

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：82708

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K19853

研究課題名（和文）体組成変化からアプローチする生物の分布域拡大メカニズム

研究課題名（英文）Metabolite compositions of leopard coral grouper with expanding distribution

研究代表者

山下 洋（YAMASHITA, Hiroshi）

国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産技術研究所（長崎）・主任研究員

研究者番号：00583147

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：生物が分布域を拡大するには、新たに進出する生態系の餌環境に対応する必要がある。サンゴ礁生態系から岩礁生態系へと分布域を拡大したハタ科魚類のスジアラを材料に、異なる餌環境下で体の構成成分「体組成」がどのように変化するのか探った。サンゴ礁と岩礁で採取された天然のスジアラの分析及び人工種苗を用いた水槽実験の結果、異なる餌環境下であってもスジアラの体組成はほぼ一定に調整されることが明らかとなった。この調整には腸内細菌ではなく、スジアラ自身の代謝構造の変化が関与していると考えられた。異なる餌環境下においても自身の体組成を調整する能力がスジアラの分布域拡大を支える原動力である可能性が考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、様々な生物の分布域が北側に拡大しているが、そのメカニズムは未だ不明である。本研究では分布域の拡大時に直面する餌環境の違いに着目した。天然魚の分析と人工種苗を用いた水槽実験から、分布域の拡大に成功したスジアラは異なる餌環境下においても自身の脂質組成を調整可能であった。この調整には腸内細菌ではなく、自身の代謝構造の変化で対応している可能性が示された。これらの結果は、体組成の調整能力の有無が異なる餌環境の生態系への進出、すなわち分布域の拡大の成否を左右するカギとなる可能性を示している。今後より多くの生物で同様の調査を実施することで、生物の分布域拡大メカニズムの一端を解明できる可能性がある。

研究成果の概要（英文）：For organisms to expanding distributions, it is essential to adapt food environments of destination ecosystems. The leopard coral grouper that originally inhabit coral reefs have been observed in more northern ecosystems in recent years. In this study, we investigated how metabolite compositions of the grouper changes under different food conditions. At first, we collected the grouper from original habitat and expanded northern habitat. GC-MS analysis revealed that the ratios of n-3/n-6 PUFAs are different in both habitats, while the lipid class obtained by LC-MS analysis are almost same compositions. We then performed tank experiments with different food sources using hatchery-reared juveniles aged at one-month and one-year old. The results showed that the lipid compositions of food sources were different, nevertheless, that of the grouper were not affected by food sources. Subsequent gene expression analysis indicated that the liver may play an important role in this regulation.

研究分野：微細藻類学・共生生物学・生物海洋学

キーワード：スジアラ 体組成 分布域拡大 生態系 食物網

## 1. 研究開始当初の背景

地球温暖化等の影響により、生物の分布域が高緯度に拡大あるいはシフトしつつある。温度に着目した生物の行動や成熟・繁殖に関する研究が精力的に実施されているが、分布域拡大メカニズムは未だ明らかではない。生物の分布範囲を決める根幹は生理的範囲となる環境の温度であるが、さらに生物間の相互作用（競争・餌環境・捕食者など）、すなわち生態系の構造も影響する。特に餌環境は成長や成熟に大きく影響する。分布域拡大・シフトは、住み慣れた生態系から全く異なる生態系への挑戦であると考えれば、温度に着目した従来のアプローチは重要な観点を見落としていた可能性がある。すなわち、仮に温度環境が適していたとしても、新たな生態系の餌環境に対応できなければ、成長・成熟に影響してしまい、単なる一時的な移動にとどまるのではないか。

## 2. 研究の目的

生物の体は「食べたもの」を分解・再構成してできているため、餌環境などに依存する成分も少なくない。そのため、体を構成する成分の組成「体組成」を調べることで、新たな生態系への適応能力を測ることが可能になるのではないかと。本研究では、従来全く考慮されてこなかった「体組成の変化」という新たな観点を分布域拡大メカニズム研究に確立することを目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究では、サンゴ礁域が本来の生息域である大型のハタ科魚類スジアラを用いた（図1）。スジアラは近年、九州の岩礁生態系へと分布域を拡大しつつあるが、本来の生息域であるサンゴ礁生態系と岩礁生態系は構造が全く異なる。例えば、食物網の起点となる一次生産者がサンゴ礁生態系ではサンゴ内の褐虫藻と呼ばれる渦鞭毛藻である一方、岩礁生態系では植物プランクトンの珪藻であり、食物網に登場する生物の種類も全く異なる。天然のスジアラを用いた分析と種苗生産により得られた供試魚を用いた水槽実験を実施し、食物網構造が全く異なる生態系への進出に伴い、スジアラの体組成がどのように変化するかを探った。



図1. 大型のハタ科魚類スジアラ

### (1) 天然のスジアラを用いた分析

天然のスジアラ供試魚は、本来の生息域にある沖縄県八重山諸島（サンゴ礁生態系）と、分布域拡大の最前線である長崎県対馬あるいは五島列島（岩礁生態系）で採取されたものを使用した。供試魚を解剖し、筋肉組織を得て、液体クロマトグラフ質量分析器（LC-MS）により脂質の分子種組成を、ガスクロマトグラフ質量分析器（GC-MS）により脂肪酸組成の分析を行った。

### (2) 人工種苗を用いた水槽実験

水槽実験は孵化後約1カ月程度の稚魚と、より大型の1歳魚を用いて実施した。以下にそれぞれの供試魚を用いた水槽実験の概要を示す。

#### 孵化後約1カ月の稚魚を用いた水槽実験

孵化後約1カ月のスジアラ稚魚はDHA強化剤を捕食したアルテミアを給餌して飼育している。そこで、このDHA強化アルテミアを岩礁生態系の環境を模した餌とし、サンゴ礁生態系の環境を模した餌として、サンゴ礁生態系の一次生産者である褐虫藻の培養株を捕食したアルテミアを用意した。実験前の稚魚の体長を測定して500L水槽に収容し、DHA強化アルテミアと褐虫藻捕食アルテミアをそれぞれ1日3回、7日間給餌した。実験終了時に再度体長を測定し、質量分析イメージングにより稚魚体内の脂質の分布を明らかにした。また、DHA強化アルテミアと褐虫藻捕食アルテミア、およびそれらを7日間摂食したスジアラの脂肪酸組成の比較を行った。

#### 1歳魚を用いた水槽実験

配合飼料で飼育しているスジアラ1歳魚の体長と体重を測定し、個体ごとに識別可能なタグを挿入して10匹ずつ二つの水槽に収容した。サンゴ礁生態系の餌としてグルクン（タカサゴ科魚類）と岩礁生態系の餌としてサバを用意した。グルクンとサバはそれぞれ頭・内臓・ヒレ・背骨を除去して週に3回、1回につき約100gずつを水槽内のスジアラに与えた。約3か月後に体長と体重を測定、成長率の高かった方から順にそれぞれの水槽から5匹ずつを解剖し、脂質の分子種組成・脂肪酸組成・腸内細菌叢・遺伝子発現解析用の試料を得た。また、餌として与えたグルクンとサバに関しても、脂質分子種組成の分析を実施した。



### 1歳魚を用いた水槽実験

実験前および実験後のスジアラ供試魚の体重と体長を図6に示す。実験期間中の給餌量は、実験前の水槽内の供試魚全体の重量に対して約2倍の量であった。実験終了後のグルクンとサバ給餌群の供試魚の体重は  $338.3 \pm 60.0$  g と  $332.5 \pm 46.0$  g であり、体長は  $277.2 \pm 15.1$  mm と  $274.8 \pm 12.0$  mm であった。グルクンとサバどちらを給餌しても体重・体長に大きな差は見られなかった。なお、実験前後の体重と体長から算出される、グルクンとサバ給餌群の体重の増加量は平均で約181%と171%、体長の増加量は平均で約117%と116%であった。

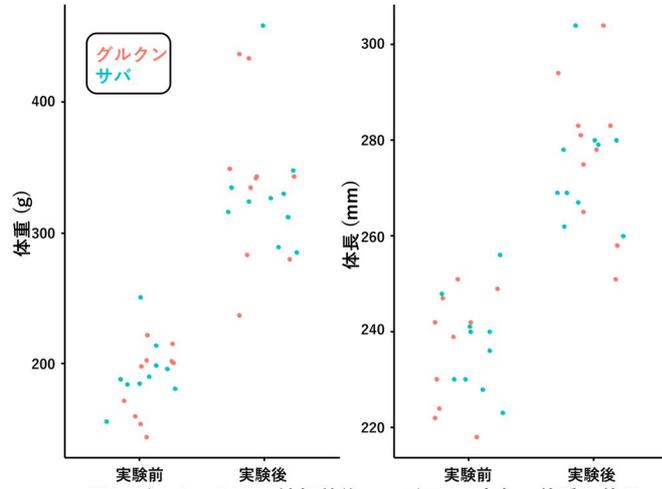


図6. グルクンとサバ給餌前後のスジアラ1歳魚の体重と体長

餌のグルクンとサバ、およびそれらを給餌して飼育したスジアラの脂質の組成を図7に示す。

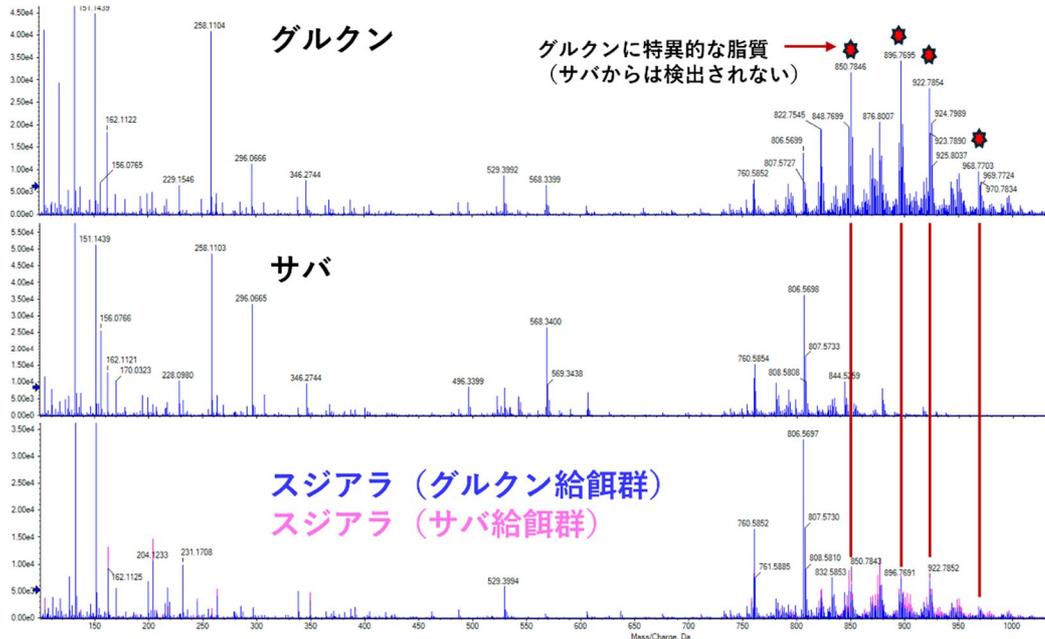


図7. 餌としたグルクンとサバ、およびそれらを給餌したスジアラの脂質

餌としたグルクンにはサバからは検出されない特異的な脂質がいくつか存在した。一方、飼育後のスジアラ脂質の質量分析結果を見ると、グルクン給餌群とサバ給餌群の波形がほぼ一致しており、餌のサバには存在しないグルクン特異的脂質も、サバ給餌群のスジアラから検出された。これは、いずれの餌を食べてもスジアラが自身の脂質を適正に調整できることを示している。このような調整には腸内細菌の働きが、自身の代謝構造の変化が関与していると考えられる。実験終了後のスジアラの腸内細菌叢を解析したところ、グルクン給餌群サバ給餌群ともに Proteobacteria が優占したが、個体ごとの細菌叢の違いが大きく、餌の違いと菌叢の関係は不明瞭であった。しかし、脂質代謝に関与する肝臓の遺伝子発現解析の結果、グルクン給餌群とサバ給餌群でクラスターが分かれた(図8)。個別の発現遺伝子を比較したところ、グルクン給餌群では脂肪酸伸長酵素の ELOVL fatty acid elongase 6 や、脂肪酸代謝に関係する carnitine O-acetyltransferase などがサバ給餌群よりも高いレベルで発現していた。一方サバ給餌群では、脂質の分解・吸収に関わる胆汁酸合成に関与する cytochrome P450 family 3 や脂肪酸の分解に関与する acyl-CoA synthetase などの遺伝子がグルクン給餌群と比べて高いレベルで発現していた。

天然のスジアラの分析と人工種苗を用いた飼育実験の結果、スジアラは全く異なる餌環境であっても自身の体組成を調節可能であることが明らかとなった。また、この調整には腸内細菌叢ではなく、自身の代謝構造の変化が関与していると考えられた。このような能力がスジアラの分布域拡大を支える原動力となっている可能性が考えられる。

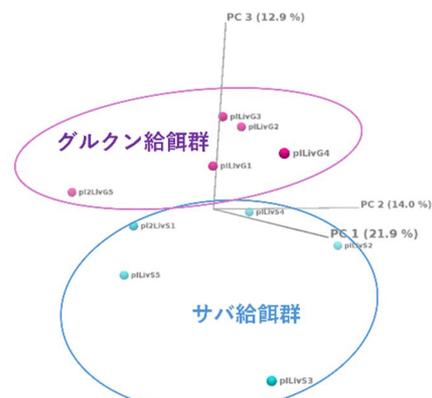


図8. スジアラ肝臓の発現遺伝子の主成分分析

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 森笹瑞季, 山下洋, 奥山隼一, 中川雅弘, 佐々木周大, 森司, 井上菜穂子
2. 発表標題 生育環境の異なるスジアラ魚肉内に含まれる低分子代謝物組成の解析
3. 学会等名 第76回日本栄養食糧学会
4. 発表年 2022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	酒井 隆一  (Sakai Ryuichi)  (20265721)	北海道大学・水産科学研究院・教授    (10101)	
研究分担者	井上 菜穂子  (Inoue Naoko)  (00509515)	日本大学・生物資源科学部・准教授    (32665)	
研究分担者	馬久地 みゆき  (Mekuchi Miyuki)  (40594007)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産資源研究所(横浜)・主任研究員    (82708)	
研究分担者	山口 智史  (Yamaguchi Tomofumi)  (80786749)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産技術研究所(長崎)・研究員    (82708)	

## 6. 研究組織 (つづき)

	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	奥山 隼一 (Okuyama Jun-ichi)  (80452316)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産技術研究所(長崎)・主任研究員  (82708)	
研究協力者	藤倉 佑治 (Fujikura Yuji)  (90840744)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産技術研究所(長崎)・主任技術員  (82708)	
研究協力者	辺 浩美 (Watari Hiromi)  (30962758)	北海道大学・水産科学研究院・助教  (10101)	
研究協力者	北井 優人 (Kitai Yuto)	北海道大学  (10101)	
研究協力者	相本 直哉 (Aimoto Naoya)	北海道大学  (10101)	
研究協力者	森笹 瑞季 (Morisasa Mizuki)	日本大学  (32665)	
研究協力者	佐々木 周大 (Sasaki Shudai)	日本大学  (32665)	

## 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
---------	---------