

論文の内容の要旨

水圏生物科学専攻
平成 29 年度博士課程進学
氏名 木下千尋
指導教員名 佐藤克文

論文題目

北西太平洋域におけるウミガメ類の代謝速度に対応した行動様式

要旨

温度は、動物の行動や生理に影響を与える要因のひとつである。爬虫類は一般的に、外部の熱源に依存して体温を調節する外温動物である。したがって、爬虫類の体温は環境温度の低下と共に下がり、休止代謝速度と活動性も低下すると考えられてきた。しかし、近年アカウミガメ (*Caretta caretta*) には冬季の水温低下に伴って不活発になる個体群と、通年に渡って活動性を維持する個体群が存在することが判明した。何らかの生理的基盤がアカウミガメの活動性の違いに関与していると考えられているが、個体群間における比較研究はなされていない。活動性と休止代謝速度は密接に関係していることから、本研究では休止代謝速度がウミガメの個体群間で異なるという仮説を立てた。はじめに、1 年を通じて活動性が高い北西太平洋個体群のアカウミガメとアオウミガメ (*Chelonia mydas*) を用いて、代謝速度と活動時間割合を 15–25°C の水温下で測定した。次に、北西太平洋個体群の休止代謝速度を、他個体群の既往研究値と比較した。さらに、測定した代謝速度から、ウミガメ類の体温や潜水時間、単位距離を移動するのに要するエネルギーコストを最小とする遊泳速度を推定し、実測値と比較した。上記の結果から、ウミガメ類の休止代謝速度には個体群差があるのか否か、代謝速度が潜水時間や体温、遊泳速度を左右する基盤になっているかどうかを検証した。

ウミガメ類の代謝速度

アカウミガメとアオウミガメの北西太平洋個体群における代謝速度を測定するため、2016年から2019年の夏季、岩手県大船渡市から宮古市の沿岸海域に設置された定置網内で、生きのまま混獲された個体を収集した。集めた個体は、水温 15、20、25°C に調整した 1t の屋内水槽に 1 週間馴致させた。水槽の水面に固定したアクリル性チャンバー内でウミガメを呼吸させ、酸素消費量を測定した。アカウミガメとアオウミガメをそれぞれ 12 個体用いて、約 3 時間の測定を合計 60 回行い、各水温におけるウミガメ類の代謝速度を求めた。同時に、加速度計をウミガメの背甲に取り付け、活動時間割合(%)を定量化した。代謝速度と水温、活動度の関係を明らかにするために、一般化線形混合モデルを用いた。さらに、赤池情報量基準を用いて、代謝速度を表す尤もらしいモデルを選択した。活動時間割合が 0% の時の代謝速度を休止代謝速度とし、他個体群と比較した。その結果、アカウミガメ北西太平洋個体群の休止代謝速度は、冬季に不活発になる地中海個体群の既往研究値よりも 1.4–5.8 倍高くなることが分かった。また、アカウミガメの休止代謝速度の温度係数(Q_{10} : 15–25°C)はそれぞれ 1.68(北太平洋)、5.36(地中海)であった。つまり、北西太平洋個体群の休止代謝速度は、地中海個体群に比べて水温によって変化しづらいことが示された。1 年中活動性を維持するオーストラリア個体群と北西太平洋個体群におけるアオウミガメの代謝速度の Q_{10} (15–25°C) はそれぞれ 1.40 と 1.65 であり、同程度の低い温度係数を示した。以上の結果から、ウミガメ類の休止代謝速度は、個体群間で最大 5.8 倍異なることが明らかになり、1 年中活動性が高い個体群は Q_{10} が低く、その休止代謝速度は温度変化による影響を受けにくいことが示唆された。

代謝速度と体温・潜水時間の関係

代謝速度は、動物の体温や潜水時間を左右する 1 つの要因である。例えば、成体のアカウミガメは体内で発生した代謝熱と自身の体が持つ熱慣性によって、水温よりも約 1–2°C 高い体温を持つ。また、ウミガメ類を含む肺呼吸動物は、体内に保有した酸素量とそれを使い切る速さ(=代謝速度)によって計算される有酸素潜水限界時間(cADL: calculated aerobic dive limit)に応じて潜水時間が左右される。したがって、代謝速度が高い個体群はその分高い体温を持ち、短い時間で潜水を切り上げるはずである。これを検証するために、アカウミガメの体温と潜水時間に着目して、2 つの比較研究を行なった。はじめに、2016 年から 2017 年の夏季に、三陸沿岸域の定置網で混獲されたアカウミガメ亜成体 13 個体(体重: 26.0–57.5 kg)の体温を測定した。胃の中に挿入した温度計で測定した胃内温度を体温とし、水温 15、20、25°C

に調節された 1t の屋内水槽で遊泳させながら体温と環境水温との差(ΔT_b)を求めた。アカウミガメの体を同じ比重の物体からなる同じの質量の球体とみなし、非平衡の熱拡散方程式を用いて、前章で測定した代謝速度と熱伝導率 K (既往研究値)から ΔT_b を推定して、実測した ΔT_b と比較した。次に、2010 年から 2018 年の間に三陸沿岸域で混獲されたアカウミガメ亜成体 17 個体(体重: 33.5–97.5 kg)に、人工衛星対応型電波発信機(SRD)を装着して三陸沿岸域から放流し、200 日以上を経験水温と潜水時間、位置情報を追跡した。アカウミガメが体内に保有する酸素量(既往研究値)と代謝速度の値から、アカウミガメの $cADL$ を予測し、実測された潜水時間と比較した。結果、北西太平洋個体群のアカウミガメにおける ΔT_b は 0.31–1.36°C と推定され、実測の ΔT_b (0.25–1.10°C)と同程度の範囲となった。また、SRDL で計測した北太平洋個体群のアカウミガメの潜水時間は、予測した時間内に 89.5%(全 46,669 回のうち 41,769 回)の潜水が収まった。地中海個体群のアカウミガメの ΔT_b と潜水時間の推定値は、既往研究で報告されている実測 ΔT_b (0.02–0.23°C: 体重 42 kg の場合)と潜水時間に近い値をとった。以上の結果から、アカウミガメは各個体群が持つ代謝速度が行動の基盤となり、それに見合った体温と潜水時間を示すことが明らかになった。

ウミガメ類の最適遊泳速度

動物は遊泳時、単位距離を移動するのに要するエネルギーコストを最小とする「最適遊泳速度」で移動すると考えられている。最適遊泳速度は、休止代謝速度が高いと速くなり、抵抗係数が大きいと遅くなることが理論研究で示されている。前肢をはばたかせて泳ぐアカウミガメ(32.8–94.5 kg)の巡航遊泳速度は約 0.6 m s^{-1} で、同じくはばたき遊泳をするペンギン類(1.1–24.5 kg)の巡航遊泳速度(約 2.0 m s^{-1})より遅い。ウミガメ類の遅い巡航遊泳速度は低い休止代謝速度が要因だと推察されてきたが、定量的な検証は行われていない。本章では北西太平洋個体群のアカウミガメとアオウミガメを用いて、行動記録計を用いた野外放流実験、形態計測、最適遊泳速度の推定を行ない、(1)ウミガメ類は最適遊泳速度を選んで遊泳するか、(2)ウミガメ類の遊泳速度に影響を与える要因は何か、を検証した。2010 から 2019 年の夏季、三陸沿岸域の定置網にて生きてまま混獲されたアカウミガメ 8 個体(体重: 34.0–97.0 kg)とアオウミガメ 7 個体(体重: 12.0–55.5 kg)に行動記録計(遊泳速度・深度・温度・3 軸加速度・3 軸地磁気)を装着して放流し、巡航遊泳速度の測定と抵抗係数の推定を行なった。また、形態計測からウミガメ類の前面投影面積と体重の関係式を求めた。測定した休止代謝速度と前面投影面積、推定した抵抗係数、その他既往研究値をもちいて、ウミガメの最適遊泳速度を推定した。その結果、最適遊泳速度は $0.22–0.37 \text{ m s}^{-1}$ と推定され、野外で実測され

たウミガメ類の巡航遊泳速度 $0.28-0.51 \text{ m s}^{-1}$ と同程度の範囲となった。したがって、ウミガメ類は移動の際、最適遊泳速度を選択していると考えられた。また、体重を同じと仮定した場合(30kg), ウミガメ類の休止代謝速度はペンギン類の約 20 分の 1 で、体表面に対する抵抗係数はペンギン類よりも 8.6 倍高かった。従って、ウミガメ類の巡航遊泳速度が遅い要因には、ペンギン類に比べて低い休止代謝速度だけでなく、高い抵抗係数も影響していることが分かった。

アカウミガメの休止代謝速度が個体群間で異なる要因には、それぞれの生息域における餌環境が関与している可能性がある。北西太平洋は、北から来る親潮と津軽暖流、南から来る黒潮が混合し 1 年を通じて生産性が高いが、地中海は春期を除くと生産性が極めて低い。ウミガメ類にとって環境が好ましい餌環境下では休止代謝速度が高い個体が適応的、乏しい餌環境下では休止代謝速度が低い個体の方が適応的だと考えられる (Context dependent 仮説)。したがって、餌環境の違いがアカウミガメの休止代謝速度の個体群差を生んだと示唆される。本研究では、ウミガメ類が個体群間で休止代謝速度と Q_{10} が異なること明らかにし、体温や潜水時間、巡航遊泳速度がそれぞれの代謝速度に見合っていることを定量的に実証するとともに、代謝速度が行動の基盤となっていること示した。これらの結果は、ウミガメ類の生態を生理的基盤から理解する上で、貴重な知見になると考えられる。