

海グループ

平成 28—29 年度（2016–2017 年度）報告書

瀬戸内海の低次生物生産過程と環境の研究および「豊かな海」の実現戦略

海グループ代表：多田邦尚

本研究では、瀬戸内海東部海域をフィールドとして、沿岸海域の低次生物生産環境と「豊かな海」の実現戦略について検討した。尚、本研究は、科研 B「瀬戸内海の栄養塩濃度減少と植物プランクトンの応答」（H26–28 年代表者：多田邦尚）やメンバーの科研 C、水産庁補助事業「漁場環境・生物多様性保全総合対策事業のうち赤潮・貧酸素水塊対策推進事業のうち漁場生産力向上のための漁場改善実証試験」（H25–29 年度）、環境省・環境総合研究推進費S-13(H 26–30年度)および香川大学学長裁量経費（第3 期中期目標・計画達成のための重点配分）「瀬戸内海の低次生物生産過程と環境の研究および「豊かな海」の実現戦略」（H28–29年度）等に採択され実施したものである。

本プロジェクトでは、具体的には、下記の 6 課題について研究を実施している。

- ・瀬戸内海の栄養塩異変の原因究明
～播磨灘の水質・底質環境～
- ・沿岸海域の低次生産環境
～植物プランクトンの生産環境～
- ・ノリの色落ち対策研究
～環境にやさしい施肥試験（ノリスカート）～
- ・アサリの減少原因の究明とその資源回復法

- ・干潟・藻場の生物機能
～浅海環境における干潟・藻場の役割～
- ・里海の実現戦略
～魚食から里海を考える～

研究を実施したメンバーは下記の9名である。

【研究組織・チーム瀬戸内海】

多田邦尚・農学部・教授（瀬戸内圏研究センター長）

一見和彦・瀬戸内圏研究センター・准教授

山口一岩・農学部・准教授

朝日俊雅・農学部・博士研究員

末永慶寛・工学部・教授

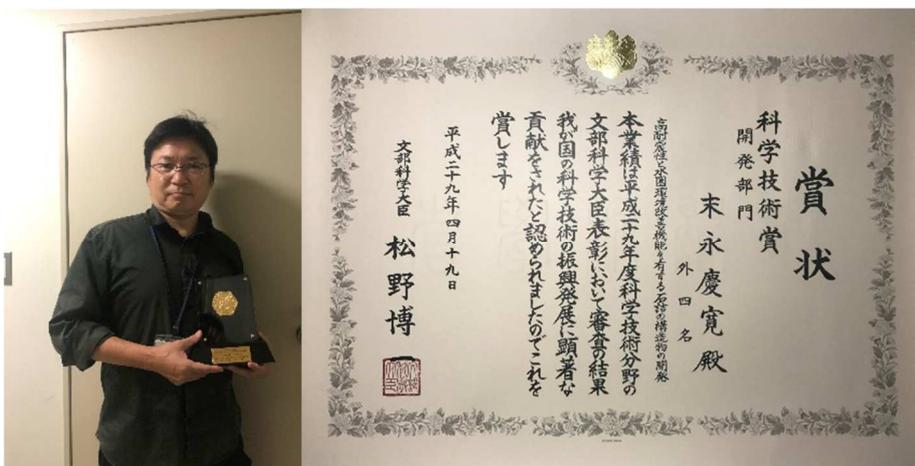
石塚正秀・工学部・准教授

原直行・経済学部・教授

山田香織・地域連携戦略室・講師

本城凡夫・瀬戸内圏研究センター・特任教授

平成 29 年 4 月には、本プロジェクトの成果を含めた技術開発が評価され、末永慶寛教授が文部科学大臣表彰科学技術賞（開発部門）を受賞した。受賞名は「高耐震性と水圏環境改善機能を有する石詰め構造物の開発」。尚、末永教授は所用の為、受賞式は欠席。また、5 月には、メンバーの一見和彦教授が、日本海洋学会環境科学賞を受賞、同 6 月には研究代表者の多田が日仏海洋学会賞を受賞した。



末永慶寛教授が文部科学大臣表彰科学技術賞（開発部門）を受賞
（左）末永教授と記念メダル入りの盾（右）賞状



一見和彦教授が日本海洋学会環境科学賞を受賞
（左）日本海洋学会日比谷会長と一見教授（幕張メッセ）（右）記念メダル



多田邦尚教授が日仏海洋学会賞を受賞

(左) 日仏海洋学会・小松会長と多田教授 (東京・日仏会館) (右) 賞状と記念メダル

今回の報告では、本プロジェクトのうち、特に「干潟・藻場の生物機能～浅海環境における干潟・藻場の役割～」の課題について特に詳しく報告する。

干潟・藻場の生物機能～浅海環境における干潟・藻場の役割～

【はじめに】

沿岸海域において干潟・藻場といった浅海域は、海洋の生態系が健全に機能するために、また活発な物質循環を促進するために大変重要である。一般的に、干潟はその形成条件によって「前浜干潟」、「河口干潟」、「潟湖干潟」などに分けられる (図1)。干潟の重要性については、これまでに指摘はされてきたものの、干潟・藻場の物質収支を定量的に評価した研究は極めて少ない。例えば、海外で

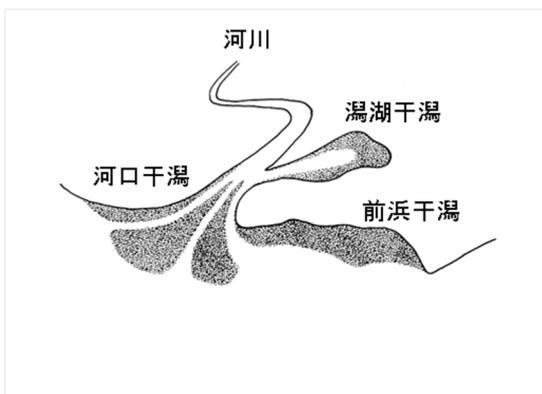


図1 さまざまな干潟 (「前浜干潟」、「河口干潟」、「潟湖干潟」)

は Valiela and Teal (1979) および Wolvaver and Spurrier (1988) の報告が、国内では、佐々木 (1989)、一見ら (2011a)、国分ら (2009) の報告があるのみである。従って「干潟・藻場の物質収支や、生物再生産に果たす機能」がよくわかっていないのが現状である。そもそも、干潟・藻場がどんなところで、どんな機能を持っているのか、何故、重要なかがよくわかっていないため、どのように守り、取り戻せば良いのかがわからない。それは干潟・藻場の保全、修復するための政策が立てられない

事を意味している。

著者らのグループでは、これまでに香川県沿岸の干潟・藻場における窒素・リンの物質収支を定量化するための調査・研究を行ってきた（図.2）。ここでは、その成果の一部を要約して紹介する。

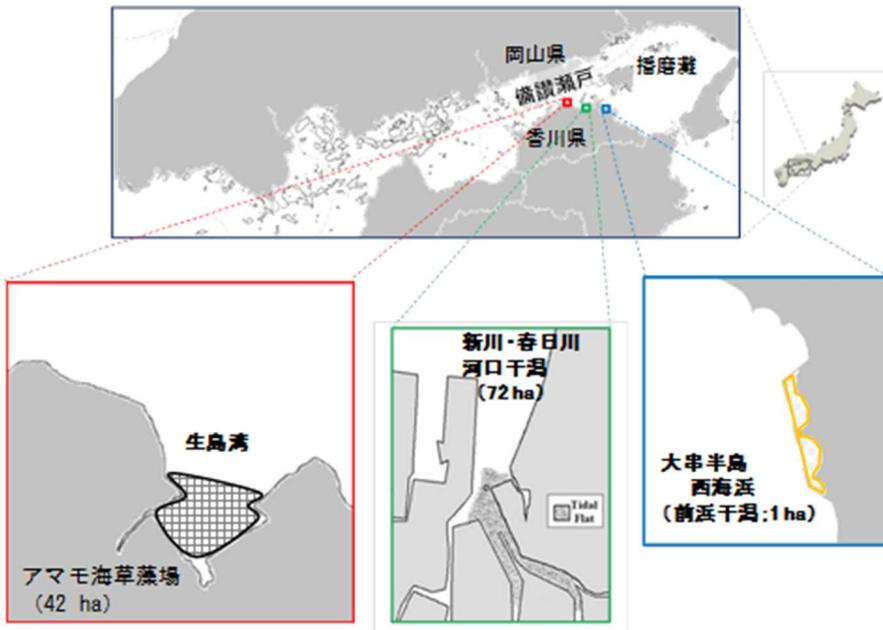


図2 香川大学グループの干潟・藻場の調査海域（生島湾の網掛け部分はアマモ場を示す）

【干潟の物質収支と無機化機能】

香川県では、河口干潟が全干潟面積の31%、前浜干潟は64%を占めている。一般に、河口干潟は栄養度が高く生物も多いが、前浜干潟は相対的に栄養度が低く生物も少ないことが多い。著者らのグループでは、これまでに、香川県高松市の新川・春日川河口干潟（面積72 ha）と、さぬき市大串半島西岸の前浜干潟（面積1 ha）において、干潟を介した窒素(N)・リン(P)の年間収支について調査してきた（図3）。調査では一潮汐間の観測を実施し、その潮位の変化から沖合より干潟域へ流入

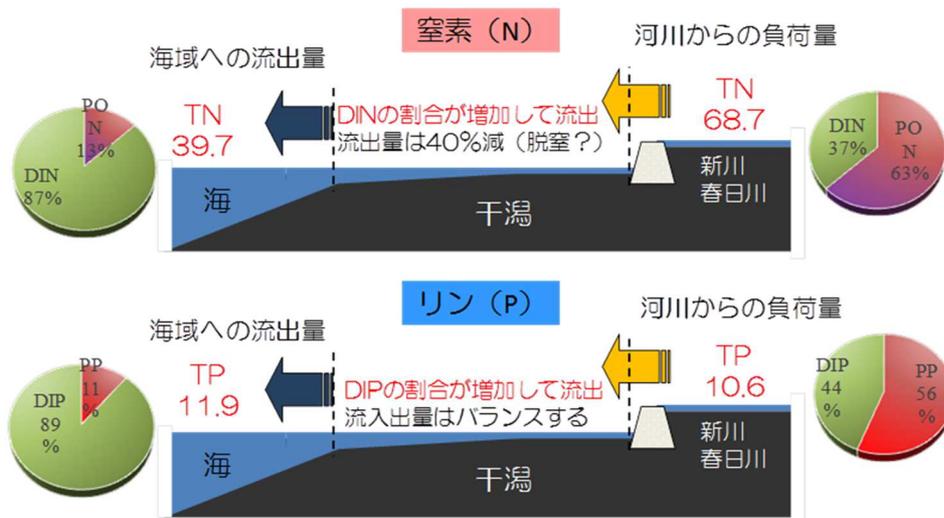


図3 河口干潟（高栄養度）における窒素・リンの収支 (ton yr⁻¹) (2006～2010年)

(一見 (2016) を参考に作図)

あるいは干潟域より沖合に流出する海水量を見積もった。更に、海水を採取して測定された N と P の濃度を流入する海水量に乗じて、上げ潮時と下げ潮時に干潟域へ流入あるいは流出する N と P の量を算出した。上げ潮時に流入した N と P の総量が下げ潮時に流出する N と P の総量を上回れば干潟内に保持されたことになり、下回れば流出あるいは消失したことになる。また、河川から干潟への N と P の負荷量を河川流量と河川水中の N と P の濃度から見積もった（一見ら 2011）。

その結果、栄養度の高い新川・春日川河口干潟では、河川から干潟へ負荷される P 量（年間平均 10.6 トン）と干潟から沖合に流出した P 量（11.9 トン）はほぼ等しかった。一方で、河川から流入する P の半分以上が懸濁態（有機態）であるが、干潟から流出する P の形態は有機態のものはわずか 1 割程度となっていた。また N は P と異なり、一部が脱窒作用で大気へ放出されるが、干潟への流入時には 4 割程度を占めていた懸濁態 N が、沖合への流出時には P と同様にわずか 1 割程度となっていた（一見 2016）。このように、干潟は河川から流入する有機物を無機化する場であることがわかった。従来から言われてきたように、干潟は水質浄化に大きく関わっている「自然の浄化槽」であることが定量的に明らかになった。また、栄養度の低い前浜干潟においても、上げ潮時に干潟に流入する沖合海水と、下げ潮時に干潟から沖合へ流出する海水を比較した。その結果、N の流入量（年間 162 kg）と流出量（年間 133kg）に大きな差はなく、流入時は N の 67%が懸濁態であったのが、流出時は 58%となっていた。以上のように、前浜干潟も、無機化・分解の場として機能していることがわかった。しかし、その無機化作用は、河口干潟と比べて小さいことが考えられた（表 1）。

表1 干潟へのN流入量とその形態の変化

	干潟への流入	沖合への流出
新川・春日川河口干潟 2006～2010年（高栄養）	68.7 ton yr ⁻¹	68.7 ton yr ⁻¹
	PON 63%	PON 13%
	DIN 37%	DIN 87%
新川・春日川河口干潟 2017年（中栄養）	33.5 ton yr ⁻¹	45.3 ton yr ⁻¹
	PON 45%	PON 11%
	DIN 55%	DIN 89%
大串半島西岸（前浜干潟） 2016年（低栄養）	0.162 ton yr ⁻¹	0.133 ton yr ⁻¹
	PON 67%	PON 58%
	DIN 33%	DIN 42%

【藻場の物質収支と機能】

瀬戸内海には日本の藻場の 1/4 が集中している。アマモ場は瀬戸内海で多くみられる藻場のひとつであり、瀬戸内海の中央付近にその大部分が集中している。筆者らのグループでは、備讃瀬戸に隣接する高松市の生島湾において調査を行ってきた。生島湾は春から夏にかけて湾全体でアマモが繁茂する小さな内湾（面積 42 ha）である。生島湾に注ぐ河川はなく、湾内の海水は潮汐に伴う湾内外への流入出によって海水交換がなされている。

生島湾においても、潮汐によって湾内に流入する海水と湾外に流出する海水を比較した。その結果、湾内に流入する無機態窒素（DIN）量は 8～52 mg/m²/day と見積もられた。また、湾内の堆積物から水柱に溶出する DIN 量は 7 mg/m²/day と見積もられた。一方、アマモの繁茂期における湾

内のアマモの N 要求量は、 $160 \text{ mgN/m}^2/\text{day}$ であり、潮汐によって湾内にもたらされる DIN 量と堆積物から溶出する DIN 量とだけでは要求量が満たされないことになる。アマモは顕花植物であり、根を持ち、葉部と根の双方から栄養塩を吸収することができる。堆積物の間隙水中の DIN 濃度を調べたところ、アマモの根茎部のある深さ 5cm 付近では、アマモの繁茂期に低く ($50 \mu\text{M}$)、アマモの衰退期には高く (最大で $181 \mu\text{M}$) になっていた。しかしながら、間隙水中の DIN の現存量 (0.38 mg/m^2) は、水柱の DIN の現存量 (47 mg/m^2) に比べ、 $1/120$ 程度であり、間隙水の DIN 源としての寄与は相対的に小さいと考えられた (図 4)。

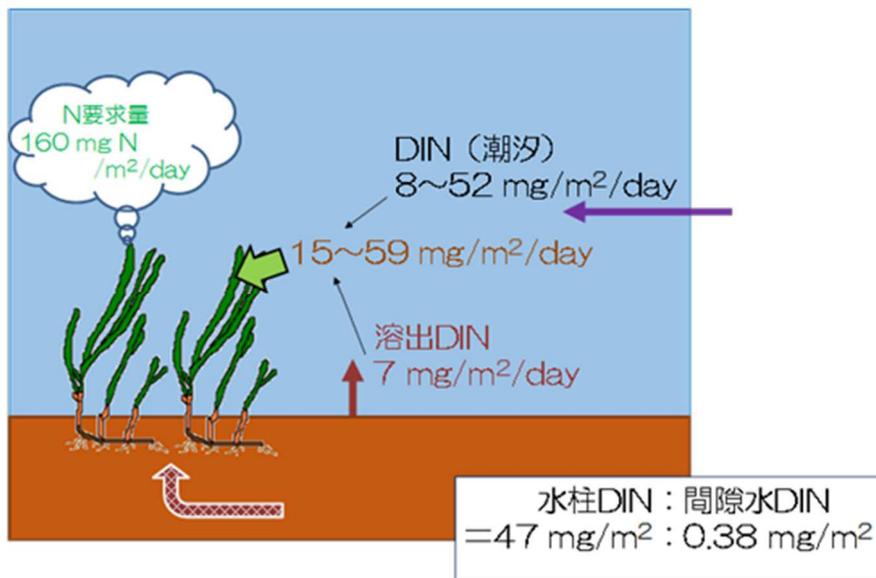


図 4. アマモ場における N 収支

生島湾では降水時に、塩分の低下と急激な DIN 濃度の増加が認められた。その際にアマモ葉部の N 含量が 6 日間で約 2 倍の 35.1 mg g^{-1} まで上昇し、炭素・窒素比 (C/N 比) は 22.6 から 14.2 まで減少していた。これらの結果からアマモは湾内へ間欠的に負荷された DIN を効率良く取り込み、草体内に蓄える機能があると考えられた。

尚、アマモ場において潮汐による全 N の流入量 ($158 \text{ g/m}^2/\text{year}$) と流出量 ($161 \text{ g/m}^2/\text{year}$) は年間を通してほぼ釣り合っていたが、アマモ場は DIN を吸収し、懸濁態の N を放出する傾向にあった。アマモは繁茂期には湾内を覆い尽くすほどの量となるが、夏を過ぎると枯れ、流れ藻となって沖合へと流出する。流出したアマモはいずれ分解され海水中へ DIN として回帰することになる。従ってアマモは春から夏にかけては沿岸部で非常に大きな現存量となり、沿岸海域の N 循環に大きく寄与していると考えられる。

一方、藻場は物質循環だけではなく、生物生産に果たす機能も大きい。藻場は、魚が卵を産みつけたり、稚魚、幼魚が成魚になるまでの時期を過ごす場である。藻場の中にいれば、大型魚からの捕食を恐れ、身を隠しながら過ごすこともできる。これが藻場は「海のゆりかご」と言われる所以である。この事に関する定量的な研究は極めて少ないが、広島大学の小路らのアマモ場の生物生産的価値を評価した研究がある (Kamimura *et al.* 2011)。それによると、アマモ場は瀬戸内海全体で 6、401 ha あり、メバルの稚魚 1 種限定で $1 \times 10^8 \text{g}$ (1 億 g) を収容でき、その経済的価値は 42~59

億円と見積もられる（但し、メバルの稚魚がすべて成魚になるわけではない）。

参考文献

- 一見和彦・浜口佳奈子・山本昭憲・多田邦尚・門谷茂(2011)：新川・春日川河口干潟（瀬戸内海備讃瀬戸）におけるリンの収支. 沿岸海洋研究、**48**、 167 – 178.
- 一見和彦・住元宏栄・中山浩登・多田邦尚 (2011)：人手と干潟の生物環境 — 干潟底生生物の現存量と種多様性に与え得る人間活動の影響 —. 沿岸海洋研究、**48**、 109 – 116.
- 一見和彦 (2016)：沿岸域における河口干潟の機能的役割 ～ 新川・春日川河口干潟域（備讃瀬戸）における窒素およびリンの収支 ～、水環境学会誌、**39**、 125 – 129.
- Kamimura, Y., Kasai, A., and Shoji J. (2011) : Production and prey source of juvenile black rockfish *Sebastes cheni* in a seagrass and macroalgal bed in the Seto Inland Sea, Japan: estimation of the economic value of a nursery、Aquatic Ecology、**45**、 367 – 376.
- 国分秀樹・土橋靖史・高山百合子 (2009)：英虞湾の干潟・アマモ場連続態における直上水の流入流出フラックスの観測、土木学会論文集 B2 (海洋工学)、**B2-65**、 1081-1085.
- 佐々木克之 (1989)：干潟域の物質循環、沿岸海洋研究ノート、**26**、 172 – 190.
- Valiela, I. and Teal, J.M. (1979): The nitrogen budget of a salt marsh ecosystem、Nature、**280**、 652 – 656.
- Wolvaver, T.G. and D.J. Spurrier(1988): The exchange of phosphorus between a euhaline vegetated marsh and the adjacent tidal creek、Estuarine Coastal and Shelf Science、**26**、 203 – 214.

今回、詳しく報告した「干潟・藻場の生物機能～浅海環境における干潟・藻場の役割～」以外の課題についての研究成果について、以下に簡単に紹介する。

瀬戸内海の栄養塩異変の原因究明～播磨灘の水質・底質環境～

播磨灘において年間を通して、海水中の栄養塩濃度、植物プランクトン量、および沈降粒子量のモニタリングを行った。その結果、播磨灘における栄養塩濃度は 25 年前と比較して顕著に減少しているが、植物プランクトン量およびその基礎生産量、海水中の沈降粒子量は、25 年前とは大きく変化していない事がわかった。この事は、現在の栄養塩濃度低下の要因が、底泥の質が改善され、底泥からの栄養塩溶出が減少したことによる可能性が高い事を示している。貧栄養化の現状把握とそのメカニズムの研究については総説論文を発表した（多田ら 2018）。

沿岸海域の低次生産環境～植物プランクトンの生産環境～

植物プランクトンの生産（光合成）にとって海水中の光条件は極めて重要と考えられる。海水中の光条件に關与する沿岸海域の透明度の決定要因を明らかにするために、瀬戸内海の海峡部・備讃瀬戸と灘部・播磨灘に観測点を設けて周年にわたる調査を行い、海水の濁り成分（遮光成分）の解析と、海水の光透過性の周年変動特性の解明に取り組んだ。その結果、海水中の主要な遮光成分は、両海域共に鉱物

や有機遺骸等の非生物懸濁粒子（トリプトン）であることが判明した。また、海水の光透過性は備讃瀬戸<播磨灘であったが、これは主に両海域のトリプトンの濃度水準差によることが明らかになった。備讃瀬戸の海水の光透過性の経時変動は、主に最主要遮光成分であるトリプトンの濃度変動で説明された。一方、播磨灘ではその変動幅がより大きいため、（トリプトンではなく）植物プランクトン量の変化が海水の光透過性の経時変化を生む主因になっていた。以上より、瀬戸内海海峡部と灘部では、その平均像を捉えると海水の濁質が大きく異なる訳ではないが、透明度の変動機構には違いがあることが具体的に示された。この成果の一部は論文として報告した（山口ら 2017）。

ノリの色落ち対策研究～環境にやさしい施肥試験（ノリスカート）～

貧栄養化に対応したノリ養殖技術（香川方式ノリスカート）の開発を行った。従来のノリスカートを、更に潮流の速い海域でも使用可能とする為の技術開発を行った（潮流緩衝剤の開発）。28年度は、施肥によるノリ単価の上昇も確認した。香川方式ノリスカートについては、29年度末に水産庁が発行したパンフレットにその技術を掲載し、広く漁業者にアピールした。

アサリの減少原因の究明とその資源回復法

平成28年度まで調査を継続し明らかとなったアサリ浮遊幼生の出現傾向から、夏季の高温がアサリ資源の減少に大きく影響している可能性が示された。よって、29年度は夏季に干潟の温度環境をモニターすると共に、室内実験より現場を模倣したアサリの高熱耐性試験を実施した。その結果、近年の干潟環境では、アサリが斃死する温度にまで達する期間が存在することが明らかとなった。またさぬき市鴨庄漁協と共同で、アサリ付着基盤（クラムハウス）により採苗したアサリについて、昨年に引き続き垂下養殖を継続した結果、今年度秋季には斃死個体も少なく40mm前後の市販サイズにまで成長した。以上の試験結果から、地産によるアサリ養殖について採苗・育成技術としてはおおよそのシステム構築ができた。

里海の実現戦略～魚食から里海を考える～

地域住民の魚食推進・エコツーリズム推進のための研究を実施した。i) 地域住民の魚食推進のための研究については、香川県と本学の連携事業である「かがわ里海大学」の専門講座において、イノシシ（害獣）肉を用いたジビエバーガーの料理講習会（16名参加）、養殖ノリを食べるチヌを用いた魚食料理講習会（12名参加）を実施し、魚食推進のためのアクションリサーチを行なった。さらに一般講座において、アマモを食べるアイゴとアマモの種まき教室（11名参加）、チヌを使った讃岐の伝統料理「さつま」の料理教室（17名参加）を実施した。すぐに獣害問題や里海実現が可能になるわけではないが、ある程度の参加者（計56名）を確保でき、課題の理解を促したと同時に、自治体との共同によるこのような地道な研究を継続していくことが重要である。ii) エコツーリズム推進のための研究については、上記「かがわ里海大学」のプロガイド養成講座において講師を務め、今年度も6名の修了生を出した。また、一昨年から行っている、このプロガイド養成講座ではすでに3名が県内でプロガイドとして開業しており、エコツーリズム推進に寄与しているといえる。さらに、こうした県内における里海に関連したエコツーリズムの動向を「第4回里海セミナー」で広く社会に発信した。iii) 地域住民の魚食推進のための研究では、香川の魚食文化であるものの衰退の一途をたどる行商「いただきさん」の販売戦略と

季節・魚に合わせた魚介類の調理・加工技術について参与観察をおこなった。この調査データを基に、「かがわ里海大学・里海学びの講座」で魚食文化に関する講演もおこなった。

本プロジェクトに関連した著書・学术论文など（2016-2017 年度）

著書

多田邦尚：7.2 瀬戸内海の栄養塩異変、海の温暖化 -変わりゆく海と人間活動の影響- (日本海洋学会編)、p126-129、朝倉書店、(2017)

多田邦尚：Question 42 海にある自然の浄化作用とは、どのような働きですか？、海水の疑問 50 (日本海水学会編、上ノ山 周 編著)、p152-154、成山堂書店 (2017)

多田邦尚：Question 43 海底は海の環境とどんな関係にありますか？、海水の疑問 50 (日本海水学会編、上ノ山 周 編著)、p155-157、成山堂書店 (2017)

学术论文

中村明日人、石橋一樹、市村康、城越徹矢、山地功二、末永慶寛、実海域における人工魚礁の環境改善機能に関する定量的評価、土木学会論文集 B3(海洋開発)、Vol.72、No.2、1075-1080、(2016)

Kyoko Aoki, Kazushi Sogo, Keiji Kimigawa, Hiroshi Kawata, Noritsugu Yamaji, Masashi Miyagawa and Yoshihiro Suenaga : Development of Protective and Feeding Facility in the Artificial Reef for Stocked Rockfish and Grouper Juveniles, Recent Advances in Marine Science and Technology, Vol.12, No.1, 25-40 (2016)

東菌圭吾・奥村裕・山口一岩・多田 邦尚・一見 和彦：新川河口干潟域（瀬戸内海備讃瀬戸）における微細藻類の現存量と群集組成の季節変動、沿岸海洋研究、54、75-86 (2016)。

山田真知子・大坪繭子・多田邦尚・中野義勝・松原 賢・飯田直樹・遠藤宜成・門谷 茂：亜熱帯から亜寒帯に及ぶ我が国の5海域における珪藻 *Skeletonema* 属の種組成、日本水産学会誌、83、25-33 (2017)。

Higashizono, K., Yamaguchi, H., Tada, K., and Ichimi, K.: Seasonal variation of primary productivity in Shinkawa River estuary, eastern Seto Inland Sea, Japan, La mer, 54, 55-72 (2016).

朝日俊雅・山口一岩・一見和彦・多田邦尚：沿岸海水中の懸濁態有機炭素測定における無機炭素の除去、香川大学農学部学術報告、69、11-15 (2017)。

Tada, K., Koomklang, J., Ichimi, K. and Yamaguchi, H.: Negligible effect of the benthic fauna on measuring the nutrient upward fluxes from coastal sediments, Journal of Oceanography, 73, 397-402 (2017).

Srithongouthai, S. and Tada, K. : Impacts of organic waste from a yellowtail cage farm on surface sediment

and bottom water in Shido Bay (the Seto Inland Sea, Japan) 、Aquaculture、471、140-145 (2017).

- 山口一岩・田村昂広一見 和彦・多田 邦尚：瀬戸内浅海域の光環境に及ぼす植物プランクトンの影響：志度湾（瀬戸内海東部）における3年間の観測結果の解析、日本プランクトン学会報、64、29-34（2017）.
- Koomklang、 J.、 Yamaguchi、 H.、 Ichimi、 K. and Tada、 K.: A role for a superficial sediment layer in upward nutrient fluxes across the overlying water- sediment interface、 Journal of Oceanography、 74、 13-21（2018）.
- Koomklang、 J.、 Yamaguchi、 H.、 Ichimi、 K. and Tada、 K.: Effect of bacterial activity on nutrient regeneration and release from bottom sediments、 Journal of Oceanography、 74、 319-325（2018）.
- 多田邦尚・中嶋昌紀・山口一岩・朝日俊雅・一見和彦：沿岸海域における栄養塩濃度決定要因と堆積物、沿岸海洋研究、55、113-124（2018）.
- 一見和彦・東菌圭吾・山口 聖・山口一岩・多田邦尚：干潟域における一次生産と無機化過程；高松市新川河口干潟域の調査研究から、沿岸海洋研究、55、79-86（2018）.

その他

- 多田邦尚：瀬戸内海における生物多様性について、瀬戸内海、72、4-7（2016）.
- 末永慶寛：流動制御機能を有する人工魚礁の開発と環境改善機能、環境管理、第45号「環境とエネルギーを考える」、一般財団法人九州環境管理協会、29-38（2016）
- 末永慶寛：大阪湾における人工魚礁の環境改善機能、瀬戸内海、No.73、特集 変化する瀬戸内海—水質の保全及び管理の観点から—、（公社）瀬戸内海環境保全協会、20-23（2017）