

# 西湖におけるクニマスの産卵環境－Ⅲ

加地弘一・青柳敏裕・大浜秀規・塚本勝巳\*

クニマス *Oncorhynchus kawamurae* の産卵生態については不明な点が多く、原産地の田沢湖での産卵期や産卵が湖の深部で行われていたことなどの情報がある<sup>1)</sup>。また、Nakabo *et al.*<sup>2)</sup>は西湖のクニマスの産卵が3月に水深約30m付近で行われ、近縁のヒメマス *O. nerka* と生殖隔離が成立していることを報告している。しかし、クニマスの産卵生態については不明な点が多いことから、水産技術センターではこれまでに西湖のクニマスの産卵生態調査を行ってきた<sup>3,7)</sup>。その結果、水深約30mの産卵場には湧水がある礫地が8箇所あること、産卵期は11月から2月頃であること、クニマスの掘り行動と産着卵の生残状況などを明らかにしてきた。また、昨年度の調査ではクニマス卵がウナギにより捕食されていることも明らかにした。本年度は最大礫地でのクニマスの産卵状況調査を継続するとともに、ウナギによるクニマス卵の食害実態を調査したのでその結果を報告する。

なお、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」として実施した。

## 材料及び方法

### 礫地へのクニマスの来遊状況と産卵行動

クニマスの産卵状況調査は西湖北岸の西の越 (st.3) にあるクニマス産卵場保護区で行った (図1)。保護区内に8箇所確認されている礫地のうち水深約30m付近にある最大礫地 (南北9m×東西7m) に水中カメラを設置して、後日映像を確認してクニマスの来遊状況や産卵行動を調査した。撮影には一定間隔毎に静止画を撮影するタイムラプスカメラ (TLC200Pro, Brinno 社, 以下, カメラ) を用いた。カメラはフランジ付きアクリル製円筒 (内径70mm×長さ150mm, 厚さ10mm) 2個を前後に結合させたハウジング内部に結露防止用シリカゲルとともに収納し、三脚 (MK290XTA3-2W, マンフロット社) に装着して湖底約90cmの高さで礫地が撮影できるように設置した (図2)。なお、カメラは電源を通常の内蔵単三電池4本から外部単二電池8本で使用できるように改造を施し撮影の長期化を図った。魚種や行動が確認できるように、カメラは1/15sec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。

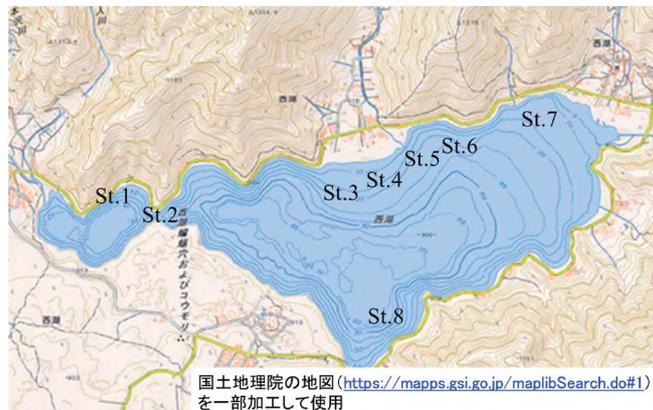


図1 西湖の調査地点位置図 (産卵状況調査はst.3, ウナギ食害実態調査はst.1からst.8で実施した)

Kaji Koichi, Aoyagi Toshihiro, Oohama Hideki, Tsukamoto Katsumi \*日本大学生物資源科学部, 現東京大学農学部

礫地へのクニマス来遊状況を確認するため、撮影間隔を1分に設定したカメラを礫地の東端に1台（以下、来遊カメラ1）、南端に1台（以下、来遊カメラ2）、それぞれ礫地中央付近の湧出点方向を撮影するように設置した（図3）。撮影は2017年11月16日から2018年3月8日の114日間、毎日9時から16時まで行った。なお、カメラは2018年1月16日に一度回収し電池交換を行った後に同場所に再設置した。後日映像を解析して、クニマスの1日当たりの最大確認尾数（画像をコマ送りして1画面中に確認できる最大尾数）を調査した。

クニマスの産卵行動を確認するため、撮影間隔を1秒間に設定したカメラ（以下、行動カメラ）を来遊カメラ1の隣に湧出点方向を撮影できるように設置した（図2）。撮影は2017年12月15日から2018年2月12日の83日間、毎日9時から16時まで行った。なお、カメラは2018年1月16日に一度回収し電池交換を行った後に同場所に再設置した。後日映像を解析してクニマスの産卵行動の詳細を調査した。

なお、過去の調査でこの周辺で11月以降に採捕された魚の96.0%がクニマスであったことから、今回の調査で画像に写っているマス類は全てクニマスとして解析した。

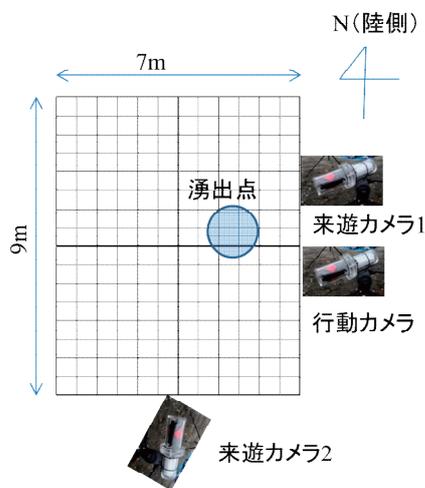


図2 最大礫地とカメラ設置状況の模式図

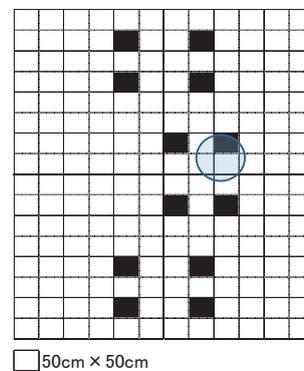


図3 卵と仔魚の採集地点

### クニマス産着卵及び仔魚の確認

礫地における産着卵の有無とその生残状況を確認するため、2018年2月13日に礫地内の任意の12地点で礫を掘り上げて卵または仔魚の有無と生死について調査した（図3）。湧出点付近4箇所と湧水の少ない南北両端付近各4箇所で、25×25cmの方形枠内の礫をプラスチック製スコップで深さ15cm程度掘り上げ、砂礫内に含まれる卵（生卵と死卵の別）と仔魚を計数した。掘り上げた卵及び仔魚はその後再び埋め戻した。なお、仔魚2尾については持ち帰り、Nakayama *et al.*<sup>8)</sup>に従いPCRによりクニマスとヒメマスの判別を行った。

### 湧水の湧出状況

湧水の湧出状況を確認するため、湧出点と湧水の無い礫地南端付近の2箇所に水温ロガー（TidviTv2, Onset社）を地中約5cmに埋設し、礫内温度を1時間間隔で測定した。測定は2017年11月16日から2018年3月8日までの114日間行った。また、2017年11月15日、2018年1月16日、2月13日、3月8日に、市販のデジタルカメラの耐圧ハウジング内に密閉した水温計（TR-71U, T&D社）により湧出点付近の礫内温度を直接計測した。

湧水の湧出量を測定するため、2017年11月16日、12月14日、12月15日、2018年1月16日、2月13日、3月8日の計6回、自作の採水装置（以下、シーページメータ）による湧水の採水を行った。シーページメータは容量70Lのポリプロピレン製バケツの底部を3cmの高さで切断したもので（断面積0.1385m<sup>2</sup>、容積4.2L）、上面に穴を開けてφ18mmのシリコンチューブを接続し、シリコンチューブに採水バックが脱着できるような形状に

なっている（図4）。採水は、採水前日の午前中にシーページメータを礫に埋め込むように設置し、内部が湧水に置き換わったと考えられる翌日の午前中に採水バックを接続し、約3時間後に採水バックを回収する方法で行った。採水した湧水は直ちにメスシリンダーにより計量した。なお、湧水は別途同位体分析とイオン分析に供した。

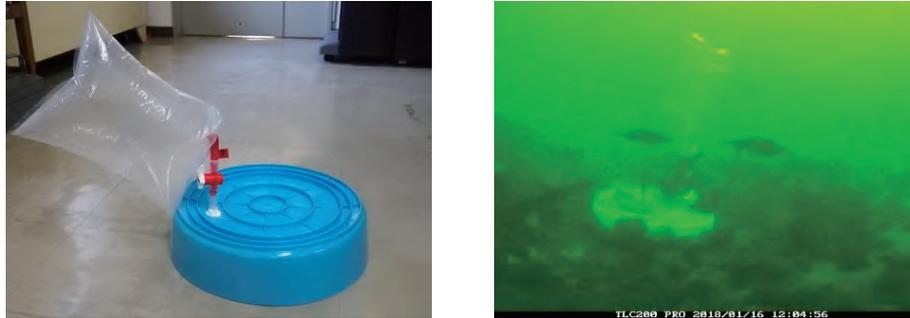


図4 シーページメータ（左）と湖底30mに設置した状況（右）

### ウナギ食害実態と湖内でのウナギ生息実態

カメラの映像にクニマスが産卵行動を行った直後にウナギが蝟集しクニマス卵を食べるような行動が頻繁に確認されたことから、行動カメラの映像解析を行いウナギの撮影回数と食卵行動回数を調査した。

また、ウナギによる食害を回避するとともに湖内での生息実態を明らかにするため、2017年10月28日から2018年3月11日の間に延べ59回、クニマス産卵保護区内を中心に湖内8箇所ウナギの採捕を行った（図1）。採捕は西湖漁業協同組合に委託して底延縄（長さ70m、ウナギ針50本）により行い、餌には冷凍ワカサギを用いた。採捕したウナギは全長と体重を測定し、mtDNAの16srRNA領域の部分塩基配列（約550bp）を決定し種の同定を行った。

## 結果

### 礫地へのクニマス来遊数の経時変化

来遊カメラ1では設置直後の11月16日には既に最大で8尾のクニマスが確認され、1月24日まで毎日4～14尾が確認され、その後確認尾数は減少し1月26日以降は最大でも2尾が確認出来たのみで確認出来ない日あった（図5）。最大は12月16日の14尾であった。

来遊カメラ2も同様の傾向で、設置直後の11月15日に既に最大で16のクニマスが確認され、1月28日まで毎日4～15尾が確認されたが、その後確認尾数が減少し1月31日以降は最大でも2尾が確認出来たのみで確認出来ない日もあった（図5）。最大は12月16日の15尾であった。

このことから、クニマスは11月中旬以前に礫地に来遊し、2月にはほとんどの個体が礫地からいなくなると考えられた。

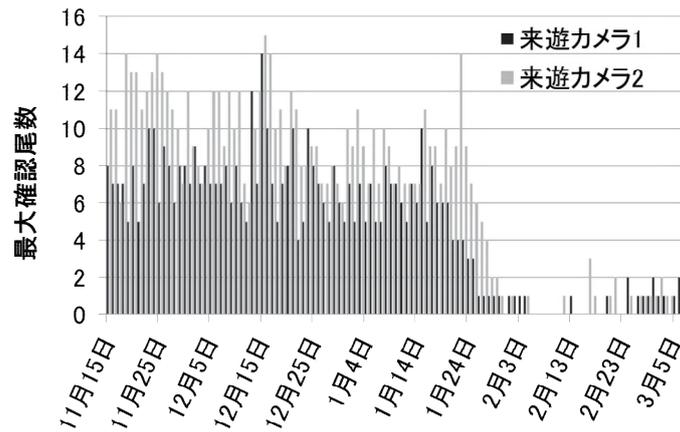


図5 一日のクニマス最大確認尾数の経時変化

### クニマスの産卵行動

行動カメラの画像の中で一連の行動が比較的良く確認出来たクニマス産卵行動の事例は次のとおりであった(図6)。まず湖底から50cm付近の比較的広い範囲で1個体が他の個体を追いかける行動がしばしば見られ(以下、追尾行動)、その後この2尾がペアになって湖底の狭い範囲に定位し、ペアのうち1個体が体を横に倒し尾鰭で礫を掘る行動(以下、掘り行動)を開始した。1個体が掘り行動を行っている間、もう1個体は他個体の近くに定位しながら侵入してくる個体を追い払う行動を頻繁に行っていた。このペアによる掘り行動は2日間続き、2日目の15時頃に2尾が寄り添い体を震わせると同時に周囲が濁る現象があり放卵放精があったものと思われたが、映像で卵を確認することは出来なかった。

なお、画面の右(北)から左(南)に向けて濁りが移動していく様子が時々見られ、定位する方向や掘り行動はそれに対峙するように画面左(南)から右(北)に向けて行われることが多く、湖底にわずかな流れがある事が示唆された。



図6 クニマスの産卵行動(左:水底50cm程で追尾行動,中:底への定位と侵入者,右:掘り行動と産卵)

行動カメラの10時から11時の映像を解析し、1画面中で同時に追尾行動を行っている最多のペア数を計数した。追尾行動は行動カメラを設置した12月16日には既に確認されており、最大6ペアが確認された(図7)。追尾行動を行うペア数の最大は12月25日の9ペアであった。その後確認ペア数は若干減りながら1月26日までほぼ毎日確認され、1月27日以降は全く確認されなくなった。

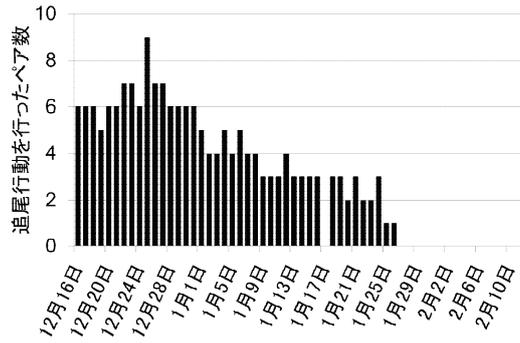


図7 10:00～11:00 の間で追尾行動を同時に行った最多ペア数

次に、2017年11月16日から2018年1月16日までに撮影された全ての画像を解析し、クニマスの掘り行動の回数を計数した。なお、クニマスが湖底をはたいた瞬間にシルトや砂が舞い上がる様子が確認できなくても、体を湖底に横臥させ腹部の銀白色が見える行動（いわゆる平打ち）も掘り行動として扱った。掘り行動は解析した全ての日で確認され、全部で3,255回の掘り行動を確認した（図8）。掘り行動が最も多かったのは1月1日で218回であった。

時間帯別の掘り行動回数を図9に示す。掘り行動の回数は8時台（319回）から11時台（539回）にかけて経時的に増加しており、その後は減少し15時台（134回）に最も少なくなった。

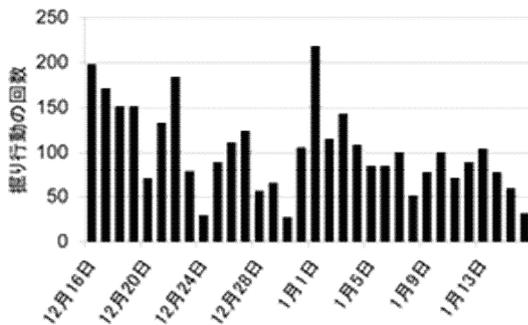


図8 1日当たりの掘り行動の回数

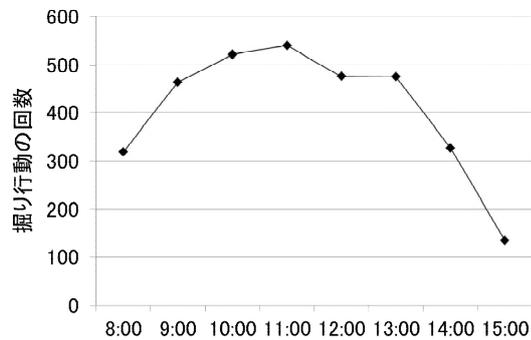


図9 時間帯別のクニマスの掘り行動回数  
(2017年12月16日～2018年1月16日)

行動カメラの画像に写っている礫地を3×3分割して、各区画でクニマスが掘り行動を行った日数を計数した（図10）。なお、区画内で1日に1回でもクニマスの掘り行動があった場合を1日とカウントした。掘り行動日数が最も多かったのは中央の区画で、32日中31日で掘り行動を確認した。次いで多かったのはその右側（北側）の画面で32日中28日で掘り行動が確認された。なお、画面中央の円形の装置は湧水採水器具でこの付近が湧水の湧出点であることから、掘り行動も湧出点で多いと考えられた。

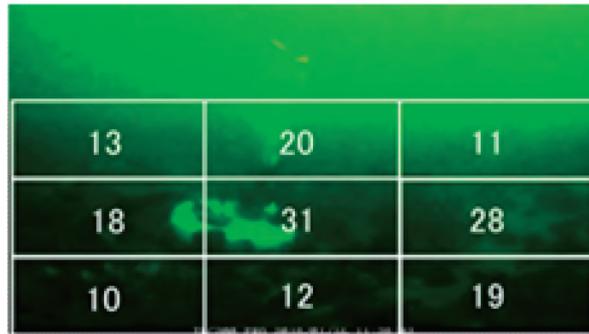


図 10 区画別クニマス掘り行動確認日数

### クニマス産着卵および仔魚の確認状況

礫地内の 12 箇所で礫の掘り上げを行った結果、生卵 3 粒、死卵 34 粒、ふ化仔魚 6 尾を確認した (表 1)。確認した全数に対する生卵と仔魚の割合 (生残率) は 20.9%と低かった。場所別では、湧出点に近い 4 箇所は生卵または仔魚 9 と死卵 4 で生残率は 69.2%、湧水の無い北端付近と南端付近の各 4 箇所はそれぞれ生卵または仔魚 0 と死卵 3 粒、生卵または仔魚 0 と死卵 27 粒で、ともに生残率は 0%だった (図 11)。

なお、ふ化仔魚 2 尾を持ち帰って種判別を行ったところ、いずれもクニマスの仔魚である事を確認した。

表 1 クニマス卵と仔魚の掘り上げ結果

掘上箇所数	生卵(粒) (a)	死卵(粒) (b)	仔魚(尾) (c)	生残率(%) $((a+c)/(a+b+c))$
12	3	34	6	20.9

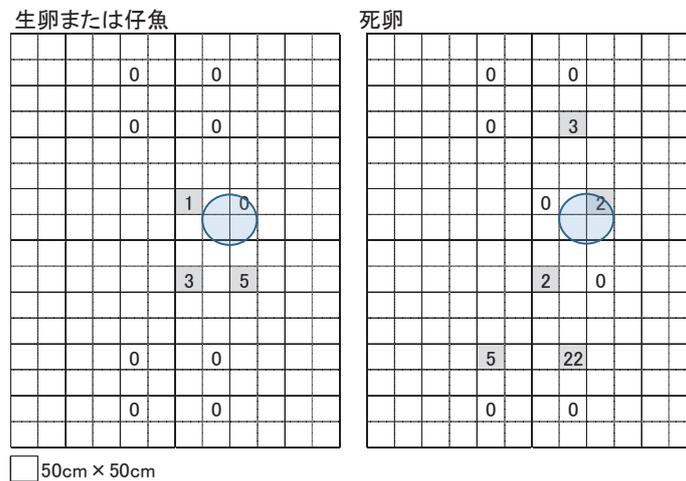


図 11 場所別の生卵または仔魚数 (左) と死卵数 (右)

### 湧水の湧出状況

水温ロガーにより測定した礫内温度の経時変化を図 12 に示す。なお、湧出点に埋設した水温ロガーは 12 月 11 日に別の調査で不意に漁具とともに回収されたため、12 月 15 日に再設置するまで欠測となっている。

2017 年 11 月 16 日から 11 月 20 日の湧出点の礫内温度は 9℃前後で、湧水の無い地点の 6℃前後よりも約 3℃ほど高く、昨年度と同様に湧出点の水温が高いことが確認された。湧水の無い地点の礫内温度はその後 12 月中旬

まで6°C前後のまま推移し、徐々に低下して2月18日頃に最低の4.1°Cを記録し再び上昇した。湧出点の礫内温度は湧水の無い地点よりも常に高く、湧水は継続して湧出していることが示唆された。なお、湧出点の礫内温度は11月20日にそれまでの9°C台から6°C~7°C台に急激に低下し変動幅も大きくなっているが、これは湧出点の水温ロガーが何らかの要因で礫から露出し湖水の影響を受けたためと考えられた。水温ロガーを再埋設した12月15日からは再び湧水の無い地点より2°Cほど高くなり変動幅も小さくなった。湧出点の礫内温度は1月17日に礫の無い地点と同じ温度まで低下し再び上昇しているが、これはダイバーが作業中にロガーを露出させてしまった事による。なお、水温ロガーの再埋設後に礫内温度がそれまでよりも高くなっているが、この変動要因は不明であった。

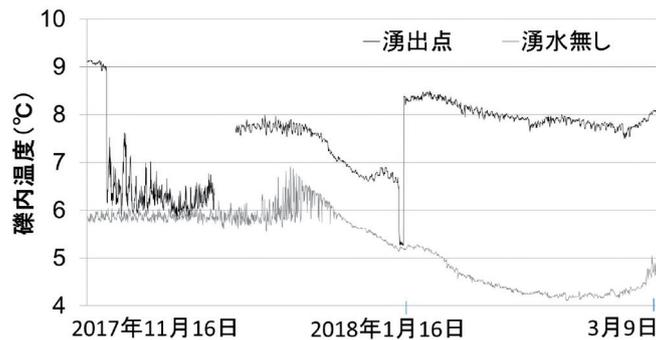


図 12 水温ロガーによる礫内温度の測定結果

潜水調査時にダイバーが直接測定した湧出点付近の礫内温度を図 13 に示す。礫内温度が高い場所は毎回同じ範囲で、過去の調査で湧水が多かった地点と一致していた。礫内温度の最高点は2017年11月15日9.5°C、1月16日8.2°C、2月13日7.7°C、3月8日7.8°Cと2月が最も低く、この傾向は水温ロガーの測定結果と一致した。なお、温度が高い場所の範囲が狭く湧出範囲は狭いと考えられた。

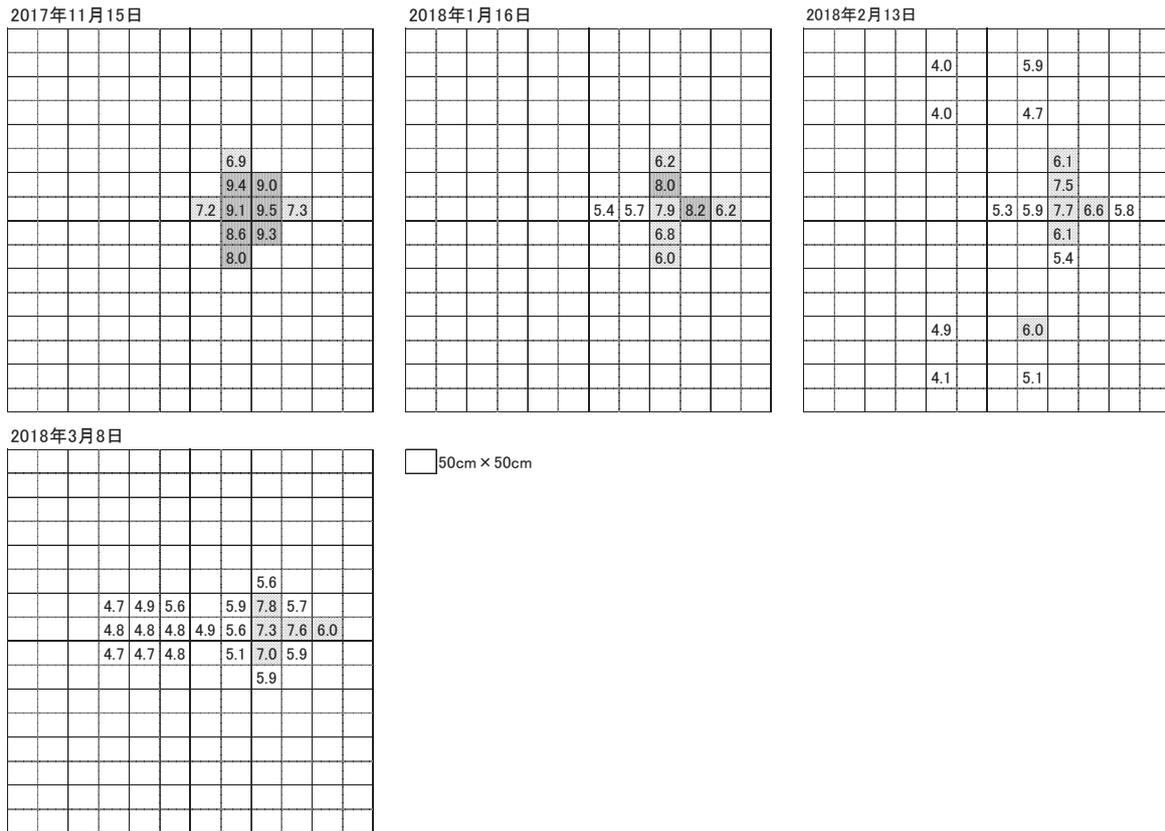


図 13 直接測定による礫内温度の測定結果

シーページメータでの採水結果を表 2 に示した。シーページメータは各回 180 分から 213 分間設置し、採水量は 1,200mL から 2,100mL だった。シーページメータの断面積 (0.1385m<sup>2</sup>) と採水量、採水時間から単位面積当たりの湧出量を推定したところ、11 月 16 日が最も少なく 45.3 mL/min./m<sup>2</sup> で、最も多かったのは 12 月 15 日の 89.2 mL/min./m<sup>2</sup> であった。

表 2 湧水の採水量と湧出量

採水日	設置時間 (min.)	採水量 (ml)	湧出量 (ml/min./m <sup>2</sup> )
171116	213	1,335	45.3
171214	190	1,880	71.4
171215	170	2,100	89.2
180116	180	1,670	67.0
180213	180	1,600	64.2
180308	180	1,200	50.1

### ウナギによるクニマス卵の食害状況

2017 年 12 月 16 日から 2018 年 2 月 12 日の行動カメラの映像を解析し、1 日当たりのウナギ確認尾数 (延べ数) と食卵行動を行った尾数 (延べ数) を計数した。ウナギが通常の水平遊泳とは異なり口部を底方向にして垂直に立ち体を左右に振って礫地に突っ込むような行動を食卵行動とした (図 14)。

ウナギは 12 月 16 日から 2 月 9 日までの間ほぼ毎日確認され、延べ 853 尾であった (図 15)。確認尾数が最も多かったのは 1 月 10 日と 1 月 16 日でそれぞれ延べ 60 尾であった。

食卵行動は 12 月 17 日から 2 月 9 日まで確認され、延べ 89 尾 (合計 48 回) の食卵を確認した (図 15)。食卵

尾数が最も多かったのは2018年1月8日で11尾であった。なお、食卵は1尾で行われることもあったが、複数で行われることが多く最大で同時に4尾が食卵行動を行っていた。



図14 ウナギの食卵行動

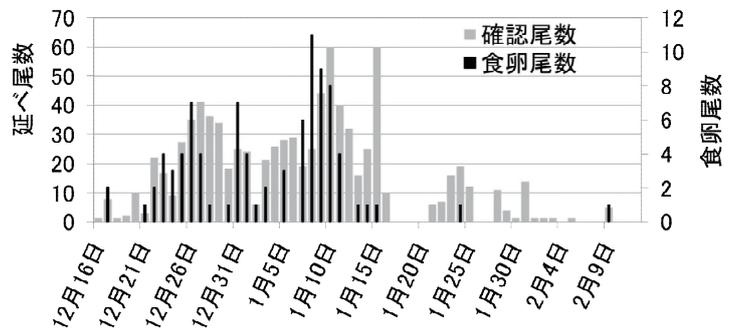


図15 ウナギの一日当たりの確認尾数と食卵行動尾数

1日当たりのウナギによる食卵時間を図16に示した。食卵時間は最初のウナギが食卵行動を開始してから最後の個体が食卵行動を終了するまでの時間とし、複数の個体が同じ場所を食卵している場合は尾数による加算を行なわなかった。合計626分間の食卵が行われていた。1日当たりの最大食卵時間は1月9日の65分間であった。

時間帯別のウナギ確認尾数と食卵尾数を図17に示す。確認尾数は9時から13時頃に多く、食卵尾数は10時から12時頃が多く、午前中から昼過ぎにかけて索餌と食卵を行っていると考えられた。

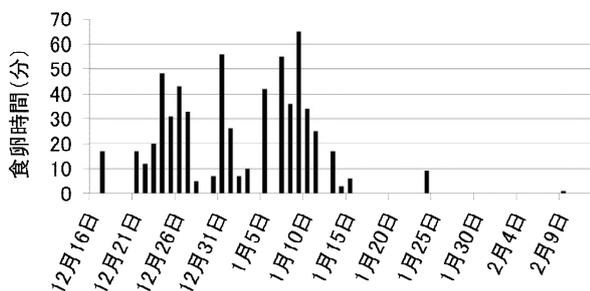


図16 ウナギによる食卵時間の経時変化

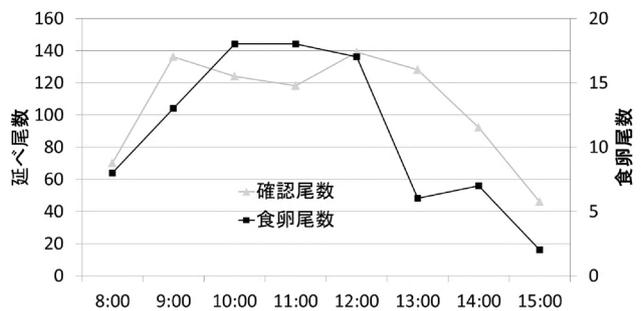


図17 時間帯別のウナギ確認尾数と食卵尾数

### 湖内でのウナギの生息実態

湖内8箇所て延縄捕獲を実施した結果、st.5とst.6を除く6箇所て計12尾のウナギが採捕された(表3)。

今年度採捕した12尾と昨年度採捕した2尾の合計14尾のウナギの測定結果を表4に示す。最小個体は全長502mm、体重195g、最大個体は全長938mm、体重1,530gであった。また、オスは1尾に対しメス13尾であり、性比は著しくメスに偏っていた。また、9尾がニホンウナギ(*Anguilla japonica*)、5尾がヨーロッパウナギ(*A. anguilla*)であった。クニマス産卵場保護区内で捕獲された5尾のうち4尾がヨーロッパウナギであった。

表3 採捕場所別のウナギ採捕結果

採捕場所	st.1	st.2	st.3	st.4	st.5	st.6	st.7	st.8	合計
投入仕掛け数	3	2	37	4	2	2	5	4	59
ウナギ採捕尾数	1	1	5	2	0	0	1	2	12
CPUE(尾/仕掛け)	0.33	0.50	0.14	0.50	0.00	0.00	0.20	0.50	0.20

表4 採捕したウナギの測定および同定結果

採捕日	採捕場所	全長 (mm)	体重 (g)	性別	胃内容物重量 (g)	種同定結果	備考
170312	st.3	771		メス	8.0	<i>A. anguilla</i>	クニマス保護区内
"	st.3	868		メス	1.4	<i>A. anguilla</i>	クニマス保護区内
171028	st.8	510	195	オス	10.0	<i>A. japonica</i>	
171103	st.8	502	211	メス	3.7	<i>A. japonica</i>	
"	st.3	648	479	メス	0.5	<i>A. japonica</i>	
171113	st.2	606	326	メス	0	<i>A. japonica</i>	
171124	st.3	703	585	メス	2.1	<i>A. japonica</i>	クニマス保護区内
"	st.4	598	305	メス	2.1	<i>A. japonica</i>	
171129	st.4	694	626	メス	0	<i>A. japonica</i>	
171208	st.3	549	208	メス	3.3	<i>A. japonica</i>	
"	st.7	664	466	メス	0.2	<i>A. japonica</i>	
180119	st.1	850	1085	メス	23.5	<i>A. anguilla</i>	
180311	st.3	854	1,155	メス	2.2	<i>A. anguilla</i>	クニマス保護区内
"	st.3	938	1,530	メス	3.8	<i>A. anguilla</i>	クニマス保護区内

ウナギ種別の平均全長と平均体重を表5に示した。ニホンウナギは全長  $608 \pm 70$ mm, 体重  $378 \pm 162$ g, ヨーロッパウナギは全長  $856 \pm 59$ mm, 体重  $1,257 \pm 239$ gで, ヨーロッパウナギが有意に大きかった (t-検定,  $p < 0.01$ )。

採捕時期別には, ニホンウナギは10月から1月に採捕され, ヨーロッパウナギは1月と3月に採捕され, ヨーロッパウナギはより寒い時期に採捕された (表6)。

表5 採捕した *A. japonica* と *A. anguilla* の全長と体重 (H29年度採捕分を含む)

	全長 (mm)	体重 (g)
<i>A. japonica</i> (n=9)	$608 \pm 70$	$378 \pm 162$
<i>A. anguilla</i> (n=5)	$856 \pm 59$	$1,257 \pm 239$

※ *A. anguilla*の体重は5尾中3尾の測定結果

表6 時期別の *A. japonica* と *A. anguilla* の採捕尾数 (H29年度採捕分を含む)

	10月	11月	12月	1月	2月	3月
<i>A. japonica</i> (n=9)	1	6	2	1	0	0
<i>A. anguilla</i> (n=5)	0	0	0	1	0	4

採捕したウナギの胃内容組成を種別に図18に示す。ニホンウナギの胃内容物で最も多かったのはオイカワで次いでワカサギが多く, ヨーロッパウナギではワカサギが最も多く, 両種ともに魚類の捕食割合が高かった。なお, 不明物, 消化物についてDNA抽出を行いクニマス種判別用のPCRを行ったが, クニマスの遺伝子は検出されなかった。

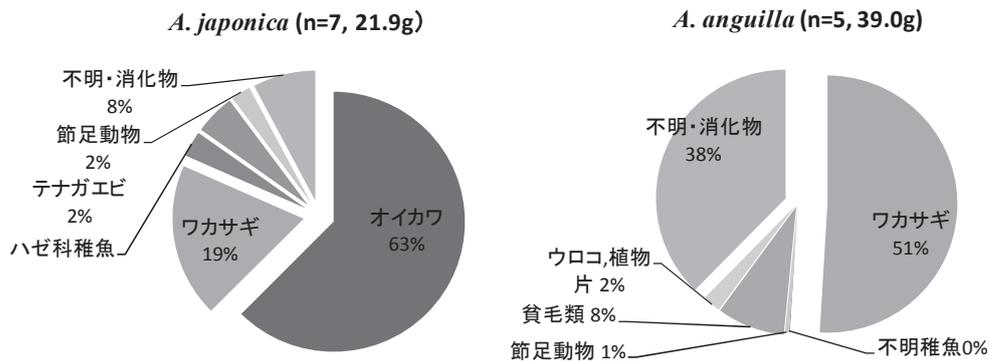


図 18 ウナギの胃内容物組成 (左: ニホンウナギ, 右: ヨーロッパウナギ)

## 考 察

### 西湖におけるクニマスの産卵時期

西湖におけるクニマスの産卵時期について、青柳ら<sup>3)</sup>は成熟魚の出現状況及び GSI の推移から 11 月から 2 月頃であると推定している<sup>3)</sup>。また、青柳ら<sup>5)</sup>は ROV を用いた湖底観察で西の越沖の湖底礫地で産卵行動を行うクニマスを 1 月 28 日と 2 月 4 日に確認している<sup>5)</sup>。さらに、瀬部ら<sup>9)</sup>はクニマスの行動追跡の結果から、非産卵期は湖内全域を広く遊泳しているクニマスが、11 月中旬から 2 月下旬は産卵場礫地周辺を集中的に利用していることを報告している。昨年度と今年度行った湖底カメラによる調査で、クニマスは産卵場礫地に少なくとも 11 月中旬には来遊しており 2 月上旬にはほとんどいなくなることで、産卵行動 (追尾行動、掘り行動) が 1 月下旬まではほぼ毎日みられることから、産卵は 1 月下旬から 2 月上旬にはほぼ終了すると考えられ、終期についてはこれまでの知見と齟齬は見られなかった。しかし、産卵の開始時期についてはカメラを設置した 11 月中旬にはクニマスが既に礫地に来遊していたため不明であった。そこで、2 月 13 日に採捕した仔魚の受精日を推定した (表 7)。人工採卵によるクニマスの受精からふ化までの積算温度は 530~710℃であることが知られている<sup>3)</sup>。また、仔魚の採集地点は湧水の湧出点から若干ずれており湧出点の礫内温度より低いと仮定し 6℃と仮定すると、積算水温 530℃の場合はふ化までには 88 日、積算水温が 710℃の場合は 118 日を要し、受精日は 10 月 17 日~11 月 16 日頃と推定された。しかし、採捕した仔魚の卵黄吸収が進んでいたことから受精日はさらに早いものと考えられ、産卵は 11 月以前に開始していると考えられた。産卵盛期については、確認ペア数が 12 月下旬に最大になっていることから 12 月下旬と考えられた。原産地である田沢湖のクニマスの産卵期について、杉山<sup>1)</sup>は、田沢湖でクニマス漁を行っていた三浦久兵衛氏の証言、近縁のヒメマスの産卵期などを整理し、2 月を中心にかなり長期間にわたり、盛期は 1 月から 3 月であると考えられるとしている。西湖のクニマスの産卵期も 11 月上旬以前から 1 月下旬と比較的長いと考えられるが、産卵盛期は 12 月下旬と田沢湖よりも早いと考えられた。

表7 クニマス仔魚の採捕から推定した受精日

礫内温度	ふ化までに要する日数		推定受精日	
	530℃の場合	710℃の場合	530℃の場合	710℃の場合
5℃	106	142	10月30日	9月24日
6℃	88	118	11月16日	10月17日
7℃	76	101	11月29日	11月3日
8℃	66	89	12月8日	11月16日
9℃	59	79	12月16日	11月26日

### クニマスの産卵場所としての湧水の重要性

クニマスの掘り行動は湧出点付近で頻繁に行われていた。ヒメマスの湖沼陸封型であるコカニーの産卵親魚は水温差などによって湧水のある地点を探していると推定されていることから<sup>10)</sup>、クニマスも湖水より高い温度の湧水を認識している可能性がある。また、湧出点付近の産着卵の生残率が70%近かったのに対し湧水の無い地点では0%であったことから、クニマスの産卵に湧水の存在は重要な役目を果たしていると考えられる。なお、大浜ら<sup>6)</sup>は湧水の多い地点と少ない地点の礫内と礫上にそれぞれヒメマス卵を設置してその生残状況を観察し、湧水の少ない地点の礫内に設置した卵の生残率は0%であったことを報告しており、埋設卵の生残における湧水の重要性を指摘している。水温ロガーによる礫内温度測定の結果から、湧出点の水温変動は湧水の無い地点の水温変動と連動しており、昨年度と同様に湧出量は湖水温度の影響を受ける程度の少なさである事が予想された。実際、推定された湧出量は45.3～89.2 mL/min/m<sup>2</sup>程度であった。また、礫内温度の高い場所の範囲は狭く、湧水の湧出範囲は狭いと考えられた。行動カメラの映像には同時に最大9ペアが確認されており、狭い湧水範囲での重複産卵が懸念された。中山ら(投稿準備中)はクニマスの有効集団サイズを12.7から79.9と推定しているが、今回の解析では延べ数ではあるが182ペアが観察されており産卵行動を行った数は有効集団サイズより多いと考えられ、重複産卵などにより再生産に寄与できていないケースがあることも考えられた。このように、湧水はクニマスの産卵にとって重要である一方、湧出量が少なく湧出範囲が狭く脆弱であり、湧水の保全策または増加策の検討も必要と考えられた。

### ウナギによるクニマス卵の食害の影響

昨年度に引き続き、今年度もウナギによるクニマス卵の食害が確認された。食卵ウナギとクニマスペアの出現状況を図19に示す。両者の出現数の変動傾向に相関は見られないが、クニマスペアの出現とウナギ食卵個体の出現の消長はほぼ同じで、両者とも1月下旬以降は見られなくなった。なお、ウナギ自体は1月下旬以降も時々撮影されているが(図15)、その時期に食卵行動はほとんど見られていない。詳細な解析は行えなかったが、ウナギによる食卵はクニマスの放卵直後に行われる場合がほとんどであり、ウナギは礫地周辺を回遊しながらクニマス放卵の瞬間に遭遇した場合に食卵を行うと考えられた。前述のクニマスの有効集団サイズが小さい事の要因として、前述の重複産卵以外にも特定のペアの産着卵がウナギに食べ尽くされ再生産に寄与出来なくなっている可能性も考えられた。

産卵場保護区内で捕獲された5尾のうち4尾はヨーロッパウナギで全て3月に採捕されており、ニホンウナギは11月に採捕された1尾のみであった(表4)。ヨーロッパウナギはニホンウナギに比べてより低水温耐性がある事が知られている<sup>11)</sup>。ウナギ採捕地点の水温測定は行っていないが、湧水の無い地点の礫内温度12月頃から徐々に低下し3月には最低の4℃前後まで低下している。前述のようにクニマスの産卵盛期は12月下旬と考えられ、水温が低下し始めたこの時期にクニマス卵を食害しているのはヨーロッパウナギの可能性が高いと考えられる。ヨーロッパウナギの種苗は現在アフリカの一部を除き国際取引が禁止されており国内に流通する可能性は低いと考えられるが、かつては不足するニホンウナギ種苗の代替として日本国内に流通した事もある。近年も利根

川水系など天然水面からヨーロッパウナギが採捕された事例が報告されており<sup>12)</sup>、西湖で採捕されたヨーロッパウナギも過去に放流種苗として混入した可能性が考えられた。今後、放流種苗にニホンウナギ以外の種苗、特に低水温耐性が高い異種ウナギの混入を監視する必要がある。

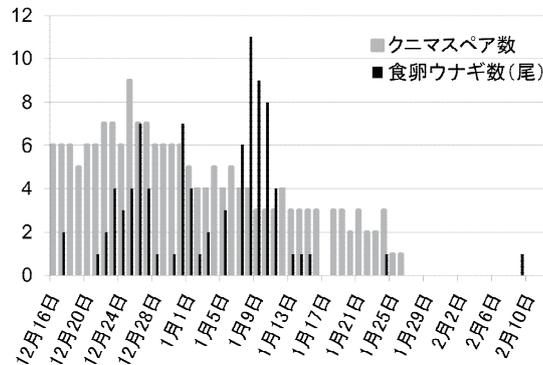


図19 クニマス確認ペア数と食卵ウナギ数の経時変化

西湖のクニマスの推定有効集団サイズは12.7から79.9と少ないうえ卵の生残率は20.9%と低く、再生産の状況は良好では無いと考えられ、クニマス保全のためには産卵環境の改善や捕食魚の除去が必要である。クニマスの再生産に影響を与える要因として現時点で明らかになっているのは脆弱な湧水環境とウナギによる食害である。湧水環境については保全や増加策の検討が望まれる。そのためには湧出量の変動要因等を明らかにする必要があるが、長期間の調査が必要である。一方、ウナギの食害についてはすぐにも産卵場から除去する対策を実施することが可能である。今後、効率的な除去技術を開発すると同時に実際に除去を行ったうえで、有効親魚数や産卵場に来遊するウナギの数などをモニタリングして除去の効果を検証する必要があると考えられた。

## 謝 辞

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、ウナギの採捕を始め調査実施にご協力いただいた。ここに感謝申し上げます。また、今回の潜水調査は、昨年同様標高900m、水深約30m、水温5~6℃、低照度下の過酷な条件下で、加えて厳冬期の潜水も行ったが、調査が順調に行われたのは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。心から感謝申し上げます。

## 要 約

1. 西湖のクニマス産卵場礫地に水中カメラを設置してクニマスの産卵生態と産卵行動を調査した。また、産卵場礫地の湧水の湧出状況とウナギによるクニマス卵の食害実態について調査した。
2. 産卵場礫地へのクニマスの来遊はカメラを設置した11月中旬に既に確認された。その後、1月下旬まで毎日多数のクニマスが産卵場礫地で確認されたが、2月に入るとほとんど撮影されなくなった。
3. クニマスの産卵行動は、まず湖底50cm付近で2尾の追尾が見られ、その後2尾は礫底の狭い範囲に定位するようになり、ペアの1個体が礫を掘る行動を行い、他の1尾は侵入者を追い払うような行動を頻繁に行った。掘り行動は2日間続いたのちに放卵放精と思われる行動が行われた。

4. 追尾行動を行うペアは11月中旬から1月下旬まで見られ、12月下旬に最も多くのペアが確認された。産卵行動は11月中旬以前に始まり、ピークは12月下旬で1月下旬は終了すると考えられた。
5. クニマスの掘り行動は湧水の多い場所で多くに確認され、湧水の存在を認識して産卵行動を行っている可能性が考えられた。
6. 昨年同様、産卵場礫地に湧水の存在が確認された。湧出量は45.3～89.2 ml/分/m<sup>2</sup>であり湧出範囲は狭いと考えられ、湧出環境は脆弱であると考えられた。
7. 昨年同様、ウナギによるクニマス卵の食害が確認された。ウナギによる食卵行動は12月17日から2月9日の間に48回(延べ89尾)確認した。食卵ウナギとクニマスペアの出現終期は一致していた。
8. 産卵場周辺で採捕した5尾のウナギのうち4尾はヨーロッパウナギであった。ヨーロッパウナギは全て3月に採捕されており、クニマス盛期(12月下旬)に食卵を行っているのはヨーロッパウナギの可能性が示唆された。

## 文 献

- 1) 杉山秀樹(2000): 田沢湖まぼろしの魚 クニマス百科, 秋田魁新報社, 秋田.
- 2) Nakabo, T., Nakayama, K., Muto, N. and 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.
- 3) 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, 山梨県理工学研究機構研究報告書 8.89-102.
- 4) 青柳敏裕・岡崎巧・加地奈々・大浜秀規・長谷川裕弥・勘坂弘治・市田健介・吉崎悟朗(2014): クニマスの生態解明及び増養殖に関する研究(第2報), 山梨県理工学研究機構研究報告書 9.49-65.
- 5) 青柳敏裕・岡崎巧・大浜秀規・三浦正之・谷沢弘将・小澤涼・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), 山梨県理工学研究機構研究報告書 10.43-65.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) Nakayama K., Muto N., Nakabo T. (2013) : Mitochondrial DNA sequence divergence between "Kunimasu" *Oncorhynchus kawamurae* and "Himemasu" *O. nerka* in Lake Saiko, Yamanashi Prefecture, Japan, and their identification using multiplex haplotype-specific PCR. *Ichthyol Res.* 60, 277-281.
- 9) 瀬部孝太・下野晃生・光永靖(印刷中): クニマスとヒメマスの行動比較Ⅱ(概要). 山梨県水産技術センター事業報告書, 46.
- 10) Moris, A. R., Caverly, A. (2004) : 2003-2004 Seton and Anderson Lakes kokanee assessment, report to British Columbia Conservation Foundation and Ministry of Water, Land and Air Protection, Kamloops, BC.
- 11) 江草周三(1970): ヨーロッパウナギ養殖の問題点の二, 三. 養殖, 1970.5.
- 12) Arai K., Itakura H., Yoneta A., Yoshinaga T., Shiratori 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.