

## 論文の内容の要旨

水圏生物学専攻  
平成 23 年度博士課程入学

氏名 森 友彦  
指導教員名 佐藤 克文

**論文題目** 野生下におけるスズキ *Lateolabrax japonicus* のエネルギー収支に関する研究

海洋生態系において上位捕食者は、下位の生物を捕食することにより生態系内の構造のバランスを維持する役割を担っている。そのため、上位捕食者のエネルギー収支の知見を得ることは生態系を理解する上で基礎的かつ重要である。スズキ *Lateolabrax japonicus* は日本の沿岸生態系において上位捕食者であり、また先史時代から人々の食料として利用されてきた日本人にとって馴染みの深い水産重要種である。しかし、一方で成魚に関する知見は少ない。そこで、本研究では、野生下におけるスズキの行動生態の解明、及びエネルギー獲得量及び消費量を推定することを目的に以下の研究を行った。

### 胃内容物分析及び餌生物のエネルギー価測定

2011 年 5, 6, 11 月及び 2012 年 6 月に、東京湾の盤州干潟周辺海域において、ルアーフィッシングにより、そして 2015 年 11 月にまき網船によって釣獲されたスズキ計 43 個体から胃内容物を採集した。胃内容物を冷凍状態で研究室まで持ち帰り、解凍後、湿重量を測定し、出現した餌生物種を可能な限り同定した。また、2013 年 5, 6, 10, 11 月及び 2015 年 7 月において、千葉県館山市の定置網及び大分県別府湾周辺の河川域に生息するスズキの潜在的な餌生物 10 種を採集した。定温乾燥機で餌生物を約 48 - 72 時間乾燥させ、カロリーメーターで重量 1 g 当たりのエネルギー価を測定した。体重に対する胃内容物重量の割合 (SCI: stomach contents index) を漁獲方法別で比較すると、ルアーフィッシングより、まき網で捕獲された個体の方が高い傾向が見られた。スズキの胃内からは魚類、頭足類、甲殻類、多毛類など、様々な餌生物が出現した。魚類の出現頻度は、魚類以外の餌生物に比べて高い値となった ( $\chi^2$  test,  $p < 0.01$ )。餌生物種の中で

は、サッパ *Sardinella zunasi* 及びカタクチイワシ *Engraulis japonicus* が最も多く出現した。このことから、東京湾の盤州干潟周辺に生息するスズキの主要な餌生物は、サッパ及びカタクチイワシを初めとした魚類であると考えられる。スズキの潜在的な餌生物 10 種(魚類 9 種及び甲殻類 1 種)のエネルギー価を測定した結果、乾燥重量当たりのエネルギー価において、餌生物間で有意な差が見られ、大型カタクチイワシ(Total length: TL100 mm 以上)及びマイワシ *Sardinops melanostictus* が最も高く、テナガエビ *Macrobrachium nipponense* が最も低い値を示した(Tukey-Kramer test,  $p < 0.05$ )。種によって体サイズは大きく異なっていたが、餌生物の 1 個体当りの平均エネルギー価では、コノシロ *Konosirus punctatus* (乾燥重量:  $31.0 \pm 18.5$  g), アユ *Plecoglossus altivelis altivelis* ( $25.0 \pm 9.0$  g), マアジ *Trachurus japonicus* ( $10.7 \pm 1.1$  g)といった浮魚類で高くなる傾向が見られた。また、生息水域によって乾燥重量当たりのエネルギー価を比較したところ、海水域に生息する餌生物の値が高く、淡水域に生息する餌生物の値が低い傾向が見られた(Tukey-Kramer test,  $p < 0.001$ )。スズキの主要な餌生物と考えられる未消化状態のカタクチイワシは、平均全長  $79 \pm 11$  mm, 平均湿重量は 3.6 g であった。

### 酸素消費速度の測定

千葉県木更津市周辺の盤州干潟及び東京都江戸川区の旧江戸川河口域において計 11 個体を釣獲し、東京大学大気海洋研究所に移送した。水温 15, 20, 25°C に保った水槽で数週間馴致し、2012 年 9, 11 月, 2013 年 4, 10 月, 2014 年 11, 12 月, 2015 年 7 月にそれぞれの温度帯で酸素消費速度  $\dot{V}O_2$  を測定した。麻酔後に供試魚に加速度計 (ORI400-D3GT) を取り付け、Blazka 型遊泳トンネルでさらに 24 時間間馴致した。 $\dot{V}O_2$  測定は、流速  $0.1 - 0.9$  m s<sup>-1</sup> の範囲で行い、測定中はデジタル HD ビデオカメラで供試魚の行動を観察した。左右加速度から算出した *BBF* (body beat frequency) や 3 軸加速度の動物の動きに由来する動的成分 (*DBA*: dynamic body acceleration) を算出し、 $\dot{V}O_2$  推定において最も予測力の高いモデルを AIC で選出した。水温 20°C では 5 個体 26 回, 15°C では 3 個体 22 回の計 48 回  $\dot{V}O_2$  を測定した。水温 25°C で馴致した個体は、遊泳トンネル内に封入後、 $\dot{V}O_2$  を測定する前に全て死亡した。ビデオ映像による行動観察の結果、スズキは、断続遊泳、連続遊泳、突進遊泳の 3 つの遊泳方法をそれぞれの遊泳速度  $U$  及び尾鰭振動周波数 (*TBF*: tail beat frequency) に合わせて選択していた。なお、 $0.5$  BL s<sup>-1</sup> 以

上の時( $TBF$ は 1.3 Hz 以上)には尾鰭を連続的に振動させて遊泳していたことから、野生下で得られたデータを解析する際、 $TBF$ が 1.3 Hz 以上の時には尾鰭を連続的に振って遊泳していたとみなした。活動度( $U$ ,  $TBF$ ,  $BBF$ ,  $DBA$ )と  $\dot{V}O_2$ の間には、それぞれ有意な相関関係が得られた。また、 $U$ と  $TBF$ 、 $U$ と  $BBF$ 、そして  $TBF$ と  $BBF$ の間にも同様に有意な相関が見られた。非遊泳状態の標準代謝速度  $SMR$ (standard metabolic rate)を  $U$ と  $\dot{V}O_2$ の関係から求めたところ、水温 20°C で  $45.9 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$ 、水温 15°C で  $25.7 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$ と算出された。この値は、他の沿岸性の魚種で報告されている標準代謝速度  $SMR$ と近い値を示していた。最も移動コストの少ない最適遊泳速度  $U_{opt}$ は、水温 20°C で  $1.5 \text{ BL s}^{-1}$ 、そして水温 15°C で  $1.1 \text{ BL s}^{-1}$ と算出された。また、 $U_{opt}$ の速度で遊泳している時の活動代謝速度  $AMR_{opt}$ は、水温 20°C で  $124.0 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ day}^{-1}$ 、水温 15°C で  $71.0 \text{ kJ kg}^{-1}$ と算出された。なお、各活動度による  $\dot{V}O_2$ モデルを比較した結果、 $TBF$ を説明変数を持つモデルの AIC が最も低く、 $U$ 、 $BBF$ 、 $DBA$ の順で高くなった。スズキの  $TBF$ を野生下で直接測定することは困難で、 $U$ を測定する装置は大型個体にしか装着できないため、野生下におけるエネルギー消費速度を推定する場合は、左右加速度から算出した  $BBF$ を用いることにした。

### 野生下におけるスズキのエネルギー収支及び行動生態

2011年6月、11月、12月および2012年6月、7月、10月、12月に東京湾の千葉県木更津市周辺海域で計33個体を釣獲した。麻酔後、供試魚の第一背鰭基部に加速度計、浮力体、電波発信器、自動切り離し装置を固定したタグを装着し、放流した。予め設定した時間(4 - 168時間)が経過した後、海面に浮上したタグから発信される電波を電波受信器及び八木アンテナを用いて受信し、最も強く受信される方位を求めつつ船で現地に向かい、タグを回収した。左右方向の加速度データから  $BBF$ を算出し、3章で得られた経験式を元に  $TBF$ に変換した。また、3章で得られた結果から、野生下におけるスズキのエネルギー消費速度を推定する際は、各個体の平均経験水温が 13°C 以上 18°C 未満の時は 15°C の、18°C 以上 22°C 未満の時は 20°C における  $\dot{V}O_2$ と  $BBF$ の関係式を用いた。また、瞬間的に口を大きく開閉して吸い込み採餌を行う動きは、背腹方向の加速度データに現れると判断し、3 Hz 以上のバーストイベントを抽出した。野生下において、スズキの1日当

りの活動時間割合( $TBF \geq 1.3$  Hz)は  $9.0 \pm 12.9\%$ (平均 $\pm$ SD)であった。加速度計で測定した  $BBF$  を用いて推定した全期間におけるエネルギー消費速度は、 $43.5 \pm 12.8$  kJ kg<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup> であった。なお、放流期間中の平均経験水温(平均 $\pm$ SEM)は  $19.6 \pm 2.7^\circ\text{C}$ 、滞在深度は  $3.8 \pm 2.5$  m であった。3章において推定した水温  $20^\circ\text{C}$  での1日当たりの  $SMR$  が  $45.9$  kJ kg<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup> であったことから、野生下におけるエネルギー消費速度のほとんどが、 $SMR$  に由来していると考えられる。なお、スズキが体重を維持するのに必要な1日当たりのエネルギー量は、 $95.9 \pm 39.2$  kJ day<sup>-1</sup>、成長量を加味すると  $104.5 \pm 39.9$  kJ day<sup>-1</sup> と推定され、それぞれ全長  $8$  cm のカタクチイワシ約  $10 - 12$  尾分に相当した。個体によっては、バースト回数にはかなりばらつき( $0-64$  回)があり、バースト行動が見られたスズキの1日当たりの平均バースト回数は  $9.3 \pm 12.5$  回であった。また、バースト行動は、潮汐の影響を受けており、昼間の満潮から下げ潮時、そして夜間の下げ潮時に集中する傾向が見られた。仮にスズキが、2章で出現率の高かったカタクチイワシ(平均全長約  $80$  mm)をバーストにより捕食していたとすると、バースト回数から推定される1日当たりの餌総量のエネルギー価は  $155.6 \pm 209.5$  kJ day<sup>-1</sup> となる。排泄量が餌のエネルギー価に占める割合( $30\%$ )や消化のために必要なエネルギー(specific dynamic action:  $15\%$ )を考慮すると、上記の餌から獲得できるエネルギー価は  $85.6 \pm 115.2$  kJ day<sup>-1</sup> と推定された。なお、獲得量と消費量との間に有意な差は見られなかった(Wilcoxon signed-rank test,  $p > 0.05$ )。以上のことから、東京湾における野生下のスズキは、探索にコストをかけない採餌戦略を選択し、また、その採餌行動も潮汐の影響を受けていると考えられる。