

研究ノート

アオウミガメの孵化幼体における保管の条件と期間が遊泳活性に及ぼす影響

畠中俊暉¹⁾・三宅香成²⁾・高田光紀³⁾・笹井隆秀⁴⁾・
深田晋悟⁴⁾・嘉陽宗幸⁵⁾・小淵貴洋⁴⁾・真栄田賢⁴⁾・
真壁正江⁴⁾・河津 勲^{4),6)}・斉藤知己^{3)*}

要 旨

ウミガメ孵化幼体を脱出後に一時的に保管することは、その初期生活史における生存に不可欠な、フレンジーの活性を損なう可能性がある。孵化場で管理する場合のウミガメ幼体の取り扱い方法を検討するために、絶滅危惧種であるアオウミガメ (*Chelonia mydas*) の孵化幼体を対象として様々な条件下 (暗条件か明条件、および空気中か水中) で様々な保管期間 (24、48、72時間) を経た後、24時間間隔で72時間まで泳力を測定して比較した。24、48、72時間空気中 (明条件および暗条件) に保管した幼体の最初の平均泳力は、脱出直後に水中に入れた幼体 (対照個体) のそれと比べて同等の強度であった。しかし、水中に保管する時間の経過とともに幼体の平均泳力は低減し、とくに、48時間および72時間水中に保管した個体の最初の測定値は対照個体のそれよりも有意に低くなった。本研究の結果は、アオウミガメの孵化幼体を脱出後最大72時間空気中に保管することにより、フレンジーの開始の遅延ができることを示す。逆に、孵化幼体を同じ時間水中に保管すると、その後の遊泳能力を著しく損なう可能性があり、幼体が海に入った際に捕食される危険性が高まると考えられる。

キーワード: *Chelonia mydas*、フレンジー、平均泳力、絶滅危惧種、孵化場、保護

アオウミガメ (*Chelonia mydas*) は環境省レッドリスト (環境省、URL: <http://www.env.go.jp/press/files/jp/114457.pdf>, 2021年1月6日閲覧) で絶滅危惧Ⅱ類 (VU) に指定されている。本種の保全を目的として個体数を十分に回復させるためには、特に生存率が大きく左右される、産卵から孵化幼体が生育場に移動するまでの期間に着目し、科学的知見を集積することが肝要である。和田ら (2017) は、台風や熱帯低気圧の影響を受けやすい高知県の海岸で産み付けられたアカウミガメ (*Caretta caretta*) の産卵巣は高波によって大多数が冠水または流失する

可能性が高いことを示した。また、砂浜および沿岸域には、スナガニ類、大型魚類、海鳥等の外敵が多く存在してウミガメの幼体が捕食され、生存率が著しく低下するなど (Wyneken and Salmon 1992)、脱出後の環境にも大きな脅威が存在する。そのため、ウミガメの自然巣を孵化場に移植して卵を人為的に管理する対策が講じられている。

ウミガメの卵の孵化場は、過度の捕食、盗掘、生息地環境の劣化など、自然卵卵に対する脅威がある地域で資源管理を行うための貴重なツールと言える (Lutcavage et al. 1997, Mortimer 1999, Witherington and Witherington 2015)。孵化場はまた、住民、学生、観光客がウミガメの保護活動を実施、観察する機会を提供するとともに、それに関する教育と啓発を促す (Shanker et al. 2003)。しかし、自然巣を孵化場または孵卵器にて管理することにはウミガメの生存を脅かす幾つかのリスクがある。卵を孵化場に移植すると、転卵の影響により胚発生が停止する (Limpus et al. 1979, Mortimer 1999)、産卵巣から卵を取り出す際の不手際で孵化率を低下させるほか、孵化場の環境によって孵化幼体の適応度と性比を変

2021年2月1日受領; 2021年3月1日受理

- 1) 高知大学大学院教育学専攻
〒780-8520 高知県高知市曙町二丁目5番1号
 - 2) 株式会社荒谷建設コンサルタント米子事務所
〒689-3409 鳥取県米子市淀江町西原708-1
 - 3) 高知大学総合研究センター海洋生物研究教育施設
〒781-1164 高知県土佐市宇佐町井尻194
 - 4) 沖縄美ら海水族館
〒905-0206 沖縄県国頭郡本部町字石川424番地
 - 5) 特定非営利活動法人日本ウミガメ協議会
〒573-0163 大阪府枚方市長尾元町5-17-18
 - 6) 一般財団法人沖縄美ら島財団総合研究センター
〒905-0206 沖縄県国頭郡本部町字石川888番地
- * 連絡責任者 e-mail address: t-saito@kochi-u.ac.jp

える可能性がある (Lutcavage et al. 1997, Wyneken 2000, Saito et al. 2019)。さらに、孵化場等で幼体を一定期間集め、保管して行う「放流」も、幼体のエネルギーと行動に悪影響を与えるとされる (Pilcher and Enderby 2001, van de Merwe et al. 2013)。

自然下では、ウミガメの幼体は卵から孵化し、産卵巣から脱出するのに2-5日間かかる。脱出すると幼体は海へと砂浜を急速に這い下り、そこでフレンジーとして知られる活発な遊泳活動を行い、岸から外洋へと旅立つ (Davenport 1997, Pankaew and Milton 2018)。浜での走行とフレンジーの間、幼体は捕食の対象となりうるため、外洋により速く移動するほど、生存の可能性が高くなると考えられている (Witherington and Salmon 1992, Burgess et al. 2006, Whelan and Wyneken 2007, Ischer et al. 2009, Booth et al. 2013)。

しかし、一部の孵化場では、幼体が脱出して数日間飼育されてから週末に海岸で放流する「放流会」といった観光プログラムを開催している (Hewavisenthi 1993, Shanker et al. 2003, Rajakaruna et al. 2013)。フレンジーの状態は一般に脱出後1-2日間しか持続しないため、幼体を長期間保管すると、走行や遊泳のパフォーマンスが損なわれる (Wyneken and Salmon 1992, Gyuris 1994, Wyneken 1997, Wyneken et al. 2008, Chung et al. 2009)。さらに、長期保管中、幼体は沖合での初期分散に必要な貯蔵エネルギー (卵黄) を浪費する (Clusella Trullas et al. 2006, Jones et al. 2007)。保管の条件も問題を悪化させる可能性がある。孵化幼体を一時保管する方法を示した Mortimer (1999) は、涼しく、暗く、静かな場所で、水には入れず、湿った布の袋の中で保持することを推奨しているが、海水に入れて保管している孵化場もある (e.g., Mejías Balsalobre and Bride 2016)。

これらの懸念を考慮し、脱出後の様々な期間、ウミガメの孵化幼体を保管することの影響を調べた幾つかの研究がある。Pilcher and Enderby (2001) は、アオウミガメの幼体を夜間に陸上で1時間ごと0-6時間まで保管した後、遊泳速度を測定し、保持時間が長くなるにつれて平均遊泳速度が最大12%まで低下することを示した。van de Merwe et al. (2013) はアオウミガメの幼体の走行速度は、夜間に陸上で1、3および6時間保管することで徐々に低下することを発見した。Mejías Balsalobre and Bride (2016) は、最大48時間水中に保管されたアオウミガ

メの幼体の運動能力を測定し、保管期間が長くなるにつれて走行速度と遊泳ストローク割合が低下することを観察した。さらに、Okuyama et al. (2009) は、アオウミガメ幼体の沖での分散運動の変化を調べ、7日間水中に保管された個体は、1日間保持された個体よりも遊泳速度が低いことを報告した。

これらの研究は、保管時間の長期化は一般にアオウミガメ孵化幼体の沖合生育場へのアクセスの可能性を低下させるとともに、生存率も低下させる可能性があることを示している。しかし、幼体の保管条件に着目して検討を行った例は少ない。幼体を保管する条件は、放流前の運動活性に影響を与え、さらに、放流後の幼体の運動のパフォーマンスと生存の可能性に影響を及ぼす可能性がある。Fujimoto et al. (2020) は、アカウミガメの孵化幼体を保管する際、空気中で保管すると最低でも3日間はフレンジーの発現を遅延できることを明らかにした。アオウミガメの幼体は、アカウミガメと同様のフレンジーおよびフレンジー後の遊泳活動のパターンを示すが、遊泳に費やす時間にはわずかな違いがある。Wyneken and Salmon (1992) は、アオウミガメ幼体はフレンジーの開始から6日後の夜間の遊泳が元の活動レベルの13%に低減したのに対し、アカウミガメは遊泳をしなかったことを報告した。このような違いは種間の生存戦略の差異を反映している可能性があり、幼体の保管に対しても異なる応答があるかもしれない。よって、アオウミガメにおいても保管条件が孵化幼体の生存率に影響を与える可能性について検討する必要がある。

本研究は、アオウミガメの幼体を脱出から3日間保管されることを想定し、様々な条件下 (暗条件と明条件、空気中と水中) で、様々な期間 (24、48、72時間) 保持することによる、フレンジーとその後の遊泳パフォーマンスへの影響を調べ、保護活動においてただちに放流する選択肢がない場合に孵化幼体を扱う最善の方法について推奨すべき事項を見出すことを目的とした。その結果は、孵化場で適切な保管方法を提示することにより、世界のウミガメの保護活動に貢献すると考えられる。

材料と方法

卵のサンプリングと孵卵

本研究にかかる動物実験および卵の採取は、それ

ぞれ高知大学動物実験委員会の承認 (M-00090) および沖縄県漁業調整規則に基づく特別採保の許可 (農水第537号) を得て行った。アオウミガメ卵は、2019年6月19日に沖縄美ら海水族館ウミガメ館の人工産卵場、同年6月20日に沖縄県国頭村の“謝敷の浜”および同年6月14日、7月12日、7月25日に国頭村の“奥の浜”にて産卵が行われたもので、翌日早朝のパトロールで発見した。卵は全て掘り出して計数した後、各巣から約100卵 (本研究には28–34卵を使用) を無作為に抽出し、それ以外の卵は現地にて孵卵した。採取した卵は、卵専用の紙製容器に置き、濡れた布で上部を覆うことで湿度を保って発砲スチロール容器 (45 × 25 × 20 cm) に収容した。これを同日午前中に自動車で那覇空港まで運搬し、航空機に積み替えて那覇空港から高松空港まで空輸し、再び自動車で高知県土佐市の高知大学海洋生物研究教育施設に運搬した。同施設の実験室では、卵を、湿らせた砂を敷き詰めたプラスチック製の容器に移し、湿らせたミズゴケを被せ、その上から細孔を開けたビニル製の暗幕で覆った。これを恒温器 (冷凍機付インキュベーター MIR-154-PJ、PHC株式会社) に収容し、性比の臨界温度付近である29–30°C、湿度90%で孵卵した。卵を沖縄の産卵地で掘り出してから実験室の恒温器に収容するまで、いずれも12時間程度経過した。

自然の産卵巣の環境は砂中ゆえ、卵に光があたることは無い。これに近づけるため、恒温器の扉には遮光フィルムを貼り付けて内部を暗条件に設定し

た。孵卵温度は温度データロガー (HOBO TidbiT v2、Onset) を設置して1時間ごとに記録した。さらに、恒温器内の温度を赤外線放射温度計 (FLIR TG165、FLIR system) を使用して設定温度が保たれているかを確認し、単眼型暗視スコープ (NVMT Spartan 2 × 24、YUKON Advanced Optics Worldwide) を使用して光への露出を避けながら孵化の確認を頻繁に行った。

孵化幼体の保管条件

恒温器における“孵化”は、頭と片方の前肢が卵殻から突き出た場合、と定義した (Godfrey and Mrosovsky 1997)。恒温器において孵化させた幼体は、自然巣における砂中での孵化から脱出までの過程を欠くが、この時間をシミュレートするために、幼体を最低96時間 (4日間)、孵卵時と同様の環境条件で恒温器内に保持した。また、恒温器における“脱出”は、孵化確認から4日後の午後8時と定義した。

各巣で“脱出”時に、恒温器から全ての幼体を取り出し (6月14日の産卵巣からは18個体、6月19日分から19個体、6月20日分から26個体、7月12日分から23個体、7月25日分から19個体)、照明 (約300–550ルクス) 下で、15分以内に直甲長 (SCL、mm) と体重 (BM、g) を測定した。各巣の全幼体のBMに基づき平均サイズとなる4–26個体を選択し、個体識別のため背甲に油性白色マジックでマーキングをして各条件に均等に振り分けた (Table 1)。

Table 1. Data on nests of green sea turtle (*Chelonia mydas*) used in this study and the distribution of hatchlings in various retention treatments (DA = under dark and in air, DW = under dark and in water, LA = under light and in air, LW = under light and in water), with the number of hours of retention listed.

Nesting date	14 June 2019	19 June 2019	20 June 2019	12 July 2019	25 July 2019
Nest site	Oku-no-hama Beach	Okinawa Churaumi Aquarium, artificial beach	Jashiki-no-hama Beach	Oku-no-hama Beach	Oku-no-hama Beach
Original clutch size	99	150	-	145	162
No. eggs used	28	33	31	34	32
No. hatchlings	18	19	26	23	19
Incubation period (days)	52	53	55	53	54
Hatching success (%)	64.3	57.6	83.9	67.6	59.4
No. hatchlings used					
LW	2	5	7	5	4
DW24	2	1	2	2	
DW48	2	1	2	2	
DW72		3	2	2	
LA24	2	1	2	2	
LA48	1	2	2	2	
LA72	1	2	2	2	
DA24	2	1	2	2	
DA48	1	2	2	2	
DA72	1	1	3	2	

保管条件は、明条件下の水中 (LW、対照)、暗条件下の水中 (DW)、明条件下の空气中 (LA)、暗条件下の空气中 (DA) とした。各実験区 (DW、LAおよびDA) には7個体ずつ、対照区 (LW) には23個体の幼体を用いて実験を行った。「明条件」では、実験室内に差し込む自然光を暗幕で遮断し、蛍光灯の光を12時間 / 12時間のサイクル (午前7時に点灯、午後7時に消灯) で照射した。「暗条件」では、容器ごと暗幕で覆って全ての光を遮断した。「水中」では、サーモスタットとヒーター (NX003、SH220、ジェックス株式会社) を用いて海水を29.5℃に保ったプラスチック製のタンク (70 × 40 × 30 cm) に幼体を収容した。「空气中」では、孵卵器 (爬虫類用孵卵器レプタイルプロ90 PX-R90、RCOM 社およびMIR-154-PJ、PHC株式会社) を用い、温度29℃、湿度90%以上に保ち幼体を収容した。LWは対照区として自然下と同様の明条件になるように設定したもので、脱出後すぐに泳力測定を行った。DW、LA、DAについては、24、48、72時間の異なる保管時間を設定した。これらの9つの実験区 (DW24、DW48、DW72、LA24、LA48、LA72、DA24、DA48およびDA72) について、それぞれの保管完了後に続いて24時間間隔 (0、24、48、および72時間) で4回の泳力測定を行った。

泳力測定

泳力は、泳力データ集積システム (Power Lab 8/35、フォーストランデューサー MLTFO 50/ST、AD Instruments) を用いて測定した (Burgess et al. 2006)。泳力測定を行う際は実験室内を遮光するとともに、室温を27℃に保った。幼体を遊泳させる容器は海水を29.5℃に保ったプラスチック製水槽 (70 × 40 × 30 cm) とし、各槽の前方には電気スタンド (27W、光量子約30) を設置して幼体の走光性を発揮させた。幼体とフォーストランデューサーはハーネスを使用してつなげた (藤本ら 2018)。測定を開始した午後8時を0時間目とし、LWは0時間目から144時間目 (0、24、48、72、96、120、144時間目) まで、DW、LA、DAは各保管時間 (24、48、72時間の保管) 完了後の0時間目から72時間目 (0、24、48、72時間目) まで測定した。泳力測定は20分間行い、前半の10分間は馴化の時間とし、後半の10分間のうち10-11、15-16、19-20分間の合計3分間のデータを抽出して解析に用いた。測定項目は平均泳

力 (mN) とした。なお、各実験区の保管完了後の全ての実験個体は、測定時間外は水槽 (70 × 40 × 30 cm) に収容してLW (対照区) と同様の明条件下の水中 (水温29.5℃) に置き、全ての泳力測定が終了するまで無給餌で管理した。実験の終了後、卵を輸送した際と逆のルートで幼体を沖縄美ら海水族館へ輸送し、一部を飼育実験用に残した以外の個体は産卵地の砂浜から放流した。

統計解析

目的変数 (SCL、BMおよび平均泳力) の正規性と等分散性を確認した後、両者が示された場合は一元配置分散分析 (ANOVA) を、それ以外の場合はクラスカルウォリス検定 (Kruskal-Wallis test) を用いて解析を行った。平均泳力は、各保管条件 (DW、LA、またはDA) について、各保管期間 (24、48、または72時間) の試行の最初の測定値とLWの最初の測定値を比較し、その後の多重比較はSteel法 (Steel's multiple comparison test) を用いた。統計ソフトは4 step エクセル統計 (オーエムエス社) および Excel Statistics 2012 software package for Windows (株式会社社会情報サービス) を用い、有意水準は5%に設定し、データは平均 ± 標準誤差で示した。

結果

保管条件の違いによる平均泳力の比較

異なる処理の個体間で体サイズに有意な差はなかった (SCL: $F = 0.691$, $P = 0.715$, BM: $F = 0.775$, $P = 0.640$; Table 2)。

脱出直後に水中にいった孵化幼体の平均泳力 (LW: 対照) は、最初の測定時に最も高く (平均値: 91.8 mN)、その後時間経過に応じて漸減した (Fig. 1A、Table 2)。LWの最初の測定値と比べ、DWに48、72時間保管された幼体の最初の平均泳力は有意に低くなった (Fig. 1B: $\chi^2 = 10.225$, $P = 0.017$; 多重比較: $Z = 2.280$, $P = 0.033$, $Z = 2.820$, $P = 0.007$)。DW24、DW48およびDW72で保管された幼体について、最初に測定された平均泳力 (平均値範囲: 43.5-78.6 mN) およびその後の全ての24時間間隔で測定した値 (平均値範囲: 21.6-66.2 mN) は、他の実験区での保管後最初の測定および24、48、72時間後に測定された平均泳力 (平均値範囲: 44.7-103.1

Table 2. Number, size and mean thrust of hatchlings of green sea turtle (*Chelonia mydas*) retained in various conditions of the experiments are DA = under light and in air, DW = under dark and in water, LA = under light and in air, LW = under light and in water, with the hours of retention listed. Abbreviations are BM = body mass (g), and SCL = straight carapace length (mm). Data are shown as mean ± standard error.

Condition	No. of hatchlings	Size		Mean thrust (mN)						
		SCL (mm)	BM (g)	Time lapse (h) after emergence						
				0	24	48	72	96	120	144
LW	23	46.8 ± 0.5	24.4 ± 0.4	91.8 ± 3.6	73.1 ± 5.0	59.6 ± 6.4	54.5 ± 7.5	33.6 ± 12.1	52.1 ± 15.3	37.1 ± 14.3
DW24	7	47.7 ± 0.5	24.0 ± 0.6		78.6 ± 15.9	64.8 ± 16.7	66.2 ± 16.4	55.2 ± 19.1		
DW48	7	46.8 ± 0.5	22.3 ± 0.6			43.5 ± 16.3	29.9 ± 8.4	40.9 ± 17.2	43.5 ± 14.5	
DW72	7	48.2 ± 0.5	25.3 ± 1.1				51.3 ± 14.2	47.1 ± 17.5	30.0 ± 14.6	21.6 ± 13.3
LA24	7	47.4 ± 0.6	24.6 ± 1.1		92.3 ± 5.4	80.4 ± 8.7	76.9 ± 10.0	76.0 ± 8.6		
LA48	7	47.6 ± 1.0	23.9 ± 1.1			84.8 ± 8.0	80.0 ± 16.0	44.7 ± 13.3	68.1 ± 12.8	
LA72	7	46.2 ± 0.5	23.8 ± 0.7				85.7 ± 9.7	85.6 ± 10.1	88.5 ± 5.5	46.2 ± 11.7
DA24	7	46.8 ± 0.6	23.9 ± 1.0		76.7 ± 11.9	90.6 ± 6.3	86.4 ± 11.0	70.9 ± 10.8		
DA48	7	46.4 ± 1.0	23.8 ± 1.1			89.9 ± 6.7	83.0 ± 7.0	72.2 ± 14.3	46.7 ± 13.3	
DA72	7	47.6 ± 1.0	24.6 ± 1.3				103.1 ± 10.6	84.5 ± 10.6	84.2 ± 10.8	69.2 ± 9.0

mN) と比べて概ね低かった。

LA24、LA48、LA72、DA24、DA48およびDA72で保持された孵化幼体について、平均泳力は概ね、最初の測定時に最も高かった (Fig. 1C、E; 平均値範囲: 76.7–103.1 mN)。LAに24、48、または72時間 ($F = 0.405$, $P = 0.751$) またはDAで24、48、または72時間 ($F = 1.732$, $P = 0.176$) 保管された幼体の最初の平均泳力は、脱出直後 (LW: 対照) に水中にいた幼体の結果と比べて有意な差は無かった (Fig. 1D、F)。

また、遊泳実験を開始後の保管中に、幼体が休息している様子を確認した。

考察

保管条件による平均泳力の比較

LW (対照区) の平均泳力は脱出直後が最も大きいことが示され、同様にLAおよびDAの各実験区の泳力測定においても、幼体は概ね、空気中での保持期間後の最初の測定で最高のパフォーマンスを示した。また、空気中 (明暗条件ともに) で72時間まで保管された幼体の最初の平均泳力は、LW (対照区) のそれと比べて有意差は無かった。この結果は、アオウミガメの自然下の産卵巣において孵化幼体に発

現するフレンジーの開始に、時間的な柔軟性があることを示している。そもそも、孵化から脱出までの期間は、産卵巣の微小環境 (例えば、巣の深さ、砂の粒径、含水量等) に応じて変化しうる (Godfrey and Mrosovsky 1997)。孵化幼体は砂中の様々な条件によって脱出に要する時間が異なっても、入水すれば随時フレンジーを発現できる習性を持つことで環境の変化に対応できると考えられる。また、本研究の結果は、アオウミガメ幼体の生存に重要なフレンジー発現を阻害しないためには、明暗の条件に関わらず空気中で保管することが重要であり、空気中であれば少なくとも72時間は悪影響なく保管できることを示している。

本研究の結果は、アオウミガメに関する先行研究とは多少異なる。Pilcher and Enderby (2001) と van de Merwe et al. (2013) は、孵化場で6時間保持した後 (空気中と暗条件)、運動能力 (それぞれ遊泳速度と走行速度) が大幅に低下することを報告したが、本研究では、アオウミガメの幼体は、72時間の空気中 (明暗) での保管後でも有意に低下しないと結論付けた。この違いに関して本研究の保管時間は24から72時間までであり、Pilcher and Enderby (2001) および van de Merwe et al. (2013) の6時間と比較すると長時間に及んだ。彼らの研究では、脱

出後の幼体が休息することなく絶えず動き、疲労が蓄積することで、保管時間に伴って運動能力が低下した可能性が考えられた。しかし、我々の研究では遊泳実験を開始した後の保管中に幼体が休息している様子を確認しており、これによって体力を回復することができたため、先行研究とは異なる結果となったと考えられる。また、本研究においてLA72およびDA24は、それぞれ測定開始から48時間後（平均値：88.5 mN）および24時間後（平均値：90.6 mN）に最高値を示したが、これらも同様に体力の回復をもたらした可能性がある。

一方、空气中に保管された幼体の結果とは対照的に、48時間以上水中に保管された幼体にはフレンジーへの影響が明確に認められた（Fig. 1A、B；

Table 2）。また、DW24、DW48およびDW72で保管された幼体は、保管後の全ての試験で、他の処理における泳力の最低値と同等の低い泳力を示した。これらは、Mejías Balsalobre and Bride (2016) および Okuyama et al. (2009) による、アオウミガメの幼体の運動能力と分散能は、水中での保管の時間に応じて低下したという結果と一致する。

Wyneken (1997) は、孵化幼体が海水に入ると直後にフレンジーが発生することを発見した。したがって、我々の研究で「水中」に区分した個体は、水に入れられた直後にフレンジーを発現した可能性があり、その後、保管と測定の期間を通して再び活性が高まることは無かった。これは、幼体が水中に保管された場合、フレンジー期を容器内で過ごし、

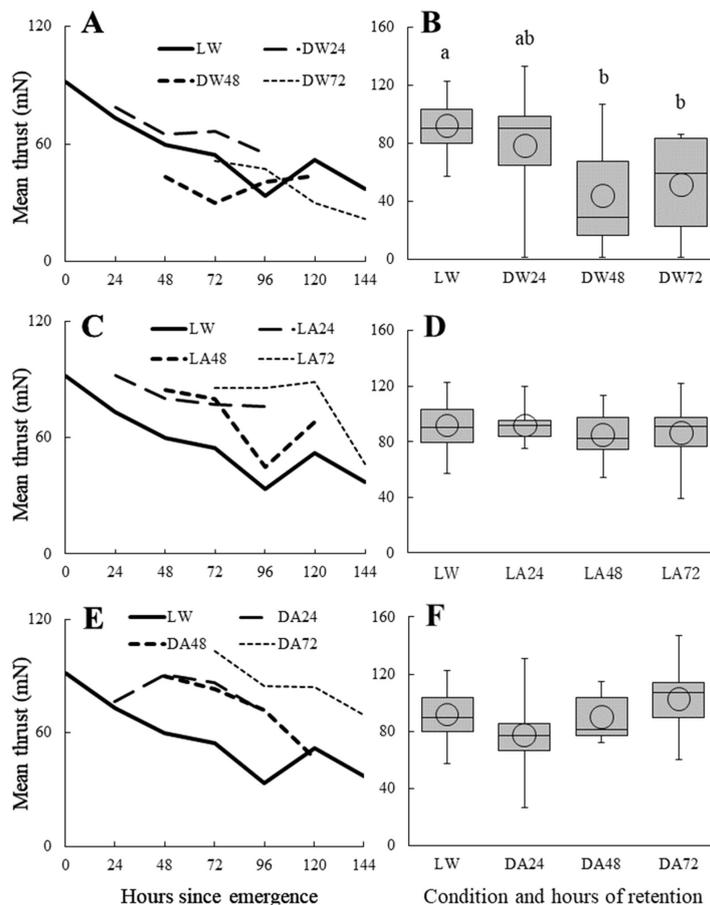


Fig. 1. Changes (A, C, E) and 0 hr values (B, D, F) of mean swimming thrust for hatchlings of green sea turtle (*Chelonia mydas*) following various retention conditions and durations. (A, B) Hatchlings kept in DW for 24, 48, and 72 hr (DW24, DW48 and DW72) compared to hatchlings retained in LW; (C, D) hatchlings kept in LA for 24, 48 and 72 hr (LA24, LA48 and LA72) compared to hatchlings retained in LW; (E, F) hatchlings kept in DA for 24, 48 and 72 hr (DA24, DA48 and DA72) compared to hatchlings retained in LW. (B, D, F) Quartiles (25%, 50%, and 75% of the distribution), mean value and range are represented by three horizontal lines of the box plots, open circle and vertical lines for each box plot, respectively. Difference in letters indicates statistically significant difference at $P < 0.05$ based on Steel's multiple comparison test following Kruskal-Wallis test.

その後、海に放流された後は遊泳活性を再現できない事例となる可能性を示す。したがって、これらの条件下で飼育されている幼体は、沖合の成育場に到達しない、または沿岸で捕食される可能性が高くなる。この結果は、保護または教育のために孵化場で得られたウミガメ孵化幼体を水中に保管してはならないことを示し、孵化場の管理ガイドラインの趣旨と一致する (Mortimer 1999)。

幼体の保管に関する提言

Mortimer (1999) は、孵化幼体を放流する前に水中に保管してはならないことを、孵化場での管理ガイドラインに述べる必要があると提案した。ウミガメは水生生物であることから、その孵化幼体を保管するにあたり水中に入れて保管するのが良いと判断されがちである。しかし本研究により、水中に入れたことを契機にフレンジーが発現し、経時的に泳力が低下してしまうことが示され、この重要なガイドラインを裏付けた。人工孵化場や孵卵器で孵化したばかりの幼体を一時的に保管する必要がある場合は、フレンジーの開始を防ぎ、脱水を回避するために、湿った空気中にそれらを保持することを勧める。

アカウミガメの幼体は、脱出時までには孵化時のBMの約12%を失うとの報告がある (Bennett et al. 1986)。ヒメウミガメ (*Lepidochelys olivacea*) も同様に、孵化から脱出までの4日間で孵化時のBMの約12%もの体重減少を経験する (Clusella Trullas et al. 2006)。しかし、Fujimoto et al. (2020) は、アカウミガメの幼体を湿度90%の空気中で脱出後少なくとも72時間保持してもBMの有意な減少は見られず、泳力の発現にも影響は無かったと結論づけた。

ウミガメの孵化幼体を保管する際にもう1つの考慮すべき点は、限られたエネルギー貯蔵に関することである。幼体は生育場に到着して餌を与え始めるまで、貯蔵された卵黄に頼らなければならない。数日間の保持はこれらの貯蔵卵黄を使い果たすかもしれない。Clusella Trullas et al. (2006) は、ヒメウミガメの幼体の休息中の代謝率が1.95キロジュール (kJ) \cdot d⁻¹であることを示した。これは、砂から脱出しているときの9.88 kJ \cdot d⁻¹という値の約20%である。72時間の保管後、卵黄のエネルギー消費量と水分損失の比率は不明だが、Fujimoto et al. (2020) によれば、脱出を経験していない孵卵器で孵化した幼体は、エネルギー消費量や水分損失がほとんどなく、また、

泳力測定の結果から、遊泳に悪影響を受けることはないと考えられた。しかし、幼体は保管期間中に基本的な代謝のためにエネルギーを消費すると考えられる。オサガメ (*Dermochelys coriacea*) は、成長と運動のために卵黄に75–90 kJの、ヒメウミガメは45 kJのエネルギーを有して脱出する (Jones et al. 2007)。幼体がやがて摂餌を始めることから、これらのエネルギーは主に海岸からの分散移動のために蓄積されたものと言える。しかし、Clusella Trullas et al. (2006) は、ヒメウミガメの孵化幼体が成育場に到達してから高活性で泳ぐ場合、わずか3–6日間しか卵黄の蓄積エネルギーに依存することができないと推定した。

したがって、いかなる条件で行ったとしても、保管することで孵化幼体が外洋に到達する可能性は低減するものと考えられる。先行研究が示すように (Mortimer 1999, Wyneken 2000, Pilcher and Enderby 2001, van de Merwe et al. 2013, Mejías Balsalobre and Bride 2016)、孵化幼体を取り扱う最善の方法は、それを一定期間保管することではなく、生存率を高めるために脱出直後に海に放し、自然な移動を促すことである。しかし、やむを得ない何らかの理由で脱出直後に孵化幼体を放流できない場合においては、放流までの期間、本研究で得られたフレンジーを阻害しない条件を考慮して幼体を保管することにより、悪影響をなるべく軽減して幼体を管理できるものと考えられる。本研究が今後のウミガメの保全活動において活用されることが期待される。

謝辞

本研究を行うにあたり調査にご理解をいただいた沖縄県農林水産部水産課の皆様へ深く感謝致します。終始調査を手伝っていただき、かつ有益な助言と指導をいただいた同施設教授の木下泉博士、同施設技術専門職員の田中幸記博士、四国自然史科学研究センター・横倉山自然の森博物館の谷地森秀二博士、東島昌太郎博士をはじめとするジャコ学研究室のメンバー、甲らモノ研究室のメンバー (小坂將、芦田泉香子、上村海斗、向後蓮太郎、池添駿一、友成実生子の諸氏)、沖縄美ら海水族館のスタッフに心より感謝致します。本研究は、令和元年度科学研究費補助金基盤研究C (課題番号19K06089) により行った。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- Bennett J.M., Taplin L.E. and Grigg G.C. 1986. Sea water drinking as homeostatic response to dehydration in hatchling loggerhead turtles *Caretta caretta*. Comp. Biochem. Phys. Part A: Mol. Integr. Phys. 83: 507-513.
- Booth D.T., Feeney R. and Shibata Y. 2013. Nest and maternal origin can influence morphology and locomotor performance of hatchling green turtles (*Chelonia mydas*) incubated in field nests. Mar. Biol. 160: 127-137.
- Burgess E. A., Booth D. T. and Lanyon J. M. 2006. Swimming performance of hatching green turtles is affected by incubation temperature. Coral Reefs 25: 341-349.
- Chung C.F., Pilcher N.J., Salmon M. and Wyneken J. 2009. Offshore migratory activity of hawksbill (*Eretmochelys imbricata* L) hatchlings. I. Quantitative analysis of activity, with comparisons to green turtles (*Chelonia mydas* L). Chelonian Conserv. Biol. 8: 28-34.
- Clusella Trullas S., Spotila J.R. and Paladino F.V. 2006. Energetics during hatchling dispersal of the olive ridley turtle *Lepidochelys olivacea* using doubly labeled water. Phys. Biochem. Zool. 79: 389-399.
- Davenport J. 1997. Temperature and the life-history strategies of sea turtles. J. Therm. Biol. 22(6): 479-488.
- 藤本竜平・和田真央子・小林翔平・熊澤佳範・斉藤知己. 2018. アカウミガメの孵化幼体遊泳活性の経時変化. 黒潮圏科学 11(2): 152-162.
- Fujimoto R., Kosaka S., Miyake K., Kobayashi Y., Takada K., Kumazawa Y. and Saito T. 2020. Effect of retention conditions and duration on the swim frenzy of hatchling loggerhead turtles. Herp. Conserv. Biol. 15(3): 579-587.
- Godfrey M. and Mrosovsky N. 1997. Estimating the time between hatching of sea turtles and their emergence from the nest. Chelonian Conserv. Biol. 2: 581-585.
- Gyuris E. 1994. The rate of predation by fishes on hatchlings of the green turtle (*Chelonia mydas*). Coral Reefs 13: 137-144.
- Hewavisenthi, S. 1993. Turtle hatcheries in Sri Lanka: boon or bane? Mar. Turtle Newsl. 60: 19-22.
- Ischer T., Ireland K. and Booth D.T. 2009. Locomotion performance of green turtle hatchlings from the Heron Island rookery, Great Barrier Reef. Mar. Biol. 156: 1399-1409.
- Jones T.T., Reina R.D., Darveau C.A. and Lutz P.L. 2007. Ontogeny of energetics in leatherback (*Dermochelys coriacea*) and olive ridley (*Lepidochelys olivacea*) sea turtle hatchlings. Comp. Biochem. Phys. Part A: Mol. Integr. Phys. 147: 313-322.
- Limpus C., Baker J.V. and Miller J.D. 1979. Movement induced mortality of loggerhead eggs. Herpetologica 35: 335-338.
- Lutcavage M.E., Plotkin P., Witherington B. and Lutz P. L. 1997. Human impacts on sea turtle survival. In: Lutz P.L. and Musick J.A. (eds.), The Biology of Sea Turtles, CRC Press, Boca Raton, pp. 387-409.
- Mejías Balsalobre C. and Bride I. 2016. Assessing the impacts of hatcheries on green turtle hatchlings. Mar. Turtle Newsl. 151: 16-21.
- Mortimer J. A. 1999. Reducing threats to eggs and hatchlings: hatcheries. In: Eckert K.L., Bjørndal K. A., Abreu-Grobois F. A. and Donnelly M. (eds.), Research and Management Techniques for the Conservation of Sea Turtles, Publication No. 4, Species Survival Commission, Marine Turtle Specialist Group, International Union for the Conservation of Nature, Gland, pp. 175-178.
- Okuyama J., Abe O., Nishizawa H., Kobayashi M., Yoseda K. and Arai N. 2009. Ontogeny of the dispersal migration of green turtle (*Chelonia mydas*) hatchlings. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 379: 43-50.
- Pankaew K. and Milton S. L. 2018. The effects of extended crawling on the physiology and swim performance of loggerhead and green sea turtle hatchlings. J. Exp. Biol. 221(1): jeb165225. <https://doi.org/10.1242/jeb.165225>.
- Pilcher N.J. and Enderby S. 2001. Effect of prolonged retention in hatcheries on green turtle (*Chelonia mydas*) hatchling swimming speed and survival. J. Herpetol. 35(4): 633-638.
- Rajakaruna R.S., Ekanayake E.L. and Kapurusinghe T. 2013. Sea turtle hatcheries in Sri Lanka: their

- activities and potential contribution to sea turtle conservation. *Indian Ocean Turtle Newsl.* 17: 2-11.
- Saito T., Wada M., Fujimoto R., Kobayashi S. and Kumazawa Y. 2019. Effects of sand type on hatch, emergence, and locomotor performance in loggerhead turtle hatchlings. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 511: 54-59.
- Shanker K., Choudhury B.C. and Andrews H.V. 2003. *Sea Turtle Conservation: Beach Management and Hatchery Programmes*, Centre for Herpetology/Madras Crocodile Bank Trust, Mamallapuram, Tamil Nadu.
- van de Merwe J., Ibrahim K. and Whittier J. 2013. Post-emergence handling of green turtle hatchlings: improving hatchery management worldwide. *Anim. Conserv.* 16: 316-323.
- 和田真央子・藤本竜平・大山淳也・小林翔平・熊澤佳範・齐藤知己. 2017. 高知県仁淀川河口浜（新居・仁ノ海岸）におけるアカウミガメの産卵生態および産卵場所の砂の粒径について. *黒潮圏科学*10(2): 136-147.
- Whelan C.L. and Wyneken J. 2007. Estimating predation levels and site-specific survival of hatchling loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) from south Florida beaches. *Copeia* 2007: 745-754.
- Witherington B. and Salmon M. 1992. Predation on loggerhead turtle hatchlings after entering the sea. *J. Herpetol.* 26: 226-228.
- Witherington B. and Witherington D. 2015. *Our Sea Turtles: A Practical Guide for the Atlantic and Gulf, from Canada to Mexico*, Pineapple Press, Inc., Sarasota.
- Wyneken J. 1997. Sea turtle locomotion: mechanisms, behaviour and energetic. *In: Lutz P.L. and Musick J. A. (eds.), The Biology of Sea Turtles*, CRC Press, Boca Raton, pp. 165-198.
- Wyneken J. 2000. The migratory behavior of hatchling sea turtles beyond the beach. *In: Pilcher N. and Ismail G. (eds.), Sea Turtles of the Indo-Pacific*, ASEAN Academic Press, London, pp. 121-129
- Wyneken J., Madrak S.V., Salmon M. and Foote J. 2008. Migratory activity by hatching loggerhead sea turtles (*Caretta caretta* L.): evidence for divergence between nesting groups. *Mar. Biol.* 156: 171-178.
- Wyneken J. and Salmon M. 1992. Frenzy and postfrenzy swimming activity in loggerhead, green, and leatherback hatching sea turtles. *Copeia* 1992(2): 478-484.
- Influence of retention conditions and duration on the swim frenzy in green sea turtle hatchlings**
- Toshiki Hatakenaka¹⁾, Kanari Miyake²⁾, Kohki Takada³⁾, Takahide Sasai⁴⁾, Shingo Fukada⁴⁾, Muneyuki Kayou⁵⁾, Takahiro Obuchi⁴⁾, Ken Maeda⁴⁾, Masae Makabe⁴⁾, Isao Kawazu^{4,6)}, and Tomomi Saito^{3)*}
- ¹⁾ Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Kochi University, Kochi, Kochi 780-8520, Japan
- ²⁾ Yonago Office, Aratani Civil Engineering Consultants Co., Ltd., Yonago, Tottori 689-3403, Japan
- ^{3)*} Usa Marine Biological Institute, Kochi University, Tosa, Kochi 781-1164, Japan
- ⁴⁾ Okinawa Churaumi Aquarium, Ishikawa, Motobu, Okinawa 905-0206, Japan
- ⁵⁾ Sea Turtle Association of Japan, 5-17-18 Nagaomotomati, Hirakata, Osaka 573-0163, Japan
- ⁶⁾ Okinawa Churashima Research Center, 888 Ishikawa, Motobu, Okinawa 905-0206, Japan

Abstract

Temporary retention of sea turtle hatchlings after emergence may compromise their frenzy, which is a period of active swimming being essential for their survival in its early life history. In order to study how to

handle sea turtles raised in hatcheries, we determined the influences of retaining hatchlings of endangered green sea turtle (*Chelonia mydas*) under various conditions (dark or light, and air or water) and for various periods (24, 48, and 72 hr) on mean swimming thrust compared at 24-hr intervals during the frenzy period up to 72 hr. The initial mean thrust of hatchlings placed in water after emergence (control) was comparable to that of hatchlings stored in air (light or dark) for 24, 48, or 72 hr. However, the mean thrust of hatchlings stored in water for 24, 48, and 72 hr was significantly lower than that of the

individuals in the control treatment. The results of this study indicate that retaining hatchlings in air for up to 72 hr after emergence can delay the swim frenzy period of them without displaying compromised swimming following retention. Conversely, storing hatchlings in water for the same duration of time may significantly impair their subsequent ability to swim afterwards, increasing the risk of predation when they enter the sea.

Key words: *Chelonia mydas*, frenzy, mean swimming thrust, threatened species, hatchery, conservation