

田辺湾の養魚場水域における底質の有機物負荷の推移

中瀬玄德¹・宮嶋 暁²・宮野茂一²・和泉健一^{2*}・向井良夫³・
道裏ひかる²・那須敏朗⁴

Changes in organic loads on bottom sediments of aquaculture area in the Tanabe Bay

Gentoku NAKASE¹, Aki MIYASHIMA², Shigekazu MIYANAO², Ken-ich IZUMI², Yoshio MUKAI³,
Hikaru MICHUURA² and Toshiro NASU⁴

Organic loads in surface sediments at four sampling stations in an aquaculture area were surveyed between 2012 and 2019. The overall average (\pm SD) AVS (Acid Volatile Sulfide) during survey period at the sampling station No. 717 and No. 718, the area with relatively high organic loads, were 0.78 ± 0.31 and 0.29 ± 0.14 mgS/g dry sediment, respectively. On the other hand, the overall average AVS values in the station No. 719 and No. 720 were 0.21 ± 0.12 and 0.18 ± 0.12 mgS/g dry sediment, respectively, indicating lower organic loads and relatively well-preserved environmental condition at these stations. Such differences in AVS values between the stations might have been attributed for geographical and environmental conditions of each site. Regardless of the AVS variability, the annual lowest values (values in every March) tended to decrease or were stable. This suggests that the conditions of the bottom sediment in these areas have been, at least, not deteriorated during the study period. Continuous monitoring and survey of organic loads are mandatory for the appropriate use of aquaculture sites as well as for the environmental management.

Key words: Aquaculture area, Bottom sediment, Organic load, AVS, COD

¹ 富山実験場 (Toyama Station, Aquaculture Research Institute, Kindai University., 3 Kairyu, Imizu, Toyama 933-0222)

² 白浜事業場 (Shirahama Hatchery, Aquaculture Technology and Production Center, Kindai University., 1-5, Shirahama, Nishimuro, Wakayama 649-2211)

³ 浦神事業場 (Uragami Hatchery, Aquaculture Technology and Production Center, Kindai University., 486-3 Uragami, Nachi-Katsuura, Higashimuro, Wakayama 649-5145)

⁴ 株式会社アーマリン近大 (A-marine Kindai Co., Ltd., 1-5, Shirahama, Nishimuro, Wakayama 649-2211)

*故人

田辺湾の養魚場水域における有機物負荷の推移

海面に設置した生簀を用いる給餌養殖では、生簀直下とその周辺の底質に餌由来の有機物が沈降、蓄積する。底質に沈降した有機物は主に底質において無機化、いわゆる分解の作用を受け究極的には水や二酸化炭素等に変換される。ただ、この無機化の能力にはその場ごとに限界があり、当然、限界を超える量・速度で有機物が負荷されると、無機化が追い付かず有機物はそのまま蓄積していくことになる。有機物の過剰な負荷とそれによって海底に蓄積してしまった有機物を放置すると、底質の状態は悪化しそれらは養魚場水域全体の環境悪化を引き起こす。

底質に蓄積した有機物の無機化(分解)には酸素の消費が伴う。大量の有機物を無機化し続けると海底付近の貧酸素化し、よりひどい場合では無酸素状態が発生する。海底付近の酸素の欠乏は海底に生息する生物を逃避あるいは死滅させる。これらの生物群は、漁場の無機化すなわち浄化作用の一翼を担っているため、海底の貧酸素化は漁場の無機化の能力を確実に減退させる。また、貧酸素化した海底付近の水塊は貧酸素水塊となって直上に設置されている生簀の飼育魚に悪影響をおよぼす。

漁場の利用に際して、漁場環境の適切な管理と改善の努力を行うことが求められている。これは 1999 年に定められた持続的養殖生産確保法に示されている。同法は、海面を用いて養殖を行う者、すなわち区画漁業権を利用して漁業を営む主体者に、漁場改善計画を策定し、使用する漁場の管理と環境の改善に加え魚病の蔓延の防止に努めることを求めている。漁場の環境を管理するためには、底質の有機物量、底質中のマクロベントス(大型底生生物)の現存量および生簀設置水域の水温や溶存酸素量(DO, Dissolved Oxygen)といった項目のモニタリングが必要不可欠である。

近畿大学水産研究所および株式会社アーマリン近大は、管理、運用している養魚場水域について観測定点を定め、定期的な水質および底質の観測を継続的に行っている。ここでは、これまでの観測結果の内 2012 年から 2019 年の結果を示し、各区画の底質における有機物負荷の状態とその推移について概観し、漁場の環境や利用状態について述べる。

材料と方法

現場観測および試料の採取は和歌山県南部に位置する田辺湾の養魚場水域で行われた。田辺湾南部に設定された和歌山県の区画漁業権設定水面の内、717、718、719 および

720号それぞれにおいて1か所ずつ観測定点を設け、毎年4回(3月、6月、9月および12月)の現場観測と試料採取が実施された。定点を設けた位置は、717号が北緯33°41'2.2、東経135°21'44.9であり、718号が北緯33°41'31.2、東経135°21'47.8であり、719号が北緯33°41'30.7、東経135°21'31.3であり、720号が北緯33°41'22.9、東経135°21'36.4である(Fig. 1)。調査を実施した期間は、2012年3月15日~2019年12月5

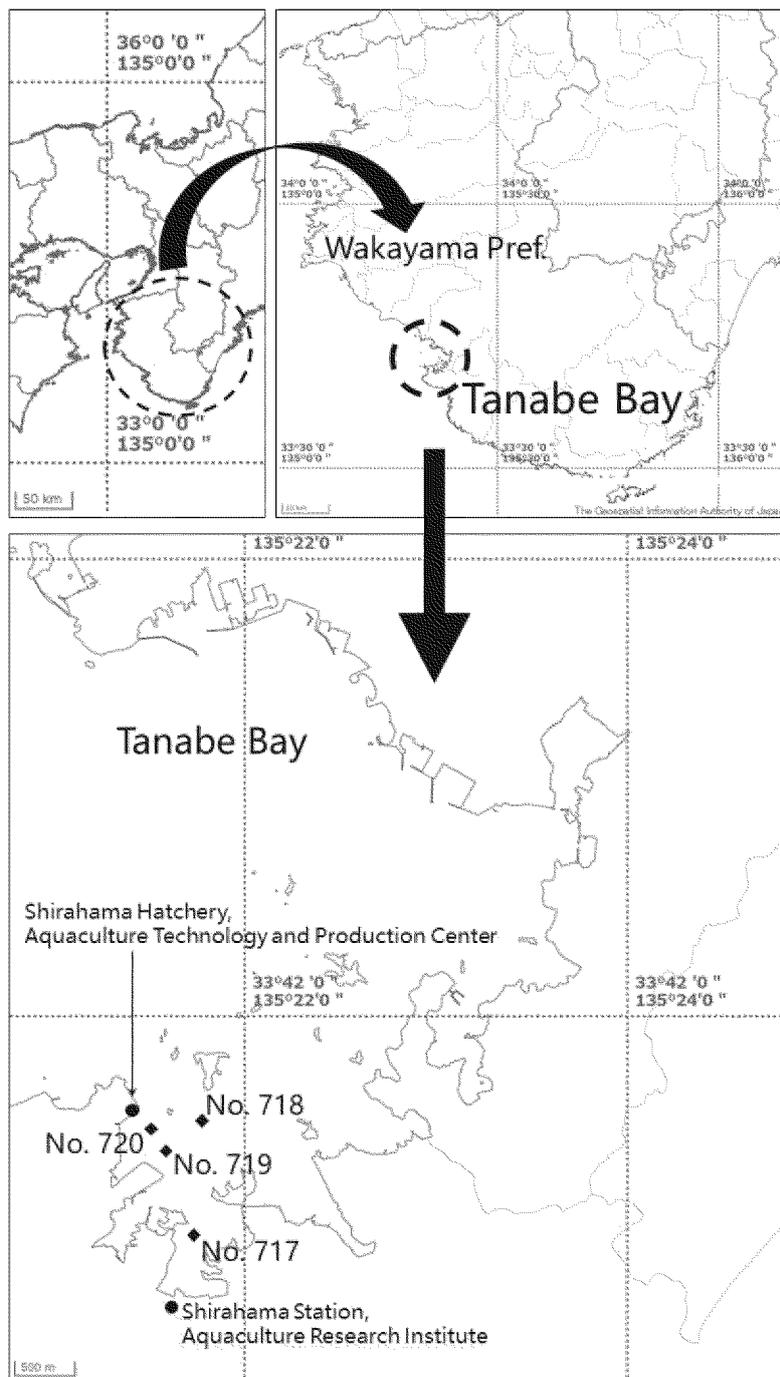


Fig. 1. Sampling stations. Maps drawn by the Geospatial Information Authority of Japan were modified by authors.

田辺湾の養魚場水域における有機物負荷の推移

日である。現場観測では水深 1 m および海底直上における海水を北原式採水器を用いて採取し、その水温と DO を蛍光式 DO メーター (PRO-ODO20, YSI-nanotec, Kanagawa, Japan) を用いて測定した。

底質試料をエクマンバージ式採泥器で採取し、表面 (0-1 cm) 部分を採取して後述の分析に供した。分析用に持ち帰った部分以外の底質は、全てふるい (目開き 1 mm) にかき、ふるい上に残ったベントスをマクロベントスとしてその個体数を計数した。マクロベントス個体数を、採泥器の底質採取面積 ($15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} = 225 \text{ cm}^2$) で除した後、 1 m^2 あたりの個体数に換算した。

採取した底質の表面 (0-1 cm) 部分を冷蔵して研究室へと持ち帰り、底質の有機物量の指標である AVS (Aid Volatile Sulfide, 酸揮発性硫化物) および COD (Chemical Oxygen Demand, 化学的酸素消費量) を測定した。採取した試料 1 つについて、AVS を検知管 (硫化物吸収カラム, Sulphides201H, GASTEC, Kanagawa, Japan) 法で 2 回測定し、COD をアルカリ性過マンガン酸カリウム法で 2 回測定した。2 回の測定の平均値を各定点の値とした。

AVS および COD の各年 3 月の測定値についてボンフェローニの方法で多重比較 (有意水準 5%) を行い、年ごとの値の差異を検定した。9 月の海底直上の DO の平均値については、定点間の差を ANOVA (有意水準 5%) で検定した。

結果

1) 水温と DO

水深 1 m の水温はいずれの定点でもほぼ同じ値となっていた。3 月、6 月、9 月および 12 月の水温の平均値は、それぞれ $13.9 \sim 14.5^\circ\text{C}$ 、 $23.8 \sim 24.0^\circ\text{C}$ 、 $26.7 \sim 26.9^\circ\text{C}$ および $17.8 \sim 18.3^\circ\text{C}$ であった (Table 1)。同様に海底直上の水温は 3 月、6 月、9 月および 12 月の水温の平均値は、それぞれ $14.5 \sim 14.9^\circ\text{C}$ 、 $22.8 \sim 23.1^\circ\text{C}$ 、 $26.1 \sim 26.5^\circ\text{C}$ および $17.4 \sim 17.7^\circ\text{C}$ であった (Table 1)。

水深 1 m の DO はどの定点においても 9 月に最低値が観測された。9 月の 717 号、718

Table 1. Water temperature (°C) and dissolved oxygen (DO, mg/L).

Temp.								
1 m	March		June		September		December	
No. 717	14.1	± 1.7	23.9	± 1.3	26.8	± 1.0	17.8	± 1.4
No. 718	14.5	± 1.6	24.0	± 1.1	26.8	± 1.0	18.3	± 1.7
No. 719	14.2	± 1.6	23.8	± 1.2	26.7	± 1.0	18.2	± 1.7
No. 720	13.9	± 1.9	23.9	± 1.2	26.9	± 1.1	18.1	± 1.7

Temp.								
Bottom	March		June		September		December	
No. 717	14.8	± 1.3	23.0	± 1.5	26.3	± 1.5	17.4	± 1.1
No. 718	14.9	± 1.0	22.8	± 1.6	26.1	± 1.5	17.7	± 1.8
No. 719	14.5	± 0.9	23.1	± 1.5	26.5	± 1.1	17.6	± 1.8
No. 720	14.6	± 0.8	23.0	± 1.4	26.3	± 1.3	17.6	± 1.7

DO								
1 m	March		June		September		December	
No. 717	8.10	± 0.22	7.00	± 0.72	6.24	± 0.52	7.18	± 0.17
No. 718	7.99	± 0.29	6.92	± 0.84	6.33	± 0.42	7.03	± 0.23
No. 719	8.00	± 0.53	6.88	± 0.77	6.10	± 0.45	6.95	± 0.24
No. 720	7.93	± 0.40	6.98	± 0.70	6.07	± 0.45	6.98	± 0.23

DO								
Bottom	March		June		September		December	
No. 717	7.56	± 0.24	5.83	± 0.77	4.93	± 0.57	7.20	± 0.30
No. 718	7.46	± 0.44	6.10	± 0.60	5.36	± 0.45	7.02	± 0.18
No. 719	7.44	± 0.50	6.34	± 0.76	5.29	± 0.25	7.02	± 0.26
No. 720	7.37	± 0.54	6.04	± 0.86	5.40	± 0.31	6.90	± 0.30

Values are shown with average ± standard deviation.

号、719号および720号のDOはそれぞれ、6.24 mg/L、6.33 mg/L、6.10 mg/L および 6.07 mg/L であった (Table 1)。海底直上のDOについても9月に最低値が観測され、717号、718号、719号および720号のDOはそれぞれ、4.93 mg/L、5.36 mg/L、5.29 mg/L および 5.40 mg/L であった (Table 1)。これらの値の定点間の差は有意なものではなかった (ANOVA, $P > 0.1$)。

2) 底質の AVS および COD の季節的な変動

717 号の定点の底質では、AVS の全測定値の範囲が 0.15 ~ 1.66 mgS/g 乾泥であり、それらの平均値が 0.77 mgS/g 乾泥であった (Table 2)。月ごとに平均値を求めると最も低い値が記録されたのが 3 月、最も高い値が記録されたのが 9 月の観測であった (Fig. 2)。同様に底質の COD の全測定値の範囲は 24.2 ~ 54.1 mgO₂/g 乾泥であり、それらの平均値が 31.8mgO₂/g 乾泥であった (Table 2)。調査月ごとに平均値を求めると最も低い値が記録されたのが 3 月、最も高い値が記録されたのが 6 月の観測であった (Fig. 3)。

Table 2. Average values of AVS (mgS/g dry sediment) and COD (mgO₂/g dry sediment) at each sampling station.

	AVS		COD	
	Average	SD	Average	SD
No. 717	0.77	± 0.31	31.8	± 6.0
No. 718	0.29	± 0.14	20.4	± 3.2
No. 719	0.21	± 0.12	12.6	± 2.8
No. 720	0.18	± 0.12	13.4	± 2.9

Values are the average of all data at each sampling station.

718 号の定点の底質では、AVS の全測定値の範囲は 0.05 ~ 0.62 mgS/g 乾泥であり、それらの値の平均が 0.29 mgS/g 乾泥であった (Table 2)。調査月ごとに平均値を求めると最も低い値が記録されたのが 3 月、最も高い値が記録されたのが 9 月の観測であった (Fig. 2)。同様に底質の COD の全測定値の範囲は 13.0 ~ 27.9 mgO₂/g 乾泥であり、それらの値の平均が 20.4 mgO₂/g 乾泥であった (Table 2)。調査月ごとに平均値を求めると最も低い値が記録されたのが 3 月、最も高い値が記録されたのが 6 月の観測であった (Fig. 3)。

719 号の定点の底質では、AVS の全測定値の範囲は 0.05 ~ 0.51 mgS/g 乾泥であり、それらの値の平均が 0.21 mgS/g 乾泥であった (Table 2)。調査月ごとに平均値を求めると最も低い値が記録されたのが 3 月、最も高い値が記録されたのが 9 月の観測であった (Fig. 2)。同様に底質の COD の全測定値の範囲は 8.3 ~ 18.0 mgO₂/g 乾泥であり、それらの値の平均が 12.6 mgO₂/g 乾泥であった (Table 2)。調査月ごとに平均値を求めると最も低い値が記録されたのが 3 月と 6 月、最も高い値が記録されたのが 9 月の観測であった (Fig. 3)。

720 号の定点の底質では、AVS の全測定値の範囲は 0.05 ~ 0.67 mgS/g 乾泥であり、それらの値の平均が 0.18 mgS/g 乾泥であった (Table 2)。調査月ごとに平均値を求めると最も

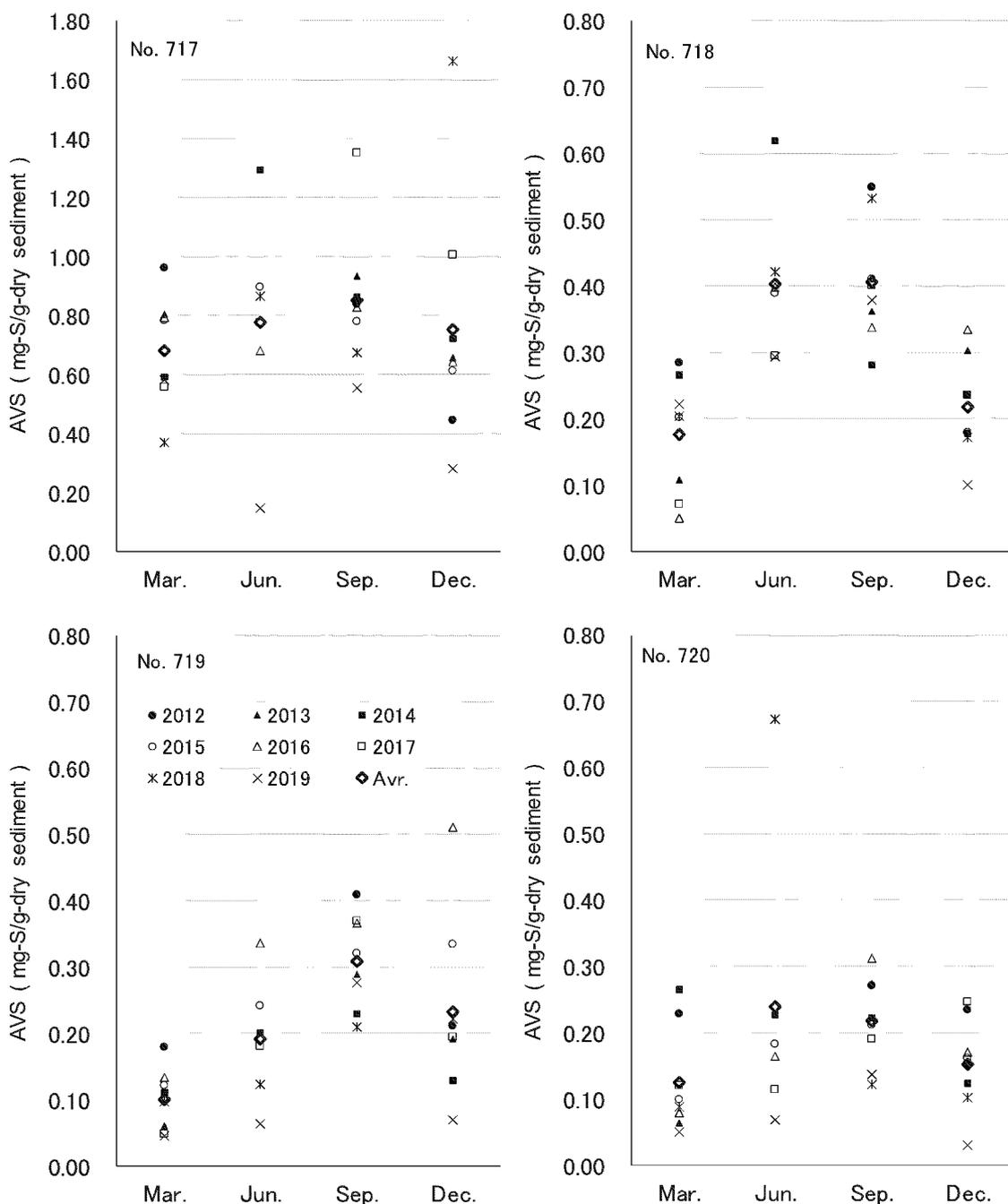


Fig. 2. Changes in AVS of the bottom sediments at each sampling station. Different symbols indicate each sampling year. "Avr." means average value of all sampling years.

低い値が記録されたのが3月、最も高い値が記録されたのが6月の観測であった (Fig. 2)。同様に底質のCODの全測定値の範囲は9.6~24.4 mgO₂/g 乾泥であり、それらの値の平均が13.4 mgO₂/g 乾泥であった (Table 2)。調査月ごとに平均値を求めると最も低い値が記録されたのが9月、最も高い値が記録されたのが6月の観測であった (Fig. 3)。

田辺湾の養魚場水域における有機物負荷の推移

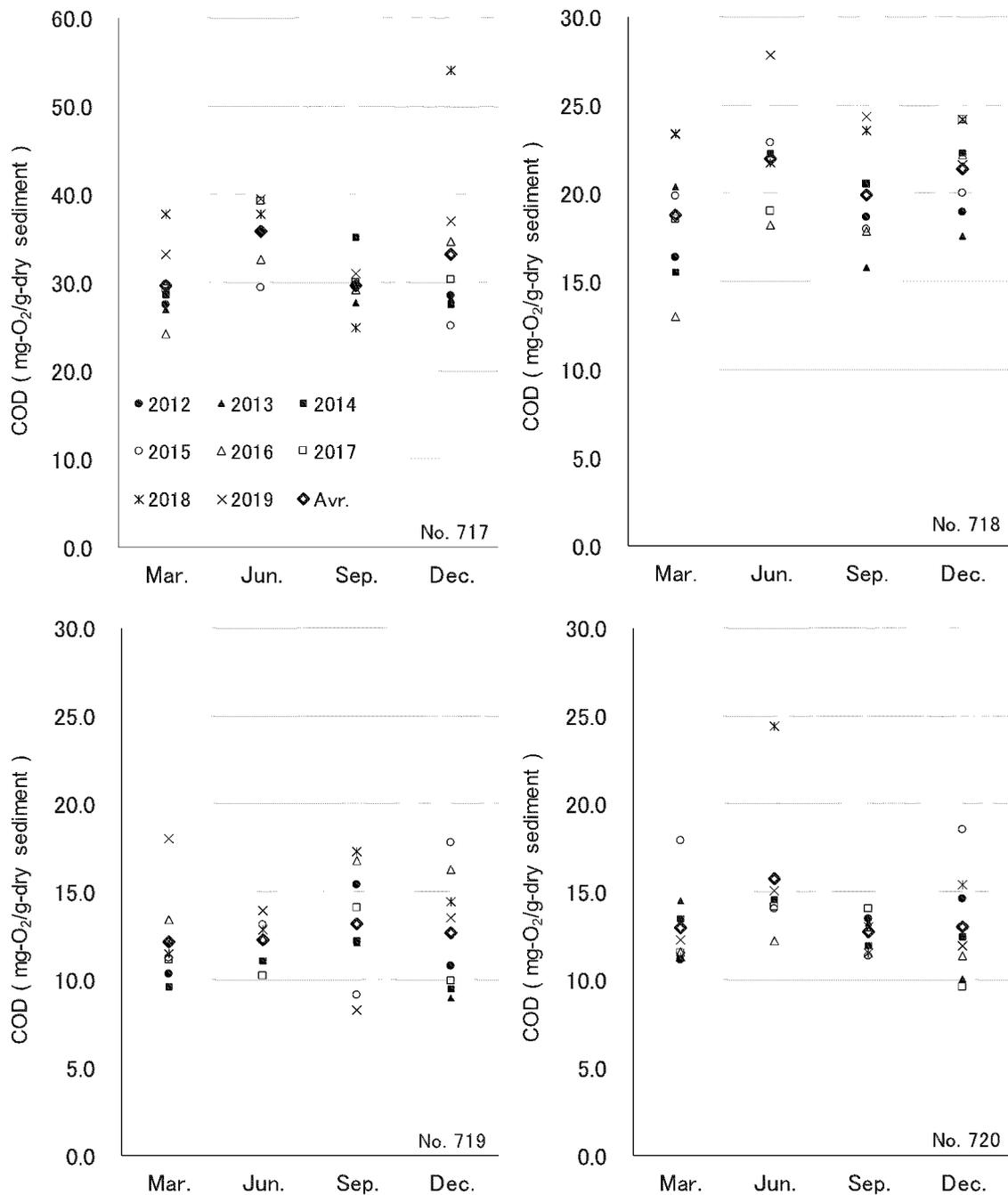


Fig. 3. Changes in COD of the bottom sediments at each sampling station. Different symbols indicate each sampling year. "Avr." means average value of all sampling years.

3) 底質の AVS および COD の長期的な変動

AVS の値が年間で最低となる 3 月について、各年の測定値を比較した。観測期間内 (2019 年まで) に各年の観測値が 2012 年の値を上回った事例は、717、718 および 719 の各区には存在しなかった。720 号では 2014 年にのみ測定値が 2012 年より高い値となって

いたが有意差はなかった (Fig. 4, Table 3)。直近の2018年および2019年の測定値は、2019年の717号の一例を除き、2012年の値よりも有意に減少していた ($P < 0.05$, Table 3)。

同様にCODについても3月の値を比較してみると、2012年より低い値となることがほとんどなかった。CODでは2012年の値を下回った事例が、717号では2014年のみ、718号で

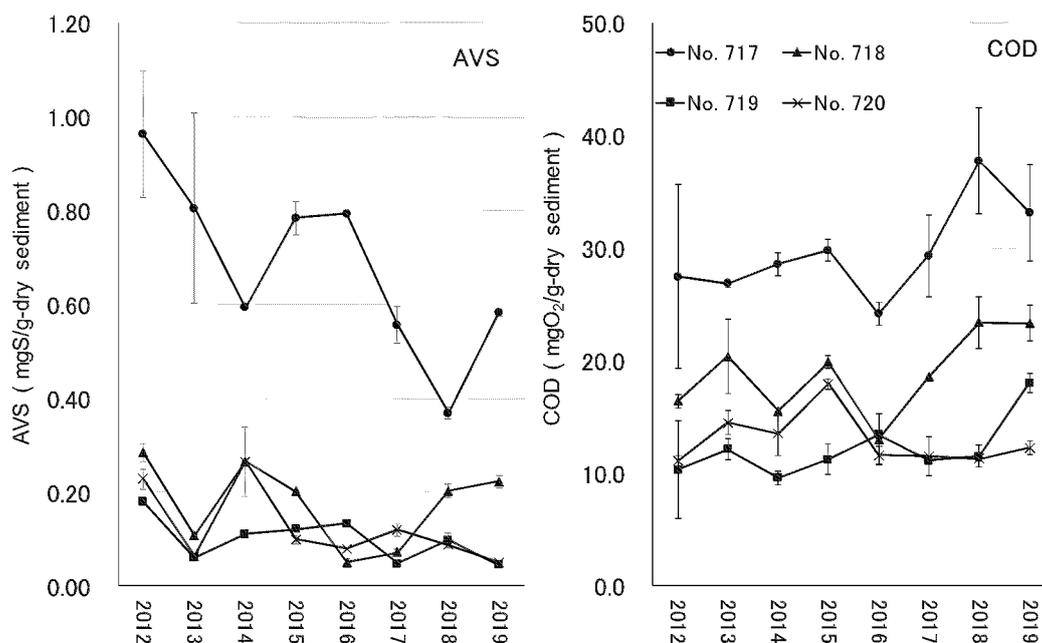


Fig. 4. Changes in AVS and COD in the bottom sediments on March of each year. Vertical bars indicate standard deviations.

Table 3. *P*-values obtained with multiple comparison of Bonferroni for the values of AVS (upper) and COD (lower) between 2012 and later year.

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
No. 717	1.000	0.085	1.000	1.000	0.049	0.004	0.072
No. 718	0.000	1.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.008
No. 719	0.000	0.000	0.001	0.003	0.000	0.000	0.000
No. 720	0.010	1.000	0.047	0.019	0.125	0.028	0.006

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
No. 717	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
No. 718	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.21	0.22
No. 719	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.15
No. 720	0.07	0.51	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Bold indicates $P < 0.05$.

田辺湾の養魚場水域における有機物負荷の推移

は2014年と2016年、719号では2014年であり、720号では下回った事例なしとなっていた (Fig. 4)。2012年の値に対して有意な差 ($P < 0.05$) があつた測定値は、720号の2015年の一例のみであり、他の測定値の組み合わせに有意差はなかつた ($P > 0.1$, Table 3)。

4) 底質のマクロベントス個体数

マクロベントスの単位面積当たりの個体数の増減は、全ての定点において共通の傾向を示した。どの定点においても、3月および6月に個体密度が高くなり、9月と12月に低くなつていた (Fig. 5)。また、最もベントス個体数が多かつたのが720号、最も少なかつたのが717号だつた (Fig. 5)。

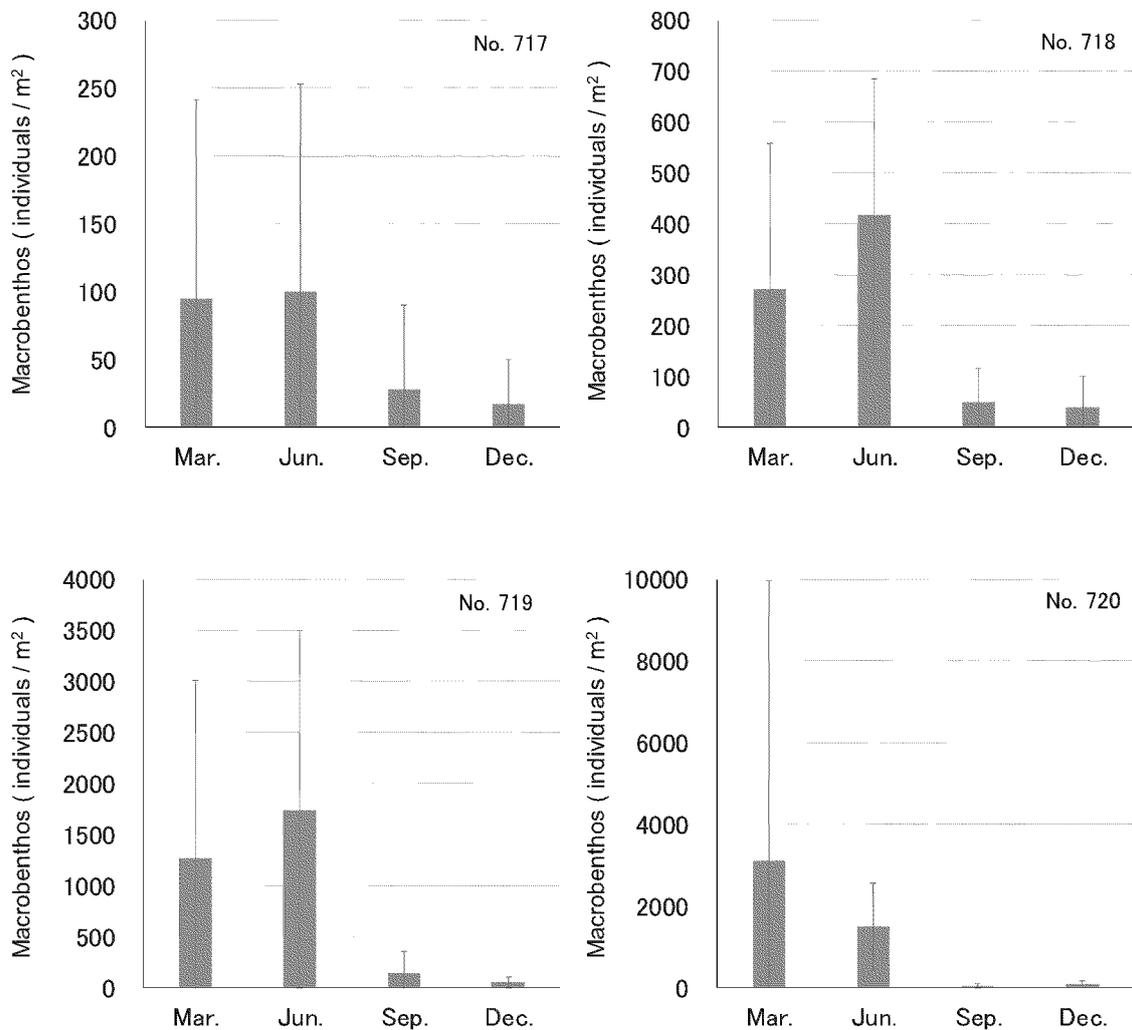


Fig. 5. Numbers of macrobenthos at each sampling station. Vertical bars indicate standard deviations.

考察

1) 各区画の底質の状態

717号と718号の底質のAVSおよびCODともに、他の719号および720号の定点よりも高い値となっており、底質への有機物の蓄積が進行していることが伺えた。他の養魚場水域において測定されたAVSの値は、香川県のブリの養殖が行われている漁場で0.46 mgS/g 乾泥 (Srithongouthai and Tada, 2017)、広島県のマダイ等の養殖が行われている漁場の底質で0.9 および 1.2 mgS/g 乾泥 (Pawar et al., 2001)、三重県のマダイ養殖が行われている養魚場水域では夏季の最も値の高い場合に2.2 mgS/g 乾泥以上 (Yokoyama et al., 2009) などが報告されている。717号ではこれらの数値と比較すると高い部類に入り、718号では給餌養殖をしている底質としてはやや低いといえそうである。AVSの値については、持続的養殖生産確保法にある「状態が著しく悪化している養殖漁場の基準」の項目に2.5 mgS/g 乾泥という値が示されており、717号で観測されたAVSの値で2.5 mgS/g 乾泥を超過した事例はなかった。一方で、田辺湾の9月の底質についてAVSと他の有機汚濁指標との関連性を調べた事例では、0.43~0.71 mgS/g 乾泥で「要注意漁場」、0.71 mgS/g 乾泥を超える漁場は「危機的漁場」と判断が可能ではないかとされている(上出, 2008)。717号および718号ともにこの基準に沿えば予断を許さない。また717号では底質直上のDOも、海水の鉛直混合が起こりにくい6月と9月において、他の定点よりも低い傾向にあった。持続的養殖生産確保法には生簀内のDOとして、養殖魚の健全な育成に必要な水準を5.7 mg/L、状態が著しく悪化している漁場として3.6 mg/Lの値を示している。基準が生簀内の値としている点に注意が必要であるが、この基準で判定すると、最も低い値が記録された9月の717号DOの平均値が4.93 mg/Lであり、良好な状態をやや下回っているという判断になるだろう。

マクロベントス個体数でも718号では717号よりは高く、719号および720号より低い計数値が観測された。田辺湾中央部のブリやマダイの養殖生簀(直径30m、50台)が設置されていた水域でのマクロベントス計数値が、生簀の周辺では最大で875個体/m²多くは350個体/m²以下と報告されており(上出, 2007)、718号の値が同水準であることを考えると、給餌養殖の影響が底質の生物相に及んでいるとみるべきだろう。

底質のAVSやCODの値に反映される有機物の由来が全て給餌養殖といえるかどうかについては議論の余地がある。例えば、底質の安定同位体比を調査して養殖由来の有機物

田辺湾の養魚場水域における有機物負荷の推移

の比率を求めた事例では、養殖由来（残餌と糞）と見積もられた有機物の占める割合を 19.9~57.7% (平均 40.7%) と報告している (Yokoyama et al., 2006)。底質に蓄積している有機物の起源についてはその全てを給餌養殖とすることには一考の余地がありそうである。本研究で調査した中でも 717 号は地形的には入り組んだ入江の奥となっており陸にも近い。陸域からの有機物負荷が流入、滞留しやすい条件が揃っているのかもしれない。717 号で AVS や COD の値がひとときわ高いことには、これらの立地条件と非養殖由来の負荷が影響している可能性はある。底質の有機物のどの程度の割合が給餌養殖由来とみなせるかという点は、今後の漁場管理の上でも必要な情報と言えるだろう。

719 号および 720 号は、給餌養殖に用いられている水域の底質としては良好な状態にあるといえる。719 号と 720 号の 9 月の AVS の平均値がそれぞれ 0.31 mgS/g 乾泥および 0.22 mgS/g 乾泥であり、前述の上出 (2008) の提案した基準に従えば、それぞれ「健全ではあるが養殖による富栄養化が進行しつつある漁場 (0.22~0.43 mgS/g 乾泥)」および「健全な漁場 (0.22 mgS/g 乾泥以下)」に該当する。尚、719 号で 0.51 mgS/g 乾泥 (12 月、2016 年)、720 号では 0.67 mgS/g 乾泥 (6 月、2018 年) という値が記録されているが、前後の値やその他の観測値の推移から判断して、これらは外れ値とみるべきだろう。COD の値も 717 号および 718 号に比して、719 号および 720 号では一段低い水準の値が観測されていた。加えて、マクロベントス個体数も 719 号および 720 号では特に多く、底質の有機物負荷の少なさがマクロベントスにとって好適な環境となっている様子が観察された。

2) 底質の状態の長期的な推移

2012 年から 2019 年にかけての長期的な傾向を判別するため、各年の 3 月の値に着目して値の推移について検討した。3 月は年 4 回の調査のうち、最も低い AVS の値が観測される月である。3 月の観測値の比較により、新たな有機物汚濁の進行の有無を年間最低値の上昇傾向として判別するのではないかと考えた。AVS の値では 2012 年の値を超過した事例が 2019 年までの間に観察されず、2012 年から 2019 年の期間に限れば定点のいずれにおいても AVS は増加傾向にないと考えられた。ただ、718 号の 2018 年および 2019 年の値は、その直前の 2016 年および 2017 年の値に対して高い水準にあるため、増加に転じている可能性にも注意しておく必要がある。一方、毎年 3 月の COD の値は 720 号を除く全定点で、有意差はないものの、漸増していた。COD は AVS とは異なり、2012 年以降同水準を維持しているか、もしくは増加傾向にあるといえる。

AVS と COD はいずれも底質中の有機物負荷の程度を示す指標であるが、今回の調査結果は両者の傾向が一致していなかった。これは両者が実際に測定している対象が異なっていることが原因と考えられる。AVS で測定されている硫化物は、有機物が還元的条件下で無機化されることで発生する。底質が還元的な状態になるにはそれより前の段階で多量の有機物が底質に存在し、好氣的な無機化の過程で酸素が大量に消費される場合であるため、底質に有機物が蓄積している量が多いほど AVS の値は高くなる。ただ、生成された硫化物は酸素の供給によって化学的に速やかに酸化され硫酸塩となり、硫化物としては測定されなくなる。冬季、低い気温と強い季節風によって海水の鉛直混合が活発化すると、海底に酸素の豊富な海水が供給されることになり、AVS の値は急激に低下する。もちろん、それ以上のペースで有機物の負荷が続くと、AVS の値は冬季であっても高い水準にとどまることにはなる。一方の COD では、マンガンによって酸化された物質の量を、酸化に必要な酸素分子の量に換算して算出するが、CODとして測定された有機物の全てが速やかに無機化されているわけではない。堆積物中には分解に時間のかかる難分解性有機物が一定量存在しており、例えば、内湾域における加水分解可能な有機物(アミノ酸と炭水化物)は TOC (Total Organic Carbon, 総有機炭素量) のおよそ 20-30% (石渡, 2003) とも言われる。このような物質は、底質中に蓄積していき COD の値を押し上げていくものの、硫化物 (嫌氣的無機化の代謝産物である) の生成にほとんど寄与していないはずである。

田辺湾中央部漁場および、本研究で調査した区画が存在する南部漁場の底層 (海底上 1 m) 海水の DO は、1985 年から 2000 年までの期間に回復傾向が続いている (上出, 2003)。この報告に示された観測値は、2000 年の時点で南部漁場の底層海水の DO が 4.3~5.0 mg/L の水準となっている。本研究で得られた値では 5.0 mg/L を下回った例がほとんどなく、海底付近の DO の値は 2000 年頃よりも高い水準にあった。漁場の底質環境は少なくとも悪化する傾向にはなく、どちらかと言えば回復傾向と言えるのではないかと。

3) まとめ

本研究では、給餌養殖を行っている水域の底質環境について 8 年間の推移を概観した。海底付近の DO、AVS およびマクロベントス量で示された漁場の底質環境には、悪化の兆候はみられなかった。これは、漁場環境の観測と記録が継続されてきたことで得られた知見である。

漁場環境の調査・観測は、漁場の健康診断という例えをされる場合がある。健康診断とい

田辺湾の養魚場水域における有機物負荷の推移

うのは、異状があってから診断をするのではなく悪化の兆候をいち早く知り予防的に対処することに資するという点が目的であろう。漁場環境についても全く同じである。健康な状態にあるときに指標値がどんな値をとるのか知っておかなければ、いざ調査・測定を行ってみたところでその値が何を示しているのか診断することはできない。

海面を利用した養殖を継続していく上で、使用している漁場の状態を良好に保つということは非常に重要である。しかし、漁場環境の維持と管理には漁場環境の調査や観測が必要であると言われても、手間も時間もかかる上に売り上げの向上に直結するわけでもない。表面的には養殖の経営にとってはネガティブ要因と受け取られるかもしれない。それでも、海を利用し続けていくためには漁場環境の維持そして改善のための取り組みがなされなければならない。今後も観測と記録の継続が必須であり強く望まれている。

謝辞

試料採取に際してご協力いただいた白浜事業場職員の方々に感謝します。また、本論文作成にあたり英文校閲の労をとり、適切な助言をいただいた白浜実験場准教授・白樫正博士に感謝いたします。

参考文献

- 石渡良志 (2003) 海底堆積物における有機物の特徴と挙動. 日本海水学会誌, **57**, 181–191.
- 上出貴士 (2003) 田辺湾における養殖漁場環境の変動について. 和歌山県農林水産総合技術センター研究報告, **5**, 117–124.
- 上出貴士 (2007) 田辺湾中央部漁場における魚類養殖の有機物負荷が海底堆積物の化学的特性及びマクロベントス群集へ及ぼす影響範囲. 日本水産学会誌, **73**, 1065–1073.
- 上出貴士 (2008) 和歌山県沿岸の養殖漁場における環境指標としての酸揮発性硫化物含

量の有効性とその基準値の設定の試み. 日本水産学会誌, **74**, 402–411.

Pawar, V., O. Matsuda, T. Yamamoto, T. Hashimoto and N. Rajendran (2001) Spatial and temporal variations of sediment quality in and around fish cage farms: A case study of aquaculture in the Seto Inland Sea, Japan. *Fisheries Science*, **67**, 619–627.

Srithongouthai, S. and K. Tada (2017) 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.

Yokoyama, H., K. Abo and Y. Ishihi (2006) Quantifying aquaculture-derived organic matter in the sediment in and around a coastal fish farm using stable carbon and nitrogen isotope ratios. *Aquaculture*, **254**, 411–425.

Yokoyama, H., T. Takashi, Y. Ishihi and K. Abo (2009) Effects of restricted feeding on growth of red sea bream and sedimentation of aquaculture wastes. *Aquaculture*, **286**, 80–88