

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：82708

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K20011

研究課題名（和文）黒潮流域の魚類生態系サービスの緯度間比較と温暖化影響の評価

研究課題名（英文）Evaluation of latitudinal gradients and climate-related responses of potential stocks of reef fish-based ecosystem services in the Kuroshio Current region

研究代表者

佐藤 允昭（Sato, Masaaki）

国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産技術研究所(神栖)・主任研究員

研究者番号：10805865

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：海水温上昇が進む黒潮流域のフィリピンから高知の沿岸において、サンゴ群落の魚類が提供する水産物、鑑賞魚、ダイビングの生態系サービスの供給可能量を算出し、その緯度勾配を検証した。水産物の価値は熱帯と亜熱帯にピークがみられ、鑑賞魚とダイビングの価値は高緯度ほど低くなる傾向がみられた。さらに、琉球列島と高知において、過去10～15年間の魚類相と生態系サービスの変化を調べたところ、生態系サービスの変化は一部のみであったが、サンゴ食魚類はサンゴの白化により八重山と高知で減少し、植食魚はサンゴ被度と関係なくすべての地域で増加していることが判明し、温暖化による直接・間接的な魚類への影響が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では黒潮流域の熱帯から温帯の広範囲で複数の魚類生態系サービスの供給可能量を示し、サービスのホットスポットを把握することができた。また、生態系サービスは魚類の種多様性が高いほど高くなり、生物多様性の保全が各サービスの価値を高く保つ上で重要であることが示された。これらの成果は、生態系サービスの保全や持続的利用を軸とした保護区の配置や海域管理へ活用されることが期待される。加えて、過去10～15年間の琉球列島及び高知において植食魚の増加とサンゴ白化によるサンゴ食魚の減少がみられ、温暖化に伴う我が国沿岸域の魚類相の変化を示唆する証拠が得られた。

研究成果の概要（英文）：Ocean warming can contribute to a coral bleaching and the rapid tropicalization of the temperate coasts in Kuroshio current region. We estimated the latitudinal patterns of reef fish-based ecosystem services (fisheries, aquarium fish, and recreational diving) from tropical to temperate zones in this region. Additionally, we evaluated changes in fish communities and the associated ecosystem services over 10-15 years. We found a latitudinal decline from south to north in aquarium fish production and diving, whereas the peaks of fisheries production were found in both tropical and sub-tropical zones. The results also showed that there were no large changes in the ecosystem services over 10-15 years whereas herbivores increased at all regions and coral feeders declined at sub-tropical and temperate coasts due to coral bleaching. These results suggest ocean warming directly or indirectly change the fish community in this region.

研究分野：海洋生態学

キーワード：生態系サービス 温暖化 魚類 サンゴ礁 岩礁

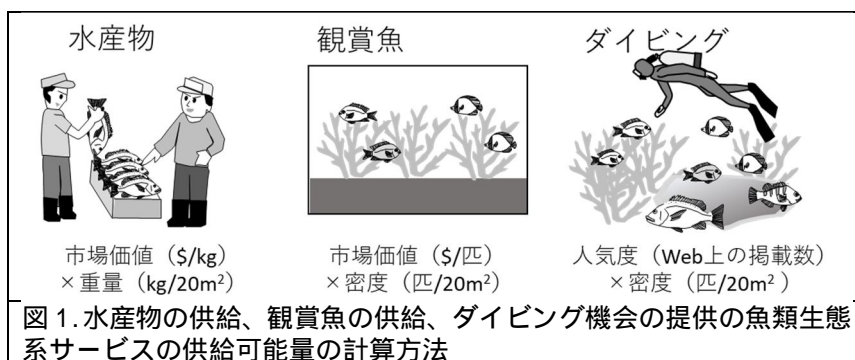
1. 研究開始当初の背景

沿岸生態系の中でもサンゴ群落では魚類を中心に生物多様性が高く、単位面積あたりの生態系サービスの経済価値が高いことが知られている。しかし、近年の気候変動に伴う高水温やサンゴの白化により、サンゴ群落が提供する生態系サービスの変化が予想される。実際、石垣島と西表島の間にある石西礁湖では2016年のサンゴの大規模白化により魚類が減り、その生態系サービス(漁業、観賞魚、ダイビング)の供給可能量が大きく減少した。しかし、日本を含む東アジアではこのような実証例はなく、温暖化に伴い浅海礁の魚類生態系サービスがどの程度変化しているのかよくわかっていない。また、世界的にみても海洋の供給・文化的サービスの福利や金銭の評価は多いが、漁業以外のサービスでは生物的側面からの評価が難しく、サンゴ群落を含む海洋のサービスの供給可能量の評価は不足している。

温帯から熱帯にかけて海洋の生物相は様変わりする。例えば、熱帯域では多様な魚類が生息し、ダイビングや観賞魚として人気なものが多いが、温帯域ではその数は限られてくる。そのため、低緯度ほど魚類の種多様度が高くそれらのサービスの供給可能量も大きいことが予想される。また、気候エンベロープモデルによると(Cheung et al. 2009, Fish Fisheries)、熱帯域では局所絶滅により水産種の種数が2010-2050年の間に減少するが、温帯域では温帯種の減少と熱帯種の移入に伴う種組成の変化が大きいことが予測されている。このような予測を支持する温暖化に伴う沿岸域の魚類群集の変化を示す知見は集まりつつあるが、日本沿岸でそのような研究事例は少なく、またそれらが提供する生態系サービスの変化にまで踏み込んだ研究はない。

2. 研究の目的

本研究では他地域よりも海水温上昇が進む黒潮流域の熱帯域から温帯域において、多様な生態系サービスを提供するサンゴ群落の魚類を対象に生態系サービスの緯度勾配を検証する。生態系サービスは、各

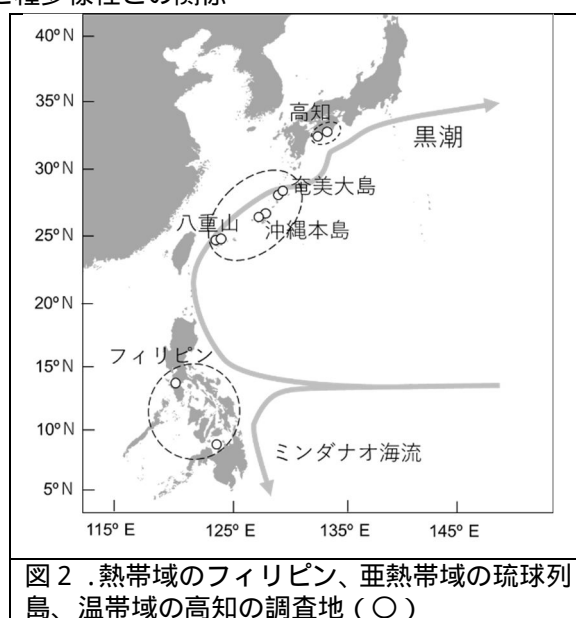


魚種の密度に水産物・観賞魚の市場価値とダイビングにおける人気度ランクを乗じることで、水産物の供給、鑑賞魚の供給、ダイビングの供給可能量として算出する(図1)。さらに、2005年~2011年と現在の魚類の密度データを用いて、魚類相と生態系サービスの供給可能量が過去10~15年でどのように変化したかを明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 魚類生態系サービス供給量の緯度勾配と種多様性との関係

黒潮流域のフィリピン(ミンダロ島、ミンダナオ島) 琉球列島(西表島、石垣島、沖縄本島、奄美大島) 高知(柏島、横浪)のサンゴ群落において2005~2011年の8~10月に採集された魚類データ(トランセクト法: 1 × 20m、n > 5)(Nakamura et al. 2008 Est Coast Shelf Sci; Nakamura et al. 2013 PLOS one; Honda et al. 2014, PLOS one)と市場価格やウェブ上の情報を組み合わせて、水産物の供給、鑑賞魚の供給、ダイビングといった生態系サービスの供給可能量を算出した。具体的には、水産物では各魚種の市場価値(\$/kg) × 重量(kg/20m²)の総和による経済価値、観賞魚では各魚種の市場価値(\$/匹) × 密度(匹/20m²)の総和による経済価値、ダイビングではウェブ上の掲載数を基にした各魚種の人気度(ランク) × 密度(匹/20m²)の総和によるランク価値を計算した。なお、経済価値の計算の際には購買力平価を用いて、異なる国間の物価の違いを補正している。各地点の生態系サービスの潜在的価値が緯度ならびに魚類の種数と関係するか、統計モデルにより検証した。



(2) 過去10-15年間の魚類群集及び生態系サービス供給可能量の変化

本研究では COVID-19 の影響でフィリピンでの調査は実施できなかった。そこで、2005～2011 年の魚類データが収集されている琉球列島および高知の 7 地点において、2020 年～2023 年の 7～11 月の期間に魚類の潜水目視調査 (1×20m, n>5) を 2 回ずつ実施した。採集した魚類データに対して、熱帯性と亜熱帯・温帯性の魚種 (FishBase により分類) 及び食性ごとに魚類を分類し、過去 10-15 年間の密度変化を調べた。また、(1) の方法で 2020 年～2023 年の鑑賞魚及びダイビングの生態系サービスの供給可能量を算出し、過去 10-15 年間の変化を検証した。

4. 研究成果

(1) 魚類生態系サービス供給量の緯度勾配と種多様性との関係

黒潮流域における魚類生態系サービスの緯度勾配を検証したところ、水産物の経済価値は熱帯と亜熱帯に 2 つのピークがみられた (図 3)。この理由として、フィリピンと琉球列島では漁獲対象となる魚種や好まれる種が異なること (ヤガラ科、ハリセンボン科は琉球列島でのみ漁獲される) が挙げられる。一方、鑑賞魚とダイビングの価値は高緯度ほど低くなる傾向がみられた。これらの生態系サービスを提供する魚種は熱帯性のものが多いため、個体数密度と同様に高緯度ほど低くなると考えられた。加えて、緯度に関わらず西表島や高知の柏島がそれらのサービスのホットスポットとなっていることが判明した。また、どのサービスの価値も魚類の種多様性が高いほど高くなり (図 3)、生物多様性の保全が各生態系サービスの価値を高く保つために重要であることが示唆された。これらの成果は研究論文として発表した (Sato et al. 2021 Popul Ecol)。

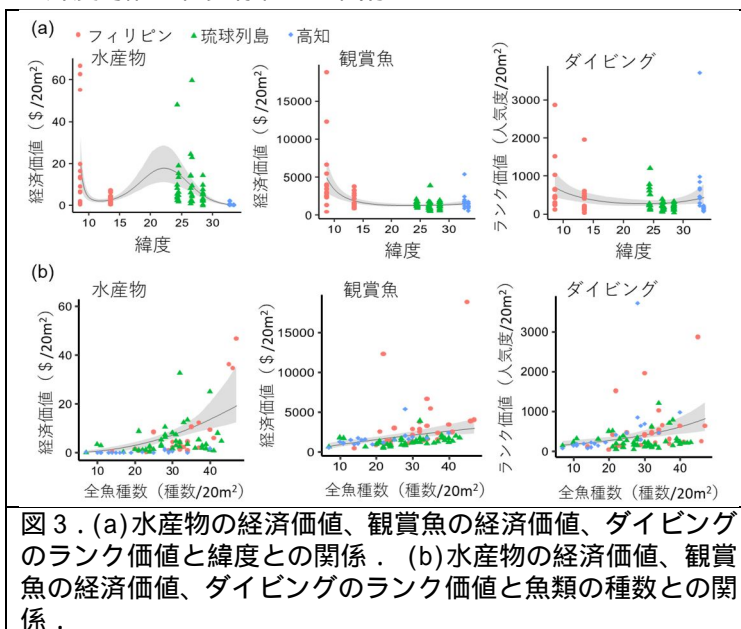


図 3. (a) 水産物の経済価値、観賞魚の経済価値、ダイビングのランク価値と緯度との関係. (b) 水産物の経済価値、観賞魚の経済価値、ダイビングのランク価値と魚類の種数との関係.

(2) 過去 10-15 年間の魚類群集及び生態系サービス供給可能量の変化

過去 10-15 年間の琉球列島及び高知における魚類の種数と個体数の変化をみると、ミスジチョウチョウウオやテングカワハギなどの熱帯性のサンゴ食魚は八重山と高知で減少し、チョウチョウウオ、ニシキペラなどの亜熱帯・温帯性の小型甲殻類食魚は高知で増加していた (図 4)。これは、亜熱帯域の八重山では 2022 年の高水温により、温帯域の高知の地点では 2018 年の冬季の低水温により、サンゴが白化しサンゴ群落の構造が崩壊したことが主な要因と考えられた。一方、サンゴ被度の減少とは無関係に、熱帯性の植食魚はすべての緯度帯で、亜熱帯・温帯性の植食魚は温帯域で増えていた。これらの結果は温暖化の進行に伴う魚類相の変化を示唆している。生態系サービスに注目すると、鑑賞魚の供給可能量は全ての緯度帯で増加していたが、ダイビングについては大きな変化はみられなかった。

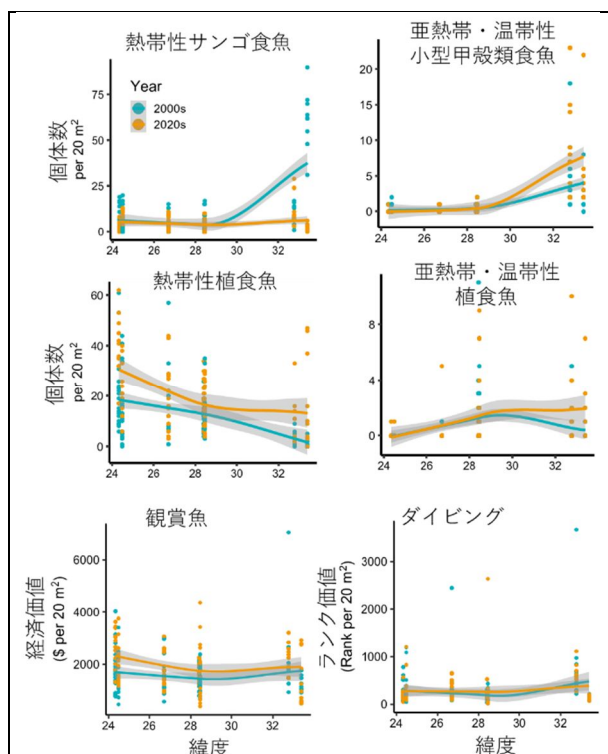


図 4. 過去 (2005 年～2010 年) と現在 (2020 年～2023 年) の熱帯性サンゴ食魚、亜熱帯・温帯性小型甲殻類食魚、熱帯性及び亜熱帯・温帯性植食魚の個体数と、観賞魚とダイビングの生態系サービスの供給可能量

本研究によって得られた知見をまとめると以下ようになる。生態系サービスの緯度勾配は自然資本の分布 (本研究では魚類の密度) と地域的な市場価値の特性の影響を受ける。生態系サービスの価値は魚類の種多様性と正の相関があり、生物多様性の保全は生態系サービスの供給において重要である。過去

10-15年間の魚類相の変化をみると、琉球列島と高知で植食魚は増えているが、高知では水温・生息場が安定しないことで熱帯性のサンゴ食魚が減るなど、機能群により密度変化に違いがある。海水温上昇の直接的な影響だけでなく生息場や餌となる生物の変化が魚類相に影響していると考えられる。生態系サービスでは観賞魚の価値は増加していたがダイビングについては変化がみられなかった。今後、水産物の価値を算出するとともに、温暖化との関係を検証するために熱帯性と亜熱帯・温帯性の魚種に分けて生態系サービスの評価を進める。

その他の成果

本研究の主要な成果は上記のとおりであるが、その他の成果を記す。

- ・黒潮流域にある千葉県館山において、環境 DNA を用いて高層魚礁周辺の水産種の魚類の分布を推定した (Sato et al. 2021 Sci Rep)。

引用文献

- Cheung WW, Lam VW, Sarmiento JL, Kearney K, Watson R, Pauly D (2009) Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios. *Fish and Fisheries* 10:235-251.
- Honda K, Nakamura Y, Nakaoka M, Uy WH, & Fortes MD (2013) Habitat use by fishes in coral reefs, seagrass beds and mangrove habitats in the Philippines. *PLoS One* 8(8): e65735.
- Nakamura Y, Tsuchiya M (2008). Spatial and temporal patterns of seagrass habitat use by fishes at the Ryukyu Islands, Japan. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 76(2):345-356.
- Nakamura Y, Feary DA, Kanda M, Yamaoka K (2013). Tropical fishes dominate temperate reef fish communities within Western Japan. *PLoS One* 8(12): e81107.
- Sato M., Nakamura Y, Hori M (2021) Potential stocks of reef fish-based ecosystem services in the Kuroshio current region: Their relationship with latitude and biodiversity. *Population Ecology* 63:75-91.
- Sato M, Inoue N, Nambu R, Furuichi N, Imaizumi T, Ushio M (2021) Quantitative assessment of multiple fish species around artificial reefs combining environmental DNA metabarcoding and acoustic survey. *Scientific Reports* 11(1): 19477.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Sato M, Nakamura Y, Hori M	4. 巻 63
2. 論文標題 Potential stocks of reef fish based ecosystem services in the Kuroshio Current region: Their relationship with latitude and biodiversity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Population Ecology	6. 最初と最後の頁 75 ~ 91
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/1438-390X.12061	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 Sato M, Inoue N, Nambu R, Furuichi N, Imaizumi T, Ushio M	4. 巻 11
2. 論文標題 Quantitative assessment of multiple fish species around artificial reefs combining environmental DNA metabarcoding and acoustic survey	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 19477
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-021-98926-5	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 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 佐藤 允昭; 中村 洋平; 堀 正和
2. 発表標題 黒潮流域の魚類生態系サービス：緯度勾配と種多様性との関係
3. 学会等名 2021年度 日本魚類学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤允昭
2. 発表標題 浅海域の魚類生態系サービス～サンゴ礁から人工魚礁まで～
3. 学会等名 第10回JAUSダイビング活動シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sato M; Nakamura Y
2. 発表標題 Fish community changes over 10-20 years in the Kuroshio current region
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Sato M; Nakamura Y
2. 発表標題 Reef fish community shifts in the Kuroshio Current region over 10-15 years under ocean warming
3. 学会等名 Indo-Pacific Fish Conference 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>黒潮流域のサンゴ群落に棲む魚類の多面的な価値を算出 - 低緯度、種多様性が高いほど高い価値を持つ - https://www2.fra.go.jp/xq/seika/seika016/</p>
--

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
研究協力者	中村 洋平 (Nakamura Yohei)	高知大学・教育研究部総合科学系黒潮圏科学部門・教授 (16401)	

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