

中層・底層定置網を対象とした海亀脱出装置の開発に関する研究

著者	塩澤 舞香
学位名	博士（海洋科学）
学位授与機関	東京海洋大学
学位授与年度	2018
学位授与番号	12614博甲第511号
URL	http://id.nii.ac.jp/1342/00001731/

博士学位論文内容要約

東京海洋大学大学院
応用生命科学専攻
塩澤舞香

中層・底層定置網を対象とした海亀脱出装置の開発に関する研究

混獲とは、漁業において未利用サイズの個体や漁獲対象外の生物を偶発的に捕獲することである。特に、希少生物の混獲は、生態系だけでなく操業の停止や操業方法に対する規制など、漁業活動にも大きな影響を及ぼしている。希少種である海亀類の個体数減少の要因の一つは混獲であると指摘されており、我が国沿岸における漁獲量の約 4 割を占める定置網漁業においても、海亀類の混獲が多数報告されている。特に、魚捕部である箱網が海中に沈めて設置される中層・底層定置網においては、入網した海亀が溺死する可能性が極めて高い。そこで近年、中層・底層定置網における海亀類の混獲削減手法として、箱網の天井網に傾斜を配して角錐状とし、頂点部に海亀脱出装置 (Turtle Releasing Device: TRD) を設けた海亀脱出支援システムが考案された。入網した海亀は、呼吸のために海面に浮上しようとするが、天井網に遮られるために、頭部で天井網を突き上げる行動 (以下、突き上げ) をとり、突き上げを行いながら天井網の傾斜に沿って TRD まで誘導される仕組みである。しかし、科学的な根拠に基づく TRD の適切な仕様はこれまで提案されていなかった。そこで本研究では、TRD の開発と適切な仕様の検討を目的とした。TRD は、天井網に設けた海亀の脱出口を扉で覆い、海亀が突き上げによって扉を押し開けて脱出するものとした。TRD には、潮流による流体力の影響下においても海亀が自力で開けることが可能で、なおかつ海亀の脱出後には確実に閉鎖することが求められる。本研究では、海亀の推進力と扉の閉じようとする力 (閉扉力) について調べ、TRD の適切な仕様を検討した。さらに、提案した TRD からの漁獲対象種の逸出の可能性や、混獲された海亀の行動特性について調べた。

水槽内において、水面下に滞留した海亀の推進力とはばたき様式の変化を詳細に調べた。アオウミガメ 9 頭 (直甲長 0.39 – 0.72 m) とアカウミガメ 4 頭 (同 0.63 – 0.84 m) を用いて、海亀 1 頭と張力計をワイヤーで接続し、前肢をはばたかせて遊泳しようとする海亀の推進力を計測した。各はばたきによって生じた推進力の最大値を推進力ピーク値とし、各推進力ピーク値間の時間の逆数をはばたき周波数として得た。10 秒以内の間隔で連続して行われたはばたきをセットとし、セット毎の推進力ピーク値、はばたき周波数、はばたき回数の変化を調べた。大きな個体ほど推進力の最大値は大きかった。セット毎の推進力ピーク値の平均はセットを重ねるごとに小さくなり、約 30 分後にはアオウミガメで平均 57.6 N (SD = 25.2)、アカウミガメで平均 71.0 N (SD = 48.1) となった。海亀は、網内で必ずしもすぐに TRD まで到達するとは限らず、場合によっては 30 分という非常に長い時間が経過してから

ようやく TRD にたどり着くことも考えられる。そのため、TRD の設計を考える上ではこのように長時間が経過した後の推進力が重要であり、30 分経過後の推進力ピーク値の平均値を TRD 設計基準として用いることとした。はばたき周波数とはばたき回数もセット毎に小さくなり、はばたき回数は約 30 分後には平均 12 回 (SD=8.2) となった。海亀は、脱出時に扉を平均約 5 回突き上げて脱出に至るため、このはばたき回数は脱出には十分であることが示唆された。

計測することが困難である、箱網内で突き上げを行う際の海亀の推進力を調べるために、水槽実験で得たはばたき周波数 f (Hz) と直甲長 l (m) を説明変数とした重回帰分析を行い、推進力ピーク値の推定式を取得した。また、ビデオカメラと深度計を装着したアカウミガメ 6 頭 (直甲長 0.63–0.84 m) を定置網の中層箱網内 (10×30×10 m) に 1 頭ずつ入網させ、約 20 分後に回収する実験を計 9 回行い、はばたき毎のはばたき周波数をビデオカメラから取得して突き上げ時の推進力ピーク値を推定した。水槽実験の結果から、推進力ピーク値 F_p (N) の推定式 $\ln F_p = 1.813 \ln f + 1.905 \ln l + 6.265$ ($R^2 = 0.714$) を得た。この式による推定値と実測値は概ね一致し、はばたき周波数と直甲長を用いてはばたき毎の推進力ピーク値を推定できることを示した。推定された突き上げ時の推進力ピーク値は、最小 6.5 N、最大 436.3 N、平均 111.2 N (SD=71.6) であった。

Φ6mm-0.1m (扉枠の太さ-重ね合わせ幅)、Φ6mm-0.2m、Φ6mm-0.3m、Φ8mm-0.2m、Φ8mm-0.3m の計 5 種類の扉を使用し、水槽内に敷設した実験用箱網 (3×3×1.1 m) の天井網中央部に装着した各扉の静水下的における閉扉モーメント M_θ (Nm) を張力計により計測した。さらに、 M_θ を構成すると考えられる 3 つのモーメント (土台ネットの弾性モーメント M_E 、土台ネットの復元モーメント M_S 、扉の水中重量による閉鎖方向のモーメント M_W) を実測あるいは試算によりそれぞれ求めた。 M_E と M_S は開放角度の増加に伴い増加したが、 M_W は減少した。 M_E には重ね合わせ幅による差は見られなかったが、 M_S は重ね合わせ幅の増加に伴い大きくなった。3 つのモーメントを用いて得た M_θ の推定値は実測値と概ね一致し、 M_θ は M_E 、 M_S 、 M_W で構成されるとするのが妥当であると考えられた。次に、大型回流水槽において、扉の支点側あるいは開放側から流れを受けた際の閉扉モーメント $M_{R\theta}$ を計測した。Φ6mm-0.2m、Φ6mm-0.3m、Φ8mm-0.2m、Φ8mm-0.3m の 4 種類の扉は、海亀脱出時における最大の開放角度である 60° に開いた際に、定置網の操業限界とされる 0.4 m/s の流れを開放側から受けた場合でも閉鎖することが確認された。このうち、開放に要する力が小さく、海亀が最も脱出しやすいと考えられるのは Φ6mm-0.2m の扉であった。また、この扉が同様の流れを支点側から受けた際の $M_{R\theta}$ は 30.4 Nm であったことから、海亀は真上方向に 55.2 N 以上の推進力を発揮すれば、Φ6mm-0.2m の扉を押し開けて脱出できると考えた。

ここまで得た海亀の推進力と Φ6mm-0.2m の扉の閉扉力を比較し、Φ6mm-0.2m の扉が、海亀が脱出可能な仕様であるかを検討した。水中で 30 分間断続的にはばたいた後の海亀は、55.2 N を上回る推進力を発揮していた。また、定置網の中層箱網内で突き上げを行う海亀は、全 80 セット中 74 セットの突き上げにおいて、セット内の半数以上の突き上げ時に 55.2

N を上回る推進力を発揮していたと推定された。以上のことから、Φ6mm-0.2m の扉は、海亀の脱出にも十分であり、適切な仕様であることを明らかにした。

TRD から漁獲対象種が逸出する可能性を検討するために、アカウミガメ 9 頭の背甲に前・後方向に向けてビデオカメラ 2 台を装着して 1 頭ずつ中層箱網内に入網させ、漁獲対象種の海亀からの逃避と海亀への追従遊泳の有無を調べた。また、TRD 付近への出現種をタイムラプスカメラにより調べた。接近する海亀から、すべての種が逃避した。一方、ブリ、カンパチ、ツムブリ、イシダイによる追従遊泳が観察された。追従の継続時間の中央値が最も大きかったのは、カンパチとブリの群れの 26 秒であった。ツムブリの追従は箱網上層部に至っており、海亀に追従して逸出する可能性が高いと考えられた。TRD 付近には 33 種の漁獲対象種が来遊し、このうち 17 種が鉛直上向きに遊泳して吻端で TRD に触れる行動をとった。このように上向きに遊泳して TRD に触れる種は、TRD に隙間が生じた際に逸出する可能性が特に高いと考えられる。したがって、漁獲対象種の逸出を防止するためには、TRD の確実な閉鎖が重要である。

混獲時の海亀の突き上げ行動の特性を調べるために、定置網の中層箱網内に、ビデオカメラ、加速度ロガー、深度計を装着したアカウミガメ 5 頭（直甲長 0.67–0.82 m）を 1 頭ずつ入網させる実験を計 10 回行った。ビデオカメラからはばたき周波数を、加速度ロガーから活動量の指標である ODBA と水温を取得した。5 秒以内に連続して行われた突き上げを 1 セットとした。海亀は、実験開始から平均 5.1 分後（SD = 3.3）に最初の突き上げを開始した。突き上げセット内の平均 ODBA は時間経過に伴い大きくなったが、最初の突き上げから平均 12.3 分後（SD = 2.0）には減少に転じた。このことから、海亀脱出支援システムは海亀が最初の突き上げを開始してから 10 分程度で TRD にたどり着き、脱出できるものであることが望ましいと考えられた。5 m 以上の連続した浮上（連続浮上）のうち 35% で、はばたき周波数が浮上に伴い増加した。また、はばたき周波数の増加を伴う連続浮上直後の突き上げ時の ODBA は、他の突き上げ時の ODBA に比べて大きかった。自然環境下における浮上時のはばたき周波数は浮上とともに減少することと、突き上げは網内において呼吸欲求の高まった海亀特有の行動であることから、はばたき周波数の増加を伴う浮上は、海亀の呼吸欲求の高まりを示す指標の一つとなることが示唆された。突き上げ回数、ODBA、はばたき周波数はいずれも水温の影響を受けていたことから、水温が低い季節や地域においても海亀の確実な脱出を実現させるためには、TRD の仕様の調節が必要となる可能性があることを示した。

本研究では、流れ下においても海亀が脱出可能であり、かつ海亀の脱出後に確実に閉鎖する適切な TRD の仕様を検討した。候補とした 5 種類の扉のうち 4 種類で流れ下においても閉鎖することが確認され、Φ6mm-0.2m の扉が最も海亀が脱出し易く適切であると考えられた。実際に、水面下に長時間滞留した海亀や箱網内で突き上げを行う海亀は、突き上げによって Φ6mm-0.2m の扉を十分押し開けることができると考えられた。また、TRD からの漁獲対象種の逸出の可能性について検討したところ、海亀に追従して、あるいは TRD の隙間か

ら漁獲対象種が逸出する可能性が考えられたため、海亀脱出時以外には扉が確実に閉鎖していることが重要である。海亀の推進力は、水温による影響を受けるため、本研究における海上実験を実施した環境よりも水温が低い地域や季節においても確実な海亀の脱出を検討する場合には、TRD の閉扉力を小さくする必要が生じる可能性もある。しかし、閉扉力を小さくすると流れ下において扉が開放し、漁獲対象種が逸出する可能性が大きくなる。そのため、扉に張る鍬網の目合を大きくして扉が受ける流体抵抗を減らすなどの仕様の変更が検討される。TRD の普及にあたっては、特に揚網作業時における TRD の取り扱いや漁獲物の逸失の有無が問題となることから、操業試験を継続的に行い、TRD の挙動、海亀の脱出、漁獲物の逸出についても評価した上で、漁業者への普及を進めたいと考える。なお、TRD 導入時には、TRD の周囲に筒網を装着して操業を行うなどして、逸出する漁獲対象種の有無、海亀の脱出の成否、操業への支障について漁業者が十分に確認することが望ましい。本研究で提案する TRD を用いた海亀脱出支援システムを漁業者が導入することで海亀の混獲が減少し、持続可能な定置網漁業が維持・発展されることが期待される。