

# 産卵期のクニマス観察のための水中ビデオカメラシステムの構築

青柳敏裕・加地弘一・馬籠 純\*1・森 一博\*2・名倉 盾・上田広樹・望月孝一・大浜秀規

現在、当所では西湖のクニマス *Oncorhynchus kawamurae* の保全にかかる研究の一環として、クニマスの産卵実態について調査している。クニマスは、産卵深度が深く（約 30m）産卵期が長期（およそ半年）にわたるため一般的な産卵調査が困難であり、1 週間～2 ヶ月程度の期間定点カメラ（タイムラプスカメラ）を産卵場に設置し、後日回収した映像から親魚来遊数の傾向、産卵行動等を検討してきた<sup>1,3)</sup>。この定点カメラ調査により、産卵後のクニマス卵がウナギ（5℃前後でも摂餌するヨーロッパウナギ *Anguilla anguilla*）に捕食されていることが明らかとなり<sup>1)</sup>、現在産卵場におけるウナギ採捕技術開発に取り組んでいる。この調査でタイムラプスカメラを使用したのは、電源と記録容量の制約からビデオカメラの使用が困難であったこと、2016 年度当初の調査目的であったクニマス親魚の来遊数の検討は、5 秒または 5 分間隔で撮影したインターバル撮影画像でも可能と判断したためである。

しかし、ウナギによるクニマス卵の捕食が明らかとなったことで、クニマスの一連の産卵行動のどの段階で、ウナギによる卵の捕食がどのくらいの頻度（捕食回数や捕食時間）で起こるか検討する必要が生じた。タイムラプスカメラによる撮影では、その目的を検討するために十分な映像は得られなかった。原因として、インターバル撮影ゆえの情報損失が瞬間的な産卵行動の観察には大きく影響すること、クニマスの産卵環境（水深 30m）は暗く明瞭な映像が得られない日が多々あったことなど、カメラの機能・性能に起因する問題が大きかった。

さらに、カメラの設置回収は標高 900m の西湖の深層に潜水しなければならず、潜水士に作業を委託する必要があった。そのため、経費や過酷な高所潜水による潜水士への負担といった制約があり、産卵期中の設置・回収は 2 回程度が限度であった。少ない設置回数で産卵期を網羅しようとする、インターバル間隔を長くし長期間の連続撮影とせざるを得ず、映像を参考にしながら繰り返し漁具や誘引条件を変えて採捕試験を行うことは困難であった。

これらの点を踏まえて、2019 年度からのクニマス研究では、ライブ観察が可能な水中ビデオカメラシステムを導入することとした。水中ビデオカメラシステムには無線や携帯電話回線（3G）を利用した研究報告<sup>4,5)</sup>があり、また有線式あるいは無線式のシステムが市販されているが、観察予定地（水産技術センター）が西湖から遠いため、遠隔地からのライブ観察が可能なネットワークカメラ及びインターネット回線を用いた有線式の水中ビデオカメラシステムを山梨大学と共同で製作したので報告する。

なお、本研究は山梨県総合理工学研究機構の「クニマスの保全及び養殖技術に関する研究」として実施した。

## 材料及び方法

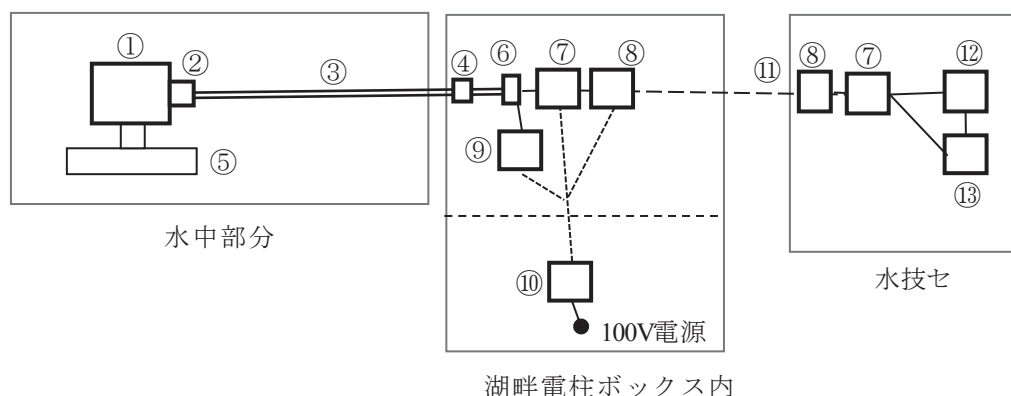
### 水中ビデオカメラシステムの概要

市販のネットワークカメラを特注の防水ハウジングに収容した水中ビデオカメラを産卵場礫地辺縁に設置した。映像はカメラに接続した LAN ケーブルで湖畔の電柱まで伝送し、インターネット経由で水産技術センターからライブ観察し、またスケジュール録画した映像を適宜観察できるようにした。カメラハウジングの製作及び LAN ケーブルまでの防水加工一式、カメラ台座はそれぞれ特注し、通信、録画及び観察に要する機器は市販品で構成した（図 1）。

---

Aoyagi Toshihiro, Kaji Koichi, Magome Jun, Mori Kazuhiro, Nagura Jun, Ueda Hiroki, Mochizuki Koichi, Ohama Hideki

\*1, 山梨大学大学院総合研究部生命環境学域, \*2, 山梨大学大学院総合研究部工学域



	機器	機種	特長等
①	ネットワークカメラ（防水ハウジング収容）	SONY, SNC-VB640	カメラ性能は表1のとおり(防水ハウジング製作及びLANケーブルまでの防水加工はエヌティエフ)
②	水中コネクタ	—	エヌティエフ調達品, カメラハウジングとLANケーブルを水中で脱着可能
③	LANケーブル	屋外用U/UTPケーブル	同上, PoE, 200m(水中コネクタ規格に合わせカテゴリ5e)
④	LANエクステンダ	—	同上, 延長距離600mまで伝送速度100Mbps(900mまで10Mbps)
⑤	カメラ台座	—	ヤスダ工業特注, カメラハウジングを取り付けた支柱がベース鋼材から脱着可能, 重量80Kg
⑥	スイッチングハブ	NETGEAR, GS305P-100JPS	PoE(15w), カメラ6wとLANエクステンダ2wの消費電力にケーブル200m分の電圧降下を考慮して倍の給電容量
⑦	ルーター	YAMAHA, RTX830	
⑧	ONU（光回線終端装置）	—	NTTからレンタル
⑨	NAS（ネットワーク接続型ストレージ）①	QNAP, TBS-453DX	バックアップ用, 4TBのSSD搭載
⑩	無停電電源装置	OMRON, BY35S	最大出力210w, 雷サージ保護機能付
⑪	インターネット（光回線）	—	フレッツ光ネクスト(ファミリー・ギガライン)
⑫	観察用パソコン	HP, EliteDesk 800 G5TW	グラフィックボード(AMD Radeon RX 550X FH)を増設
⑬	NAS②	QNAP, TS-253Be	⑨からデータ(録画ファイル)を自動バックアップ, 12TBのHDD搭載

図1 水中ビデオカメラシステムの模式図

## 1 機器類の製作及び設置

### i) 水中ビデオカメラの製作

ネットワークカメラはこれまでの調査で使用してきたタイムラプスカメラ（BRINNO, TLC200Pro）映像との比較を念頭に、水平画角（陸上）や画質が同等以上で、低照度下の撮影に優れた機種（SONY, SNC-VB640）を選定した。表1に両カメラの主な性能を示す。

カメラの調達と防水ハウジングの製作、LANケーブル一式の機材調達とそれらの一体的な防水加工は(有)エヌティエフ（神奈川県）に委託した。産卵場水深が約30mであることから、ハウジングの耐圧性能は0.3MPaとした。カメラの水平画角が最大となるようハウジング収容前にカメラレンズをワイド端に固定した。水中でカメラハウジングをケーブルから脱着できるよう、カメラ側のLAN端末には水中コネクタを接続した。ケーブル長は200mとし、LANエクステンダを陸上側のLAN端末に接続することで、ケーブル100mごとに必要な増幅器とその防水加工を省略した。

表1 選定したカメラ (SNC-VB640) と過去の調査で使用したタイムラプスカメラ (TLC200Pro) との比較

	SNC-VB640	TLC200Pro
有効画素数	213万画素	130万画素
F値	1.2(ワイド端)-1.95(テレ端)	2.0
水平画角(陸上)	114°(ワイド端)-40°(テレ端)	105°
最短撮影距離	30cm(手動調節)	1cm(手動調節)
明暗補正	viewDR	HDR
画質	Full-HD	HD
光感度	—	3650mV/lux-sec
最低被写体照度	0.006lux	—
解像度	1920×1080	1280×720
最大フレームレート	30FPS (JPEG)	30FPS (JPEG)
録画ファイル形式	A VI	A VI
消費電力(電源)	6W (AC24V、PoE)	-(単3電池4本、外部DC5V)
動体検知	あり	なし
ズーム・パン・チルト	なし	なし

網掛けの項目の性能がTLC200Pro以上と判断してSNC-VB640を選定

## ii) 電源、伝送及び記録用機器類の設置

クニマス産卵保護区近傍の湖岸に電柱 (14m×19cm: 地上高 12m, 500Kgf コンクリートポール。景観配慮のため茶色に塗装) を立てた。設置工事は井出電気(株) (富士河口湖町) に依頼した。電線 (100V 単相 2 線式) 引込工事とそれにかかる許可等は東京電力パワーグリッド(株)山梨総支社 (甲府市) に依頼した。

電柱及び水中ビデオカメラシステムの設置に先立ち、河川法第 24 条 (土地の占用) 及び第 26 条 (工作物の設置)、自然公園法第 20 条 (現状変更, 特別地域内の動力船使用)、文化財保護法第 125 条 (現状変更)、河川敷地占用許可準則第 22 (都市・地域再生等利用区域の使用) の各規定に基づく許可等を得た。また富士山景観配慮条例について規制に抵触しないことを確認した。

電柱には密閉式の防水ウォルボックス 2 個を設置した。1 個にはスイッチングハブ, ルーター, ONU (光回線終端装置), バックアップ元のネットワーク接続型ストレージ (以下, NAS という) を設置し, もう 1 個のウォルボックスには無停電電源装置を設置し先のウォルボックスへ電源供給した。ルーターと ONU を除く機器類の調達, ルーターと ONU を含む機器類の設置調整は(株)YSK e-com (甲府市) に委託した。ルーターと ONU の調達及び回線開通工事は NTT 東日本山梨支店 (甲府市) に依頼し, フレッツ光ネクストに加入した。

## iii) 水中ビデオカメラシステムの設置

水中ビデオカメラを脱着可能なカメラ台座の製作及び水中ビデオカメラシステムの湖底設置はヤスダ工業 (富士吉田市) に依頼した。湖底設置には予めクニマス産卵場の GPS 情報を元に湖底礫地に目印ブイを投入し, 台船からカメラ台座を湖底へ吊り下げ湖底で潜水士が位置調整をした。台座の設置後, ケーブル長 30m ごとに廃鋼材製オモリ (5Kg) を結束バンドで固定した LAN ケーブルを湖岸電柱に向かい水中へ繰り入れた。沿岸 (水深約 5m) から陸上までのケーブルは, 遊漁者による釣針の根掛かりを防ぐため合計 20m 接続した塩ビ管 (直径 20mm) を通して沈め, 標識ブイを設置した。陸上部分のケーブル (塩ビ管に通した状態) は後日, 西湖漁業協同組合の協力により地中に埋設した。

#### iv) 観察用機器類の設置

水産技術センター本所（以下、本所という）に観察用パソコンと映像保存用 NAS を設置し、カメラ映像または西湖側 NAS の記録映像を本所の観察用パソコン（ネットワークカメラのライブビューソフトまたは NAS のモニター機能）で観察できるよう設定した。またインターネット回線の不具合等で本所への映像伝送に支障をきたす可能性を考慮して、西湖側 NAS に直接記録される動画ファイルが本所側 NAS へ自動バックアップされるよう設定した。録画は曜日別に 15 分単位で予約可能で、1 時間単位で生成されるフォルダに保存されるようにした。西湖側の機器同様、本所側機器の調達及び西湖側機器とのリンクをはじめとする一連の設定は YSK e-com に委託した。

#### 2 水中ビデオカメラシステムの試験運用

設置完了後の 2020 年 12 月 13 日から 2021 年 3 月 10 日までの 87 日間、水中ビデオカメラシステムを運用した。2021 年 1 月 25 日（設置後 44 日目）、カメラ前にウナギ採捕試験漁具を設置した際にタイムラプスカメラをカメラ台座付近に設置した。その際にカメラハウジングレンズ面の清掃も実施した。潜水作業は本栖湖ダイビングサービス（富士河口湖町）に委託した。

映像観察の結果から 2021 年 3 月上旬で 2020 年度の産卵期は終了したとみなし、2021 年 3 月 11 日に水中ビデオカメラ及びタイムラプスカメラを回収した。潜水作業は本栖湖ダイビングサービスに委託した。両カメラにより撮影された映像について、次の 5 段階に区分して、両カメラ設置期間（43 日間）中の 10-11 時（明るい映像が得られやすい時間帯）映像の見やすさを比較した。

区分 1：澄んでいて、画面奥まで礫地及び魚体がよく確認できる状態

区分 2：濁りはあるが、画面中央までは礫地や魚体が確認できる状態

区分 3：濁りがあり不鮮明だが、画面手前の礫地や魚影は確認できる状態

区分 4：濁りが強く観察は困難で、時々魚影が確認できる状態

区分 5：濁りが極めて強く、観察不能な状態

### 結果及び考察

#### 1 機器類の製作及び設置

クニマス産卵場がある西湖北岸の湖畔道路沿いには電線と光回線が敷設されている。そのため安定的な電源と高速の通信環境を利用した有線式の水中ビデオカメラシステム（以下、本システム）を構築することができた。計画段階では無線や携帯電話回線（LTE）を利用した監視システムの導入も検討したが、湖面に電源や通信機器を備えたブイ等を浮かべるのは荒天時に損壊の危険が大きく、映像伝送やバッテリー電圧の安定性にも不安があった。また、観察地が西湖から約 40Km 離れた水産技術センターであるため無線による伝送も困難と考えられた。さらに世界文化遺産富士山の構成資産である西湖では景観上の問題も大きかった。これらを踏まえ、湖底ケーブルを敷設しインターネット環境を利用した有線式の本システムが最良の方法と判断した。

システムの作動環境として近隣（気象庁河口湖気象観測所）では最低気温 $-18^{\circ}\text{C}$ を記録した年もあるため、湖畔電柱に設置した NAS 等機器（使用環境温度 $0-40^{\circ}\text{C}$ ）の動作に不安があった。試験運用期間（87 日間）中に河口湖で最低気温が氷点下を記録した日は合計 78 日（気象庁 web サイト、過去の気象データ検索）あったが（最低 $-11.2^{\circ}\text{C}$ を記録）、河口湖より標高が高く寒冷な西湖での試験運用終了まで、本システムは正常に作動した。

なお、設置後 44 日目にハウジング清掃、89 日目に水中ビデオカメラを回収したが、いずれの時点でもハウジングレンズ面に目立った汚れは付着しておらず、試験運用終了まで良好な映像が得られた。同時に回収したタイムラプスカメラ（設置後 38 日目）ではハウジングレンズ面の汚れが少なくなく、観察に支障があった。

## 2 水中ビデオカメラシステムの試験運用

タイムラプスカメラと観察のしやすさを比較したところ、本システムでは区分1が5日間、区分2が21日間、区分3が16日間、区分4が0日間、区分5が1日間であり、調査日のほとんどで観察が可能であった(表2)。一方、タイムラプスカメラでは区分1が0日間、区分2が21日間、区分3が3日間、区分4が7日間、区分5が12日間であり、調査日の半数近くで観察が困難または不可能であった(表2)。本年度のタイムラプスカメラの画像は過去に比べ濁りが極めて強い日が多かったが、本システムではタイムラプスカメラでは判別できない日でも湖底形状や魚影を確認できた。本システム及びタイムラプスカメラにより撮影された映像について、濁りが極めて強かった日と濁りがほぼ見られなかった日における両者の映像を末尾の付図に示す。

また、インターバル撮影画像を動画再生するタイムラプスカメラと異なり、動画撮影のため情報損失がなく、さらに観察中に任意の範囲をデジタルズームできるなど、本システムはクニマス産卵場をモニタリングする上で有用性が高いことが明らかになった。

表2 水中ビデオカメラとタイムラプスカメラの映像の見やすさの比較

	1/25	1/26	1/27	1/28	1/29	1/30	1/31	2/1	2/2	2/3	2/4	2/5	2/6	2/7	2/8
水中ビデオカメラ	3	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2
タイムラプスカメラ	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4

2/9	2/10	2/11	2/12	2/13	2/14	2/15	2/16	2/17	2/18	2/19	2/20	2/21	2/22	2/23	2/24	2/25	2/26	2/27
2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2
4	3	4	4	3	3	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

2/28	3/1	3/2	3/3	3/4	3/5	3/6	3/7	3/8
3	1	2	1	1	1	1	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2

	1	2	3	4	5
水中ビデオカメラ	5	21	16	0	1
タイムラプスカメラ	0	21	3	7	12

区分

1	澄んでいて奥まで礫がよく見え魚影もはっきりと確認できる
2	濁りはあるが中央までは礫がよく見え魚影も確認できる
3	濁りがあり不鮮明だが礫の形や魚影は確認できる
4	濁りが強く観察が困難(時々魚影などが確認できる)
5	濁りが極めて強く観察不能

本システムで記録された動画ファイルの容量は15分あたり900MB程度で、試験運用期間(87日間)の録画容量は約2.8TBであった。冬の西湖は午後に強風や荒天となることが多く、湖底が比較的観察しやすい時間帯が正午前後の数時間であったことを考慮し1日5時間の録画とすると、西湖側NASの書き込み容量3.55TB(3.55TBを超えると自動上書き)で194日録画可能と推定され、産卵期前の10月から産卵期末の3月まで録画可能と見積もられた。

しかし録画開始から約1ヶ月後、本所側の動画ファイル生成が遅延するようになり、ほぼリアルタイムで行われていたバックアップが夕方までに終了しないようになった。西湖側NASにはほぼ撮影時刻どおりに動画ファイルが生成されていた。YSK e-comによると、増分バックアップでなく最初に記録した動画ファイル以降の全てを一度西湖側NASから転送し、エラーを検証しながら増加ファイルを記録しているとのことであり、運用が長期にわたるほど時間が掛かるようになるとのことであった。試験運用期間中は当日夜間には終了していたが、本所側NASへの記録に支障があるなら、増分バックアップ設定の検討や西湖側NASの記録領域を減らして負荷を減らすなどの対応が必要と考えられる。

今後のクニマス観察にあたっては、人より圧倒的に処理時間が短くかつ個人差や体調による判定能力の変動がないことが期待される AI を利用して、クニマス撮影数（来遊数）及び食卵ウナギ数の自動計数や礫地被泥範囲の変化の検出など、観察の省力化に向けた検討が必要と考えられる。

また、インターネット回線を利用した本システムは、オンライン環境または携帯圏内であればどこからでも様々なデバイスで利用し得る。ウナギ採捕技術開発において、スマートフォン（ネットワークカメラビューアー）で水中映像を船上から見ながら、狭小な産卵場礫地に漁具が正確に投入されたか確認するなど、効率的な試験の実施に寄与することも期待される。

## 謝 辞

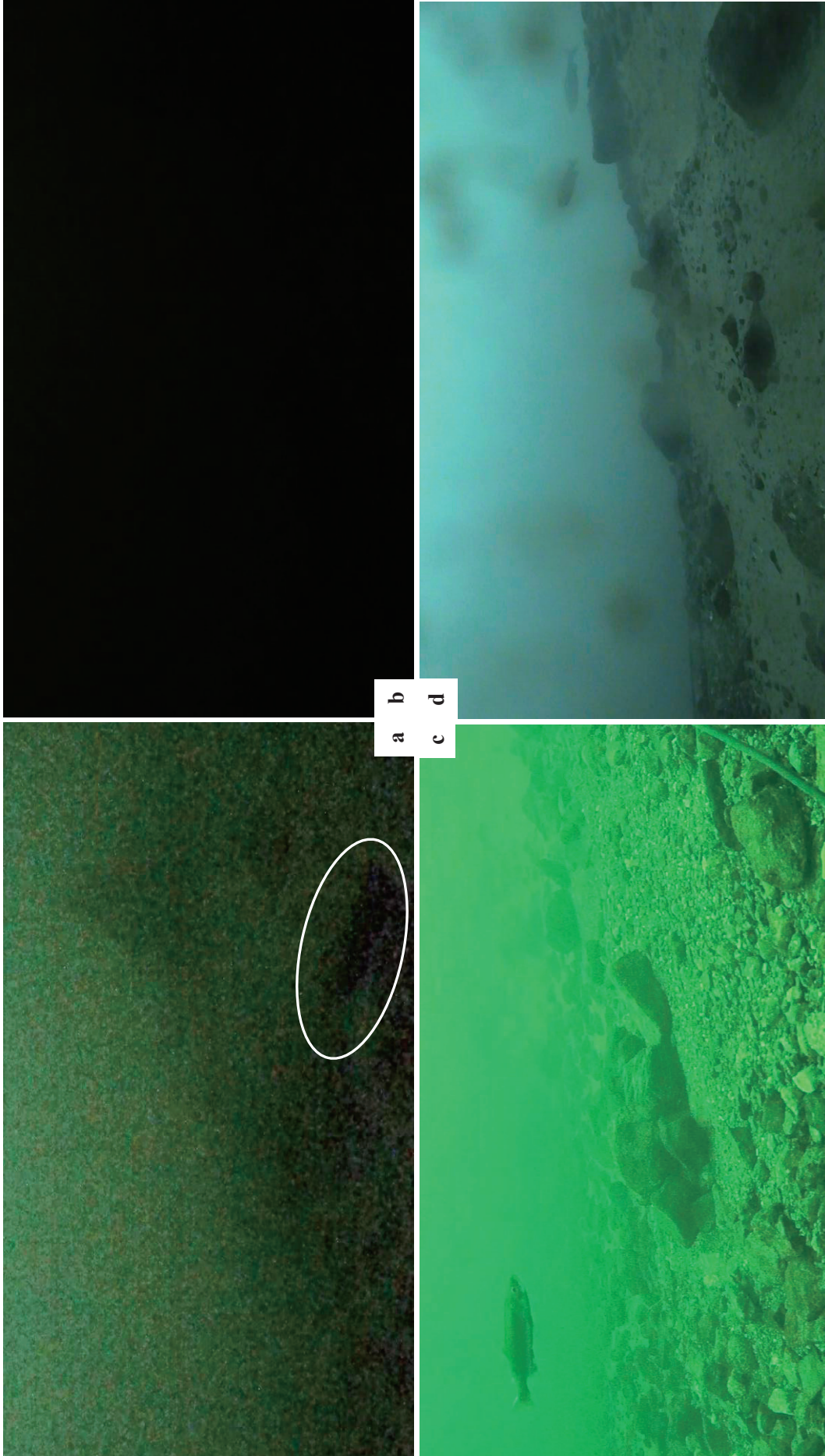
西湖漁業協同組合、富士河口湖町及び同町教育委員会、西湖観光協会、電柱設置地点に隣接する観岳園キャンプ場の皆様には、水中ビデオカメラシステムの設置にご理解とご同意を頂いた上、多大なご協力を頂きました。また、潜水作業を請け負った本栖湖ダイビングサービスには、高所大深度潜水の過酷な作業環境の中、設置作業を円滑に進めて頂きました。皆様に厚く感謝申し上げます。

## 要 約

1. 西湖のクニマス産卵場モニタリングのため、ネットワークカメラ及びインターネット回線を用いた有線式の水中ビデオカメラシステムを構築した。
2. 従来の中カメラ調査で使用してきたタイムラプスカメラと異なり詳細な行動観察が可能な上、タイムラプスカメラでは撮影不能な状況でも湖底形状や魚影が判別できるなど、モニタリングにはより適していると考えられた。
3. 今後は AI を利用して観察の省力化に向けた検討が必要と考えられた。

## 文 献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 加地弘一・青柳敏裕・大浜秀規(2020)：西湖におけるクニマスの産卵環境-IV．山梨県水産技術センター事業報告書，47，41-47.
- 4) 石黒雄一・五島正哲・秋中一允(2003)：水中ビデオカメラ画像伝送システムの製作と定置網内の魚群観察．神奈川県水産総合研究所研究報告，8，39-45.
- 5) 秋山清二(2011)：漁業・養殖業のための水中映像遠隔監視システムについて．平成 23 年度水産工学関係研究開発推進会議水産業システム研究部会・漁業生産技術部会合同部会資料.



(付図) 水中ビデオカメラシステム (SNC-VB640) 及びタイルカメラ (TLC200Pro) の映像

a : 濁りが極めて強い日の SNC-VB640 映像, b : a と同じ時間帯の TLC200Pro 映像, c : 濁りが強い日の SNC-VB640 映像, d : c と同じ時間帯の TLC200Pro 映像。濁りが極めて強い日は SNC-VB640 設置後 47 日目 (TLC200Pro 設置後 3 日目), 濁りが強い日は SNC-VB640 設置後 82 日目 (TLC200Pro 設置後 38 日目) の映像。動画では a の映像中に動く魚影 (白い円内) を確認できた。また, d の輪郭不明瞭な影はハウジング面に付着した汚れ。