

令和 2 年 6 月 26 日現在

機関番号：18001

研究種目：基盤研究(A) (海外学術調査)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H02755

研究課題名(和文) 太平洋イシサンゴ類の保全生物地理学：系統分類バイアスを考慮した群集形成機構の解明

研究課題名(英文) Conservation biogeography of coral reef biodiversity

研究代表者

久保田 康裕 (Kubota, Yasuhiro)

琉球大学・理学部・教授

研究者番号：50295234

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,080,000円

研究成果の概要(和文)：サンゴ礁生物多様性の起源と維持に関するメカニズムの解明は、海洋マクロ生態学の重要テーマである。また、環境変動に伴うサンゴ礁の劣化は、地球環境問題の一つとして注目され、サンゴ礁の潜在的特徴を捕捉した海洋保護区ネットワークの構築が、緊急の課題となっている。このような背景から、基礎研究を元にしたサンゴ礁の保全研究を着想した。本研究では、イシサンゴ類の生物多様性情報(分類学・生物地理学・系統学的データ)の不完全性を充足するための野外調査を行うと同時に、データ分析的に情報不完全性を克服する方法論を検討した。これにより、イシサンゴ類のマクロスケールの多様性パターン、および、保全重要地域を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生物多様性条約第10回締約国会議で採択された愛知目標には、生物多様性と生態系サービスを保全するため、沿岸・海域の10%を保護区にすることが含まれている。本研究で行った保全生物地理学的なサンゴ礁の保全優先地域の特定および順位付け分析は、実効性のある海洋保護区の空間配置を検討するための有望なアプローチである。実際、本研究の分析から、サンゴ礁の基盤をなすイシサンゴ類の種数ホットスポットが明らかとなり、各種の分布レンジに基づく希少性を考慮した保全優先地域が特定された。これらの結果は、サンゴ礁の保全戦略を遂行するための基盤情報となり環境政策への貢献も大きい。

研究成果の概要(英文)：Understanding of potential biodiversity pattern is fundamental to spatial conservation prioritization of coral reef ecosystems that support about one-quarter to one-third of all marine species and associated ecosystem services. To develop marine protected areas network, we focused on biodiversity knowledge shortfalls of Scleractinia coral species. We firstly created the dataset of species geography for stony corals that inhabit tropical and temperate shallow water across the world. Then we revealed macro-scale patterns (e.g. latitudinal and longitudinal diversity gradients) with uncertainty related to species taxonomy and geography. Finally, we identified priority areas for systematic conservation planning and also proposed field survey priorities (e.g. northeastern coast of Australia, the central Coral Triangle, and the coast of Madagascar) to fill diversity knowledge shortfalls for coral reefs.

研究分野：マクロ生態学 生物地理学 生物多様性保全学

キーワード：マクロ生態学 サンゴ礁 生物多様性 生物多様性推定理論 空間的保全優先地域の順位付け分析 海洋保護区

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

サンゴ礁生物多様性の起源と維持のメカニズム解明は、海洋マクロ生態学における重要テーマである。一方、環境変動に関連したサンゴ礁の劣化は、地球環境問題の一つとして注目されている。したがって、サンゴ礁生態系の潜在的特徴や群集形成プロセスを捕捉した海洋保護区ネットワークの構築が、緊急の課題となっている。このような背景から、基礎研究を元にしたサンゴ礁生物多様性の保全計画の分析を着想した。

本研究で特に焦点を当てたのは、サンゴ礁の基盤をなすイシサンゴ類の生物多様性情報の不完全性の問題とその克服である（深見ほか 2010 日本サンゴ礁学会誌 12:17-31 ; Fukami 2015 Animal Conservation 18:318-319）。種の分類学的情報の欠損（Linnean Shortfall）、種の地理分布情報の欠損（Wallacean Shortfall）、種の系統学的情報の欠損（Darwinian Shortfall）は、生物多様性知見のショートフォールと呼ばれる（Hortal et al. 2015 Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 46:523-549）。すなわち、生物多様性の基盤情報の不確実性が、イシサンゴ類のマクロ生態学的パターンを定量して解釈することを阻んでいる。そこで、本研究では、イシサンゴ類の生物多様性情報を充足するための野外調査を行うと同時に、データ分析的に情報不完全性を緩和する方法論を検討し、その上で、イシサンゴ類の種数の地理的パターン（緯度・経度パターン）、および保全重要地域を明らかにした。

2. 研究の目的

本研究では、以下の課題に取り組んだ。1) イシサンゴ各種の種判別の不確実性の定量。2) イシサンゴ種の地理分布の不完全性を考慮した種数推定と種多様性の全球的パターンの解明、3) サンゴ礁の空間的保全優先地域の特定と海洋保護区ネットワークの空間デザインの検討。

3. 研究の方法

イシサンゴ類の多様性が豊かで、分布情報が十分でない東南アジア島嶼（インドネシアやフィリピン）および東アジア島嶼（台湾や琉球諸島）で、野外調査を行った。各地のサンゴ礁において、礁斜面の等深線に沿ってトランセクトを設置し、方形枠を置いて俯瞰画像と接写画像を撮影した。そして、俯瞰画像をコンピュータ上で解析し、各地域/地点/トランセクト/コードラート毎のサンゴ密度、種組成、群体サイズなどを測定した。また、一部の分類群については分子系統学的な実験を行い、種判別を行った。同時に、博物館の標本情報、電子データベース（GBIF や OBIS）、分布を記載した文献などを網羅的に収集して、各種の地理分布のデータセットを作成した。

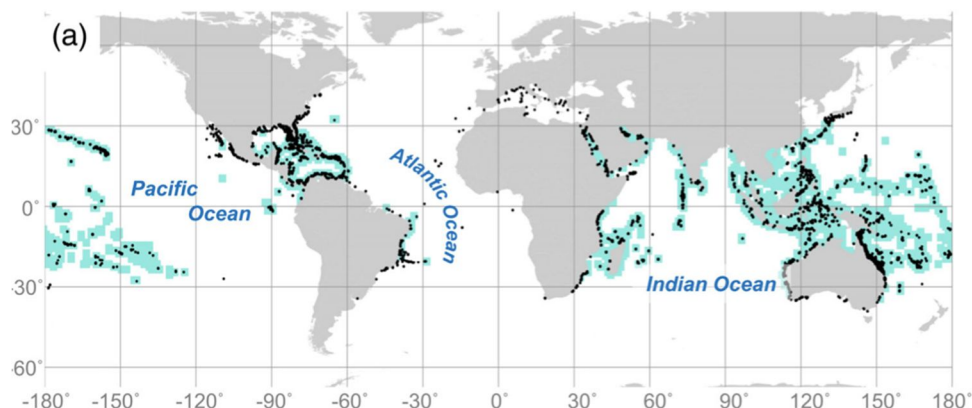


図1 全球スケールのイシサンゴ類の分布データ

4. 研究成果

1) イシサンゴ各種の種判別の不確実性の定量

イシサンゴ群集の観察データにおける種同定の不確実性を検証した(図3左)。イシサンゴ類の中でも分類学的知見が不足しているハマサンゴは、30%近い種が同定できていないことが明らかである。さらに、ミドリイシサンゴは10%以上が種同定できておらず、そのようなデータが数千件もあることが分かった。さらに、サンゴ礁の地域毎に種の未同定率を検証した(図3右)。例えば、沖縄の宮古島や石垣島の白保では、95%以上の種が同定されているが、三宅島や奄美諸島では、種同定が十分にできていない。分類群間や地域間の未種同定率はLinnean ShortfallやWallacean Shortfallを明示しており、イシサンゴ種の分布評価が不確実なことを表している。

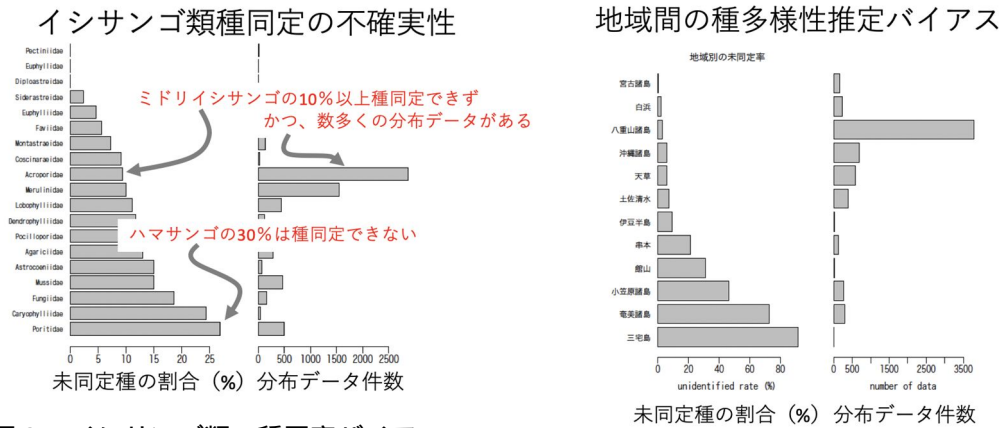


図3 イシサンゴ類の種同定バイアス

2) イシサンゴの地理分布の不完全性を考慮した種数推定と種多様性の全球的パターンの解明
イシサンゴ類 697種の分布情報を用いて、全球的なイシサンゴの種数パターンを検証した。この分析では、イシサンゴ種の分布データの空間的な偏り(バイアス)を考慮するため、多様性推定理論に基づいてメッシュごとの標準的な種数を推定した(図4)。

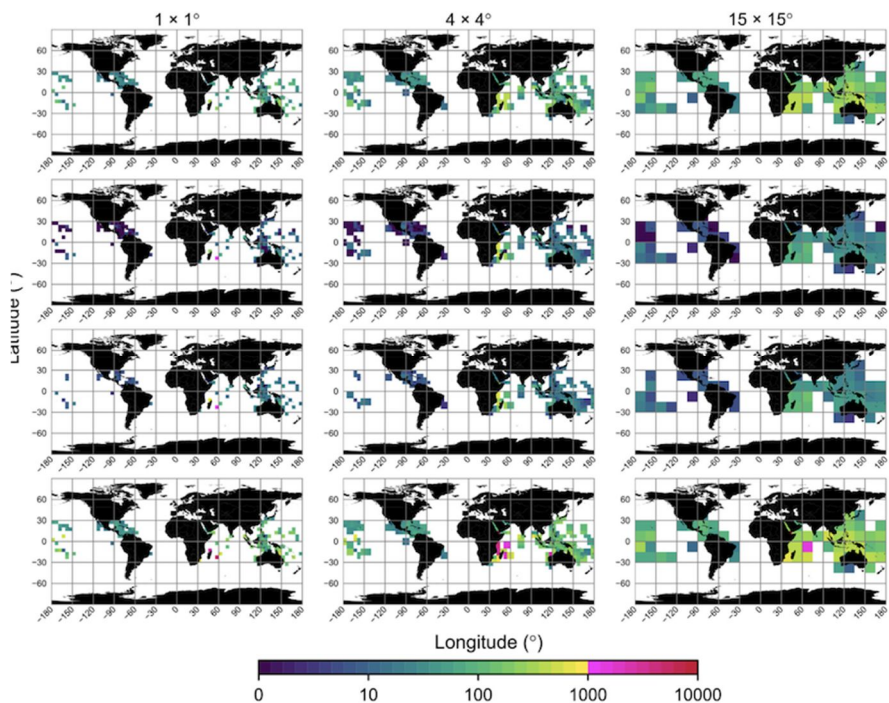


図4 イシサンゴ類分布データの不完全性を考慮した種数パターン。赤色メッシュほど種数が豊かで、青色メッシュほど種数が少ないサンゴ礁。

そして、イシサンゴ類の種数の緯度・経度パターンを様々な空間メッシュスケール（1 ° から 15 ° ）で検証した（図 5）。熱帯外の高緯度で、イシサンゴ種数が減少する傾向は明らかだが、種数の緯度勾配は明瞭ではない（図 5 左）。なお、イシサンゴ種のレンジマップデータから推定されたイシサンゴ種数の緯度勾配（図中の黒色の破線）は比較的明瞭だった（Tittensor et al.2010. Nature 466: 1098-1101）。この結果から、分析データ（occurrence データと種分布レンジデータ）によって多様性パターンの検出に差異が生じることが示された。

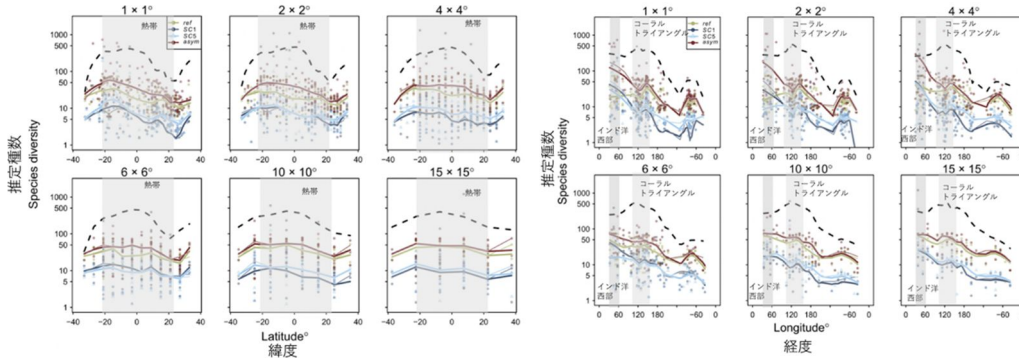


図 5 イシサンゴ類種数の緯度・経度勾配パターン。推定種数は茶色・黄緑・水色・青色の実線で示されている。黒色破線は、種レンジマップを重ね合わせて得られた種数パターン。

また、インド洋西側でイシサンゴ種数が豊かで、東南アジアにかけて種数が少なくなる、種多様性の経度勾配が明瞭だった（図 5 右）。従来のサンゴ礁生物多様性の研究では、東南アジアのコーラルトライアングルと呼ばれる地域が、多様性ホットスポットとして注目されてきた。しかし、推定種数の曲線から分かるように、コーラルトライアングルよりも、インド洋西岸（マダガスカル地域など）の種数が豊かで、イシサンゴの種数ホットスポット特定には、調査努力量に関係した分布データの歪みが影響することが明らかになった。

そして、イシサンゴ類の分布データの充足度を元に、イシサンゴ類多様性情報不足を効果的に緩和する調査重点地域を特定した。生物多様性推定理論に基づくと、調査努力量あたり新たに記録・記載できるイシサンゴ種の数が多い地域（未観測種数の多い地域）を優先的に調査するのが効率的である。したがって、調査努力量当たりの未記録種の発見率が高いことが予想される地域を重点調査地と定義して、その優先地域を特定した（図 6）。現状のイシサンゴ類の分布や分類に関わる多様性情報の不完全性を、生物多様性推定理論に基づいて定量することによって、サンゴ礁の多様性ショートフォールを戦略的に改善できる可能性が示唆された。

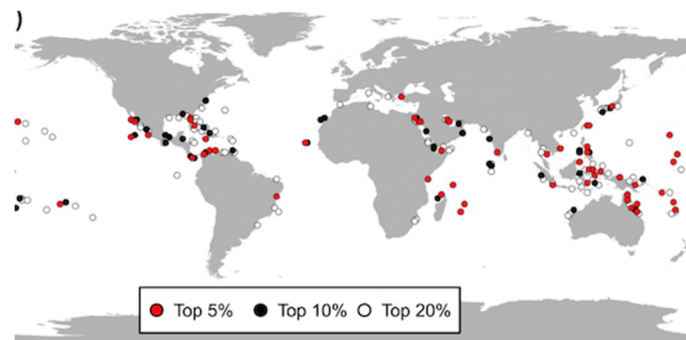


図 6 イシサンゴ類多様性ショートフォールを充足するための調査優先地域

3) サンゴ礁の空間的保全優先地域の特定と海洋保護区ネットワークの空間デザインの検討

サンゴ礁生物多様性のホットスポットの成り立ちには、進化生態学的な様々な要因が作用している。サンゴ礁を永続的に保全するには、サンゴ礁の起源と維持に関わる潜在的メカニズムを捕捉した海洋保護区ネットワークが不可欠である。そこで、イシサンゴ類のガンマ多様性（地球上のイシサンゴ全種）を保全する上で、最低限保全すべきサンゴ礁を特定した（図7左）。



図7 ガンマ多様性を保全目標にした場合に最低限保全すべき最も重要なサンゴ礁

サンゴ礁の保全最重要地域の地理分布に関わる環境ドライバーを検証すると、サンゴ礁近傍の人口・人為影響指数・GDPなど社会経済的な因子の説明力が大きいことが明らかになった（図7右）。つまり、サンゴ礁生物多様性の最重要地域は、人為活動の活発な地域に近接していることから、将来的な存続リスクが示唆された。このことは、海洋保護区によってサンゴ礁を保全しようとする場合、保全計画と社会経済活動の調和が問題になることを意味している。

さらに、イシサンゴ種の分類（種の誤同定）や分布情報の不完全性を考慮した上で、イシサンゴ種の絶滅リスクを最小化するための保全上重要なサンゴ礁をスコアリングして、海洋保護区

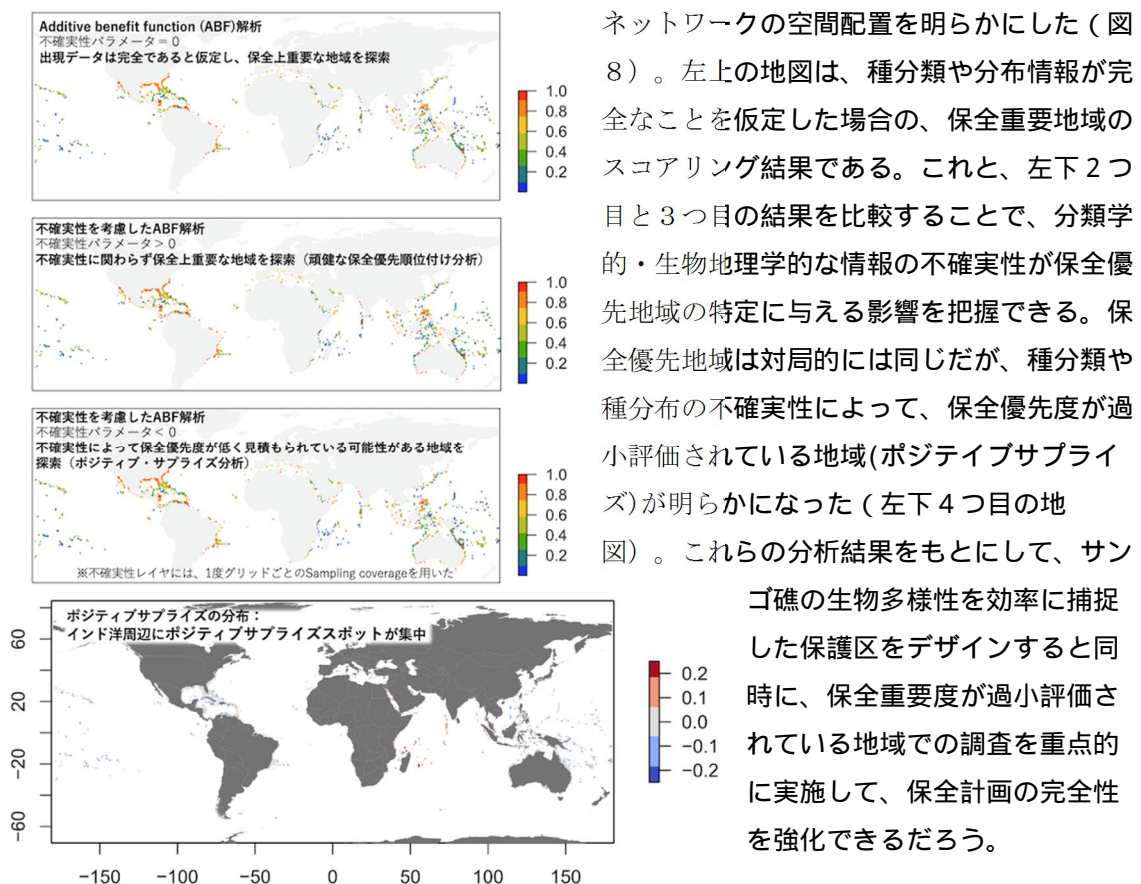


図8 分類学的・生物地理学的情報の不確実性を考慮した空間的保全優先地域のスコアリング

ネットワークの空間配置を明らかにした（図8）。左上の地図は、種分類や分布情報が完全なことを仮定した場合の、保全重要地域のスコアリング結果である。これと、左下2つ目と3つ目の結果を比較することで、分類学的・生物地理学的情報の不確実性が保全優先地域の特定に与える影響を把握できる。保全優先地域は対局的には同じだが、種分類や種分布の不確実性によって、保全優先度が過小評価されている地域（ポジティブサプライズ）が明らかになった（左下4つ目の地図）。これらの分析結果をもとにして、サンゴ礁の生物多様性を効率に捕捉した保護区をデザインすると同時に、保全重要度が過小評価されている地域での調査を重点的に実施して、保全計画の完全性を強化できるだろう。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Price NN, Muko S, Legendre L, Steneck R, van Oppen MJH, Albright R, Ang Jr P, Carpenter RC, Chui APY, Fan TY, Gates RD, Harii S, Kitano H, Kurihara H, Mitarai S, Padilla-Gami?o JL, Sakai K, Suzuki G, Edmunds PJ	4. 巻 621
2. 論文標題 Global biogeography of coral recruitment: tropical decline and subtropical increase	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Marine Ecology Progress Series	6. 最初と最後の頁 1~17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3354/meps12980	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 Chao A, Kubota Y, Zeleny D, Chiu C H, Li C F, Kusumoto B, Yasuhara M, Thorn S, Wei C L, Costello M J., Colwell R K.	4. 巻 35
2. 論文標題 Quantifying sample completeness and comparing diversities among assemblages	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ecological Research	6. 最初と最後の頁 292~314
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/1440-1703.12102	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 Yasuhara M, Wei C-L, Kucera M, Costello M J, Tittensor D P, Kiessling W, Bonebrake T C., Tabor C R, Feng R, Baselga A, Kretschmer K, Kusumoto B, Kubota Y	4. 巻 201916923
2. 論文標題 Past and future decline of tropical pelagic biodiversity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 1~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.1916923117	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 Kusumoto B, Costello M J, Kubota Y, Shiono T, Wei C L, Yasuhara M, Chao A	4. 巻 35
2. 論文標題 Global distribution of coral diversity: Biodiversity knowledge gradients related to spatial resolution	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ecological Research	6. 最初と最後の頁 315~326
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/1440-1703.12096	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 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Arakaki S, Daud P D, Kubota Y, Tokeshi M
2. 発表標題 Biodiversity of Indo-Pacific coral reef ecosystems: change in species abundance and composition of corals and fishes in North Sulawesi
3. 学会等名 The International Biogeography Society, Meeting on Climate Change Biogeography (国際学会)
4. 発表年 2017年～2018年

1. 発表者名 塩野貴之, 安室春彦, 楠本聞太郎, 久保田康裕
2. 発表標題 日本における沿岸魚類の多様性パターン
3. 学会等名 日本生態学会第64回全国大会 (2017年3月、東京)
4. 発表年 2016年～2017年

1. 発表者名 Takashina N, Kusumoto B, Kubota Y, E.P. Economo
2. 発表標題 A geometric approach to understanding macroecological patterns across scales
3. 学会等名 International Biogeographical Society meeting: 23 March 2018, Evora, Portugal. (国際学会)
4. 発表年 2017年～2018年

1. 発表者名 Iguchi A.
2. 発表標題 Examination of inter- and intraspecific genetic differentiation of reef-building coral <i>Acropora</i> based on SNPs and haplotype frequency based approaches.
3. 学会等名 Joint Conference of the 12th International Marine Biotechnology Conference and the 12th Asia Pacific Marine Biotechnology Conference. (国際学会)
4. 発表年 2019年～2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

サンゴ礁の生物多様性ホットスポットを探せ！
<https://note.com/thinknature/n/n28da851a4685>
生物多様性ビッグデータ：海洋保護区でサンゴ礁を保全する際の問題点
<https://note.com/thinknature/n/na97e591a1c87>
サンゴ礁の生物多様性に関する新たな知見
https://www.youtube.com/watch?v=YGytUt9cYo&feature=emb_title

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	新垣 誠司 (Arakaki Seiji) (10452963)	九州大学・理学研究院・助教 (17102)	
研究分担者	酒井 一彦 (Sakai Kazuhiko) (50153838)	琉球大学・熱帯生物圏研究センター・教授 (18001)	
研究分担者	渡邊 謙太 (Watanabe Kenta) (50510111)	沖縄工業高等専門学校・技術室・技術専門職員 (58001)	
研究分担者	井口 亮 (Iguchi Akira) (50547502)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・主任研究員 (82626)	
研究分担者	楠本 聞太郎 (Kusumoto Buntarou) (90748104)	琉球大学・理学部・博士研究員 (18001)	