

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K06089

研究課題名(和文) タイマイとアカウミガメのフレンジー(脱出直後の興奮状態)の解明と保全策の提示

研究課題名(英文) Elucidation of frenzy and proposal of conservation plan in hawksbill and loggerhead turtles

研究代表者

斉藤 知己(Saito, Tomomi)

高知大学・教育研究部総合科学系複合領域科学部門・教授

研究者番号：80632603

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではウミガメ各種が選好する産卵深度に基づく孵卵温度の変動に対する応答を調べ、各種に最適な孵卵条件を究明した。孵卵温度 $29^{\circ}$ を基準として一定、 $\pm 1^{\circ}$ 及び $\pm 2^{\circ}$ の日内変動幅の3条件で孵卵した場合、アカウミガメは $\pm 1^{\circ}$ 区が、タイマイでは一定温が最も孵化率が高かった。一方、鱗式変異率(背甲の鱗の配列が通常と違う個体の百分率)はタイマイで変動幅に伴い高くなった。よって産卵深度の浅いタイマイでは卵が温度変動の負の影響を受け易い。タイマイは砂浜の開けた場所か植生帯内部で産卵するという異なる嗜好性が報告されてきたが、タイマイの産卵地砂浜では温度変動の緩衝効果の高い海岸植生を保持する事が望ましい。

研究成果の学術的意義や社会的意義

多くの卵生爬虫類で知られる、孵卵温度により誘発される孵化幼体の表現型の違い(体サイズ・形、性、運動能力等)は、適応度の違いをもたらす、個体群の存続に重要な役割を果たすと考えられている。本邦の海岸で産卵が確認されるウミガメ(アオウミガメ、アカウミガメ、タイマイ)は異なる産卵深度を選好するが、上層ほど平均温度は高く、日内変動の振幅は大きく、各種で孵卵温度への感受性が異なる可能性がある。本研究の成果は各種で孵卵温度に伴う表現型の違いを調べ、これに関わる生理学的機構を解明し、各種に最適な孵卵条件を究明する。その結果に基づき、従来の保護活動を見直して新しい指針を作り、ウミガメの資源回復に貢献できる。

研究成果の概要(英文)：We investigated the responses of variations of incubation temperatures based on the nesting depths and the optimal incubation conditions for various sea turtles. When eggs are incubated under 3 conditions: constant  $29^{\circ}$ ,  $\pm 1^{\circ}$  C and  $\pm 2^{\circ}$  C diurnal fluctuations, the hatching success rates are highest at  $\pm 1^{\circ}$  C for loggerhead turtles and at constant  $29^{\circ}$  C for hawksbill turtles. While, the rate of non-modal scute pattern (percentage of individuals with unusual arrangement of scutes on carapace) increased with the range of temperature fluctuation in hawksbill turtles. Therefore, the eggs of hawksbill turtles with shallow nesting depths are susceptible to temperature fluctuations. It has been reported that hawksbill turtles have different preferences for nesting in open areas of sandy beaches or within vegetation zones. However, it is desirable to maintain coastal vegetation, which has a high buffering effect against temperature fluctuations, on sandy beaches where hawksbill turtles nest.

研究分野：資源保全学

キーワード：絶滅危惧種 フレンジー ウミガメ 孵卵条件 孵化幼体 表現型 生存率

## 1. 研究開始当初の背景

ウミガメ類はいずれも国際自然保護連合の絶滅危険度ランクで上位に挙げられ、国際的に喫緊な保全の必要性が叫ばれている。特に、タイマイは我が国の伝統産業ベツ甲の原料として乱獲され、危機的絶滅寸前種に陥った。タイマイの保全と共に伝統産業の存続を図るならば、本種の生態的知見の充実と生息環境の回復、人工環境での繁殖と育成の技術の確立等が必要である。また、絶滅危惧種アカウミガメの北太平洋系群は日本の本州以南の海岸を唯一の産卵場とする為、我が国は両種の保全に重大な責任を担っている。近年、多くのウミガメ産卵地では砂浜の退縮が著しく、高波発生時には産卵巣の流失が危ぶまれる為、地域の保全団体が卵を孵化場に移植し、孵卵から幼体の放流に至るまでの管理を行っている。本来、ウミガメの保全活動は海岸での自然孵化を基本とするべきであるが、それらの地で自然回復が見込まれない現状では、人工環境での管理も有効な手段の一つとして発展させる必要がある。しかし、孵卵条件等についての指針は不十分で改善の余地が多い。例えば、環境省「ウミガメ保護ハンドブック」の現場実践ガイド欄では孵卵温度は26～32 と大まかな指示にとどまり、自然下で観察される日内温度変動も考慮されていない。

さらに、最近では孵卵方法を評価する基準として孵化率に言及するだけでは不十分である事が分かってきた。Booth & Evans (2011) はアオウミガメの幼体で、孵卵温度が低く、かつ環境水温が高いとその泳力がより高まる事を示した。これは実に重要な情報で、卵と幼体の管理条件により、幼体の表現型ばかりかフレンジー（脱出直後の活発な興奮状態）の傾向までも変わるのである。また、ウミガメ放流事業の多くは、フレンジーが短期で収束する性質に配慮無く、人間側の都合を優先し、週末の昼間に多くの観光客を集めて行われる。しかし、動きが緩慢になった幼体を放流する様な事業は保全をうたいながらも、その生残の可能性を著しく低下させていると言わざるを得ない。ウミガメ放流事業の賛否に関し、これまで幼体の運動活性の強度や持続性を説明する定量データを採る方法が無かった為に、議論は長らく平行線を辿ってきた。従来ウミガメ保全活動の技術と評価の方法は概して不十分で、孵卵条件等の点から見直す必要がある。特に、フレンジーに着目してその強度や持続性を最適にする孵卵条件を明らかにし、その効果を活かす放流の方法を提示できれば、幼体の生残を高め、資源保全に役立つ事ができる。

アカウミガメ幼体は南日本から黒潮に乗じて北太平洋外洋に回遊するが、タイマイの初期生活史に関しては不明な点が多い。タイマイ幼体が生まれた浜のリーフに留まっていたという観察例から (Witzell, 1983) アカウミガメと比べて外洋生活期間が短く、フレンジーの傾向も異なると考えられる。また、各種が選好する産卵深度も異なり、卵塊中心部はアオウミガメで 50cm、アカウミガメで 40cm、タイマイで 30cm である (図 1 上)。しかし、自然海岸では上層ほど砂中温は高く、日内変動は大きい。対して下層ほど砂中温は低く、変動は小さい (図 1 下)。この様に自然下の砂中温は一日で大きく変動するが、従来は一定温度の影響のみを考慮した研究がほとんどである。よって、両種の孵卵温度の日内変動に対する応答をフレンジー発現の面から調べ、各種に最適な孵卵条件を究明したい。ウミガメ類に類似した繁殖生態の種として淡水産スッポン類を用いた研究では、孵卵温度に日内変動があると運動活性の高い幼体が見られる事が示されている (Ashmore & Janzen, 2003)。ウミガメ類も同じ傾向とかがえるが、その知見は皆無である。

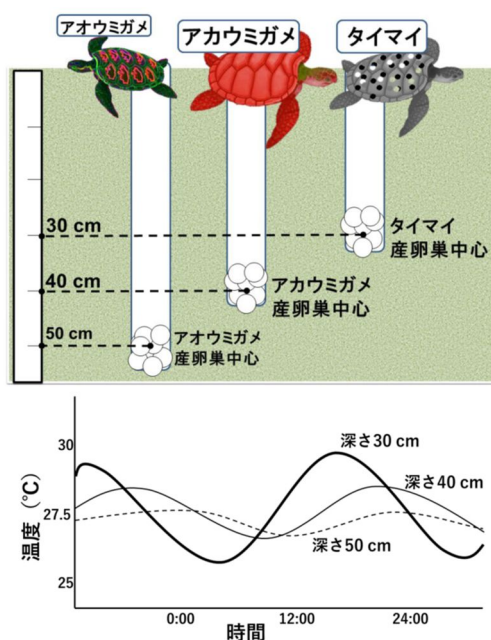


図 1. 各種産卵巣中心深度(上).  
各深度の砂中温日内変動例(下).

## 2. 研究の目的

本研究は、絶滅危惧種ウミガメ類の繁殖生態の相違に伴う孵卵温度と日内変動に対する応答を調べ、1) 各種のフレンジーの特性を把握する事、2) 各種のフレンジー効果が最大となる孵卵条件を究明する事を目的とする。この研究に基づき、孵卵条件から放流の方法までを見直し、幼体のフレンジー効果を高める適切な卵と幼体の管理方法を提案し、全国のウミガメ保護活動の技術向上に結び付けることを目指す。

### 3. 研究の方法

(方法) 本研究では毎年、孵卵条件を変えて実験を行う。

- (1) 卵の確保 アカウミガメ卵は高知海岸の上陸産卵痕跡調査で発見して年4巢を確保し、タイマイ卵、アオウミガメ卵は沖縄美ら海水族館で年4巢(計400卵)程度を確保し、沖縄から輸送する。いずれも産卵後24時間以内に実験所(高知県土佐市)に設置した恒温恒湿孵卵器に収容する。
- (2) 孵卵実験 平均孵卵温度を、初年度は臨界温度(性比が変わる温度、それより高温で雌、低温で雄)の29.0、次年度以降は雌雄産生温度の31.0、27.0とし、これに日内変動幅(0、±1、±2)を組み合わせた条件で孵卵する。

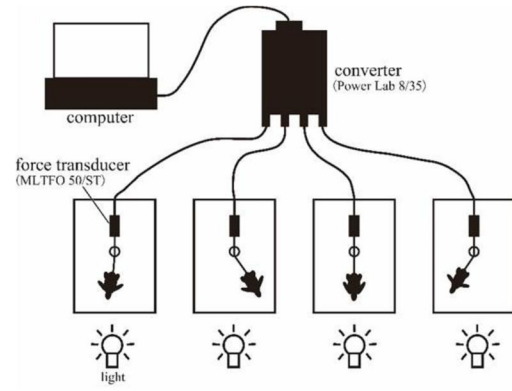


図2. 泳力収録解析システム.

- (3) 形態・フレンジー測定 幼体を用いて次の項目の測定を行う。各孵卵条件につき、形態測定は全個体、フレンジーと血中代謝物測定は4個体で実施する。この作業は学内動物倫理委員会の承諾を受けている。
  - ・形態計測： 幼体の甲長・甲幅・体重を計測する。
  - ・3m走： 歩道(傾斜10度、3m)を走行させて速度を測る。
  - ・起き上がり実験： 幼体を砂面に転倒させて置き、制限時間内に正位に戻れるかを調べる。上限6回の試行で3回成功するまで繰り返し、成功回数により得点を与える。幼体が砂浜を歩行する際に転倒しても、元に戻って再び歩き出す能力をイメージしている。
  - ・泳力測定： 泳力収録解析システム(図2)にてコンバーターに接続したフォーストランスデューサーから糸を伸ばし、幼体の背甲に付けて水槽内で泳がせ、孵化直後から3日目までの泳力データを記録する。遊泳行動はパワーストローク、犬かき、休息の3類型に分け、特に、パワーストロークの泳力データから、平均泳力、ストローク数等をもとめ、経過時間に伴う泳力の持続性を調べる。
- (4) 血中代謝物測定 各孵卵条件の幼体のフレンジーに伴う糖や脂肪の代謝、疲労の程度を明らかにする。マイクロプレートリーダー解析ソフトシステムにて血中グルコース、遊離脂肪酸、乳酸濃度を測定して孵卵条件ごとにデータを比較し、適正な孵卵温度と日内変動幅について考察する。

### 4. 研究成果

- ・孵化率・鱗式変異率の比較： 孵卵温度29を基準として一定(±0)、±1及び±2の日内変動幅の3条件で孵卵した場合、アカウミガメは±1区が、タイマイでは一定温(±0)が、最も孵化率が高かった(図3上)。一方、鱗式変異率(背甲の鱗の配列が通常と違う個体の百分率)はタイマイで変動幅に伴い高くなった(図3下)。これより、産卵深度の浅い本種では卵が温度変動の負の影響を受け易く、各種に孵卵条件の指針が必要なのは明白である。

危機的絶滅寸前種であるタイマイの産卵に関する観察記録は不足している為、かつては砂浜の開けた場所か植生帯内部で産卵するという異なる嗜好性が報告されてきた。しかし開発等により植生帯を失った砂浜では開けた場所で産卵する以外選択肢が無い。むしろ自然度の高い砂浜の植生内で産卵する事が本来の産卵生態であろう。従ってタイマイの産卵地砂浜では温度変動の緩衝効果の高い海岸植生を保持する事を強く主張したい(原稿準備中)。

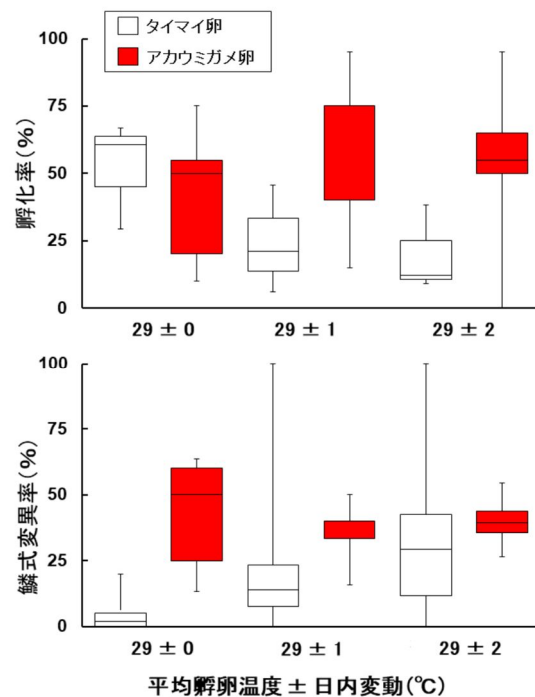


図3. 異なる日内変動で孵卵した場合のアカウミガメとタイマイの孵化率(上)と鱗式変異率(下).

- ・ウミガメ孵化幼体の一時保管の影響：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、アカウミガメとアオウミガメ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。これは、両種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。これらの結果から、孵化幼体を得てもただちに海に返すのが望ましく、やむをえず、これを保持する場合には、海水中には収容せず、湿度を保持した空気中で保管することが望ましいと考えられる（雑誌論文(1)、(2)）。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 畠中 俊暉、三宅 香成、高田 光紀、笹井 隆秀、深田 晋悟、嘉陽 宗幸、小淵 貴洋、真栄田 賢、真壁 正江、河津 勲、斉藤 知己	4. 巻 14(2)
2. 論文標題 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	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 黒潮圏科学	6. 最初と最後の頁 103-112
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Fujimoto, R., Kosaka, S., Miyake, K., Kobayashi, Y., Takada, K., Kumazawa, Y., Saito, T.	4. 巻 15(3)
2. 論文標題 Effect of retention conditions and duration on the swim frenzy of hatchling loggerhead turtles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Herpetological Conservation and Biology	6. 最初と最後の頁 579-587
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 金城 芳典、谷地森 秀二、谷岡 仁、渡部 孝、吉川 貴臣、斉藤 知己、美濃 厚志、坂本 美々、笠木 靖	4. 巻 14
2. 論文標題 高知県における両生・爬虫類の分布状況	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 四国自然史科学研究	6. 最初と最後の頁 83-148
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Munoz, C., Saito, T., Vermeiren, P.	4. 巻 671
2. 論文標題 Cohort structure and individual resource specialization in loggerhead turtles, long-lived marine species with ontogenetic migrations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Marine Ecology Progress Series	6. 最初と最後の頁 175-190
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3354/meps13767	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 金城 芳典、斉藤 知己	4. 巻 15
2. 論文標題 高知県産両生爬虫類リスト	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 四国自然史科学研究	6. 最初と最後の頁 74-76
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計20件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 横井 隆・笹井隆秀・小淵貴洋・真栄田賢・水落夏帆・河津勲・斉藤知己
2. 発表標題 タイマイにおける孵卵温度と遊泳水温が孵化および幼体の運動性に及ぼす影響
3. 学会等名 第32回日本ウミガメ会議 (オンライン大会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 芦田泉香子・向後蓮太郎、松田 乾・森昌範・伊藤美穂・栗田正徳、小林翔平、熊澤佳範、斉藤知己
2. 発表標題 アカウミガメ幼体の孵化から脱出、走行および遊泳における代謝について
3. 学会等名 第31回日本ウミガメ会議 (オンライン大会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 向後蓮太郎・芦田泉香子、松田乾・森 昌範・伊藤美穂・栗田正徳、熊澤佳範、斉藤知己
2. 発表標題 アカウミガメ幼体の孵化から脱出の過程における行動
3. 学会等名 第31回日本ウミガメ会議 (オンライン大会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高田光紀・三宅香成・河津勲・笹井隆秀・深田晋吾・小淵貴洋・真栄田賢・真壁正江・斉藤知己
2. 発表標題 なぜタイマイは植生下を好んで産卵をするのか～孵卵温度の日内変動がタイマイの孵化および幼体の成長に及ぼす影響～
3. 学会等名 第30回日本ウミガメ会議（みなべ大会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高田光紀・三宅香成・河津勲・笹井隆秀・深田晋吾・小淵貴洋・真栄田賢・真壁正江・斉藤知己
2. 発表標題 タイマイにおける孵卵温度の日内変動の影響について
3. 学会等名 第58回日本爬虫両棲類学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 斉藤 知己
2. 発表標題 産卵成功率で評価する高知県の砂浜
3. 学会等名 2018年土佐清水ジオパーク構想学術研究支援事業研究発表会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 畠中 俊暉、三宅 香成、高田 光紀、河津 勲、笹井 隆秀、深田 晋吾、小淵貴 洋、真栄田 賢、真壁 正江、斉藤 知己
2. 発表標題 アオウミガメ孵化幼体の一時保管が遊泳活性に及ぼす影響
3. 学会等名 第30回日本ウミガメ会議（みなべ大会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池添 駿一、高田 光紀、小坂 將、三宅 香成、芦田 泉香子、向後 蓮太郎、斉藤 知己、熊沢 佳範
2. 発表標題 卵数の違いがアカウミガメの産卵巣における孵化、幼体の形態・運動性に与える影響
3. 学会等名 第30回日本ウミガメ会議（みなべ大会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小坂 將、芦田 泉香子・向後 蓮太郎、熊沢 佳範、斉藤 知己
2. 発表標題 脱出後の一時保管がアカウミガメ孵化幼体の運動性に与える影響について
3. 学会等名 第30回日本ウミガメ会議（みなべ大会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三宅 香成、高田 光紀、河津 勲、笹井 隆秀、深田 晋吾、小淵 貴洋、真栄田 賢、真壁 正江、斉藤 知己
2. 発表標題 孵卵温度の日内変動がアオウミガメの孵化および幼体の運動と成長率に与える影響について
3. 学会等名 第30回日本ウミガメ会議（みなべ大会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 友成 実生子、小坂 將、三宅 香成、斉藤 知己、木下 千尋、宮山 大、檜崎 友子、佐藤 克文
2. 発表標題 高知県土佐湾に來遊するアカウミガメの衛星追跡
3. 学会等名 第30回日本ウミガメ会議（みなべ大会）
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 向後 蓮太郎、芦田 泉香子、高田 光紀、小坂 將、三宅 香成、藤本 竜平、和田 真央子、小林 翔平、斉藤 知己、熊沢 佳範
2. 発表標題 高知海岸におけるアカウミガメの産卵と土佐湾の表層水温の関係
3. 学会等名 第30回日本ウミガメ会議（みなべ大会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小坂 將、芦田 泉香子、向後 蓮太郎、熊沢 佳範、斉藤 知己
2. 発表標題 アカウミガメ孵化幼体における脱出後の保管が運動活性に与える影響
3. 学会等名 第58回日本爬虫両棲類学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 芦田 泉香子、向後 蓮太郎、小坂 將、小林 翔平、熊沢 佳範、斉藤 知己
2. 発表標題 アカウミガメ孵化幼体の遊泳と代謝に与える脱出の効果
3. 学会等名 第58回日本爬虫両棲類学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 向後 蓮太郎、芦田 泉香子、小坂 將、熊沢 佳範、斉藤 知己
2. 発表標題 アカウミガメ孵化幼体の脱出行動と砂中温度の関係について
3. 学会等名 第58回日本爬虫両棲類学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 友成 実生子、斉藤 知己、田中 優衣、米田 彩花、千原 周
2. 発表標題 四国太平洋岸に來遊するアカウミガメ個体群の血液生化学的分析
3. 学会等名 第32回日本ウミガメ会議（オンライン大会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kobayashi, S., Saito, T., Kondo, S., Watanabe, G.
2. 発表標題 Effects of incubation temperature on the sea turtle hatchling phenotype: implication for the conservation of sea turtles under global warming
3. 学会等名 The 14th Asian Society of Conservation Medicine / 27th Japanese Society of Zoo and Wildlife Medicine 2021 Joint Conference, Front line of One Health in Asia, online and onsite hybrid meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Briscoe, D., Tomaszewicz, T., Seminoff, J., Parker, D., Balazs, G., Polovina, J., Kurita, M., Okamoto, H., Saito, T., Rice, M., Santos, B., Crowder, L.
2. 発表標題 Small Turtles, Big Ocean: Dynamic Thermal Corridor Connects Loggerhead Sea Turtles ( <i>Caretta caretta</i> ) Across the North Pacific
3. 学会等名 Ocean Sciences Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山口 永晏、横井 瞳、斉藤 知己
2. 発表標題 アカウミガメ孵化幼体の生存率を高める最適な孵卵温度の検討
3. 学会等名 第33回日本ウミガメ会議（やんばる大会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平野 晴真、千原 周・杉浦 功輝、斉藤 知己
2. 発表標題 高知県室戸市の定置網で混獲されたウミガメに見られるフィプロパピロマ罹患
3. 学会等名 第33回日本ウミガメ会議（やんばる大会）
4. 発表年 2022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	河津 勲  (Kawazu Isao)  (50721750)	一般財団法人沖縄美ら島財団(総合研究センター)・総合研究センター 動物研究室・上席研究員    (88003)	

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
---------	---------