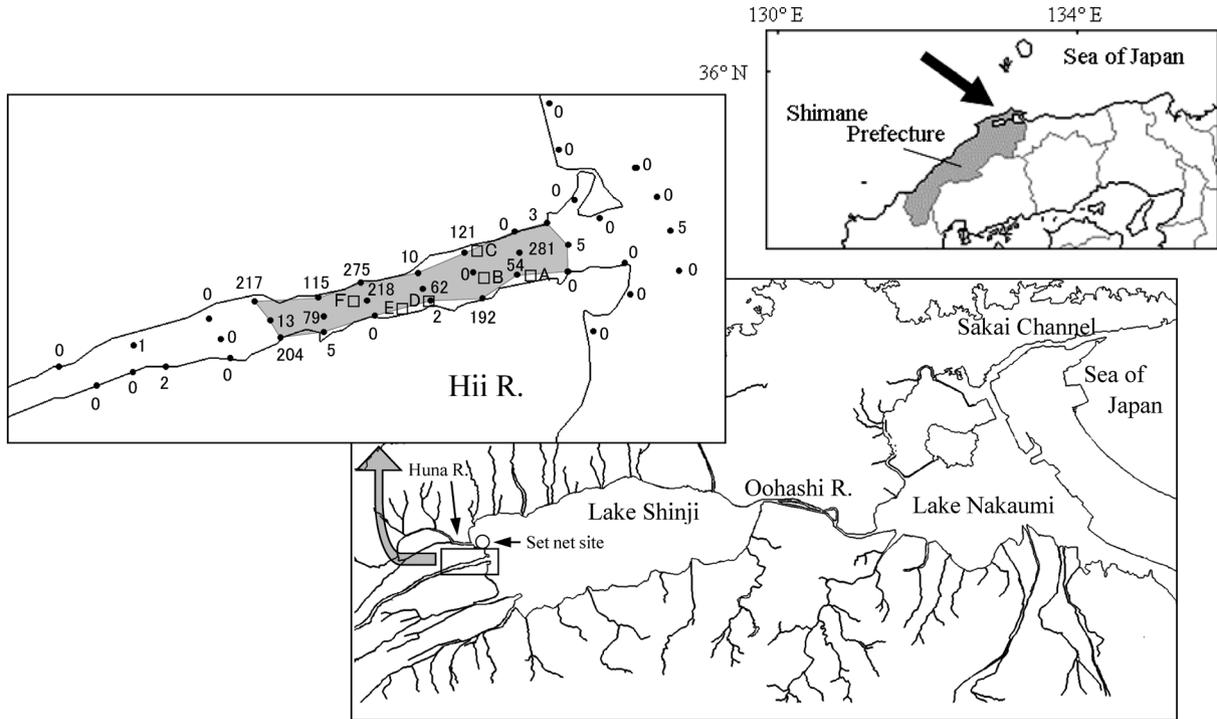


Figure 1. Topography of pond smelt spawning ground in River Hii (shaded area). Black circles show sampling sites of pond smelt eggs, and numerals are number of eggs sampled per 0.05 m². Open circle show set net site for sampling of pond smelt. Open squares (A–F) show sampling sites of pond smelt eggs for each vertical layers of bottom. Site E where 10-min intervals of water temperature were recorded.

計数し、重量比例配分法により抱卵数を求めた。体重と抱卵数の関係に1次回帰式をあてはめた。この式に本調査によって成熟していると判断された56尾の雌の平均体重を代入して、雌1尾当たりの平均的な抱卵数を推定した。成熟、未熟個体の平均体重を求めるために、船川河口沖に設置されたます網で採集された雌77尾、雄83尾の体重を測定した。

河川を遡上する産卵群について、最初は雄の割合が高いが、やがて、雌の割合が増加する(白石, 1960; 栗林, 1982; 七條ほか, 2001)と報告されている。このような現象は、ワカサギの産卵に際しての行動特性に起因するものだと考えられる。資源全体での性比を明らかにするには産卵行動を始める前の雌雄比を計測する必要があるが、網走湖における研究では、性比は1対1であると報告されていることから(鳥澤, 1999)、本研究でも性比は1対1とした。

親魚資源量の推定

産卵場の総産卵量を雌1尾当たりの平均抱卵数で割ることで雌の産卵親魚資源尾数を推定した。性比は1対1なので、雄は雌と同じ数となる。雌雄の親魚資源尾数それぞれに、平均体重を掛け、さらにそれらを合計することで親魚資源量を推定した。さらに、親魚資源量を卵の層別出現結果により補正した。

結果

斐伊川における産卵量の推定

産卵場面積における単位面積当たりの平均出現卵数は88.4粒、標準偏差は101.2粒であった。この平均値の信頼率95%の信頼区間は88.4±43.3粒であった。これらの結果から総産卵量は429,601,016粒と推定された。

卵の底質中の層別出現状況

斐伊川におけるワカサギ卵の底質中の層別出現状況をTable 1に示す。Site Eでは深さ0から15 cmに出現し、特に深さ9–12 cmからは8粒と多く出現した。Site Fでは同様に、深さ0から15 cmまで出現し、深さ9–12 cmからは2粒が出現したが、その他の層からは、4粒から7粒が出現した。Site Cでは深さ0–9 cmに出現し、Site Dでは0–3 cmだけに出現した。両地点とも、深さ12–15 cmからは底質を採集できなかったが、これは、この層の深さ12 cm以深の底質が硬かったため、採泥棒を挿入できなかったためである。Site AとSite Bでは、ワカサギ卵は全く出現しなかった。両地点とも、深さ14–15 cmからは底質を採集できなかったが、これは、深さ14 cm以深の底質がSite CとSite Dと同様に硬かったためである。6地点の水深は15 cmから25 cmの範囲にあり、すべての底質は礫砂であった。

6調査点における総採集卵数は54粒であり、この内、底質の深さ6 cmまでには24粒が採集され、その比は2.25で

Table 1. Vertical distribution of pond smelt eggs in sediment in March 9–10, 2004. Sampler (pipe with a diameter of 15 cm) was pushed to sediment.

Depth (cm)	Site A	Site B	Site C	Site D	Site E	Site F	Mean
0–3	0	0	8	1	2	4	2.5
3–6	0	0	1	0	1	7	1.5
6–9	0	0	3	0	4	7	2.3
9–12	0	0	0	0	8	2	1.7
12–15	0*1	0*1	No data*2	No data*2	1	5	1

*1 Sampler was pushed up to 14 cm depth because sediment was so hard.

*2 Sampler was pushed up to 12 cm depth because sediment was so hard.

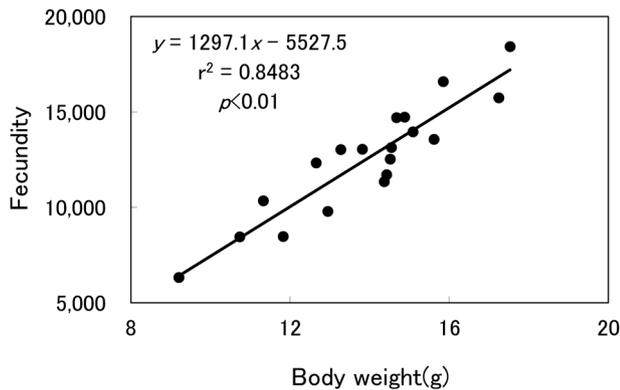


Figure 2. Relationship between fecundity (FC) and body weight (BW: g) of pond smelt in Lake Shinji in January–February 2004.

あった。

体重と抱卵数の関係

体重BW (g) と抱卵数FCの間には有意な正の相関関係が見られた (Fig. 2)。体重 (BW: g) と抱卵数 (FC) の関係は以下の式で示された。

$$FC = 1297.1BW - 5527.5 \quad (r^2 = 0.848, p < 0.01)$$

2004年1–2月の成熟雌56尾の平均体重は12.7 gで、この値を体重と抱卵数の関係式に代入することで、雌の平均抱卵数は10,946粒と推定された。

親魚資源量の推定

産卵場の総産卵量429,601,016粒を1個体あたりの平均抱卵数で割った結果、雌の親魚の個体数は39,247個体で、雄の個体数も同数であると推測された。雌77尾の平均体重は12.1 g、雄83尾の平均体重は9.85 gであった。推定された雌雄の親魚資源量それぞれに、雌雄の平均体重を掛けた和は861 kgであった。

卵の層別出現状況調査により、総出現卵数は、底質6 cm以浅での採集卵数の2.25倍であった。この値により引き延ばすと、親魚資源量は1,937 kgと推定された。

考察

資源量推定に対するふ化、流失および捕食の影響

一般に魚類では、水温とふ化日数の積 (積算温度) は一定と考えられている (隆島, 1982)。ワカサギでは、水温7°Cの条件下でふ化日数は38日と報告されていることから (稲葉, 1967)、積算温度は266°C日である。宍道湖でワカサギの主たる産卵が始まった1月11日から、本調査が行われた2月18, 19日までの日数は39–40日で、この間の平均水温は4.7°Cであった。前述の積算温度266°C日を平均水温4.7°Cで割ることで、ふ化までに56.6日必要と考えられ、1月11日に産卵された卵が2月18, 19日までにふ化することはなかったと考えられる。したがって、本研究によって推定した総産卵量は、産卵量を積算した値と考えられた。

卵は砂礫に付着するものの、一部は宍道湖へ流出すると考えられるが、今回の研究では流失した卵について考慮しておらず、その点では産卵量を過小評価している可能性がある。また、砂礫に付着した卵については、外敵により捕食される可能性はあるものの、産卵期の平均水温は非常に低いため、捕食者の活性は低いと考えられる。したがって本研究では被食による影響は考慮しなかった。

親魚資源量推定に対する卵数法の適性

卵数法による資源量の推定は、海洋の浮魚類についてよく用いられている。例えば、今井ほか (1998) は、カタクチイワシ太平洋系群の雌親魚資源量を推定し、渡邊ほか (1999) も伊豆諸島海域のマサバ雌親魚資源量の推定を行っている。しかし、海洋では産卵量を正確に推定することが難しく、そのために推定誤差が生じてしまう。さらに、浮き魚類の多くは複数回産卵を行うため、1回当たりの産卵数、産卵間隔および産卵回数などを把握する必要があるが、これらは一様ではなく、水温等の環境要因 (今井ほか, 1998) や、時期によって変化する (渡邊ほか, 1999)。そのため、そのことによって誤差が生じてしまう。一方、ワカサギの産卵回数は1回で (白石, 1960; 落合・田中, 1986; 片山, 1996)、さらにふ化する前に卵数を計数できるため、誤差は少ないと考えられる。宍道湖のワカサギの21地点の調査での単位面積当たりの平均卵数の95%の信頼区間は88.4±43.3粒

であった。平均値と標準偏差は変わらないと仮定したうえで、定点数を50地点に増やすと、信頼区間は 88.4 ± 28.1 粒となった。したがって、調査地点の設定を標本抽出法に基づき適切に行えば、1回の調査結果から推定した産卵量からの単純な計算で精度の高い雌親魚資源量を推定できると考えられた。

卵の底質中の層別出現状況

過去に鳥取市湖山池への流入河川である長柄川において、ワカサギの盛んな産卵行動が見られた場所で、翌日アクリルパイプを差し込むことで調査した結果では、すべての卵が深さ2 cm以内に分布しており、さらに80%が深さ1 cm以浅に分布していたことが報告されている(七條ほか, 2000)。さらに、受精卵を放流することで行った実験では、放流2日後に放流地点から20 m下流の底質中の深さ9–10 cmに卵が分布することが確認された。これは底質の表層部分に産み付けられた卵が、その後、砂とともに流され、下流の一定の場所に堆積するためと考えられている(七條ほか, 2000)。

今回我々が調査を行った斐伊川でも、上流部には花崗岩が風化してできた砂礫が多くみられ、それらが下流部に流され堆積している(高安ほか, 1985)。したがって、斐伊川においても同様に、卵は砂礫とともに下流部に流され底質中に堆積していると推測された。実際、Site EやSite F (Fig. 1)では、ワカサギの卵は底質の15 cmの深さまで出現していることから、これらの調査点は、卵が堆積した場所であると推測された。

今回の調査では、底質の15 cm以深については調べていない。そのため、15 cm以深にも分布する可能性も残されており、今後の調査で検討する必要がある。Site A, Site B (Fig. 1)では、採泥器は地中深さ14 cmまで、Site C, Site D (Fig. 1)では12 cmまでしか挿入できなかったが、これは硬い底質に阻まれたためであって、そのことから、これらの調査点では調査を行った底質よりも深いところには卵は分布しないと考えられた。

一方、調査で底質深さ6 cmまでから得られた卵数の平均は4粒で、これを0.05 m²あたりに換算すると11.3粒となり、2004年2月18, 19日に行った全体調査の約1/8であった。調査日の2004年3月9日、10日は産卵初期の1月中旬からの積算温度が266°C日を超えており、一部の卵がすでにふ化していた可能性が高い。今後はこうした調査を産卵終了直後に実施することで、よりよい資源量推定結果が得られると考えられる。

謝辞

本研究は、鳥根県単独事業(宍道湖・中海水産振興事業)により行った。宍道湖漁業協同組合には、調査を行ううえで数々の便宜を賜った。元鳥取大学獣医学科の七條喜一郎博士、東北大学大学院農学研究科の片山知史博士、東京大

学大学院新領域創成科学研究科の南里敬弘博士には有益な助言をいただいた。1996–2000年にかけての、ワカサギ刺網の漁獲量は、故石原清司氏が記録していたものを使わせていただいた。これらの方々に、心より御礼申し上げます。

引用文献

- Berg, L. S. (1962) Freshwater fishes of the U.S.S.R. and adjacent countries, Academy of Sciences of the U.S.S.R. Zoological Institute, 475–477.
- 浜田啓吉 (1980) ワカサギ—弱いものは強い。「日本の淡水生物」川合禎次, 川那部浩哉, 水野信彦編, 東海大学出版会, 東京, 49–55.
- 藤川裕司 (2004) 宍道湖刺網漁業実態調査. 平成14年度鳥根県内水面水産試験場事業報告, 5, 3–9.
- 藤川裕司・片山知史 (2014) 宍道湖, 中海におけるワカサギの産卵場と産卵期. 水産増殖, 62, 375–384.
- 藤川裕司・森山 勝・大北晋也 (2003) 有用水産動物生態調査(ワカサギ, シラウオ). 平成13年度鳥根県内水面水産試験場事業報告, 4, 95–111.
- 藤川裕司・持田和男・江角陽司・大北晋也 (2004) 宍道湖におけるワカサギ不漁原因の検討とワカサギ, シラウオ資源のモニタリング. 平成14年度鳥根県内水面水産試験場事業報告, 5, 31–42.
- 藤川裕司・内田 浩 (2015) 宍道湖における2000–2005年漁期の刺網によるフナ類, シラウオ, スズキ, ワカサギの漁獲量推定. 鳥根県水産技術センター研究報告, 8, 51–57.
- 今井千文・楢取和明・田島良博・中村元彦・内山雅史・山田浩且 (1998) 水温情報を用いた卵数法によるカタクチイワシ本州太平洋系群の資源量推定. 水産海洋研究, 62, 356–368.
- 稲葉伝三郎 (1967) ワカサギの増殖. 「淡水増殖学」. 恒星社厚生閣, 東京, 254–261.
- 片山知史 (1996) 小川原湖のワカサギ個体群に関する資源生態学的研究. 東北大学学位審査論文, 171 pp.
- 川島隆寿 (1989) 宍道湖におけるワカサギ及びシラウオ資源の変動. 鳥根県水産試験場研究報告, 6, 69–80.
- 栗原伸夫 (1982) ワカサギ. 「淡水養殖技術」野村 稔編, 恒星社厚生閣, 東京, 328–335.
- 落合 明・田中 克 (1986) ワカサギ. 「魚類学下」. 恒星社厚生閣, 東京, 477–483.
- 白石芳一 (1960) ワカサギの水産生物学的ならびに資源学的研究. 淡水区水産研究所研究報告, 10, 1–263.
- 七条喜一郎・松本 勉・斉藤俊之・吉田 勲・竹内 崇・原田悦守・鈴木 實 (2001) ワカサギの新産卵法に関する研究. 鳥大農研報, 54, 71–76.
- 七条喜一郎・松本 勉・吉田 勲・奥村武信・斉藤俊之・竹内崇・原田悦守・鈴木 實 (2000) ワカサギの産卵行動と受精卵に関する研究. 鳥大農研報, 53, 89–93.
- スネデカー・コクラン (1972) 標本抽出の設計と分析. 「統計的方法」畑村又好, 奥野忠一, 津村善郎共訳, 岩波書店, 東京, 467–498.
- 隆島史夫 (1982) 発生. 「淡水養殖技術」野村 稔編, 恒星社厚生閣, 東京, 37–41.
- 高安克己・大西郁夫・徳岡隆夫 (1985) 宍道湖のおいたち. 「宍道湖の自然」佐藤仁志編, 山陰中央新報社, 鳥根県, 98–105.
- 田中昌一 (1985) 産卵量からの資源量の推定. 「水産資源学総論」. 恒星社厚生閣, 東京, 271–279.
- 富永 敦 (2004) 冬季の張網入網量データを用いたワカサギ漁獲量の予測. 茨城県内水面水産試験場調査研究報告, 39, 59–66.
- 鳥澤 雅 (1999) 網走湖産ワカサギの生活史多型分岐と資源変動機構. 北海道立水産試験場研究報告, 56, 1–117.
- 渡邊千夏子・花井孝之・目黒清美・荻野隆太・木村 量 (1999) 1日当たり総産卵量によるマサバの資源量推定. 日水誌, 65, 695–702.