

令和 6 年 6 月 1 7 日現在

機関番号：17701

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2021～2023

課題番号：21K20591

研究課題名（和文）対捕食者戦略としての相利共生成立機構の解明：刺胞動物と甲殻類の共生を用いた検証

研究課題名（英文）A study on the predator dependent mutualistic symbiosis of Sea anemone and Hermit crab

研究代表者

吉川 晟弘（Yoshikawa, Akihiro）

鹿児島大学・国際島嶼教育研究センター・特任研究員

研究者番号：70906148

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、イソギンチャクとヤドカリの共生における、生息環境の違いによる利害関係の変化の解明を目指した。研究を進める過程で、ヤドカリと共生する未記載のイソギンチャクが発見されたため、一部の種を新種として発表した。飼育実験は、生物種の特性や設備上の問題により、計画当初の精度では実施できなかった。しかし、標本を用いた付着位置の3D解析や、炭素・窒素同位体分析により、深海のようなヤドカリの「宿」になる貝殻資源が少ない環境では強い共生関係が構築されていることを示唆できた。以上の成果から刺胞動物と甲殻類の共生に関して、生息する環境により依存度の異なる関係が構築されるという新たな知見が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、これまで着目されていなかった水深100m から500mに暮らすイソギンチャクとヤドカリの共生様式に関する成果が得られた。研究を進める過程で、複数の未記載のイソギンチャクが発見されたことから、当該水深の海底には、これまで知られていたよりも多く種が、ヤドカリとの共生関係を構築している可能性がある。これらの種多様性や、その共生様式については、今後の系統分類学や共生生態学的研究による解明が待たれる。将来的には、本研究で用いた種も含め、強い共生関係にある種の資源量や、当該種の捕食者および食物網構造、共生・寄生する種なども明らかにし、その「生態系での役割」も解明していく必要がある。

研究成果の概要（英文）：This study aims to clarify the environment-dependent transition and the merits and strength of its relationship in sea anemone-hermit crab symbiosis. During a survey on this study, some unidentified symbiotic sea anemones were collected, and some were taxonomically described as new species. Behavioral experiments were not conducted well because of the limited facility's difficulty in rearing the targeted animals. However, 3D analysis of the attaching position of the sea anemone and The carbon (^{13}C) and nitrogen (^{15}N) stable isotopic analyses focusing on the strength of its relationship by using fixed specimens revealed that a hermit-dependent symbiotic lifestyle often evolved in the deep-sea sea anemone. This study advances our understanding of the biodiversity and evolution of interspecific interactions related to hermit crabs as physical ecosystem engineers on deep-sea floors.

研究分野：海洋生態学

キーワード：共生 沿岸域 深海域 ヤドカリ イソギンチャク 分類 同位体分析 CTスキャン

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19（共通）

1. 研究開始当初の背景

海産無脊椎動物の種における相利共生の構築において、捕食者の有無や、生息環境の有無などの「環境要因」がどれほど作用するかは不明であった。これまでの研究では、個体の成長や繁殖の成功度などの個体の利益が最大になる場合にのみ、相利共生が成立すると考えられている。ところが研究代表者らの研究成果を含む既往研究から、イソギンチャクとヤドカリの共生系では、個体間の利害関係だけでなく、捕食者の有無のような外部環境への応答が重要となると予想された。

イソギンチャクとヤドカリの共生関係は、お互いの捕食者からの回避として機能することが知られている。例えば、宿主となる生物は、イソギンチャクが持つ毒針に守られるため、捕食者からの被食リスクが下がる。一方、イソギンチャク側は、ヤドカリの移動能力により、ヒトデなどの捕食者から逃れることが可能となり、その被食リスクが下がるなどのメリットがあると考えられている。

しかし、私の研究成果を含む既往研究により、本共生関係が、必ずしも成立しないことが観察されていた。具体的には、ある共生の組み合わせが、自然下では成立していた両者であっても、飼育下では共生関係が破綻する事例が観察されていた。そこで研究代表者は、本相利共生の成立には、捕食者の有無などの「環境要因」が重要であると予想し、それぞれの環境における両者の共生関係の動態の変化を、野外調査および行動実験で解明しようと考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、仮説：「環境に応じた利害関係の変動により、相利共生の組み合わせが変化する」を検証することである。具体的には、被食リスクに応じた共生者間の利害関係の変動を明らかにしようと考えた。本研究ではこれを、室内での行動実験に加えて、複数の調査地点間での共生率の比較や、各地点における両者の捕食者の生息有無や密度と合わせて議論することで、これを検証しようとした。

本研究を進める過程で、研究に利用する予定であったイソギンチャクに、複数の未記載種が含まれていることが判明した。そのため、これらの未記載種に対して、詳細な形態分析と DNA 解析により、各未記載種の分類学的混乱を解決することも研究目的のひとつとした。

3. 研究の方法

本研究で用いた主な方法は、野外から得られた生物サンプル、および博物館に保管されたサンプルの計測、飼育実験、DNA 塩基配列を用いた系統解析、CT スキャンを用いた 3 次元的な形態分析および炭素・窒素同位体分析である。研究に利用した刺胞動物は、イソギンチャクの 2 種（*Stylobates* 属の未記載種および不明種）およびヒドロ虫の 1 種（イガグリガイウミヒドラ）の合計 3 種である。またヤドカリ類においては、上記の宿主にあたるヤドカリの 3 種を対象とした。

被食リスクに応じた共生関係の変動を明らかにするための前段階として、自然下での共生の様相を明らかにすることを試みた。具体的には、漁港の混獲物調査や、潜水調査で得られた生物サンプルを用いて、対象とする種の自然下での共生率を調査した。漁港の混獲物調査は神奈川県から三重県にかけての大陸棚、水深 50m から 500m で得られたものを中心に実施した。潜水調査および徒手での採集調査を、岩手県大槌町および鹿児島県奄美群島の水深 0m から 10m で行った。研究期間中である 2021 年度から 2022 年度にかけては、COVID-19 の感染拡大防止のために出張日程や期間が制限されたため、当初計画していた複数地点での調査が進められなかった。そのため博物館に保管されている、過去に当該海域で得られた未整理標本を精査することで、当初調査を予定していた海域の共生種相や、対象生物の動態の解明を実施した。

研究に使用した複数の未記載のイソギンチャクに対しては、外部形態の観察、複数の DNA 塩基配列データを用いた系統解析や、および組織切片を作成することによる内部形態の観察により、その分類学的な位置の特定を行なった。またそれが新種であることが判明した場合には、分類学的手順で形態解析を行い、その種の分類学上の位置付けを明らかにした。

本研究では、捕食者の存在による共生関係の成立度を検証するために飼育下での行動実験を実施する予定であった。しかしながら、飼育環境下では、研究対象とする予定であったヤドカリおよびイソギンチャクが長く生きることができず、海水温などの飼育条件を再度検討する必要が生じた。研究代表者が、研究期間中に所属を異動したため、予定していた研究設備を利用することが不可能となり、当初予定していた精度での飼育実験への着手が困難となった。そこで、その代替手段としてイソギンチャク類の貝殻への付着位置と、それらが得られた環境から「共生関係の状態変化」を議論することにした。具体的には、マイクロ CT スキャナを用いて、各海域で得られた生物サンプルをスキャンし、イソギンチャクの付着位置の 3 次元的な解析から、この共生への貢献度を予想した。本解析では、ヤドカリの「宿」となる構造を作るイソギンチャク、*Stylobates* 属および不明種を用い、イソギンチャクの「宿」を増築するための位置（ヤドカリの頭側の先端に近い位置）までの距離と、増築に向けた体勢（管溝の方向）を、各地点から得られ

た複数個体間で比較することで、イソギンチャクの共生への貢献度を議論した。これに加え、本研究では、炭素・窒素同位体分析を行うことで、各種の被食捕食関係や、食物網構造での位置の把握を試みた。本結果を、研究対象とする共生種の飼育方法の確立、および行動実験に利用する捕食者を選定するための知見として活用することとした。

4. 研究成果

研究材料とした *Stylobates* 属の種および不明種のイソギンチャクが、これまで学術的に記載されたことのない新たな種であることが判明した。そのため、これらの 2 種に対して分類学的な手順に基づいた形態分析を実施し、そのうち 1 種を新種として報告した。

野外調査において上記の 2 種は、それぞれ特有のヤドカリが使う貝殻の上からのみ発見された。それぞれの種は、三重県および静岡県にある漁港の混獲物調査により採集された。COVID-19 の感染拡大防止のための出張制限により、現地での定量的な共生率の調査は実施できなかったが、当該イソギンチャクがその他の種のヤドカリと共生している事例は観察されなかった。そのため、両者が強固な種特異的な共生関係にあることが示唆された。

Stylobates 属の種については、共同研究関係にある水族館施設の協力のもと、基礎的な食性の理解に向けた行動観察が実施された。本観察により、本種は細かな有機物が触手に接した際に、極めて反応良く収縮し、摂餌を始めることが観察された。このことから本種は、海底にて表層から降り注ぐ有機物を摂餌することが考えられた。

不明種については、本研究で対象とした刺胞動物の中でも、数多くの個体を採集することができた。そのため、マイクロ CT スキャナを用いた付着位置の 3 次元的な解析は、主に本種とヤドカリとの共生系に対して行われた。また本イソギンチャクと、その宿主であるヤドカリに対して炭素・窒素同位体分析を行なった。現在、その研究成果を学術論文として発表する準備している。

またイガグリガイウミヒドラに関しては、岩手県大槌町沿岸で得られたサンプル、および博物館に保管されている標本を用いて調査した。イガグリガイウミヒドラは、イガグリガイホンヤドカリの貝殻上からしか見つからなかった。さらに宿主であるイガグリガイホンヤドカリにおいては、イガグリガイウミヒドラが付着している貝殻を「宿」として使っている事例しか観察されず、巻貝の貝殻のみを使用している例は観察されなかった。そのため、両種は強固な共生関係にあり、共生が破綻する状態は観察されなかった。

研究を進める過程で、播磨灘にて、これまでヤドカリと共生するとされていたイソギンチャクの近縁種が、オニオコゼの体表から発見された。そのため、これについて、イソギンチャクと魚類の新たな生物間相互作用の事例として、学術論文にまとめて報告した。また鹿児島県大和村での潮間帯調査では、イソギンチャクとは共生していないヤドカリ、サンゴヤドカリの上陸行動が観察された。本行動に関して、捕食者や、同種内もしくは他種間との闘争回避のための行動であると議論し、その研究成果を学術論文として発表する準備している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yoshikawa Akihiro, Izumi Takato, Moritaki Takeya, Kimura Taeko, Yanagi Kensuke	4. 巻 242(2)
2. 論文標題 Carcinoecium-Forming Sea Anemone <i>Stylobates calcifer</i> sp. nov. (Cnidaria, Actiniaria, Actiniidae) from the Japanese Deep-Sea Floor: A Taxonomical Description with Its Ecological Observations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Biological Bulletin	6. 最初と最後の頁 000 ~ 000
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1086/719160	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 -

1. 著者名 Yoshikawa Akihiro, Akikazu Yasuda, Izumi Takato, Yanagi Kensuke	4. 巻 -
2. 論文標題 A novel epibiotic association in the benthic community: The sea anemone <i>Verrillactis</i> sp. (Actiniaria: Sagartiidae) on the necto-benthic fish, <i>Inimicus japonicus</i>	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plankton and Benthos Research	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 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 -

1. 著者名 Yoshikawa Akihiro, Kosemura Takeru	4. 巻 96
2. 論文標題 Observation of air-exposure behaviour in the reef hermit crab, <i>Calcinus elegans</i> (H. Milne Edwards, 1836) (Decapoda, Diogenidae)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Crustaceana	6. 最初と最後の頁 1027 ~ 1034
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1163/15685403-bja10327	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 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 吉川晟弘, 泉 貴人, 神吉隆行, 森滝丈也, 北嶋 円, 大土直哉, 木村妙子, 藤田敏彦, 柳 研介	
2. 発表標題 ヤドカリの「宿」を作る深海性イソギンチャクの分類と生態について	
3. 学会等名 第17回日本刺胞・有櫛動物研究談話会	
4. 発表年 2023年	

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Discovered in the deep: the superbui lder sea anemones that make verandas.
<https://www.theguardian.com/environment/2023/apr/28/discovered-in-the-deep-the-superbui lder-sea-anemones-that-make-verandahs>
「ヒメキンカライソギンチャク」が世界の注目すべき海洋生物の新種トップ10（2022年）に選ばれました
https://www.aori.u-tokyo.ac.jp/aori_news/information/2023/20230319.html
ヤドカリの“宿”を作る新種のイソギンチャク！？ 深海の驚くべき共生関係
<https://www.aori.u-tokyo.ac.jp/research/news/2022/20220426.html>

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

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