

三瓶及び北灘湾の水産養殖場における水質の状況

水質環境科

はじめに

愛媛県では水産養殖が盛んに行われており、平成16年度における海面養殖業生産額は、約609億円¹⁾で総生産額の63%を占める。マダイやハマチなどの魚類養殖では、与えた餌を魚が全て食べるわけではなく、残餌や排泄物が海中に溶存、沈降することにより、漁場環境中に放出される。

そのため、海面養殖業が盛んな湾内では、水産養殖場の投餌による海水への窒素、燐化合物の負荷量が大いことが懸念される。このため、県では貧酸素、赤潮発生など海面養殖業による瀬戸内海の水質環境悪化の防止、養魚の健全な育成に必要な環境と持続可能な水産養殖場を確保するための基礎資料を収集することを目的として、水産養殖場における水質環境等の実態調査を経年的に実施している。

今回、平成7年度から平成17年度までの水質調査結果をとりまとめ、本県が実施している公共用水域の調査結果とあわせて解析したので報告する。

調査方法及び分析方法

1 調査対象

水質、底質等について実施しているが、今回は水質について解析した。

2 調査地点

愛媛県西予市(旧三瓶町)に面する三瓶湾(地点名M1～M3)及び宇和島市(旧津島町)に面する北灘湾(地点名K1～K3)の2海域、各3地点(図1)。

なお、採水については、上層(水深0.5m)及び下層(水深25m)の2層で実施した。

3 分析項目

pH、溶存酸素量(以下、「DO」という)、透明度、浮遊物質(以下、「SS」という)、化学的酸素要求量(以下、「COD」という)、全窒素濃度(以下、「T-N」という)、全燐濃度(以下、「T-P」という)の7項目。

4 調査期間

平成7年度(以下、「H7」という)からH17の夏季に実施した。

5 分析方法

水質の分析は、昭和46年環境庁告示第59号「水質汚濁に係る環境基準について」に準じた。なお、CODは100℃過マンガン酸カリウム硫酸酸性法によった。

6 解析方法

本調査では、愛媛県が実施している公共用水域の調査結果²⁾を参考に比較検討した。同調査の対象とした期間は、H7からH16である。三瓶湾及び北灘湾内の調査地点は、図1に示す三瓶湾の3地点(631-11～631-13)、北灘湾の2地点(631-24、631-25)となっている。

採水は表層(水深0.5m)及び中層(水深2m)で実施されているが、調査結果は、DO、CODが表層と中層の平均値、T-N、T-Pが表層のみの値である。また、各項目の年平均値については、年4回(5月、8月、11月、2月)実施された分析結果の平均値である。

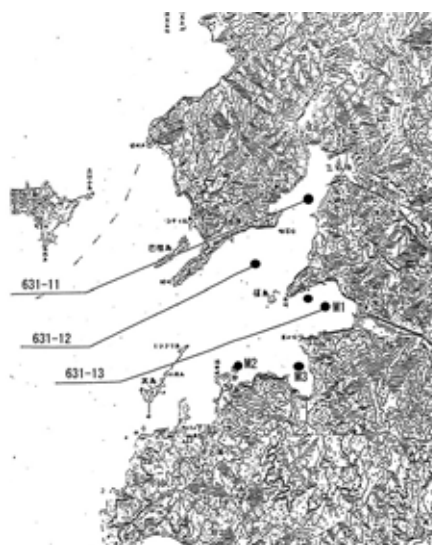
結果と考察

1 水質

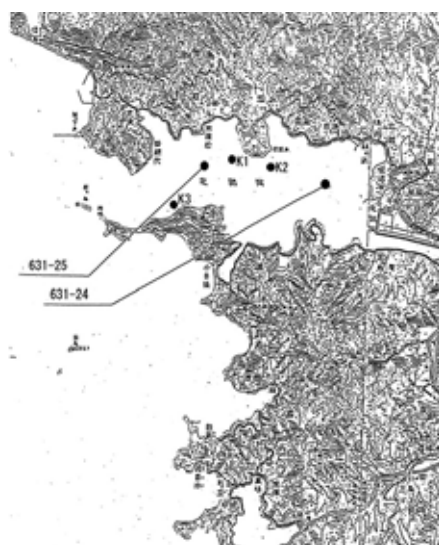
(1) pH

両湾におけるpHを表1に示す。平均値はどの地点も上層でpH8.2、下層でpH8.1であった。

水産用水基準³⁾では、海域のpHは、pH7.8から8.4



三瓶湾



北灘湾



図1 調査地点

と規定されており、全調査期間、全地点を通してこの条件を満足していた。

表1 三瓶湾及び北灘湾における海水のpH
(期間：平成7年度～平成17年度)

	調査地点	平均値	最小値	最大値
上層	M1	8.2	8.0	8.3
	M2	8.2	8.1	8.3
	M3	8.2	8.0	8.3
	K1	8.2	8.1	8.4
	K2	8.2	8.0	8.3
	K3	8.2	8.1	8.4
下層	M1	8.1	8.0	8.2
	M2	8.1	8.0	8.2
	M3	8.1	8.0	8.2
	K1	8.1	8.0	8.2
	K2	8.1	8.0	8.2
	K3	8.1	8.1	8.2

(2) DO

同湾におけるDOを図2に示す。平均値は上層で7.4mg/Lから7.9mg/L、下層で5.7mg/Lから6.7mg/Lの範囲であった。各調査地点、各層のDOについては、統計的に有意な増減傾向(p<0.05)はみられなかった。水産用水基準で、DOは6mg/L以上、内湾の夏季低層では3mg/L以上と規定されており、平均値でみた場合、全地点でその条件を満足している。公共用水域の両湾におけるDOを図3に示す。平均値は三瓶湾で8.0mg/L、北灘湾で7.4mg/Lであった。なお、DOを平均値でみ

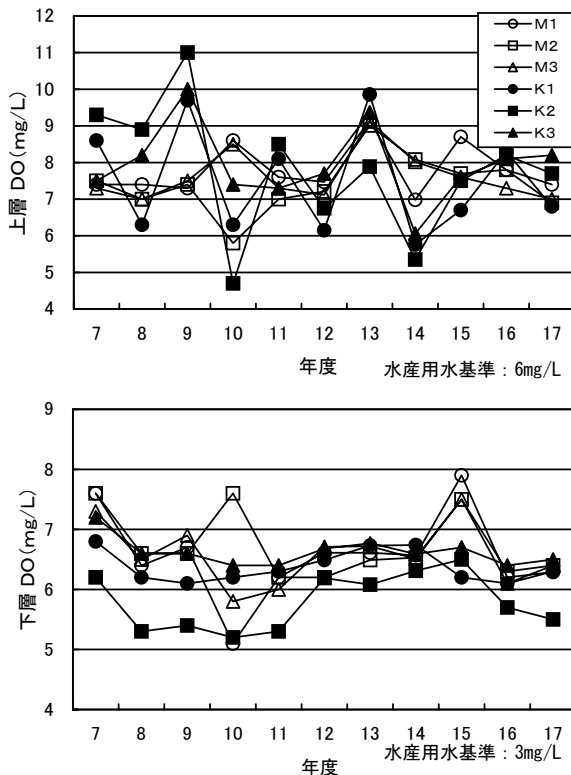


図2 三瓶湾及び北灘湾における海水のDO

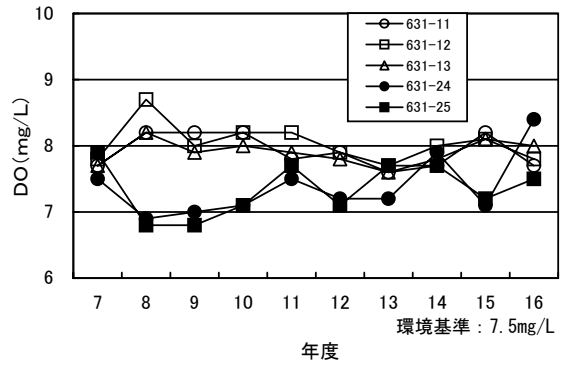


図3 三瓶湾及び北灘湾のDO(公共用水域水質調査)

た場合、有意な増減傾向(p<0.05)はみられなかった。年度別でみると、H10のM2上層(5.8mg/L)、H14のK1上層(5.8mg/L)、K2上層(5.4mg/L)、上層平均値(5.7mg/L)が基準値に達していなかったが、下層は全ての年度で基準値に達していた。

両湾とも公共用水域の環境基準はA類型に指定されており、DOの環境基準値は7.5mg/L以下となっている。三瓶湾は、全地点で環境基準を達成しているが、北灘湾は全体の55%が環境基準非達成であった。

(3) COD

同湾におけるCODを図4に示す。平均値は上層で1.7mg/Lから2.6mg/L、下層で1.1mg/Lから1.3mg/Lの範囲であった。各調査地点、各層のCODについては、有意な増減傾向(p<0.05)はみられなかった。

両湾における公共用水域のCOD平均値を図5に示す。三瓶湾のCOD平均値は1.1mg/Lから1.7mg/L、北灘湾のCOD平均値は1.8mg/Lから4.5mg/Lの範囲

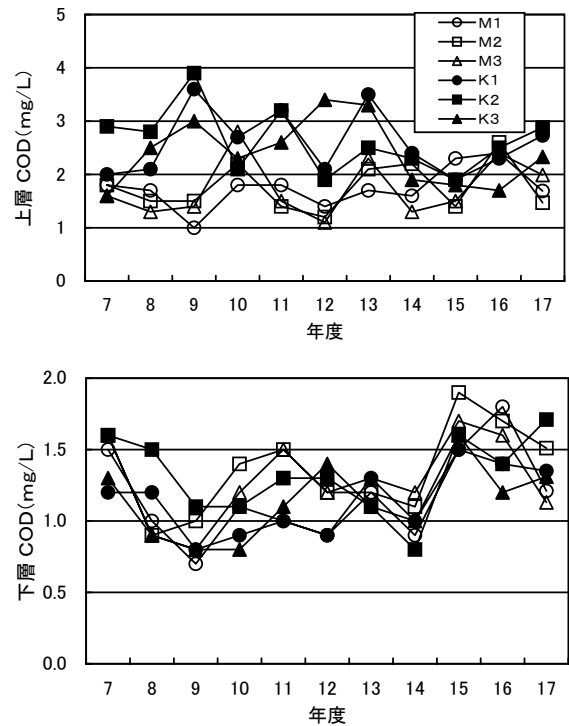


図4 三瓶湾及び北灘湾における海水のCOD

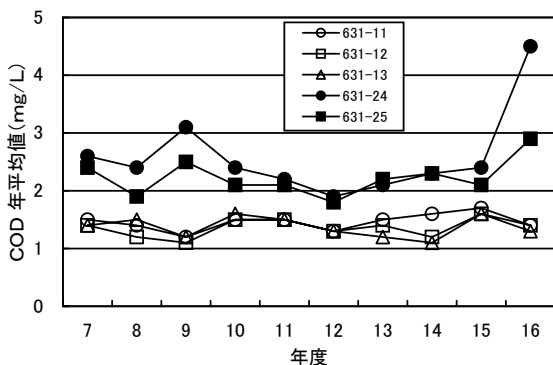


図5 三瓶湾及び北灘湾のCOD年平均値
(公共用水域水質調査)

で推移しており、平均値は三瓶湾で1.4mg/L、北灘湾で2.4mg/Lであった。また、COD平均値については、全地点有意な増減傾向 ($p < 0.05$) がみられなかった。

公共用水域のCODについては、環境基準達成の評価に75%値が用いられる。両湾とも環境基準はA類型に指定されており、CODの環境基準値は2mg/L以下である。H7からH17におけるCOD75%値を表2に示す。三瓶湾はH10に超過したのみで、その他の年度は達成しているが、北灘湾は全体の80%が非達成であった。

なお、COD平均値と同様にCOD75%値の経年変化に有意な増減傾向 ($p < 0.05$) はみられなかった。

表2 三瓶湾及び北灘湾のCOD 75%値
(公共用水域調査)

	三瓶湾			北灘湾	
	631-11	631-12	631-13	631-24	631-25
平成7年度	1.8	1.7	1.6	2.9	2.3
平成8年度	1.7	1.4	1.6	2.0	1.7
平成9年度	1.1	1.1	1.3	4.6	3.4
平成10年度	2.1	2.4	2.5	2.9	2.3
平成11年度	1.9	1.7	1.7	1.8	2.0
平成12年度	1.9	1.3	1.5	2.3	2.0
平成13年度	1.8	1.8	1.4	1.9	2.2
平成14年度	1.8	1.7	1.4	3.0	3.4
平成15年度	1.9	1.9	1.7	2.0	1.8
平成16年度	1.7	1.7	1.6	3.4	2.6

備考：環境基準値2mg/L

(4) T-N

同湾におけるT-Nを図6に示す。平均値は上層で0.16mg/Lから0.38mg/L、下層で0.17mg/Lから0.29mg/Lであった。各調査地点、各層のT-Nについては、有意な増減傾向はみられなかった。

公共用水域における両湾のT-Nを図7に示す。平均値は三瓶湾で0.27mg/L、北灘湾で0.39mg/Lであった。

なお、T-Nは、631-12、631-25、及び北灘湾平均値で有意な減少傾向(それぞれ $p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.05$)がみられたが、それ以外の地点では、有意な増減傾向は

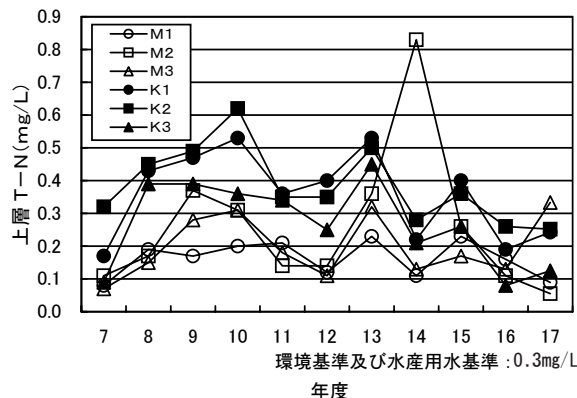


図6 三瓶湾及び北灘湾における海水のT-N

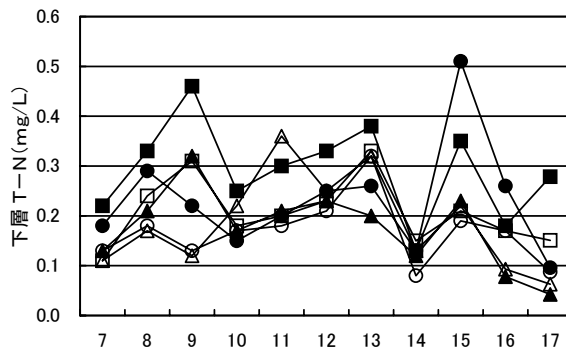


図6 三瓶湾及び北灘湾における海水のT-N

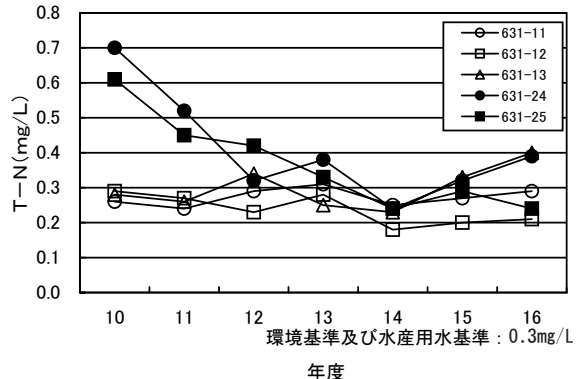


図7 三瓶湾及び北灘湾のT-N(公共用水域水質調査)

みられなかった。

両湾は環境基準の類型IIに指定され、水産用水基準によるとT-Nは水産1種の0.3mg/L以下で水産生物が多獲される水質に該当し、T-Nの環境基準値と同じである。平均値でみた場合、K1の上層(0.35mg/L)、及びK2の上層(0.38mg/L)が両基準値を超過していた。また、年度別でも、三瓶湾の上層は全体の21.2%が超過、北灘湾の上層は全体の60.6%が超過、両湾の下層はどちらも全体の15.2%が両基準値を超過していた。

公共用水域における三瓶湾の631-11はH13に基準超過しており、北灘湾の631-24は、H14を除き全て基準超過、631-25はH10からH13が基準超過していた。

(5) T-P

同湾におけるT-Pを図8に示す。平均値は、上層で0.16mg/Lから0.034mg/L、下層で0.010mg/Lから0.079mg/Lの範囲であった。各調査地点、各層のT-PについてはM2下層で有意な増加傾向 ($p < 0.05$) が

みられたほかは、有意な増減傾向はみられなかった。

公共用水域の両湾における T-P を図 9 に示す。平均値は三瓶湾で 0.024mg/L、北灘湾で 0.040mg/L であった。

なお、T-P は、631-11 及び三瓶湾平均値で有意な増加傾向 (いずれも $p < 0.05$) がみられたが、それ以外の地点には、有意な増減傾向はみられなかった。

両湾は環境基準の類型 II に指定されており、水産用水基準によると T-P は水産 1 種の 0.03mg/L 以下で水産生物が多獲される水質に該当し、T-P の環境基準値と同じである。平均値でみた場合、K1 の上層 (0.031mg/L)、及び K 2 の上層 (0.034mg/L) 及び下層 (0.039mg/L) が両基準値を超過していた。また、年度別でみた場合、北灘湾の上層は全体の 48.5% が超過、北灘湾の下層は全体の 33.3% が両基準値を超過していた。

公共用水域における北灘湾の 631-24 は全ての年で基準超過、631-25 は H12 を除く全ての年で基準超過 (北灘湾全体で 92.9% が超過) していた。

(6) SS 及び透明度

両湾における SS について、上層は 1 未満から 3mg/L の範囲で、下層は 1 未満から 5mg/L の範囲で推移していた。

同湾における海水の透明度を図 10 に示す。平均値は三瓶湾で 6.5 m から 7.5 m、北灘湾は 3.9 m から 4.3 m であった。各調査地点の透明度については、M3 で有意な減少傾向 ($p < 0.01$) がみられ、透明度の悪化が懸念されるが、その他の地点では、有意な増減傾向はみられなかった。

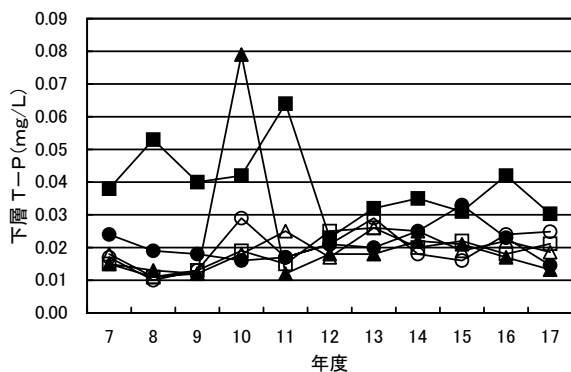
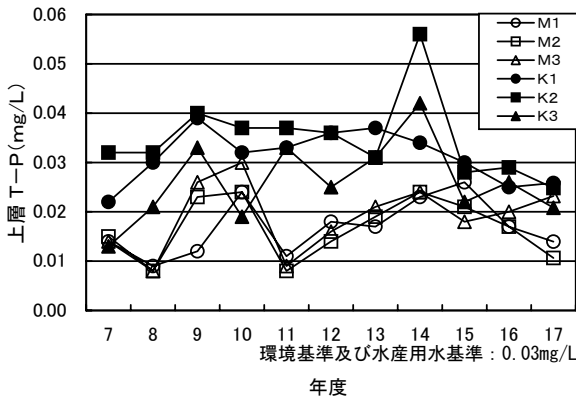


図 8 三瓶湾及び北灘湾における海水の T-P

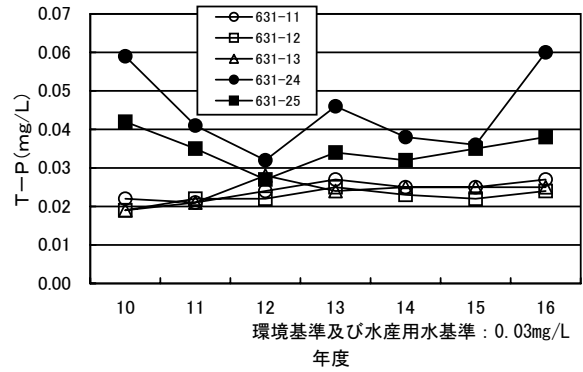


図 9 三瓶湾及び北灘湾の T-P (公共用水域水質調査)

(7) 水質項目間の相関について

同湾における水質項目間の相関を表 3 に示す。各湾各層別に相関を求めたところ、三瓶湾の上層で T-P と T-N に正の相関 ($p < 0.05$) が認められ、COD と透明度に負の相関 ($p < 0.05$) が認められた。

また、北灘湾の上層では、SS と透明度に正の相関 ($p < 0.01$) が認められ、他の項目間には、有意な相関はみられなかった。

進藤ら⁴⁾は、宇和海上層の水質について、夏季に COD

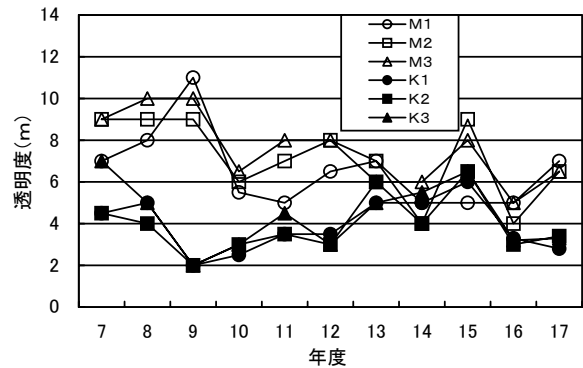


図 10 三瓶湾及び北灘湾における海水の透明度

表 3 三瓶湾及び北灘湾各層の水質項目間の相関
三瓶湾 (上層)

	COD	T-N	T-P	SS	透明度
COD	-				
T-N	0.1023	-			
T-P	0.3941	0.6512*	-		
SS	0.3630	0.5955	0.1344	-	
透明度	-0.6984*	-0.1996	-0.3768	-0.4297	-

備考：*印は $p < 0.05$

北灘湾 (上層)

	COD	T-N	T-P	SS	透明度
COD	-				
T-N	0.5104	-			
T-P	0.3823	0.2688	-		
SS	0.2247	0.5387	0.1968	-	
透明度	-0.4930	-0.1116	-0.1541	0.8363**	-

備考：**印は $p < 0.01$

が高いこと、CODが高いほどクロロフィルaも高い傾向を示したことを報告しており、三瓶湾上層におけるCODと透明度との負の相関から、三瓶湾M3における透明度の減少傾向については、夏季のプランクトン数の変化が影響していることが推察される。

(8) 三瓶湾と北灘湾の水質の比較

両湾の平均水深は、それぞれ28m、32mであり、両湾の水深に大きな差はない。両湾の水産養殖場調査結果を比較すると、CODの上層、T-Nの各層、T-Pの各層は北灘湾の方が三瓶湾より濃度が高く、透明度は低い。また、水産用水基準との比較についても、T-N、T-Pともに北灘湾の方が基準値の超過率が高いことから、北灘湾の水質汚染が進行している。

両湾を比較すると、北灘湾の方が三瓶湾より湾の入り口が狭く、入り組んでいるために海水が滞留しやすいこと、湾に面した旧三瓶町と旧津島町の人口、産業規模が異なること、北灘湾には上流に山財ダムを有する岩松川が流入しているが、三瓶湾には大きな河川がないこと、三瓶湾と北灘湾の水産養殖場における養殖規模、投餌量の差が原因として考えられる。

なお、平成13年の宇和海漁場環境検討報告書⁵⁾に、岩松川の北灘湾への流入と底入り潮⁶⁾による栄養塩類の供給が報告されている。北灘湾では、岩松川から流入した河川水が下層の海水と混合し塩分を高めながら湾外へと流出するが、その際、湾外へと流出する水量が流入する河川水量より遙かに大きくなり、この差を補う量の海水が湾外から下層に流入する。

底入り潮により供給された栄養塩類は、この流入により湾内に運び込まれ、さらに鉛直混合により上層に運ばれ、河川等から供給された栄養塩類とともに、上層で植物プランクトンの増殖をもたらす。

報告書の水温とクロロフィルのデータでは、岩松川河口域から湾内の養殖筏周辺にかけて水温が高く、クロロフィルは湾奥の河口域付近で特に高くなっていることから、クロロフィル分布と水温分布がよく対応している。北灘湾の水質悪化については、このように湾の地形的な要因があることも考慮する必要がある。

また、水産養殖場における当該水域の汚染の程度は、養殖魚の餌の種類によっても異なってくる。愛媛県水産試験場⁶⁾の報告によると、水産養殖に係る餌種類別のT-N、T-P、TOC含有率については、生餌はモイストペレットとEP(ドライペレット系)の中間で、単位投餌量当たりのT-N、T-P、及びTOC沈降粒子束(g/m²/日)も同様であったが、投餌量が他の餌と比較して多くなるため、トータルでのT-N、T-P、TOC沈降粒子束は他の餌の1.8~5.6倍多くなると報告している。

宇和海の養殖エサはその多くがペレットであるが、生餌は現在も使用されており、湾内の栄養塩負荷の減少と水質改善には、ペレットへの切替を強く推進していくことが望まれる。

まとめ

三瓶湾及び北灘湾について、H7からH17の夏季に実施してきた水産養殖場調査の水質分析結果と当該湾内における公共用水域調査結果について解析を行った。

その結果、次のことがわかった。

1. 三瓶湾について、水産養殖場調査から、M2下層のT-Pに増加傾向がみられた。また、M3の透明度には減少傾向がみられ、透明度の悪化が懸念される。水産用水基準と比較すると、DOは、上層がほとんど、下層が全て基準値以内であった。

T-Nは、上層が全体の21%、下層は全体の15%について基準値を超過していたが、T-Pは全て基準値以内であった。公共用水域の631-12地点のT-Nに増加傾向がみられ、T-Pは、631-11地点及び三瓶湾3地点平均値に増加傾向がみられた。

環境基準でみると、DO、T-Pは全て満足しており、T-Nもほとんど基準を満足していた。

2. 北灘湾について、水産養殖場のDO、COD、T-N、T-Pの有意な増減傾向はみられなかった。水産用水基準と比較すると、DOは、上層がほとんど、下層が全て基準値を満足していた。T-Nは、上層が全体の61%、下層が全体の15%について基準値を超過しており、T-Pも上層が全体の49%、下層が全体の33%について基準値を超過していた。

公共用水域の631-25地点及び北灘湾2地点のT-N平均値に減少傾向がみられた。

環境基準でみると、DOは全体の55%、CODは全体の80%、T-Nは全体の71%、T-Pは全体の93%で超過していた。

3. 両湾の水産養殖場の水質を比較すると、COD、T-N、T-Pは北灘湾の方が三瓶湾より濃度が高く、透明度も低い。また、T-N、T-Pともに北灘湾の方が水産用水基準値の超過率が高く、北灘湾の水質汚染が進行している。

その原因として、北灘湾は海水が滞留しやすい地形であること、北灘湾には上流にダムを有する岩松川が流入していること、両湾の水産養殖場における養殖規模、投餌量の差などが考えられる。

謝辞

本水産養殖場調査の実施にあたりご協力いただきました愛媛県環境政策課、八幡浜保健所環境保全課、及び宇和島保健所環境保全課の皆様へ感謝します。

文献

- 1) 中国四国農政局：農林水産省統計情報愛媛県版第28号(平成17年12月)
- 2) 愛媛県県民環境部環境局環境政策課：愛媛県環境白書、各年版
- 3) 日本水産資源保護協会：水産用水基準(2000)

- 4) 進藤三幸 他：愛媛県環境保全センター所報，
15, 26 - 35 (1995)
- 5) 宇和海漁場環境調査検討会：宇和海漁場環境検討
報告書 (平成 13 年 3 月)
- 6) 谷川貴之 他：愛媛県水産試験場事業報告，36 -
51, (平成 13 年度)
- 7) 武岡英隆：瀬戸内海，35,1 - 4 (2003)
- 8) 兼田淳史：瀬戸内海，40,6 - 9 (2004)