

真珠およびハマチ養殖漁場における 沈降物の分解堆積過程*

西 村 昭 史**

The Process of Decomposition and Sedimentation of Deposits in the Pearl Oyster and the Yellowtail Culture Grounds

Akifumi NISHIMURA**

Abstract

Deposits, sediments and interstitial waters in the pearl oyster and the yellowtail culture grounds were examined throughout the year in Ago Bay. Deposition rates in the pearl oyster and the yellowtail culture grounds were highest in the autumn, and the integrated annual rates in each culture ground were 7.6 and 8.4 kg/m² year, respectively. During the autumn, organic carbon, organic nitrogen, total phosphorus and BOD contents of deposits decreased in the pearl oyster culture ground while these contents of deposits significantly increased in the yellowtail culture ground. BOD loads in each culture ground were estimated to be 500 and 1280 O₂ kg/m² year, respectively. Degradable organic matters, which were more in the yellowtail culture ground than in the pearl oyster culture ground, were rapidly decomposed in deposits, consequently, these were little in sediments. Undegradable organic matters in sediments and concentrations of NH₄-N, PO₄-P and dissolved organic carbon in interstitial waters were more in the pearl oyster culture ground than in the yellowtail culture ground throughout the year. The relationship between reduced SO₄-S and concentrations of NH₄-N, PO₄-P and dissolved organic carbon in interstitial waters indicated that sulfate-reducing bacteria appeared to play an important role in the decomposition of organic matters in sediments. There was not a difference in the mechanism of decomposition and sedimentation of deposits, but there was a difference in the process of them between in the pearl oyster culture ground and in the yellowtail culture ground.

内湾養殖漁場を長期間にわたって継続使用していると、生産性の低下やへい死率の増加などいわゆる漁場老化現象が認められるようになってくる。漁場老化に関して真珠養殖漁場では数多くの研究（例えば、上野・井上 1961, 上野 1964, 沢田・谷口 1965, 1968, 上野ほか 1970）がなされているが、現在の養殖漁業の中心的存在であるハマチ養殖漁場における研究はまだ緒についたばかりである（畑・片山 1978, 加来・渡辺 1981）。

漁場の老化は水質面から捕える方が養殖生物にとって直接的であるにもかかわらず、それが時空的変動の大き

いことから短期的変動の少ない底質からみた悪化現象として捕えるのが一般的である。底質の悪化は漁場の無機化能力を越える有機物負荷のためであり、これが養殖漁業に起因することは過去の研究から明らかであるが、無給餌である真珠養殖漁場と給餌を伴うハマチ養殖漁場とではその過程において相違するところが多いはずである。両漁場における沈降物の分解堆積過程の相違点を明らかにすることは底質からのみ評価されてきた養殖漁場を動的に再評価して、それぞれの漁場に対する適切な老化対策が行えることになる。

本研究では真珠養殖漁場およびハマチ養殖漁場において沈降物、堆積物および間隙水を年間を通して調査し、両漁場におけるそれらの特徴を明らかにするとともに沈降物の分解堆積過程について考察を加えた。

* 1983年 8月15日受理

** 三重県浜島水産試験場 Mie Hamajima Fisheries Experimental Station, Hamajima, Shima, Mie 517-04, Japan

実験方法

調査地点 調査地点は三重県の南東部の英虞湾湾口部に位置する浜島浦で、Fig. 1 に示すAおよびBの2地点である。浜島浦は水深が20m以浅で古くから真珠養殖が行われており、夏季の成層期には底層水が無酸素に近い状態になるなど老化の進行した海域である。A地点はやや奥まった入江にあり、水深が約13mで入江の口には瀬があるため比較的海水の交流が悪く、真珠養殖が行われている。B地点は浦中央部にあり、水深が約16mで比較的海水の交流が良く、英虞湾ではこの地点付近のみ1970年から小規模なハマチ養殖が行われている。

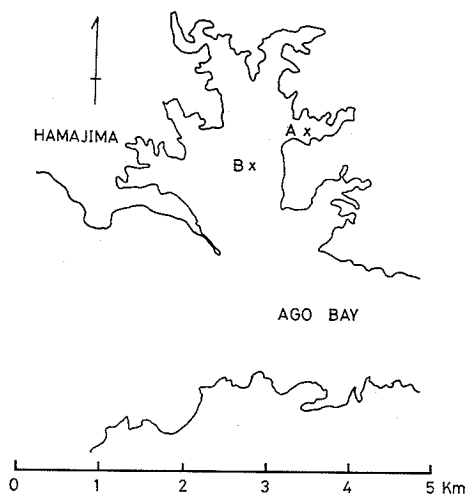


Fig. 1. Map of Hamajima district in Ago Bay, with sampling stations shown. Pearl oysters and yellowtails are cultured at station A and B, respectively.

調査期間および試料 調査は1981年5月から1982年3月までの間毎月1回行い、沈降物、堆積物および間隙水を採集した。沈降物は真珠およびハマチ養殖いから2l容広口ポリエチレンびん(57cm²)を4本1組にして海底上1mに垂下し、24時間後にびん底部の沈殿物を遠心分離(3500rpm)によって集めた。堆積物はエクマンバジ採泥器を用いて採取し、0~2cm層を32メッシュのふるいでこしたものを試料とした。これらの試料は可及的すみやかにBODと硫化物の分析に供し、他の分析には70°Cで乾燥させて供した。間隙水はふるいを通さない堆積物を遠心分離して得た上澄をWhatman GF/Cで濾過したものを試料とした。

分析法 沈降物および堆積物の有機炭素(O-C)はチ

ューリン法、有機窒素(O-N)はマイクロケルダール法、全りん(T-P)は過塩素酸で分解後りんバナドモリブデン酸吸光法、硫化物は検知管法によって分析した。BODは大洋化学工業K.K.のBODテスター(マノメータ式)を用いて測定し、20°Cでインキュベートして酸素消費がそれ以上無くなった時点(14~18日目)の酸素消費量をBOD値とした。間隙水のNH₄-NおよびPO₄-Pは希釈後STRICKLAND and PARSONS (1972)の方法、SO₄-SはHOWARTH (1978)の方法、溶存態有機炭素(DOC)はOceanography International社のTOC分析計で、Clは硝酸銀滴定法によって分析した。また間隙水の対照として底層水の水温とDOを電氣的に測定した。

結果

漁場環境と沈降物量 底層水の水温とDOおよび沈降物量の季節変化をFig. 2に示した。底層水の水温はA地点(真珠養殖漁場)およびB地点(ハマチ養殖漁場)とも春季から夏季にかけて上昇して9月に最高になり、秋季から冬季にかけて降下して2月に最低になった。DOは水温の上昇とともに減少して8~9月にはほとんど無くなり、水温の降下とともに増加した。沈降物量は畑(1979)らによって捕集器の形状によって大きく異なることが指摘されているが、ここでは2l広口ポリびんを捕集器に使用した場合について示す。すなわち両漁場とも夏季から秋季の高水温時に増加して水温の降下とともに急激に減少した。この季節変化は冬季を除きA地点で小さくB地点で大きかった。両地点の最大値を比較すると、B地点の方がA地点より1.4倍大きかった。年間沈降物量をFig. 2から試算したところ、A地点で7.6kg/

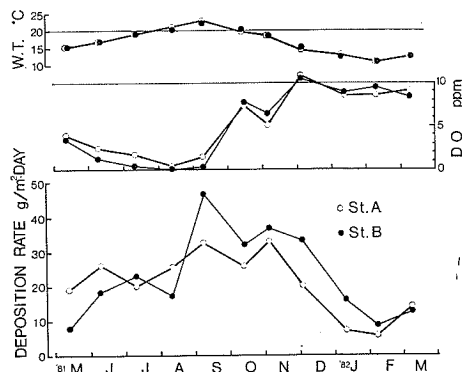


Fig. 2. Seasonal changes in temperature and dissolved oxygen in bottom waters and deposition rate.

m², B地点で 8.4 kg/m² となり, B地点の方が若干多かったものの大きな差はなかった。

沈降物および堆積物の化学的 성분 沈降物および堆積物の O-C, O-N, T-P および硫化物の季節変化を Fig. 3 に示した。沈降物の O-C と O-N は同様の季節変化を示し, A地点では秋季に減少したのに対し, B地点では秋季に著しく増加し, 冬季には両地点の差は少なかった。これらとは異なり T-P は A地点では周年ほとんど変化しなかったのに対し, B地点では秋季に著しく増加した。このように沈降物の化学的組成は秋季を中心に両地点で著しく異なった。一方堆積物の O-C, O-N, T-P は沈降物に比べて含有量が少なく, 硫化物も含めて両地点とも明白な季節変化を示さなかった。堆積物を地点間で比較すると, O-C および硫化物は A地点の方が多く, T-P は B地点の方が多く, O-N はほとんど差がなかった。

沈降物および堆積物の BOD 沈降物および堆積物の BOD の季節変化を Fig. 4 に示した。沈降物の BOD は O-C や O-N と同様の季節変化を示し, A地点では秋季に減少したのに対し, B地点では逆に秋季に著しく増加した。年間 BOD 負荷量を試算したところ, A地点では 500 O₂ kg/m², B地点では 1,280 O₂ kg/m² となり, B地点の方が 2 倍以上多かった。一方堆積物の BOD は沈降物の 1/10 程度で, 両地点とも冬季には減少したものの春季から秋季にかけては大きな変化を示さず, 周年 A地点の方が B地点より多かった。

間隙水の化学的 성분 間隙水の NH₄-N, PO₄-P, DOC および SO₄-S の季節変化を Fig. 5 に示した。

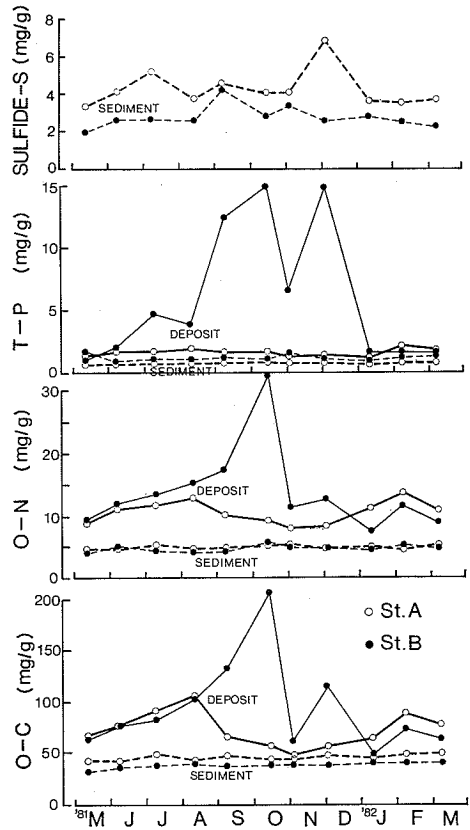


Fig. 3. Seasonal changes in organic carbon, organic nitrogen, total phosphorus and sulfide in deposits and sediments.

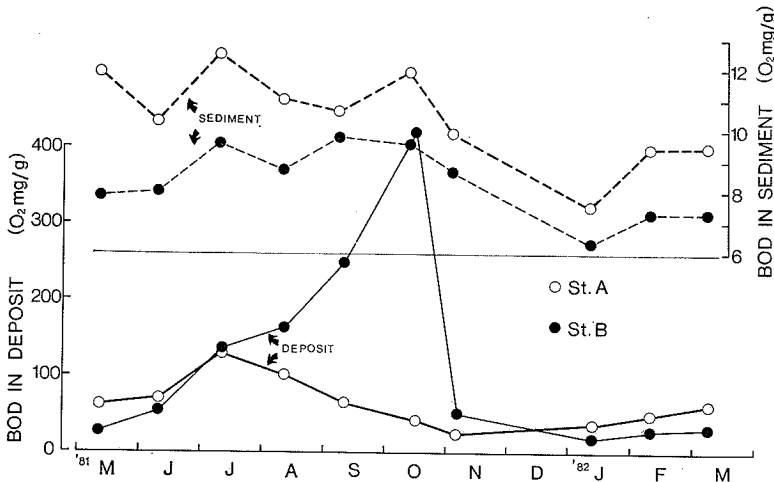


Fig. 4. Seasonal changes in biological oxygen demand in deposits and sediments.

真珠およびハマチ養殖漁場における沈降物の分解堆積過程

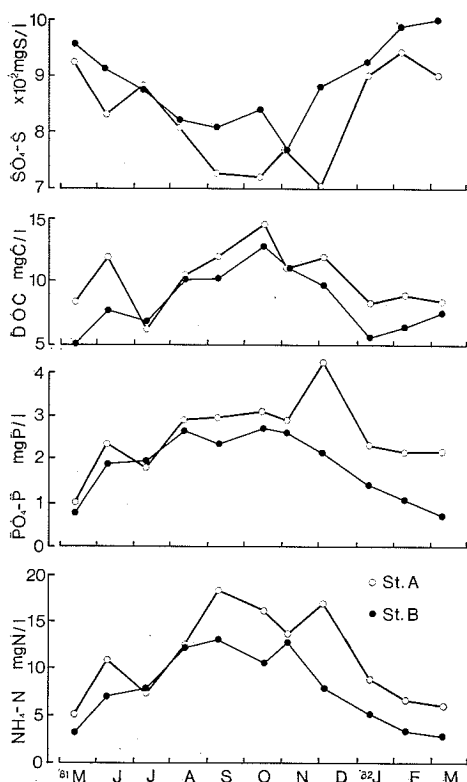


Fig. 5. Seasonal changes in ammonium, phosphate, dissolved organic carbon and sulfate in interstitial waters.

NH₄-N, PO₄-P および DOC は両地点とも夏季から秋季に増加して冬季から春季には減少し、総体的にA地点の方が多かった。対照として測定した底層水は NH₄-N が 0~0.2 mg/l, PO₄-P が 0~0.3 mg/l, DOC が 0.9~2.4 mg/l であり、これらに比べて間隙水中の濃度は極めて高かった。一方 SO₄-S は両地点とも秋季に減少し、減少程度はA地点の方が大きかった。しかし対照の底層水では周年ほとんど変化しなかった。

考 察

真珠養殖漁場 (St. A) とハマチ養殖漁場 (St. B) では沈降物、堆積物および間隙水の季節変化に大きな差異が認められた。

沈降物についてみると、真珠養殖漁場ではアコヤガイや付着生物など食植動物の排泄物とその大部分を占め (植本 1981), アコヤガイの排泄物量は冬季を除き海中の懸濁物量に依存し (太田 1956), 浜島浦ではクロロフィル a で表される懸濁物質は例年 8~11月に多い (関

・柴原 1977) ことから、沈降物量は夏季から秋季にかけて増加した (Fig. 2)。しかしこれは自然懸濁物に依存しているため、季節変化はあまり大きくない。また楠木 (1977) によれば、懸濁物より排泄物の方が有機物含量が少ないことから、排泄物が増加してそれが沈降物の大部分を占めるようになる秋季には沈降物の有機物含量が減少した (Fig. 3) と考えられる。一方ハマチ養殖漁場では給餌によって発生する懸濁物が沈降物の大部分を占めている (加来・渡辺 1981)。このことは Fig. 6 に示すように調査地点での給餌量と沈降物量に正の相関が認められることから明らかである。つまり沈降物量は給餌期間以外では少なく、給餌量の多くなる秋季に著しく増加する。餌料は魚肉ミンチを主体とするものであるから自然懸濁物に比べて有機物含量が多く、HARGRAVE (1978) の指摘のとおり有機物含量の多くなる秋季には BOD が著しく増加した (Fig. 4)。このため年間を通してみると、沈降物量は両漁場にあまり差がないのかかわらず、BOD 負荷はハマチ養殖漁場が真珠養殖漁場の 2 倍以上多くなる。またミンチ中には魚骨が含まれているため、その成分のりん酸カルシウムによって沈降物の T-P が著しく多くなり、同時に堆積物にも蓄積される (Fig. 3)。

これらの沈降物の O-C および O-N 含量は真珠養殖漁場では植本 (1981) が示したそれぞれの値 50~130 mg/g および 4~17 mg/g とほぼ一致するが、ハマチ養殖漁場では加来・渡辺 (1981) が調査した漁場におけるそれぞれの値 26.8 mg/g および 3.49 mg/g と比べると 2 倍以上多い。餌料の魚肉ミンチの O-C 含量は 400~500 mg/g であり、これが餌料にされる魚種によって変らな

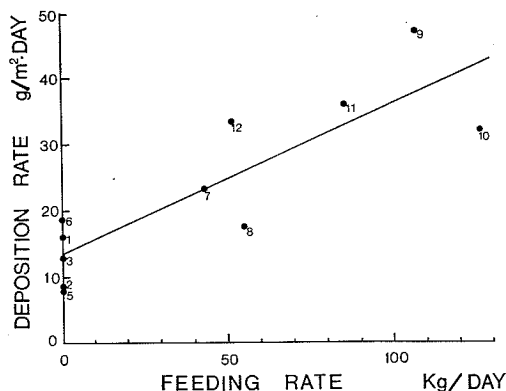


Fig. 6. Relationship between deposition rate and fed amounts to yellowtails in a day at station A.

いとすると、ハマチ養殖漁場では沈降物が捕捉されるまでの分解速度は漁場によって大きく異なるといえる。

沈降物は沈積後もさらに分解を受けるはずである。ここでその分解過程を明らかにするため、有機物を易分解性と難分解性のものに区分してみる。試料中の O-C, O-N, T-P をそれぞれ炭水化物、アンモニア、オルトリン酸とし、それらが CO_2 , NO_3^- , PO_4^{3-} に分解されるのに必要な酸素量を Total Oxygen Demand (TOD) として算出し、これに対する BOD の百分率を易分解性有機物含有率として Table 1 に、難分解性有機物量を TOD と BOD の差として Table 2 に示す。Table 1

Table 1. Percentage of degradable organic matters in deposits and sediments.

St.	Deposit		Sediment		%
	A	B	A	B	
MAY	28.6	11.5	8.6	7.2	
JUN	27.0	18.0	7.5	7.2	
JUL	43.5	47.8	8.1	8.0	
AUG	31.4	47.8	8.2	6.8	
SEP	29.1	58.2	7.3	8.4	
OCT	21.0	55.7	8.5	7.4	
NOV	15.8	23.1	6.8	7.1	
DEC	—	—	—	—	
JAN	17.2	11.8	5.3	4.9	
FEB	16.4	10.9	6.4	5.6	
MAR	23.2	14.8	6.1	5.6	

* Calculated by BOD/TOD.

Table 2. Amounts of oxygen demand of undegradable organic matters in deposits and sediments.

St.	Deposit		Sediment	
	A	B	A	B
O ₂ mg/g*				
MAY	157	194	127	101
JUN	189	216	128	113
JUL	167	146	143	111
AUG	224	182	124	120
SEP	158	183	136	107
OCT	156	323	129	120
NOV	139	169	136	113
DEC	—	—	—	—
JAN	185	149	134	123
FEB	251	225	138	123
MAR	199	183	145	124

* Calculated by TOD-BOD.

から沈降物の易分解性有機物含有率は真珠養殖漁場では夏季に、ハマチ養殖漁場では秋季に高くなり、冬季を除くとハマチ養殖漁場の方が 10% 程度高いことがわかる。これらの値は MIYOSHI (1976) の行った海産プランクトンの分解実験から求めたプランクトンの易分解性有機物含有率 45~70% と比べると若干低いが大差はない。このことは沈降物があまり分解を受けないまま海底に沈積することを示している。しかし堆積物の易分解性有機物含有率は 5~9% しかなく、有機物量も沈降物の 1/2 程度で季節変化もほとんどないことから、沈降物中の有機物は畑 (1979) が指摘するように、沈積後の分解と巻き上がりによる流出が両漁場ともすみやかに進行すると考えられる。

このように沈降物中の易分解性有機物は急速に分解され、難分解性有機物が海底に堆積する。沈降物中の難分解性有機物は Table 2 に示すように易分解性のものとは異なり季節変化や漁場間の差がなく、周年ほぼ一定といってよい。一方堆積物中の難分解性有機物は沈降物中のそれより真珠養殖漁場で 36%、ハマチ養殖漁場で 41% 程度少ない。難分解性有機物が短期間にはほとんど分解されないとすると、両漁場の堆積物の有機物量は漸次増加して沈降物の難分解性有機物量に近づかずである。しかし実際には堆積物の有機物量を表す O-C 含量は季節変化がほとんどなく、2年前の値 (関ほか 1980) と差がない。これらのことは難分解性有機物も堆積後徐々に分解され、分解率は真珠養殖漁場よりハマチ養殖漁場で大きいことを示唆している。

堆積物中の有機物は分解されて溶存有機物や無機物となり、一部は堆積物の粒子に吸着されるものの大部分は間隙水中に溶出した後底層水へ拡散する (ROSENFELD 1979)。このことは間隙水の溶存物質の季節変化からもうかがえる。Fig. 5 からみれば分解作用は底層水の最高水温時より遅れて秋季に活発になる。この理由は今回の調査では明らかにできないが、堆積物と底層水の温度変化にずれがあるのかもしれない。この分解は酸素の供給を十分受けられないため、嫌気的条件下で進行する。JØRGENSEN (1977) によれば、嫌気的条件下での有機物の分解には硫酸塩還元菌が重要な役割を演じている。このことを確かめるため、間隙水の $\text{SO}_4\text{-S}$ 減少量と $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, DOC 濃度との関係を Fig. 7 に示す。ただし $\text{SO}_4\text{-S}$ 減少量は SO_4/Cl 値を 0.146 (調査地点の底層水の平均値) で一定とし、間隙水の Cl 濃度から算定される $\text{SO}_4\text{-S}$ 濃度と $\text{SO}_4\text{-S}$ の実測濃度との差として求めた。Fig. 7 から $\text{SO}_4\text{-S}$ 減少量と $\text{NH}_4\text{-N}$,

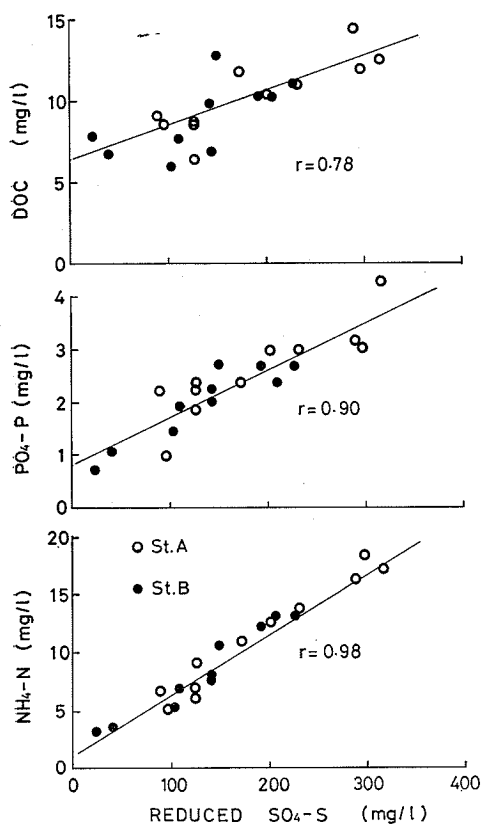


Fig. 7. Relation of ammonium, phosphate and dissolved organic carbon to reduced sulfate in interstitial waters.

PO₄-P, DOC 濃度には強い正の相関が認められ、硫酸塩還元菌が養殖漁場の堆積物の分解に大きく関与していることは明らかである。この分解は間隙水中の NH₄-N, PO₄-P, DOC 濃度が高く SO₄-S 濃度の低い真珠養殖漁場の方がハマチ養殖漁場より活発であるようにみえるが、それらの濃度差は底層水の流動状態の相違による間隙水の底層水への拡散速度の差として現われたにすぎないとも考えられるため、堆積物の分解速度に差があるとしても、今回の結果からではどちらの漁場で速いのか断定することはできない。

以上のように沈降物の分解堆積の作用機構は真珠養殖漁場とハマチ養殖漁場に本質的な差はないが、両漁場の沈降物の質に大きな差があるため、その分解堆積過程は相違する。つまりハマチ養殖漁場の方が真珠養殖漁場より沈降物中の易分解性有機物ははるかに多いため、その分解過程で DO の減少や水質の悪化などが生じやすく、

沈降物が漁場環境に与える影響が大きい。一方堆積物中の有機物の大部分は難分解性であり、それらは徐々に分解されるとしても易分解性有機物ほど養殖層の水質に直接悪影響を及ぼすことは少ないと考えられる。したがって養殖漁場を評価するには底質からよりも沈降物の方からしなければならない。

要 約

英虞湾内の真珠およびハマチ養殖漁場において沈降物、堆積物、間隙水を1年を通して調査した。年間の沈降物量は真珠およびハマチ養殖漁場であまり差がなく、それぞれ 7.6 および 8.4 kg/m² year であった。秋季には沈降物の O-C, O-N, T-P および BOD は真珠養殖漁場では減少したのに対し、ハマチ養殖漁場では給餌量の増加に伴って著しく増加した。それぞれの漁場の BOD 負荷量は 500 および 1,280 O₂ kg/m² year であった。沈降物中の易分解性有機物はハマチ養殖漁場で多く、それらは沈積後急速に分解され、堆積物中の有機物は難分解性のものが主体になり、その含有量は真珠養殖漁場の方がハマチ養殖漁場より多かった。堆積物中での有機物の分解は間隙水中の SO₄-S 減少量と NH₄-N, PO₄-P, DOC 濃度の関係から硫酸塩還元菌が強く関与していると推定された。両漁場における沈降物の分解堆積過程は沈降物の質の差によって大きく異なり、その過程で漁場環境に与える影響が大きいことから、養殖漁場は底質より沈降物から評価しなければならない。

本稿を作成するにあたり御教示と御校閲を賜った三重県浜島水産試験場第1研究室長関政夫博士に感謝します。

文 献

- HARGRAVE, B.T. (1978) Seasonal changes in oxygen uptake by settled particulate matter and sediments in a marine bay. *J. Fish. Res. Board. Can.*, **35**, 1612-1628.
- 畑 幸彦・片山九五 (1978) ハマチ養殖場における底土堆積物の化学的組成. *高知大水産実験所報*, **3**, 31-51.
- 畑 幸彦 (1979) 海洋, 主として沿岸域における沈降粒子捕集器とその捕集物. *海洋化学*, **11**, 996-1002.
- HOWARTH, R. W. (1978) A rapid and precise method for determining sulfate in seawater, estuarine waters and sediment pore waters. *Limnol. Oceanogr.*, **23**, 1066-1069.
- JØRGENSEN, B.B. (1977) The sulfur cycle of a coastal marine sediment (Limfjorden, Denmark). *Limnol.*

- Oceanogr., **22**, 814-831.
- 加来靖弘・渡辺勇二郎 (1981) 魚類養殖漁場における沈降と堆積. 内湾沿岸域における沈降・堆積過程, 日本水産資源保護協会, 東京, 107-125.
- 楠木 豊 (1977) マガキの排せつ物の有機物含量. 日水誌, **43**, 167-171.
- MIYOSHI, H. (1976) Decomposition of marine plankton under laboratory conditions. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., **42**, 1205-1211.
- 太田 繁 (1956) アコヤガイの糞の量の季節的变化. 国立真珠研報, **5**, 429-433.
- ROSENFELD, J.K. (1979) Ammonium adsorption in nearshore anoxic sediments. Limnol. Oceanogr., **24**, 356-364.
- 沢田保夫・谷口宮三郎 (1965) 老化漁場における海水ならびに底質の性状の季節変化について. 国立真珠研報, **10**, 1213-1227.
- 沢田保夫・谷口宮三郎 (1968) 老化漁場における底泥の有機物量およびフェオフィチン量の季節変化について. 国立真珠研報, **13**, 1689-1702.
- 関 政夫・柴原敬寿 (1977) 昭和50年度真珠貝標準生理調査. 昭和50年度三重浜島水試年報, 15-21.
- 関 政夫・林 政博・河合 博・西村昭史 (1980) 昭和54年度自家汚染防止技術開発試験. 昭和54年度三重浜島水試年報, 47-102.
- STRICKLAND, J. D. H. and T. D. PARSONS (1972) A Practical Handbook of Seawater Analysis, 2nd ed. Fish. Res. Board. Can., Ottawa, 45-89.
- 植本東彦 (1981) 真珠養殖漁場における沈降物について. 内湾沿岸域における沈降・堆積過程, 日本水産資源保護協会, 東京, 126-138.
- 上野福三・井上啓晴 (1961) 密殖と食物連鎖の関係. 国立真珠研報, **7**, 829-864.
- 上野福三 (1964) 海水並に底泥の性状の季節変化と海底耕耘の効果について. 三重県大産学部紀要, **6**, 145-169.
- 上野福三・舟橋 晋・津田篤身 (1970) 真珠漁場におけるアコヤガイ排泄物と底質との関係についての予察的研究. 三重県大産学部紀要, **8**, 133-137.