様　式　C－１９、F－１９－１、Z－１９　（共通）

科研費
KAKENHI

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成 ３０ 年　 ６ 月　 ３ 日現在

機関番号：１６４０１
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2015～2017
課題番号：１５Ｋ０７５２９

研究課題名（和文）温暖化に伴う温帯沿岸の環境変化が水産有用魚類の種組成の遷移に与える影響

研究課題名（英文）Effects of climate-induced changes in the temperate coastal environment on the species composition of commercially important fishes

研究代表者
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・准教授

研究者番号：６０５３０４８３

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　2,800,000円

研究成果の概要（和文）：高知県沿岸での岩場からサンゴ場への環境変化に伴う魚類相の遷移に，魚類の基質（岩，サンゴ）に対する依存性や冬季の低水温耐性がどのように関わるのかを野外観察と室内実験で調べた。その結果，岩場からサンゴ場への環境変化は，温帯性魚類から熱帯性魚類を中心とした魚類相への遷移に大きな影響を与える可能性が高いこと，また，熱帯性魚類の冬季の低水温耐性もこの遷移を促進させる重要な条件となることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：Ocean warming has led to the expansion of coral habitat and shifts in the species composition of fish assemblages on temperate rocky reefs. To clarify the mechanisms involved in these processes, the dependence of temperate and tropical fishes on different substrates (rock and coral) and the winter water temperature tolerance of tropical fishes were investigated in Kochi Prefecture, western Japan, through field observations and laboratory experiments. The results suggested that the change in substrate type from rock to coral was a major driver for the shift in species composition from temperate to tropical fish species, and that the winter water temperature tolerance of tropical fishes is a key factor that has allowed their populations to establish on temperate reefs.

研究分野：魚類生態学

キーワード：地球温暖化　魚類相　沿岸環境変化

１．研究開始当初の背景

海面水温が世界平均の水温上昇の２～３倍の速度で上昇している高知県沿岸では，温暖化の影響を受けて 1990 年代以降に岩場に造礁サンゴ群落（以下，サンゴ場）が発達してきている。沿岸魚類はハビタットへの依存度が高いため，温暖化に伴うサンゴ場の拡大は，サンゴ場を好む熱帯性魚類の増加と，岩場を好む温帯性魚類の減少という沿岸魚類相の質的変化を促進する可能性が高い[1]。

これまでの海洋生物分布に対する温暖化の影響予測では，現在の分布と水温との関係を求めた上で，将来の水温変動のシナリオをあてはめて今後の分布を推定する方法が一般的に用いられてきた。しかしながら，沿岸魚類は水温だけでなく，ハビタットがその分布に大きく影響する。新旧のハビタットが揃う高知県沿岸の環境を最大限に生かして，同海域に出現する温帯性魚類と熱帯性魚類の岩場とサンゴ場に対する依存性を明らかにできれば，温暖化に伴う魚類の分布変化予測モデルに，水温変化だけでなく，ハビタットの分布変化も要素の一つとして含めることが重要であることを示すことができる。

２．研究の目的

本研究では，高知県沿岸に出現する温帯性魚類と熱帯性魚類を対象に，各種の摂餌場所としての岩場とサンゴ場への依存性を明らかにする。また，熱帯性魚類の冬季低水温耐性についても明らかにすることで，温暖化に伴う魚類の種組成の遷移に，サンゴ場の拡大や冬季の低水温耐性がそれぞれどのような役割を果たすのかを明らかにすることを目的とする。また，本研究によって温帯性魚類と熱帯性魚類のハビタットに対する依存性が明らかになれば，温暖化に伴う魚類の分布変化予測モデルに対して新たな提言を行う。

３．研究の方法

（1）調査は，高知県須崎市横浪半島にある小湾（湾口 500m，最大水深 12m）で行った。この湾の右側にはサンゴ場が，左側には岩場が広がっている。したがって，湾内で魚類はどちらのハビタットも利用できる。水産上の価値や個体数の多さ，越冬の有無等から，研究対象種として底生無脊椎動物食魚類（以下，ベントス食魚類）と藻食性魚類（以下，藻食魚類）の中から，温帯種と熱帯種をそれぞれ数種選んだ。ベントス食魚類：カワハギ・キュウセン（温帯種），チョウチョウウオ・フウライチョウチョウウオ・オジサン・コバンヒメジ（熱帯種）。藻食魚類：ブダイ・ニザダイ・メジナ（温帯種），ニジハギ・ニセカンランハギ・ヒブダイ（熱帯種）。

（2）上記の研究対象 12 種の生息場所分布パターンを明らかにするために，湾内の５つの生息場所（板状サンゴ域と枝状サンゴ域，岩礁域，転石域，砂地）に１m×20mのベルトトランセクトをそれぞれ 10 本設定し，SCUBA 潜水による目視観察でトランセクト上に出現した各種の個体数と全長を記録した。調査は各種の個体数が多い 9 月から 11 月の間に行った。

（3）研究対象 12 種がどの生息場所（基質）で頻繁に摂餌を行っているのかを明らかにするために，摂餌行動がみられた基質（生サンゴ，死サンゴ，岩礁など）と摂餌（ついばみ）回数を 1 個体あたり 30 分間，スノーケリングによる目視観察で記録した。調査期間を通して，サイズクラス毎に 10 個体以上を目標に調べた。そして，各基質での単位時間当たりの摂餌回数をサイズクラス毎に算出した。また，調査時の水温と摂餌回数との相関も求めた。調査は，7 月から 12 月の間に行った。魚類の餌場としての岩場と生サンゴ場と死サンゴ場の役割を明らかにするために，各生息場所から海藻類と無脊椎動物類をそれぞれ 4 か所採集して，その種類と量を生息場所間と季節間で比較した。採集は，2016 年冬（12 月）と 2017 年夏（9 月）に行った。

（4）高知県沿岸に出現する熱帯性魚類のうち，越冬できる種とそうでない種の低水温時における摂餌回数と生残率を水槽実験で調べた。まず，実験区では，25℃から実験を開始し，15℃になるまで一日１℃ずつ水温を下げた。その期間，供試魚に給餌し，その摂餌時間や摂餌行動などをビデオで記録した。一方，対照区では，常に 25℃に設定した状態で，実験区と同様の実験を同じ期間に行った。各種につき，実験区・対照区ともにそれぞれ 10 個体程度を調べ，各個体は干渉がないように，別々の水槽に入れて実験に供した。先行研究による越冬の有無の情報[1,2]と水槽の大きさ等の制約から，本実験は，スズメダイ科 3 属 5 種，チョウチョウウオ科 1 属 2 種を対象に行った。

４．研究成果

（1）藻食魚類の密度を生息場所ごとにみると，温帯種のブダイとメジナは主に岩場に，ニザダイは岩場とサンゴ場に出現した。熱帯種のヒブダイはサンゴ場に出現したのに対して，ニジハギとニセカンランハギは岩場とサンゴ場に出現した。

ベントス食魚類をみると，温帯種のカワハギは岩場に，キュウセンは岩場とサンゴ場に出現した。熱帯種のチョウチョウウオ，フウライチョウチョウウオ，オジサンは主にサンゴ場に，コバンヒメジは岩場に出現した。

（2）調査期間を通して摂餌行動を記録した個体数は，カワハギ 27 個体，キュウセン 4 個体，チョウチョウウオ 22 個体，フウライチョウチョウウオ 21 個体，オジサン 26 個体，コバンヒメジ 25 個体，ニジハギ 20 個体，ニセカンランハギ 40 個体，ヒブダイ 32 個体，

ニザダイ 36 個体，ブダイ 36 個体，メジナ 23 個体であった。

主要摂餌場所をみると，藻食魚類のうち，温帯種のブダイとメジナは岩場で摂餌していたのに対して，温帯種のニザダイと熱帯種のヒブダイとニセカンランハギ，ニジハギは岩場と死サンゴ場のどちらでも摂餌していた（図１）。

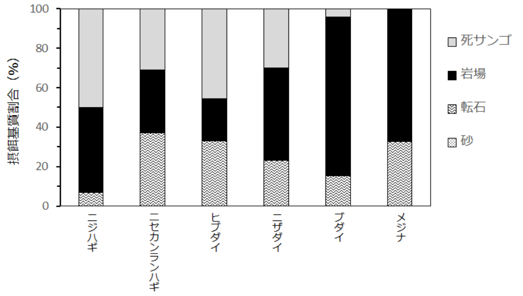

図 1. 藻食魚類各種の摂餌基質割合

ベントス食魚類をみると，熱帯種のチョウチョウウオとフウライチョウチョウウオは生サンゴ場で摂餌していたのに対して，熱帯種のオジサンとコバンヒメジと温帯種のカワハギとキュウセンは主に岩場で摂餌していた。

各種のサイズクラスごとの出現場所と摂餌場所が良く一致していたことから，摂餌場所が各種の分布に大きく影響していることがわかった。また，藻食魚類とベントス食魚類ともに，温帯種は岩場を，熱帯種はサンゴ場を主に利用する傾向がみられたことから，岩場からサンゴ場への環境変化は，温帯種にとっては生息域の縮小を，熱帯性魚類にとっては生息域の拡大をもたらすと考えられた。

（3）研究対象 12 種の摂餌回数と水温との関係を相関解析で調べると，どの種も水温が低下するほど，すなわち，冬に近づくほど摂餌回数は減少した。また，この傾向は，藻食魚類とベントス食魚類ともに，温帯種よりも熱帯種で顕著であった（図２）。

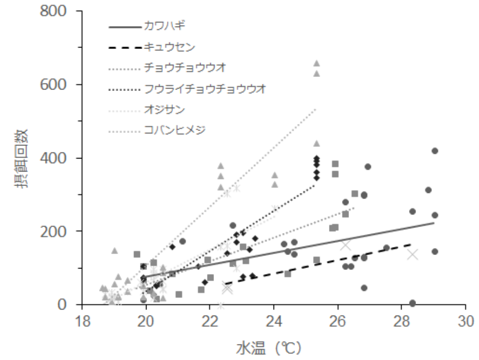

図 2. ベントス食魚類の摂餌回数と水温の関係

岩場とサンゴ場での餌量は，夏よりも冬で少ない傾向がみられたが，その差は大きくなかった。したがって，魚類各種の水温低下に伴う摂餌回数の減少は，餌量よりも，低水温に対する各種の生理耐性が影響していると考えられた。

（4）高知県沿岸に出現する熱帯性魚類のうち，越冬できる種とそうでない種の低水温耐性を水槽実験で調べたところ，前者は高知県沿岸の冬季最低水温（15℃）でも生残率が高かったのに対して，後者は低かった。摂餌率をみると，高水温時はどちらのタイプの種も違いはみられなかったが，水温の低下とともに減少し，18℃を下回ると，越冬できない種は越冬できる種よりも顕著に低下した。このような結果は，スズメダイ科・チョウチョウウオ科の双方で確認できた。先行研究による野外観察でも 18℃を下回ると越冬できない種を中心に熱帯性魚類の個体数が減少し始めることが確認されていることと [1)]，本実験の結果から，冬季最低水温が 18℃近くまで上昇すれば，多くの熱帯性魚類が温帯域に適応できる可能性が高いと考えられた。

（5）本研究によって得られた知見と結論をまとめると，以下のようになる。①岩場からサンゴ場への環境変化は，温帯性魚類を中心とした魚類群集から熱帯性魚類を中心とした魚類群集の遷移に大きく影響する可能性が高い。②熱帯性魚類が温帯沿岸で主要な構成種となるためには，上記の環境変化だけでなく，冬季の最低水温が 18℃近くまで上昇することが必要である。③岩場やサンゴ場に強く依存する種とそうでない種がいたことから，温暖化による魚類の分布変化予測モデルには，水温変化だけで分布変化をある程度予測できる種もいれば，モデルにハビタットの分布変化も考慮に入れないといけない種もいる。④水産有用魚種とハビタットのつながりを明らかにすれば，水温上昇に伴う水産有用魚種の種組成の変化を地域ごとにある程度詳細に予測することが可能となり，温暖化対策構築の際の基礎情報となる。

<引用文献>

1) Nakamura Y, Feary DA, Kanda M, Yamaoka K. Tropical fishes dominate temperate reef fish communities within western Japan. PLoS ONE, 8: e81107, 2013

2) Tose K, Hirata T, Kanda M, Kotera Y, Nakamura Y. Occurrence and reproduction of tropical fishes in ocean warming hotspots of Japanese temperate reefs. Environmental Biology of Fishes, 100:617–630, 2017

５．主な発表論文等
（研究代表者，研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計　4　件）

① Tose K, Hirata T, Kanda M, Kotera Y, Nakamura Y. Occurrence and reproduction of tropical fishes in ocean warming hotspots of Japanese temperate reefs. Environmental Biology of Fishes, 100:617–630, 2017, doi: 10.1007/s10641-017-0590-5（査読有）

② Beck HJ, Feary DA, Nakamura Y, Booth DJ. Temperate macroalgae impacts tropical fish recruitment at forefronts of range-expansion. Coral Reefs, 36:639–651, 2017 , doi: 10.1007/s00338-017-1553-1（査読有）

③ Beck HJ, Feary DA, Nakamura Y, Booth DJ. Wave-sheltered embayments are recruitment hotspots for tropical fishes on temperate reefs. Marine Ecology Progress Series, 546:197–212, 2016, https://doi.org/10.3354/meps11599（査読有）

④ 柴田温子・目崎拓真・中村洋平．高知県安芸郡奈半利町沖の離岸堤でみられる魚類と有藻性イシサンゴ類．黒潮圏科学，9:184–193, 2016,（査読無）

〔学会発表〕（計　2　件）

① Nakamura Y, Tose K. Are all tropical fishes that occur in Japanese temperate reefs tropical vagrants? 第10 回インド太平洋魚類会議（10th Indo-Pacific Fish Conference），2017 年10 月 4 日，タヒチ・コンベンションセンター

② Verges A, Nakamura Y. Mechanisms fascilitating the tropicalization of temperate algal forests in Japan and Australia. 第 13 回国際サンゴ礁学会（13th International Coral Reef Symposium），2016 年 6 月 20 日，ハワイ・コンベンションセンター

〔図書〕（計　4　件）

① 中村洋平．気候変動による藻場植生の変化と魚類相の変遷．海洋と生物，236，印刷中，2018

② Hoey AS, Berumen ML, Bonaldo RM, Burt JA, Feary DA, Ferreira CEL, Floeter SR, Nakamura Y. The ecology of parrotfishes in marginal reef systems（Chapter 12). In:Hoey AS, Bonaldo RM (eds) Biology of parrotfishes. CRC Press, Taylor & Francis group., pp276–301, 2018

③ Booth DJ, Feary D, Kobayashi D, Luiz O, Nakamura Y. Tropical marine fishes and fisheries and climate change (Chapter 26). In: Phillips BF, Perez-Ramirez M (eds) Climate change impacts on fisheries and aquaculture: a global analysis. John Wiely & Sons Ltd., Volume II, pp875–896, 2017

④ 中村洋平．20 章　個体群と群集（20-4. 気候変動），「魚類学」，恒星社厚生閣，東京，pp266–281, 2017

〔その他〕（計　4　件）

① 中村洋平．“～温暖化の最前線～高知から日本の海の未来を考えよう！”第 6 回高知コアセンター講演会「漕ぎ出そう！高知からみらいの海へ」，2017 年 12 月23 日，高知県立大学

② 中村洋平.「海洋アドベンチャータラ号の大冒険２—太平洋横断　サンゴの危機を救え！」．2017 年 7 月 17 日，NHK 総合（番組取材協力・出演）

③ 中村洋平．高知沿岸の環境変化．地球温暖化防止 Cool choice, 2016 年 12 月 1 日，テレビ高知（番組取材協力・出演）

④ Verges A, Nakamura Y, Wernberg T, Bennett S. Session “Ocean warming and the tropicalization of temperate reefs” 第 13 回国際サンゴ礁学会，2016 年 6 月 20 日，ハワイ・コンベンションセンター（国際学会セッションオーガナイザー）

６．研究組織
(1)研究代表者
中村　洋平（NAKAMURA , Yohei）
高知大学・教育研究部総合科学系・准教授
研究者番号：６０５３０４８３