

涸沼川におけるワカサギ産卵場の形成時期の推定

—河川構築物の下流域における産卵動向—

根本 孝

Physical characteristics of the spawning ground of pond smelt, *Hypomesus nipponensis* at the downstream of river structure as the consolidation work with head of fluid in Hinuma river, an inflow-stream to Lake Hinuma

Takashi NEMOTO

Abstract

This study has been directed in physical characteristic which are water depth, current velocity and substrate size of the spawning ground of pond smelt, *Hypomesus nipponensis* at the downstream of river structure as the consolidation work with head of fluid in Hinuma river, an inflow-stream to Lake Hinuma from February 2 to February 27 in 2012. The amount of eggs deposited was determined by collecting the bottom substrates by means of a quadrat flame. The eggs deposited were found on coarse sand, as ranges of median diameter 0.37 to 2.72 mm with the surface flow of 30 to 52 cm/sec. The number of eggs was counted on each stages of development of 1) gastrula stage, 2) embryonic body stage, 3) optic cup stage, 4) eyed stage. On February 3, 18.6 % of collected eggs was determined as on eyed stage. And on February 27, 42.9 % of collected eggs was determined as on gastrula stage. The existence of the eggs which were on each stages of development suggests pond smelt in Lake Hinuma spawn in this area from the middle of January to the last of February.

Key Words : *Hypomesus nipponensis*, pond smelt, Hinuma, spawning grounds

1. 目 的

涸沼におけるワカサギは主要な漁獲対象種の一つである。しかし、茨城農林水産統計年報（以下、農林水産統計という）によれば、涸沼ではワカサギを含めた魚類の漁獲量は、総じて減少傾向にある。農林水産統計では、涸沼としての区分による漁業生産統計値は 2006 年まで示されているが、涸沼において最大の漁業生産をあげる貝類のしじみを除くと、魚類の漁獲量は 1960 年に 902 トンを記録して以降、減少している。その後 1994 年から 2003 年までは 100 トン台で推移した後、さらに減少し 2006 年は 31 トンとなった（図 1）。

魚種別漁獲量では、わかさぎは、はぜ類、うなぎ、ふな類、うぐいに次ぐ漁獲量を上げている魚種であり、長期的にみてもこの順序にはほとんど変化がない。わかさぎは 1959 年の 22 トンを最高にその後減少し、1999 年までは 10 トン前後で緩やかな増減を示した。しかし 2000 年に 7 トンとなり、2006 年は 2 トンにまで減少した。

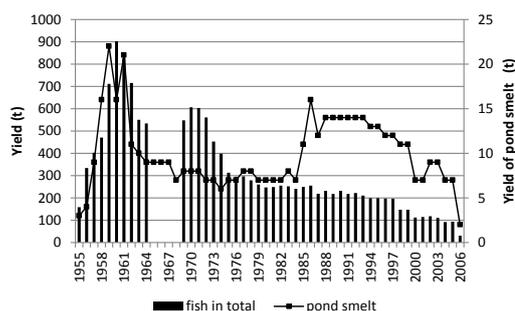


Fig.1 Change of yield of fish in Lake Hinuma (1965-1968: no data)

図 1 涸沼の魚類の漁獲量の推移 (1965 年～1968 年は統計なし)

涸沼は周囲 22 km、面積 9.35 km² で、平均水深 2.1m の那珂川水系の汽水湖である。涸沼への直接の流入河川は 6 本あり、その最大は上流側の涸沼川である。また、涸沼の東端で下流側の涸沼川として流出し、北東方向に流れて那珂川と合流し、太平洋につながっている（図 2）。

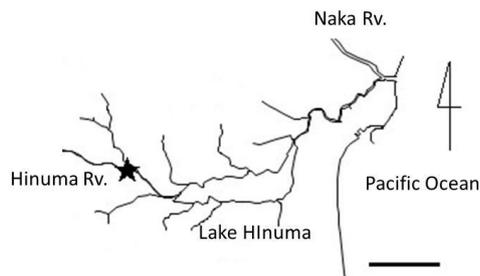


Fig.2 Map of Lake Hinuma and inlet rivers
Bar scale : 4 km, Asterisk : research site

図2 涸沼および流入河川の位置図
縮尺線は 4km、★は調査地点

涸沼におけるワカサギの産卵場は、涸沼上流側の涸沼川に形成されることが確認されている。事実、地元の大涸沼漁業協同組合では、ワカサギの資源増殖のための人工ふ化放流事業を実施しているが、その採卵用親魚を、涸沼西端にある上流側の涸沼川の河口に設置した張網（小型定置網）によって、上流側の涸沼川に遡上するワカサギを採捕して確保している。ワカサギ親魚の遡上時期は、例年 1 月下旬から 2 月中旬にかけてみられ、川底の砂からワカサギの受精卵が確認されている。その後、ふ化仔魚は例年 2 月下旬から 3 月上旬にかけて涸沼水系内に出現し、以後成長に従い、周年涸沼で確認される（猿渡 2006）。そしてワカサギは、例年 10 月以降が漁期となって、主に張網により漁獲される。

涸沼におけるワカサギ資源の増殖を図る上で、その産卵場の機能の維持は極めて有益といえるが、これまでのワカサギ産卵場の知見は十分とはいえない。そこで本研究では、2012 年冬季の上流側の涸沼川におけるワカサギ産卵場の形成状況を、河川構築物の床止の下流で調査し、その産卵場の形成時期の推定を試みた。

2. 方法

調査時期はワカサギの産卵時期とされる 2012 年 2 月とし、2 月 2, 3, 9, 17, 27 日の 5 回にわたり現地調査を行った。なお、3 月 6 日も現地調査を予定したが、前日からの大量の降雨により水位が大幅に上昇したため、河川への立ち入りができなかった。このときの流況から、調査箇所の河床底質の激しい攪乱と底質の流去が推察されたため、以降の現地調査は行わなかった。

調査地点は、涸沼川の涸沼流入点から上流へ 4.3km の地点であり、茨城県東茨城郡茨城町小鶴地先と同町奥谷との間にある橋梁「高橋」の下流側にあたる。この地点には農業用取水施設である小堤揚水機のための床止が設置されている。また、この床止は平水時には落差があり、例年、遡上したワカサギの滞留が認められる。

調査範囲は、この床止を上流端とし、その下流側へ 30m までの範囲とした。調査地点の川幅は、床止工部分が最大で約 30m、その下流部はやや狭まり約 20m であ

る。なお、現地調査はすべて平水時に実施しており、調査時の水深は、調査範囲内のほぼ全てで 50cm 以下である。また、河床形状は、床止直下の越流水による洗堀部を除き、全般に平坦である。また、平水時には下流側に平坦な中州も形成されている。

自然産卵によるワカサギ卵を採集するため、1 辺 30cm 四方のコドラートを採集点の河床の底質上に置き、コドラート枠内の底質をその表層から深さ約 3 cm の範囲で採集した。コドラートを設置した地点は、毎回同一の地点となるよう留意した。その採集点の位置は、床止の左岸側、岸から約 5m の床止直下から約 1 m 下流側であって、その水深はおよそ 30cm で、かつ、周辺より比較的表面流速が小さい、流れの緩やかな箇所とした。ここでは底質の表面は泥に覆われておらず、砂礫の堆積が視認できる。このほか、床止直下から 15m, 30m 下流の地点も採集点とした。

採集した底質は現地で標本瓶に収容し、10%ホルマリン溶液で固定した。砂利等の底質に付着している卵の採取は、標本瓶を振とう攪拌することで付着基質から剥離させ、標本瓶を静置した後、沈降した底質の表面上に堆積している、剥離した卵をスポイトで吸引して採取した。

採取した卵の計数時には、活卵と死卵の別に加えて、活卵についてはその受精卵の発生段階別に分類して計数した。活卵の発生段階別の分類は実体顕微鏡下で卵を観察して行った。すなわち分類は次の 4 つの段階とし、それは 1) 胚盤形成期、2) 胚体形成期、3) 眼盃形成期、4) 眼盃色素沈着期である（図 3）。また死卵の判別は、卵膜の内部が白濁しているものとした。卵の観察時には、活卵として、胚発生の進行が認められるものの、卵膜表面に真菌類の繁殖が著しいものもあった。それらの大部分はやがて死卵となることが予想されたが、それらはいずれも活卵とした。

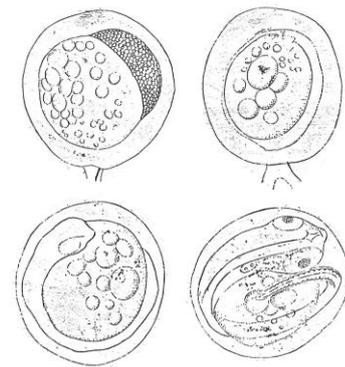


Fig.3 Embryonic development of pond smelt
Upper : left; gastrula stage, right; embryonic body
Lower: left; optic cup stage, right; eyed stage

図3 ワカサギ卵の発生過程模式図
上段左：胚盤形成期、右：胚体形成期
下段左：眼盃形成期、右：眼盃色素沈着期
（茨城県水産試験場(1912)より転載）

環境条件の測定項目は、水温、水深、流速および底質粒径とし、現地調査の各日の午前9時に測定した。流速は、浮標が一定距離を流下する時間を測定し、表面流速とした。コドラートで採集した底質の粒径については、タイラー標準篩を用いて Wentworth の粒度区分により、粒度組成分析に供した（水質汚濁調査指針，1980）。

3. 結果

調査地点の概況を示した（図4）。床止の川幅中央部やや右岸よりには、床止に接して干出した中州の小丘があり、越流はその両側に分かれていた。流況は小丘を挟んで右岸側が流心となっており、その右岸側の川幅は約10 mであった。流心側には床止の落水部から下流側に約10 mの延長で、河床に護床工としての根固めブロックが被覆されており、それは土砂に埋没することなく、水面から視認できた。その護床工付近の水深は40 cm から50 cm程度であった。また流心の反対側にあたる小丘の左岸側の川幅は約20mであり、その床止直下付近は水深20 cm から40 cm程度となっていた。

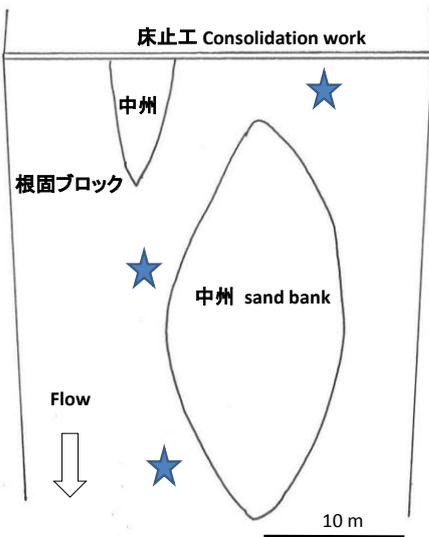


Fig.4 A portion of the Hinuma river where the spawning ground was studied (Bar scale indicates 10 m, Asterisk indicates the point of collecting bottom substrates)

図4 調査地点の概況図（☆は底質採集地点を示す）

ここに床止直下付近の河川横断面図を示す（図5）。現地調査時には、床止直下付近の数カ所において流速を測定した（図6）。水深の深い場所ほど、床止からの越流水の水勢も強く流速も大きい傾向がみられた。

底質の採集点の河床形状は、以下のとおりであった。すなわち、床止直下約1 m 地点の水深は約30 cmで、その付近と比較して浅かった。河床勾配は、平たんではなく、床止の越流水直下の乱流による洗堀が回復するよう

な部分であり、付近の中洲へ向かっての駆け上がりの緩傾斜となっていた。



Fig.5 A cross section at the consolidation work
図5 床止直下付近における河川横断面の水深

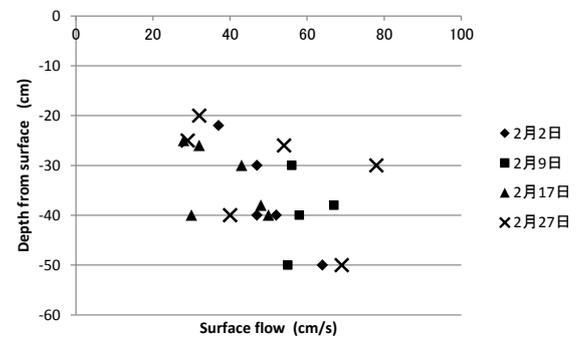


Fig.6 Relationship of depth and surface flow at the consolidation work

図6 床止直下付近における水深と表面流速の関係

次に、底質の中央粒径値を表に示した（表1）。粒度分析は同一点で採集した底質を用いているが、採集日より中央粒径値は0.37 mm から2.72 mm とばらつきがみられた。これは流況による洗砂の影響によるものといえるが、いずれの測定でも中砂、粗砂、細礫までの範囲にあったことから、床止直下付近における底質は、細かい粒径の砂礫により構成されていた。

Table 1 Data of a mean size of rubbles in the bottom at the consolidation work on each date

表1 床止直下のワカサギ卵採集地点の底質中央粒径

	(mm)		
Date	02 FEB	17 FEB	27 FEB
Diameter	0.377	0.943	2.721

採集した卵は、すべてワカサギ卵と同定された。ワカサギ卵は、いずれの調査日においても採集された。採集したワカサギの卵数を活卵と死卵別に示した（表2）。また、コドラートで搔爬した底質面積から、分布密度を示した。ただし、2月2日と2月3日の現地調査時は、

コドラートを用いず、標本瓶により底質を搔爬して採集している。期間中の採集卵数の合計は 1,756 粒であり、その活卵率は 81.1 %であった。期間中の平均分布密度としては 997 粒/m²となった。

Table 2 Data of a number of pond smelt eggs at the downstream of the consolidation work in Hinuma river on each date

表 2 床止下流域におけるワカサギ卵の採集結果

Date	WT °C	Total of eggs	Numb. of alive eggs	Numb. of dead eggs	Area of scooping m ²	Density of eggs ind./m ²
		ind.	ind.	ind.		
02 FEB	—	3	2	1	0.0648	46
03 FEB	2.1	50	43	7	0.0525	952
09 FEB	6.5	58	48	10	0.27	215
17 FEB	6.5	1,635	1,325	310	0.54	3,028
27 FEB	6.5	10	7	3	0.36	28

現地調査日毎の採集したワカサギ卵の分布密度をみると、2月2日以降徐々に増加しており、2月17日に3,028粒/m²と最大となった。その後2月27日には28粒/m²と急減し、最小になった。この間の分布密度の推移は、2月3日と2月17日に二度のピークを示す結果となった。このとき、2月17日と2月27日の2回の現地調査時では、コドラートによる底質の採集を床止直下の採集点以外の場所でも行った。すなわち、2月17日は床止直下のほか、床止の下流15m地点と下流30m地点の3地点で採集し、2月27日は床止直下および床止下流15m地点の2地点で採集した。なお、この2月17日と2月27日に採集点とした床止下流15m地点は同一場所である。

2月17日に採集したワカサギ卵数は、その前後と比較して急増していたことから、複数地点で底質の採集を行った2月17日および2月27日の採集結果について、地点間でのワカサギ卵数の比較をした(表3)。

Table 3 Comparison of a density of eggs among the sites (Sites shows the distance from the consolidation work)

表 3 底質採集地点別のワカサギ卵分布結果

Date	Site	Total of eggs	Numb. of alive eggs	Numb. of dead eggs	Area of scooping m ²	Density of eggs ind./m ²
		ind.	ind.	ind.		
17 FEB	2m	233	188	45	0.18	1,294
	15m	839	633	206	0.18	4,661
	30m	563	504	59	0.18	3,128
27 FEB	2m	6	5	1	0.18	33
	15m	4	2	2	0.18	22

その結果、2月17日は床止下流15m地点での卵数は、床止直下での卵数の3.6倍であり、床止下流30m地点での卵数は同2.4倍であったのに対し、2月27日では床止下流15m地点での卵数は、床止直下の0.6倍であつた。

た。

次に、各回の採集卵のうちの活卵について、その発生段階別に分類した(表4)。

Table 4 Distribution of a stage of development of collected alive eggs on each date

表 4 採集したワカサギ卵の発生段階の推移

Date	Numb. of alive eggs	Stage of development			
		Gastrula	Embryo	Optic cup	Eyed
	ind.				
02 FEB	2	—	—	—	—
03 FEB	43	12	6	17	8
09 FEB	48	14	10	6	18
17 FEB	1,325	513	70	110	632
27 FEB	7	3	0	1	3

2月3日以降の発生段階別の構成割合の推移をみると、眼蓋に色素が沈着した発眼完了段階の卵は2月3日に18.6%を占めており、その後増加して2月17日に47.7%と最大となった。続く2月27日も42.9%と大半を占めていた(図7)。

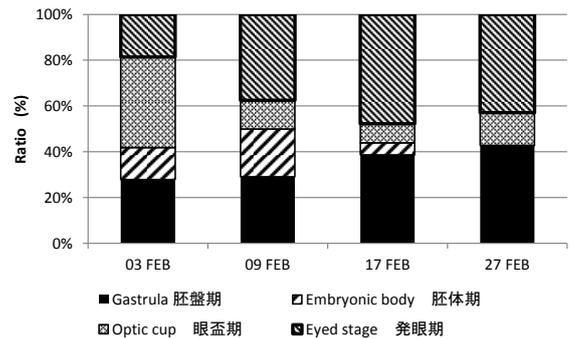


Fig.7 Change of a percentage of four embryonic development stages of pond smelt eggs collected at the downstream of the consolidation work

図 7 採集したワカサギ卵の発生段階別割合の推移

眼蓋形成段階の卵の構成割合は、2月3日に39.5%で最大となって以降減少し、2月17日は最低の8.3%となった。しかし、2月27日には14.3%となった。胚体形成段階の卵の構成割合は、2月3日より2月9日が高く、最大の20.8%となった。続く2月17日には5.6%に減

少し、2月27日には確認されなかった。受精後最も経過時間の短い、胚盤形成段階の卵の構成割合は、2月3日の27.9%から徐々に高くなり、2月27日に42.9%にまで増加した。

4. 考 察

調査地点とした床止では、平水時には約10cm程度の落差がみられた。床止は、河床のみならず河床から水面

までの全体の横断面を変えるという点で、遡上するワカサギにとっては橋脚の及ぼす影響よりも大きなものといえる。

地元の漁業協同組合によれば、例年ワカサギの産卵遡上時期には床止の下流側に、ワカサギが床止を遡上することなく滞留している現象がみられるとのことである。本研究においても、2月2日の現地調査では、投網により床止直下の淵でワカサギの雄を数尾採捕している。今回、この床止の上流域では調査を行っていないため、上流域へのワカサギの遡上と産卵場形成の有無は不明である。しかし、茨城県水産試験場内水面支場内に設置されている、人工河川を用いた産卵遡上行動の観察によれば、遡上はオスがメスよりも先に産卵場となる水域に滞留し、徐々にメスの遡上に加わることで、産卵行動ではアユのように激しい動きはせず、通常のように泳ぎながら卵と精子をこぼし流すように放出するという（根本ら2003）。これらの遊泳行動から推察すると、今回の調査地点の床止での落差において、それを能動的に飛び越えて遡上するという遊泳行動はおこりにくいと考えられた。また、3月6日の現地調査時に遭遇したような、降雨による河川の増水により床止の落差が消失しているような流下状況では、河床の全域で流速は、平水時よりも大きくなっている。既往知見では、流入河川におけるワカサギ産卵場形成場所の流速は40～140 cm/sの範囲にあるとされていること（白石1952, 吉田1960, 中村ら2001）から推察すれば、3月6日の床止の落差の消失時の流速は、明らかにこれを上回っていたので、この場合もワカサギの遡上行動は起こりにくいと考えられた。このように遡上域の拡大や縮小は、特に河川構築物の落差と流況の程度に規定されるといえることから、年による変化も大きいといえる。しかし、上流側澗沼川においては、ワカサギの遡上域は、通常は今回の調査地点までとみてよいのではないかと考える。

本研究では、底質の採集は床止直下の一定地点で行っているが、その水深はおよそ30 cmであり、付近の表面流速は30 cm/sから52 cm/sの範囲であった。このような環境下での産卵は、既往知見での流速の範囲とも一致している。また、底質の粒径についても、既往知見によれば、流入河川において粒径とワカサギ卵の産着密度には、指数関数で示される密接な関係があり、そこでは概ね粒径5 mm以下の底質に分布がみられ、特に1 mm未満の区域に相当量が分布するという（白石ら1968）。今回のワカサギ卵の採集地点の粒度分析結果も、これに合致していた。しかし、床止直下、床止め下流15 m地点、同30 m地点間でみられた分布密度の相違を考えると、底質採集点の位置の選定誤差による採集卵数の変動は、大きいものといえた。

また、今回の調査区域内の河床形状の特徴は、その区域の大部分で、平水時には水深50 cm以下の浅い平坦域であったほか、中州周辺の川底の緩斜面にも細かい砂礫

底の場所が形成されていた点があげられる。今回、床止下流30 m地点でも相当数のワカサギ卵が採集された事例を考えると、床止下流側の区域は、広くワカサギの産卵場として機能しているといえた。よって今後、床止下流域のワカサギ産卵場の形成範囲をより詳細に明らかにする必要がある。

本研究では、受精卵の発生段階の観察からワカサギ産卵場の形成時期の推定を試みた。ワカサギ受精卵のふ化に要する期間は、既往知見では、水温7℃で38日、10℃で24日を要するとされ、積算水温としては、7℃で266度日、10℃で240度日に相当する（稲葉, 1961, 松原, 1965）。また、霞ヶ浦での調査結果では、平均水温7.8℃で26日から32日、平均水温9.1℃で25日から30日を要するとされている（茨城県水産試験場1912）ことから、ふ化に要する期間については、水温のほか、現場条件により変動するといえるものの、これらの値は有効な目安となろう。また、受精卵の発眼という、眼盃への色素沈着が完了する時期は、霞ヶ浦ではおよそ受精後2週間程度であること（根本2008, 未発表）から、眼盃への色素沈着は、ふ化までの日数のおよそ2分の1とみることができよう。

ワカサギ卵の胚体形成段階までの時間経過については知見が乏しいものの、胚盤形成は受精後3日、胚体の出現は受精後7日とされている（茨城県水産試験場1912）。他の魚種の例では、サクラマス胚発生の経過時間別の観察から、胚盤形成は受精後5日、胚体の出現は受精後6.5日となっており（根本1987, 未発表）、その時間経過はワカサギの発生経過と類似しているといえた。その後、サクラマスの眼盃の出現は受精後9日、眼盃への色素沈着は受精後16日であったことから、ワカサギの眼盃への色素沈着は受精後2週間程度といえるであろう。

本研究で得た現場水温は、2月3日は2.1℃と低温であり、河川表面には薄氷（シガ）の生成もがみられたが、2月9日以降は6.5℃であった。2月3日以前の水温は不明であるが、調査期間中の平均的水温を7℃とすれば、2月3日時点で色素沈着卵が採集されていることから、その産卵期は1月中旬であったと推察できる。また、2月27日には、胚盤形成段階の卵が採集されていたことから、その産卵期は2月下旬であったと推察される。また、胚盤形成卵は常に一定割合で出現していたことから、産卵はその間絶え間なく行われていたとも推察される。よって、2012年冬季の上流澗沼川におけるワカサギ産卵場の形成は、1月中旬から2月下旬まではみられたと考えられる。

一方、ここで興味深い知見も得られている。図8に地元の漁業協同組合が2012年1月中旬から2月中旬までの1ヶ月間、上流澗沼川の澗沼河口に設置した張網で採捕したワカサギ採捕量を示した。また、2009年1月に同様に採捕した結果も示した。

これは、漁業協同組合が、毎年ワカサギの人工ふ化放流事業を行うため、張網を1ヶ統設置してワカサギ産卵親魚を採捕しているものである。この張網の設置位置は上流側の涸沼川の河口の近傍であることから、ここでのワカサギの入網量は、その産卵期におけるワカサギ河川遡上傾向の指標になり得るものといえる。すなわち、このワカサギ採捕量は、張網の周辺水域のワカサギ資源量水準を反映しているばかりでなく、その入網量の変化はワカサギの産卵のための河川遡上行動の変化も反映していると考えられる。

その結果、兩年とも共通する二三の特徴がみられる。それらは、1) 設置後初日の採捕量が比較的多いこと、2) 張網設置後1月下旬にかけてワカサギ採捕量が増加し、1月下旬にピークを迎えていること、3) 採捕量が一旦低下した後、再び2月中旬にむけて増加していること、である。兩年とも張網でのワカサギ親魚の採捕は、人工ふ化放流事業の終了にともない終了しているため、

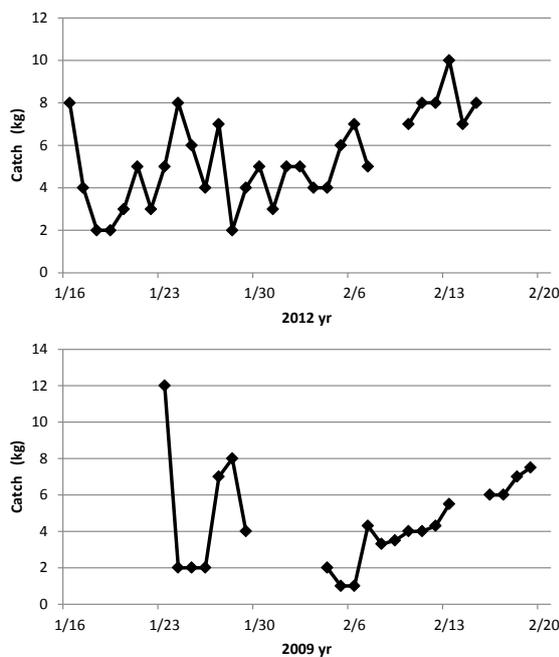


Fig.8 Change of a daily catch of pond smelt by a set net at the mouth of Hinuma river which flow to Lake Hinuma in each spawning season of 2009 and 2012

図8 大涸沼漁業協同組合による涸沼川流入口における張網でのワカサギ親魚採捕量の推移

その後の河川遡上の傾向を捉えきれてはいないが、2012年の採捕経過をみると、2012年2月中旬以降も遡上のピークにむけて、遡上量の増加があった可能性が示唆される。この場合、2月27日に採集したワカサギ卵には、胚盤形成段階の卵が確認されたこととも符号する。

今回の結果から、床止下流側がワカサギ産卵場として機能していることが示されたことから、涸沼におけるワカ

サギ資源の増殖を図る上で、産卵場の維持管理は有効な手段となるといえる。今後は、床止下流域における産卵場の形成範囲と形成期間についてもさらなる研究が求められる。

5. 要 約

- (1) 2012年2月に上流側の涸沼川におけるワカサギ産卵場の形成状況を涸沼河口から4.3 km上流の床止付近において調査した。
- (2) コドラートによる底質採集で自然産卵によるワカサギ卵を採集した結果、採集卵数は1,756粒、活卵率は81.1%、平均分布密度としては997粒/m²となった。
- (3) 各回の採集卵について、胚盤形成期、胚体形成期、眼盃形成期、眼盃色素沈着期の4つの発生段階別に分類したところ、2月3日時点で眼色素沈着期の卵が18.6%を占め、2月27日には胚盤形成期の卵が42.9%を占めた。このことから、床止下流における産卵は2012年1月中旬から2月下旬までの間にはみられたものと推察された。
- (4) ワカサギ卵採集地点の底質粒度は、中央粒径値で0.37 mmから2.72 mmの範囲にあり、細かい粒径の砂礫により構成されていた。また、採集地点の表面流速は30 cm/sから52 cm/sの範囲にあった。

6. 引用文献

- 茨城縣水産試験場 (1912) : 茨城縣涸沼ヶ浦北浦漁業基本調査報告, 第壹卷, 33-100.
- 稲葉伝三郎 (1961) : 淡水増殖学, 水産学全集, 1, p 247, 恒星社厚生閣, 東京
- 猿渡俊郎 (2006) : 魚類環境生態学入門, 東海大学出版会, 神奈川, pp318.
- 白石芳一・徳永英松 (1958) : 相模湖におけるワカサギの産卵環境について, 淡水研報, 8, 1, 33-43.
- 白石芳一 (1952) : 諏訪湖産ワカサギ (*Hypomesus olidus*) の標識による産卵移動調査並びに遡河の生態について, 淡水研報, 8 (1), 33-43.
- 水質汚濁調査指針 (1980) : 底質調査法, 日本水産資源保護協会, 恒星社厚生閣, 東京, 240-241.
- 中村智幸・渡邊精一 (2001) : 利根川水系鬼怒川におけるワカサギの産卵場所の立地条件, 水産増殖, 49 (4), 507-508.
- 根本隆夫・河崎正・位田俊臣 (2003) : 試験用人工河川におけるワカサギ親魚の遡上時間, 茨城内水試調研報告, 38, 19-23.
- 松原喜千代松/落合明 (1965) : 魚類学 (下), 水産学全集, 19, 恒星社厚生閣, 東京, 958pp.
- 吉田能久 (1960) : 相模湖 (人工湖) の一流入河川におけるワカサギの産卵量推定について, 淡水研報, 10, 1, 23-36