

閉鎖性水域大村湾の水質汚濁*

平山文俊**

1. はじめに

大村湾は、長崎県の中央部に位置し、外海とは佐世保湾を介して接する極めて閉鎖性の強い内湾である。波静かな湖のように穏やかな大村湾に対する県民の関心は高く、その水質保全は県政の重要な柱となっている。1990年は本格的な対策を推進するために予算も増額されている。これまで本湾で起こった水質問題とその対策及び調査研究は多岐にわたっている。

本報はそのうち最近10年間に当所で実施した研究の成果のうち主要なものをまとめて報告する。

2. 湾の概況

大村湾は図1に示すとおり南北に26 km、東西に

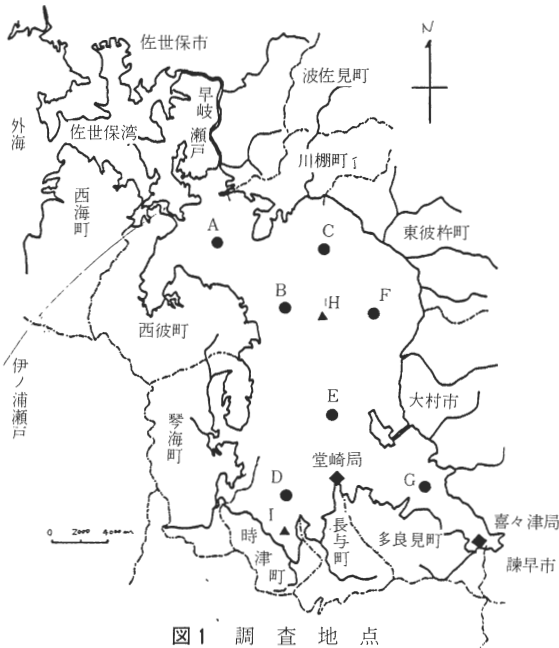


図1 調査地点

11 km の広がりがあり、面積 320 km² で、外洋とは北部の伊ノ浦瀬戸と早岐瀬戸で佐世保湾を介して通じている。湾の水深は陸から水深 10 m ぐらいまで急激に傾斜し、10～20 m ぐらいの平坦な海底が大部分を占めるが、湾口部から形上湾入り口付近の西岸側は 20～30 m となっている湾岸線の延長は 360 km で浅海部は埋立などの人工海岸に変形し、いわゆる浜はわずかに数箇所残るのみである。潮位変動は湾口の瀬戸が狭小で海水の交流が悪いため、潮位時間が 3 時間ずれて満潮と干潮の潮位差は 0.9 m で、佐世保湾の 3 分の 1 程度である。潮流は流入時湾口部から西岸に沿って急流で南下し、湾奥部にいくにしたがって徐々に弱まる。流出時は全体的に佐世保湾に吸い込まれるように流出する。湾北部には、反時計回りの恒流が存在する。水温は気温の変動に左右され、夏季と冬季の差は大きく、4 月から 10 月にかけて水温躍層が出現する。

流域面積は 601 km² で西部に比べて東部が広く、川棚町から大村市にかけて山麓でないし平野が多い。流入河川は小河川で流域面積が最大の川棚川でも流域面積 81 km² 程度である。流域人口は 23 万人で湾の中南部に集中し、近年高速道路の開通、沿岸のリゾート開

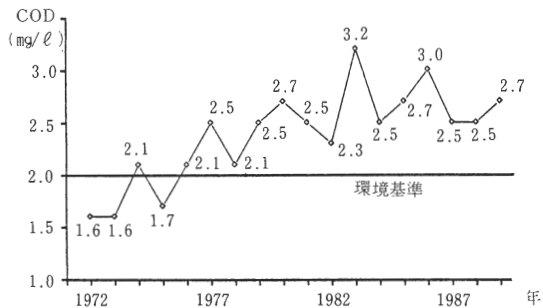


図2 COD経年変化(75%値全地点平均)

*Water Pollution of Semiclosed Omura Bay

**Fumitoshi HIRAYAMA (長崎県衛生公害研究所) Nagasaki Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science

発等により急増傾向にある。産業は水源が少ないため用水型産業は育たず、食品産業が用水型産業として大部分をしめている。

大村湾の水質環境基準類型は海域 A で1974年に指定された。水質の監視は1972年以来17環境基準点で実施している。CODの経年変化は図2に示すとおりで、1976年以降基準を超過している。また、自然現象ともいえるが、夏季に底層部に貧酸素水塊が形成され、生物と漁業に大きな影響を与えている。汚濁の60%の原因は生活排水と推定され、長崎県は1985年に大村湾水質保全要綱を策定し、10年間の計画で対策を実施している。計画の主体は下水道の整備であるが、下水道の整備が遅れる地域と計画外地域については農村下水道と個別処理施設を設置することとし、補助制度を活用して対策を推進している。

3. 海水交換¹⁾

大村湾は佐世保湾を通して外洋とつながっている。したがって、流出する湾内水と湾に流入する外洋水は途中で混合しながらそれぞれ交換される。拡散を検討する場合、1回の平均的潮汐での交換量が必要となるので1980年調査、検討を行った。

3・1 調査方法

1回の調査につき、湾口1箇所て1時間間隔の32時間連続採水を行い、湾内7箇所て1回、外海3箇所て2回、佐世保湾3箇所て2回、塩分の変化を年間8回調査した。

3・2 交換量の算出

塩分の単純平均値は、外海 18.69 Cl‰、佐世保湾 18.37 Cl‰、大村湾 17.86 Cl‰であった。交換率の算定は、塩分を指標にしてボックスモデルによった。水域を外海入り口に近い佐世保1と佐世保2それに大村湾に区分し、潮位から移動水量を算定した。佐世保湾と大村湾の潮汐の関係は図3に示すとおり振幅は佐世保

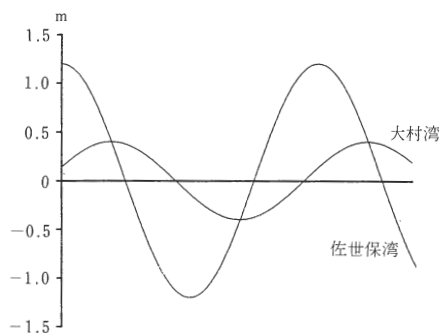


図3 潮汐周期

表1 交換量計算緒元

項目	単位	佐世保1	佐世保2	大村湾
流域面積	km ²	26	110	601
水域面積	km ²	21	20	320
水深	m	30	20	15
流出入水量	×10 ⁶ m ³	289-外海	50	256
降雨量	mm	2400		
外海水質	Cl‰	18.69		

湾の1/3、潮汐時間は約3時間遅れる。海水の出入りは複雑であるので、1周期を4つに分割し各時間帯の出入り量を算定した。流入淡水量は、海への降雨は100%流入すると仮定し、陸の降雨についてはモデル計算で流出量を算定した。以上の条件で算定した諸元は表1のとおりである。モデル計算は、佐世保湾と外海では移動水が100%交換されると仮定し、大村湾の流入、流出量および降雨量に係数を乗じ、測定値に合致するよう係数を変動し繰り返し計算を行った。計算から大村湾では全海水の3.7%が1潮汐で交換され、降雨は57%が海に流出していると推計された。

4. 底層への沈降と溶出²⁾

1976年、水産庁の調査³⁾で底質の堆積状況は明らかにされている。大村湾の場合は水深が10~30mと浅く、沈降、溶出、循環を繰り返しながら沈降物は堆積していくと考えられる。以上の状況を検討するため1980年調査を行った。

4・1 沈降量調査

湾内6地点において秋、冬、春、夏の4回現地調査を実施した。沈降物は海底から5mの深さにセグメントトラップを24時間設置して捕集した。

捕集した沈降物について炭素、窒素、リンを分析し各物質の日沈降量を算出した。結果を表2に示す。各項目とも秋季に沈降量が多かった。湾中央部のE地点での沈降量が最も多かった。

4・2 溶出量調査

沈降量調査と同一時期、地点で調査した。測定はコーサンプラーで採泥し、採泥管内の海水を対照水とする一方、別の採泥管を泥と海水が入ったままで密栓し、対照水と共に底層に沈め、24時間放置後回収する。対照水と採泥管内の海水について、それぞれ窒素とリンを分析し、その濃度差から溶出量を算定した。結果を表3に示す。窒素の溶出はすべてNH₄-Nであった。窒素の溶出量は秋季に最大値を示し、リンの溶出量は夏季に最大値を示した。全体的にみて溶出も湾中央E地点が

表2 沈降量調査結果

項目 \ 年月 \ 地点	B	C	D	E	F	G	平均	
炭素 (mg/m ² ・d)	80.10	70	180	240	350	75	270	198
	81. 1	87	40	67	150	100	72	103
	81. 4	130	97	71	37	80	160	96
	81. 7	170	110	110	70	48	83	99
	平均	114	132	122	152	76	146	124
窒素 (mg/m ² ・d)	80.10	2.9	16	23	36	4.9	27	18
	81. 1	8.9	11	6.7	20	13	7.5	11
	81. 4	17	13	7.3	6.7	12	15	12
	81. 7	22	16	10	8.5	5.8	11	12
	平均	13	14	12	18	8.9	15	13
リン (mg/m ² ・d)	81.10	0.4	1.5	2.3	6.1	0.5	2.6	2.2
	81. 1	1.5	1.3	1.3	2.5	1.8	1.1	1.6
	81. 4	2.4	1.7	0.8	0.6	1.5	2.5	1.6
	81. 7	2.9	1.0	0.6	0.5	0.3	1.0	1.1
	平均	1.8	1.4	1.3	2.4	1.0	1.8	1.6

註 地点は図1に示す。

表3 溶出量調査結果

項目	月日	B	C	D	E	F	G	平均
窒素 (mg/m ² ・d)	80.10	<5	8	20	10	10	14	11
	81. 1	<5	<5	12	16	<5	6	8
	81. 4	<5	<5	14	<5	<5	<5	7
	81. 7	<5	<5	9	20	<5	<5	8
	平均	<5	6	14	13	6	8	9
リン (mg/m ² ・d)	80.10	<0.3	1.0	0.8	1.2	<0.3	1.2	0.8
	81. 1	<0.3	0.4	1.0	1.3	<0.3	<0.3	0.6
	81. 4	<0.3	<0.3	2.0	0.8	0.7	<0.3	0.7
	81. 7	<0.3	<0.3	1.2	6.0	0.6	1.4	1.6
	平均	<0.3	0.5	1.3	2.3	0.5	0.8	0.9

多かったが、沈降量ほど顕著な傾向ではなかった。

4・3 底質調査

季節による違いを見るため、2月と8月の2回調査を実施した。結果を表4に示す。CODと硫化物は夏が高い。窒素は季節による変化は見られない。リンは冬が高い。特に地点Eは夏季の溶出量が多く、そのため夏季の底質濃度が低下していると推察される。

5. 貧酸素水塊⁹⁾

大村湾は閉鎖性が強く流動が小さいため、春から秋にかけての温度成層期に底層で貧酸素水塊が形成されることが知られている。1960～1965年にかけて澱粉生

産が盛況のころ、その排水が原因となり、貧酸素水塊の形成、その湧昇、全湾的な赤潮発生、魚貝類のへい死事件が発生したこともある。1982年、長崎大水害発生の翌年、大村湾の水質が非常に悪化したことを契機に、当所でも底層水の測定を開始した。1988年の調査結果を図4に示す。平野⁹⁾は湾中央部に貧酸素水塊が発達すると指摘しているが、当所の調査でもそれが確認された。4月から8月にかけて貧酸素水塊は発達し、8、9月にピークになる。その後、徐々に解消していく。気象の変化が激しいときは一気に解消されている。貧酸素水塊と窒素、リンの溶出及びAGPの関係についても調査した。1988年の調査結果を図5に示

表4 底質調査結果 (1981)

項目	地点	B	C	D	E	F	G	平均
COD (mg/g)	冬	25	25	34	34	28	22	28
	夏	32	41	42	45	43	39	40
硫化物 (mg/g)	冬	0.26	0.26	0.27	0.35	0.24	0.25	0.27
	夏	0.32	0.45	0.28	0.32	0.33	0.42	0.35
窒素 (mg/g)	冬	2.7	2.6	3.1	3.3	2.9	2.7	2.9
	夏	2.6	2.7	3.0	2.9	2.9	2.8	2.8
リン (mg/g)	冬	0.80	0.78	0.78	0.85	0.81	0.85	0.81
	夏	0.80	0.73	0.85	0.66	0.71	0.71	0.74
強熱減量 (%)	冬	15	14	15	15	14	14	15
	夏	16	15	16	16	16	15	16

す。溶存酸素が減少するにしたがい窒素、リンの濃度が高くなる。これは溶出量調査の結果とも合致している。AGPも窒素、リンと並行して上昇する。この傾向は温度成層が安定する湾中央部ほど顕著で、AGPの最大値は高く、その減少に時間を要する。沿岸部はAGPの最大値は低く、その減少は短時間で終わっている。

6. CODの組成

1988~1989年、CODが高くなる原因を解明するため各種の調査を実施したが、そのうち懸濁態CODと溶存態CODについて検討したので結果を報告する。

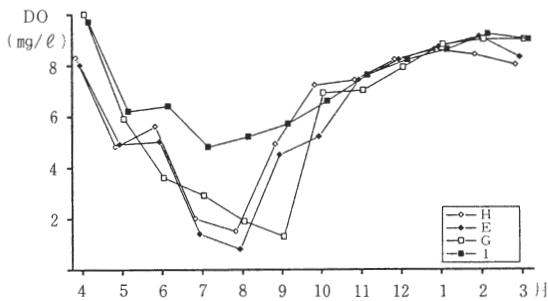


図4 底層溶存酸素季節変化(1988年)

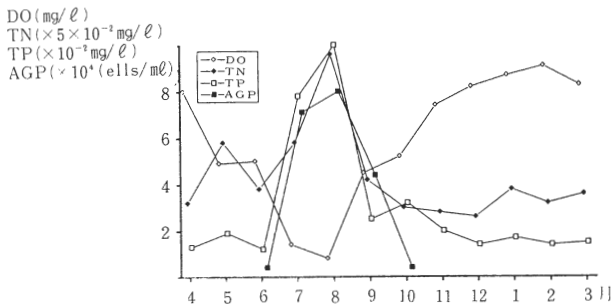


図5 底層DO, N, P, AGP季節変化

調査は毎月1回の頻度で10地点について行った。1μメッシュのガラスフィルターを通過するものを溶存態、通過しないものを懸濁態として区分した。湾中央部のE地点の結果を図6に示す。7~8割を溶存態が占め冬季が低く夏季が高い傾向を示している。1989年11月、懸濁態CODが4割を占めて高いのはべん毛藻赤潮が湾南部一帯に広域発生した影響である。懸濁態CODは大部分がプランクトンであった。溶存態CODが何を示しているのかこれからの研究課題であるが、季節変化に応じて変化していることから、かなりの部分をプランクトンの代謝物等2次生産物が占めていると考えられる。

7. 内部生産量⁵⁾

水質の常時監視のため水質モニターを1982年喜々津、1984年堂崎に設置し、1時間ごとにpH、DO、Cl、濁度、水温を測定している。そのうちDOの測定値をつぎの式に代入して、有機炭素の生産量を推定した。

$$O_2(\text{mg/l}) = [14 \sim 18\text{時のDO平中央値}] - [5 \sim 7\text{時のDO平均値}]$$

$$C(\text{mg/l} \cdot \text{day}) = O_2(\text{mg/l}) / 1.25 \times 12.01 / 23.00 = 0.3 \times O_2(\text{mg/l} \cdot \text{day})$$

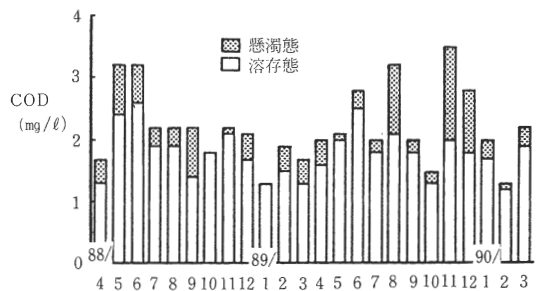


図6 COD季節変化(地点:E)

表5 月平均生産量 1988.4~1989.3 単位: mgC/l・day

局 \ 月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	平均
喜々津局	0.09	0.18	0.21	0.19	0.23	0.39	0.17	0.16	0.10	0.70	-		0.18
堂崎局	0.10	0.10	0.15	0.20	0.28	0.22	0.17	0.14	0.08	0.06	-	0.07	0.14

表6 水質時間変化 1989.7.25

項目 \ 時刻	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	0:00	6:00	8:00
気温(C)	26.2	26.6	30.2	30.5	31.0	29.8	29.5	28.5	28.0	28.2
水温(C)	26.4	26.5	26.5	26.7	26.5	25.0	25.0	24.5	24.6	24.7
pH	8.2	8.2	8.3	8.2	8.2	8.2	8.2	8.1	8.2	8.1
DO(mg/l)	8	8.3	8.2	8.9	9.1	8.7	8.0	7.7	7.8	6.4
COD(mg/l)	2.1	2.5	2.1	2.4	2.5	1.9	2.1	1.9	2.0	2.2
D-COD(mg/l)	1.8	2.3	1.7	1.8	1.7	1.4	1.7	1.5	1.7	1.6

1987年の生産量は表5のとおりであった。流入河川に近い喜々津局が堂崎局より高く、季節では夏季の生産量が高い。高出産量は5~9月で大雨や低酸素水の湧昇後によく観測された。喜々津局0.25 mgC/l・day以上、堂崎局0.20 mgC/l・day以上の出現率は、水温25~27.5°Cの区間、日射量14~18 MJ/m²の区間が最高であった。また、塩素イオン濃度での出現率は喜々津局16,000~17,000 mg/l、堂崎局15,800~16,600 mg/lの区間が最高であった。

8. 水質の通日変化

1989年7月、水質の時間変化をみるため長与町堂崎地先で、2時間おきにDO、COD、リン、窒素等について調査した。その結果を表6に示す。DOとCODは昼高く夜低くなる傾向を顕著に示した。CODの変動は大きく、夜は環境基準に適合していた。CODの測定から、生産と消費が起こっていることを予測させる結果が得られた。今回は1回だけの測定であるので今後回

数を重ねてこの現象を再確認したい。

9. 植物プランクトン

1988~1989年、プランクトンを5地点で調査した。1988年は5地点とも5~6月に総固体数のピークが見られた。出現したプランクトンで各月の優先種になったのは *Rhizosolenia sp.*, *Leptocylindrus danicus*, *Chaetoceros spp.*, *Nitzschia sp.*, *Dictyocba fibula*. *Bacteriastrum sp.*, *Prorocentrum sigmoides*, *Skeletonema costutum* であった。1989年は5地点とも5~6月に総固体数のピークが見られた。出現したプランクトンで各月の優先種になったのは *Rhizosolenia sp.*, *Leptocylindrus danicus*, *Chaetoceros spp.*, *Nitzschia sp.*, *Prorocentrum sigmoides*, *Mesoporos perforatus*, *Isoselmis sp.*, *Dactyliosolen antarcticus* であった。特に *Prorocentrum sigmoides* は11月に湾南部で赤潮に発達し湾を茶色に染め、観測を始めて以来最も高いCODの原因となった(図7)。

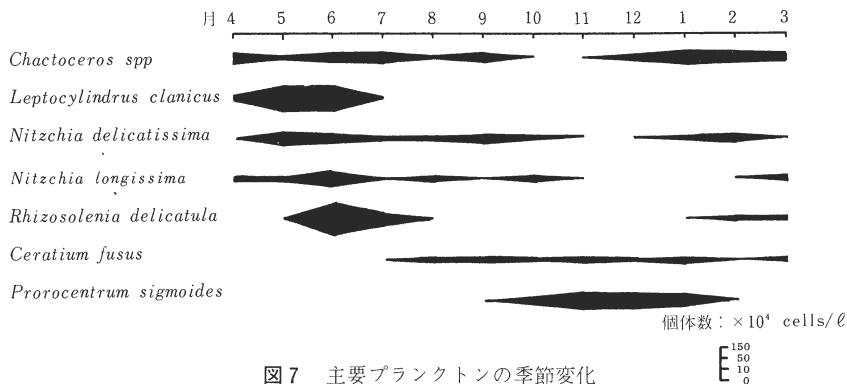


図7 主要プランクトンの季節変化

10. おわりに

最近10年の間に行った調査・研究のうち、主要な成果のいくつかをとりまとめた。残念ながら、各項目を関連づけて水質汚濁の現象を説明するには、ほど遠い内容である。しかしながら、大村湾はきわめて閉鎖性が強く、汚濁の影響が顕著に出現する海域で研究対象として興味ある存在であり、他の研究機関においてもこれまで数多くの研究をされている。これらの成果に合わせ、今後さらに野外調査を積みかさね、室内実験も併用して、基礎的現象を解明しながら水質汚濁を全体的に説明できるモデルの構築に一步でも近づきたいものと考えている。

—引用文献—

- 1) 長崎県環境部「大村湾米養塩類等収支挙動調査」p. 35、長崎県、長崎、1983.
- 2) 長崎県環境部「大村湾米養塩類等収支挙動調査」p. 35、長崎県、長崎、1983.
- 3) 水産庁「漁場改良基礎調査報告書」p. 92、水産庁、長崎、1976.
- 4) 山之内公子：大村湾における AGP、長崎県衛生公害研究所報、Vol. 31, No. 1, p. 58, 1988.
- 5) 長崎県衛生公害研究所「大村湾水質モニター測定結果報告書」p. 33、長崎県、長崎、1999.
- 6) 平野敏行「海の環境科学」p. 324、恒星社厚生閣東京、1983.