

加古川の水質・水温変化が沿岸域の生態系サービスに与える影響の基礎的分析

— 養殖ノリを対象として —

和歌山大学 清水 改^{*}

和歌山大学 中尾 彰文

和歌山大学 山本 祐吾

要旨

本研究では、陸域の人間活動が生態系サービスにどのような影響を与えているのかを明らかにするために、兵庫県の加古川河口付近の養殖ノリを対象とし、ノリの漁場環境指標と漁獲データとの相関分析を実施した。漁場環境指標は、水温、DIN、DIPとし、漁獲データは主にノリの漁獲高と等級を取り上げた。本研究で得られた主要な結果は、以下のとおりである。

- ・ 漁期前半（10～12月）は、ノリにとって最適な水温（6～16℃）を上回ることが確認された。また、水温が高いほど質のよくないノリの生産枚数が減少することが明らかとなった。このことから、最適な水温以上の環境下では、質のよくないノリが、DINを吸収することができずに成長が阻害された。その結果として質のよくないノリの生産枚数が減少することが示唆された。
- ・ 漁期後半（1～4月）は、最適な水温となる。DINが減少し、質のよいノリの割合が増加している。つまり、ノリにとって最適な水温環境下では、ノリがDINを多く吸収し、質のよいノリが育つと考えられる。
- ・ 良質なノリの生育には、水温とDINが重要であると確認できた。また、ノリの質・量を表す指標のうち、等級別生産枚数がこれらの指標と強い相関関係を示すことも明らかになった。

Basic Analysis on Impact of Water Quality and Water Temperature Change on
Coastal Ecosystem Services in Kako River
— Case Study of Aquaculture Laver —

Wakayama University Arata Shimizu[✉]
Wakayama University Akifumi Nakao
Wakayama University Yugo Yamamoto

Abstract

In this study, the impact of human activities in land areas on coastal ecosystem services was analyzed, using correlation analysis between the condition of laver fishing ground (e.g., water temperature, DIN and DIP), and yield and production value of laver in Kako River estuary, Hyogo Prefecture. From the analysis, we reached the following conclusions: 1) In the first half of the fishing season (October to December), it was confirmed that the water temperature (6°C to 16°C) exceeded the optimum temperature range in October and November. We also found the yield of laver and the number of poor quality laver decreased as the water temperature rose. This indicated that the laver hindered the growth by high water temperature did not become commercialized and consequently the number of poor quality laver decreased. 2) In the latter half of the fishing season (January to April). The water temperature was within the preferred range for the growth of laver at Kako River estuary. In this season, DIN decreased and the proportion of good quality laver increased. This meant that the quality of laver could enhance by absorbing a large amount of DIN under the temperature suitable for growth of laver. 3) The water temperature and DIN were important in growing a good quality of laver, and the number of laver graded according to quality showed a strong correlation with these indicators.

加古川の水質・水温変化が沿岸域の生態系サービスに与える影響の基礎的分析

— 養殖ノリを対象として —

和歌山大学 清水 改[※]

和歌山大学 中尾 彰文

和歌山大学 山本 祐吾

1. はじめに

ミレニアム生態系評価[7]では、人為活動で排出された窒素やリンによる汚染が生態系や生物多様性に大きな影響を与えており、生態系サービスの劣化を引き起こしている指摘されている。一般的には、生態系サービスが劣化する要因は多数存在し、閉鎖性水域の沿岸部においては、栄養塩負荷による汚染に最も影響を受けているとされている。

高度経済成長期以降の我が国では、陸域での社会経済活動が活発になり、栄養塩排出量が大幅に増加した。これにより、日本最大の閉鎖水域である瀬戸内海では栄養塩濃度が増加して富栄養状態となり、赤潮が頻発した。その結果、沿岸域の生態系サービスが劣化し、漁業や養殖業に大きな被害が生じた。2000年以降の瀬戸内海では、水質汚防止濁法や瀬戸内海環境保全特別措置法[3]により、全窒素、全リンの総量削減が開始されたことや、污水处理技術の発達したことにより、瀬戸内海への栄養塩流入量が減少した。しかし、こうした水質改善にもかかわらず漁獲量は減少する傾向にある。さらに、瀬戸内海の多くの海域で養殖されているカキは身が大きくなり、ノリは色落ちが起こるなど、海産物の質までもが悪化している。これは、栄養塩の流入が減少したこと、今度は海域が貧栄養状態となったことが原因であるとされている[1]。

海域の貧栄養化への主な対策には、下水処理場やダムといった社会インフラ施設から栄養塩類を供給する方法がある。下水処理場での対策は、放流する下水処理水を通常よりも窒素負荷量を増加させる栄養塩類増加運転である。ダムでの対策は、通常よりも放水量を多くして栄養塩類供給を高める方法である。下水処理場の増加運転は、海産物の漁獲量の増加や質の向上にもたらす効果が科学的に立証されているわけではないものの、漁業関係者からは一定の評価を得ている[5]。兵庫県は、播磨灘流域別下水道整備総合計画[2]のなかで、2025年までに栄養塩類の循環バランスに配慮した運転を実施して豊かな海を実現することを整備方針の一つとして掲げており、瀬戸内海の水質改善を念頭に置いた下水道整備計画を進めている。

また、人間活動の拡大に伴う温室効果ガス排出の増加によって地球温暖化も進行している。その影響で海水温は少しずつではあるが上昇し、漁期の短縮、温暖な海の魚の出現による生態系の乱れ、プランクトンの減少といった餌不足による海洋生物の個体数の減少などを引き起こし、漁獲量が減少した[10]。この

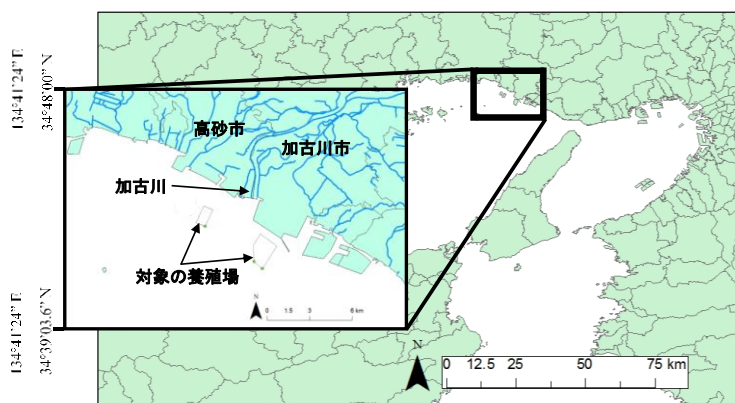


図 1. 研究対象地域[5]

ことから、水温も栄養塩と同じく沿岸域の生態系サービスに影響を与えているといえる。

このように、陸域での人間活動によって沿岸域の環境状態が変化し、それが生態系サービスを劣化させることにつながれば、人間の社会経済活動に負のフィードバックをもたらすことになる。そこで本研究では、沿岸域に生息している、または養殖されている海産物が陸域からの栄養塩流出からどのように影響を受けているかを分析する。具体的には、兵庫県に加古川河口付近の養殖ノリの漁場を対象とし（図 1）、漁場環境の変化がノリにどのような影響を与えているかを明らかにする。

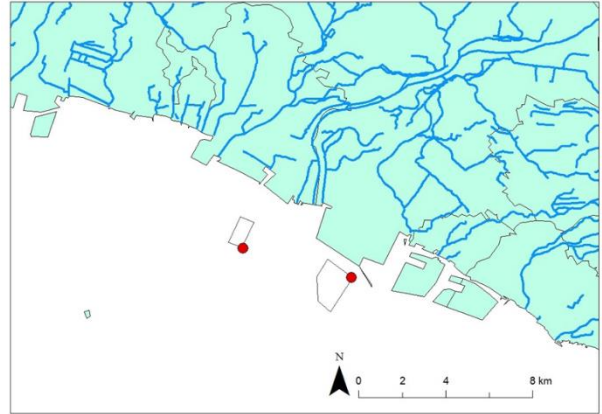


図 2. 漁場環境指標の計測地点（図上の丸印） [6]

2. 研究方法

本研究では、「漁場環境」の指標となる水温、無機溶存態窒素 (DIN)、無機溶存態リン (DIP) と、漁場の環境変化の影響で変動する「養殖ノリの質・量」の指標となる総生産枚数、生産額、単価、等級別生産枚数の相関分析を実施した。いずれの指標も 2004 年度から 2017 年度までのデータを用いた。

水温、DIN、DIP は、図 2 に示した調査対象の漁場近くの 2 地点で調査されたものであり、兵庫県漁業協同組合連合会兵庫のり研究所から入手した。兵庫県ではノリの漁期は概ね 10 月から翌年の 4 月ごろまでであり、12 月から 1 月の間に網を新しいものに張り替える。そこで本研究では、ノリの漁期を「前期」（10 月～12 月）と「後期」（1 月～4 月）の二つに分け、それぞれの期間内の水温、DIN、DIP の平均値を分析に用いた。

総生産枚数、生産額、等級別生産枚数は、東播磨漁業協同組合から得た。これらは、研究対象の加古川河口付近の漁場でノリの養殖を営んでいる A 水産、B 水産、C 水産の 3 団体が、兵庫県で収穫されたノリのほとんどが集まる兵庫県漁業協同連合の共販へ出荷した合計の枚数である。単価は、総生産枚数と生産額から割り出したノリ一枚あたりの値である。共販へ出荷されたノリは競りにかけられ、監査員の目視によって等級が付けられる。この等級は、品質の良いものから順に優、特上、特、1 等～8 等までの計 11 段階で構成される。この 11 等級のうち、優から 1 等までは質、色ともに良いノリであり、色落ちや穴あきなど質が低下したノリは 2 等以下になる。そこで、本研究ではノリの等級を優から 1 等を「上位」、2 等以下を「下位」の二つに分けて相関分析に用いた。なお、等級は相対評価によって判定されるため、同じ等級であっても年度によってノリの絶対的な質にはばらつきがある。

生産枚数、生産額、等級別生産枚数は、半年ごとのデータが入手できなかったため、7 月～12 月と 1 月～6 月の半年ごとに分かれている兵庫県全体の養殖ノリの漁獲データ [8] より、各年度の半期ごとの漁獲量の比率（表 1）を算出した。そして、この割合を総生産枚数、等級別生産枚数、生産額に乗じた値を各年度の半年ごとの漁

表 1. 漁期別漁獲量の割合

	7 - 12 月	1 - 6 月
FY2004	11%	89%
FY2005	11%	89%
FY2006	8%	92%
FY2007	23%	77%
FY2008	14%	86%
FY2009	10%	90%
FY2010	13%	87%
FY2011	6%	94%
FY2012	14%	86%
FY2013	9%	91%
FY2014	7%	93%
FY2015	10%	90%
FY2016	9%	91%
FY2017	11%	89%

獲データとして用いた。

相関分析の結果は、表 2 に示した相関係数の解釈に従った。相関係数が 0.4 以上、つまり決定係数が 0.16 以上であれば、変数間に何らかの意味を持つ相関があると判断した。

3. 分析結果

3.1. 漁場環境指標と等級別生産枚数

図 3 と図 4 は、水温と等級別生産枚数を相関分析した結果である。前期（図 3）は、上位のノリには相関がみられなかったが、下位のノリには弱い相関が確認された。水温が高くなるにつれて、下位のノリの生産枚数が減少する傾向にある。後期（図 4）は、上位には相関がみられなかった。上位のノリは水温に関係なく生産枚数が変動するが、下位は水温が低くなるにつれて生産枚数が増加している。これは、ノリにとって最適な水温が 6°C ~ 16°C であることがわかっているので[4]、その好適水温から外れている前期は、水温以外の要因によって等級別生産枚数が変動したのではないかと推測される。一方、下位のノリには相関がみられた。好適水温内にある後期では、水温が低くなるにつれて下位のノリが増加している。このことは、総生産枚数と水温に相関関係がみられないことを考えると（図 5）、水温が低くなると下位のノリの割合が増える傾向にあることを意味する。つまり、好適水温内であっても水温が低いほど質のよいノリの割合が減少するという可能性が示唆される。

図 6 と図 7 は、DIN と等級別生産枚数の相関分析の結果である。水温と等級別生産枚数の結果と同様に、前期（図 6）では上位と下位ともに決定係数が低く、相関がみられなかった。前期の水温がおよそ 18°C ~ 19.8°C、後期の水温がおよそ 8.5°C ~ 10.5°C であり、前期はノリにとって好適水温とされている 6°C ~ 16°C の範囲外となるためノリが成長しづらく、DIN の吸収量が低下したことが影響しているのではないかと推測される。後期（図 7）は、上位と下位ともに比較的強い相関がみられた。上位のノリ

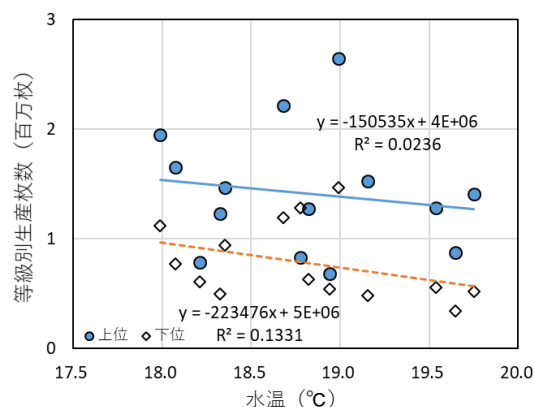


図 3. 水温と等級別生産枚数（前期：10 – 12 月）

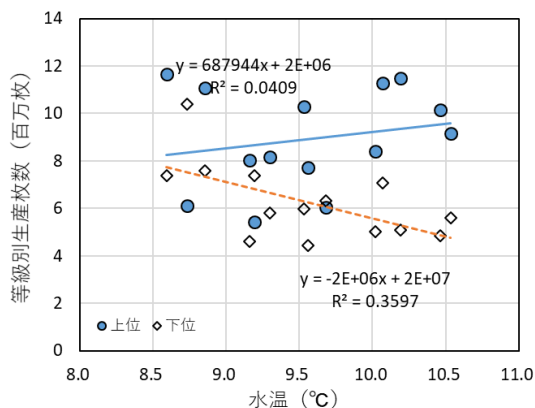


図 4. 水温と等級別生産枚数（後期：1 – 4 月）

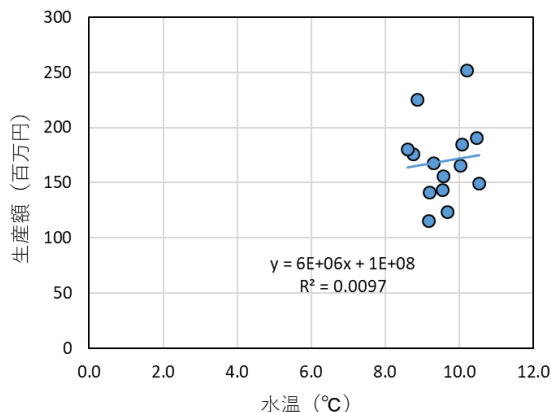


図 5. 水温と総生産枚数（後期：1 – 4 月）

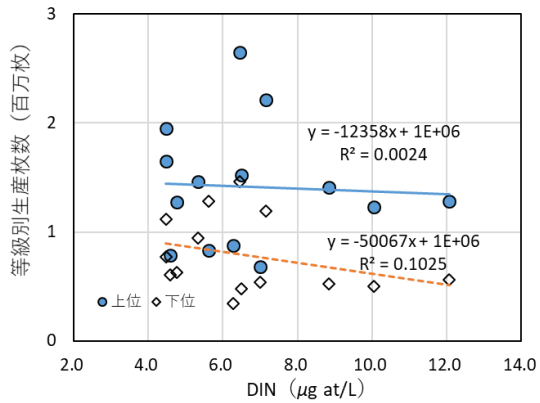


図 6. DIN と等級別生産枚数（前期：10－12月）

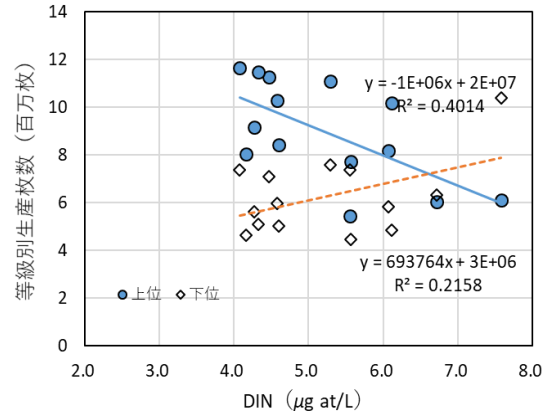


図 7. DIN と等級別生産枚数（後期：1－4月）

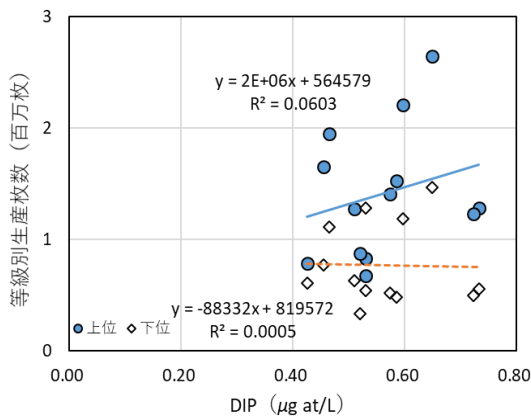


図 8. DIP と等級別生産枚数（前期：10－12月）

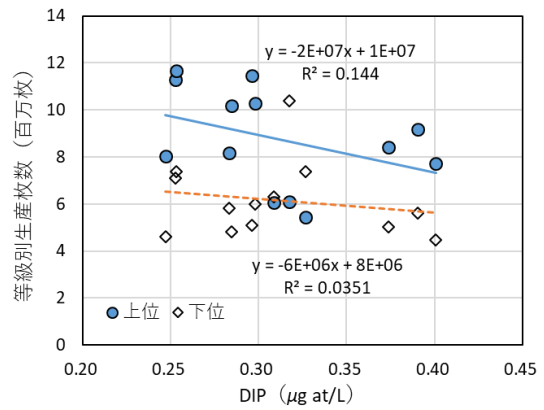


図 9. DIP と等級別生産枚数（後期：1－4月）

はDIN濃度が低くなるほど生産枚数が増加し、下位のノリはDIN濃度が低くなるほど生産枚数が減少している。漁場近くの調査地点でDIN濃度が低下しているということは、漁場のノリがDINを吸収していると考えられることができる。つまり、好適水温であった後期にはノリが漁場のDINをより多く取り込み、栄養分が十分に蓄えたノリが多い方が良い質のノリが育つのではないかと推測される。

図 8 と図 9 は、DIP と等級別生産枚数を相関分析した結果である。前期（図 8）と後期（図 9）ともに相関関係は認められなかった。相関がみられた後期のDINと等級別生産枚数の相関分析の結果（図 7）とあわせて考えると、ノリはDIPよりDINを必要としているのではないかと推測される。

3.2. 漁場環境指標の比較

前節の等級別生産枚数と漁場環境指標の相関分析から、水温、DIN、DIP濃度はそれぞれノリの質や成長に影響していることが明らかになった。本節では、漁場環境指標間の相関を確認した。

図 10 と図 11 は、DIN と DIP の相関を示している。前期（図 10）は強い相関がみられ、後期（図 11）には相関がみられなかった。これは、前述したように、後期は好適水温内でノリの栄養塩吸収が活発になったためであると考えられる。また、一般にDINとDIPの濃度がそれぞれ0.3μg at/L以上、0.03μg at/L前後であれば、ノリにとっては最適な漁場環境（ノリの色落ちが起きにくい漁場環境）であることが確認されている[4]。図 10, 11 から、DINは漁期全体をとおして0.3μg at/L以上であることがわかった。一方、DIPは後期に0.03μg at/Lを下回ることがあることが確認できた。

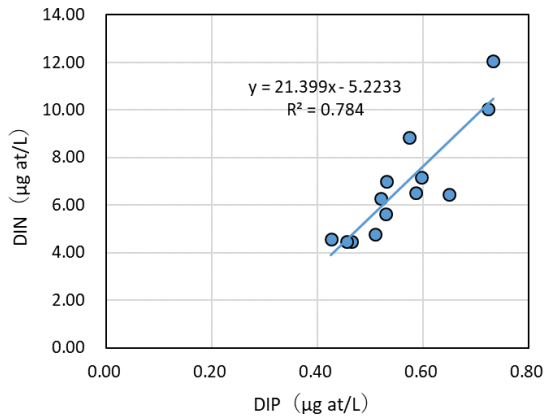


図 10. DIN と DIP (前期 : 10 - 12 月)

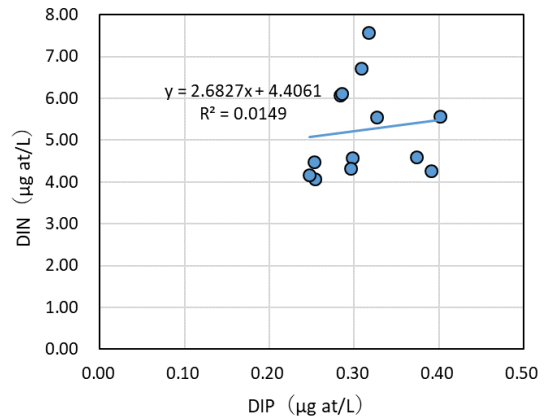


図 11. DIN と DIP (後期 : 1 - 4 月)

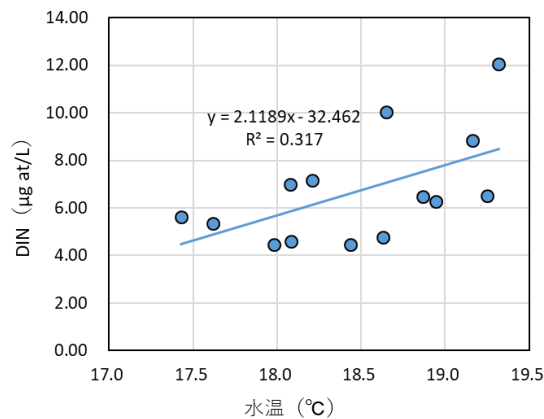


図 12. DIN と 水温 (前期 : 10 - 12 月)

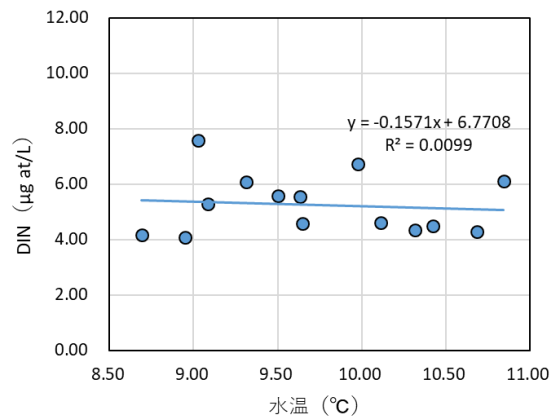


図 13. DIN と 水温 (後期 : 1 - 4 月)

図 12 と図 13 は DIN と水温の相関である。前期 (図 12) は、温度が低くなると DIN 濃度は低下する傾向がみられた。後期には、相関がみられなかった。後期 (図 13) の漁場では、ノリが成長のために DIN を吸収して濃度が低下したため、後期では相関がみられなくなったと考えられる。

4. 結論

本研究では、加古川河口付近のノリ養殖漁場およびそこで養殖されているノリを対象として、漁場環境指数が漁場の環境変化で変動する等級別生産枚数にどのような影響を及ぼすのか確認するために相関分析を実施した。その結果、主に以下のことが明らかになった。

- ・漁期の前半である 10 月～12 月は、ノリにとって最適な水温 (6℃～16℃) を上回ることが確認された。また、水温が高いほど質のよくないノリの生産枚数が減少することが明らかとなった。このことから、最適な水温以上の環境下では、質のよくないノリが、DIN を吸収することができずに成長が阻害されたノリが商品化の対象外となり、結果として質のよくないノリの生産枚数が減少することが示唆された。
- ・漁期の後半である 1 月～4 月は、最適な水温となる。DIN が減少し、質のよいノリの割合が増加している。つまり、ノリにとって最適な水温環境下では、漁場のノリが DIN を多く吸収し、質のよいノリが育つと考えられる。また、DIP は相関が確認できなかった。
- ・漁場環境として特に、水温と DIN 濃度が重要であることが考えられた。さらに、等級別生産枚数がノリへの

影響を評価する指標となりうることが判明した。

なお、2章で述べたように、等級別生産枚数は監査員の目視による相対評価で等級が付けられていることから、年度ごとあるいは監査員ごとのばらつきを排除することができない。また、相関分析では、漁場付近で測定された水温、DIN と DIP の値を用いて分析を実施したが、漁場から離れた地点との比較ができていない。これらについては、今後の課題としたい。

参考文献

- [1]阿保勝之・樽谷賢治・原田和弘・宮原一隆・中山哲厳・八木宏，“加古川河口域ノリ養殖場に及ぼす陸域からの栄養塩供給の影響,”『土木学会論文集 B2 (海岸工学)』, 68 巻 2 号, 2012 年, pp.I_1116 - I_1120.
- [2]兵庫県『播磨灘流域別下水道整備総合計画 計画書』, 2018 年 9 月.
- [3]環境省『令和元年度版 環境・循環型社会・生物多様性白書』, 2019 年 6 月.
- [4]鬼頭均『わが国の水産業「のり」』社団法人日本水産資源保護協会, 2014 年 3 月.
- [5]国土交通省水管理・国土保全局下水道部『栄養塩類の循環バランスに配慮した 運転管理ナレッジに関する事例集』, 2014 年 3 月.
- [6]国土地理院『国土数値情報 ダウンロードサービス』, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>, (2019 年 2 月 4 日閲覧).
- [7]Millennium Ecosystem Assessment『国連ミレニアムエコシステム評価 生態系サービスと人類の将来』オーム社, 横浜国立大学 21 世紀 COE 翻訳委員会 責任翻訳, pp.9-18.
- [8]水本篤, “質問紙調査における相関係数の解釈について,”『外国語教育メディア学会 (LET) 関西支部 メソロジー研究部会 2011 年度報告論集』, 2012 年, pp.63 - 73.
- [9]水産庁『漁業・養殖業生産統計』, http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/index.html, (2019 年 1 月 23 日閲覧).
- [10]山本民次, “瀬戸内海の貧栄養化について (再考),”『日本マリンエンジニアリング学会誌』 49 巻 4 号, 2014 年, pp.71 - 76.