Aquatic Animals

水生動物 第 2020 巻
令和 2 年 4 月

西湖におけるクニマス *Oncorhynchus kawamurae* の再生産 II. 産卵と阻害要因

Reproduction of Kunimasu, *Oncorhynchus kawamurae* (Salmonidae), in Lake Saiko, Yamanashi Prefecture, Japan II. Spawning and inhibiting factors

大浜秀規 [1*]・加地弘一 [1]・青柳敏裕 [1]・塚本勝巳 [2]

Hideki Oohama*, Koichi Kaji, Toshihiro Aoyagi, Katsumi Tsukamoto

[1]山梨県水産技術センター，山梨県甲斐市牛句497
[2]東京大学大学院農学生命科学研究科，東京都文京区弥生1-1-1
[1]Yamanashi Prefectural Fisheries Technology Center, 497 Kai, Yamanashi 400-0121, Japan. [2]Graduate School of Agricultural and Life Sciences, the University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo, Tokyo 113-8657, Japan.

*Corresponding author; e-mail: oohama-sdj@pref.yamanashi.lg.jp, Tel: +81-55-277-4758.

Abstract

Kunimasu, *Oncorhynchus kawamurae*, spawning and its inhibiting factors were investigated in Lake Saiko, central Japan, by direct observation while scuba diving and recording images using underwater time-lapse cameras. The cameras were installed on three stations in gravel areas with high or low spring water discharge at a depth of c.a. 30 m from November 2016 to February 2017. Kunimasu were observed to visit these areas, and digging behavior was observed. It was inferred that the number of fish visiting the gravel areas was related to the size of the gravel areas rather than the magnitude of spring water discharge. The underwater cameras confirmed the presence of freshwater eels, which were actively digging gravel and eating Kunimasu eggs. Two eels captured were identified to be European eel, *Anguilla anguilla*, by mitochondrial DNA sequence analysis. Since we found only a few Kunimasu eggs on the spawning ground, the egg-eaters appear to have had a substantial negative impact on the reproduction of Kunimasu. These results indicate that the maintenance of gravel areas and spring water, as well as the expulsion of the European eel, are vital for the conservation of the Kunimasu population in Lake Saiko.

Key words: Kunimasu; reproduction; spawning; scuba diving; European eels; egg-eaters

緒言

クニマス *Oncorhynchus kawamurae* は秋田県田沢湖に生息していた固有種で発見から 15 年後には絶滅したが（杉山 2000）、2010 年に山梨県の西湖で 70 年ぶりに発見された（Nakabo et al. 2011）。このような経緯をたどった魚であることから、湖底深所で産卵を行うとされる生態（中坊 2011）については不明な点が多かった。西湖のクニマス野生個体群の保全を図るためには、サケ科魚類として特異的なクニマスの産卵環境を明らかにすることが重要であると考えられ、我々は産卵礫地の湧水に関する調査を進めてきた。これまでの調査でクニマスの産卵場は西湖の水深 30 m にある 1 区域、8 箇所の礫地からなること、湧水の湧出により周辺水温が 5–6 °C であるのに地中温度が 10 °C になる場所もあること、ただし湧出場所は礫地の中でも局所的であるこ

となどが確認されている（青柳ら 2105; 大浜ら 2017, 2020）。また、礫地の地中温度は、底質や水深とは相関がないものの、泥の被覆割合が少ないほど、また湖底への貫入の程度が大きいほど高くなることが分かっている（大浜ら 2017）。さらに、湧水の少ない場所に近縁種のヒメマス *Oncorhynchus nerka* 発眼卵を埋設するとすべて斃死したことから、湧水の存在が卵発生上重要であると考えられているが（大浜ら 2017, 2020）、クニマスの産卵が湧出場所に限定されているのかは分かっていない。

一方、釣獲数から推定したクニマスの資源量は、2012 年から 2015 年にかけて当初の半分以下の 2,500 尾程度まで減少した（Tsuboi et al. 2016）。この間にクニマス資源に影響を与えると考えられる、漁獲圧の変動、ヒメマス放流量および餌料環境に大きな変化は認められていない。また、同時に推定されているヒメマスの資源量はこのような減少傾向を示していない。クニマス発見以降に産卵礫地のある扇状地の陸域で地下水の使用量が増加しているため湧水量が減少している可能性があること（大浜ら 2017）から、クニマス資源量の減少は、産卵場への来遊数の減少や産着卵の発生不調といった、再生産に支障の生じていることが原因と推察されている（大浜ら 2017）。このためクニマスの産卵場への来遊状況、産卵行動、産着卵の分布と生存状況について明らかにすることが重要と考えられた。そこでクニマス親魚の来遊状況及び産卵行動については、産卵場に水中カメラを長期間設置し撮影を行った（大浜ら 2018）。また、クニマス産着卵の生存については、礫地を直接掘り湧水量とクニマス産着卵の分布と生存状況の関係について調査した。加えて、後述するように水中カメラの映像でウナギ類 *Anguilla* spp. によるクニマス産着卵の卵食が確認され、再生産への影響が懸念されたことから、卵食の状況を把握すると共にウナギ類を採捕し種査定を行った。その上でこれら調査により明らかになったクニマス再生産の状況と阻害要因から、今後のクニマス保全について検討を行った。

材料および方法

調査を行った西湖は、富士山の北麓に位置する富士五湖の一つで、標高 902 m、面積 2.1 km^2、最大水深 76 m、富士山の溶岩による堰止め湖で、年間を通じて流入している河川はない（Fig. 1）。調査場所は前報と同じ西湖北

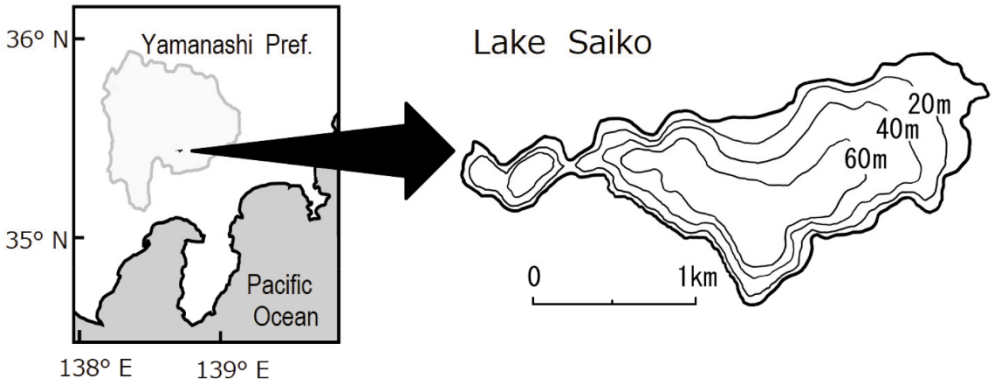

Fig. 1. Location and size of Lake Saiko in Yamanashi Prefecture, Japan.

岸の沖合であるが、西湖における産卵場は 1 区域しか確認されてないことから（青柳ら 2015; 大浜ら 2017, 2020）、保全のため明示しない。

クニマスの来遊状況及び産卵行動

来遊状況調査ではクニマスの来遊数・時期・時刻及び礫地の面積による違いについて、産卵行動調査ではクニマスの産卵行動について観察した。いずれの調査も一定間隔毎に撮影を行うタイムラプスカメラ（Brinno 社製、TLC200Pro、F 値: 2.0、レンズ対角: 112°、画素数: 1.3 メガピクセル）をハウジング（フランジ付きアクリル製円柱　内径: 直径 70 mm ×長さ 150 mm、厚さ 10 mm）へ、結露防止のためのシリカゲル及び中性浮力に調整するためのステンレス棒と共に収納し、三脚（マンフロット社製、MK290XTA3-2W、重さ: 2.65 kg）へ装着して湖底に設置した。タイムラプスカメラは低照度下での撮影も長時間露光により可能であるが、魚種や行動が確認できるようにするため 1/15 sec より早いシャッタースピードで撮影が行われるように設定した。来遊状況調査地点を Fig. 2 に示した。一番大きい礫地 No. 1 の湧水の多い地点（St. A）と湧水の少ない地点（St. B）及び礫地 No. 1 より小さい礫地 No. 2 の中央（St. C）の 3 地点を設定した。各地点の位置確認と魚体サイズの比較用にステンレス製マーカー（直径 9 mm×長さ 200 mm）を設置した。マーカーから 1.5 m 離れた地点で高さ 90 cm の位置にマーカーの長軸方向と平行になるようカメラをセットし、マーカーが画面の中央になるよう調整した。撮影は 2016 年 11 月 14 日から 2017 年 2 月 7 日の 6－17 時の間、1 時間間隔で行った。来遊の日周変化は、来遊が多かった 2017 年 1 月 1 日－6 日における 1 時間毎の平均値を比較した。来遊の季節変化は、来遊が多い時刻であった 11、12、13 時に確認できたクニマスの平均値を「来遊数」として比較した。また、期間中の来遊数を合計した「延べ来遊数」で礫地の面積による違いについて検討を行ったが、この手法ではクニマスの個体識別ができないため、どの程度クニマス親魚の入れ替わりがあるのか不明であり、「延べ来遊数は」期間中に産卵に加わった親魚数そのものを表し

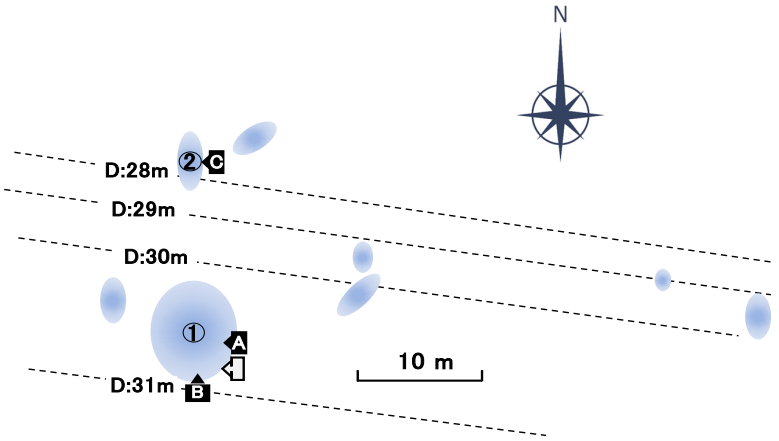

Fig. 2. Gravel areas (light blue) in the Kunimasu spawning ground of Lake Saiko. Two stations (A with high spring water discharge and B with low spring water discharge) in the largest gravel area (No. 1) and one (C) in the smaller grave area (No. 2) were selected to install underwater cameras. One photo every hour was taken by three cameras (closed rectangle) to count the number of visitors. In order to observe spawning behavior, an additional camera (open rectangle) to take a photo every minute was installed at St. A. Dotted lines show water depths of the spawning grounds.

ているものではない。なお、各カメラは 12 月 19 日に電池交換のため回収し、その際に 2 つのハウジングを合体させ、電源を通常の内蔵単三電池 4 本から外付け単二電池 8 本に増強する改造を行い撮影の長期化を図った。

産卵行動調査では、St. A に設置した来遊状況調査の水中カメラの隣に高さ 60 cm の位置から 1 m 先を写すように、もう 1 台カメラを設置した。撮影は 2016 年 12 月 20 日から 2017 年 2 月 7 日の 9－15 時の間に 1 分間隔で行った。魚影が不鮮明であったり、遠方で小さく写っていたりする場合は、外観から魚種を明確に判定できなかった。この周辺で過去に行った刺し網調査において 11 月以降に採捕された魚は 96.0 %がクニマス、4.0 %がヒメマスで、11 月にヒメマスが混獲されたものの 12 月から 3 月にかけて採捕されたのは全てクニマスであった（青柳ら 2013）。このためヒメマスとクニマスは外観上容易に判別ができないことから、マス類以外の魚種と判断されたものを除き、魚影は全てクニマスとして取り扱った。

クニマス産着卵の状況

礫地におけるクニマス産着卵の分布と生存の状況を明らかにするため 2017 年 2 月 6、8 日の 2 日間に、延べ 4 回の潜水を行った。礫地 No. 1 で湧水が多い St. A と湧水が少ない St. B 周辺に各々3 カ所を選定し、湖底表面から深さ 5 cm の地中温度を測定し、湧水量多寡の指標とした。これを中心として 25×25 cm の方形枠を設置し、プラスチック製スコップで枠内を 5 cm 刻みで深さ 15 cm まで徐々に掘り上げ、掘り上げた砂礫に含まれる卵及び仔魚の数及びその生死を計数し、その後卵及び仔魚を埋め戻した。

ウナギ類による卵食

産卵行動調査の水中カメラでウナギ類によるクニマス卵の食害が確認されたことから、その状況を把握するためウナギ類が 5 分以上湖底の同じ場所へ頭部を突っ込んでいる状況を卵食行動として計数した。あわせて卵食の被害を軽減するため産卵場周辺でウナギ類の採捕を行った。2017 年 2 月 20 日から 3 月 12 日の間に 9 回、底延縄（長さ 70 m、ウナギ針 50 本、餌:ワカサギ）を 1 回あたり 1－4 本、延べ 21 本をクニマス産卵場周辺の湖底に設置し、翌日または翌々日に引き上げた。採捕したウナギ類は冷凍保存し、後日斑紋の有無と背鰭始部の位置からグループ分けを行った（渡邊 2001; Watanabe et al. 2004）。その後 mtDNA の 16S rRNA 遺伝子の部分領域（537bp）を決定した。得られた塩基配列を種同定するため、まず DDBJ（DNA Data Bank of Japan）の BLAST 検索を実施し、塩基配列の一致率が高いウナギ類を絞り込んだ。さらに決定した塩基配列を、既報のヨーロッパウナギ *Anguilla anguilla*（Accession number AP007233）、アメリカウナギ *A. rostrata*（Accession number AP007249）、ニホンウナギ *A. japonica*（Accession number AB038556）の mtDNA 全塩基配列データ（Inoue et al. 2001; Minegishi et al. 2005）の同じ領域と比較した。遺伝子解析の方法は、詳細に記載されている既報（Yoshinaga et al. 2014; Aoyama et al. 2015; Shirotori et al. 2016）に基づき行った。

解析方法

クニマス産着卵の卵数と地中温度の関係はスピアマンの順位相関係数の検定を、生存率と地中温度の関係は χ^2 独立性の検定を行い解析した。

結果

クニマスの来遊及び産卵行動

来遊状況調査で湖底礫地に設置した 3 台の水中カメラには、設置直後からクニマスが写っていたが、水深 30 m で相対光量子量が地上の 1 %未満の暗い環境（青柳ら 2013）であるため、鮮明に写っているものは少なかった。クニマスは湖底から 1 m 以内の礫地周辺を遊泳していたが、遊泳方向は一定でなく、同じ位置に定位していることもなかった。

クニマスの来遊状況は、湧水の多い St. A、湧水の少ない St. B、小さい礫地の St. C においてもほぼ同じ傾向で、水中カメラを設置した 11 月中旬から 1 月下旬にかけて来遊していた（Fig. 3）。来遊数のピークは St. A、B とも 12 月下旬から 1 月上旬にかけてで、来遊数の最も多かった日は、St. A が 1 月 3 日の 9.3 尾、St. B が 12 月 26 日の 8.0 尾であった。期間中の延べ来遊数は、St. A で 213 尾、St. B が 224 尾とほぼ同じであったのに対し、St. C は 60 尾と 1／3 以下であった。

来遊状況調査でクニマス以外にウナギ類、

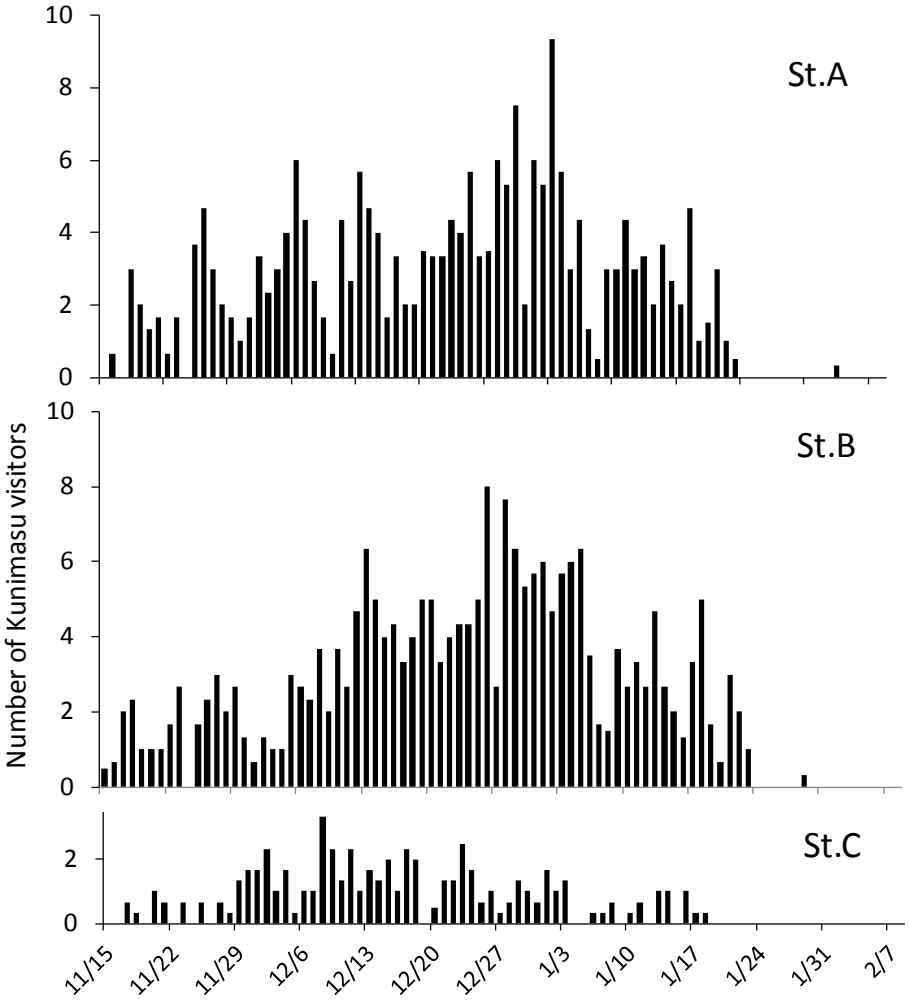

Fig. 3. The number of Kunimasu visitors during mid-November 2016 and February 2017 at three stations (A, B and C). The number of visitors is the average of the squares calculated from confirmed observations every hour from 11 a.m. to 1 p.m. The stations (St.) correspond to the position of underwater cameras shown in Fig. 2.

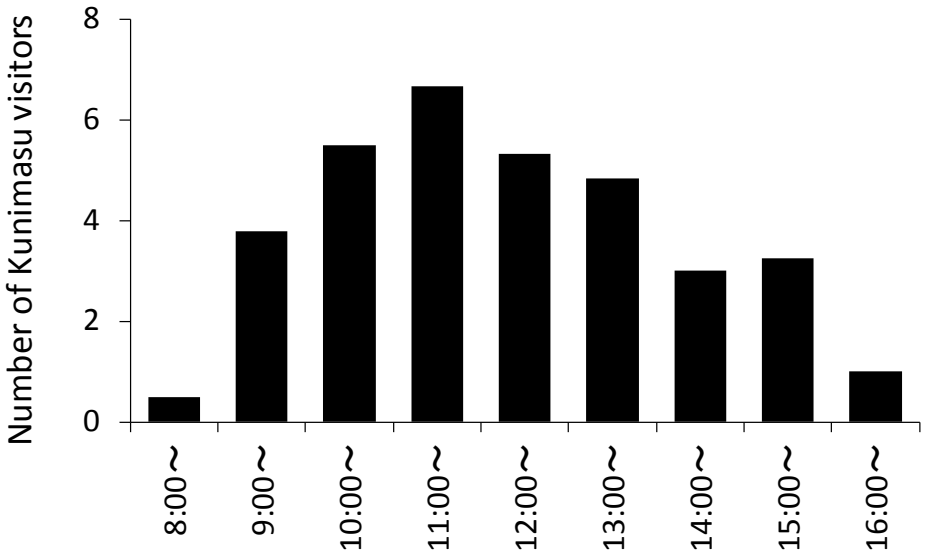

Fig. 4. Diurnal changes in the number of Kunimasu visitors, showing the average values per hour from January 1–6, 2017, when the number of visitors was high.

フナ類 *Carassius* sp.、ナマズ類 *Silurus* sp.が確認されたが、フナ類、ナマズ類の出現は St. A、B、C 合わせても各 1 回のみであった。ウナギ類はどの地点でも観察され、St. A においては観察期間中（11 月 15 日から 2 月 8 日の 11 時から 13 時）に延べ 17 尾が確認でき、出現期間は 11 月 30 日から 2 月 2 日にかけてと、クニマスの消長より半月程度遅い傾向にあった。なお、マーカーのサイズからクニマスの大きさを確認することは、魚影の遠近が明瞭に判断できず行えなかった。湧水の少ない St. B に設置したステンレス製のマーカーは設置 13－14 日後（11 月 27－28 日）にかけて、やや移動しながら礫に埋もれていくのが観察された。このようなマーカーの移動は他の地点においても同様に確認された。

来遊状況調査の撮影は 6 時から 17 時の間に 1 時間間隔で行った。6、7、17 時は暗く魚影の計数は困難であった。クニマスの来遊数は、映像が暗いため確認しにくい場合のある 8 時と 16 時で少なかったが、それを除いても朝夕が少なく 11 時にピークを示した（Fig. 4）。

産卵行動調査では、クニマスがペアになりそのうちの 1 尾が湖底を尾鰭で掘る行動が複数の場所で観察されたが、放卵放精および埋め戻し行動は確認できなかった。産卵の瞬間は確認できていないものの、湖底付近が濁り産卵したと思われる直後に、ウナギ類が蝟集する卵食と思われる行動が確認された（Fig. 5、動画は電子付録 Video-1 に付した）。

クニマス産着卵の状況

産着卵の掘り上げを行った時点の湖底水温は 5.5 °C で、掘り上げを行った 6 カ所の地中温度は 5.5－8.1 °C の範囲であった。1 カ所当たりの掘り上げた卵は 1－17 粒、仔魚は 0－6 尾、合計で卵 50 粒、仔魚 11 尾であった。卵と仔魚は湖底表面では認められず、湖底表面から深さ 5－15 cm の層から確認された（Table 1）。地中温度から推定される湧水量と卵及び仔魚数の間に相関は認められず（スピアマンの順位相関係数の検定、$p = 0.86$）、また卵及び仔魚を合わせた生体の割合は、平均で 80.3 %、最低でも 73.7 %と比較的高い値で、全ての掘

Fig. 5. Eels eating Kunimasu eggs. The image shows two eels piercing the lake bottom with their heads to eat eggs. There is a Kunimasu in the upper central portion. The white line in the center of the screen is the baseline set to measure gravel area. The photograph was taken from videotape #1 at 10:09 on January 23, 2017. Video image can be seen at http://aquaanimal.net/cgi-bin/AA2020/Video-1.wmv.

り上げ地点間で差は認められなかった（χ^2独立性の検定、p = 0.88）。

ウナギ類による卵食

卵食行動は、2016 年 12 月 26 日から 2017 年 1 月 29 日の 35 日間に 18 回、産卵行動調査の映像において確認された。卵食 1 回あたりの時間は平均 21 分間（6－38 分間）、尾数は平均 1.2 尾（1－4 尾）であった。ウナギ類は、3 月 12 日に 2 尾採捕され 2 尾とも 1 kg を超える体重で、外観はニホンウナギ *Anguilla japonica* とヨーロッパウナギ *Anguilla anguilla* が含まれる斑紋がない長鰭型であった（Table 2）。また、2 尾の塩基配列は、*A. anguilla* と完全に一致する配列と 1 塩基のみ違う配列であり、*A. rostrata* とは 3 塩基と 4 塩基、*A. japonica* とは

Table 1. Underground temperature at various digging points and condition of Kunimasu eggs and hatchlings excavated.

digging point	Temp. (°C)	No. egg		No. hatchling		depth (cm)	% alive individual
		alive	dead	alive	dead		
1	5.5	1	0	0	0	10	100.0
2	6.1	6	1	0	0	5	85.7
3	5.9	15	2	0	0	5	88.2
4	5.9	10	5	4	0	10	73.7
5	8.1	3	3	6	0	10 - 15	75.0
6	8.0	4	0	0	1	5	80.0
total		39	11	10	1		(80.3)

The water temperature at the lake bottom was 5.5°C at the time of digging. The percentage of living eggs and larvae = (number of living eggs and larvae / total number of eggs and larvae) × 100.

Table 2. Body measurement results of eels captured in Lake Saiko.

sample No.	mottle	total length (mm)	preanal length (mm)	head length (mm)	body weight (g)
1	None	771	322	100	1,060
2	None	868	383	102	1,270

20 塩基の違いが認められた。よって、本研究で採捕した 2 尾は、塩基配列が最も類似している *A. anguilla* と考えられた。

考察

クニマスの来遊状況及び産卵行動

来遊状況調査で確認されたクニマスの数は、湧水の多い St. A と湧水の少ない St. B がほぼ同じであった。水中カメラでの確認尾数はカメラの撮影する範囲や方向により変化すると思われるが、映像を見る限り撮影範囲に大きな違いはなかったことから、実際の来遊数を反映していると考えられる。一方、小さい礫地 St. C の水中カメラはほぼ礫地全体を写していたが、湧水量が St. B より多いにもかかわらず、来遊数は一番大きい礫地にある St. A や St. B の半分以下であった。なお、潜水目視においては快晴で濁りが少ない条件下であれば、湖底で 3 m 程度の視程があった。これらのことから、クニマスは一面泥である湖底に局所的に存在する礫地という物理的環境を視覚で認識して産卵場へ来遊し、来遊数は湧水の多少より、礫地面積の大小が関係している可能性があると考えられた。時間帯別に見るとクニマスは 11 時頃をピークに産卵場での個体数が増加したことから、それ以外は礫地の周辺や浅所に分散していると考えられたが、この点については今後魚探による調査を行う必要があろう。また、撮影のために設置したステンレス製マーカーがやや移動しながら礫地に埋もれていったことが水中カメラで観察されていること、水温測定のため礫地 No. 1 の全面に設置した 63 枚のアルミプレート（大浜ら 2017）の半数以上が翌年の潜水時までに移動したり埋まったりしていること（大浜　未発表）から、礫地の各所で掘り行動が行われていたと考えられる。クニマスが産卵場所を選定する要因として、水温、水質、底質等が考えられるが、産卵場の湖底付近には 1 cm /sec 程度の流れがあり（瀬部　未発表）湧水は直ちに拡散していると推定される。このため産卵場所の選定要因については、今後さらに検討が必要であろう。

産卵行動調査で、掘り行動やペアになる様子が観察されたが、放卵放精の瞬間は確認出来なかった。1 分間隔の撮影では個体の特定は困難で、詳細な行動の解析はできなかったことから、産卵行動を解明するためには更に短い間隔での連続撮影か又は動画での確認が必要であろう。

クニマス産着卵の状況

ヒメマス発眼卵は、湧水の少ない地中へ埋設すると斃死したが（大浜ら 2017）、クニマス産着卵は、湧水が少ないであろう地中でも斃死した卵や仔魚は少なかった。ヒメマス発眼卵が低水温下の湖底でも生残は良好であったことから、クニマス産着卵においても水温が影響しているとは考えにくい。両者の違いは、ヒメマス発眼卵（160 粒）の収容密度が 944 粒 /dm^3 であったのに対し、クニマス産着卵が最も多く（17 粒）確認された場合でも掘り上げた砂礫中における密度は 2 粒/dm^3 と低く、かつ礫間に散在していたため、湧水の少ない地

点でも酸欠にならなかったためと推定される。ただし、クニマス卵の低酸素耐性が高い可能性も考えられることから、今後実験的に確認することも必要であろう。掘り上げを行った6カ所の合計で卵50粒、仔魚11尾が確認されたが、西湖で採捕したクニマス天然親魚13尾からの採卵数は357.3 ± 149.4粒（平均値 ± 標準偏差）であり（青柳ら 2013）、クニマスが複数回に分けて放卵していたとしても、今回確認された卵および仔魚はかなり少ないといえる。この少ない理由として、掘り上げた場所が卵室を外していたり、重複産卵で卵が散逸していたりする可能性はあるものの、頭部を湖底へ突っ込む行動をしていたウナギ類による卵食が、産着卵の少ないことに関与していると考えられる。なお、その後の調査により産卵礫地から回収したふ化仔魚 2 尾は、DNA 解析の結果いずれもクニマスであることが確認されている（加地ら 2019）。

ウナギ類による卵食の影響

産卵行動調査の水中カメラでウナギ類が35日間に18回、平均で21分間卵食していることが確認された。ただし、この水中カメラに写っているのは最大礫地の一部であり、かつ産卵期間全てをカバーしていない。写っていない部分や他の礫地、撮影期間外にも卵食が行われていると想定されることから、ウナギ類の卵食行動がクニマスの再生産にダメージを与えていると考えられる。今回採捕されたヨーロッパウナギは日本各地から確認されているが（Aoyama et al. 2000; Okamura et al. 2008; Arai et al. 2017）、これは養殖場からの逸出や放流用種苗への混入によると推定されている。ニホンウナギは 10 ℃以下になると餌を取らなくなるとされているが、今回水深30 m、水温約6 °Cという低水温下で活発に摂餌を行っていたのは、ニホンウナギより低水温への耐性が高いヨーロッパウナギの特性（川崎ら 1979）によると思われる。ウナギは西湖の漁業権魚種となっており、従前から放流が行われてきているが、現在ヨーロッパウナギの種苗は日本国内へ輸入されていないことから、今後新たな生息数の増加はないと考えられる。減少傾向がうかがえるクニマス資源（Tsuboi et al. 2016）と卵食との関連については不明な点も多いものの、クニマス再生産に影響を与えている可能性は高い。

再生産と阻害要因

クニマス再生産に関与するであろう、親魚の来遊及び産卵行動、産着卵の分布と生存状況について検討を行った。水中カメラによりクニマス親魚が産卵期に 2 ヶ月間にわたり来遊していることが確認できたが、産卵に関与した延べ親魚数を明らかにすることは困難であった。産着卵の卵数及び生存と湧水湧出量との関係は産着卵数が少ないこともあり明らかにできなかったため引き続き調査に努める必要がある。クニマス産着卵が少なかったのは、クニマスが複数回に分けて産卵をしていたり、重複産卵により卵が散逸していたりする可能性もある。ただし、ウナギ類による食害が影響を与えているのは確実と考えられる。このため西湖におけるクニマスの再生産が円滑に行われ個体群が存続するためには、産卵に適した礫地と湧水域の保全（大浜ら 2017）に加え、ウナギ類による食害を早急に阻止することが重要であろう。

謝辞

国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水

産工学研究所の藤田薫氏には、水中カメラに関し有益なアドバイスをいただいた。西湖漁業協同組合の三浦久組合長を始め組合員の方々には、ウナギ類の採捕を始め調査実施にご協力いただいた。ウナギ類の分子遺伝学的種同定には、日本大学生物資源科学部の山梨津乃氏、近畿大学農学部の渡邊 俊博士、東京大学農学部の竹内 綾博士のお手を煩わせた。皆様に厚くお礼申し上げる。本調査が円滑に実施できたのは潜水作業を担っていただいたプロダイバーの下司秀樹氏と大谷光弘氏のおかげである。ここに心から感謝申し上げる。有益で的確な指摘を丁寧にいただいた編集委員及び査読者の方々に深謝申し上げる。本論文の主旨は大浜ら(2017, 2018)で報告を行っているが、本誌に論文として受理していただいたことを感謝申し上げる。本研究は、山梨県総合理工学研究機構の「クニマスの保全並びに活用に関する研究」の一部として実施した。

引用文献

青柳敏裕・加地奈々・長谷川裕弥 (2013). クニマスの生態解明及び増養殖に関する研究. 山梨県総合理工学研究機構研究報告書 8: 89–102.

青柳敏裕・岡崎 巧・大浜秀規・三浦正之・谷沢弘将・小澤 諒・長谷川裕弥・吉澤一家・坪井潤一・勘坂弘治・市田健介・Lee Seungki・吉崎悟朗・松石 隆 (2015). クニマスの生態解明及び増養殖に関する研究（第 3 報）. 山梨県総合理工学研究機構研究報告書 10: 43–65.

Aoyama, J., Watanabe, S., Miyai, T., Sasai, S., Nishida, M., Tsukamoto, K. (2000). The European eel, *Anguilla anguilla* (L.), in Japanese waters. Dana 12: 1–5.

Aoyama, J., Yoshinaga, T., Shinoda, A., Shirotori, F., Yambot, A. V., Han, Y. S. (2015). Seasonal changes in species composition of glass eels of the genus *Anguilla* (Teleostei: Anguillidae) recruiting to the Cagayan River, Luzon Island, the Philippines. Pacific Science 69: 263–270.

Arai, K., Itakura, H., Yoneta, A., Yoshinaga, T., Shirotori, F., Kaifu, K., Kimura, S. (2017). Discovering the dominance of the non-native European eel in the upper reaches of the Tone River system, Japan. Fish. Sci. 83: 735–742.

加地弘一・青柳敏裕・大浜秀規・塚本勝巳(2019). 西湖におけるクニマスの産卵環境－Ⅲ. 山梨県水産技術センター事業報告書 46: 46–59.

川崎義一・岩男 昂. 3 生理的特性 (1979). 「ヨーロッパウナギの養殖」. （編）養鰻研究協議会. 日本水産資源保護協, 東京. p. 29–34.

Nakabo, T., Nakayama, K., Muto, N., Miyazawa, M. (2011). *Oncorhynchus kawamurae* “Kunimasu”, a deepwater trout, discovered in Lake Saiko, 70 years after extinction in the original habitat, Lake Tazawa, Japan. Ichthyol. Res. 58: 180–183.

中坊徹次 (2011). クニマス *Oncorhynchus kawamurae*－絶滅から復活, そして今後－. 日本水産学会誌 77: 469–472.

Okamura, A., Zhang, H., Mikawa, N., Kotake, A., Yamada, Y., Utoh, T., Horie, N., Tanaka, S., Oka, H. P., Tsukamoto, K. (2008). Decline in non-native freshwater eels in Japan: ecology and future perspectives. Environ. Biol. Fish 81: 347–358.

大浜秀規・青柳敏裕・谷沢弘将・長谷川裕弥 (2017). 西湖におけるクニマスの産卵環境. 山梨県水産技術センター事業報告書 44: 45–53.

大浜秀規・青柳敏裕・芦澤晃彦・長谷川裕弥 (2018). 西湖におけるクニマスの産卵環境－Ⅱ. 山梨県水産技術センター事業報告書 45: 13–22.

大浜秀規・谷沢弘将・青柳敏裕 (2020). 西湖におけるクニマス *Oncorhynchus kawamurae* の再生産 I. 産卵環境. 水生動物 AA2020: AA2020–2.

Shirotori, F., Ishikawa, T., Tanaka, C., Aoyama, J., Shinoda, A., Yambot, A.V., Yoshinaga, T. (2016). Species composition of anguillid glass eels recruited at southern Mindanao Island, the Philippines. Fish. Sci. 82: 915–922.

杉山秀樹 (2000). クニマス百科 田沢湖まぼろしの魚. 秋田魁新報社, 秋田.

Tsuboi, J., Matsuishi, T., Shibuya, K., Takada, Y., Aoyagi, T., Tanizawa, K., Ozawa, R., Okazaki, T. (2016). Population estimation of Kunimasu *Oncorhynchus kawamurae* in Lake Saiko. Nippon Suisan Gakkaishi 82: 884–890 (in Japanese with English abstract).

渡邊 俊 (2001). ウナギの分類学. 海洋と生物

133: 115-122.
Watanabe, S., Aoyama, J., Tsukamoto, K. (2004). Reexamination of Ege's (1939) use of taxonomic characters of the genus *Anguilla*. Bull. Mar. Sci. 74: 337–351.
Yoshinaga, T., Aoyama, J., Shinoda, A., Watanabe, S., Rhodora, V. A., Tsukamoto, K. (2014). Occurrence and biological characteristics of glass eels of the Japanese eel *Anguilla japonica* at the Cagayan River of Luzon Island, the Philippines in 2009. Zool. Stud. 53: 13.

西湖におけるクニマス *Oncorhynchus kawamurae* の再生産
II. 産卵と阻害要因

大浜秀規・加地弘一・青柳敏裕・塚本勝巳

山梨県水産技術センター，山梨県甲斐市牛句 497

クニマス再生産の状況と阻害要因をスキューバ潜水と水中カメラを用いて調査した。クニマスは 11 月中旬から 1 月下旬にかけて水深約 30 m にある湖底礫地の産卵場へ来遊し、掘り行動を行った。来遊数は、湧水の多小よりも礫地の大小が関係していると考えられた。この産卵場においてウナギ類による卵食が確認され、産卵場付近からヨーロッパウナギが採捕された。確認できたクニマス産着卵は少なく、卵食による影響が懸念された。クニマス個体群存続のためには礫地および湧水の保全に加え、ウナギ類の食害を阻止することが重要と考えられる。

Received: 28 January 2020 | Accepted: 5 April 2020 | Published: 9 April 2020