

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月20日現在

機関番号：82708

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2011

課題番号：20710040

研究課題名（和文） 海草藻場の生態系サービス評価法に関する研究

研究課題名（英文）

Methodological study on measurement of ecosystem services in seagrass beds

研究代表者

堀 正和 (HORI MASAKAZU)

独立行政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

研究成果の概要（和文）：海草藻場を対象に複数の生態系機能とサービスを定量的に評価し、総合的な経済的価値を算定する手法の確立を行った。8つの生態系サービスを総合的に評価することによって海草藻場間での生態系サービスの変異性を詳細に推定することが可能となり、その結果として各地の海草藻場の価値を個別に評価することが可能となった。

研究成果の概要（英文）：

I established a method for quantifying multiple ecosystem functions and services of seagrass beds. The method enabled to identify the ecosystem services of each seagrass bed in detail, resulting in the consequence that we can determine spatial variation in an integrated economic value of seagrass beds, even among the local seagrass beds with similar categories of ecosystem services.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：海洋生態学

科研費の分科・細目：環境学・環境影響評価

キーワード：環境経済・沿岸域・生態系機能・生物多様性・生態系サービス・持続可能性

1. 研究開始当初の背景

沿岸域は藻場・干潟など海洋生物にとって重要な生態系を多く含む一方、その高い生物生産力と静穏な海洋環境は人間活動にも有益であるため、沿岸域は自然海岸と都市部が入り混じり、都市部からの様々な要因による環境劣化が生じやすい特徴を有する。実際に環境劣化に伴う生物生産力の低下、海岸開発による沿岸生態系の消滅・分断化が世界的に起こっている (Short & Wyllie-Echeverria 1996)。日本も例外ではなく、代表的な沿岸域である瀬戸内海では、海岸開発により干潟

面積は明治以降約半分にまで減少し、海草藻場は1960年以降40年間で23,000haから6,000haとなった (環境庁・瀬戸内海環境保全協会 1998)。そのため、瀬戸内海環境修復計画が策定され、約600haの浅場修復が目標とされている (国土交通省中国地方整備局・水産庁漁港漁場整備部 2005)。

しかし、沿岸域保全・再生に関する取り組みが全て成功しているわけではない。その問題点として、事業計画や実施段階において沿岸域生物群集について生態学的側面からの適切なアプローチが行われていない実態が

挙げられる(堀ら 2007)。浅場修復の本質である生物多様性・生態系機能の回復に向けた生物学的プロセスの評価が的確に行われないうまま、一方で生態系機能の劣化が進行しつつある現状への対処として対症療法的な事業の計画・実施を行わざるを得ない状況が多い(松田ら 2005)。また、工法等については詳細な事業予算の試算が可能な一方で、生物学的プロセスについては経済的試算が困難なことが事業計画へ反映することが困難となっている。

生物プロセスの経済的試算には、生態系機能から享受する生態系サービスの試算を行うべきだと言われている(Pearce & Turner 1990、Alcamo et al. 2003、Daly & Farley 2004)。世界規模で生態系サービスが試算された例では(Costanza et al. 1997)、17の生態系サービスのうち、沿岸域の各生態系は8つの生態系サービスによって評価が行われている。しかしながら、生態系として根源的な植物の光合成・呼吸による炭素吸収等の試算が行われていないなど、いくつかの重要な生態系サービスの評価が欠如している。また、これらの生態系サービスの算定はある時間断面のスナップショットとして行われており、保全や自然再生にとって重要なサービスの安定性・持続性に関しては考慮されていない(Costanza et al. 1997)。これらの欠如によって、現状の生態系サービス評価法を実際に自然再生を行う局所スケールの生態系に適用することは難しい。従ってこれらの問題を解決し、的確な沿岸域の保全・再生を推進させるためには、まず保全・再生事業を行う時空間スケールに対応し、かつ生態系の持続性に関する評価を含めた生態系サービスの評価手法を確立させることが必要である。

2. 研究の目的

本研究は海草藻場を対象に海域単位の局所的な生態系サービスを算定し、総合的な経済的価値を海草藻場に付加する手法の確立を目的としている。具体的には以下の細部目標について研究を行い、これらの結果を統合することで藻場全体の生態系サービスを評価する手法を構築する。

(1) 生態系サービスの評価

既存文献であげられている海草藻場の機能を整理し、6つの生態系サービスにまとめる。これに二酸化炭素/酸素のガス交換機能と持続性を加えた8つの生態系サービスについて、野外調査・実験により得られたデータをもとに試算を行う。なお生物プロセスに着目する本研究では生態系機能に付随した生態系サービスの評価に重点をおき、生態系や生物の歴史的・文化的価値(個々の種の希

少性など)については評価していない。

(2) 生態系サービスの経済的価値評価

得られた生態系サービスの具体的な経済的価値を試算する。試算においては試算基準間で試算値の比較を行い、最適な試算手法を検討する。

3. 研究の方法

瀬戸内海を主要調査対象海域とし、またサービスの地域差を検討するために国内各地の海草藻場で以下の評価を行った。

(1) 生態系サービスの評価

まず、本研究で対象とした海草藻場の生態系サービス①水質浄化(物質循環)、②二酸化炭素吸収、③原料供給、④波浪・底質安定化、⑤食料供給、⑥生物多様性の保持、⑦レクリエーション、⑧持続性、について野外調査・実験による定量的試算を行った。

サービス①、②、③および④については海草の主要な生態系機能である一次生産に関連したサービスであり、対象とする個別の海草藻場ごとに算出が可能である。そこで個々の海草藻場において海草の成長量および海草藻場の面積と植生構造について野外調査及び実験による測定を行った。

またサービス⑤および⑥については、対象となる海草藻場を利用する魚類等の二次生産力に関連したサービスとなるため、個々の海草藻場内の調査からは算定できない。そこで、まず空間解析により個別の海草藻場が関与する魚類生産及びその空間範囲を明らかにし、その空間範囲内の海草藻場を中心とした景観構造と魚類生産の分布の関係について解明を行った。その関係から、個別の海草藻場が影響する空間範囲内の種別の魚類生産量を推定し、食料供給となる水産資源生産量の算定を行った。つぎにサービス⑦については海草藻場を対象として行われているレクリエーションの種類とその手法について市場調査を行い、地域別に整理することで個々の海草藻場の利用傾向の地域差を明らかにした。

またサービス⑧については、将来の藻場存続確率を推定するために、対象とする藻場藻場の面積の時間変化、海草成長量・地下茎を用いた寿命の推定、および遺伝子解析による藻場内の遺伝的多様性と藻場間の遺伝子流動を推定した。一般に海草は栄養繁殖と種子繁殖の双方により藻場植生を維持しており、このうち種子繁殖は離散した生息場所間での遺伝子流動によって各藻場の遺伝的多様性を確保し、自家受粉しないといわれるアマモの近交弱勢等の効果を軽減し、環境変動などの攪乱による一斉斃死を防ぐ効果があり、持続可能性に直結する。

(2) 生態系サービスの経済的価値評価

生態系サービスの経済的価値の算定には現在でよく使われている生産高評価法、防止支出法、損害費用法、代替法、顕示選好法、および表明選好法の6つの手法を適宜使い、試算に最適な手法の選定を行った。

サービス①、②および④：市場価格のあるものはその直接的価値で算定し、直接的価値の算定が行えないものについては同等の作用を人工的に行った場合にかかる費用を設備物品費、人件費、期間からなどから算定したり、あるいは海草藻場を保持するために対価として供給できる金額の市場調査を行った。

サービス③および⑤：海草の肥料価格、海草藻場に出現する水産魚介類の種別価格を市場調査し、その合計値を各サービスの価格とした。

サービス⑥：多様性が保持されることの経済的価値は、他の殆どの生態系サービスの経済的価値として表現されるため、本研究では算定を行わなかった。

サービス⑦：市場調査により海草藻場で観光・遊漁するために使用する金額を調査し、海草藻場を利用した人数の合計金額をレクリエーション価格とした。

サービス⑧：将来の藻場存続確率を計算し、この確率を用いて全ての生態系サービスの期待値を推定した。

4. 研究成果

まずサービス①～④の評価に必要な海草の一次生産量について日本各地で測定を行った結果、同じアマモでも地域によって大きな変異があることが明らかとなった(図1)。これまでのアマモ場の保全の現場では、過去の知見から生産量/現存量比(P/B比)を4.0とし、この値を全国一律で用いられることが多かったが、生産量の地域変異と同様にP/B比も地域差が大きいことが判明した。

次にサービス⑤および⑥の評価に必要な海草藻場と魚類等の二次生産者との関係についても日本各地で測定を行った(図2)。その結果、海草藻場の現存量や生産量は、魚類の現存量および種多様性との間に有意な相関を持たず、唯一魚類の現存量と種多様性間に強い正の相関が確認されたのみであった($r=0.784, p<0.0001$)。このことは、個々の藻場単位では魚類生産の評価は困難であることを再確認する結果となった。

そこで、単一の藻場が及ぼす魚類生産への寄与を解明するために、瀬戸内海全域の藻場の分布と魚類生産(漁獲量)の空間分布を対象とし、空間自己相関等を利用した解析を行った。その結果では(図3)、魚種によって藻場を利用する空間範囲が異なるものの、いくつかの魚種で魚類生産量と藻場面積(現存量

の指標)との間に有意に強い関係を見出されたことに加え、単一の藻場からの距離に伴う魚類生産量との関係の評価することができた。また、明らかに藻場を利用しない魚種では有意な関係は得られなかった。このことは本解析手法の有用性を示唆するものであったため、以降では本手法を用いて生態系サービスの推定を行った。

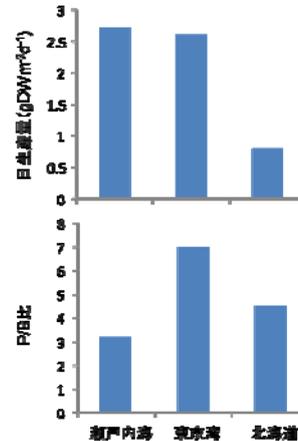


図1. アマモ生産量の地域差(上段:アマモの日生産量、下段:生産量/現存量比)

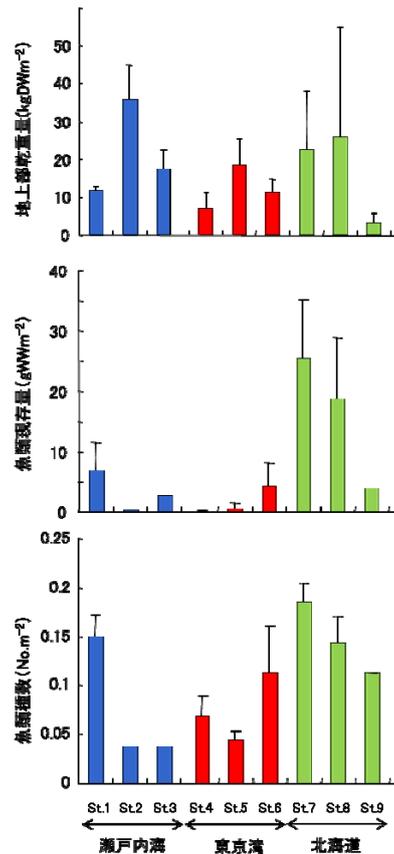


図2. アマモ地上部現存量(上段)、魚類現存量(中絶)、および魚類種数(下段)の地域間変異

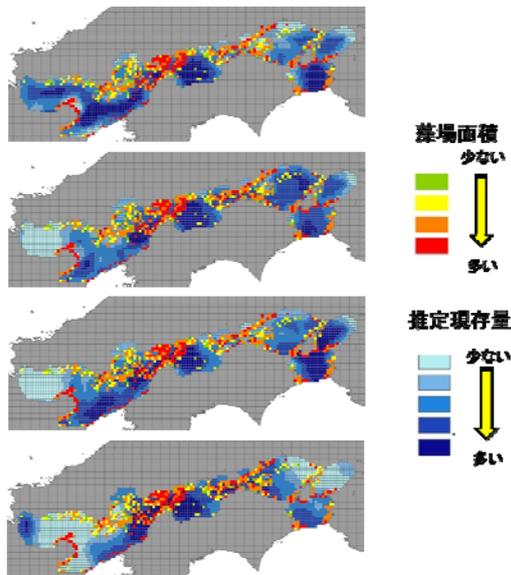


図 3. 漁獲量から推定された魚類現存量の空間分布（上から順にコウイカ類、ヒラメ、マダイ、およびメバル）と藻場面積の空間分布。魚種により空間範囲が異なるが、藻場周辺に局所集団が形成される傾向を示す

また、持続性を評価するための遺伝子解析ではマイクロサテライトを採用し、すべてのアマモが種子繁殖のみで藻場を成立させる鹿児島湾、栄養繁殖が優占する瀬戸内海を対象に、遺伝的多様度と遺伝子流動の評価が可能か検証を行った。その結果、高精度で局所的な遺伝的変異性を表現することができ、また鹿児島湾では個々の藻場間で種子の移出入が長期間生じていないことが判明した。鹿児島湾は湾内の個々の藻場が縮小・消滅傾向にあり、この過程と照合することで移動分散の制限による藻場の衰退速度（すなわち持続性）が推定された。

以上の手法を用いて各生態系サービスの評価を行った結果、以下のような事実が明らかとなった。

(1) 生態系サービス

水質浄化・二酸化炭素：

アマモの一次生産量から推定されたこれらの生態系サービスは、従来の知見よりも大きな地域変異性があることが明らかとなった。その理由として、従来では一次生産/現存量比が国内いずれの海域も4程度で試算されていたのに対し、各海域で直接測定を行った結果を用いた本研究では最大で14程度、最少で3程度と10以上のばらつきがあったことがあげられる。

堆積作用：

水質浄化・炭素吸収作用よりも大きな地域変異性があることが明らかになった。これは、堆積作用等がアマモの一次生産量だけでな

く、アマモの形態形質が作り出す植生構造に強く影響を受けていること、その形態形質は一次生産量よりも局所的に大きく変異していたことが原因であった。また、堆積作用は形態形質を介して藻場面積と間接的に関連があり、その関係はロジスティック回帰により表現された。堆積作用はおよそ30ha程度で大幅に向上し、それより大きい面積では安定的に堆積作用が生じることが判明した。

原料：

アマモは以前、肥料等に直接利用されていたが、調査の結果として現在は日本各地のどの地域もほとんど使われておらず、使われていた場合も微量で使用量・金額として表すことが困難であり、地域差も有意に表現されなかった。そのため、以下の経済的試算からは除外した。

食料供給：

瀬戸内海の例では、食料供給サービスとして藻場がその量に貢献している水産有用種はマダイ・メバル・ヒラメ・コウイカが優占4種であり、一ヘクタールの藻場が貢献すると推定された漁獲量はそれぞれ年間5~10kgと計算された。他の水産対象魚種も合わせると、年50~80kg程度の水産資源に貢献していると推定されたが、海域によって藻場を利用する魚種が大きく異なるため、藻場が貢献する漁獲量も大きく地域変異することが判明した。

レクリエーション：

藻場のレクリエーション利用の殆どが個人の遊漁であり、一部の地域で潮干狩り・地引網・簀立て網等の観光漁業に利用されていた。観光漁業を定期的に開催している地域では格段に利用頻度が高くなっているが、それ以外の海域ではゲームフィッシングの対象となる魚種が多く生息する海域でかつ大都市からの日帰り行動圏内に位置する海域ほど、藻場のレクリエーション利用が多くなる傾向が確認された。

持続性：

アマモの生活史の変異に南北勾配があり、海域間では南部ほど一年生の種子繁殖の生活史の割合が高くなっていたため、個々の藻場の持続性は南部ほど低くなる傾向が確認された。また、特定の海域内でも、水深等の環境勾配によっても生活史の変異が生じることで藻場の変動が大きくなり、持続性が低くなる傾向も確認された。

(2) 生態系サービスの経済的価値評価

上記(1)で明らかとなった生態系サービスの経済的価値を付加した結果、まずアマモ

の一次生産量に関連した生態系サービスでは水質浄化サービスの経済価値が高額に算出されたため、地域差が大きくとも、元値の高さによりサービスが低い地域でも生態系サービス全体の経済的価値への寄与率が大きかった。その一方で二酸化炭素吸収や堆積作用に関わるサービスについては、近年のカーボンオフセットの浸透により炭素市場が形成され、その吸収量が市場での直接価格として取り扱われるようになったため、その値を用いることにより、低く算定せざるを得なかった。それによって、サービスの地域差は大きくともサービス全体の価値への寄与率は小さくなった。たとえば、各地の二酸化炭素吸収量の年間値を試算した例では、北海道海域で 1tC/ha、東日本海域で 5.7tC/ha、西日本海域で 3.5tC/ha となった。CO₂ 排出量取引では、欧州気候取引所の 2011 年度価格で 1t あたり平均 1200 円程度となっていることから、アマモ場の CO₂ 吸収サービスの経済価値は北海道海域で約 1200 円/ha、東日本海域で約 7000 円/ha、西日本海域で約 4200 円/ha となった。ただし、CO₂ 排出量取引価格は大きく変動し、たとえば 2020 年には 1t あたり平均 10000 円近くにまで上昇することも予測されているため、長期的な価値評価では現価格の 2~3 倍程度の価値となると予測された。また、アマモ場の持続性を加えた試算では西日本ほど持続性が低く試算されたことから、地域差はさらに拡大すると考えられる。

食料供給およびレクリエーションサービスについては、アマモの一次生産に関連した各サービスよりも相対的に地域差が大きかったことに加え、経済的価値の地域差も大きかった。そのため、アマモの一次生産に由来するサービスよりも地域変異性が大きくなる傾向が確認された。しかしながら、アマモ場の持続性を加えた試算では、アマモの一次生産に由来するサービスよりも変動幅が格段に小さく、アマモ場の持続性が低い場合など、条件依存的に一次生産由来の生態系サービスの経済的価値を上回る可能性が推測された。Hori et al. (2009) では、藻場の面積や群落構造の変動性が大きい藻場において魚類現存量が多くなる傾向を示唆しており、本研究においても、アマモ場の持続性が低いアマモ場でも魚類にとって重要な生息場所となり得る状況があることを示しているのかもしれない。

これらの知見を総合すると、生態系サービスの経済的価値の試算総計は、これまでの既存知見で述べられているアマモ場の経済的価値を大幅に上回ることが予測できた。その見積もりは少なくとも数倍以上の価値になる場合も十分に想定される。本手法により、個別のサービスの評価では不可能であった細かい生態系サービスの差を詳細に評価す

ることにより、対象海域に適した海草藻場の状態を探索することもできると考えている。

ただし、こういった経済価値は本研究で明らかになったように条件依存的にかつ地域的に変化するものであるため、ある値を別の地域に利用する際にはその条件等について精査し、利用できるかどうか十分な議論を行うことが重要である。これまでは経済的試算の例が少なかったことも一因となり、その値が恣意的に用いられている例が多く見受けられている。その直接的な価値の提示にも十分に注意する必要があるだろう。

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 3 件)

堀正和、ほか 3 名、陸海生態系における藻場の役割、水産海洋研究、査読無、72 巻、2008、301-304

堀正和、魚介類生産の場としての浅海域の生態系サービス：生物生産と生物多様性、日本水産学会誌、査読無、76 巻、2010、1086-1087

島袋寛盛、堀正和、他 7 名、鹿児島湾に生息する一年生アマモ局所個体群間の遺伝的分化、日本水産学会誌、査読有、78、2012、204-211

[学会発表] (計 6 件)

Nakaoka M.、Hori M.ほか 4 名、long-scale monitoring of seagrass beds in Japan based on JaLTER coastal Network. 2010 International long term ecological research scientific meeting, Sep. 1 2010、Israel.

Hori M.、Yamakita T.ほか 5 名、Landscape analysis of the relationship between fish and seagrass distribution associated with adjacent habitat、9th International Seagrass biological workshop、Nov. 24th 2010、Phuket、Thailand.

堀正和、山田勝雅、ほか 4 名、藻場の魚類生産の広域解析：アマモ・小型無脊椎動物・魚類の緯度間解析、平成 22 年度日本水産学会秋季大会、2010 年 9 月 25 日、京都。

堀正和、島袋寛盛、西日本のアマモ場とその生産機構—アマモ場の分布と機能評価二つについて(基調講演)、全国アマモサミット 2010、2010 年 11 月 11 日、指宿。

Shoji J.、Hori M.、Latitudinal comparison of fish community structure and production in seagrass beds in the western North Pacific、International long term ecological research scientific meeting、Sep.5th 2011、Sapporo.

Hori M.、Effects of coastal seascape diversity on seagrass associated fish production、1st Congress of Vulnerability of coastal ecosystems to global change and extreme events、Oct.18th 2011、France.

〔図書〕(計2件)

小路淳・堀正和・山下洋、恒星社厚生閣、浅海域の生態系サービス：海の恵みと持続的利用、2011年、p.150

堀正和、海洋生態系の生態系サービスー閉鎖性水域の保全、講談社、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)、2012年、pp.68-80

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

該当なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堀 正和 (HORI MASAKAZU)

独立行政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