

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05684

研究課題名（和文）定置網から脱出したウミガメの生理的状態を指標とした混獲回避手法の有効性の評価

研究課題名（英文）Evaluation of the effectiveness of bycatch reduction methods using an index of the physiological condition of sea turtles escaping from the setnet

研究代表者

塩出 大輔（Shiode, Daisuke）

東京海洋大学・学術研究院・准教授

研究者番号：40361810

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：希少生物の混獲回避手法として、定置網漁業におけるウミガメ脱出支援システムを例に挙げ、その有効性の科学的な評価を目的として、脱出したウミガメの状態とその回復過程の分析を行った。アカウミガメとアオウミガメを対象として、心電ロガー、加速度ロガー、血液性状分析機を用いることにより、ウミガメの生理的状態（血液性状・心拍数）、行動（呼吸・活動量・遊泳様態）を計測し、平常時、脱出前（網内）、脱出後において比較した。両種ともに混獲中における突き上げ行動時には心拍数が顕著に増加したが、出網後には徐々に減少し、約1日後には心拍数、血液中の乳酸値、二酸化炭素分圧値ともに平常値に戻ることが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

漁業における混獲問題は、生物多様性保全や生態系の維持を踏まえた持続的な生産体制の構築において極めて重要な課題であるが、混獲回避手法の開発が十分でなく、また混獲状態から逃れた個体の健康状態の把握による有効性の評価例は皆無であった。本研究では、これまで困難であったウミガメ類の心拍計測技術を構築するとともに、心拍数の変動と活動量との関係を整理し、さらに心拍数と血液性状の推移から混獲回避手法の有効性を評価する手法を提示した点で非常に意義深いものである。

研究成果の概要（英文）：Conditions of captured sea turtles and its recovery process from escaping were analyzed for the evaluation of the effectiveness of the turtle releasing system for the setnet. The physiological state (blood properties and heart rate) and behavior of the loggerhead and green turtles were measured with using an ECG logger, an acceleration logger, and a blood property analyzer, and compared in normal times, before escape, and after escape. In both species, the heart rate increased remarkably during the push-up behavior during bycatch, but gradually decreased after escaping the net, and after about 1 day, the heart rate, blood lactate level, and carbon dioxide partial pressure level all returned to normal levels.

研究分野：生産システム学

キーワード：ウミガメ 混獲 心拍数 心電ロガー 加速度ロガー 血液性状 水温

## 1. 研究開始当初の背景

ウミガメ類はその多くが国際自然保護連合の絶滅危惧種に指定され、資源動向が世界的に注目されている。特に、日本でのみ産卵する北太平洋のアカウミガメは、米国の Endangered Species Act の対象となったように、適切な保護対策が強く求められている。本種の減少要因の一つとして定置網漁業による混獲の影響が懸念されており、魚捕部である箱網の天井が網で覆われて海中に沈めて設置される中層・底層定置網では、ウミガメが呼吸のために海面へ浮上できずに死亡する例が数多く報告されている。そこで、定置網からの漁獲物の逸脱を防ぎながら、ウミガメを網外に脱出させる手法(ウミガメ脱出支援システム)を考案するとともに、本システムを備えた定置網でのウミガメの脱出の可否と漁獲物の逸脱評価を中心とした開発研究によりその実用化を推し進めてきた。

一方、ウミガメ脱出支援システムは、閉鎖された網内で呼吸欲求が高まり、半ばパニックのような状態に陥ったウミガメが本能的に行う行動(天井網への「突き上げ」)を利用して網外に脱出させるものである。そのため、脱出に至る過程で呼吸困難に伴う様々な生理的障害を受けている可能性がある。例えば、肺に海水が溜まることによる窒息、活動活性の低下、急激な血中酸素の減少による脳・運動器の損傷、乳酸蓄積による血液酸性化に伴う代謝の低下などが挙げられる。したがって、混獲回避手の実用化を進めるにあたっては、脱出に成功させるだけでなく、脱出時におけるウミガメの生理的状態とその後の回復過程についても適切に評価しておくことが必要である。

海洋生態系の保全ならびに生物多様性の維持が強く求められる現代において、漁業における希少生物の混獲回避に関しては様々な取り組みがなされ、トロール網における TED(ウミガメ排除装置)等のように実用化に至った技術もある。しかし、真に生物多様性の保全に寄与するためには、混獲回避技術によって漁具から逃れた生物の生残や健康状態に関する評価が十分に必要があるが、これまでこうした研究はほとんど行われていなかった。

## 2. 研究の目的

本研究では、希少生物の混獲回避手法として、定置網漁業におけるウミガメ脱出支援システムを例に挙げ、その有効性の科学的な評価を目的として脱出したウミガメの状態とその回復過程の分析を行う。具体的には、生理的状態(血液性状・心拍数)・行動(呼吸・活動量・遊泳様態)の定量的な指標を測定し、平常時、脱出前(網内)、脱出後において比較することで、脱出後いつ、どのように平常状態に回復するのかを明らかにする。また、定置網内におけるウミガメへのストレス(網内の滞在時間・活動量・突き上げ回数)を定量化することで、脱出後の回復過程に影響があるかどうかを明らかにすることを目的とした。

## 3. 研究の方法

本研究では、日本沿岸の定置網における混獲死亡の報告例がみられるアオウミガメとアカウミガメを対象とした。実験は沖縄県石垣市にある国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産技術研究所(旧、西海区水産研究所八重山庁舎)において行った。アオウミガメは石垣島周辺で採捕した個体を、またアカウミガメは三重県の定置網で混獲された個体を輸送して用いた。

心電ロガーで心拍数、加速度ロガーで活動量、ビデオロガーで呼吸行動や遊泳様態を確認することとして、まずこれらの機器のウミガメへの装着方法を確立した。特に、心電ロガーの使用においては、ウミガメの体内に電極を挿入する必要があることから、ウミガメへの負荷を軽減しながらより明瞭に心電位を取得可能な挿入位置を検討した。

決定した装着方法を用いて、心電ロガー、加速度ロガー、ビデオロガーを背甲または頭部に装着したウミガメを屋外大型水槽内(10×10×2.2m)において自然遊泳させ、計測を行った。実験の前にはウミガメの後頸部にある静脈から1ml程度の静脈血を採取した。ウミガメの活動量は、三軸の動的加速度値の平方和(ODBA値)を指標とした。水槽内での呼吸回数も記録することで、活動量および酸素の取り込み過程と心拍数の関係を分析した。

このように水槽内で馴致して平常時の計測を行った個体を、水槽内に設置した実験用箱網(3×3×1.6m)内に入網させた。本研究で取り扱う脱出後のウミガメの回復過程には、脱出前の状態が関係すると考えられることから、網内に入れたウミガメの突き上げ開始までの時間、突き上げの回数と継続時間、脱出までに要した時間を記録した。網内でのウミガメの突き上げ行動の頻度等を勘案しながら、網内での呼吸欲求の高まりやストレスがなるべく一定の条件になるように入網からの経過時間を判断して、結果として約10分経過後にウミガメを出網させ、そのまま数日間計測を継続した。本実験の開始前および脱出後の一定時間毎にも血液を採取した。本実験の実施時には常にダイバーがウミガメの様子を監視し、ウミガメに異変が生じた際の救出体制を万全に整えた上で実施した。

これらの計測結果をもとに、ウミガメの平常時、箱網内（脱出前）、脱出後における状態変化の指標として、活動量、心拍数、呼吸回数、血液性状を取り上げ、呼吸や活動量による影響を考慮した上で心拍数および血液性状の変化からウミガメの回復過程を明らかにするとともに、ウミガメ脱出支援システムの混獲回避手法としての有効性について評価した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 心電ロガーの装着方法と麻酔の処置について

アオウミガメを用いて、適切な心電ロガーの装着方法ならびに実験手順の確立を行った。心電ロガーの電極は、既往の報告で見られる頸部に挿入した場合には前肢の動きによる筋電位の影響が大きかったことから、腹甲から挿入することとした。挿入時には麻酔を行い、苦痛の軽減を図った。

ECG ロガーのプラス、マイナスの2つの電極挿入用に、心臓の上部にあたる位置の腹甲上に8~10mmの間隔で直径1.5mm程度の穴を設けた。電極には直径0.9mmのステンレス鋼を用い、挿入部の長さは各個体のサイズに応じて30~35mmで調整した。電極の挿入後には、歯科用アクリルを使用して固定し穴を密閉した。アースには長さ55mm程度の21~23ゲージの滅菌針を用い、後肢の前部の腹甲との境界付近に挿入した。挿入したこれらの電極は、さらにシリル化ウレタン樹脂を使用して固定した。電極の設置に要した時間は15分未満であった。

心電データロガーは、エポキシパテを使用して甲羅に設置した。電極からの3本の導線を背甲に固定し、シリル化ウレタン樹脂とダクトテープを使用して被覆し、ノイズの原因となりうる導線の動きを防いだ。

獣医の指示にしたがい、電極装着作業前にはメドミジンを経口投与として使用し前足の付け根に筋肉注射した。そして約5分後にプロポフォルの希釈水を頸静脈に注射した。電極とロガーの取り付け作業後、メドミジンの拮抗薬としてアチパメゾールを筋肉注射して鎮静から回復させた。

##### (2) 平常時の心拍数と行動について

アオウミガメにおいて、平常時では得られた心電データの約90%においてノイズ障害のないデータが得られた。ほとんどのECGトレースで明確なQRS群を示したが、Rピークの波形と振幅は活動に応じて変化した。Rピークの振幅は個体によって異なった。P波は振幅が極めて小さく、ほとんどのトレースで区別できなかった。T波は全個体のECGトレースで識別され、二相性であった。心拍数は放流直後は高かったが、徐々に減少し、放流後の約12時間後には低い水準で安定することが分かった。実験個体は放流後に潜水と呼吸を行っており、直接の観察ならびに深度と加速度のデータからも異常行動は検出されなかった。休息中の平均潜水時間は10分程度であったが、遊泳するなどの活動中の潜水時間は約3分であった。実験直後の静脈血の乳酸値は $1.0 \pm 0.2$  mmol/Lであった。GLMM分析結果から、潜水中の心拍数は平均ODBA値と水温（表4）とともに有意に増加したが、個体の体サイズとの関係は有意では無かった。安静時のダイビング中の平均心拍数は $11.1 \pm 0.4$  bpmであり、活動潜水中の平均心拍数は $15.0 \pm 0.5$  bpmであった。瞬時心拍数は活動量の上昇に対して迅速な応答を示し、平均ODBA値に対して直線的に増加した。また、安静潜水時に心拍数が急激に増加する頻脈（最大78.4bpm）が夜間に観察された。

呼吸のための浮上とその後の潜水行動において、瞬間心拍数は潜行開始直後から減少し始め、浮上開始と同時に増加した。最大心拍数が観測された時間は、呼吸の時間と一致した。安静潜水後の呼吸中の心拍数は潜水中の心拍数と比較して2.7~4.3倍増加したが、活動潜水後の呼吸中の心拍数は1.7~2.7倍しか増加しなかった。

##### (3) 混獲中の心拍数について

混獲中（実験用箱網に個体が入っている状態）の心拍数の計数は非常に困難であり、特に、入網直後や、呼吸欲求が高まって突き上げ行動を起こしている際には、強い活動の影響で心電位の波形に乱れが生じていた。その中で、心拍数の係数が可能であった場合を抽出したところ、アオウミガメでは突き上げ行動などで活動量が大きい場合に心拍数が増加し、 $38.2 \pm 6.9$  bpmとなった。連続して網を突き上げた後の静止時には心拍数が減少し、最少で1.1bpmとなった。アカウミガメについては、心電の乱れが大きく心拍数を計測できなかったが、両種ともに入網の前後には問題なく心電位を取得できることが分かった。

##### (4) 混獲状態から脱した後の心拍数および血液性状の変化について

出網1時間後の心拍数はアオウミガメで $22.3 \pm 10.2$  bpm、アカウミガメで $22.8 \pm 5.3$  bpmであったが、徐々に減少して2~3時間後にはそれぞれ $13.4 \pm 6.5$  bpm、 $13.7 \pm 4.8$  bpmと減少した。出網後の潜水時には、両種ともに潜降に伴い心拍数が減少し、浮上に伴い増加する傾向が見られた。浮上を開始する前から心拍数が増加する場合も見られ、アオウミガメで心拍数の増加開始から浮上開始までの時間と潜水時間に有意な正の相関が見られた（ $p < 0.05$ ）。また、血液性状の分析

から，出網直後には濃度が顕著に増加した血中乳酸値，二酸化炭素分圧が出網後には減少し，約1日後には平常値に戻ることが確認された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Shiozawa M, Shiode D, Hu F, Tokai T, Hirai Y	4. 巻 55
2. 論文標題 Estimation of the propulsive force generated by loggerhead turtles <i>Caretta caretta</i> for appropriate design of turtle releasing device in set nets	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Fisheries Engineering	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18903/fisheng.55.1_1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 塩澤舞香, 塩出大輔, 秋山清二, 胡 夫祥, 東海 正, 平井良夫	4. 巻 85
2. 論文標題 中層・底層定置網の海亀脱出装置から漁獲対象種は逸出するのか？	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本水産学会誌	6. 最初と最後の頁 173-175
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2331/suisan.18-00036	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 塩澤舞香, 塩出大輔, 胡 夫祥, 東海 正	4. 巻 85
2. 論文標題 中層・底層定置網を対象とした剛構造型海亀脱出装置の閉扉力	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本水産学会誌	6. 最初と最後の頁 297-304
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2331/suisan.18-00042	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Shiozawa M, Shiode D, Okuyama J, Hu F, Tokai T.	4. 巻 29
2. 論文標題 Behavioural characteristics of loggerhead turtles ( <i>Caretta caretta</i> ) in a submerged bag net of a setnet observed in a bycatch simulation and the development of a turtle releasing device	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems	6. 最初と最後の頁 2107-2115
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/aqc.3201	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Okuyama J, Shiozawa M, Shiode D	4. 巻 9
2. 論文標題 Heart rate and cardiac response to exercise during voluntary dives in captive sea turtles (Cheloniidae)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biology Open	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1242/bio.049247	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shiode D, Shiozawa M, Hu F, Tokai T, Hirai Y.	4. 巻 in press
2. 論文標題 A newly developed soft-type turtle releasing device (Soft-TRD) for setnet fisheries	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Aquaculture and Fisheries	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aaf.2020.06.011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Shiode D, Shiozawa M, Hu F, Tokai T, Hirai Y.
2. 発表標題 A newly developed soft-type turtle releasing device (Soft-TRD) for set net fisheries
3. 学会等名 Symposium on Responsible Fishing Technology for Healthy Ecosystems and Clean Environment (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥山隼一, 塩澤舞香, 塩出大輔
2. 発表標題 アオウミガメの心拍と活動に対する応答
3. 学会等名 第15回日本バイオロギング研究会シンポジウム
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	奥山 隼一  (Okuyama Junichi)  (80452316)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水研機構(長崎)・主 任研究員   (82708)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------