

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K06401

研究課題名(和文) 深海底生生物の多様化はプランクトン幼生分散によって引き起こされるのか？

研究課題名(英文) Are diversifications of deep-sea animals controlled by planktonic larval dispersal strategies?

研究代表者

渡部 裕美 (WATANABE, Hiromi)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・超先鋭研究開発部門(超先鋭研究プログラム)・准研究主任

研究者番号：50447380

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は海洋における生物の多様化機構の解明にむけ、主に固有種によって構成される深海化学合成生物群集のプランクトン幼生の分散、海域集団間の連結性および遺伝的多様性との相関、さらに固有種の成長に伴う内部構造の変化の解明を実施し、包括的に深海生物の多様化機構を明らかにすることを目的とした。計画していた幼生の分散・着底・繁殖、離れて分布する海域集団の遺伝的連結性、特殊な環境に生息する生物の成長に伴う生理・生態変化の解明を明らかにしたほか、寄生生物を用いた生活史の相互作用やプランクトン幼生が特殊な環境を探し出すための因子についての議論を進め、今後の研究の発展が期待できる成果をあげることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球の生命は海で誕生したと考えられている。地球上に多様な生命が存在することを理解するためには海洋における生物の多様化のプロセスを明らかにする必要がある。本研究では海洋の中でも特殊な環境である化学合成生態系のみならず生息する固有種を中心に、プランクトン幼生による生物分散、離れた集団間の遺伝的交流、成長に伴う生理・生態学的変化などを明らかにし、特殊な環境に生物が適応し生物に多様性がどのように生じてきたのかを明らかにした。これらの知見は、生物が海の中で多様化してきた過程を理解するだけでなく、多様な生物によって構築される海洋生態系を維持するためにも活用することができる。

研究成果の概要(英文)：The project attempted to reveal the diversification process of endemic species specific to chemosynthesis-based ecosystem. The planktonic larval dispersal, settlement and reproductive strategies including genetic population connectivity among discretely distributed local populations of the animals which live in chemosynthesis-based ecosystem were extensively studied and more than 10 papers were published in academic journals. These completed the planned studies, furthermore, we provided additional information regarding correlation between host-parasite life histories, in addition, physical factor for larval settlement was suggested. These achievements enable us to elucidate how so many specific species are inhabited in deep-sea chemosynthesis-based environments.

研究分野：海洋生態学

キーワード：生物多様性 海洋生物 遺伝的多様性 種分化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地球上にどのようにして多様な生物が生息するようになったのか、生物の多様性が生じるメカニズムの解明は自然科学研究の主要な命題の一つである。海洋は、地下生命圏を除いた地球生命圏の9割以上を占める環境であり、地球上に生命が誕生して以降、現在まで絶え間なく生命を育んできた環境である。従って地球上に生命が生じてから現在まで生物の多様化を担ってきた海洋には、その普遍的なメカニズムが存在すると考えられる。沿岸域では、繁殖・産卵・成長といった生物の生活史イベントにとって重要な環境についての知見も豊富であり、生物の産卵やプランクトン幼生分散、幼稚体の生育といった生活史を加味したメタ個体群動態の把握が可能となってきた。一方で、海洋の大部分を占める外洋や深海といった環境におけるこれらの知見は限られている。

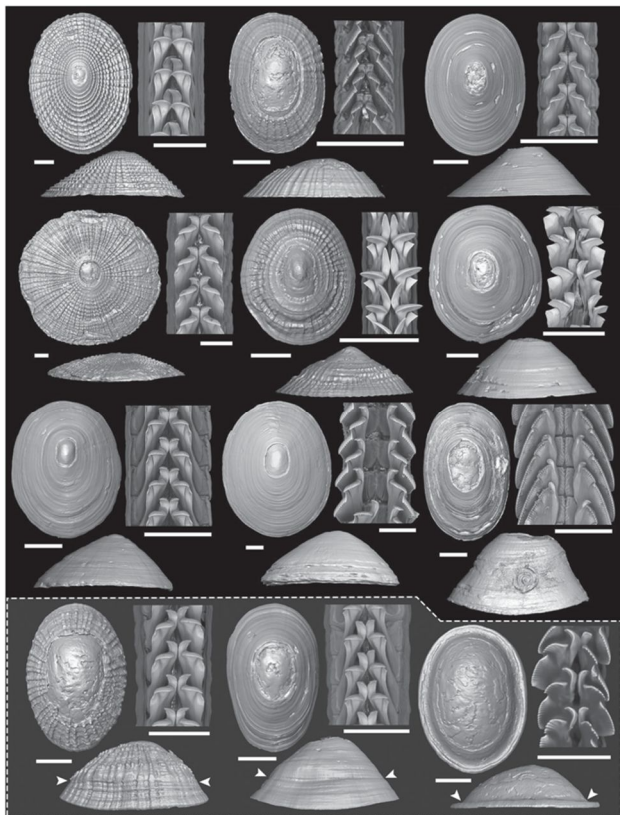
2. 研究の目的

本研究は、海洋の大部分を占める深海における生物多様化機構の解明を目指し、深海化学合成生態系という特異な環境に固有な動物種における分散・着底・成長・繁殖といった生活史イベントと生物の多様化機構の関連を明らかにすることを目的とした。これらの生活史イベントが生物の多様化の根幹を担うメタ個体群の分断や種分化に繋がることは明らかであるが、成体個体が深海の特異な環境に固有であっても生活史の中で海洋の様々な環境を移動しているものがあると予想される。本研究は固有種の生活史とその分布環境の関わりを明らかにすることによって、限られた環境のみに成体個体が生息する種も生活史の中で広く海洋中を分散していることを示し、また人間活動による様々な影響を受けつつある深海生物に対する保全策の策定に貢献するものである。

3. 研究の方法

本研究は、深海化学合成生態系という特異な環境に固有な動物種における分散・着底・成長・繁殖といった生活史イベントおよびその分布環境に関連した多様化機構を明らかにするために、プランクトン幼生の分布の解明、離れた海域に分布する集団間の遺伝的連結性、成長に伴う生理・形態的特徴の変化、繁殖生態の解明、などを実施した。

4. 研究成果



ワタゾコシロアミガサモドキの貝殻と歯舌に観察される形態変異。全て遺伝的には同一種であるが、分類に重要と考えられてきた形態の環境変異により2属4種に分類されていた。Chen et al. (2019) Biology Letters より。

本研究では多様化機構の解明を目指していたものの、深海化学合成生物群集は調査の機会が限られる特殊な環境であるため、その基盤となる多様性の把握自体が十分でないことが研究期間を通じて明らかとなった。太平洋、インド洋、南大洋に分布する深海化学合成生物群集構成種を詳細に観察することによって、10を超える新種を報告することができた (Chen et al. 2019, Linse et al. 2019, Chen and Linse 2019 and 2020, Watanabe et al. 2021)。これらの海域は大西洋や東太平洋と比較すると調査の機会や携わる研究者の数が少なく、生態系の最も基礎的な情報となる多様性の把握が十分ではないことが改めて浮き彫りとなった。一方、DNA バーコーディングや飼育実験などの複合的なアプローチから、これまで歯舌や貝殻などの硬組織の形態に基づき2属4種に分類されていた深海化学合成生物群集固有の腹足類が、全てワタゾコシロアミガサモドキ *Bathyaema nipponica* 一種の環境変異であることを明らかにした (Chen et al. 2019)。飼育実験の結果は、歯舌の形態は着底・変態時の環境に影響され、貝殻の形態は生涯を通じて基盤環境に影響を受け変化することを示唆した。さらにワタゾコシロアミガサモドキの貝殻の微細構造は系統的に安定しているため分類に有効であるものの、殻の構成要素は

環境によって変化することも明らかにした(Sato et al. 2020)。分類に有効な形態形質が環境によって大きく変化することは、同じく腹足類のフネカサガイ科のほか甲殻類のアカツキミョウガガイ科でも観察され、分類群によらず深海化学合成生物群集固有種で生じる可能性を示唆した(Chen and Watanabe 2020, Watanabe et al. 2021)。また、生活史の中で、外見に反映されない内部形態が大きく変化し、生理・生態の特徴も大きく変化することがあることも明らかにした(Chen et al. 2018)。これらの研究成果は、深海化学合成生態系という変化の激しい特殊な環境における複雑な生物多様性の解明に貢献した。また、限られた調査の機会しか持たない環境における多様性の把握には、複数の手法を用いた注意深い観察が必要であることを示すことができた。深海化学合成生態系に固有と推測される寄生生物「ゴエモンノタンコブ」を記載・報告することができた(Kato et al. 2022)。ゴエモンノタンコブは北西太平洋の深海化学合成生物群集で優占するゴエモンコシオリエビに寄生するエビヤドリムシ類であり、エビヤドリムシ類は生活史を通じて複数の宿主を必要とするため、生活史を通じた生物間相互作用と多様化の関連を明らかにするための好材料となることが期待される。

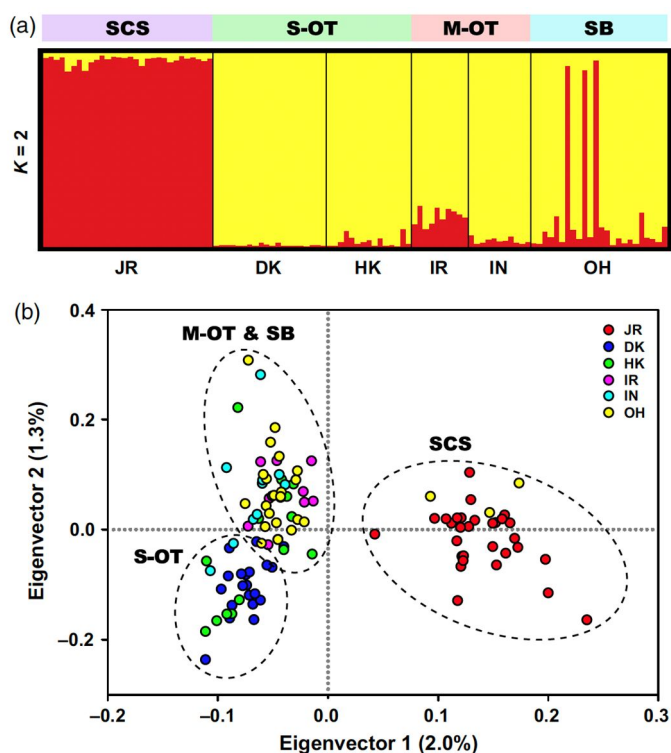
これら深海化学合成生態系固有種の一部に対して、系統地理学的解析や単一の遺伝子座を用いたDNA バーコーディングだけでなく、集団ゲノミクス的手法を用いることによって、集団間の遺伝子交流の範囲や遺伝的分化のパターンを見出した(Xu et al. 2018, Watanabe et al. 2020, 2021, Zhou et al. 2022)。マリアナ海溝に分布する化学合成生態系から見つかったツノツバサゴカイ類は、形態的には単一種と推定されるものの、遺伝的には2つの系統群に区別することが可能で、その一方は南大西洋の熱水噴出域に生息する*Phylochaetopterus polus*と一致し、同種が高い分散能力を有することを明らかにした(Watanabe et al. 2021)。この結果は同時に、微細な環境変化によって近縁な系統群が棲み分けしている可能性も示唆している。同様のパターンはこれまでも深海化学合成生態系固有種であるシロウリガイ類(シロウリガイ、シマイシロウリガイ)、ハイカブリニナ類(*Provanna glabra*, *P. laevis*)や底生性カイアシ類*Chasmatopontius*属などでも観察されている。環境による共生微生物と宿主動物の相関の分子生物学的側面も明らかにした(Lan et al. in press)。一方で、生息海域の地理的な分布や周辺の海流によって遺伝的分化のパターンが説明できる例も多く(Xu et al. 2018, Sun et al. 2020)、プランクトン幼生の生態と海流の流れによる遺伝的分化が生物の種分化に大きく貢献していることが示唆された。人為的付着基盤を用いた生物の加入生物群集の解析からは、キノミフネカサガイが最も早く加入しこれらが高い遺伝的多様性を示すこと、同一海域内であれば遺伝的にほぼ均質であることを示した(Nakamura et al. 2018)。

以上の通り、本研究では深海化学合成生物群集の多様性の把握から多様性を生み出す過程までを様々な生物学的手法を用いて明らかにすることができた。多様化は唯一の普遍的な法則に則っている訳ではなく、様々な時間的・空間的なスケールの事象によって生じることを示した。深海には、地球温暖化の影響が及ぶことが予想されるだけでなく、海底資源開発などの人間活動によって生態系が大きく影響を受ける可能性がある。本研究の成果は、深海生態系の保全策の策定にも大きく貢献するだろう。

<引用文献> 研究代表者・分担者を太字・下線で示した。

Chen C, Linse K, Uematsu K, Sigwart JD (2018). Cryptic niche switching in a chemosymbiotic gastropod. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1882): 20181099. DOI: 10.1098/rspb.2018.1099

Chen C, Linse K (2020) From wood to vent: first cocculinid limpet associated with hydrothermal activity discovered in the Weddell Sea. *Antarctic Science*, 32(5): 354-366. DOI: 10.1017/S095410202000022X



ヘイトウシンカイヒバリガイの SNPs 解析の結果に基づく集団間の遺伝的特徴の違い。表層海流の流れと対応したプランクトン幼生の分散による遺伝的分化が進んでいるものと推定される。JR: Jiaolong Ridge (SCS: 南シナ海)、DK: 第四与那国海丘、HK: 鳩間海丘(以上 S-OT: 南部沖縄トラフ)、IR: 伊平屋海嶺、IN: 伊平屋北(以上 M-OT: 中部沖縄トラフ)、OH: 初島沖 (SB: 相模湾)。Xu et al. (2018) Evolutionary Application より。

- Chen C, Watanabe HK, Sasaki T** (2019) Four new deep-sea provannid snails (Gastropoda: Aabysochrysoidea) discovered from hydrocarbon seep and hydrothermal vents in Japan. *Royal Society Open Science*, 6(7): 190393. doi.org/10.1098/rsos.190393.
- Chen C, Watanabe HK, Nagai Y, Toyofuku T, Xu T, Sun J, Qiu J-W, Sasaki T** (2019) Complex factors shape phenotypic variation in deep-sea limpets. *Biology Letters*, 15 (10): 20190504.
- Chen C, Watanabe HK** (2020) Substrate-dependent shell morphology in a deep-sea vetigastropod limpet. *Marine Biodiversity*, 50: 104. <https://doi.org/10.1007/s12526-020-01135-y>
- Kato N, **Chen C, Watanabe HK, Yamamoto M, Shimomura M** (2022) The first bopyrid isopod from hydrothermal vents: *Pleurocryptella shinkai* sp. nov. (Isopoda: Epicaridea) parasitizing *Shinkaia crosnieri* (Decapoda: Anomura). *Zoological Science*,
- Lan Y, Sun J, **Chen C, Wang H, Xiao Y, Perez M, Yang Y, Kwan YH, Sun Y, Zhou Y, Han X, Miyazaki J, Watsuji T-o, Bissessur D, Qiu J-W, Takai K, Qian P-Y***. Endosymbiont population genomics sheds light on transmission mode, partner specificity, and stability of the scaly-foot snail holobiont. In press in *The ISME Journal*.
- Linse K, Nye V, Copley JT, **Chen C** (2019) On the systematics and ecology of two new species of *Provanna* (Gastropoda: Provannidae) from deep-sea hydrothermal vents in the Caribbean Sea and Southern Ocean. *Journal of Molluscan Studies*, 85(4): 425-438. DOI: 10.1093/mollus/eyz024
- Methou P, Hikosaka M, **Chen C, Watanabe HK, Miyamoto N, Makita H, Takahashi Y, Jenkins RG**. Symbiont community composition in *Rimicaris kairei* shrimps from Indian Ocean vents with notes on mineralogy.
- Nakamura M, Nakajima Y, Watanabe HK, Sasaki T, Yamamoto H, Mitarai S** (2018) Spatial variability in recruitment of benthos near drilling sites in the Iheya North hydrothermal field in the Okinawa Trough. *Deep-Sea Research I*, 135: 63 – 75. doi.org/10.1016/j.dsr.2018.03.009.
- Sato K, **Watanabe HK, Jenkins RG, Chen C** (2020) Phylogenetic constraint and phenotypic plasticity in the shell microstructure of vent and seep pectinodontid limpets. *Marine Biology*, 167: 79. <https://doi.org/10.1007/s00227-020-03692-z>
- Sun J, **Chen C, Miyamoto N, Li R, Sigwart JD, Xu T, Sun Y, Wong WC, Ip JCH, Zhang W, Lan Y, Bissessur D, Watsuji T, Watanabe HK, Takaki Y, Ikeo K, Fujii N, Yoshitake K, Qiu J-W, Takai K, Qian P-Y** (2020) The Scaly-foot snail genome and implications for the origins of biomineralised armour. *Nature Communication*, 11: 1-12.
- Watanabe HK, Chen C, Kojima S, Kato S, Yamamoto H** (2020) Population connectivity of the crab *Gandalfus yunohana* (Takeda, Hashimoto & Ohta, 2000) (Decapoda: Brachyura: Bythograeidae) from deep-sea hydrothermal vents in the northwestern Pacific. *Journal of Crustacean Biology*, 40 (5): 556 – 562. doi:10.1093/jcabi/ruaa045
- Watanabe HK, Chen C, Chan BKK**. (2021) A new deep-sea hot vent stalked barnacle from the Mariana Trough with a note on the feeding ecology of *Vulcanolepas*. *Marine Biodiversity*, 51: 9.
- Watanabe HK, Chen C, Nishi E, Ohara Y** (2021) Cryptic diversity of *Phyllochaetopterus*, the tube-dwelling polychaetes in the Mariana Trench, Shinkai Seep Field. *Plankton & Benthos Research*, 16(1): 73 – 77.
- Xu T, Sun J, **Watanabe HK, Chen C, Nakamura M, Ji R, Feng D, Lv J, Wang S, Bao Z, Qian P-Y, Qiu J-W** (2018) Population genetic structure of the deep-sea mussel *Bathymodiolus platifrons* (Bivalvia: Mytilidae) in the Northwest Pacific. *Evolutionary Applications*, 11: 1915 – 1930. doi: 10.1111/eva.12696.
- Xu T, Wang Y, Sun J, **Chen C, Watanabe HK, Chen J, Qian P-Y, Qiu J-W** (2021) Hidden historical habitat-linked population divergence and contemporary gene flow of a deep-sea Patellogastropod limpet. *Molecular Biology and Evolution*, msab278, <https://doi.org/10.1093/molbev/msab278>
- Zhou Y, **Chen C, Zhang D, Wang Y, Watanabe HK, Sun J, Bissessur D, Zhang R, Han Y, Sun D, Xu P, Lu B, Zhai H, Han X, Tao C, Qiu Z, Sun Y, Liu Z, Qiu J-W, Wang C** (2022) Delineating biogeographic regions in Indian Ocean deep-sea vents and implications for conservation. *Diversity and Distributions*. <https://doi.org/10.1111/ddi.13535>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計27件（うち査読付論文 27件/うち国際共著 14件/うちオープンアクセス 16件）

1. 著者名 Chen Chong, Lin Tzu Hao, Watanabe Hiromi Kayama, Akamatsu Tomonari, Kawagucci Shinsuke	4. 巻 66
2. 論文標題 Baseline soundscapes of deep sea habitats reveal heterogeneity among ecosystems and sensitivity to anthropogenic impacts	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Limnology and Oceanography	6. 最初と最後の頁 3714~3727
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/lno.11911	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 Kato Noeru, Chen Chong, Watanabe Hiromi Kayama, Yamamoto Masahiro, Shimomura Michitaka	4. 巻 39
2. 論文標題 The First Bopyrid Isopod from Hydrothermal Vents: Pleurocryptella shinkai sp. nov. (Isopoda: Epicaridea) Parasitizing Shinkaia crosnieri (Decapoda: Anomura)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Zoological Science	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) 10.2108/zs210117	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 Zhou Yadong, Chen Chong, Zhang Dongsheng, Wang Yejian, Watanabe Hiromi Kayama, Sun Jin, Bissessor Dass, Zhang Ruiyan, Han Yuru, Sun Dong, Xu Peng, Lu Bo, Zhai Hongchang, Han Xiqiu, Tao Chunhui, Qiu Zhongyan, Sun Yanan, Liu Zhensheng, Qiu Jian Wen, Wang Chunsheng	4. 巻 -
2. 論文標題 Delineating biogeographic regions in Indian Ocean deep sea vents and implications for conservation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Diversity and Distributions	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) 10.1111/ddi.13535	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 該当する
1. 著者名 Sun Jin, Chen Chong, Miyamoto Norio, Li Runsheng, Sigwart Julia D., Xu Ting, Sun Yanan, Wong Wai Chuen, Ip Jack C. H., Zhang Weipeng, Lan Yi, Bissessor Dass, Watsuji Tomo-o, Watanabe Hiromi Kayama, Takaki Yoshihiro, Ikeo Kazuho, Fujii Nobuyuki, Yoshitake Kazutoshi, Qiu Jian-Wen, Takai Ken, Qian Pei-Yuan	4. 巻 11
2. 論文標題 The Scaly-foot Snail genome and implications for the origins of biomineralised armour	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1657
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-15522-3	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 該当する

1. 著者名 Chen Chong, Watanabe Hiromi Kayama, Nagai Yukiko, Toyofuku Takashi, Xu Ting, Sun Jin, Qiu Jian-Wen, Sasaki Takenori	4. 巻 15
2. 論文標題 Complex factors shape phenotypic variation in deep-sea limpets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biology Letters	6. 最初と最後の頁 20190504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsbl.2019.0504	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 Nakamura Masako, Nakajima Yuichi, Watanabe Hiromi Kayama, Sasaki Takenori, Yamamoto Hiroyuki, Mitarai Satoshi	4. 巻 135
2. 論文標題 Spatial variability in recruitment of benthos near drilling sites in the Iheya North hydrothermal field in the Okinawa Trough	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers	6. 最初と最後の頁 65 ~ 73
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dsr.2018.03.009	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 Chen Chong, Linse Katrin, Uematsu Katsuyuki, Sigwart Julia D.	4. 巻 285
2. 論文標題 Cryptic niche switching in a chemosymbiotic gastropod	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences	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) 10.1098/rspb.2018.1099	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 該当する

1. 著者名 Xu Ting, Sun Jin, Watanabe Hiromi K., Chen Chong, Nakamura Masako, Ji Rubao, Feng Dong, Lv Jia, Wang Shi, Bao Zhenmin, Qian Pei-Yuan, Qiu Jian-Wen	4. 巻 11
2. 論文標題 Population genetic structure of the deep-sea mussel <i>Bathymodiolus platifrons</i> (Bivalvia: Mytilidae) in the Northwest Pacific	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Evolutionary Applications	6. 最初と最後の頁 1915 ~ 1930
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/eva.12696	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 該当する

〔学会発表〕 計23件（うち招待講演 6件 / うち国際学会 13件）

1. 発表者名 Chen Chong
2. 発表標題 From genome to anatomy: How deep-sea iron snails adapted to 'feeding on Earth' through symbiosis
3. 学会等名 日本共生生物学会 第5回大会 (Symbio2021) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Methou Pierre, Chen Chong, Watanabe Hiromi Kayama, Cambon-Bonavita Marie-Anne, Pradillon Florence
2. 発表標題 Reproductive strategies in vent shrimps shaped by feeding ecology with intriguing seasonality
3. 学会等名 16th Deep-Sea Biology Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Chong Chen, Hiromi Kayama Watanabe, Shannon B. Johnson
2. 発表標題 Snail of many parts; Anatomical diversity and ecological disparity among deep-sea abyssochrysoid gastropods
3. 学会等名 eDSBS Conference 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tzu-Hao Lin, Chong Chen, Hiromi Kayama Watanabe, Shinsuke Kawagucci, Tetsuya Miwa, Hiroyuki Yamamoto, Shinji Tsuchida, Yoshihiro Fujiwara
2. 発表標題 Characterizing habitat-specific soundscapes in deep-sea benthic ecosystems
3. 学会等名 eDSBS Conference 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Watanabe Hiromi K, Beaulieu Stace E, Pradillon Florence, Komaki Kana, Mills Susan, Seo MiHye, Ogura Tomomi, Hidaka Hiroka, Mino Sayaka Sasaki Takenori, Fujikura Katsunori, Ishibashi Jun-ichiro, Kojima Shigeaki
2. 発表標題 Across-axis transition of hydrothermal vent fauna in southern Mariana Trough
3. 学会等名 15th Deep-Sea Biology Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018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	中村 雅子 (NAKAMURA MASAKO) (50580156)	東海大学・海洋学部・准教授 (32644)	
研究分担者	C H E N C H O N G (CHEN CHONG) (50759602)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・超先鋭研究開発部門(超先鋭研究プログラム)・副主任研究員 (82706)	

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			
その他の国・地域	香港科技大学	香港浸会大学		
英国	British Antarctic Survey	Queen's University Belfast	National Oceanography Center Southampton	
米国	Monterey Bay Aquarium Institute	Woods Hole Oceanographic Institution		
中国	中国海洋大学			
ドイツ	Senckenberg Research Institute			

共同研究相手国	相手方研究機関			
その他の国・地域	国立台湾海洋大学	台湾海洋科学技術研究センター		