

魚食性鳥獣類の消化管内に残る咽頭骨などの魚類組織断片の解析による被食魚類の種判別と体長及び体重の推定

熊川真二

Identification and standard length, body weight estimation based on fish tissue fragments, such as pharyngeal in the stomach of birds and mammals to eat fish

Shinji Kumakawa

長野県内では近年、大型の魚食性鳥類であるカワウ (*Phalacrocorax carbo*) と中型の魚食性哺乳類であるアメリカミンク (*Mustela vison*) の個体数が増加しており¹⁻³⁾、これらの魚食性鳥獣類が飛来もしくは生息する水域では深刻な魚類の食害被害が起きている。

しかしながら、これらの実態を明らかにする目的で魚食性鳥獣類の胃内容物を調査する際に食害された魚類が原形のまま胃の中に保存されている事例⁵⁾はごく稀で、そうでない事例が実際上は多い⁶⁻⁸⁾。なぜならば、カワウは魚類を捕えて丸飲みするが、消化によって速やかに胃の内容物は溶解していくので、捕獲される直前に捕食した魚類以外はほとんど原形をとどめない。また、アメリカミンクは捕えた魚類を歯で噛み砕き、飲み込むため、胃の内容物は消化以前の段階で既に多数の断片に破砕されているからである。このため、これらの魚食性鳥獣類が捕食した魚類の種類やその大きさを解明する手がかりは、多くの場合、胃や腸管の中に残っている咽頭骨などの骨格組織や皮膚系の鱗、眼の水晶体といった、ごく限られた魚類組織の断片の情報によってのみ提供される。

本研究ではこれらの未消化の魚類組織の中で、胃の中での保存状態が良かった7組織⁶⁻⁸⁾、すなわち、コイ科魚類の咽頭骨、コイ科及びサケ科魚類の鱗、腹椎骨、水晶体、並びにサケ科及びサンフィッシュ科魚類の主上顎骨、前上顎骨、歯骨に着目し、標本より抽出したこれらの組織断片の計測値から被食魚類の体長及び体重を推定する換算式をコイ科魚類のウグイとフナ、サケ科魚類のヤマメ、並びにサンフィッシュ科魚類のコクチバスとオオクチバスの5魚種について作成したので報告する。

材料と方法

魚食性鳥獣類の胃及び糞内容物調査

1) カワウ：2005年4月28日に千曲川上流域の湯川ダム湖（北佐久郡御代田町）で有害鳥獣駆除の目的により捕獲された平均翼長 48.2mm（範囲 31.5～72.3mm）、平均体重 89.8g（範囲 26.6～207.8g）の雛（幼鳥）10羽と、2006年12月17日に埴科郡坂城町の千曲川で銃器により捕獲された翼長 34.8cm、体重 2.23～2.58kg の成鳥 2羽、

2007年3月18日に上水内郡信濃町の野尻湖で同じく銃器により捕獲された翼長 32.4～34.6cm、体重 1.90～2.18kg の成鳥 2羽について胃内容物を調べた。

2) アメリカミンク：2004年12月27日から2005年9月19日までの期間中に千曲川上流域の佐久市、南佐久郡佐久穂町及び小海町で有害鳥獣駆除の目的で箱罠により捕獲された19頭のミンクの胃及び腸管内容物と、2005年5月27日から2006年2月16日の間に同区域内で採集したミンクの糞 82個の糞内容物をそれぞれ調べた。

魚類組織の標本からの抽出、計測及び換算式の作成

1) 供試標本（供試魚）

魚類組織抽出のため供試した標本を以下に示す。

ウグイは、水産試験場佐久支場で種苗養成した体長（標準体長：SL、以下の体長について同じ）33～178mm、体重 0.6～96.9g、肥満度 13.3～19.8（平均 16.3）の供試魚 20尾を使用した（2006年1月）。

フナは、同じく水産試験場佐久支場で種苗養成した体長 86～191mm、体重 25.3～310.3g、肥満度 31.2～44.7（平均 37.0）の供試魚 21尾を使用した（2006年1月）。当供試魚は現場が水田養殖用に配布しているヒブナ由来の選抜品種で、熊川⁹⁾によると背鰭軟条数と鰓耙数の平均値（範囲）は 15（14～17）及び 42（41～45）である。

ヤマメは、2006年2月～3月に水産試験場佐久支場上流のマス類養殖業者（佐久市及び佐久穂町の2業者）から入手した体長 43～213mm、体重 1.5～160.5g、肥満度 13.4～19.0（平均 15.8）の供試魚 9尾を使用した。

コクチバスは、2007年5月～6月に更埴漁業協同組合管内の千曲川（埴科郡坂城町）で捕獲された体長 75～280mm、体重 10.8～755.8g、肥満度 22.5～34.4（平均 28.2）の供試魚 40尾を使用した。

オオクチバスは、2005年10月に美笹湖（佐久市）及び2007年7月に木崎湖（大町市）で捕獲された体長 69～277mm、体重 7.4～524.5g、肥満度 21.9～25.7（平均 23.6）の供試魚 10尾（美笹湖 7尾、木崎湖 3尾）を使用した。

なお、コクチバスとオオクチバスではカワウの捕食サイズを考慮して¹⁰⁾、体長 300mm 以上の個体は扱わなかった。

これらの供試魚は、体長を計測板により 1mm（体長

100mm 以下の小個体はデジタルノギスにより 0.1mm 単位で計測し、体重を 0.1g 単位で秤量した。

2) 供試した魚類組織と換算式作成用の計測部位

咽頭骨 (pharyngeal) 咽頭骨は骨上に並ぶ咽頭歯の配列と歯数に魚種ごとに特徴があり、コイ科魚類では重要な分類形質として種の判別に利用されている¹¹⁻¹²⁾。ここではウグイ及びフナの標本 (頭部の鰓弓奥) から煮熟により咽頭骨を抽出し、5% KOH 液に 1 日間浸漬して骨に付着した余分な肉片を除去した後 (以下の鱗、水晶体を除いた骨格組織で同じ処理)、宮地ら¹³⁾ に従って咽頭骨長と咽頭骨幅 (図 1) を計測した。

鱗 (scale) 鱗は形状や溝条の数、走り方などに魚種による特徴があり、咽頭骨と同様に分類形質として種の判別に利用できる¹⁴⁾。ここではウグイ、フナ及びヤマメの標本 (左体側体表) から体側中央鱗を採取して、加藤¹⁵⁾ に従って鱗長及び鱗幅 (図 2 及び 4) を計測した。鱗数には個体差があり、側線鱗数にも個体による変異幅があるが、採取した体側中央鱗はウグイでは第 33~35 側線鱗の 2~3 列上方に配列する側線上部の縦列鱗 (図 7 の N33~35 及び O33~35)、フナでは第 11~13 側線鱗の斜め直下に配列する側線下部の縦列鱗 (図 6 の H11~13) の部分に概ね相当する。なお、いずれも 1 個体ではあるが、フナでは左体側のほぼ全鱗 (側線鱗 30 枚を含む計 350 枚、図 6)、ウグイでは左体側の一部の鱗 (側線鱗 73 枚と第 30~35 側線鱗上方に配列する横列鱗 90 枚の計 163 枚、その他は未計測、図 7) を計測し、換算式に使用した体側中央鱗と周辺鱗の相対的な大きさを比較した。

腹椎骨 (abdominal vertebra) ウグイ、フナ及びヤマメの標本 (胴体) から体側中央の位置にある椎体を抽出して、椎体中央の窪んだ部分の横径 (図 3) を腹椎骨径として計測した。

水晶体 (lens) ウグイ、フナ及びヤマメの標本 (眼球) から採取して、5%ホルマリン液に浸漬して固化させた後、その直径を計測した。

主上顎骨 (maxillary) 前上顎骨が短いサケ科魚類では大きな歯のある強固な上顎骨として発達している。ここではヤマメの標本 (上顎) から主上顎骨を抽出して、主上顎骨長 (図 4) を計測した。

前上顎骨 (premaxillary) サンフィッシュ科魚類では骨上に単尖頭の歯が複数列並ぶ上顎骨として発達している。ここではコクチバス及オオクチバスの標本 (上顎) から前上顎骨を抽出して、前上顎骨長 (図 5) を計測した。

歯骨 (dentary) サンフィッシュ科魚類では骨上に単尖頭の歯が複数列並ぶ下顎骨として発達している。ここではコクチバス及びオオクチバスの標本 (下顎) から歯骨を抽出して、高橋ら¹⁰⁾ に従って歯骨長及び歯骨高 (図 5) を計測した。ヤマメの歯骨 (図 4) についても同様

に処理した。

これらの魚類組織は、デジタルノギス (Mitutoyo、CD-15PS) を用いて実体顕微鏡下で 0.01mm の単位まで計測した。

3) 換算式の作成

換算式は体長、体重ともにアロメトリー式で作成し、高橋ら¹⁶⁾ に従って 95% 信頼区間により各換算式の推定精度を比較した。なお、咽頭骨、主上顎骨、前上顎骨、歯骨の各組織はいずれも左右 1 対の組織であるため、換算式を求める際には左右の計測値の平均値を用いた。

結果

魚類組織断片の魚食性鳥獣類の胃等での確認状況

咽頭骨 2005 年 4 月に湯川ダム湖で捕獲されたカワウ幼鳥の胃からは、2 種類のコイ科魚類の咽頭骨が確認された。このうち、咽頭歯列が 2・5-4・2 (外側は左片、右片とも各 2 歯で、内側は左片が 5 歯、右片が 4 歯) で各歯の先端が鋭角に尖る形状の咽頭骨が 3 羽 (翼長 42.7~72.3cm、体重 52.0~207.8g) の胃から計 4 対 (咽頭骨長 5.04~9.06mm) 発見されたが、これらは咽頭歯の配列と歯数の特徴からウグイの咽頭骨 (図 1 左) であることがわかった。もう 1 種類の咽頭骨は咽頭歯列が 4-4 (内側のみで、左片、右片とも各 4 歯) で各歯の先端の形状が臼状のもので、1 羽 (翼長 54.5cm、体重 152.2g) の胃から 2 対 (咽頭骨長 7.23~10.80mm) 発見されたが、その特徴からフナの咽頭骨 (図 1 右) と特定された。これらの 2 種類の咽頭骨においては一部の骨で咽頭歯の欠落が認められたが、先端部分の破損や消化の進行にともなう骨格表面の磨滅はなく、標本から抽出した咽頭骨と比較して基本形状はほぼ完全に保たれていた。また、野尻湖で捕獲されたカワウ成鳥 1 羽 (翼長 32.4cm、体重 1.90kg) の胃からも、ほぼ完全な形状のウグイの咽頭骨が 1 対 (咽頭骨長 5.68、5.76mm) 確認された。

もう 1 種類の魚食性鳥獣であるアメリカミンクにおいても、2005 年 5 月に小海町で捕獲された 2 頭 (頭胴長 41.0~42.0cm、体重 1,560~1,820g) の胃、及び 2006 年 1 月に佐久穂町と佐久市内で採集した糞 4 個からはそれぞれウグイの咽頭骨が、2006 年 1 月に佐久市内で採集した糞 2 個からはフナの咽頭骨がそれぞれ数片ずつ確認された。ミンクは餌として捕えた魚を歯で噛み砕くためカワウと違って咽頭骨の破損が多く、咽頭骨長を計測できたのはフナの 1 片だけであったが、ほとんどの咽頭骨ではその代わりとして咽頭骨幅の計測は可能であった。

鱗 2005 年 4 月に湯川ダム湖で捕獲されたカワウ幼鳥の胃からは、咽頭骨と同様に 2 種類のコイ科魚類の鱗が確認された。ウグイの鱗は鱗長/鱗幅比が 1.1~1.2 で、

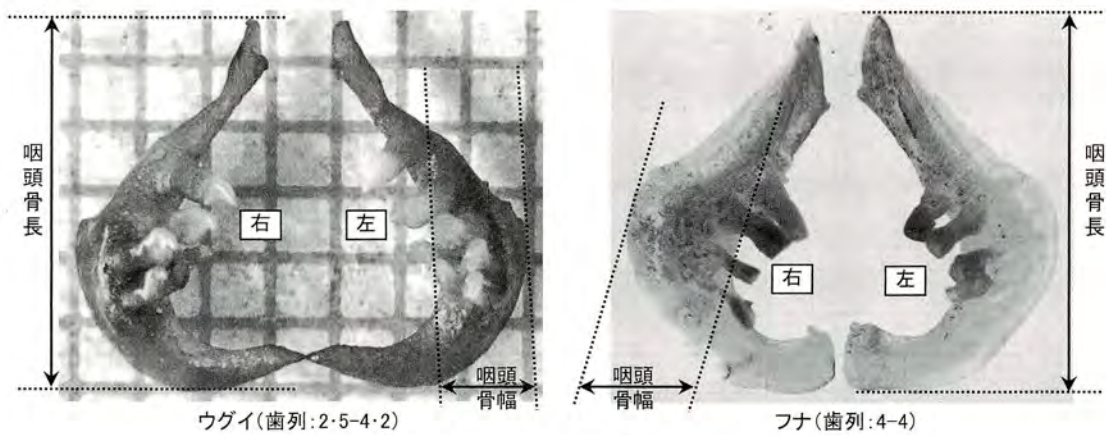


図1 コイ科魚類における咽頭骨の形状と計測部位

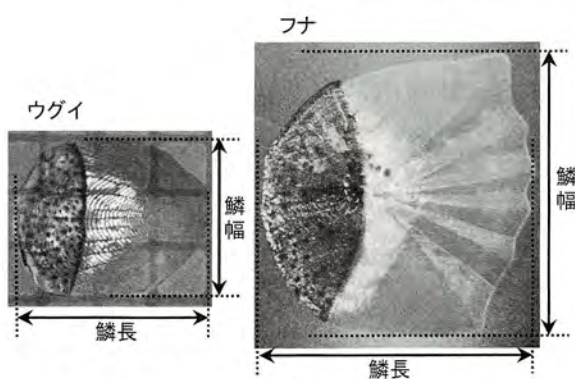


図2 コイ科魚類における鱗の形状と計測部位

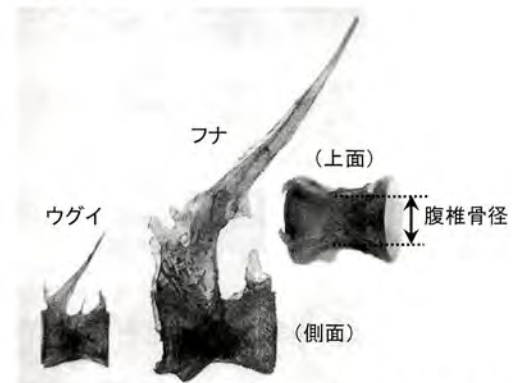


図3 コイ科魚類における腹椎骨の形状と計測部位

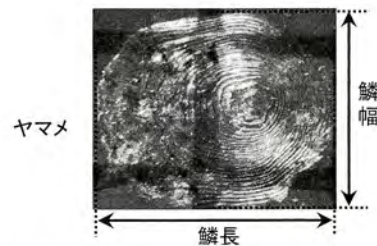
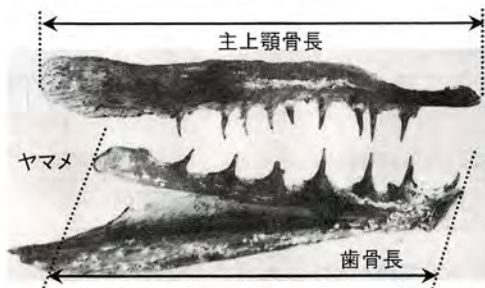


図4 サケ科魚類における主上顎骨、歯骨、鱗の形状と計測部位

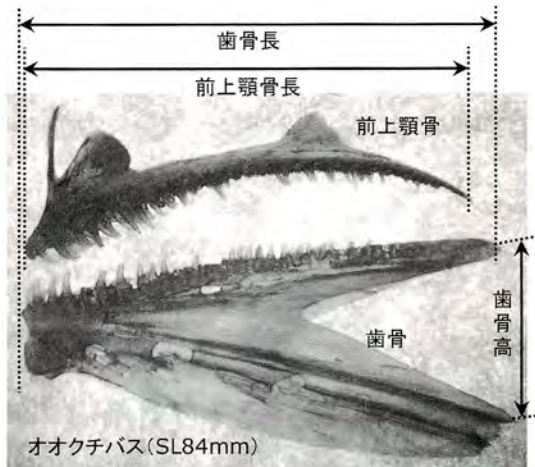
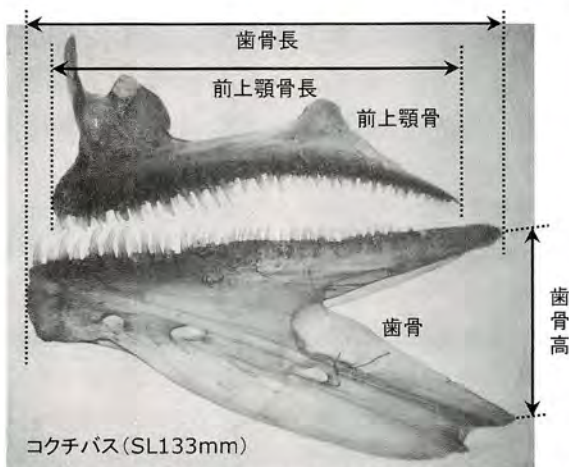


図5 サンフィッシュ科魚類における前上顎骨と歯骨の形状と計測部位

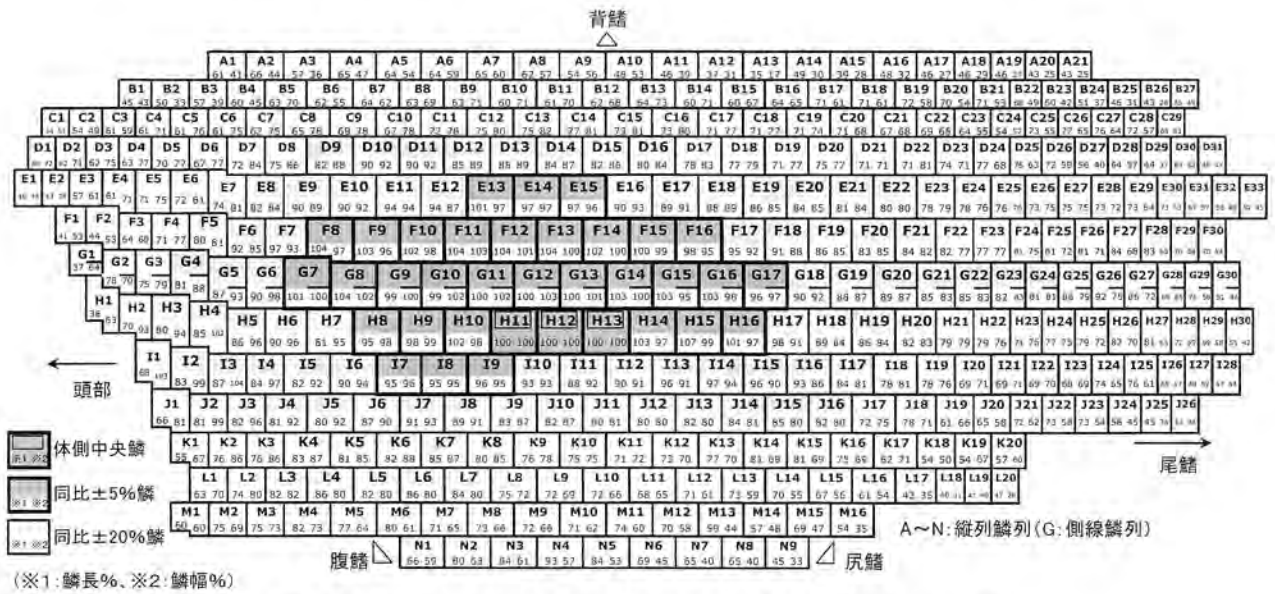


図6 フナにおける体側中央鱗(H11~H13)と周辺鱗の相対的な大きさ比較

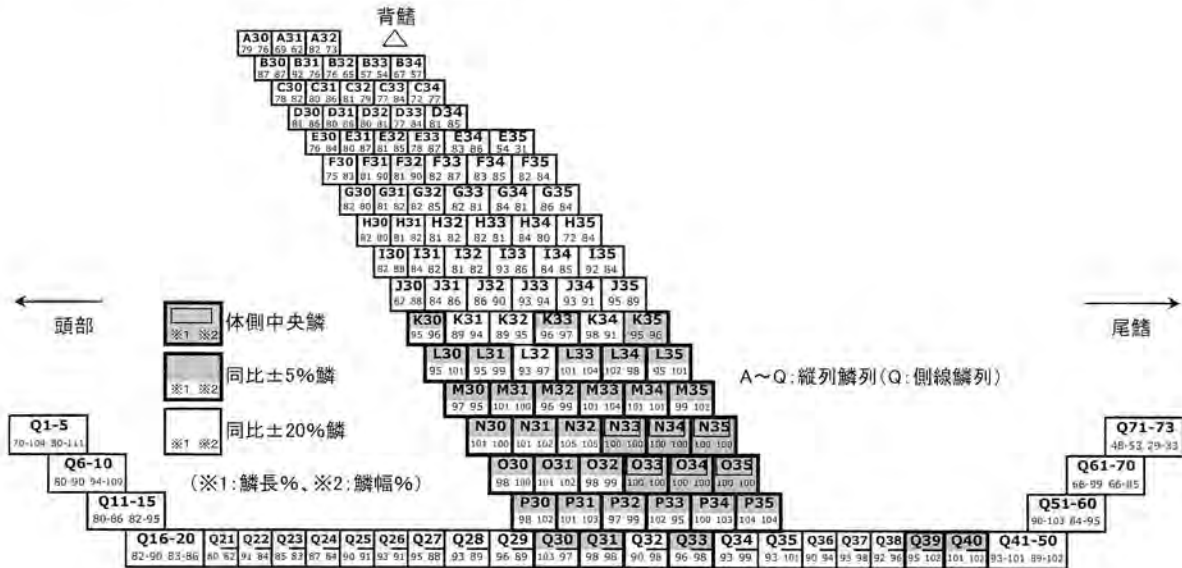


図7 ウグイにおける体側中央鱗(N33~O35)と周辺鱗の相対的な大きさ比較

周縁が滑らかで円～卵円形の薄質な鱗(図2左)として、また、フナの鱗は鱗長/鱗幅比が約1.0で、頂部が角張り厚みのある鱗(図2右)としてそれぞれ識別が可能であった。カワウの雛7羽(翼長31.5~72.3cm、体重26.6~207.8g)の胃からは鱗長1.8~4.2mm、鱗幅1.4~3.2mmのウグイの鱗が、カワウの雛5羽(翼長38.6~72.3cm、体重50.7~207.8g)の胃からは鱗長1.7~7.4mm、鱗幅1.6~7.6mmのフナの鱗がいずれも多数発見された。

また、アメリカミンクにおいても千曲川上流域の佐久市で2004年12月~2005年3月に箱罟で捕獲された成獣3頭(頭胴長36.5~40.0cm、体重912~1,690g)の胃、及び2006年1月~2月に佐久穂町及び佐久市内で採集した糞9個からはそれぞれウグイの鱗(鱗長1.4~2.8mm)

が、2006年1月~2月に佐久市内で採集した糞4個からはフナの鱗(鱗長5.5~7.3mm)がそれぞれ多数出現した。このほか、2006年1月に佐久穂町で採集した糞1個からは、ヤマメのものと識別される鱗(鱗長1.7mm、鱗幅1.3mm)も1枚確認されている。

腹椎骨 カワウ及びアメリカミンクの胃及び糞内容物中で最も出現頻度が高く、最も多数の断片が発見される組織であった。付随する神経突起等の破損はあっても椎体の基本形状は保持されているため、腹椎骨径の計測は容易であったが、これによる種の判別は困難であった。

水晶体 乳白色の硬い球体としてカワウ及びアメリカミンクの胃及び糞内容物中から発見された。水晶体径の計測は行えたが、これによる種の判別は困難であった。

表1 ウグイにおける体長換算式

計測値(X_n ;mm)	体長(Y_n ;mm)	n	r	p	95%信頼区間
咽頭骨長 (X_1)	$Y_1 = 12.0787X_1^{1.031}$	20	0.997	<0.001	95.9~104.3%
咽頭骨幅 (X_2)	$Y_2 = 45.6280X_2^{0.972}$	20	0.984	<0.001	91.3~109.5%
鱗長 (X_3)	$Y_3 = 67.4366X_3^{0.717}$	20	0.985	<0.001	91.0~109.9%
鱗幅 (X_4)	$Y_4 = 70.7285X_4^{0.769}$	20	0.988	<0.001	91.8~108.9%
腹椎骨径 (X_5)	$Y_5 = 74.2217X_5^{0.868}$	20	0.981	<0.001	88.7~112.8%
水晶体径 (X_6)	$Y_6 = 27.4927X_6^{1.590}$	20	0.980	<0.001	88.2~113.4%

表2 フナにおける体長換算式

計測値(X_n ;mm)	体長(Y_n ;mm)	n	r	p	95%信頼区間
咽頭骨長 (X_1)	$Y_1 = 8.2167X_1^{1.027}$	21	0.979	<0.001	95.2~105.0%
咽頭骨幅 (X_2)	$Y_2 = 31.9064X_2^{0.907}$	21	0.959	<0.001	91.2~109.6%
鱗長 (X_3)	$Y_3 = 24.8669X_3^{0.822}$	21	0.965	<0.001	94.0~106.4%
鱗幅 (X_4)	$Y_4 = 20.2142X_4^{0.914}$	21	0.970	<0.001	95.1~105.1%
腹椎骨径 (X_5)	$Y_5 = 76.4026X_5^{0.781}$	21	0.924	<0.001	91.6~109.2%
水晶体径 (X_6)	$Y_6 = 31.1269X_6^{1.232}$	21	0.836	<0.001	88.0~113.7%

主上顎骨 2007年3月に野尻湖で捕獲されたカワウ(翼長32.4cm、体重1.90kg)の胃からは、サケ科魚類(魚類相からヒメマスと推定)の主上顎骨がほぼ完全な状態で1対(主上顎骨長20.26、20.32mm)確認された。

前上顎骨 2007年3月に野尻湖で捕獲された別個体のカワウ(翼長34.6cm、体重2.18kg)の胃からは、バス類の前上顎骨がほぼ完全な状態で1片(前上顎骨長12.73mm)確認された。なお、この骨片をもとにコクチバスかオオクチバスかの種判別を行うことはできなかった。

歯骨 サケ科魚類の主上顎骨が確認されたカワウ(前述)の胃からは、歯骨部分もほぼ完全な状態で1対(歯骨長17.19、17.29mm)発見された。一方、バス類の前上顎骨が確認されたカワウ(前述)の胃からは歯骨部分を発見できなかった。アメリカミンクでは2005年5月に小海町で捕獲された1頭(頭胴長42.0cm、体重1.820g)の胃からヤマメの歯骨が1片(歯骨長17.03mm)確認された。骨の破損はあったが歯骨長の計測は可能であった。

フナ及びウグイにおける体側中央鱗と周辺鱗の比較

フナにおいて体側中央鱗と周辺鱗の相対的な大きさを比較した結果を図6に示した。フナでは体側中央鱗(H11~13)に近似した大きさの鱗(鱗長及び鱗幅がいずれも体側中央鱗と5%以内の差異と定義、以下のウグイでも同様)は、側線鱗列の上方2列に12枚(E13~15、F8~16)、側線鱗列に11枚(G7~17)、そして側線鱗列の下方2列に9枚(H8~10、H14~16、I7~9)それぞれ存在した。体側中央鱗の3枚を含めると、左体側上の鱗350枚のうち、10%の鱗では今回の換算式を適用できる大きさの鱗であ

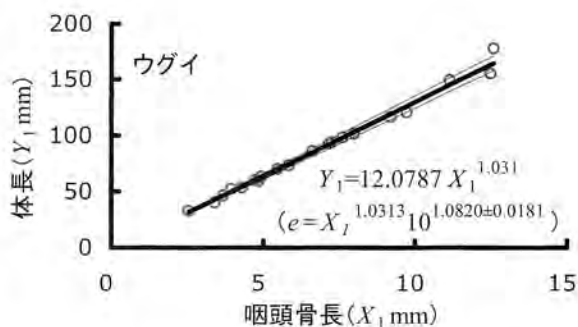


図8 ウグイにおける咽頭骨長(X_1)と体長(Y_1)の関係(破線は95%信頼区間を示す)

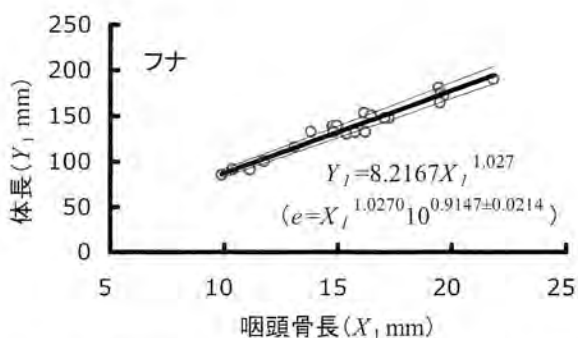


図9 フナにおける咽頭骨長(X_1)と体長(Y_1)の関係(破線は95%信頼区間を示す)

ることがわかった。

ウグイにおいて体側中央鱗と周辺鱗の相対的な大きさを比較した結果を図7に示した。ウグイでは体側中央鱗(N33~35、O33~35)に近似した大きさの鱗は側線鱗列の上方に少なくとも31枚(K30~P35間)、及び側線鱗列に5枚(Q30~40間)存在することは確認できたが、総鱗数が1,000枚を越えるため、詳細については未検討である。

魚類組織から体長及び体重を推定する換算式と推定精度

1) コイ科魚類

ウグイ及びフナにおける咽頭骨、鱗、腹椎骨、水晶体を用いた体長換算式をそれぞれ表1及び表2に示した。

ウグイでは全ての換算式($Y_1 \sim Y_6$)で相関係数が0.980~0.997の統計的に有意な相関があり($p < 0.001$)、フナでも同様に全ての換算式($Y_1 \sim Y_6$)で相関係数0.978~0.978の有意な相関が認められた($p < 0.001$)。

95%信頼区間(体長の予測値に対する百分率)を用いてこれらの換算式の推定精度を比較すると、ウグイ及びフナではいずれも咽頭骨長(X_1) (図8、図9)を用いた場合に最も体長の推定誤差が少なく(95%信頼区間はウグイ: 95.9~104.3%、フナ: 95.2~105.0%)、最も高い精度で体長の推定が可能であることがわかった。

表3 ウグイにおける体重換算式

計測値(X_n :mm)	体重(Y_n :g)	n	r	p	95%信頼区間
咽頭骨長 (X_1)	$Y_1 = 0.0293X_1^{3.082}$	20	0.996	<0.001	87.3~114.5%
咽頭骨幅 (X_2)	$Y_2 = 1.5620X_2^{2.900}$	20	0.981	<0.001	73.2~136.6%
鱗長 (X_3)	$Y_3 = 5.0096X_3^{2.137}$	20	0.982	<0.001	73.2~136.7%
鱗幅 (X_4)	$Y_4 = 5.7762X_4^{2.289}$	20	0.983	<0.001	72.1~138.6%
腹椎骨径 (X_5)	$Y_5 = 6.6600X_5^{2.603}$	20	0.983	<0.001	70.6~141.7%
水晶体径 (X_6)	$Y_6 = 0.3380X_6^{4.774}$	20	0.984	<0.001	71.1~140.6%

表4 フナにおける体重換算式

計測値(X_n :mm)	体重(Y_n :g)	n	r	p	95%信頼区間
咽頭骨長 (X_1)	$Y_1 = 0.0145X_1^{2.206}$	21	0.971	<0.001	85.1~117.5%
咽頭骨幅 (X_2)	$Y_2 = 0.9850X_2^{2.843}$	21	0.956	<0.001	77.1~129.7%
鱗長 (X_3)	$Y_3 = 0.4272X_3^{2.601}$	21	0.971	<0.001	79.8~125.3%
鱗幅 (X_4)	$Y_4 = 0.2337X_4^{2.867}$	21	0.967	<0.001	82.0~121.9%
腹椎骨径 (X_5)	$Y_5 = 15.3433X_5^{2.435}$	21	0.915	<0.001	71.7~139.6%
水晶体径 (X_6)	$Y_6 = 1.0307X_6^{3.759}$	21	0.811	<0.001	64.2~155.7%

その他の組織においては、フナでは鱗長 (X_3) または鱗幅 (X_4) を用いた場合に、いずれも咽頭骨長 (X_1) と比較して遜色のない高い推定精度が確認された (95%信頼区間は鱗長: 94.0~106.4%、鱗幅: 95.1~105.1%)。ウグイでも咽頭骨高 (X_1) に比べると精度的には劣ったが、同様に鱗長 (X_3) または鱗幅 (X_4) を用いた場合に比較的高い推定精度が確認された (同 鱗長: 91.0~109.9%、鱗幅: 91.8~108.9%)。また、咽頭骨幅 (X_2)、腹椎骨径 (X_5)、水晶体径 (X_6) を用いた体長の推定精度は、ウグイ、フナ共に咽頭骨長 (X_1)、鱗長 (X_3)、鱗幅 (X_4) を用いた推定精度に比べて劣っていたが、最も精度の低いフナの水晶体径 (X_6) でも 95%信頼区間は 88.0~113.7%であり、推定の誤差は比較的小さかった。

次に、ウグイ及びフナの咽頭骨、鱗、腹椎骨、水晶体を用いた体重換算式を表3及び表4に示した。体長の換算式と同様に、ウグイでは全ての換算式 ($Y_1 \sim Y_6$) で相関係数が 0.981~0.996 の有意な相関があり ($p < 0.001$)、フナにおいても全ての換算式 ($Y_1 \sim Y_6$) で相関係数が 0.811~0.971 の有意な相関が認められた ($p < 0.001$)。

95%信頼区間による比較では、両種共に体長換算式に比べて全ての換算式 ($Y_1 \sim Y_6$) で推定の精度は低下したが、いずれも咽頭骨長 (X_1) を用いた場合に最も少ない推定誤差 (95%信頼区間はウグイ: 87.3~114.5%、フナ: 85.1~117.5%) で体重推定が可能であることがわかった。

なお、今回供試したウグイ及びフナの標本における体長 (SL : mm) から体重 (BW : g) への換算式は、それぞれ次式で表された。

$$\text{ウグイ: } BW = 1.737 \times 10^{-5} SL^{2.985}$$

($n=20, r=0.998, p < 0.001, 95\%$ 信頼区間: 88.9~112.5%)

$$\text{フナ: } BW = 2.077 \times 10^{-5} SL^{3.116}$$

($n=21, r=0.991, p < 0.001, 95\%$ 信頼区間: 90.1~111.0%)

2) サケ科魚類

ヤマメの主上顎骨、歯骨、鱗、腹椎骨、水晶体を用いた体長換算式を表5に示した。いずれの換算式 ($Y_1 \sim Y_6$) においても統計的に有意な相関があり (Y_6 のみ $p < 0.05$ 、他は $p < 0.001$)、相関係数も 0.938~0.999 と高かった。

95%信頼区間による比較では、腹椎骨径 (X_5) を用いた場合が 97.1~103.0%で最も推定の精度が高く、以下、鱗幅 (X_4) が 96.6~103.5%、主上顎骨長 (X_1) が 96.3~103.8% (図10)、歯骨長 (X_2) が 95.3~104.9% (図11)、鱗長 (X_3) が 93.7~106.8%の順となり、水晶体径 (X_6) を除けば、どの組織を用いた場合も良好な精度で体長の推定が可能であることがわかった。

次に、ヤマメの主上顎骨、歯骨、鱗、腹椎骨、水晶体を用いた体重換算式を表6に示した。いずれの換算式 ($Y_1 \sim Y_6$) においても統計的に有意な相関があり ($p < 0.001$)、相関係数も 0.905~0.996 と高かった。95%信頼区間による比較では、鱗幅 (X_4)、腹椎骨径 (X_5)、主上顎骨長 (X_1) を用いたときに比較的高い精度で体重の推定が可能であることがわかった。

なお、今回供試したヤマメの標本における体長 (SL : mm) から体重 (BW : g) への換算式は次式で表された。

$$\text{ヤマメ: } BW = 2.143 \times 10^{-5} SL^{2.937}$$

($n=9, r=0.996, p < 0.001, 95\%$ 信頼区間: 92.3~108.3%)

表5 ヤマメにおける体長換算式

計測値(X_n :mm)	体長(Y_n :mm)	n	r	p	95%信頼区間
主上顎骨長 (X_1)	$Y_1 = 6.3762X_1^{1.118}$	6	0.999	<0.001	96.3~103.8%
歯骨長 (X_2)	$Y_2 = 9.7287X_2^{1.004}$	6	0.998	<0.001	95.3~104.9%
鱗長 (X_3)	$Y_3 = 132.4480X_3^{0.704}$	6	0.992	<0.001	93.7~106.8%
鱗幅 (X_4)	$Y_4 = 164.1923X_4^{0.570}$	6	0.994	<0.001	96.6~103.5%
腹椎骨径 (X_5)	$Y_5 = 40.9594X_5^{1.743}$	5	0.938	<0.05	97.1~103.0%
水晶体径 (X_6)	$Y_6 = 25.2651X_6^{1.520}$	9	0.985	<0.001	88.8~112.6%

表6 ヤマメにおける体重換算式

計測値(X_n :mm)	体重(Y_n :g)	n	r	p	95%信頼区間
主上顎骨長 (X_1)	$Y_1 = 0.0057X_1^{3.254}$	6	0.996	<0.001	82.2~121.6%
歯骨長 (X_2)	$Y_2 = 0.0197X_2^{2.920}$	6	0.996	<0.001	79.1~126.5%
鱗長 (X_3)	$Y_3 = 34.9040X_3^{2.004}$	6	0.983	<0.001	74.4~134.4%
鱗幅 (X_4)	$Y_4 = 64.3650X_4^{1.624}$	6	0.985	<0.001	85.7~116.7%
腹椎骨径 (X_5)	$Y_5 = 0.5063X_5^{6.142}$	5	0.905	<0.05	83.2~120.2%
水晶体径 (X_6)	$Y_6 = 0.2930X_6^{4.456}$	9	0.974	<0.001	65.7~152.2%

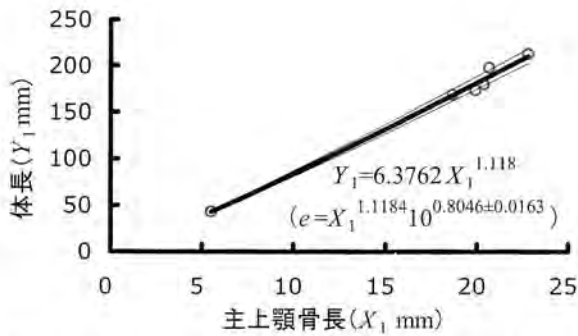


図10 ヤマメにおける主上顎骨長(X_1)と体長(Y_1)の関係
(破線は95%信頼区間を示す)

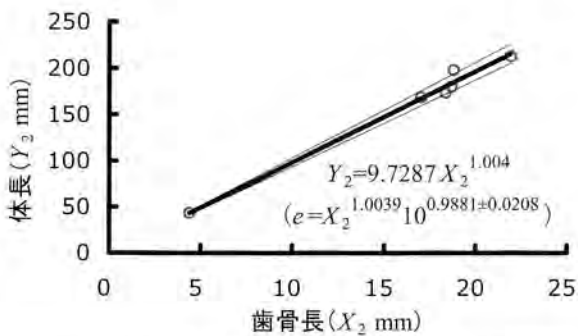


図11 ヤマメにおける歯骨長(X_2)と体長(Y_2)の関係
(破線は95%信頼区間を示す)

3) サンフィッシュ科魚類

コクチバス及びオオクチバスの前上顎骨、歯骨を用いた体長換算式をそれぞれ表7及び表8に示した。

コクチバスでは全ての換算式($Y_1 \sim Y_3$)で相関係数0.975~0.988の有意な相関があり($p < 0.001$)、オオクチバスにおいても全ての換算式($Y_1 \sim Y_3$)で相関係数0.998~0.999の有意な相関が認められた($p < 0.001$)。

95%信頼区間を用いてこれらの換算式の推定精度を比較

表7 コクチバスにおける体長換算式

計測値(X_n :mm)	体長(Y_n :mm)	n	r	p	95%信頼区間
前上顎骨長(X_1)	$Y_1 = 7.2434X_1^{1.096}$	40	0.975	<0.001	91.1~109.7%
歯骨長(X_2)	$Y_2 = 6.2613X_2^{1.098}$	40	0.988	<0.001	93.9~106.5%
歯骨高(X_3)	$Y_3 = 21.2888X_3^{1.012}$	40	0.988	<0.001	94.6~105.7%

表8 オオクチバスにおける体長換算式

計測値(X_n :mm)	体長(Y_n :mm)	n	r	p	95%信頼区間
前上顎骨長(X_1)	$Y_1 = 9.3816X_1^{0.934}$	10	0.998	<0.001	96.9~103.2%
歯骨長(X_2)	$Y_2 = 9.0824X_2^{0.922}$	10	0.999	<0.001	97.0~103.1%
歯骨高(X_3)	$Y_3 = 24.8787X_3^{0.885}$	10	0.999	<0.001	96.9~103.2%

表9 コクチバスにおける体重換算式

計測値(X_n :mm)	体重(Y_n :g)	n	r	p	95%信頼区間
前上顎骨長(X_1)	$Y_1 = 0.0063X_1^{3.467}$	40	0.970	<0.001	72.7~137.6%
歯骨長(X_2)	$Y_2 = 0.0039X_2^{3.476}$	40	0.985	<0.001	80.3~124.5%
歯骨高(X_3)	$Y_3 = 0.1863X_3^{3.215}$	40	0.987	<0.001	83.5~119.7%

表10 オオクチバスにおける体重換算式

計測値(X_n :mm)	体重(Y_n :g)	n	r	p	95%信頼区間
前上顎骨長(X_1)	$Y_1 = 0.0185X_1^{2.819}$	10	0.998	<0.001	89.9~111.3%
歯骨長(X_2)	$Y_2 = 0.0168X_2^{2.782}$	10	0.999	<0.001	92.7~107.9%
歯骨高(X_3)	$Y_3 = 0.3529X_3^{2.682}$	10	0.999	<0.001	92.7~107.8%

すると、コクチバスでは歯骨高(X_3) (図14)を用いた場合が94.6~105.7%で最も体長の推定精度が高かった。次が歯骨長(X_2) (図13)の93.9~106.5%で、歯骨高(X_3)と比較して遜色のない高い推定精度が確認された。前上顎骨長(X_1) (図12)は91.1~109.7%で、歯骨長(X_2)や歯骨高(X_3)に比べるとやや劣ったが、比較的高い体長の推定精度が確認された。一方、オオクチバスでは前上顎骨長(X_1) (図15)、歯骨長(X_2) (図16)、歯骨高(X_3) (図17)のいずれの部位を用いた場合も推定の精度に差はなく(95%信頼区間はいずれも96.9~103.2%以内)、いずれも高い精度で体長の推定が可能であることがわかった。なお、今回の用いた標本で比較すると、コクチバスよりもオオクチバスで体長の推定精度が高かった。

次に、コクチバス及びオオクチバスの前上顎骨、歯骨を用いた体重換算式をそれぞれ表9及び表10に示した。

コクチバスでは全ての換算式($Y_1 \sim Y_3$)で相関係数が0.970~0.987の有意な相関があり($p < 0.001$)、オオクチバスでも同様に全ての換算式($Y_1 \sim Y_3$)で相関係数が0.998~0.999の有意な相関が認められた($p < 0.001$)。

95%信頼区間による比較では、両種共に体長換算式に比べて全ての換算式($Y_1 \sim Y_3$)で推定の精度は低下したが、歯骨高(X_3)または歯骨長(X_2)を用いることで比較的高い精度で体重推定が可能であることがわかった。

なお、今回供試したコクチバス及びオオクチバスの標本における体長(SL :mm)から体重(BW :g)への換算式は、それぞれ次式で表された。

$$\text{コクチバス: } BW = 1.169 \times 10^{-5} SL^{3.169}$$

(n=40, r=0.997, p<0.001, 95%信頼区間: 92.4~108.2%)

$$\text{オオクチバス: } BW = 2.169 \times 10^{-5} SL^{3.017}$$

(n=10, r=0.999, p<0.001, 95%信頼区間: 92.7~107.8%)

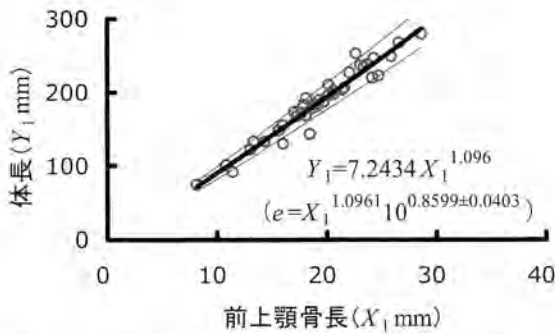


図12 コクチバスにおける前上顎骨長(X_1)と体長(Y_1)の関係(破線は95%信頼区間を示す)

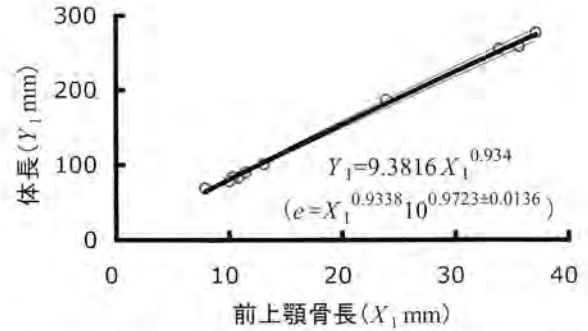


図15 オオクチバスにおける前上顎骨長(X_1)と体長(Y_1)の関係(破線は95%信頼区間を示す)

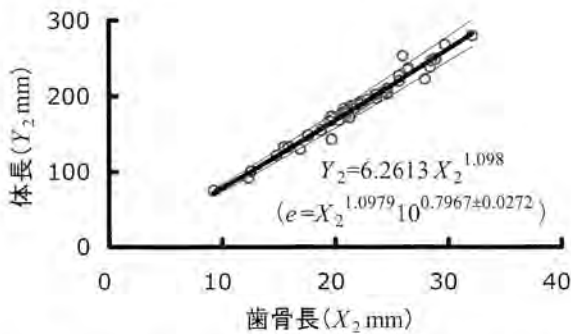


図13 コクチバスにおける歯骨長(X_2)と体長(Y_2)の関係(破線は95%信頼区間を示す)

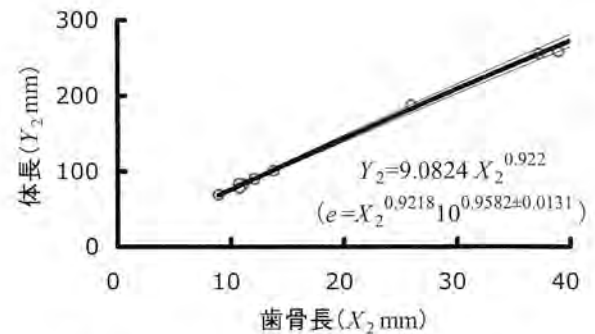


図16 オオクチバスにおける歯骨長(X_2)と体長(Y_2)の関係(破線は95%信頼区間を示す)

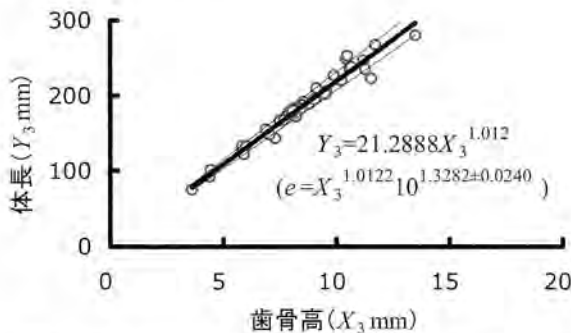


図14 コクチバスにおける歯骨高(X_3)と体長(Y_3)の関係(破線は95%信頼区間を示す)

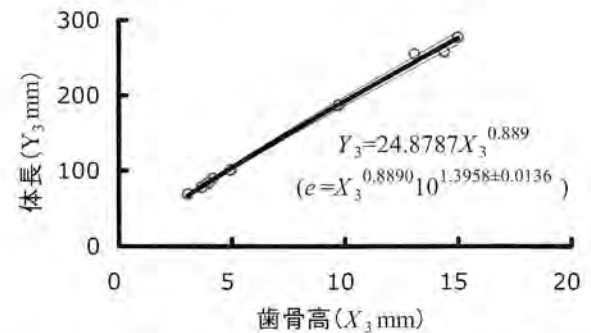


図17 オオクチバスにおける歯骨高(X_3)と体長(Y_3)の関係(破線は95%信頼区間を示す)

バス類2種の前上顎骨長の体長比と左右差の比較

コクチバスとオオクチバスの前上顎骨長の体長比(前上顎骨長比)と左右差を比較して表11に示した。

コクチバスの前上顎骨長比は 8.97~12.93% (平均 10.44%) で、このときの変動係数は 7.18% であった。一方、オオクチバスでは前上顎骨長比が 11.39~13.81% (同 12.84%) で、このときの変動係数は 5.14% であり、同じ体長で比較した場合にコクチバスでは前上顎骨の長さがオオクチバスより有意に小さいが (t 検定、 $p < 0.001$)、前上顎骨長の個体ごとのばらつきはオオクチバスよりも大きかった。

表11 コクチバスとオオクチバスにおける前上顎骨長の体長比と左右差

	体長比(%) ^{*1}		左右差(%) ^{*2}
	平均±S.D(範囲)	変動係数	平均±S.D(範囲)
コクチバス (n=40)	10.44 ^{*3} ±0.75 (8.97-12.93)	7.18	2.09±2.66 (0.06-14.59)
オオクチバス (n=10)	12.84 ^{*3} ±0.66 (11.39-13.81)	5.14	1.13±1.34 (0.03-4.59)

*1: (前上顎骨長の左右平均値mm/体長mm)×100

*2: (左右差mm/前上顎骨長の左右平均値mm)×100

*3: コクチバスとオオクチバス間で有意差あり ($p < 0.001$)

これとの関連は不明であるが、コクチバスでは左顎と右顎の前上顎骨長に肉眼で識別できるほどの顕著な差が

認められる個体が多く、最大差が確認された体長 210mm の個体では左顎が 21.69mm、右顎が 18.74mm で、このときの左右差は 14.59% (2.95mm/20.21mm×100) に達した。一方、オオクチバスでは左顎と右顎の前上顎骨長に差のある個体は少なく、最大左右差も 4.59% (体長 101mm、左顎 13.38mm、右顎 12.78mm) と小さかった。平均左右差はコクチバスが 2.09%、オオクチバスが 1.13% であり、コクチバスの前上顎骨長には平均でオオクチバスの約 2 倍に相当する左右差があった。なお、コクチバスの各標本について左顎と右顎の長さを比較した結果 (n=40)、13 対 27 で左顎よりも右顎の方が長い個体が多く、これについては統計的な有意差があった (χ^2 独立性検定、 $p < 0.05$)。

考 察

カワウなどの魚食性鳥獣類が食害する魚類の種類やその大きさを解明するためには、同定が困難な場合に胃や腸管または糞の中に未消化の状態で留まっている魚類組織断片の一部から被食魚類の種類を判別し、体長や体重を推定する必要があるが、これまでに種判別と体長推定を目的に換算式が作成されたのはアユとワカサギの尾鰭骨格¹⁶⁾、オオクチバスとブルーギルの歯骨¹⁰⁾を用いたものだけで、このほかにアユ、ウグイ、オイカワなど 10 魚種の全長、体長、尾鰭長から換算式により体重推定を行った例¹⁷⁾があるのみである。今回、コイ科魚類の咽頭骨、コイ科及びサケ科魚類の鱗、腹椎骨、水晶体、並びにサケ科及びサンフィッシュ科魚類の主上顎骨、前上顎骨、歯骨に着目してこれらの魚類組織断片から体長及び体重の推定を試みたのは、魚種不明または大きさ不明として処理される事例を少しでも減らし、魚類の食害被害の実態をより解明しやすくするためである。

今回調べたウグイとフナにおいては、咽頭骨上の咽頭歯列の特徴が極めて明瞭であった。したがって、ウグイ及びフナでは咽頭骨による種判別が最も確実に有効な方法と考えられる。さらに、咽頭骨長を用いた体長推定はその他の組織断片を用いた場合に比べて最も精度的に優れていたことから、魚食性鳥獣類の胃 (腸管) または糞の中にウグイまたはフナと識別できる咽頭骨が出現した場合には咽頭骨長を計測して換算式に当てはめることにより、高い精度で体長の推定が可能である。なお、咽頭骨はカワウなどの鳥類では破損は少ないが、アメリカミンクのように餌を歯で噛み砕く獣類では破損により咽頭骨長を計測できない場合もあるので、この際は咽頭骨幅を計測することで同様の推定が可能である。今回は比較

できなかったが、アブラハヤの咽頭骨上にはウグイとほぼ同じ咽頭歯列 (2(1)・5(4)-4(5)・2¹¹⁾) がそなわっていることから、両種の分布が重なっている水域では両種の咽頭骨を混同しないよう注意する必要がある。

また、今回調べたウグイ及びフナでは鱗相の特徴も明瞭であり、両種においては鱗による種判別も有効と考えられた。また、体側中央鱗の鱗長、鱗幅を用いた体長の推定精度はフナ、ヤマメ、ウグイの順に高く、精度の面でも比較的良好であった。しかし、フナとウグイで確かめたように鱗には部位による差があり、出現する個々の鱗の中から今回使用した体側中央鱗を探し出すことは実際上困難である。したがって、鱗を利用するには計測する鱗の選択如何により推定に誤差が生じることを考慮する必要があり、胃や糞の中に咽頭骨や主上顎骨、歯骨が出現した際は、そちらからの推定を優先すべきである。

腹椎骨は魚種による特徴や形状差が少ないため、詳細な観察を行わない限り種の判別には利用できない。水晶体についても全く同様であるが、咽頭骨や鱗からの確かな情報が得られないときに、最後の手段として体長及び体重の推定用に限り利用できる余地があると思われる。

魚類の上顎骨を構成する主上顎骨と前上顎骨、そして下顎骨を構成する歯骨のうち、歯骨の部分を利用した種判別と換算式作成による体長推定が高橋ら¹⁰⁾により試みられている。それによると、歯骨はオオクチバスやブルーギルの種判別に有効で、両種共に歯骨長を計測することにより高精度で体長の推定が可能である。しかし、野尻湖のようにオオクチバスとコクチバスの両種が生息する¹⁸⁾湖沼等ではカワウが両種を捕食している可能性がある。また、前上顎骨は胃の中に留まっても歯骨は排出されて発見できない場合もある。そこで、本研究では高橋ら¹⁰⁾が触れなかったオオクチバスの前上顎骨の部分とコクチバスの情報を補うため、両種の前上顎骨と歯骨部分を用いた両換算式を作成し、体長及び体重の推定を試みた。このため、オオクチバスについては歯骨を用いた体長推定の部分で高橋ら¹⁰⁾との重複がある。

今回、美笹湖及び木崎湖産のオオクチバス (n=10) を標本として求めたオオクチバスの歯骨長 (X_2) 及び歯骨高 (X_3) からの体長換算式 (括弧内は 95%信頼区間) は以下のアロメトリー式 (1)、(2) で示された。

$$\text{歯骨長} : Y_2 = 9.0824 X_2^{0.922} (97.0-103.1\%) \cdots (1)$$

$$\text{歯骨高} : Y_3 = 24.8787 X_3^{0.889} (96.9-103.2\%) \cdots (2)$$

一方、琵琶湖産のオオクチバス (n=103) を標本として高橋らが求めたアロメトリー式¹⁰⁾は以下の (3)、(4) 式であり、

$$\text{歯骨長} : Y_2 = 8.21 X_2^{0.960} (93.4-107.1\%) \cdots (3)$$

歯骨高： $Y_3 = 23.9 X_3^{0.914}$ (88.7-112.7%)……(4)

産地や標本を異にする両者のアロメトリー式には係数において若干の相違があった。しかし、両アロメトリー式に歯骨長 (X_2) 27.8mm、歯骨高 (X_3) 10.2mm を当てはめて換算体長 (Y_2, Y_3) を比較すると、高橋らの(3)、(4)式からはいずれも200mm、(1)及び(2)式からもそれぞれ195mm、196mmという近似した体長が導かれることから、どちらのアロメトリー式を利用して推定結果はほぼ同じになることが確かめられた。なお、高橋ら¹⁰⁾が歯骨高よりも歯骨長で高精度の体長推定が可能であるとした点については今回、歯骨高も歯骨長と比較して遜色のない高い推定精度があることを確認した。

コクチバスでは前上顎骨長を用いた体長の推定精度がオオクチバスに比べて劣っていた。標本として使用したコクチバスの個体ごとのばらつきの多さが一因と考えられたが、歯骨長、歯骨高を用いればオオクチバスと同様に高い精度で体長の推定が可能である。なお、コクチバスとオオクチバスの前上顎骨及び歯骨の形状は互いに酷似していたため、これらの形状をもとに両種の判別を行うためには詳細な検討が必要になると考えられた。

要 約

1. 魚食性鳥獣類の消化管内に残る未消化の魚類組織断片の計測値から被食魚類の体長、体重を推定する換算式を、コイ科魚類のウグイとフナ、サケ科魚類のヤマメ、並びにサンフィッシュ科魚類のコクチバスとオオクチバスの5魚種について作成した。
2. 未消化の魚類組織としては、胃の中での保存状態の良かった咽頭骨、主上顎骨、前上顎骨、歯骨、腹椎骨、鱗及び水晶体の7組織を用いた。
3. コイ科魚類のウグイとフナでは咽頭骨からの種判別が有効で、咽頭骨長 (X_1) を計測して以下の換算式 (Y_1) に当てはめることで、精度の高い体長推定が可能である。ウグイ： $Y_1 = 12.0787 X_1^{1.031}$ 、フナ： $Y_1 = 8.0480 X_1^{1.034}$
4. サケ科魚類のヤマメでは主上顎骨長 (X_1) または歯骨長 (X_2) を計測して以下の換算式 (Y_1, Y_2) に当てはめることで、精度の高い体長推定が可能である。ヤマメ： $Y_1 = 6.3762 X_1^{1.118}$ 、 $Y_2 = 9.7287 X_2^{1.004}$
5. サンフィッシュ科のオオクチバスでは歯骨長 (X_2)、歯骨高 (X_3)、または前上顎骨長 (X_1) を計測して以下の換算式 (Y_1, Y_2, Y_3) に当てはめることで、精度の高い体長推定が可能である。コクチバスではオオクチバスに比べて精度は劣ったが、同じ方法で推定が可能である。

コクチバス： $Y_1 = 7.2434 X_1^{1.096}$ 、 $Y_2 = 6.2613 X_2^{1.098}$ 、 $Y_3 = 21.2888 X_3^{1.012}$

オオクチバス： $Y_1 = 9.3816 X_1^{0.934}$ 、 $Y_2 = 9.0824 X_2^{0.922}$ 、 $Y_3 = 24.8787 X_3^{0.889}$

6. 体重の推定精度はすべての魚種で体長の推定精度と比較して低かったが、ウグイ及びフナでは咽頭骨長 (X_1)、ヤマメでは主上顎骨長 (X_1)、コクチバス及びオオクチバスでは歯骨高 (X_3) などを用いることで比較的精度の高い推定が可能である。

文 献

- 1) 熊川真二 (2004) : 佐久地区の千曲川水系におけるカワウの飛来状況. 平成14年度長野県水産試験場事業報告, 45.
- 2) 岸本良輔 (2005) : 千曲川流域における外来種アメリカミンク *Mustela vison* の野生化. 長野県環境保全研究所研究報告, 1: 65-68.
- 3) 熊川真二 (2007) : 千曲川上流域におけるアメリカミンクの捕獲状況と体サイズ. 平成17年度長野県水産試験場事業報告, 45.
- 4) 環境省長野自然環境事務所・特定非営利活動法人ピッキオ (2007) : 平成18年度アメリカミンク・アライグマ生息状況調査事業請負業務報告書 (環境省請負業務), 1-15. 付図・付表.
- 5) 熊川真二 (2008) : 埴科郡坂城町の千曲川で捕獲したカワウの食性. 平成18年度長野県水産試験場事業報告, 48.
- 6) 熊川真二 (2007) : 千曲川上流コロニーにおけるカワウ雛の魚食性. 平成17年度長野県水産試験場事業報告, 43.
- 7) 熊川真二 (2007) : 千曲川上流域に生息するアメリカミンクの魚食性. 平成17年度長野県水産試験場事業報告, 44.
- 8) 熊川真二 (2008) : 野尻湖で捕獲したカワウの食性. 平成18年度長野県水産試験場事業報告, 49.
- 9) 熊川真二 (2003) : 水田を舞台とした魚と米の共生. 月刊アグアネット, 6(7), 46-49.
- 10) 高橋鉄美・中井克樹・亀田佳代子 (2003) : 歯骨による琵琶湖産オオクチバスの種判別と体長の推定. 日本水産学会誌, 69(4), 643-645.
- 11) 谷口順彦 (1987) : IV骨格. 魚類解剖学 (水産養殖学講座1, 落合 明編). 緑書房, 東京, 33-62.
- 12) 中坊徹次 (2000) : 日本産魚類検索. 全種の同定(第2版). 東海大学出版会, 東京, 1748pp.
- 13) 宮地傳三郎・川那部浩哉・水野信彦 (1976) : 原色日本淡水魚類図鑑. 保育社, 大阪, 462pp.
- 14) 落合 明 (1987) : II皮膚系. 魚類解剖学 (水産養殖学講座1, 落合 明編). 緑書房, 東京, 7-21.
- 15) 加藤文男 (2004) : 福井県におけるオイカワ属魚類の分布と雑種の記録. 福井市自然史博物館研究報告, 51, 15-24.
- 16) 高橋鉄美・亀田佳代子・川村めぐみ (2002) : 尾鰭骨格による琵琶湖産アユおよびワカサギの種判別と体長の推定. 日本水産学会誌, 68(4), 576-578.
- 17) 廣瀬 充・鈴木 信 (2005) : 全長、体長、尾鰭長を用いたカワウ胃内容物中の魚体重推定式 (短報). 福島県内水面水産試験場研究報告, 6, 85-86.
- 18) 淀 大我・井口恵一朗 (2003) : コクチバスの生態的特性に関する研究. (2) コクチバスの食性. 外来魚コクチバスの生態学的研究及び繁殖抑制技術の開発 (研究成果第417集). 農林水産省農林水産技術会議事務局, 19-28.