

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：82708

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2012～2015

課題番号：24405012

研究課題名(和文) 環太平洋海域におけるアマモ場生態系機能・サービスの地域変異性の解明

研究課題名(英文) Spatial variation in ecosystem functioning and services from eelgrass beds

研究代表者

堀 正和 (HORI, Masakazu)

国立研究開発法人水産総合研究センター・その他部局等・研究員

研究者番号：50443370

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：環太平洋のアマモ場の生態系機能と生態系サービスの地域変異性を生み出す要因を解明することを目的に、日本産マガキの養殖のために日本から多くの種が移入している北米西海岸のアマモ場を対象に調査・解析を行った。その結果、移入種よりもマガキ養殖そのものがアマモの生態系機能と生態系サービスの変化を生じさせている傾向が確認された。マガキは本来の生息地である日本周辺海域ではアマモ場に隣接してカキ礁を形成することが多く、アマモ場と物質循環面で相互作用していたことが知られている。本結果は、マガキが移入先の北米西海岸でもアマモ場との相互作用を形成している可能性を示唆している。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to clarify the factors causing spatial variation in ecosystem functioning and ecosystem services of eelgrass meadows in the Pacific Rim. We compared and analyzed the ecosystem functioning and services of eelgrass beds among the sites in both Japanese coast and the West coast of North America where some coastal foundation species had been transported from Japan with Japanese oyster seedlings. The analyses showed not non-native species but oyster farming itself caused the shift in functional structure from grazing-dominant to filter-feeding dominant and that the fish biomass was also more abundant in the seagrass bed with pacific oyster reef. It has been known that original pacific oyster reef is often established adjacent to eelgrass beds and has trophic-facilitative interactions with seagrass beds. Our result suggests a possibility that the original interaction between oyster and seagrass may appear also in the recipient eelgrass bed with oyster farming.

研究分野：海洋生態学

キーワード：沿岸海洋 応用生態 生態系機能 生態系サービス 群集構造 アマモ カキ養殖 生物多様性

1. 研究開始当初の背景

(1)ある特定の生物が優占して他の生物に生息環境を提供し、さらには周囲の物理環境をも変化させるほどの影響を及ぼす場合、その種は基盤種と呼ばれ、陸上では森林における樹木類などが相当する。沿岸生態系はこの基盤種をベースにした生物群集が卓越することが特徴であり (Bruno&Bertness 2001, Hori et al. 2009) 藻場やサンゴ礁、カキやイガイなどの二枚貝礁が相当する。

(2)沿岸域では近年の環境変動や大規模攪乱と相まって人的な生物侵入による基盤種の衰退・置換が顕在化し、生態系機能・サービスへの影響が懸念されるようになった (Simmons 2003, Kelly et al. 2008)。特に、生物侵入に関する報告は北米西海岸での事例が多く、日本から基盤種が移入し、在来の基盤種に様々な影響を与えることが大きく問題視されていた (White&Orr 2011)。ただし、その影響は在来種を駆逐するといった負の影響ばかりでなく、在来生物の産卵場や生育場になることで個体数を増加させるなど、正の影響も発揮していることから (Lincoln 2007)、沿岸域の保全再生やその管理において移入種を常に全除去すべきか、せざるべきかといった議論を引き起こしている (Holsman et al. 2010)。そのため、移入種の負の部分のみに注目するのではなく、生態系機能とサービスを在来種と移入種で比較し、正と負の双方の影響についての確かつ冷静に評価することが求められていた。

(3)アマモは北半球の亜寒帯から温帯海域一円に分布する広域分布種であり、アマモ場は生態系サービスが地球上でもっとも高い生態系の一つであることが知られている。しかしながら、アマモ場は河口域など岸際の浅い砂泥底に形成されるため、台風などの大規模攪乱、河川を介した栄養塩付加、あるいは埋め立てなどの人為的破壊といった局所的な環境変化の影響を受けやすく、その生態系機能は地域変異性が高いことも知られている。

(4)北米西海岸ではアマモはアラスカ州からカリフォルニア州沿岸まで分布しており、これらのアマモ場周辺では、100年以上前から日本産マガキ種苗を使ったカキ養殖が行われてきた。そのため、北米西海岸のアマモ場はマガキ種苗とともに日本からの移入種が多く侵入しており、特に移入基盤種としてコアマモが西海岸一帯に分布を拡大していた。アマモ場では基盤種の変化は生態系機能に大きな影響を及ぼす。沿岸域にとって重要な生態系であるアマモ場を保全し、今後も持続的に利用していくためには、移入元の日本周辺と移入先の北米西海岸双方を対象にアマモ場の生態系機能の制御機構を理解し、生態系サービスの地域変異性を生み出す要因を

明らかにすることが重要であった。

2. 研究の目的

(1)北米西海岸を対象に在来種のみのアマモ場、移入基盤種を含むアマモ場など複数のアマモ場を対象に、アマモ場の群集構造および生態系機能について調査を行い、環太平洋地域のアマモ場生態系機能の地域変異性を把握する。

(2)北米西海岸及び日本周辺海域の双方で環境要因及び生物多様性を操作した野外実験を行い、双方のアマモ場に共通する生態系機能の制御機構を解明する。

(3) 目的(1)で把握した北米西海岸のアマモ場生物群集のデータと、参画研究者らが有する日本周辺のアマモ場生物群集のデータを組み合わせることで比較・統合解析することにより、アマモ場生態系機能とサービスの地域変異性を生み出す要因及び移入種の影響を解明する。

3. 研究の方法

(1)生態系機能及びサービスの地域変異性: 北米西海岸のアマモ場の分布に沿って、アラスカ州に2地域、ブリティッシュコロンビア州に3地域、ワシントン州に1地域、オレゴン州に3地域、カリフォルニア州に3地域で計12の調査地を設置した。各調査地において、アマモ場の生物群集構造の3つのパーツ (図1): 基盤種 (在来種のアマモ、移入種のコアマモ)・無脊椎動物群集・魚類群集、を調査対象とし、加えて底質 (有機物量) の採集と各生物の現存量計測を行った。無脊椎動物は機能群に分類し、機能群のうち植食機能群と濾過食機能群の優占割合を生態系機能の質的な変化を示す指標として、さらに高次消費者の魚類現存量を生態系サービスの変化指標として用いた。

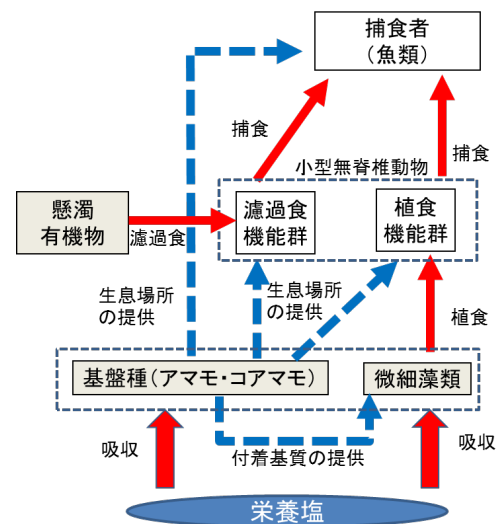


図 1. 対象としたアマモ場群集の概念図。基盤種

が栄養塩を吸収し、生息場所および餌資源を動物群集に提供することで生態系機能が生じる。

(2)生態系機能の制御機構の解明：アマモの生態系機能の制御機構が日本周辺海域と北米西海岸間で異なるか、また北米西海岸内でも移入種の有無により異なるかを検証するため、アマモの生態系機能に影響する栄養塩濃度および無脊椎動物群集の多様性を操作し、その応答としてアマモの栄養塩吸収率を測定する野外実験を日本沿岸及び北米西海岸の双方で実施した。また、北米の研究協力者の提案より、同様の実験をもう一つのアマモの主要な分布域である大西洋沿岸域（北米東海岸およびヨーロッパ沿岸）でも実施し、北半球に広がるアマモの全分布域で制御機構の検証を行った。

(3)地域変異性を生み出す要因の解明

方法(1)で得られた各調査地のデータと参画研究者が有する日本沿岸の同質データを統合し、構造方程式モデリングにより、アマモ場の生態系機能と生態系サービスに影響する要因、特に移入基盤種の効果について探索した。

4. 研究成果

(1) 既存知見では移入基盤種のコアマモは、北端はブリティッシュコロンビア州バンクーバー周辺から、南端はカリフォルニア北部のフンボルト湾までの範囲に分布しているとのことであったが、現地調査の結果、北端はさらに北部のコルテス島付近まで分布を拡大しており、南端のフンボルト湾は駆除プロジェクトが行われていたため分布を確認できなかった。また、すべての調査地のうち、アラスカ州のホーマー湾、カリフォルニア州ボデガ湾およびサンディエゴ湾ではカキ養殖が行われておらず、コアマモの侵入がみられなかった。他の調査地で行われていたカキ養殖は籠を用いた手法が主流であったが、上記のコルテス島およびワシントン州ウィラパ湾の調査地ではマガキ礁の定着が確認され、これらはコアマモと同様に移入基盤種として機能していると推察された。したがって各調査地の基盤種組成は以下の4タイプ：アマモ・コアマモ・マガキ、アマモ・コアマモ、アマモ（マガキ養殖あり）、アマモ、に分類されることとなった。

群集構造の測定結果では、カキ養殖が行われていない海域で植食機能群が優占する傾向があり、一方でカキ養殖が行われている海域ではコアマモの有無に関わらず濾過食機能群が優占するといった小型無脊椎動物群集の機能の変化が生じていた(図2上)。カキ養殖が活発に行われている調査地ほど底質の有機物含有量が多い傾向があり、これはおそらく有機物の再懸濁によって濾過食機能群に有利な餌環境が形成されていることが推察された。

(2)北半球一円のすべての海域で実施された操作実験の結果を集約したところ、アマモの生態系機能は無脊椎動物群集の多様性が高いほど向上すること、特に植食機能群の現存量が多いほどアマモの栄養塩吸収率が向上することが明らかとなった(発表論文)。また、この関係は移入基盤種であるマガキやコアマモの有無、また日本沿岸・北米西海岸・大西洋沿岸の生物相の違いにも影響を受けず、すべてのアマモ場共通の制御機構であることが判明した。

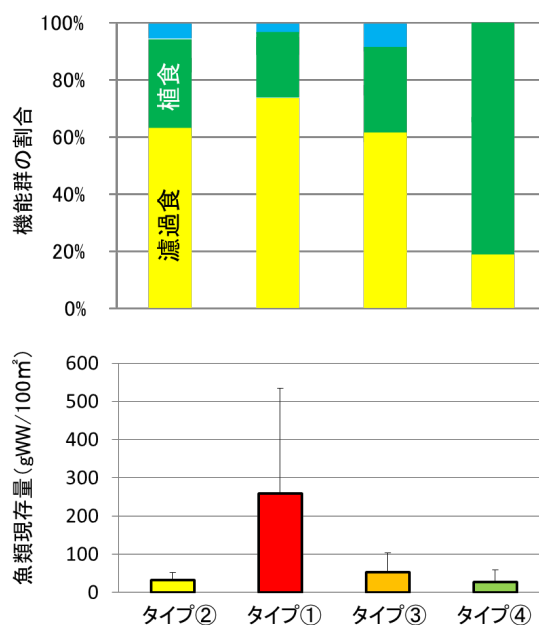


図2. 北米西海岸における基盤種タイプ別の無脊椎動物群集の機能群組成(上:濾過食機能群(黄)、植食機能群(緑)、その他(青))および魚類現存量(下)、タイプ①で魚類現存量が最も多くなった。

(3) 北米西海岸を対象としたモデル解析の結果、移入基盤種のコアマモは生態系機能の指標とした無脊椎動物の機能群構造、さらには生態系サービスの指標とした高次生産の魚類現存量とも関係がなかった。その一方、無脊椎動物の濾過食機能群の優占度はマガキ養殖と有意な関係があり、濾過食機能群は魚類現存量と有意な関係を有していることが明らかとなった(図2下)。

同様の解析を日本沿岸のデータを用いて行ったところ、北米西海岸と同様の傾向が確認され、二枚貝養殖が実施されているアマモ場ほど、無脊椎動物群集の機能群組成は濾過食機能群の割合が高くなり、魚類現存量が多くなる結果が得られた。これらの結果は、コアマモではなくカキ養殖そのものが、アマモの生態系機能の制御機構として重要な無脊椎動物の機能群組成を変化させ、そのことで生態系サービスに地域変異を生じさせていることを示唆している。

コアマモは、これまで大型植生が無く裸地であった北米西海岸の砂泥底潮間帯に侵入

し、広大な分布範囲を形成した。この拡大による負の影響が危惧されていたが、本研究で使用した生態系機能やサービスの指標に対してはその効果は検出されなかった。

むしろ、アマモの侵入拡大の原因であるマガキ養殖そのもの、さらにマガキの基盤種としての定着が生態系機能を変化させ、アマモ場の生態系サービスに影響することが明らかとなった。その反面、マガキによる生態系機能の変化は、北半球一円の操作実験で明らかとなったように栄養塩吸収といった別の生態系サービスを減退させる可能性も示唆している。このことは、アマモ場の生態系サービスにはトレードオフが存在することを意味する。

マガキの生息地である日本沿岸では、本来マガキは河口域の砂泥底潮間帯にカキ礁を形成し、その隣接した潮下帯にはアマモ場が繁茂している。したがって本来の生息地ではマガキとアマモは栄養塩や物質供給などを介して相互作用しており、いくつかの地域ではこの相互作用を利用したカキ養殖が行われている。本研究において北米西海岸で得られた結果は、このアマモ カキ相互作用が移入先のアマモ場生態系でも生じている可能性を示唆している。

今後の課題としては、マガキ養殖が行われている世界各地のアマモ場において、日本本来のアマモ カキ相互作用がどのような形態で生じているか検証し、その相互作用が生態系機能とサービスに及ぼす影響を解明していくことがあげられる。これらの結果は、各地の自然資本や生態系サービスに対する生態系管理、さらには食糧生産と生態系保全の調和を図る沿岸統合管理を実施する際に重要な情報になると考えられる。

<引用文献>

Bruno & Bertness (2001) *Marine Community Ecology*, Sinauer Associates, Sunderland, pp. 201-220

Hori et al. (2009) *Marine Biology*, Vol. 156, pp. 1447-1448

Simmons (2003) *Natural History Seminar Series 2003*, University Chicago, Chicago

Kelly et al. (2008) *Hydrobiologia*, Vol. 596, pp. 57-66

White & Orr (2011) *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 424, pp. 87-95

Lincoln (2007) *Nature*, Vol. 446, pp. 743

Holsman et al. (2010) *Ecological Applications*, Vol. 20, pp. 2249-2262

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 5件)

J. Emmett Duffy, M. HORI, M. NAKAOKA, 他 25 名, *Biodiversity mediates top-down control in eelgrass ecosystems: a global comparative-experimental approach*, *Ecology Letters*, 査読有, Vol. 18, 2015, pp. 696-705

S. Sonoki, H. Shao, Y. Morita, k. Minami, J. SHOJI, M. HORI, K. Miyashita, *Using acoustics to determine eelgrass bed distribution and to assess the seasonal variation of ecosystem service*, *PLOS ONE*, 査読有, Vol. 11, 2016, pp. 1-15

堀 正和, アマモ場の保全: アマモ場の生態系機能は小型無脊椎動物の多様性が支えている, 豊かな海, 査読無, Vol. 37, 2016, pp. 3-6

堀 正和, 濱岡 秀樹, 吉田 吾郎, 生態系構造の変化に伴うヒステリシスとその脆弱性: アマモ場を例に, 水産海洋研究, 査読無, Vol. 78, 2014, pp. 239-242

堀 正和, 海洋の生物多様性と生態系サービス: 沿岸域における生態系サービスの持続的利用と生物多様性の保全との調和に向けて, 環境情報科学, 査読有, Vol. 43, 2014, pp. 33 - 40

[学会発表](計 14件)

M. HORI, J. SHOJI, M. NAKAOKA, 他 5 名, *Challenge to harmonize sustainable fishery with water-quality improvement using seagrass-oyster interaction in oligotrophic coastal ecosystems*, The 16th Japanese-French Oceanography Symposium (国際学会)(招待講演) 2015, 11月18-19日, 塩釜

M. HORI, J. SHOJI, M. NAKAOKA, *Spatial variation in ecosystem functioning and services of seagrass beds derived from oyster culture*, Coastal and Estuarine Research Federation (国際学会) 2015, 11月8-13日, Portland, USA

堀 正和, アマモ場における移入種増加が生態系機能にもたらす変化について, 日本生態学会, 2015, 3月21日, 鹿児島

M. HORI, *Millenary blue carbon extracted from temperate seagrass-bed sediments*, The 2nd Asian Marine Biology Symposium (国際学会) 2014, 10月2日, 濟州島, 韓国

M. HORI, H. Hamaoka, Possible effect of terrestrial managements on seagrass ecosystem functionings, International Congress of connectivity of Hills, Humans and Oceans (国際学会) 2013、11月26日、京都

M. HORI, M. NAKAOKA, J. SHOJI, 他3名、Trade-offs between provisioning and regulating services in seagrass ecosystems, Coastal and Estuarine Research Federation (国際学会) 2013、11月6日、SanDiego、USA

堀 正和、仲岡 雅裕、小路 淳、他2名、北米西海岸のアマモ場における日本原産の移入基盤種の影響評価、日本ペントス学会、2013、9月28日、仙台

M. HORI, J. SHOJI, 他2名、Trade-offs among ecosystem services in seagrass ecosystems: eelgrass shoot density affects the relative importance between provisioning and regulating services, International Congress of Ecology(国際学会) 2013、8月22日、London、UK

堀 正和、仲岡 雅裕、M.A.Whalen、P.L.ReynIds、J.E.Duffy、海洋顕花植物の生態系機能に及ぼす小型無脊椎動物群集の影響、日本生態学会第60回大会、2013、3月7日、静岡

M. HORI, M. NAKAOKA, 他4名、Manipulating top-down effects on ecosystem functioning of seagrass beds in southern Japan: a result from Zostera Experimental Network, The 1st Asian Marine Biology Symposium (国際学会) 2012、12月14日、Phuket、Thai

M. HORI, Effect of coastal seascape diversity on associated fish production, 2012 annual meeting of North Pacific Marine Science Organization(国際学会) 招 聘講演) 2012、10月19日、広島

P. L. Reynolds, M. HORI, M. NAKAOKA, 他23名、ZEN: The science and art of collaborative seagrass ecology, The 47th European Marine Biology Symposium (国際学会) 2012、9月6日、Arendal、Norway

P. L. Reynolds, M. HORI, M. NAKAOKA, 他23名、Role of environmental and biodiversity gradients in bottom-up and top-down control of seagrass communities: A collaborative field experiment across the Northern Hemisphere, The 97th Annual meeting of Ecological Society of America

(国際学会) 2012、8月7日、Portland、USA

M. NAKAOKA, M. HORI, 他15名、Regional comparison of the ecosystem services from seagrass beds in Asia, The 12th International Coral Reef Symposium (国際学会) 2012、7月10日、Cairns、Australia

〔図書〕(計 3件)

堀 正和、樽谷 賢治、地人書館、瀬戸内海におけるアマモ場の変化 生態系構造のヒステリシス、In 海と湖の貧栄養化問題(山本民次、花里孝幸編) 2015、pp. 129-148

M. NAKAOKA, M. HORI, 他15名、Springer、Regional comparison of the ecosystem services from seagrass beds in Asia, In Integrative Observations and Assessments (eds. S. Nakao, T. Yahara, T. Nakashizuka), 2014、pp. 367-391

堀 正和、講談社、2.3 海洋生態系の生態系サービス 閉鎖系水域の保全、In 海洋保全生態学(白山義久、桜井泰憲、古谷研、中原裕幸、松田裕之、加々美康彦編) 2013、pp. 80 - 92

〔産業財産権〕

該当なし

〔その他〕

該当なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堀 正和 (HORI, Masakazu)

国立研究開発法人水産総合研究センター・瀬戸内海区水産研究所・主任研究員
研究者番号: 50443370

(2) 研究分担者

小路 淳 (SHOJI, Jun)

広島大学・生物圏科学研究科・准教授
研究者番号: 10397565

仲岡 雅裕 (NAKAOKA, Masahiro)

北海道大学・学内共同利用施設等・教授
研究者番号: 90260520

(3) 連携研究者

長谷川 夏樹 (HASEGAWA, Natsuki)

国立研究開発法人水産総合研究センター・増養殖研究所・研究員
研究者番号: なし