

岡山県海域における水質環境及び漁業生産量の推移とそれらの相互関係

高木 秀 蔵*¹・渡 辺 新*¹・林 浩 志・藤 井 義 弘

Fluctuations and Relationships between Water Qualities and Fisheries Production in Okayama Prefecture

Shuzo TAKAGI, Arata WATANABE, Hiroshi HAYASHI and Yoshihiro FUJII

海域の生態系は、海水中の栄養塩（窒素、リン、ケイ素）を植物プランクトンが取り込み、続いて植物プランクトンを動物プランクトンが摂餌し、魚やエビといった高位の生物がそれらを捕食するというピラミッドで形成されている¹⁾。そのため、食物連鎖を通じた栄養段階間の物質循環の流れが同じであれば、生態系全体の生物の現存量は、その土台となる栄養塩量の影響を強く受ける。

海域では、生息する生物を対象とした採捕型の漁業だけではなく、ワカメ (*Undaria pinnatifida*) やノリ (*Pyropia*) といった栄養塩を直接取り込んで生長する藻類を対象とした養殖、アサリ (*Ruditapes philippinarum*) やマガキ (*Crassostrea gigas*) といった主に植物プランクトンを摂餌して成長する貝類を対象とした養殖も行われている。すなわち、人為的に栄養分を給餌して行われる魚類養殖を除くと、海域の生態系の中に存在するほぼすべての栄養段階の生物を対象として漁業は行われており、生態系全体の生物量と漁業生産量は密接につながっている。

わが国における沿岸漁業の生産量は減少が続いており、1985年に227万トンであった生産量は、2013年には115万トンとなり、最盛期の半分程度となった²⁾。乱獲、赤潮や貧酸素、藻場や干潟の減少による生息場の減少、地球温暖化に伴う水温上昇による生態系の変化等が原因として考えられているが、瀬戸内海では海域の溶存態無機窒素 (DIN) の減少に伴うノリの色落ちが頻発するとともに³⁻⁵⁾、漁船漁業の漁獲量にもつながっている可能性が指摘されている⁶⁾。このような状況を受け、2015年10月に瀬戸内海環境保全特別措置法が改正され、その附則において、海域の栄養塩濃度の減少原因の解明と海域の栄養塩類と漁業生産量との関係解明を行い、その結果を基に海域の栄養塩の管理の在り方について検討すること

となった。さらに、瀬戸内海的环境保全に係る基本計画の方針も変更され、水質の保全だけでなく水質の管理と水産資源の持続的な利用の確保に配慮した計画の策定が求められることとなった⁷⁾。

今回、上記の課題解決のための基礎資料とするため、水産研究所が実施している定期観測データと各種統計データを用いて、岡山県海域の水質環境と各種漁業生産量との関係について整理した。

材料と方法

海域の水質データ 1973年1月から2013年12月までの間、毎月1回、図1に示した32定点において、採取された透明度、底層（海底上1m）の酸素飽和度 (DO)、表層と底層（海底上1m）のDIN濃度、溶存態無機リン (DIP) 濃度、ケイ酸態ケイ素 (DSi) 濃度を用いた。な

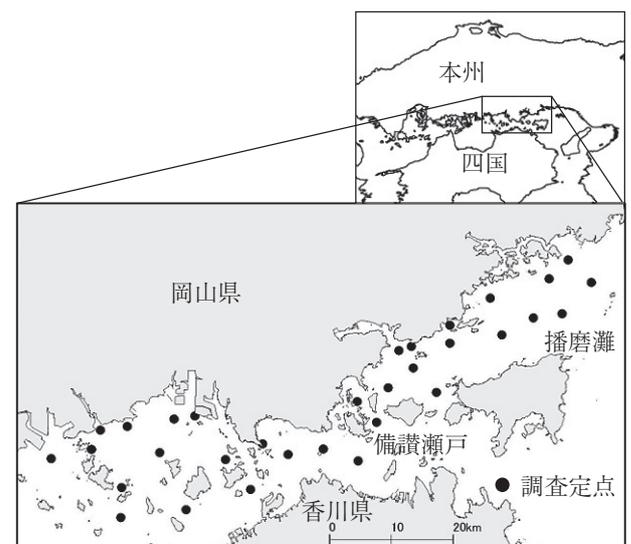


図1 調査定点図

*¹ 現所属：岡山県農林水産部水産課

お、DSi 濃度については1994年以降のデータを使用した。これらに加えて、林 (2013)⁸⁾ から同海域におけるクロロフィル a 濃度の年平均値を取得し、解析に用いた。それぞれの項目の分析方法に関しては、海洋観測調査指針 (1988)⁹⁾ に従った。

解析に用いた統計データ 岡山県漁業協同組合連合会が実施しているノリの入札結果を基に、漁期年度ごとの養殖ノリの生産枚数と生産金額を取得した。また、農林水産省 海面漁業生産統計調査 (http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/) から、岡山県における年ごとの漁業生産額及び漁業種別の漁業生産量を取得した。いずれについても1973年から2013年を取得対象期間とした。

結果と考察

栄養塩濃度の推移 1973年から2013年までの DIN 濃度、DIP 濃度、DSi 濃度の表層、底層の年平均値の推移を図2に示した。

DIN 濃度は、1974年に期間中の最高となる11.8 μM を示した後に急減し、1983年には2.9 μM となった。1991年に6.1 μM となった後は、増減を繰り返しながら減少し、2009年から2013年の5ヶ年平均濃度は3.2 μM となった。DIP 濃度は、1974年に期間中最高となる0.93 μM を示した後に減少し、1983年には0.19 μM となった。1991年に0.49 μM となった後は、増減を繰り返しながら僅かに減少し、2009年から2013年の5ヶ年平均濃度は0.31 μM となった。DSi 濃度は、1994年には10.8 μM となり、大きな年変動を示したが、明確な減少傾向はなかった。2009年から2013年の5ヶ年平均濃度は14.6 μM となった。

それぞれの成分ごとの濃度比についてみると、DIN と DIP 濃度比は、1990年までは16前後の値で推移していたが、それ以降は徐々に減少し、2009年から2013年の5ヶ年平均では10.3となった。DSi と DIN の濃度比は1994年には2.5であったが、DIN 濃度の低下に伴ってその値は上

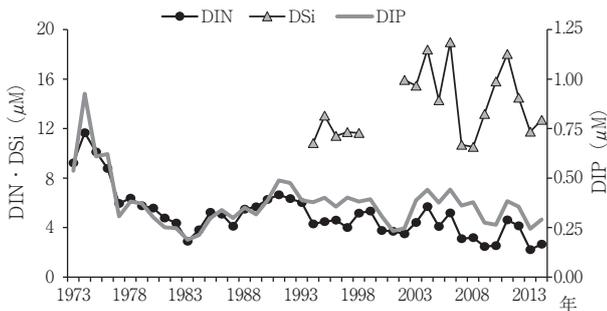


図2 DIN 濃度、DIP 濃度及び DSi 濃度（表層と底層の年平均値）の推移

昇し、2009年から2013年の5ヶ年平均では4.8となった。広義のレッドフィールド比では¹⁰⁾、海域の窒素：リン：ケイ素の濃度比は16：1：15～32とされている。このことから、近年の一次生産の制限要因となっているのは、DIN であると考えられたため、以降の栄養塩に関する解析は DIN を用いて行う。

DO と透明度の推移 1973年から2013年までの夏季（6～8月）の底層 DO と透明度の年平均値の推移を図3に示した。

DO は、1973年には79.7%であったが、その後は増減を繰り返しながらもわずかに増加し、2009年から2013年の5ヶ年平均では90.2%となった。透明度は、1973年には3.7mとなり、その後は増減を繰り返しながら上昇し、2009年から2013年の5ヶ年平均では4.2mとなった。夏季の底層 DO、透明度は改善傾向であり、両項目の上昇が近年の一次生産や漁業対象生物の減少に直接的につながった可能性は低いと考えられた。

ノリの生産量と生産額の推移及び DIN 濃度との関係

岡山県における1973年から2013年の漁期年度ごとの養殖ノリの生産枚数と生産額の推移を図4に示した。生産枚数は1989年度漁期に3.8億枚、生産額は1984年度に46.9億円となり、期間中の最高値を示した。その後、1990年代前半から生産枚数、生産金額共に低下し始め、2009年から2013年度の5ヶ年平均は、それぞれ2.1億枚と16.3億円となり、期間中最高値の55.2%と34.8%となった。ま

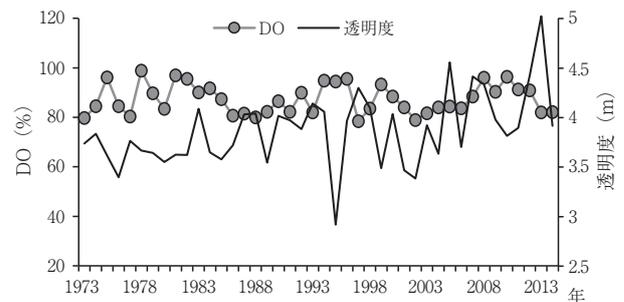


図3 夏季における底層 DO と透明度（年平均値）の推移

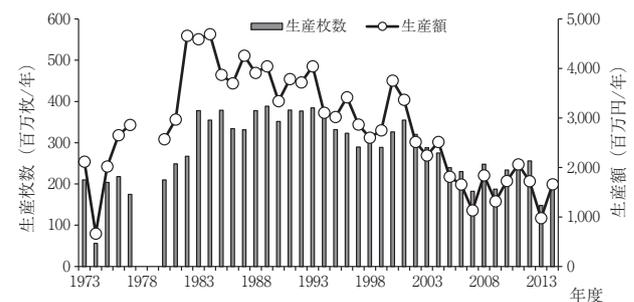


図4 岡山県海域における漁期年度ごとの養殖ノリの生産枚数及び生産額の推移

た、両値の間には有意な正の相関がみられ ($r=0.83$, $p<0.01$)、生産量の減少が生産金額の低下につながった一因と考えられた。

養殖ノリ主要生産期 (12月から翌年3月) の表層及び底層の DIN 濃度の平均値とノリの生産枚数、金額の関係を図5に示した。なお、解析については、1985年から2013年について実施した。漁期中の DIN 濃度と生産枚数、生産金額の間には、ともに有意な正の相関がみられた (生産枚数; $r=0.59$, $p<0.01$, 生産金額; $r=0.54$, $p<0.01$)。東部瀬戸内海では、海域の DIN 濃度の減少に伴って、現場の生ノリの色調が低下し、色調の低下した生ノリから製造された乾のりの単価は低いことが分かっている¹¹⁾。今回は、経営体数の変化について考慮していないために、単純に結論づけはできないが、海域の DIN 濃度の経年的な低下によってノリの生産量が減少し、その結果として生産金額の低下も生じている可能性が高いと考えられた。

海域の漁船漁業の生産量、生産金額の推移と DIN 濃度との関係 1973年から2013年までの年ごとの漁業生産量と生産金額の推移を図6に示した。漁業生産量は1974年に期間中最高となる24,100 t となったが、その後は減少し、2009年から2013年の平均値は5,300 t となった。生産金

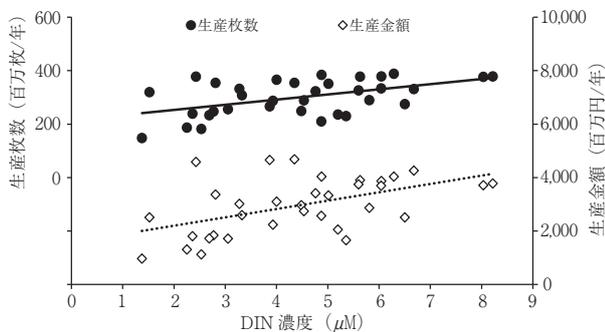


図5 1985年から2013年までの養殖ノリ主要生産期 (12月～翌年3月)における DIN 濃度と養殖ノリ生産枚数及び金額との関係

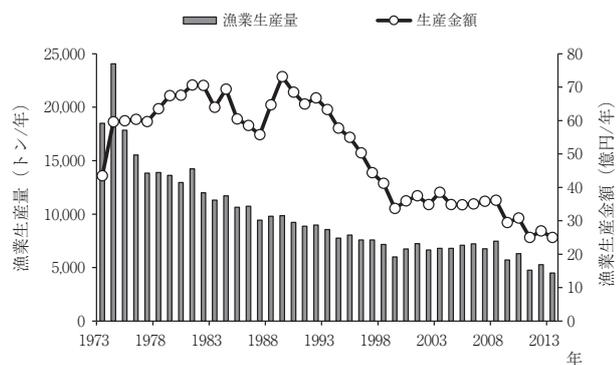


図6 岡山県海域における年ごとの漁業生産量と漁業生産金額の推移

額は1973年には43.5億円であったが、その後増加し、1989年には期間中最高となる73.1億円となった。以降は急速に減少し2009年から2013年の平均値は27.4億円となった。漁業生産量の減少に伴って、生産金額も減少しており、両者の間には有意な相関がみられた ($p<0.01$, $r=0.84$)。

次に、海域の DIN 濃度の変化がより上位の生物に与えた影響を検討するため、海域の DIN 濃度、クロロフィル a 濃度、漁業生産量の相関について調べた。なお、生態系の中で、低次に位置する生物の動態変化が高次の生物に影響を与えるまでには、一定のタイムラグが生じる可能性が指摘されている¹²⁾。そこで、以降の栄養段階が異なる関係間の解析では、同一年に加えて、1年後、2年後、3年後と比較する年をずらした場合の相関についても調べた。

海域の表層及び底層の DIN 濃度の平均値と同一年、1年後、2年後、3年後のクロロフィル a 濃度の年平均値との相関係数はそれぞれ0.44, 0.38, 0.37, 0.37となり、同一年において有意な ($p<0.01$) 正の相関がみられ (図7)、DIN 濃度と同一年のクロロフィル a 濃度の関係は、 $y=0.21x+2.2$ となった (y : 同一年のクロロフィル a 濃度, x : 当該年の DIN 濃度)。また、クロロフィル a 濃度と同一年から3年後までの漁業生産量の間相関係数はそれぞれ0.53, 0.54, 0.61, 0.60となり、いずれにおいても有意な ($p<0.01$) 正の相関がみられた。最も相関係数が高い値を示したクロロフィル a 濃度とその2年後の漁業生産量の間は、 $y=1,570x+2,240$ となった (図8; y : 2年後の年合計漁業生産量, x : 当該年のクロロフィル a 濃度)。海域の DIN 濃度の平均値と漁業生産量の間相関係数はそれぞれ0.60, 0.54, 0.64, 0.59となり、いずれについても有意な ($p<0.01$) 相関がみられた。最も相関係数が高かった DIN 濃度とその2年後の漁業生産量の

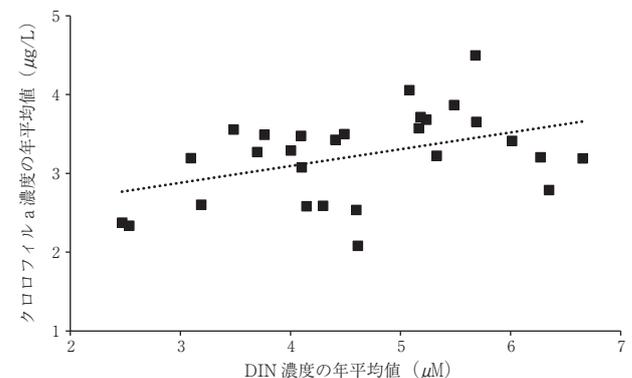


図7 1985年から2013年までの海域の DIN 濃度とクロロフィル a 濃度の関係

関係は、 $y=810x+3,590$ となった（図9； y ：2年後の年合計漁業生産量， x ：当該年のDIN濃度の年平均値）。DIN濃度が高い年には、クロロフィルa濃度が高くなり、漁業生産量も多くなるという傾向がみられた。

漁業種類別の漁業生産量とDIN濃度との関係 継続的に統計情報が取得可能な小型底びき網（以下、底びき網）、刺網、定置網のそれぞれについて、同一年から3年後までの漁獲量とDIN濃度との関係を調べた。なお、これらの漁業種類の2009年から2013年の合計生産量は、同期間中の漁業生産量のそれぞれ、47.1%、8.4%、7.7%であった。

底びき網については、2年後と3年後においてDIN濃度との間に有意な相関がみられ（表1）、刺網と定置網については、いずれの年においても有意な相関がみられた。DIN濃度と2年後の底びき網の生産量の関係は、 $y=356x+1,920$ となった。DIN濃度と2年後の底びき網の生産量が相関を有しているために、図9のとおり、DIN濃度と県全体の2年後の生産量が最も高い相関を示したと考えられた。

本県海域に隣接する播磨灘においても栄養塩と漁業生

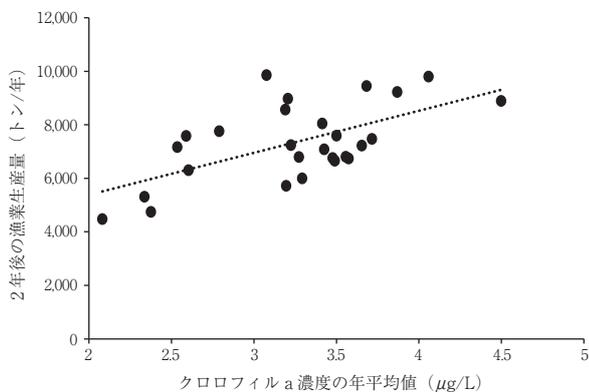


図8 1985年から2013年までの海域のクロロフィルa濃度と2年後の漁業生産量の関係

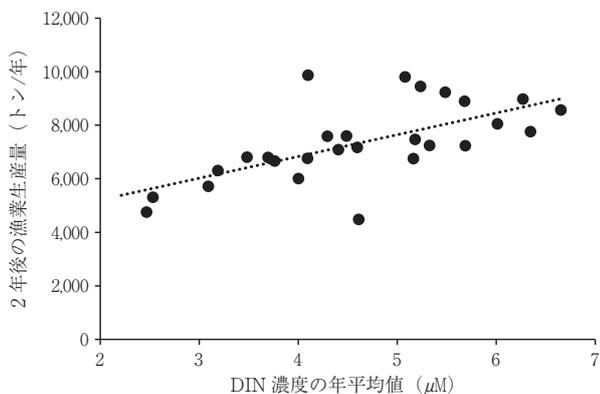


図9 1985年から2013年までの岡山県海域におけるDIN濃度と2年後の漁業生産量の関係

表1 海域のDIN濃度の年平均値と漁業種類別生産量の相関

| | 同一年 | 翌年 | 2年後 | 3年後 |
|------|-----|----|-----|-----|
| 底びき網 | ND | ND | ++ | ++ |
| 刺網 | ++ | ++ | ++ | ++ |
| 定置網 | ++ | ++ | ++ | ++ |

++：正の相関 $p < 0.01$

産量についての解析が行われており¹³⁾、DIN濃度と1～2年後の底びき網の生産量の間、有意な相関があることが示されている。その理由として、底びき網の主な対象魚種は、イワシやアジといった高度多獲性魚種と比べて、漁獲年齢が高く、仔稚魚期からの継続的な栄養塩の環境が餌料生物を通じて反映されるためとしている。また、樽谷ら¹⁴⁾は、大阪湾において、低次生態系の変化によって、より高次の底性魚介類の漁業生産量が減少した可能性を示している。これらのことから、本県海域でも同様に、食物連鎖を通じてDIN濃度の減少の影響を様々な生物が受け、その結果として漁業生産量も減少した可能性が考えられた。

本報では、ノリ養殖生産及び各種漁業生産量と海域のDIN濃度の関係を調べた。その結果、クロロフィルa濃度、ノリの生産量、漁業生産量とDIN濃度との間に、正の相関がみられた。栄養塩濃度の変動が高次の生物の動態に影響を与えるまでには複雑な過程を経る上に、海の生物の動態は、水温や塩分といった栄養塩以外の水質の影響も強く受ける。そのため、今回の解析結果は、DIN濃度の減少が各項目の減少につながった可能性を示すものの栄養塩量を増やせば、漁業生産量が増加することを単純に意味するものではない。今後は、魚種別に詳細な解析を行うとともに、室内実験や食物網解析などを合わせて調査を実施し、栄養塩濃度の増減が生態系に与える影響を評価する必要がある。

文 献

- 1) 多田邦尚・一見和彦・山口一岩, 2014: 海洋生物科学入門 一海の低次生物生産過程一, 恒星社厚生閣, 7-23.
- 2) 水産庁, 2015: わが国周辺海域の漁業資源の変化, 平成26年度水産白書, 水産庁, 3-27.
- 3) 川口 修・高辻英之, 2010: 広島県東部海域における溶存態無機窒素動態とノリ色落ちへの影響, 日水誌, 76, 849-854.
- 4) 高木秀蔵・難波洋平・藤沢節茂・渡辺康憲・藤原建紀, 2012: 備讃瀬戸に流入する河川水の広がりノリ漁場への栄養塩供給, 水産海洋研究, 76, 197-204.

- 5) 村山史康・高木秀蔵・清水泰子, 2015: 岡山県沿岸における栄養塩濃度とノリ色調および単価との関係, *海洋と生物*, **37**, 250-253.
- 6) 反田 實・赤繁 悟・有山啓之・山野井英夫・木村 博・團昭紀・坂本 久・佐伯康明・石田祐幸・壽 久文・山田卓郎, 2014: 瀬戸内海の栄養塩環境と漁業, *水産技術*, **7**, 37-46.
- 7) 根木桂三, 2016: 瀬戸内海環境保全特別措置法の改正と瀬戸内海環境保全基本計画の変更等について, *水環境学会誌*, **39**, 78-82.
- 8) 林 浩志, 2013: 瀬戸内海中央部における表層海水中の溶存態無機窒素とクロロフィル a の経年変化, *岡山水研報*, **28**, 1-4.
- 9) 気象庁, 1988: 海洋観測指針, 気象庁編.
- 10) A.C.Redfield, B.H.Ketchaam, F.A.Richard, 1963: The influence of organism on the composition of sea-water. *Inter Science*, **2**, 26-77.
- 11) 村山史康・清水泰子・高木秀蔵, 2015: 岡山県ノリ漁場における栄養塩濃度とノリ色調および乾海苔単価との関係, *日本誌*, **81**, 107-114.
- 12) 反田 實・原田和弘, 2012: 瀬戸内海東部(播磨灘)の栄養塩環境と漁業, *海洋と生物*, **34**, 132-141.
- 13) 反田 實, 2015: 瀬戸内海頭部の貧栄養化と漁業生産, *海と湖の貧栄養化問題*, 地人書館, 東京, 91-128.
- 14) 樽谷賢治・中嶋昌紀, 2011: 閉鎖性内湾における貧栄養化と水産資源, *水環境学会誌*, **34**, 47-50.