

琵琶湖におけるフロリダバスと ノーザンバスの生態的特性の比較

藏本 泰輔

滋賀県

緒言

オオクチバス *Micropterus salmoides* は 1925 年に日本へ持ち込まれた北米原産の肉食性淡水魚で、現在では全国で生息が確認されている。本種は、北米北部原産で小型の名義タイプ亜種 *M. s. salmoides* (通称ノーザンバス) とフロリダ半島原産で大型のフロリダ半島産亜種 *M. s. floridanus* (通称フロリダバス) の 2 亜種からなり、現在日本全国に分布しているものは名義タイプ亜種である。一方、フロリダ半島産亜種は 1988 年に奈良県池原貯水池へ公式放流され、現在ではフロリダ半島産亜種が名義タイプ亜種と交雑し、遺伝子レベルで定着が確認され、増加していることが確認されている。また、2000 年以降、近畿圏を中心とした琵琶湖を含む様々な湖沼からフロリダ半島産亜種遺伝子が発見されるようになり、琵琶湖においては 20–40% と高頻度でフロリダ半島産亜種遺伝子が発見されている。

本研究では、琵琶湖においてフロリダ半島産亜種遺伝子が高頻度で発見されるようになった要因を解明するために、以下の検証を行なった。(1) 年級群別におけるフロリダ半島産亜種の割合や、交雑状況、を把握し、フロリダ半島産亜種の大規模密放流を視野にいれた遺伝学的解析を行なった。(2) 原産国において高年齢時にフロリダ半島産亜種は大型化する傾向が報告されているため、フロリダ半島産亜種の生残率が高くなり、集団内でフロリダ半島産亜種の遺伝子頻度が高くなっている可能性を検証するために、成長解析を行ない、成長パターンを雌雄別亜種間で比較を行なった。

1. 材料と方法

1) 調査地の概要と標本の概要

調査地の概要

調査は滋賀県琵琶湖南湖 (図 1) の雄琴および比叡辻 (図 2) で行なった。琵琶湖は、多くの固有種を有する世界有数の古代湖で、表面積は 674km² で滋賀県の面積の 6 分の 1 を占めており、琵琶湖大橋を境に環境の違う北湖と南湖に分けられている。南湖は、琵琶湖の表面積の 8.5% を占め、透明度は北湖に比べて低く、最大水深は 6m で貯水量は琵琶湖全体の 1% ほどの水域である (琵琶湖自然史研究会, 1994)。また、調査地は琵琶湖内でもフロリダ半島産亜種型の対立遺伝子頻度が比較的高いことが報告されている (Yokogawa et al., 2005)。

採集方法

本研究では、毎月安定的に多くの標本を採集する必要がある。そこで、オオクチバスの漁獲を行っており、協力を得ることができた天津漁協のある雄琴で定置網による採集を行い、また、沿岸部から釣りによる採集が行ないやすい、雄琴および比叡辻の 2 地点において、2007 年から 2008 年にかけて週 1・2 回採集を行なった。採集は、定置網による漁獲および沿岸部からルアーや活餌による釣獲で行ない、計 1330 個体を採集した。また、オオクチバスが生涯で移動する範囲は最大で約 8km であると言われており (Scott and Crossman, 1973)、標本の採集を行なった比叡辻と雄琴は、直線距離で約 2.5km 程度であるため、同一集団として扱った。本種は特定外来生物法が規定する特定外来生物に指定されており、生体の移動および売買、譲渡が禁止されているため、採集した標本は氷蔵し死亡を確認したのち研究室に持ち帰り、その後 -30℃ で冷凍保存した。

2) 方法

標本の処理

標本は解凍後、標準体長 (mm) 体重 (g) を測定し、側線有孔鱗数を計数した。その後、解剖により生殖腺を摘出し、耳石、体側筋を採取した。生殖腺は重量 (g) を測定後 10%ホルマリン溶液で保存し、耳石は乾燥保存し、体側筋は 100%EtOH で保存した。なお生殖腺は、雌雄判別および生殖腺体指数(GSI)の算出、耳石は年齢査定および成長解析、体側筋は DNA 解析に用いた。

年齢査定

耳石は Yodo and Kimura(1996)に従い、双眼実体顕微鏡を用いて、デジタルカメラで写真撮影を行なった。その画像から輪紋数を算出し、Data Picker Version 1.2 を用いてパソコン上で焦点(F)から耳石径(R)の距離を計測し、続いて焦点(F)から輪紋径(r_n)までの長さを計測した。オオクチバスの年輪は、産卵期の約 2 ヶ月後に形成されると言われており (Yodo and Kimura, 1996)、年輪と年齢が同一ではない可能性がある。本研究の調査によると琵琶湖南湖におけるオオクチバス集団の産卵期は 4 月下旬から 5 月とされており、また目視による調査で産卵床の出現が 2007 年・2008 年共に 4 月の中旬であったことから、便宜的に 4 月 1 日を誕生日として年齢査定を行ない、4 月以前の標本は輪紋数=年齢とし、4 月に採集された標本は輪紋数に 1 を足したものを年齢とし、5 月以降の標本については以下で述べる縁辺成長率を指標に個体ごとに年齢査定を行なった。正確に年齢査定を行なうためには、最後に形成された輪紋から耳石の縁辺部までの長さを算出する必要がある。そこで、式 (1-1) により縁辺成長率を求めた。

$$\text{縁辺成長率} = (R - r_n) / (r_n - r_{n-1})$$

$$n; \text{耳石輪紋数} \quad (\text{式 1-1})$$

通常、この値が小さいほど輪紋形成後まもないと考えられる。

2. 集団構造

1) はじめに

本研究では、琵琶湖においてフロリダ半島産亜種の対立遺伝子が高頻度で観察されるようになった要因を解明することを目的としているため、核 DNA の様々な領域において遺伝解析を行ない、詳細な個体中のフロリダ半島産亜種の割合や各年級群別および集団内のフロリダ半島産亜種の対立遺伝子頻度を調査する必要がある。そこで、本研究室で開発された、PCR-RFLP 分析に用いることのできる核 DNA マーカーおよび Bremer et al.,(1998)によって開発された mtDNA マーカーを使用し、遺伝学的集団構造解析および個体の亜種判定を行なった。

2) 材料

定置網による採集は、集団内からランダムに標本が漁獲されることが期待できるが、ルアーを用いた釣りによる標本の採集は、ルアーの大きさや採集者の技術の熟練度などの理由から、大型の標本よりも小型の標本を多く採集してしまい、標本に偏りを生じさせる可能性があるため、漁獲標本を用いて解析を行なった。

3) 方法

琵琶湖におけるオオクチバス集団の交雑状況の把握や年級群ごとのフロリダ半島産亜種

の割合の変遷を観察するために、mtDNA および核 DNA を用いた PCR-RFLP 分析を行なった。方法は mtDNA および核 DNA2 領域において PCR-RFLP 分析を行ない、遺伝学的集団構造解析および個体の亜種判定を行なった。PCR-RFLP 分析は直接 DNA を観察でき、一度に多くのサンプルを安価に解析できるため、遺伝解析の方法として採用した。また、年級群ごとのフロリダ半島産亜種の対立遺伝子の変遷を調査するために生年別対立遺伝子頻度を算出した。この調査には生まれ年を算出する必要がある。年齢ごとに比較を行なった。

4) 結果

mtDNA (D-Loop) における遺伝子頻度

mtDNA における遺伝子頻度は、フロリダ半島産亜種型を示したものは 42% で、名義タイプ亜種型を示したものは 58% であった (図 3)。

核マーカー1 領域における遺伝子型判定

核マーカー1 領域における遺伝子型頻度は、フロリダ半島産亜種ホモ型を示すものは 11%、ヘテロ型を示すものは 47%、名義タイプ亜種ホモ型を示すものは 42% であった (図 6-(A))。フロリダ半島産亜種の対立遺伝子頻度は 35% を占め、名義タイプ亜種の対立遺伝子頻度が 65% を占めていた (図 4)。また、ハーディー・ワインベルグ平衡にもとづき算出した遺伝子型頻度の期待値は、フロリダ半島産亜種ホモ型は 12%、ヘテロ型は 45%、名義タイプ亜種ホモ型は 43% となり、期待値と実測値の間に有意差は見られなかった (期待度数と観測度数の χ^2 検定 $p>0.05$) (図 6-(B))。

核マーカー2 領域における遺伝子型判定

核マーカー2 領域における遺伝子型頻度は、フロリダ半島産亜種ホモ型を示すものは 11%、ヘテロ型を示すものは 46%、名義タイプ亜種ホモ型を示すものは 43% であった (図 7-(A))。フロリダ半島産亜種の対立遺伝子頻度は 34% を占め、名義タイプ亜種の対立遺伝子頻度は 66% 占めていた (図 5)。また、ハーディー・ワインベルグ平衡にもとづき算出した遺伝子型頻度の期待値は、フロリダ半島産亜種ホモ型は 11%、ヘテロ型は 45%、名義タイプ亜種ホモ型は 44% となり、期待値と実測値の間に有意差は見られなかった (期待度数と観測度数の χ^2 検定 $p>0.05$) (図 7-(B))。

生年別遺伝子頻度

mtDNA の D-Loop 領域における遺伝子頻度：各生年別フロリダ半島産亜種型の頻度は、1999 年生まれ-2007 年生まれの順に、0%、30%、38.1%、27%、40.3%、57.2%、42.8%、40.8%、36.4% であった (図 8)。

核マーカー1 における遺伝子頻度：各生年別にフロリダ半島産亜種の対立遺伝子頻度は、1999 年生まれ-2007 年生まれの順に、0%、17.6%、21.1%、27.4%、37.1%、36%、37.4%、35.2%、31.8% であり、多少の変動はあるが徐々にフロリダ半島産亜種の対立遺伝子頻度が増加している傾向を示した (図 9)。

核マーカー2 における遺伝子頻度：各生年別のフロリダ半島産亜種の対立遺伝子頻度は、1999 年生まれ-2007 年生まれの順に、16.7%、26.5%、25%、31.5%、37.1%、33.5%、34.7%、35.2%、36.4% であり、核マーカー1 と同様に多少の変動はあるが徐々にフロリダ半島産亜種の対立遺伝子頻度が増加している傾向を示した (図 10)。

5) 考察

琵琶湖におけるオオクチバス集団の遺伝学的集団構造解析を行なった結果、核マーカー1 および核マーカー2 においてフロリダ半島産亜種の対立遺伝子頻度が 35~37%で、Yokogawa et al.(2005)の報告と同等の値が得られた。また、フロリダ半島産亜種由来のmtDNA の遺伝子頻度は 40%と高頻度で検出され、青木ら (2006) とほぼ同等の値が得られ、核 DNA よりも高い頻度で検出された。また、核マーカー1 および2 において遺伝子型頻度の実測値とハーディー・ワインベルグ平衡より求めた期待値の間に有意差が認められなかったことから、2 亜種の間には生殖的な隔離は無く自由交雑しており、さらに近年、本集団内へ遺伝子頻度の違う集団の大規模な移入および移出がなかったものと考えられた。仮に過去数年以内にフロリダ半島産亜種が大規模に放流されたとすると、核マーカー1 および核マーカー2 において得られた遺伝子型頻度がフロリダ半島産亜種型ホモ過剰を示すと予想されるが、本研究の結果からそのような遺伝子頻度の歪みは観察されなかった。また、フロリダ半島産亜種の大規模密放流があったならば、mtDNA、核マーカー1 および核マーカー2 の生年別対立遺伝子頻度のグラフにおいてフロリダ半島産亜種の対立遺伝子頻度が急激に高くなると予想されるが、本研究ではそのような傾向は観察されなかった。これらの結果は、近年議論されることが多い、琵琶湖においてフロリダ半島産亜種の対立遺伝子が高頻度で観察されるようになった要因として、フロリダ半島産亜種の大規模追加密放流によってもたらされた可能性が低いことを示している。次に、初期に琵琶湖のオオクチバスの資源量に匹敵するフロリダ半島産亜種の大規模密放流が集中的に行なわれた場合、高年齢個体の多くが核マーカー1 および核マーカー2 領域においてフロリダ半島産亜種ホモ型を示す個体が多く採集されることが予想されるが、このような個体が一切発見されなかったことや、広大な琵琶湖全域へのフロリダ半島産亜種の稚魚放流に要するコストがあまりにも高いことから、Yokogawa et al.(2005)の述べた当初におけるフロリダ半島産亜種の大規模密放流があった可能性は低いことが考えられた。

以上のことから、琵琶湖においてフロリダ半島産亜種遺伝子が高頻度で発見されるようになった要因として、フロリダ半島産亜種の大規模密放流などの人為的作用によってもたらされたのではないことが強く示唆された。そこで、フロリダ半島産亜種の対立遺伝子頻度が高頻度で観察されるようになった要因として、2 亜種の生態的な差によりフロリダ半島産亜種の対立遺伝子頻度が集団内で高くなっていつている可能性が考えられた。核マーカー1 および核マーカー2 における生年別対立遺伝子頻度の結果より、フロリダ半島産亜種の対立遺伝子頻度が近年生れた年級群に向かうにつれ、緩やかに高くなる傾向が認められた。2 亜種の混生する集団内で、自由交雑をしながら対立遺伝子頻度が片側の亜種に傾く要因として、大きく生残率の差と繁殖成功度の差に起因することが考えられた。もし、フロリダ半島産亜種の生残率が名義タイプ亜種よりも高い場合、高年齢魚になるにつれてフロリダ半島産亜種の対立遺伝子頻度は高くなるため、フロリダ半島産亜種の対立遺伝子頻度は左肩上がりになる。また、高年齢時にフロリダ半島産亜種の繁殖回数が名義タイプ亜種よりも増えるため、低年齢のフロリダ半島産亜種の対立遺伝子頻度を底上げし、x 軸と平行なグラフになることが予想される。また、2 亜種間の寿命に差がなく、フロリダ半島産亜種の繁殖成功度が名義タイプ亜種よりも高い場合、親世代の割合に対して子世代が高くなるため、生年別対立遺伝子頻度は右肩上がりのグラフになると予想される。本研究

では、生年別対立遺伝子頻度が年を経るごとに緩やかに高くなっており、右肩上がりに増加していることから、後者である可能性が示唆された。

3. フロリダ度の妥当性の評価

1) はじめに

2. 集団構造の結果より琵琶湖におけるオオクチバス集団を個体レベルで見ると、名義タイプ亜種とフロリダ半島産亜種の対立遺伝子をモザイク状に持っていることがわかった。生態学的な研究を行う上で、このような交雑集団において個体ごとのフロリダ半島産亜種の血縁度を評価する必要がある。そこで、フロリダ度というフロリダ半島産亜種の血縁度を示す指数を算出した。この指数が正確にフロリダ半島産亜種の血縁度を評価しているか否かを精査するために、生態的特性と同じく、核 DNA によって支配されている形態形質とすり合わせて評価を行なった。

2) 材料

フロリダ度算出に用いた供試魚は 2. 集団構造の通りである。

3) 方法

2 亜種の分類形質の 1 つである側線有孔鱗数 (LLp) について、Hubbs and Lagler(1970) に従い、肩帯の後縁に接する鱗から下尾骨後端の位置にある有孔鱗までを計数した。交雑個体をより詳しく区分するために、フロリダ半島産亜種の血縁度を表す指数として、フロリダ度を求めた。フロリダ度は、核 DNA 2 領域において、フロリダ半島産亜種型の対立遺伝子数を、合計の対立遺伝子数 4 で除した数値でフロリダ半島産亜種の血縁度を 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1 の 5 段階で区分した。

$$\text{フロリダ度} = F_n / TA \quad (\text{式 3-1})$$

F_n ; フロリダ半島産亜種型対立遺伝子数 TA ; 合計の対立遺伝子数

4) 結果

フロリダ度別の標本割合は、フロリダ度 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1 の順に、それぞれ 17.8%, 36.8%, 32.1%, 11.7%, 1.6% であった。琵琶湖南湖におけるオオクチバス集団の側線有孔鱗数は単峰型を示し (図 11)、最頻値は 67、平均値は 67.2 ($\pm 2.8SD$) であった。フロリダ度別の側線有孔鱗数の最頻値は、フロリダ度 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1 の順に、それぞれ 67, 68, 67, 67, 69 であり (図 12, 13, 14, 15, 16)、個体数の少ないフロリダ度 1 ($n=21$) を除き、単峰型を示した。フロリダ度別の側線有孔鱗数の平均値は、フロリダ度 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1 の順にそれぞれ、66.4($\pm 2.6SD$)、67.3($\pm 2.8SD$)、67.5($\pm 2.6SD$)、67.6($\pm 2.8SD$)、68.8($\pm 3.2SD$) であり、フロリダ度と側線鱗数の平均値の間に正の相関が認められた。(図 17)

5) 考察

琵琶湖南湖におけるオオクチバス集団の側線有孔鱗数の最頻値は 67 であった。フロリダ度別側線有孔鱗数の平均値は、フロリダ度が高くなるにつれて側線有孔鱗数も増加している傾向が認められた。これは、核 DNA マーカーと形態形質がよく一致していることを示しており、フロリダ度は、フロリダ半島産亜種の血縁度を示す指標としてある程度機能すると考えられた。

4. 成長

1) はじめに

2. 集団構造より、琵琶湖においてフロリダ半島産亜種の対立遺伝子が高頻度で発見されるようになった要因として、人為的な影響によるものでなく、2 亜種の産卵期の長さや早さの違い、産卵量の違い、成長パターンの違い、成熟年齢の違いなどの生態的な差により、フロリダ半島産亜種の繁殖成功率および生残率または、その両者が名義タイプ亜種よりも高いため、フロリダ半島産亜種の対立遺伝子頻度が増加している可能性が考えられた。本研究では、これらの可能性のうち検証が可能な、成長パターンの違いに焦点をあて調査を行なった。

フロリダ半島産亜種と名義タイプ亜種の成長に関する研究は原産国において行なわれており、低年齢時の体長はフロリダ半島産亜種のほうが名義タイプ亜種よりも小さく、3-4 歳時に体長が逆転し、それ以降の体長はフロリダ半島産亜種のほうが名義タイプ亜種よりも大きくなると述べられている (Kleinsasser et al.,1990; Inman et al.,1977)。

オオクチバスの初期の成長は生残率に関与し、オオクチバスの大型個体は、営巣時に配偶者獲得に有利で、産卵数も多く、大型の餌を捕食できるといった生態的な利点が考えられている。一般的にフロリダ半島産亜種は、原産国において名義タイプ亜種よりも大型化するといわれているが、2 亜種が混生するオオクチバス集団においてもフロリダ半島産亜種が大型化するという実証的な知見はない。また、オオクチバスの成長は、調査地の餌環境や水温によって左右されると考えられる。本研究ではフロリダ半島産亜種が大型化することで、名義タイプ亜種よりも生態的に有利となり、フロリダ半島産亜種の対立遺伝子の増加現象がもたらされた可能性があるため、これらを精査するためにフロリダ度別に成長パターンの比較を行なった。

2) 材料

雌雄間の成長パターンに違いがある可能性を考慮し、雌雄別に成長解析を行なった。供試魚は 2. 集団構造 の通りである。なお、2. 集団構造の結果から琵琶湖におけるオオクチバス集団は交雑個体が多いため、フロリダ度をもとに解析を行なった。また、フロリダ度 0.5, 0.75 および 1 のグループは、各々に属する個体数が少なかつたため、過半数のフロリダ半島産亜種の対立遺伝子を有する個体としてフロリダ度 0.5 以上のグループとしてまとめて解析した。

3) 方法

成長解析に使用した輪紋径、耳石径のデータは年齢査定の通りである。なお、フロリダ度 0 のグループをグループ 1, フロリダ度 0.25 のグループをグループ 2, フロリダ度 0.5 以上のグループをグループ 3 として扱った。

成長解析

各グループ間の成長パターンの比較は、魚類の成長を表すものとして広く使用されている、以下の von Bertalanffy の成長式を用いた。

$$L_t = L_{\max} (1 - \exp(-K(t - t_0))) \quad (\text{式 4-1})$$

t ; 年齢 L_{\max} ; 極限体長 K ; 成長係数 t_0 ; L_t が 0 になるときの t

L_{\max} , K , は Wolford の定差図 (Wolford, 1946; 五利江, 2001) を用いて算出した。

4) 結果

体長組成

全個体を通して最高齢は、雌において8歳、雄において7歳であった。雄の最大体長はグループ1, 2, 3の順に430.5mm, 426.0mm, 425.5mmであり、雌の最大体長はグループ1, 2, 3の順に470.0mm, 454.5mm, 503.0mmであった。

雄のフロリダ度別成長解析

フロリダ度別の成長解析の結果は、図18の通りである。

雌のフロリダ度別成長解析

フロリダ度別の成長解析の結果は、図19の通りである。

5) 考察

Von Bertalanffyの成長曲線において、雄では高年齢時に多少体長のばらつきが認められたが、グループ間の成長にほとんど差は認められなかった。一方、von Bertalanffyの成長曲線において、雌ではグループ2およびグループ3の成長パターンは同様の傾向を示したが、グループ1よりもグループ2, 3のほうが高年齢時に大型化する傾向が認められた。また、雌のグループ1は雄の成長と同様の成長パターンを示し、特に雌のグループ2, 3の成長が良い傾向を示した。この結果より、名義タイプ亜種よりもフロリダ半島産亜種の雌のほうが大型化し生残率および繁殖成功度または、その両方が高い可能性が考えられた。また、2. 集団構造で述べた生年別対立遺伝子頻度においてフロリダ半島産亜種の対立遺伝子頻度が年を追うごとに増加している現象は、親の世代よりも子の世代のほうがフロリダ半島産亜種の対立遺伝子の割合が緩やかに高くなっており、フロリダ半島産亜種の繁殖成功度が高くなっていることを示している。仮に、名義タイプ亜種とフロリダ半島産亜種が同体長のときに卵量が同じであるとした場合、グループ2, 3は高年齢時に大型化するため産卵数が多くなり、繁殖成功度が名義タイプ亜種を上回ることが考えられ、フロリダ半島産亜種の対立遺伝子が琵琶湖において増加している可能性が考えられた。

5. 総合考察

2. 集団構造で核マーカー1および核マーカー2における生年別対立遺伝子頻度の結果から、フロリダ半島産亜種の対立遺伝子頻度が若い年級群に向かうにつれ徐々に増加している傾向が観察された。これは、2. 集団構造で述べた通り、フロリダ半島産亜種の繁殖成功度が名義タイプ亜種を上回り、その結果としてフロリダ半島産亜種の対立遺伝子頻度が増加している可能性が考えられた。

次に、2亜種の生態的な差について産卵生態の違い、成長の違い、寿命の違い、食性の違いなど様々な可能性が考えられた。そのうち、研究方法が確立されており、フロリダ半島産亜種の対立遺伝子頻度が高くなる要因として可能性の高い、成長と繁殖年齢に注目して検証を行なった。

成長：大型のオオクチバスは生残に有利であると考えられる。また、フロリダ半島産亜種は原産国において高年齢時に名義タイプ亜種よりも大型化すると言われている。そこで、琵琶湖におけるオオクチバス集団において von Bertalanffy の成長曲線を用いて雌雄別およびフロリダ度別に成長曲線を作成し、成長パターンの違いがフロリダ半島産亜種の対立遺伝子頻度増加現象に関与しているか否かの検証を行なった。その結果、高年齢時の雌においてグループ2（フロリダ度0.25）およびグループ3（フロリダ度0.5以上）の成長は雌の

グループ1（フロリダ度0）および、雄におけるすべてのグループの成長に比べて大型化する傾向が示された。

これらの仮説の検証の結果、琵琶湖南湖のオオクチバス集団におけるフロリダ半島産亜種の対立遺伝子が高頻度で発見されるようになった要因として、フロリダ半島産亜種の大規模密放流や釣獲圧の差など的人為的作用によりもたらされた可能性が低いことがわかった。では、どのような生態的要因によってフロリダ半島産亜種の対立遺伝子が高頻度で検出されるようになったのだろうか。2. 集団構造の核マーカー1 および核マーカー2 における生年別対立遺伝子頻度において、フロリダ半島産亜種の対立遺伝子頻度が右肩上がりに増加しており、親の世代よりも子の世代のほうがフロリダ半島産亜種の対立遺伝子の割合が高くなっていることがわかった。これは、フロリダ半島産亜種の繁殖成功度が生残率よりも高くなっていることを示している。また、フロリダ度別の成長解析の結果、フロリダ度の高い雌の成長が雄を含めた他のグループよりも成長がよかったことから、フロリダ半島産亜種は名義タイプ亜種よりも生残率および繁殖成功度または、その両者が高くなっている可能性が考えられた。この結果について2. 集団構造のフロリダ半島産亜種の対立遺伝子の生まれ年別の割合が緩やかに、親世代よりも子世代のほうが高くなっていた結果を考慮すると、フロリダ度の高い雌が大型化することによってフロリダ半島産亜種の繁殖成功率が高くなっている可能性が考えられた。仮に、フロリダ半島産亜種と名義タイプ亜種が同体長で産卵数が同じであれば、大型化するフロリダ度の高い雌の産卵数が名義タイプ亜種よりも多くなることにより、フロリダ半島産亜種の繁殖成功度が向上している可能性が考えられた。また、この現象は2. 集団構造で示した核DNAよりもmtDNAのほうがフロリダ半島産亜種の遺伝子の割合が先行して増加している現象と矛盾しない。以上のことから、琵琶湖においてフロリダ半島産亜種の対立遺伝子が高頻度で観察されるようになった要因として、フロリダ度の高い雌が大型化することで産卵数が増えることで、繁殖成功度が高くなり、フロリダ半島産亜種の対立遺伝子頻度が年々増加している可能性が考えられた。しかし、フロリダ半島産亜種の対立遺伝子が増加する現象はこの要因がすべてではなく、2 亜種の様々な生態的な差異が複合的に作用し、フロリダ半島産亜種の対立遺伝子頻度が増加していることが考えられた。

6. 課題

今後の課題として、大型化するフロリダ度の高い雌の産卵数が増加することによりフロリダ半島産亜種の繁殖成功率が高くなっている可能性を検証するため、2 亜種間の産卵量を調査する必要がある。また、フロリダ半島産亜種の対立遺伝子が増加する要因として、産卵期の初期に生れたオオクチバスのほうがその後の餌環境に恵まれるといった報告や (Miranda and Muncy,1987), 早生まれのオオクチバスの仔魚は遅生まれの仔魚を重要な餌にしているという報告があり (Johnson and Post,1996), 仔魚の生残には繁殖期の時期が大きく関わっている可能性があるため、2 亜種の産卵期の違いについて調査する必要がある。

本研究は学術論文における公表を予定しているため、一部データについては具体的な記載を行なわなかった。

引用文献

- 青木大輔, 中山祐一郎, 林正人, 岩崎魚成. 2006. 琵琶湖におけるオオクチバスフロリダ半島産亜種 (*Micropterus salmoides floridanus*) のミトコンドリア DNA 調節領域の多様性と導入起源. 保全生態学研究, 11: 53–60.
- 琵琶湖自然史研究会 (編). 1994. 琵琶湖の自然史. 八坂書房, 東京. xxv+340pp.
- 五利江重昭. 2001. MS-Excel を用いた成長式のパラメータ推定. 水産増殖, 49: 519–527.
- Kleinsasser L. J., J. H. Williamson, B. G. Whiteside. 1990. Growth and catchability of northern, florida, and F₁ hybrid largemouth bass in Texas ponds. N. Am. J. Fish. Manag., 10: 462–468.
- Hubbs, C. L. and K. F. Lagler. 2004. Fishes of the Great Lakes region, rev. ed. Univ. Michigan Press, Bloomfield Hills, USA. xxxii+276 pp.
- Inman, C. R., R. C. Deway and P. P. Durocher. 1977. Growth comparisons and catchability of three largemouth bass strains. Fisheries, 2: 20–25.
- Johnson, J. M. and D. M. Post. 1996. Morphological constraints on intracohort cannibalism in age-0 largemouth bass. Trans. Am. Fish. Soc., 125: 809–812.
- Miranda, L. E. and R. J. Muncy. 1987. Recruitment of young-of-year largemouth bass in relation to size structure of parental stock. N. Am. J. Fish. Manag., 7: 131–137.
- Scott, W. B. and E.J. Crossmann. 1973. Freshwater fishes of Canada. Fish. Res. Bd. Canada Bull., Ottawa. 966 pp.
- Yodo, T., and S. Kimura. 1996. Age and growth of the largemouth bass *Micropterus salmoides* in Lakes Shorenji and Nishinoko, central Japan. Fish. Sci., 62: 524–528.
- Yokogawa, K., K. Nakai and K. Fujita. 2005. Mass Introduction of Florida Bass *Micropterus floridanus* into Lake Biwa, Japan, Suggested by Recent Dramatic Genomic Change. Aquacult Sci., 53:145–155
- Walford, L. A. 1946. A new graphic method of describing the animals. Boil. Bull., Woods hole, 90: 141–147.

図表

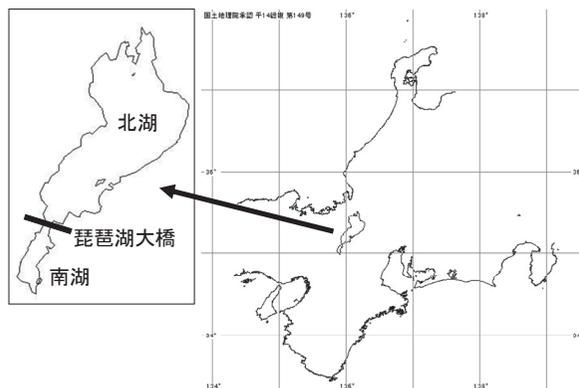


図1 琵琶湖の位置



図2 採集地点

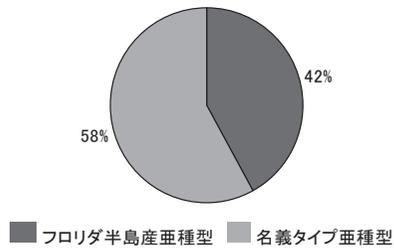


図3. 琵琶湖南湖のオオクチバス集団における mtDNAの対立遺伝子頻度

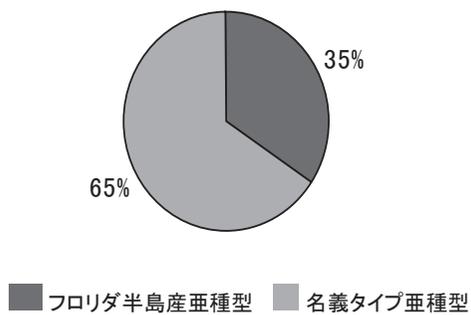
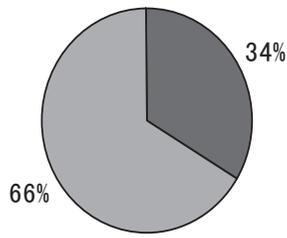
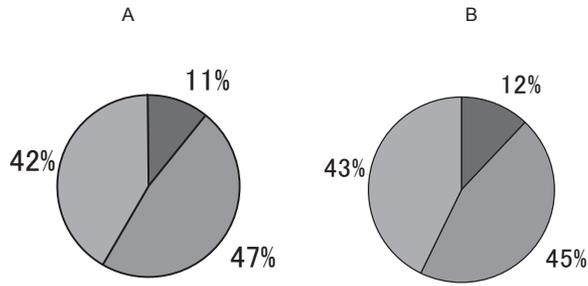


図4 琵琶湖南湖のオオクチバス集団における 核マーカー1の対立遺伝子頻度



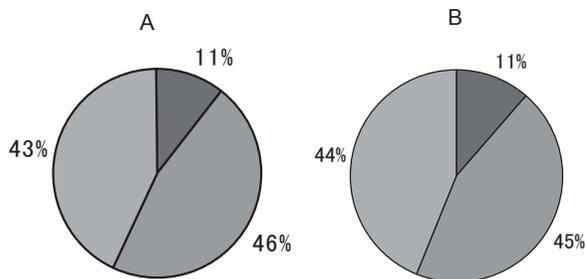
■ フロリダ半島産亜種型 ■ 名義タイプ亜種型

図5 琵琶湖南湖のオオクチバス集団における核マーカー2の対立遺伝子頻度



■ フロリダ半島産亜種ホモ型 ■ ヘテロ型 ■ 名義タイプ亜種ホモ型

図6 琵琶湖南湖のオオクチバス集団における核マーカー1の遺伝子型頻度(A)実測値(B)期待値.



■ フロリダ半島産亜種ホモ型 ■ ヘテロ型 ■ 名義タイプ亜種ホモ型

図7 琵琶湖南湖のオオクチバス集団における核マーカー2の遺伝子型頻度(A)実測値(B)期待値.

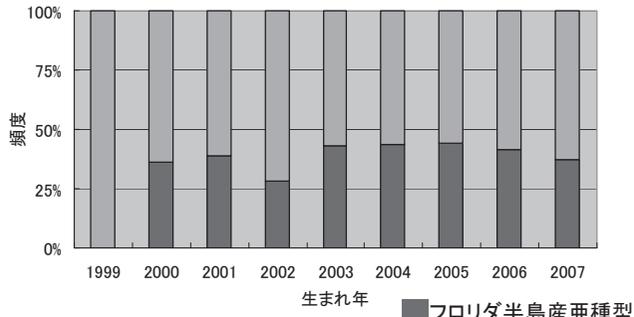


図8 琵琶湖南湖の漁獲標本における生年別mtDNAの遺伝子頻度

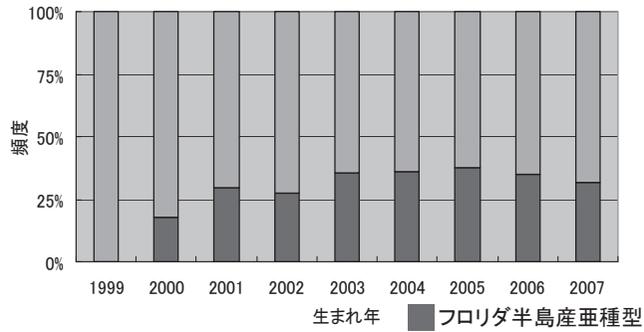


図9 琵琶湖南湖の漁獲標本における生年別核マーカー1の対立遺伝子頻度

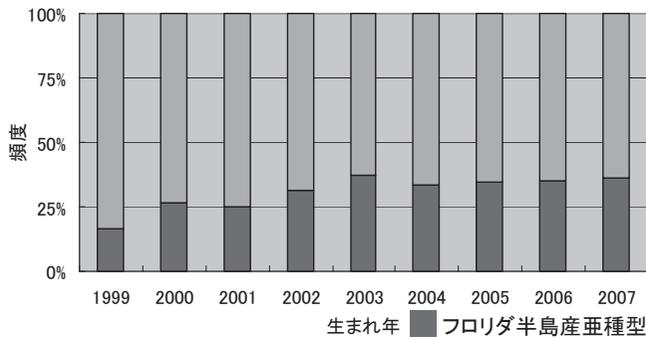


図10 琵琶湖南湖の漁獲標本における生年別核マーカー2の対立遺伝子頻度

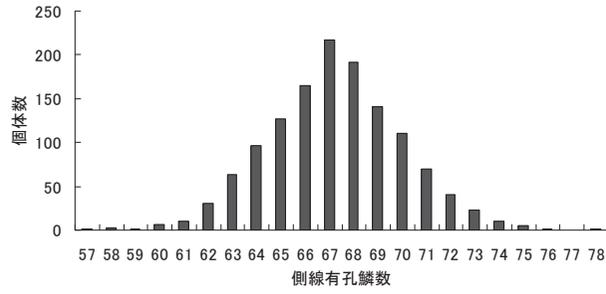


図11 琵琶湖より得たオオクチバスの全標本における側線有孔鱗数の頻度分布

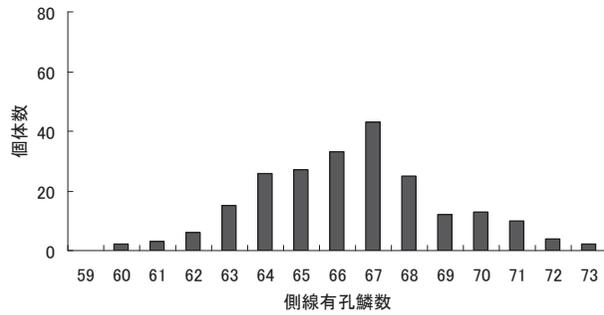


図12 琵琶湖より得たオオクチバスのフロリダ度0における側線有孔鱗数の頻度分布

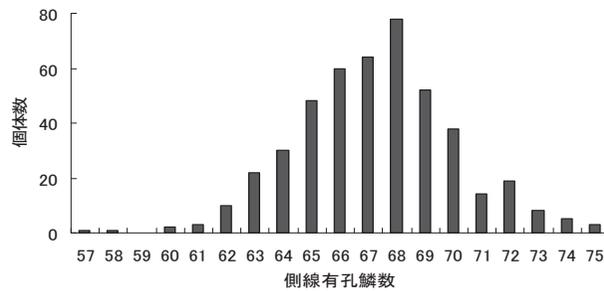


図13 琵琶湖より得たオオクチバスのフロリダ度0.25における側線有孔鱗数の頻度分布

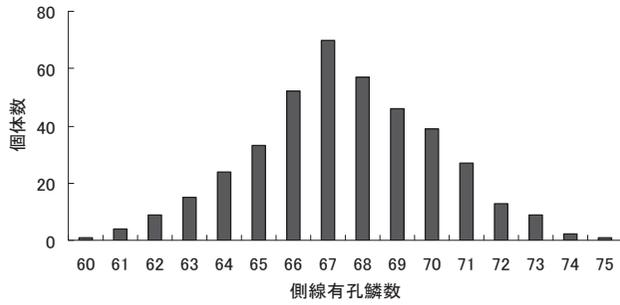


図14 琵琶湖より得たオオクチバスのフロリダ度0.5
における側線有孔鱗数の頻度分布

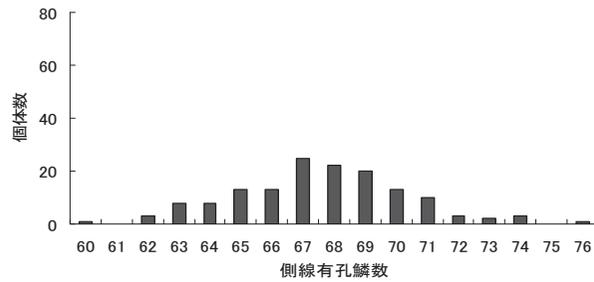


図15 琵琶湖より得たオオクチバスのフロリダ度0.75
における側線有孔鱗数の頻度分布

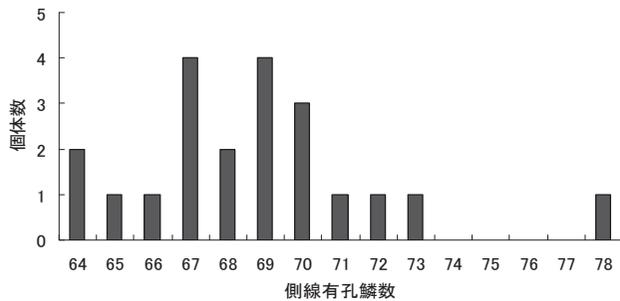


図16 琵琶湖より得たオオクチバスのフロリダ度1
における側線有孔鱗数の頻度分布

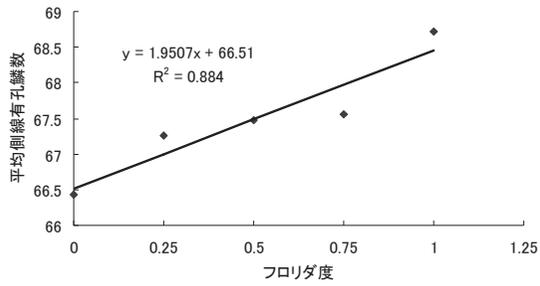


図17 琵琶湖より得たオオクチバスのフロリダ度別平均側線有孔鱗数

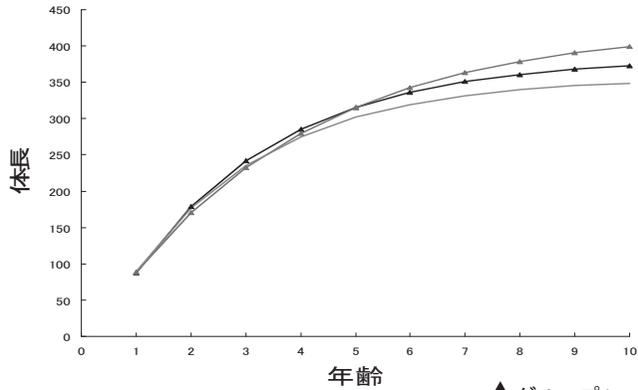


図18 琵琶湖南湖のオオクチバス集団の雄におけるグループ別の成長曲線

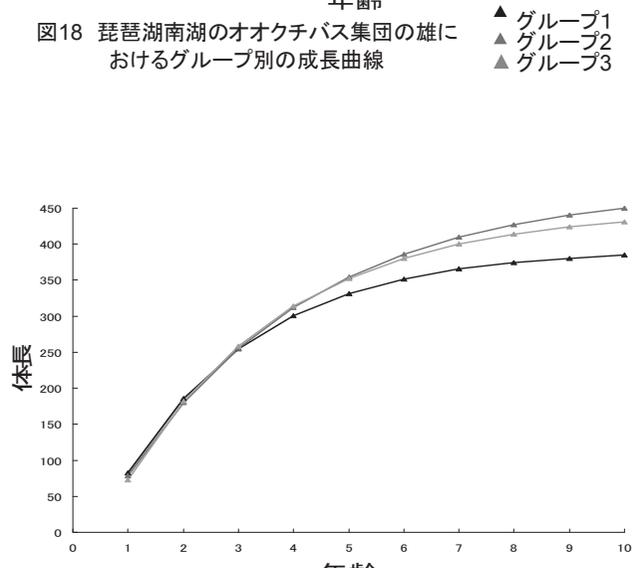


図19 琵琶湖南湖のオオクチバス集団の雌におけるグループ別の成長曲線

