

侵略的外来種防除と生態系保全

近畿大学・日本魚類学会

細谷和海

1. はじめに

近年のヒアリの侵入をめぐる報道に見られるように、外来種問題は今や国民的関心事で早急に解決すべき国家的課題となっている。事実、外来種の侵入は生物多様性にとって最大の脅威と見なされている。なぜならいったん侵入を許すと完全に根絶することが極めて難しく、在来生態系を不可逆的に劣化させるからである。仮に生態系を元に戻すためには、外来種の導入がもたらす利益の何十倍、何百倍、それ以上の経費と労力が必要とされる。特に川や湖のような隔離された水域にひとたび外来魚が侵入すると在来魚は逃れようがなく、被害はことさらに大きくなる。本講演では、ブラックバスを中心とした侵略的外来種が与える負の効果を説明するとともに、防除の具体的方法について紹介したい。

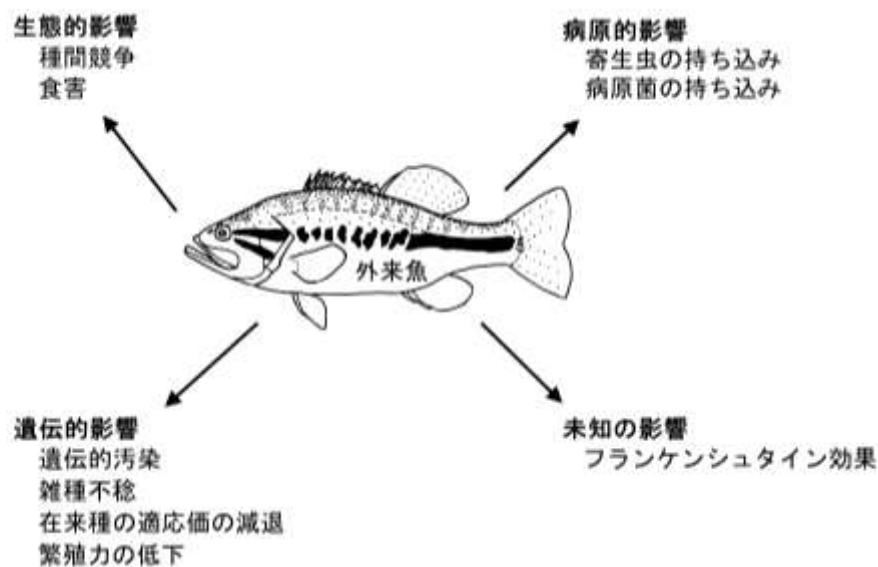


図 1. 外来魚が在来の水生生物に与える 4 つの負の効果 (細谷, 2010).

2. 外来魚が与える影響

水圏生態系では外来種はどのような負の効果をもたらすのであろうか。外来魚が在来水生生物に与える影響は、生態的影響、遺伝的影響、病原的影響、および

未知の影響の4つに大別できる(図1)。

(1) 生態的影響

外来魚がもたらす生態的影響のなかでもっとも典型的なのは食害である。私たちは、外来魚の食害によって数多くの固有淡水魚が壊滅状態に陥った事例をいくつも知っている。代表的な例として、ナイルパーチが小型のシクリッド類(カワスズメ類)に対して引き起こしたアフリカの“ヴィクトリア湖の悲劇”が挙げられる。

(2) 遺伝的影響

在来種は、近縁な外来種が移殖されるとしばしば交雑する。一般に、在来種と外来種がたがいに生殖的に隔離されていれば、遺伝子や染色体の不整合が原因で、雑種の多くは不稔雄となる。これらの不稔雄が繁殖行動に加わると、在来種の繁殖効率は自ずと低下する。反対に、在来種と外来種の隔離が緩やかであると、雑種は雌雄とも生じて何回も親種と戻し交配を繰り返すだろう。もし、外来種が在来種より繁殖力と適応力が優れていれば、在来種や中間の形態を備える雑種は世代ごとに淘汰され、やがては純粋な外来種の形態だけを備えた個体群だけとなる。

(3) 病原的影響

外来魚の移殖を実施するとき、水産研究者であれば誰でも在来生物群集に与える影響を予測するだろう。しかし多くの場合、有用魚の被捕食ばかりに目を奪われてしまう。私たちが見逃しやすいのは、移殖という行為によって、放流個体に潜む病原菌や寄生虫が移殖先で無抵抗の個体に水平感染し、在来生物集団を脅かすことである。

(4) 未知の影響

外来魚を特徴づける最大の脅威は、移殖先で何をしでかすか分からない未知の影響にある。このような予想不能な影響はフランケンシュタイン効果と呼ばれている。

4. 防除

一般に、侵略的外来生物が自然の生態系に入り込むと、ただちにそこを占拠するわけではなく、一定の時間と過程を経てネズミ算式に増えて行く。そのパターンは生物学の一般則である増殖曲線にも似て、侵入防止期、根絶可能期、安定制御期、手遅れ期に分類される(図2)。根絶(eradication)とは個体を残らず取り除き絶滅させること、制御(control)とは個体数を減らして一定の数以下にとどめる

こと、駆除は両者を合わせたもの、さらに防除は外来種の侵入を抑え個体を取り除くといったより広い概念と考えてよい。侵略的外来生物を効率よく駆除するためには、より早い時期に手を打つことがよいのは言うまでもない。反対に手遅れ期に入ってしまうと個体を完全に除去することはきわめて難しい。しかし、そのように決めつける背景には外来種問題についての一般の無関心や消極性、それ

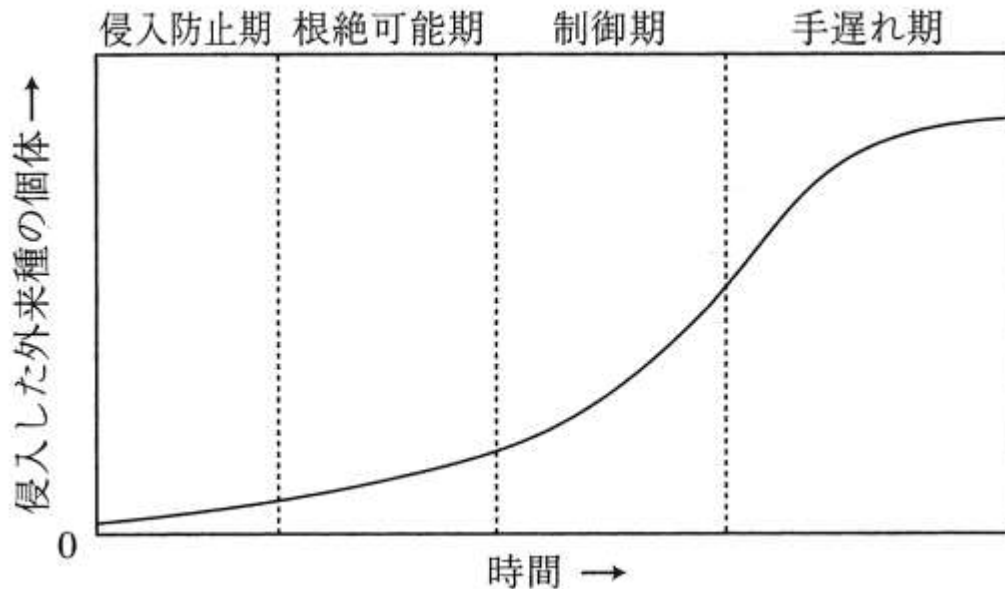


図 2. 外来生物の増殖・分布拡大モデルと防除効果 (細谷, 2006).

に行政の対応の遅れがあり、あきらめるべきではない。実際に、外来生物防除の取り組み例は徐々に増えているが、防除技術の開発は始まったばかりである。

人類が移住する前のニュージーランドには数百万年にわたり哺乳類は分布していなかった。捕食者のいない環境下で鳥類はさまざまに適応放散し、キーウイやカカポ(フクロオオム)など飛べない鳥を含むニュージーランド特有の種に進化していったことが知られている。ところが現在では、9 世紀以降にポリネシアから移り住むようになったマオリ族、それに続くヨーロッパとアジアからの移民により直接持ち込まれたネズミとイタチ、それに隣国オーストラリアから移殖されたオポッサム(有袋類)などの有害哺乳類が定着した代償として、ニュージーランド固有の鳥類の約 50% が絶滅したと言われている。これを受け、ジョン・キー (Sir John Philip Key) は首相時代に 2050 年までに侵略的外来哺乳類の根絶することを強く宣言している。

2010 年に COP10 が開催された日本においては、生物多様性の保全と持続的利

用を図るために、2050 年までの長期目標(Vision)および 2020 年までの短期目標(Mission)を設定している。短期目標はいわゆる愛知目標と呼ばれ、20 の個別目標が示されている。そのうち目標 9 では「侵略的外来種を制御し、根絶する」と「導入や定着を防止する対策を講じる」ことが謳われている。それを受け、各地方自治体ではようやく防除に取り組み始めている。

ここではブラックバス、すなわちオオクチバスとコクチバスの駆除の考えうる方法を以下に紹介する。紹介例には奇抜な方法に加え、在来生物への影響も危惧されるなど現時点では実施すべきではない方法も含まれる。しかし、ブラックバス駆除の技術開発をうながすためにもあえて紹介しておきたい。

(1) 釣り

ブラックバスを対象とする釣りの方法ではルアー釣りが一般的だが、餌釣りの方が効果的といわれる。バスはブルーギルにくらべて警戒心が強く、その傾向は大型であればあるほど強い。琵琶湖では、バスバスターズと呼ばれる駆除ボランティアの人たちが、細い道糸をグレ用の長い竿(5m以上)に装着させて大量に釣り上げている。釣りによる駆除はどのような水域でも応用が可能で、一般市民が参加でき、在来他魚種をリリースできる点で優れるが、駆除効率がやや悪いので、琵琶湖のように広い水域では多くの釣り人を動員する必要がある。延縄(はえなわ)長い糸に多数の釣針をつけ、生餌を用いて一度に多くの魚を釣り上げる方法である。比較的大型の個体が釣れる。浅くて砂泥底の湖沼において夜間にしかけるとナマズやウナギなどの在来肉食魚、お城の堀ではそれに加えてクサガメやスッポンが混獲される危険性がある。むしろダム湖のような深い水域の沖目で利用するとよい。

(2) 網漁具

漁業で普通に使われている方法の転用で、駆除水域の環境に合わせて種々の網漁具を使い分ける。多くは沿岸から近いところの水域で行われるので、河川や湖沼の浅い水域での利用に向いている。そのうち投網はもっとも一般的な網漁具で、透明度が高ければ産卵床付近にいる大型のブラックバスを狙い打ちできる。また、船だまりなどで群れて越冬する中型個体を発見できれば、一網打尽にできる。地引網をブラックバスの産卵場で曳網すると、成熟親魚の採捕のみならず産卵床も破壊できるので効果が上がる。

定置網はオオクチバスがよく集まるところに設置して、定期的に個体を回収す

る。琵琶湖では漁業者がエリ（魰）と呼ばれる定置網の一種で漁獲する。エリは網地のかわりにすだれを立てて魚を袋部分へ迷い込ませる漁具である。かご網はもんどりの一種で、餌で魚をおびき寄せ、戻り構造のため外に出られなくなったところを網ごと引き上げ捕らえるトラップである。京都市深泥ヶ池では、ガザミ用かご網を餌なしでしかけ、ブルーギルを駆除している。ブルーギルは好奇心が強く、視覚を頼りにかご網内にみずから入るようである。水産庁では、産卵場所に近づくバス親魚を三枚網や刺し網で漁獲することを推進している。

宮城県伊豆沼ではすでにバスバスターたちが稚魚採集専用の三角網を実用化し、効果を上げている。ブラックバスは雄親の保護下、体長2～3 cmまで群れをなす。これらの群れをまとめて捕獲すればバス個体群に与える駆除効果はさらに大きくなる。

（３）エレクトリック・ショッカー

魚が電流によりけいれんし陽極に引っ張られる性質を利用して捕獲する。操作が比較的簡単で、ブラックバスは電気ショックを受けると気絶し、白い腹を見せる。これを目安に大型の個体をタモ網ですくい捕り、駆除する。わが国ではオオクチバスの駆除を目的に、大型のショッカーを船首に搭載したエレクトロフィッシング・ボート（電撃漁獲船）がすでに北海道大沼公園・東京都の皇居外苑濠・琵琶湖などに導入され、効果を上げている。本来、外来魚など侵入するはずもない公共水面において、実際にエレクトロフィッシング・ボートで駆除を行えば人目を引くだろう。それは駆除もさることながら、一般に外来種問題を考えさせる絶好の機会を提供する。

（５）産卵床の破壊

オオクチバスの生息場所は多様であるが、繁殖場所は限られ、流れのない水深0.3～1.5 m、水草が生えた砂礫底が選ばれる。栃木県中禅寺湖では漁業共同組合の若手からなるバスバスターズがバス産卵床に産着された受精卵をバキュームカーで砂ごと吸引し、根絶に近い効果を上げている。琵琶湖では、産卵床に砂がかぶせられると保護オスは産卵床を放棄し、卵もすべて死滅することが報告されている。これらの繁殖抑制方法は、水中での作業が強いられ、中禅寺湖、青木湖、琵琶湖北湖のような透明度の高い水域でないと実施できない。

（６）人工産卵床

にがりがりがあり透明度が低いような水域では、ターゲットとなるオオクチバスの産卵床を見つけることが難しい。そのような場所では人工産卵床を設置してオオ

クチバスのメス親魚をおびき寄せ、産卵床ごと産着卵を回収するのがよい。伊豆沼では高橋清孝博士によって考案された人工産卵床が実用化されている。その後、ピンポン玉センサーが付けられさらに効果を上げている。今後、駆除効率をさらに高めるためには、ブラックバスを特定の場所に誘引させるような技術開発が必要である。実際、オオクチバスのオスの胆汁やコクチバスのオスの尿にはメスを誘引する性フェロモンが含まれることが示唆されている。人工産卵床の小石に性フェロモンを吸着させれば、多くの成熟したメスが誘われるだろう。

（７）産卵場所の干出

繁殖期に水位を急激に低下させることにより産卵場所を干出させ、繁殖を抑制する方法である。福島県三春ダムによって堰きとめられたさくら湖では、約水温 18℃の繁殖期に、1日あたり 0.27m ずつ、9日かけて 2.5m 以上水位を低下させると繁殖抑制につながるということが報告されている。水位低下は産卵床の干出のみならず浮上後間もない稚魚にも効果があることが示されている。ダム湖の場合、条件が整えば目的に合わせて自在に水位を調整できるのでこの方法を実行しやすい。ただし、浅瀬には在来他魚種も産卵するので、魚類相が貧弱なダム湖などに限るべきである。

（８）掻い堀り（かいぼり）

お城の堀、ため池、農業用水路など小規模で閉鎖的な水域において、完全に水を抜いて外来魚を駆除する方法である。この方法はもっとも効果的で、特に酸欠になりやすい夏季に実施すると根絶まで追い込める。掻い堀りに際しては、動植物を問わず在来種を保全する見地から、緊急避難や保存措置をとり、干出期間を可能な限り短くすることが望まれる。また、外来魚個体の取りこぼしがなかったかを確認するために、掻い堀りの後にしばらくの間モニタリングをしなければならない。

（９）パイプカット手術

外来魚野生個体群の駆除を目的に不妊化を行うには、メスよりも営巣から保護までを担うオスを対象にしたほうが繁殖へのダメージは大きくなる。パイプカット手術は滋賀県水産試験場が開発した技術で、輸精管切断によってオオクチバス・オス親魚を不妊化させる。生殖孔からかぎ針を差し込み輸精管に引っ掛け、数回回転させて切断する。パイプカットされたオスは正常な繁殖行動を行い、しかも卵が未受精で死滅すると産卵床を放棄し、再びメスを誘引することが確かめ

られている。一方、ブラックバスのメスは1産卵期間中に数回産卵するので、不妊オスが営巣すればメスの複数産卵にも対処できる。オオクチバスのオス親魚は大きいほど産卵適地を独占する傾向にあるので、大型のオス親魚を不妊化すれば、より効率的に繁殖抑制ができるだろう。

(10) 放射線照射による不妊化

放射線のガンマ線で処理した不妊オスを野外に放出すると、害虫を根絶できることはよく知られている。ガンマ線は波長の短い電磁波で、個体を死に致しめない程度の線量であれば突然変異を引き起こす。わが国では南西諸島や小笠原諸島において野生のウリミバエを駆除した話は有名である。理論的にはブラックバスにガンマ線処理を行えば不妊オスの作出は可能で、同様な効果が期待できる。しかし、バス個体群を抑制するに足る不妊オスの量産には設備の面でも、コストの面でも大きな労力を必要とする。

(11) 3倍体作出による不妊化

染色体工学を応用して人為的に3倍体を作出すると、その個体は正常に発育するが不妊となる。人為3倍体は成熟に要するエネルギーを成長に振り替えることができるので、2倍体よりも大きくなる。もし大型のブラックバス人為3倍体オスが得られればパイプカットと同様な効果が期待できよう。ただし、一方の性、すなわちオスに固定する操作も必要である。実際、魚類育種の分野では、養殖種を対象に受精卵を加圧したり低温処理することで容易に3倍体を作出している。これらの技術や情報を活用すれば、ブラックバスの3倍体作出は難しくないはずである。

(12) 天敵の放流

日本の在来淡水魚のうち、ナマズとウナギは小型のブラックバスを、ウグイは産着卵をよく捕食することが確かめられている。実際に、ナマズをブラックバスと同じ水槽に入れると、ナマズは夜になると嗅覚をたよりにブラックバスを積極的に追い回すのが観察できる。これらの在来の肉食魚はかならずしもブラックバスを専食するわけではないので、駆除目的に在来淡水魚を天敵として導入する場合、地づき個体群由来の個体を放流することはもちろんのこと、天敵は何をしかすか分からないとするフランケンシュタイン効果を想定しておく必要がある。

(13) 病魚の放流

生物には限られた種にしかかからない病気がある。その例として、近年、世界的に流行したコイヘルペス病が挙げられる。特定の外来種にしかかからない病原菌

を培養して、感染させた宿主を野外に放出して病気を蔓延させ、外来種を駆除する方法がある。バス類はスズキ目の淡水魚であるので、コイ目を主体とするわが国の在来淡水魚とは異なる感応性や特異性を持つものと予想される。1995年にアメリカ・サウスカロライナ州のダム湖で起こったオオクチバスの大量死はイリドウイルス(Iridovirus)によって引き起こされ、オオクチバス・ウイルス(LMBV)と名づけられた。イリドウイルスは、海の養殖現場において発症するリンホシスチス病(lymphocystis disease)の病原菌としてよく知られている。ブリ、タイ、スズキはこの病気にかかると、体表がいぼ状の白い塊で覆われて衰弱する。興味深いことにブルーギルではすでに確定株が分離されている。

病原菌を用いて外来魚の駆除を行うための条件として、病気を引き起こす本体をつきとめ分離するとともに、在来魚には感染しないことを確かめることが絶対である。オオクチバス・ウイルスについては、その後、分子レベルでの解析が進み、東南アジアで飼われていたドクターフィッシュとグッピーから分離されたラナウイルス(Ranavirus)に酷似していることが報告された。*Rana* とはアカガエル属を指し、内臓諸器官に出血性壊死を引き起こしてカエルやオタマジャクシを死に致らしめる。オオクチバス・ウイルスがはたしてオオクチバスだけを宿主とするのか明らかではない。さらに、ウイルスは進化スピードの速いので、突然変異によって容易に宿主を変える危険性もある。今後ブラックバスだけを死に致らしめるような病原菌の探索を目的とした研究開発は必要であるが、現状では病魚の放流はリスクが大きすぎて、いかなる状況においても実施すべきではない。

(14) 薬殺

北米では池沼など閉鎖水域において魚類の単一種養殖を目的に、在来の野生魚や外来魚などの雑魚を薬殺することがしばしばある。好ましくない魚を駆除する化学薬品は特に殺魚剤(piscicide または fish toxicant)と呼ばれている。このうちバス類に効果があるのはロテノン(rotenone)、アンティマイシン A(antimycin A)である。

ロテノンはもっとも一般的な駆除剤で、植物由来の天然農薬($C_{23}H_{22}O_6$)として知られ、粉末と液状がある。一般に、ミトコンドリア内の水素伝達系の働きを阻害し、魚では鰓の酸素の流れを悪くする作用があると言われる。アンティマイシン A は、別名をエゾマイシン、商品名をフィントロールー 5 (Fintrol-5) という抗生物質で、液状のみの製剤がある。アメリカでは 1963 年に初めて使用され、その後 1991 年まで製造されていたが、現在では許可されていない。ロテノ

ンのように細胞内呼吸を阻害する働きがあるが、魚に忌避行動を誘引させない。反対にロテノンよりも効きがよいので受精卵は死んでしまう。効果は軟水で発揮するので、わが国の水に合うかもしれない。ロテノンもアンティマイシン A もため池など隔離された水域でのブラックバス駆除に有効と思われるが、少なくともわが国においては魚類の駆除を目的とした使用は許されていない。

5. 駆除の課題と技術開発

ブラックバスの駆除方法をいくつか紹介したが、ブラックバスを根絶までもって行ける方法は掻い堀りなどわずかな方法に限られる。また、不妊オスや病魚などの人為的に操作した個体を自然環境へ放流する技術、および薬殺は、成功すれば効果は絶大であるが、現状ではどれもリスクが大きく、実施できるようなレベルには達していない。最近、ゲノム編集による遺伝子操作技術（CRIPR）が格段に向上し、水産育種の分野はもとより外来生物の駆除への応用が期待されている。例えば、ハーバード大学のケビン・エスベルト（Kevin Esvelt）博士のグループは不妊遺伝子が侵略的外来種に導入されれば遺伝子ドライブによって次世代以降優先的に伝搬させることが可能と説明している（Oye et al., 2014）。同様に、我が国においてもブルーギルの致死遺伝子の抽出と固定が試みられているが、残念ながら現状では実用化にははるかに及ばない。

一方、釣り、網漁具、人工産卵床による駆除は、それぞれが手間のかかる作業を必要とするが、在来の生物群集に与える影響は比較的小さい。これらを状況に応じていくつもの方法を組み合わせれば、安全でかなりの効果が期待できる。これらは市民ボランティアによって担われ、伊豆沼方式はまさにその典型である。

近年、琵琶湖ではブルーギルが著しく減少する一方、シロヒレタビラとイチモンジタナゴがよみがえりつつある。同様に、伊豆沼でも絶えたと思われていたゼニタナゴが再確認されている。これらはいずれも地道な手作業による外来魚駆除の成果によるものと思われる。駆除の技術開発はまさに萌芽期にある。野放図に拡大してしまったブラックバスを本格的に駆除するのなら、野外の駆除活動と並行して、水産研究所、水産試験場、大学、企業などの機関において、ブラックバス専用の駆除装置や薬剤を実用化させることも必要かもしれない。外来種防除に熱心なニュージーランドでは侵略的外来種フリー（Predator Free NZ）という政府主導の会社が立ち上げられ、すでに駆除活動を展開している。このように駆除産業は環境経済学の視点から将来性があることが裏づけられている。

参考文献

- Hobbs, R. J. and S. E. Humphries. 1995. An integrated approach to the ecology and management of plant invasions. *Conservation biology*, 9:761-770.
- 細谷和海. 2006. 駆除方法. 細谷和海・高橋清孝(編), pp. 67-76. ブラックバスを退治する. 恒星社厚生閣, 東京.
- 細谷和海. 2010. 外来魚問題と内水面漁業. 田中 克・川合真一郎・谷口順彦・坂田泰造(編), pp. 316-328. 水産の 21 世紀. 京都大学学術出版会, 京都.
- 伊藤嘉昭. 1980. 虫を放して虫を滅ぼす—沖縄・ウリミバエ根絶作戦私記—. 中公新書 570, 183pp., 中央公論, 東京.
- Kohler, C. C. and W. A. Hubert. 1993. Inland fisheries management in North America. *American Fisheries Society*, 594 pp. Bethesda, Md., USA.
- 小山重郎. 1994. 日本におけるウリミバエの根絶. 日本応用動物昆虫学会誌, 38 (4) : 219-229.
- 桑村邦彦・太田滋規. 1992. オオクチバスの輸精管切断による不妊化と繁殖阻止効果. 平成 4 年度滋賀県水産試験場事業報告, p. 57-58.
- Mao, J., J. Wang, G. D. Chinchar and V. G. Chinchar. 1999. Molecular characterization of a ranavirus isolated from largemouth bass *Micropterus salmoides*. *Diseases of aquatic organisms*, 37:107-114.
- Oye, K. A., K. Esvelt, E. Appleton, F. Catteruccia, G. Church, T. Kuiken, B.-Y. Lightfoot, J. McNamara, A. Smidler, J. P. Collins. 2014. *Science*, 345(6197): 626-628.
- Plumb, J. A., J. M. Grizzle, H. E. Young and A. D. Noyes. 1996. An iridovirus isolated from wild largemouth bass. *Jour. Aqua. Animal Health*, 8(4):265-270.
- 高橋清孝. 2005. オオクチバス *Micropterus salmoides* 駆除の技術開発と実践. 水産学会誌, 71(3) : 402-405
- 斉藤 大・宇野正義・伊藤尚敬. 2003. さくら湖(三春ダム)の水位低下がオオクチバスの繁殖に与える影響. 応用生体工学, 6 (1) : 15-24.