

ドローン等先端技術を活用した外来魚等の生息状況把握ならびに駆除手法の開発

要旨

2007年からオオクチバスの駆除を始めた長野県の金原ダム湖では、2018年に成魚が1個体捕獲されて以来、オオクチバスは確認されなくなった。12年間で3,930個体のオオクチバス（卵および当歳魚を除く）を捕獲した。しかし、環境DNA分析の結果を精査したところ、2018年、2020、2021年に金原ダム湖で採水したサンプルからは、ごく微量のオオクチバス由来とされるDNAが検出された。そのため、金原ダム湖のオオクチバスは完全に駆除された可能性は高いが、残存個体の存在を否定できない結果であった。

2021年5月に、那珂川水系でコクチバス無人航空機（UAV；通称ドローン）を用いてコクチバスの探索を行ったところ、効率的に産卵床を発見でき、産卵床を守る雄個体の有無についても容易に判別可能であることが明らかになった。ドローンを用いて小型三枚網を産卵床の中央に設置回収するアタッチメントを開発した。

1. はじめに

オオクチバス *Micropterus salmoides*、コクチバス *M. dolomieu* は水圏生態系に大きな影響を与えることから IUCN の侵略的外来生物ワースト 100 に指定されている。これら有害外来魚の駆除にあたっては各種の捕獲技術が開発され、繁殖抑制技術も進展し、最新の駆除マニュアルで紹介されている（文末の参考資料を参照）。駆除を集中的に行っている水域では、産卵床を見逃さずに除去し、再生産を防ぐことで、完全に駆除できる可能性がある。本調査では、過去14年にわたって駆除を行ってきた長野県の金原ダムにおいて、これまで行ってきたオオクチバスとその産卵床を確認するための潜水目視と併せ、環境DNAを用いて、完全に駆除できたかどうか検討を行う。

近年、コクチバスは大河川の中下流域で分布を拡大させており、アユ等漁業権魚種の食害が危惧されている。分布域の1つである那珂川および利根川の本流、支流では、コクチバスの流れ分布が明らかになっている。しかし、コクチバスの駆除対策に新たに着手する漁業協同組合では、コクチバスの産卵床を観察した経験が浅いため産卵床を発見できず、繁殖抑制を行うことが難しいことが課題となっている。そこで、無人航空機（UAV；通称ドローン）を用いて、産卵床の探索、産卵床を守る雄個体の有無の判別、さらに雄個体を捕獲する手法について検討を行う。

2. 長野県東御市の金原ダム湖におけるオオクチバスの根絶～残存個体の有無を環境DNAで探る～

(1) 方法

潜水目視および捕獲調査

長野県上田市の金原ダム湖では、2007年からオオクチバスの駆除調査を行っており、現在、駆除の最終段階にある。2021年は、6月7日および6月29日に調査を行った。なお、金原ダム湖では、例年6月初旬にオオクチバスの繁殖が始まり、7月に終了する。潜水調査は、繁殖期における産卵の有無、仔稚魚の出現、成魚の確認に焦点をあてたものである。また、7月中旬以降、金原ダム湖の透明度は低くなり、潜水観察は難しくなる。

調査では二名が一組となり、そのうちの一名がドライスーツとシュノーケルを着用し、もう一人は陸上からその補佐を行いつつ、湖岸に沿って一周しながら潜水観察を行った。オオクチバスの成魚に遭遇した場合には水中銃（BEUCHAT社 マンディアルコンペティション750）で捕獲するとともに、産卵床や稚魚の有無を確認した。調査は午前10時から2時間行った。

環境DNA調査

2021年6月7日に、潜水目視を行う直前に、ダム湖内の湖水流出部（写真1左下）と、かつて産卵床が頻繁にみられた地点（写真1右下）の2カ所において採水を行った。チャック付きポリ袋（ユニパックK-8サイズ、セイニチ）を用い1Lの採水後、ただちに塩化ベンザルコニウム溶液（オスバンS、日本製薬）1ccを添加し、続いて50mlシリンジ（TERUMO）とステリベクスフィルター（0.45 μ m, Merck Millipore）を用いたろ過処理を行った。1地点あたり2枚のステリベクスフィルターを用い、各500mlずつの環境水をろ過した。ろ過処理後には精製水500mlを用いたろ過も実施し、ネガティブコントロールとした。

ろ過処理後のフィルターには安定剤としてRNAlater（Thermo Fisher Scientific）を充填して研究所に持ち帰った後冷凍保存し、北海道大学大学院農学研究院内の分子実験室においてDNeasy Blood&Tissueキット（Qiagen）を用いたDNA抽出を行った（Minamoto et al. 2021）。抽出DNA（100 μ l/フィルター）は冷凍保存後、各2 μ lを用いて定量PCR・Mx3000P（Agilent）およびオオクチバス特異的プライマー（Yamanaka et al. 2016）を使ったDNA定量を行い、これをフィルターサンプルあたり6回反復した。

(2) 結果と考察

潜水目視および捕獲調査

2021年の調査においては、オオクチバスによる産卵床は一個も確認されなかった。また、オオクチバスの稚魚や幼魚も確認されなかった。また、2018年7月3日に、成魚（成熟メス）1個体を確認し、水中銃で捕獲して以降、オオクチバスは1尾も観察されず、産卵床もそれを守る雄も、別の場所を遊泳する雌も確認されなかったため、完全に繁殖を抑制できた可能性が高いと考えられる（図1）。

金原ダム湖では2012年以後、2014年に繁殖を見逃した以外、毎年繁殖を完全に抑制している。このことから、2018年に捕獲された標準体長34cmの個体は、2014年に生まれた4歳魚であると推定される。成魚の捕獲数は2016年に26尾、2017年に8尾、2018年に1尾と

年々減少し、2019年以降は1尾も捕獲されず、観察もされなかった。繁殖も長期間行われていないことから、金原ダム湖のオオクチバスは根絶されたと推定される。しかし、金原ダム湖は湖周が800m近くあり、最大水深が16 mもあるために、残存個体がいる可能性を完全に排除することはできない。そのために、今後も潜水調査を継続する必要がある。

金原ダム湖のオオクチバスは、2007年に駆除調査を始めたのち、繁殖抑制が十分でなかったことにより、2010年に体長16 cm未満の捕獲数が1363個体となり、ついで2011～2012年に体長16 cm以上の成魚の捕獲数が257～308個体、産卵床数が76～131箇所となるなど、大幅にリバウンドした。しかし、その後、2014年を除いて繁殖抑制を完全に行うことや、水中銃を用いた潜水捕獲を行うことによって、個体数を大幅に減少させ、完全駆除に成功したと推察される。

金原ダム湖では水深が16 mもあるため、成魚をすべて捕り尽くすことはむずかしい。特に透明度は6月までは5 m以上あるものの、その後しだいに低下し、夏季以降には1 m以下になるため、潜水しても魚を発見しにくくなる。また、繁殖期のオスは浅い場所に留まって産卵床をつくるので、その際に捕獲しやすくなるが、雌は深部を含めて広く動き回るので捕獲しにくい。したがって、完全駆除を達成するためには、大型個体を根気よく捕獲するとともに、繁殖を完全に抑制することが必要である。

これまでの調査によって、個体数を大幅に減少させたオオクチバス個体群のリバウンドを防ぐ方法としては、(1) 水中銃、電気漁具など大型魚を捕獲するのに適した方法によって、残存成魚をさらに減らすこと、(2) 繁殖抑制を数年にわたって完全に行うこと、(3) もし稚魚が生じてしまった場合には、できるだけ小さいうちに大幅に減らすことの3点が不可欠であると結論づけた。2021年も、オオクチバスが観察されず、完全駆除あるいはその直前にまで至っていることは、上記の方針が正しいことを示すものである。

環境 DNA 調査

かつて採水・ろ過を行った2018年6月1日と7月3日には、採水後の潜水目視調査で1個体ずつが確認された。一方、2020年6月8日、2021年6月7日の採水では、オオクチバスは1個体も潜水目視で確認されていなかった。しかし、オオクチバス特異的プライマーを使ったDNA定量を行った結果、計4回の採水サンプルからは、いずれもごく微量ながらオオクチバス由来の可能性があるDNAが検出された(表2)。しかし、検出されたDNAコピー数は微量であり、かつ、増幅効率がDNA濃度や塩基配列が既知の標準曲線と異なっていた。定量PCRを用いたDNA定量の場合、ターゲットとする(本研究の場合オオクチバス由来の)DNAがサンプル中に存在しなくても、プライマー部の塩基配列が似通った別の生物由来のDNAを僅かに増幅させてしまう可能性がある。本研究でも環境水中に含まれる非特異DNAが増幅された可能性がある。この結果は、ダム湖に1個体程度の生物密度ではこの手法でのDNA検出は難しいことを示唆すると同時に、2018年以降、金原ダム湖のオオクチバス密度は一般に高感度と考えられている本技術の検出限界を下回る水準、すなわち控え目に言っても「極めて完全駆除に近い水準」であることを裏付ける結果といえる。



写真1 金原ダム全景（写真上がダム湖流入河川；丸印は2018年に行った環境DNAのための採水地点）

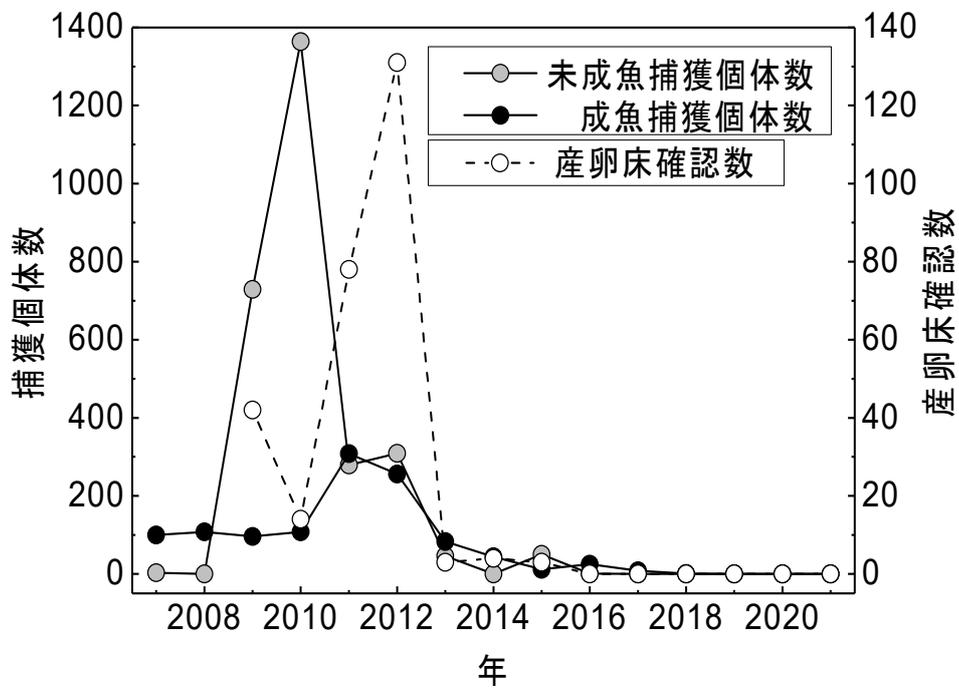


図1 金原ダム湖におけるオオクチバスの推移

表1 金原ダムで行ったオオクチバスの環境 DNA 定量結果.

2018/6/1	検出割合	オオクチバス由来の可能性のある環境 DNA 濃度 (環境水 1L 中の平均推定 DNA コピー数)
金原ダム石碑下	1/12	0.15
金原ダム流出口	3/12	51.87
2018/7/3	検出割合	オオクチバス由来の可能性のある環境 DNA 濃度 (環境水 1L 中の平均推定 DNA コピー数)
金原ダム石碑下	5/12	175.00
金原ダム流出口	2/12	102.87
2020/6/8	検出割合	オオクチバス由来の可能性のある環境 DNA 濃度 (環境水 1L 中の平均推定 DNA コピー数)
金原ダム石碑下	2/12	14.98
金原ダム流出口	1/12	0.03
2021/6/7	検出割合	オオクチバス由来の可能性のある環境 DNA 濃度 (環境水 1L 中の平均推定 DNA コピー数)
金原ダム石碑下	3/12	0.46
金原ダム流出口	3/12	212.54

3. ドローンを用いたコクチバス親魚の捕獲

(1) 方法

2021年5月12日に、那珂川水系において、無人航空機(UAV; 通称ドローン, DJI社 ファントム4プロ)を活用して産卵床および産卵床を守る雄個体の探索を行った。雄個体を発見した際は、雄親の捕獲実績が高い小型三枚網をドローンで運搬し、巣に設置した。なお、人口集中地区や空港周辺では、飛行が禁止されている。ドローンの基本的なルール、および安全な飛ばし方については、Let's ドローンでカワウ対策 基礎編(水産庁2018)を参照されたい。

(2) 結果と考察

産卵床の探索を行ったところ、岸からの目視では見えなかった産卵床をドローンによって発見することができた。これまで、産卵床の探索は、経験を積まないと発見が難しいとされ

てきた。実際、産卵床を掘っても、卵が産みつけられていない場合もあり、その見極めが難しい。卵のある産卵床かどうかの判断基準は、産卵床を守る雄個体の有無であるが、警戒心の強いコクチバスは、人間が近づくと逃げてしまうため、雄個体の有無の確認は困難であった。しかし、本研究では、ドローンを活用して産卵床や雄個体を発見できた。

発見した産卵床にドローンを使って小型三枚網を投入した（写真2, 下記動画参照）。着水により浮力が働き軽くなることで、カラビナが上方に跳ね上がって外れるよう、カラビナに輪ゴムをセットした。投入は成功し、巣の直上に三枚網を設置することができた。しかし、雄個体の警戒心が非常に高く捕獲には至らなかった。その後、三枚網の回収についても成功した。カラビナを上流側から水中に沈めることで、三枚網に確実に引っ掛けることができた。なお、捕獲された場合、雄個体が体重1kg、全長およそ40cm程度までであれば、使用したドローンで三枚網を吊り上げて回収することが可能である。1kg以上の大型個体が捕獲された場合でも、人の立ち込める浅瀬まで引っ張ってくるのが可能である。来年度以降、捕獲実績を重ね、投入装置を改良していく。

ドローンを使った産卵床、親魚の探索と小型三枚網の投入、回収
<https://vimeo.com/548423481>



写真2 那珂川で実施したコクチバス親魚捕獲のための小型三枚網の投入、回収

4. 成果の公表

なし

5. 参考資料

Yamanaka H., Motozawa H., Tsuji S., Miyazawa R.C., Takahara T., Minamoto T. 2016.
On-site filtration of water samples for environmental DNA analysis to avoid
DNA degradation during transportation. *Ecological Research* 31, 963-967.
<https://doi.org/10.1007/s11284-016-1400-9>.

水産庁 (2015) だれでもできる外来魚駆除 ―オオクチバス、コクチバス、ブルーギルの最
新駆除マニュアル―

<http://www.jfa.maff.go.jp/j/enoki/pdf/gairaigyo.pdf>



水産庁 (2018) だれでもできる外来魚駆除 2 ―オオクチバス、コクチバス、チャネルキャッ
トフィッシュの最新駆除マニュアル―

<http://www.jfa.maff.go.jp/j/enoki/attach/pdf/naisuimeninfo-12.pdf>



水産庁 (2021) だれでもできる外来魚駆除 3 ―オオクチバス、コクチバス、ブルーギルの最
新駆除マニュアル―

<https://www.jfa.maff.go.jp/j/enoki/attach/pdf/naisuimeninfo-30.pdf>



水産庁 (2018) Let's ドローンでカワウ対策 基礎編

<https://www.jfa.maff.go.jp/j/enoki/attach/pdf/naisuimeninfo-10.pdf>



坪井潤一 (水産研究・教育機構)