

令和 2 年 6 月 3 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H06158

研究課題名（和文）紅海・アンダマン海におけるジュゴンの摂餌戦略比較 潮汐変動の影響に関する研究

研究課題名（英文）Comparison of foraging strategy of dugongs in Red Sea and Andaman Sea - Effects of tidal change-

研究代表者

市川 光太郎 (Ichikawa, Kotaro)

京都大学・フィールド科学教育研究センター・准教授

研究者番号：70590511

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 23,310,000円

研究成果の概要（和文）：ジュゴンは低潮時に干出する潮間帯海草も場や常に水面下にある潮下帯海草も場で摂餌する。餌場として利用可能な時間が短い潮間帯で摂餌するのはなぜだろうか。潮間帯海草も場と潮下帯海草も場それぞれにおいてジュゴンの摂餌のタイミングを比較した。潮間帯海草も場では大潮の夜間に摂餌頻度が高くなった。潮下帯では小潮の夜間に頻度が高くなった。また、両も場において、水深1-1.5 mのときに摂餌頻度が高くなった。摂餌は基本的に夜間に多く、潮間帯と潮下帯で摂餌のタイミングが異なる可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ジュゴンの摂餌様式の一部が明らかになった。従来の手法では明らかにできなかった情報を取得することができた。これにより、ジュゴンの生息海域を利用する現地コミュニティによる保護区設定に資する情報を提供することができた。2020年2月に実施された現地コミュニティ主催の会議で、摂餌の場所やタイミングに応じて保護区設定を検討する案が提示された。研究成果が実際の保護区設定に加味された。このような情報は世界各地におけるジュゴン生息海域の保護策検討に貢献する。

研究成果の概要（英文）：Dugongs feed in both intertidal and subtidal seagrass beds. Why would they feed in the intertidal seagrass beds where accessible time is limited. We compared feeding times in both intertidal and subtidal seagrass beds. Feeding was most frequent during night times in spring tides in the intertidal seagrass bed and in neap tides in the subtidal seagrass bed. In both of the seagrass beds, the feeding was most frequent when the water depth was 1-1.5 m. These results suggest that dugongs feed mainly during night times and the timing of their feeding differs between the intertidal and the subtidal seagrass beds.

研究分野：水中生物音響学

キーワード：受動的音響観察 潮下帯海草も場 潮間帯海草も場

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

絶滅危惧種ジュゴン *Dugong dugon* は熱帯から亜熱帯の沿岸海域に生息し、干潟など浅海の花藻場で摂餌する。海棲哺乳類では唯一の草食動物である。海棲哺乳類の生態研究において、草食動物の情報が不足している現状は憂慮すべきであり、ジュゴンが絶滅の危機に瀕している今を逃せば、基礎研究の機会は永遠に失われてしまう可能性が高い。ジュゴンは世界的に絶滅が危惧されている (Marsh et al. 2002, UNEP) が、日本の沖縄本島周辺は生息域の北限 (個体数 3 頭) であるため、わが国がジュゴンの生態解明に負う責任は大きい。

ジュゴンが摂餌をしたあとは地面が露出するため、ジュゴンが盛んに摂餌を行う海草藻場では単一の大きな藻場がいくつかの小さな藻場に分割されることになる。この結果、ジュゴンの摂餌は藻場の生物多様性に影響すると考えられている (Nakaoka et al. 2002, Ecological Research)。本研究では、ジュゴンの生存に直接関与し、藻場生態系に間接的に関与する摂餌行動に着目した。

ジュゴン保護のためには、ジュゴンが生存するために最も重要な摂餌を行う海域を特定し、保護区に設定することが望ましい。また、ジュゴンの餌となる海草が繁茂する海草藻場は、沿岸漁業にとっても重要な漁場でもあるため、ジュゴンの摂餌生態に関する研究は沿岸漁業とジュゴン保護の両立に貢献する。

2. 研究の目的

ジュゴンが「いつ、どこで、どれだけ」摂餌しているか解明し、利用頻度と摂餌量および環境条件などから各調査地における摂餌場の利用特性を相対比較する。また、ジュゴンの行動パターンを既知のモデルにあてはめ、摂餌戦略を推測する (下記 I、II)。摂餌戦略を海域間で比較し、特に潮汐変動と船舶騒音の影響について考察する (下記 III)。調査地は、潮間帯と潮下帯ともに海草藻場が発達し、かつ人的攪乱が大きいタイ国・タリボン島とする。社会情勢悪化によりスーダンにおける調査は実施が極めて困難であったため、調査地はタリボン島のみとした。

- I. 潮間帯海草も場におけるジュゴンの摂餌場利用特性
- II. 潮下帯海草も場におけるジュゴンの摂餌場利用特性
- III. 両も場における摂餌戦略

3. 研究の方法

タリボン島の潮間帯および潮下帯海草も場に、小型水中音録音機 (Ocean Instruments 社) を合計 11 台 (潮間帯 2 台、潮下帯 9 台) 設置した。潮間帯も場では無人航空機による空撮を実施し、画像合成によっても場全体の写真を取得した。また、タリボン島の西側を除く沿岸域をカバーするように 10 台の録音機を配置し、ジュゴンと船舶のモニタリングを実施した。特にジュゴンがよく鳴くことがわかっている海域ではさらに 3 台の録音機を設置した。調査は、天候が安定したタリボン島のジュゴンの密度が高い時期 (9 月 - 2 月) に実験を行った。

水中音データから、ジュゴンの摂餌音を自動検出するプログラムを構築した。摂餌音の時刻と回数から、ジュゴンが摂餌場に来遊したタイミングを推定した。

合成したも場写真からジュゴンの摂餌痕を自動抽出するプログラムを構築した。摂餌痕の分布と方向を推定した。

水中音データからジュゴン鳴音を検出するプログラムを構築した。鳴音の時刻と回数からジュゴンの発声が活発になる場所と時刻を推定した。

水中音データから船舶音を検出するプログラムを構築した。また、音響特性に基づく船種の分類プログラムを構築した。それぞれの船種について、時刻と回数から船種ごとに往来が活発になる場所と時刻を推定した。

4. 研究成果

< 摂餌音検出プログラム >

2018 年 1 月にタイ国トラン県タリボン島の潮間帯海草も場において約 9 日間の受動的音響観察を実施した。自動水中音録音機 AUSOMS-mini2 を海草も場に埋設し、48 kHz で連続録音をした。得られた水中音データからジュゴンの摂餌音を自動的に抽出するソフトウェアを構築した。本ソフトウェアはまず広帯域のパルス音群をオープニング処理などにより検出し、その音圧や時間間隔に関する自己相関係数に閾値をかけることで摂餌音を検出する。精度検証の結果、録音されていた摂餌音の 100% を検出し、誤った検出は 0% であった。

< 摂餌痕検出プログラム >

深層学習により摂餌痕領域を自動検出するモデルを開発した。自動検出結果と目視観察結果を比較し、モデルの評価を行った。摂餌痕の自動検出精度は、検出率 75.2 %、誤検出

率 12.9 %であった。

< 船舶音検出プログラム >

2019 年 9 月（雨季）および 2020 年 2 月（乾季）にタイ国・タリボン島沿岸域にのべ 10 箇所以上水中録音機を設置し、約 1 ヶ月間に亘る音響観察を行った。目視観察によって船舶音と種類の紐付けを行った。教師あり学習による分類の結果、船舶音に関して、検出率 72%、誤検出率 19%であった。船種分類について、正分類率 84%、誤分類率 16%であった。

< 潮間帯海草も場におけるジュゴンの摂餌場利用特性 >

2019 年 9 月（雨季）および 2020 年 2 月（乾季）にタイ国トラン県タリボン島の潮間帯海草も場において約 24 日間の無人航空機および小型録音機による観察を実施した。無人航空機によって潮間帯海草も場の写真を撮影し、250m × 140m の範囲の画像を合成した。自動水中音録音機 SoundTrap を海草も場に埋設し、48 kHz で連続録音をした。

ジュゴンの摂餌音は大潮期間には日中に記録され、小潮期間には夜間に記録された。潮間帯海草も場におけるジュゴンの摂餌について重要な情報が得られた。

< 潮下帯海草も場におけるジュゴンの摂餌場利用特性 >

2019 年 9 月（雨季）および 2020 年 2 月（乾季）にタイ国トラン県タリボン島の潮下帯も場において約 24 日間の小型録音機による観察を実施した。

ソフトウェアによる検出結果から、潮下帯海草も場には少なくとも 7 個体が同時に摂餌来遊することが明らかになった。摂餌は夜間に偏り、また小潮期間のほうが大潮期間よりも摂餌頻度が高かった。摂餌音の数を応答変数、水深、時間、潮汐差を説明変数とする一般化線形モデルによる変数選択を行った結果、時間、潮汐差及び時間:潮汐差の交互作用項を含めたモデルが最適なモデルとなった。

< 潮間帯および潮下帯海草も場におけるジュゴンの摂餌場利用特性 >

潮間帯も場では大潮時、潮下帯も場では小潮時に摂餌イベント数のピークが観察され、隣接する二つの藻場間で摂餌様式が異なることが示唆された。

タリボン島北部の運河に船舶の往来が集中していることが示された。タリボン島北部にはジュゴンの母仔ペアが利用する潮間帯海草も場があるため、今後保護区を設定するうえで、ジュゴンと船舶それぞれが利用する時間帯に注意を払う必要があると考えられる。

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 4件）

1. 著者名 Tanaka Kotaro, Ichikawa Kotaro, Nishizawa Hideaki, Kittiwattanawong Kongkiat, Arai Nobuaki, Mitamura Hiromichi	4. 巻 45
2. 論文標題 Differences in Vocalisation Patterns of Dugongs Between Fine-Scale Habitats Around Talibong Island, Thailand	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Acoustics Australia	6. 最初と最後の頁 243 ~ 251
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s40857-017-0094-7	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 Kotaro Tanaka, Kotaro Ichikawa, Hideaki Nishizawa, Kongkiat Kittiwattanawong, Nobuaki Arai & Hiromichi Mitamura,	4. 巻 -
2. 論文標題 Effects of environmental factors on vocalization pattern of dugongs revealed by generalized linear model	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proceedings of Techno-Ocean2016	6. 最初と最後の頁 -
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計38件（うち招待講演 9件/うち国際学会 25件）

1. 発表者名 Kotaro Ichikawa, Kotaro Tanaka, Kongkiat Kittiwattanawong and Nobuaki Arai
2. 発表標題 Acoustic monitoring of feeding behavior of dugongs (Dugong dugon)
3. 学会等名 the 2nd Oceanoise Asia Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuma Kugai, Kotaro Ichikawa, Nobuaki Arai, Kotaro Tanaka
2. 発表標題 Soundscape changes in the dugong habitat
3. 学会等名 the 2nd Oceanoise Asia Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kotaro Tanaka, Kotaro Ichikawa, Louisa Ponnampalam, Kee Alfian, Heng Wei Khang, Nobuaki Arai, Hiromichi Mitamura
2. 発表標題 Preliminary study on automated detection of dugong feeding sounds
3. 学会等名 the 2nd Oceanoise Asia Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keiya Uehara, Kotaro Ichikawa and Nobuaki Arai
2. 発表標題 Categorization and inter-regional comparison of dugongs' vocalization
3. 学会等名 the 2nd Oceanoise Asia Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 阿部朱音・秋道智彌・市川光太郎・荒井修亮・守屋和幸・Kongkiat Kittiwattanawong
2. 発表標題 Web操業日誌を用いたタイ国ジュゴン保護区における漁民の海域利用実態解明の試み ～小規模イカ釣り漁民の事例報告から～
3. 学会等名 平成31年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阿部朱音・秋道智彌・市川光太郎・荒井修亮
2. 発表標題 ジュゴンの民族分類と伝統的な利用法～インド洋・太平洋における事例から～
3. 学会等名 生き物文化誌学会 第16回学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kotaro Tanaka, Kotaro Ichikawa, Nobuaki Arai, Kongkiat Kittiwattanawong & Hiromichi Mitamura
2. 発表標題 Discrimination of dugong calls and tonal noise by machine learning
3. 学会等名 the 22nd Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kotaro Tanaka, Kotaro Ichikawa, Nobuaki Arai, Kongkiat Kittiwattanawong, Hiromichi Mitamura
2. 発表標題 Improvement of automatic detection for dugong calls by machine learning
3. 学会等名 The 6th International Seminar on Biodiversity and Evolution: Wildlife Science by New Biologging studies (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上原慧哉・荒井修亮・市川光太郎
2. 発表標題 沖縄近海のジュゴンの分布、移動速度および行動圏の個体間比較と季節変動
3. 学会等名 海洋理工学会平成 29 年度 春季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田中広太郎・市川光太郎・Louisa Ponnampalam・Kee Alfian・Heng Wei Khang・Ng Jol Ern・荒井修亮・三田村啓理
2. 発表標題 マレーシア・ジョホール州シブ島およびティンギ島沿岸域における受動的音響観察を用いたジュゴンの摂餌音の検出
3. 学会等名 平成30 年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上原慧哉・市川光太郎・荒井修亮
2. 発表標題 持続時間と周波数変調パターンによるジュゴン鳴音の分類と地域間比較
3. 学会等名 平成30 年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akane Abe, Kotaro Ichikawa, Kongkiat Kittiwattanawong, Nobuaki Arai
2. 発表標題 Investigation of fishing conditions and human-dugong relations in an Islamic fishing village in the southern Thailand
3. 学会等名 INTERNATIONAL MERMAID SYMPOSIUM, 2nd Toba Symposium of Dugongs 30th Anniversary of SERENA (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kotaro Ichikawa
2. 発表標題 The Dugong Acoustics around the World
3. 学会等名 INTERNATIONAL MERMAID SYMPOSIUM, 2nd Toba Symposium of Dugongs 30th Anniversary of SERENA (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kotaro Ichikawa, Yuuki Matsuo
2. 発表標題 Vocal Behavior of Serena
3. 学会等名 INTERNATIONAL MERMAID SYMPOSIUM, 2nd Toba Symposium of Dugongs 30th Anniversary of SERENA (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuma Kugai, Kotaro Ichikawa, Nobuaki Arai, Kotaro Tanaka, Kongkiat Kittiwattanawong
2. 発表標題 Soundscape changes in the dugong habitat around Talibong Island of Thailand
3. 学会等名 INTERNATIONAL MERMAID SYMPOSIUM, 2nd Toba Symposium of Dugongs 30th Anniversary of SERENA (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kotaro Tanaka, Kotaro Ichikawa, Louisa Ponnampalam, Kee Alfian, Heng Wei Khang, Ng Jol Ern, Nobuaki Arai
2. 発表標題 Detection of dugong feeding events by passive acoustic monitoring in Sibu-Tinggi Islands, Johor, Malaysia
3. 学会等名 INTERNATIONAL MERMAID SYMPOSIUM, 2nd Toba Symposium of Dugongs 30th Anniversary of SERENA (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keiya Uehara, Kotaro Ichikawa, Nobuaki Arai
2. 発表標題 Seasonal and individual differences of movement patterns of dugongs in Okinawa, Japan
3. 学会等名 INTERNATIONAL MERMAID SYMPOSIUM, 2nd Toba Symposium of Dugongs 30th Anniversary of SERENA (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kotaro Ichikawa
2. 発表標題 Studies on Habitat use of Dugongs by Using Acoustic Biologging
3. 学会等名 National Symposium of Dugong and Seagrass in Indonesia 2016 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kotaro Ichikawa, Hironichi Mitamura, Nobuaki Arai, Kenta Serizawa, Shun Watanabe, Katsumi Tsukamoto
2. 発表標題 Nocturnal activity patterns of the Japanese eel <i>Anguilla japonica</i> by using ultrasonic telemetry
3. 学会等名 21st symposium 2016, International Symposium on Biotelemetry (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kotaro Ichikawa, Badr Eldinn Khalf alla Adm, Nobuaki Arai, Abdelmoneim Karamalla Gaiballa, & Hiroshi Nawata
2. 発表標題 Stroke patterns of a dugong revealed by using acoustic biologging
3. 学会等名 The 5th International Seminar on Biodiversity and Evolution: New Methodology for Wildlife Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kotaro Ichikawa
2. 発表標題 Orientation on capture operations and research goals
3. 学会等名 Health Assessment for Marine Endangered Species (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kotaro Ichikawa, Nobuaki Arai, Kongkiat Kittiwattanawong
2. 発表標題 Vocal response of dugongs (<i>Dugong dugon</i>) to playbacks of conspecific calls suggest ranging function of chirps
3. 学会等名 5th Joint Meeting of the Acoustical Society of America and the Acoustical Society of Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kotaro Tanaka, Kotaro Ichikawa, Hideaki Nishizawa, Kongkiat Kittiwattanawong, Nobuaki Arai & Hiromichi Mitamura
2. 発表標題 Effects of environmental factors on vocalization pattern of dugongs revealed by generalized linear model
3. 学会等名 Techno-Ocean2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kotaro Tanaka, Kotaro Ichikawa, Nobuaki Arai, Kongkiat Kittiwattanawong & Hiromichi Mitamura
2. 発表標題 Development of automatic discrimination method for dugong calls and tonal noise by machine learning
3. 学会等名 The 5th Design Symposium on Conservation of Ecosystem (SEASTAR2000) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 田中広太郎、市川光太郎、上原慧也、荒井修亮、Kongkiat Kittiwattanabong、三田村啓理
2. 発表標題 ジュゴンの生態学と人文学2 機械学習によるジュゴン鳴音と狭帯域ノイズの識別手法の確立
3. 学会等名 平成29年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Keiya Uehara, Kotaro Ichikawa & Nobuaki Arai
2. 発表標題 Seasonal and individual differences of movement patterns of dugongs in Okinawa, Japan
3. 学会等名 The 5th Design Symposium on Conservation of Ecosystem (SEASTAR2000) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 久貝悠真、市川光太郎、荒井修亮、Kongkiat Kittiwattanabong、田中広太郎、三田村啓理
2. 発表標題 ジュゴンの生態学と人文学 3 タイ国タリボン島のジュゴン生息海域におけるサウンドスケープの変動
3. 学会等名 平成29年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 阿部朱音、市川光太郎、荒井修亮
2. 発表標題 オーストラリア・トレス海峡諸島木曜島住民の生活とジュゴン
3. 学会等名 平成29年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kotaro Ichikawa
2. 発表標題 Acoustic surveys of dugongs
3. 学会等名 KU-KUGSA Bilateral Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kotaro Ichikawa, Louisa S. Ponnampalam, Kee Alfian, Kongkiat Kittiwattanawong & Nobuaki Arai
2. 発表標題 Variances in contour patterns of dugong (Dugong dugon) chirps suggest individual signature
3. 学会等名 World Marine Mammal Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kotaro Ichikawa, Louisa Ponnampalam, Kee Alfian, Kotaro Tanaka, Nobuaki Arai
2. 発表標題 Sound "scape": An acoustical habitat map as a spatial distribution of marine soundscape
3. 学会等名 2019 INTERNATIONAL WORKSHOP ON MARINE SOUNDSCAPE (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kotaro Tanaka, Louisa S. Ponnampalam, Kee Alfian, Kotaro Ichikawa, Hiromichi Mitamura, Nobuaki Arai
2. 発表標題 Differences of temporal variation of snapping shrimp sounds in warm coastal sea
3. 学会等名 2019 INTERNATIONAL WORKSHOP ON MARINE SOUNDSCAPE (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小泉慶次朗・市川光太郎・田中広太郎・Louisa Ponnampalam・Kongkiat Kittiwattanawong・荒井修亮・三田村啓理
2. 発表標題 バイオリギングによる水圏生物の行動情報の取得 2 ジュゴン鳴音の時間周波数情報による分類と個体群間比較
3. 学会等名 令和2年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中広太郎・市川光太郎・荒井修亮・Kongkiat Kittiwattanawong・三田村啓理
2. 発表標題 バイオリギングによる水圏生物の行動情報の取得 3 タイ国タリボン島周辺におけるジュゴンの発声行動の時空間パターン
3. 学会等名 令和2年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西山啓太・市川光太郎・田中広太郎・Kongkiat Kittiwattanawong・荒井修亮
2. 発表標題 タイ国タリボン島の潮下帯海草藻場におけるジュゴンの摂餌タイミングの解明
3. 学会等名 令和2年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 倭 千晶・市川光太郎・田中広太郎・西山啓太・荒井修亮・Kongkiat Kittiwattanawong・三田村啓理
2. 発表標題 潮間帯藻場におけるジュゴンの摂餌痕の自動検出技術の開発
3. 学会等名 令和2年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 赤松友成、木村里子、市川光太郎	4. 発行年 2019年
2. 出版社 コロナ社	5. 総ページ数 192
3. 書名 水中生物音響学：声で探る行動と生態	

1. 著者名 市川光太郎・菊池夢美 生物音響学会編	4. 発行年 2019年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 464
3. 書名 ジュゴンの鳴音、「生き物と音の事典」	

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----