

論文の内容の要旨

水圏生物科学 専攻

平成23年度博士課程 進学

氏名 中村 乙水

指導教員名 佐藤 克文

論文題目 Foraging habit and behavioural thermoregulation of ocean sunfish
Mola mola in the Northwest Pacific
(北西太平洋域におけるマンボウ *Mola mola* の採餌生態と行動的体温調節)

マンボウ *Mola mola* は、世界中の熱帯から温帯の外洋域に生息し、全長 3m、体重 2t 以上になる世界最重量の硬骨魚類である。クラゲやサルパといったゼラチン質動物プランクトンを主食とすると考えられているが、甲殻類や貝類、クモヒトデ類、魚類なども胃内容物から発見されている。マンボウは海面に浮遊する姿がしばしば観察されることから浮遊性の魚であると考えられてきたが、深度計を用いて行動を追跡した研究により海面と深度 100m 以深を頻繁に往復していることが明らかとなってきた。この鉛直移動は深度 100m 以深での採餌を示唆しているが、マンボウの採餌行動の実態は明らかになっていない。また、海面での浮遊行動の機能として、採餌中に低水温にさらされて低下した体温の回復や海鳥による寄生虫の除去が挙げられるが、明確な証拠は得られていない。そこで本研究では、マンボウの採餌行動の実態を明らかにするとともに、低水温環境の餌生物を利用していると思われるマンボウの温度生理とそれに対応した行動生態を明らかにすることを目的とした。

1. 食性解析

マンボウの成長段階別に餌生物を把握するために、胃内容物調査と安定同位体比分析を行った。2010年に岩手県沿岸の定置網と突き棒で捕獲したマンボウ（全長 27 - 250 cm ; n = 17）を解剖し、胃内容物に含まれる餌生物の種類を同定した。また、安定同位体比分析も合わせて実施し、胃内容物を得たマンボウと同一個体の筋肉と、餌の試料として同時期に定置網で採取したクラゲ 5 種類（アカクラゲ *Chrysaora melanaster*, キタユウレイクラゲ *Cyanea capillata*, オワソクラゲ *Aequorea coerulea*, ミズクラゲ *Aurelia* sp., キタミズクラゲ *Aurelia limbata*）の炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) と窒素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) を計測した。また、アミノ酸中の窒素安定同位体を用いてマンボウの栄養段階を推定した。2012年に岩手県沿岸の定置網で捕獲したマンボウ（全長 95-200cm ; n=3）の舵鰭を採取し、フェニルアラニンとグルタミン酸の $\delta^{15}\text{N}$ を計測してその比から栄養段階を推定した。

マンボウの体サイズによって胃内容物には差異が見られた。全長 50 cm 以下の個体 (n=12) のうち 8 個体から胃内容物が得られ、その全てに十脚類のメガロパ幼生、端脚類といった甲殻類が含まれていた。全長 50-200cm の個体 (n=3) からは胃内容物は得られなかった。全長 200 cm 以上の個体 (n=2) の胃内容物には 2 個体ともにクラゲ類が含まれていた。安定同位体比分析では、 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ ともに大型個体ほど高い値を示し、全長との相関を LOESS 回帰すると全長 80-100cm において区切り点が存在した。また、クラゲ類の $\delta^{15}\text{N}$ はマンボウ小型個体の $\delta^{15}\text{N}$ よりも高い値を示し、マンボウ大型個体のみがこれらのクラゲ類を餌に含む可能性が示唆された。アミノ酸の $\delta^{15}\text{N}$ からは全長 90cm 台の中型個体 (n=2)、全長 200cm の大型個体 (n=1) とともに栄養段階が 3.8 - 3.9 と推定された。しかし、中型個体ではフェニルアラニンの $\delta^{15}\text{N}$ が大型個体よりも 2.5%低い値を示し、中型個体は窒素固定海域（黒潮圏）で、大型個体は親潮圏で採餌していることが示唆された。

2. 採餌行動

マンボウの採餌行動を調査するために、2009年から2013年の間に岩手県沿岸の定置網で捕獲した計 23 個体のマンボウ（全長 49-200cm）に 3 軸加速度・3 軸地磁気・深度・水温・遊泳速度を計測する行動記録計を装着して放流し、野外における行動データの取得を試みた。また、そのうちの 8 個体には動物搭載型カメラも同時に装着し、マンボウの前方視界の画像を記録した。カメラは 4 秒に 1 回または 30 秒に 1 回の頻度で静止画像を撮影するように設定した。装置はタイマーによって魚体から切り離し、船によって洋上で回収してデータを得た。放流した 23 個体中 22 個体から装置を回収することに成功した。2009年には全長 49-58cm の

小型個体 5 個体（うち 3 個体にカメラ）、2010 年には全長 84-164cm の中型から大型の個体 7 個体に行動記録計を装着し半日程度の短い行動データを得た。2012 年と 2013 年には全長 67-200cm の中型から大型の個体 11 個体（うち 5 個体にカメラ）から 3-6 日間の行動データを得た。マンボウは深度 100m 以深で採餌することが予想されたため、2012 年からは静止画撮影のタイミングと同期して発光する LED 光源を取り付けた。実験は岩手県沿岸にマンボウが来遊する 7 月と 11 月に行い、11 月の実験は 2010 年と 2012 年のみ行った。

マンボウの滞在深度分布には 7 月と 11 月で差が見られた。7 月には深度 20m 以浅に多くの時間滞在していたのに対し、11 月には深度 50-100m に多くの時間滞在していた。季節間で水温の鉛直プロファイルを比較すると、いずれの季節でも海面水温は約 17°C だったが、7 月は表層に季節躍層が発達しており、11 月は混合層が深度 100m 以深に達するという海洋構造の差異が見られた。いずれの季節でもマンボウが主に経験した水温は 13-16°C であった。7 月の小型個体（全長 < 60cm ; n=5）のうち 1 個体で、海底付近で採餌していると思われる行動が撮影されたが、何を捕食したかという詳細はわからなかった。7 月の大型個体（全長 > 120cm ; n=6）の行動には明瞭な日周性が見られ、夜間は深度 20m 以浅に滞在し不活発だったのに対し、昼間には海面付近での滞在をはさみ深度 100m 以深への潜水を繰り返していた。大型個体から得られた画像には、キタユウレイクラゲなどのハチクラゲ類やアイオイクラゲの仲間を含むクダクラゲ類が記録されており、中には明らかにマンボウがこれらを捕食している画像もあった。特に深度 120-170m でクダクラゲ類を捕食する様子が多く記録されていた。画像によって得られたクラゲ類の捕食と行動記録計によって得られた行動データを照合すると、採餌行動は突進遊泳または減速行動で特徴づけられた。そこで画像の得られていない個体も含めて行動データの中から採餌行動を抽出したところ、減速を伴う採餌行動は深度 100-170m で多く検出され、画像から得られたクダクラゲ類の捕食深度分布と一致した。一方、突進を伴う採餌行動は深度 50m 以浅で多く検出された。また、7 月の中型個体（全長 60-120cm ; n=4）では、2 個体は大型個体と同じように海面滞在をはさみ潜水を繰り返していたが、2 個体は潜水を行わず深度 50m 以浅に滞在していた。前者では深度 100m 以深で、後者では深度 50m 以浅で捕食行動が多く検出された。いずれの個体においても採餌行動は昼間に多く検出され、夜間に不活発だったこととあわせるとマンボウは昼行性であることが示唆された。11 月のマンボウからは画像が得られず明確な採餌行動の記録は得られなかった。

以上のことから、小型個体は海底付近で採餌を行い、中型から大型の個体はクラゲ類、特にクダクラゲ類を多く採餌することが示唆された。また、大型個体は

主に深度 100m 以深の冷水塊中で採餌を行い、中型個体の中には主に表層の暖水塊中で採餌するものもいることが示唆された。

3. 行動的体温調節

2013 年には前述の採餌行動調査において体温計を装着してマンボウの体温も同時に計測し、7月に全長 105-191cm の 3 個体から体温データを得た。体温としては温度センサをマンボウの皮下に挿入し体表から 15 cm の深さの筋肉温度を測った。また、マンボウの体温の推移を周囲の水との間の熱収支で説明する熱収支モデルを用いて、マンボウの熱伝導係数および産熱速度を推定した。

マンボウは水温約 17°C の海面付近での滞在をはさみ水温が 10°C 以下となる深度 100m 以深への潜水を繰り返していた。マンボウの体温は、潜水前は海面水温とほぼ同じ値を示し、潜水中に徐々に低下したが、潜水後の海面滞在中に低下した体温が回復していたことから、潜水中に低下した体温を海面付近の温かい水によって回復させる行動的体温調節のために海面に滞在することが示唆された。熱収支モデルによって推定された熱伝導係数は、周囲の水温が体温より高い時と低い時で異なる値を示し、周囲の水温が体温より低い時よりも体温より高い時の方が 3-7 倍大きく、どちらの状況でも大型個体ほど小さい値となった。また、産熱速度はどの個体においても 0 と推定された。マンボウの死体を用いた実験から推定された熱伝導係数は周囲の水温が体温より低い時、高い時でほぼ同じ値だったことから、生体のマンボウは周囲の水温に対して体の熱伝導係数を生理的に調節していることが示唆された。この調節によってマンボウは産熱に依存せず、平均体温を平均経験水温よりも 1-2°C 高く保持していた。平均体温はどの個体でも 16-17°C だったことから、この温度がマンボウの適切な体温だと考えられる。

以上のことから、マンボウが行う潜水後の海面浮遊行動は体温回復のための行動的体温調節であり、低水温の深度では体温低下を抑制し、海面では体温を効率的に回復するという何らかの生理的調節も行っていることが示唆された。

以上、本研究により、マンボウは成長に伴って底生生物食からゼラチン質動物プランクトン食に移行し、それにあわせて採餌行動も変化することが示唆された。また、大型のマンボウは深度 100m 以深にいるクダクラゲ類を採餌するために、海面と深度 100m 以深を往復するという行動的体温調節を行うが、低水温環境下で採餌する間の体温低下の抑制と低下した体温の海面での効率的な回復という生理的調節を行うことで採餌に充当する時間を延長していることが示唆された。