

魚類の内臓形態への肥満・瘦身の影響と健康異常症例に対する診断手法

飯野竜成 (六甲学院高等学校)

はじめに

自然との調和や、日本や世界の食を確保する意味合いからも、魚類の理解を深め水産資源を確保することは喫緊の課題であるが、海水魚の体サイズ、体重や内臓自体の特徴からその生態を示した文献は少ない。

過去、著者らはカメを対象に体重を利用して正確に腸の長さ特性を推定する手法を提案しており(飯野ほか 2024)、これを参考として魚類の種特性と異常症例を整理(昨年 20th 共生のひろば(飯野ほか 2025))するとともに、公開データの豊富なグッピーの計測値(E. Zandonà ほか 2015)を併用して、内臓形態への肥満・瘦身の影響を分析した。さらに、機械学習や肥満度指標を活用し、健康異常個体の判別方法を検討した。

材料と調査方法

材料について、昨年 20th 共生のひろば(飯野ほか 2025) で用いた、カサゴ等の計 38 検体、データ収集期間は、2024 年 4 月 28 日~2024 年 9 月 7 日である。また、前述の通り、豊富な個体データが公開されていた E. Zandonà らのグッピーにおける計測データも活用した。尚、グッピーにおける計測データも検証材料として活用するにあたり、カサゴとグッピーが比較対象となり得るかをゲノム情報量の観点から検討した。図 1 に示すように、淡水、海水の違いがあるものの、生体を形作るゲノム情報の観点からは魚類にとって多くの種に見られる一般的な量であることを確認した。ほぼ同等の特性を持つことの何ら証明にはならないが、ゲノム情報量の観点で同レベルの情報量を持つ種として比較評価する。

データ整理には表計算ソフト Excel for MAC (Ver. 16.89) を使用した。また、データの傾向に関する調査や、機械学習の有効性を検討するため、統計ソフト R for macOS (Ver. 4.5.1) も使用して検討を行った。

過去に著者らが提案した体重を利用した腸の長さ特性を推定する手法(体重補正法)を本調査においても検証した。実際の計測結果から求めた「体長と体重の回帰式」により体重から体長を逆算した「体重補正体長」を基準長さとして評価する手法である。

各パラメータと肥満・瘦身の関係を評価するため、体重を体長の 3 乗で除した値を計算した。定義は式 (1) の通り、人間の子供の肥満・瘦身を評価する際に用いるローレル指数と同様の式である。

各グラフで示した散布図に関して、最小二乗法による線形回帰を行った。また、必要に応じて R2 値を示している。

$$\text{肥満度(ローレル指数)} = \frac{\text{体重(g)}}{\text{体長(cm)}^3} \times 10^4 \quad (1)$$

参考とする種を評価するため National Center for Biotechnology Information (NCBI) データ (<https://ftp.ncbi.nlm.nih.gov>) を用いたゲノム情報量の評価を統計ソフト R により実施した。統計ソフト R を用い、機械学習によるアプローチを教師なし学習に属する Isolation Forest、PCA

(※加工元データ：NCBI)

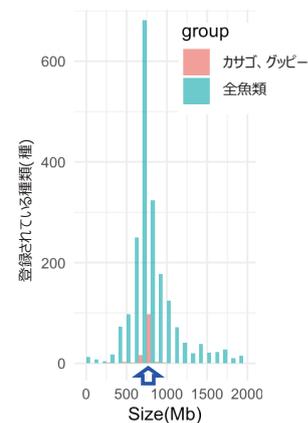


図 1 魚類全般とカサゴ及びグッピーのゲノム情報量*

(主成分分析)、One-Class Support Vector Machine (SVM)、K-Means、及びAutoencoder を使用して検討した。Isolation Forest は外れ値検知に、PCA はデータの可視化や次元削減に役立つという分かりやすい違いがあり、異なるアプローチとして取り上げつつ、ニューラルネットワークの一種であるAutoencoder や、代表的な機械学習手法もピックアップして適用性を検討した。

結果と考察

1) 体長と腸の長さの関係

図2に魚類全般の体長と腸の長さの関係についてプロットした結果を示す。体長と腸の長さの関係は多くの魚で共通する部分が多い。一方、入手しやすかったカサゴのみ抽出するとバラツキが大きい。

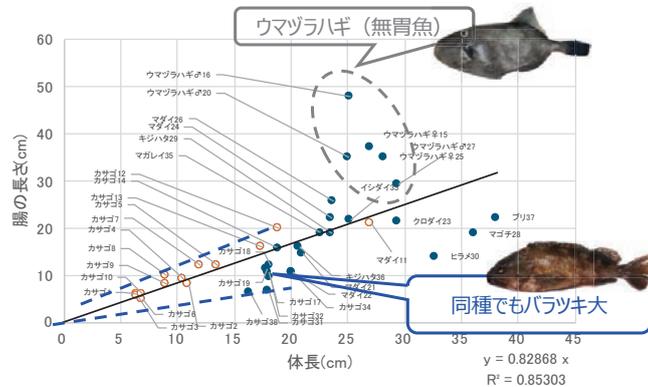


図2 種全般における体長と腸の長さの関係

2) 体重補正体長による評価検証

次に、アカミミガメに関する研究(飯野ほか 2024)で提案した体重補正体長による整理を行うことで、魚類においても肥満・瘦身の影響を排除することの有効性を示せるかどうかを検証した。肥満度(ローレル指数)を横軸として、腸の長さ指標(体長比)をプロットすると、図3に示すように回帰直線がフラット化する傾向にあることを確認した。また、この傾向はグッピーの公開情報からも図4に示す通り確認できる。カサゴ及びグッピーの双方において、体重補正後の回帰直線がフラット化する傾向が確認できたことは、体重補正すれば腸の長さ指標は定数化できる方向にあることを意味しており、体長と独立した肥満・瘦身といった影響が魚類における内臓の形態にも影響を及ぼしているものとする。提案した体重補正体長が腸の長さ特性を分かりやすく表現するツールであること、魚類にとっても肥満の程度は腸の長さと同様に相関があることを立証した。

3) 健康異常症例と特徴

図5に肥満度(ローレル指数)を横軸として、縦軸に各内臓の体重比(肝臓重量)をとりプロットしたものを示す。検体(19)は実際に肝臓のサイズが見た目からも非常に小さいことを確認している。体重比(肝臓重量)の特性からは肝臓が小さい検体において肥満度が著しく低下していることが確認できる。このことから、内臓の異常の評価に肥満の程度(ローレル指数)が使える可能性が強まった。また、肝臓が小さい検体において肥満度が著しく低下していることが確認できたことから、何らかの異常と考えられる肝臓が極端に小さい個体は、肥満度(ローレル指数)により評価・抽出できる可能性があるものとする。また、この外れ値が現れる傾向はグッピーの公開情報からも図6に示す通り肥満度(ローレル指数)が大きい側でも確認できる。

4) 機械学習及び肥満度(ローレル指数)による診断

肝臓が小さな異常個体の症例において、肥満度(ローレル指数)を活用した診断手法の可能性が得られたことに対して、計測情報を元にした機械学習による検知方法についても優位性が得られるかどうかについて今回検討を行った。表1に各手法における入力変数と横軸に肥満度(ローレル指数)、縦軸に体重を代表変数として異常と診断した点をプロットした図を示す。カサゴの計測結果及びグッピーの公開情報から、肥満度(ローレル指数)以外の計測結果をもとに、代表的な各機械学習手法を試行した結果、ほとんどの機械学習手法で肝臓が小さな異常個体と診断できず、One-Class SVMのみが肝臓が小さな異常個体を含むが、関係の無い領域も異常と診断する結果となった。機械学習といった手段を単に利用するだけでなく、肥満度(ローレル指数)といった指標の活用や、グッピーにおけ

る診断のように多くの検体情報を収集し外れ値の領域を明確化していくこと、また一般的な閾値を設けるだけでなく実績に基づく分析によりその値を修正していくことが、健康状態の識別にとって重要と考える。

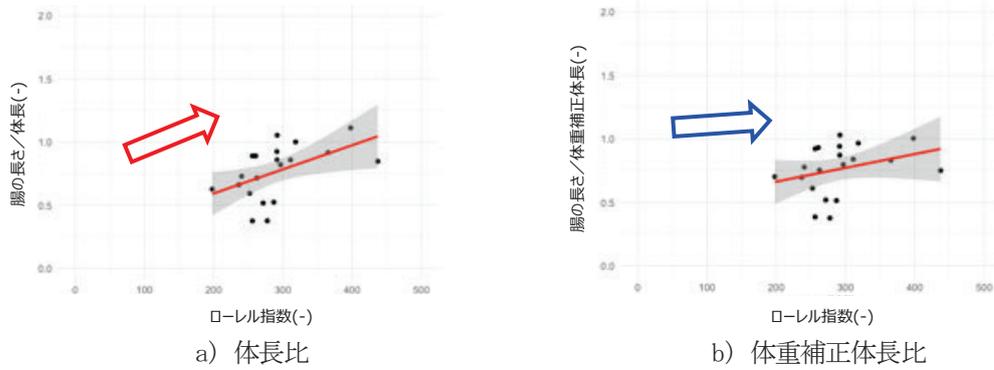


図3 カサゴにおけるローレル指数と回帰式により体長を体重から補正する前(左)/後(右)の腸の体長比長さ

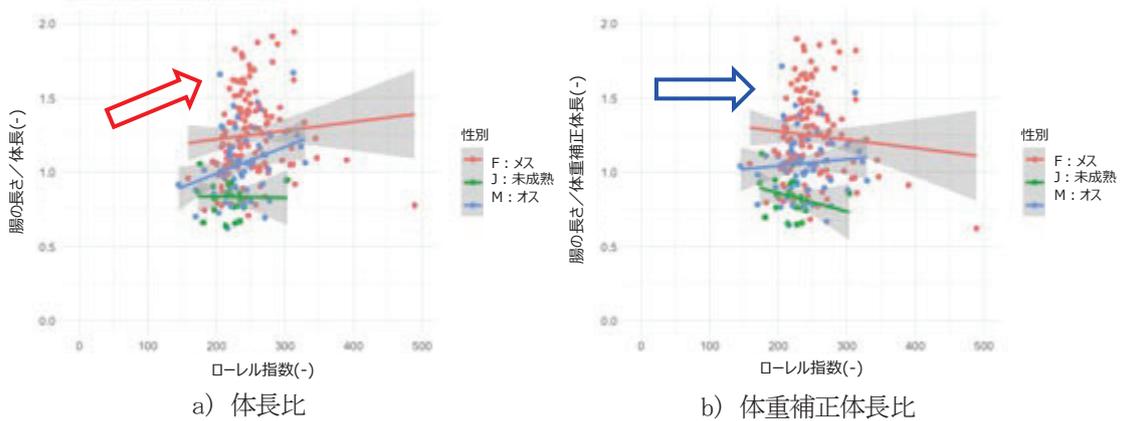


図4 グッピー※におけるローレル指数と回帰式により体長を体重から補正する前(左)/後(右)の腸の体長比長さ (※加工元データ: E. Zandonà ほか, 2015)

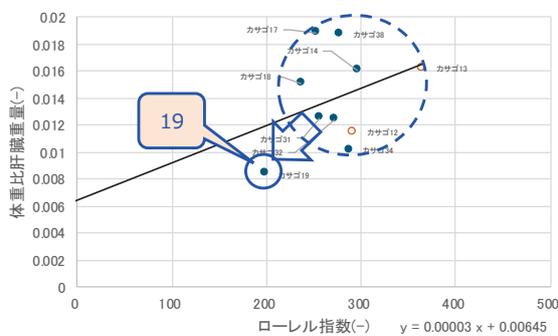


図5 カサゴの肥満度(ローレル指数)と体重比肝臓重量の関係

(※加工元データ: E. Zandonà ほか, 2015)

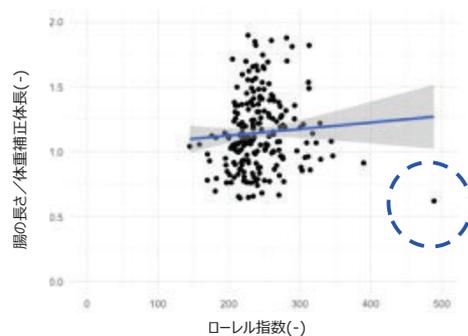


図6 グッピー※の肥満度(ローレル指数)と腸の体重補正体長比の関係

表1 機械学習及び肥満度（ローレル指数）による診断の試行

機械学習手法	項目 入力変数	カサゴ		グッピー※ ※加工元データ: E.Zandonà(ほか 2015)	
		体長、体重、腸の長さ、 体重比重量(内臓、肝臓、胃、腸)	肥満度(ローレル指数)	体長、体重、腸の長さ	肥満度(ローレル指数)
Isolation Forest ※閾値: 上位5%	診断結果				
	概要	△ 検知するものの肥満側のみ	△ 検知するものの肥満側のみ	× ローレル指数と関係のない領域	○ ローレル指数大小両側を検知
PCA 主成分分析 ※閾値: 標準偏差×2	診断結果				
	概要	× 検知できない	△ 検知するものの肥満側のみ	× ローレル指数と関係のない領域	○ ローレル指数大小両側を検知
One-Class SVM ※異常率の 上限: 5%	診断結果				
	概要	△ 関係のない領域が多い	× ローレル指数と関係のない領域	× ローレル指数と関係のない領域	△ 関係のない領域が多い
K-Means ※閾値: 上位5%	診断結果				
	概要	× ローレル指数と関係のない領域	○ 肝臓が小さな異常個体を検知	× ローレル指数と関係のない領域	○ ローレル指数大小両側を検知
Auto encoder ※閾値: 上位5%	診断結果				
	概要	× ローレル指数と関係のない領域	△ 検知するものの肥満側のみ	△ 関係のない領域が多い	× ローレル指数と関係のない領域

結論

本研究では、水産資源の理解に基づき将来に渡り確保していくため、①カサゴを中心とした魚類の体サイズと体重、内臓の特徴を同時に収集し特性を明らかにした上で、②これまでに提案した特性の評価方法が有効であることを検証すると共に、③現状では異常個体（健康状態）を機械学習のみで診断することは難しく、肥満度（ローレル指数）を上手く利用することにより判別できる可能性があることを確認した。今後、水産資源の健康状態管理はもとより、廃棄物である内臓の計測により品質評価も可能になることから、様々な生物の生態の理解のみならず、生物資源の確保・品質を評価する手段として、本成果の展開を図っていきたい。

謝辞

本研究の推進にあたり、日頃よりご指導頂いた六甲学院中学校・高等学校 生物部顧問の岡志先生、阿知波哲夫先生に心より感謝申し上げます。また、自然系ジュニア学芸員講座を通じて生物探究のきっかけをくださった姫路科学館の宮下直也先生、吉田航希先生、研究発表活動のきっかけをくださった兵庫生物学会の石川正樹先生、海洋生物の研究動向や魚病に関する貴重な情報をご教授くださった兵庫県水産技術センターの宮原一隆先生、安信秀樹先生、京都大学舞鶴水産実験所の甲斐嘉晃先生、益田玲爾先生、八柳哲先生、生命科学分野におけるRの活用方法についてご指導くださった慶應義塾大学の富田勝先生、鈴木治夫先生、そしてそのような学びの機会を与えてくださった早稲田塾の中島慎治先生に深く感謝申し上げます。また、本調査の遂行にあたり惜しまず協力してくれた弟の飯野稜真（淳心学院中学校）に心から感謝します。

参考文献

Eugenia Zandonà, Sonya K. Auer, Susan S. Kilham, David N. Reznick. 2015. Contrasting Population and Diet Influences on Gut Length of an Omnivorous Tropical Fish, the Trinidadian Guppy (*Poecilia reticulata*). PLoS ONE 10(9): e0136079. doi:10.1371/journal.pone.0136079.
 飯野竜成, 吉田航希, 宮下直也. 2024. ミシシippアカミミガメの体サイズと腸の長さの関係. 第16回サイエンスフェア in 兵庫, No. 70.
 飯野竜成, 吉田航希, 宮下直也. 2024. ミシシippアカミミガメの体サイズと腸の長さの関係. 第14回高校生バイオサミット in 鶴岡, No. P3.
 飯野竜成. 2024. 魚類における体サイズと内臓の特徴及び健康の関係. JSEC 2024, No. AS020.※
 飯野竜成, 飯野稜真. 2024. 魚類における体サイズと内臓の特徴及び健康の関係. 高校生・私の科学研究発表会 2024, No. A3.※
 飯野竜成, 飯野稜真. 2025. 魚類における寄生虫や異常個体の症例と内臓の関係. 共生のひろば 20号, 44-47.※
 飯野竜成. 2025. 魚類の内臓形態への肥満・瘦身の影響と健康異常症例に対する診断手法. 第15回高校生バイオサミット in 鶴岡, No. P5.
 飯野竜成. 2025. 魚類の内臓形態への肥満・瘦身の影響と健康異常症例に対する診断手法. JSEC 2025, No. AS007.

※ 過去の著者らの魚類に関する参考文献（飯野ほか 2024-2025（ただし、第15回バイオサミット、JSEC2025を除く））において、肥満度（ローレル指数）の算出時に体長ではなく全長を誤って使用していたことが分かり、この場を借りてお詫びし訂正致します。