

大村湾および佐世保湾の調和分解 による潮位について

中根 重勝・宇都 幸一*・栗須 正登*

On the Tidal Amplitude by the Harmonic Analyses of the Tides in Omura Bay and Sasebo Bay

Shigekatsu NAKANE, Kouichi UTO, and Masao KURISU

An investigation was made on the present situation of tides in Omura Bay and Sasebo Bay, which are situated in Nagasaki Pref. and take typically blockaded forms. The purpose of the investigation was to forecast the changes of tides and contamination of seawater by development works. As a part of the investigation, the authors, in order to analyze the flowing condition of seawater, observed the tide range and tidal current in both bays. They present in this paper the results of the harmonic analyses of tides.

The amplitude and the phase of semi-diurnal tide in Omura Bay showed almost the same value at each station, although at the bay bottom the amplitude shows an increasing tendency. Because of its complicated topography, Sasebo Bay, which is a small area, shows a different value of amplitude according to the kind of component tide and the location of the station. And the phase of the same component tide in the Bay tends to advance or lose at different stations. It is necessary, therefore, not only to make a long-term observation but also to install several stations in similar bay.

Because Inoura Strait connecting the two bays is very narrow and has a lot of bends, in Omura Bay the amplitude of lunar semi-diurnal component tide decreases about two-thirds and the phase loses about three hours in comparison with those in Sasebo Bay.

大村湾は伊ノ浦、早岐の両瀬戸によって佐世保湾と接続されているが、両瀬戸とも幅が狭く細長い上に屈曲も著しく、後者は特に浅いなど潮汐による流動が制約されるため閉鎖性海湾となっている。近年大村湾においても沿岸部の埋立が各地で行なわれつつあり、また周辺都市部からの汚染物質の流入も増加している。この様な現況を把握し、更に将来の変化を予測するために1973年より総合調査〔1〕が実施され、その一環として湾内の海水流動の解析と汚染の拡散状況を解明するため、水理模型による実験と電算機によるシミュレーション解析が進められている〔2, 3〕。

更に佐世保湾についても湾内に石油備蓄基地の建設計画や沿岸部埋立計画があり、その現況の解析と将来

の変化を予測することの重要性が高まっている。また直接外海と接続しているものの湾口部は狭く、大村湾と外海と結ぶ位置にあって、両湾の流動状況には著しい関連性があり、切離しては考えられない。この様な観点から、佐世保湾についても流動状況の把握と解析を行ない、さらに模型実験やシミュレーション解析のための基礎資料を得るため、潮位観測と潮流実測および拡散実験が実施された。本報告ではこれらの諸実験のうち潮位観測の解析結果について述べる。

観 測

現地における潮位観測は両湾とも本学工学部流体工

* 長崎大学工学部

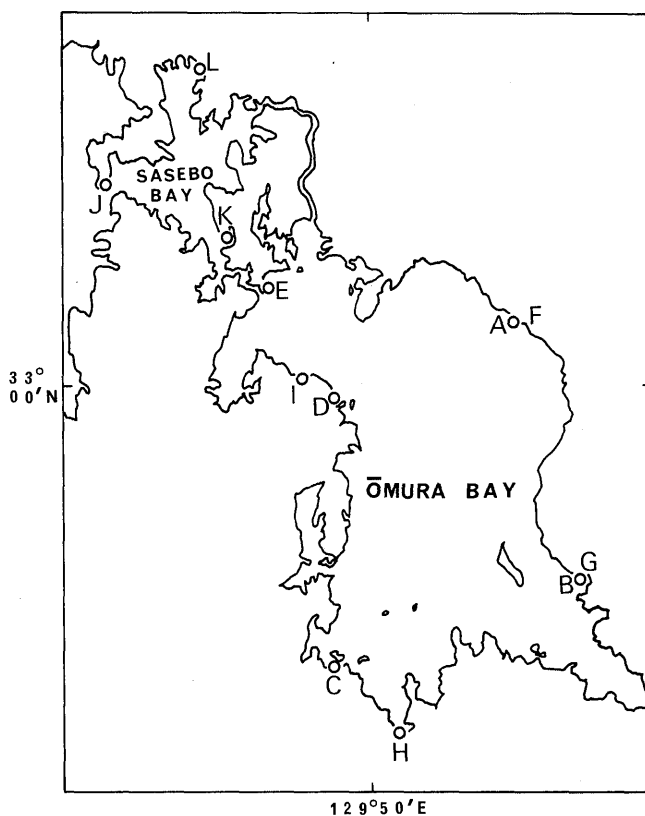


Fig. 1. Locations of the observational stations in Omura Bay and Sasebo Bay.

Table 1. Sites of each observed station.

Sites	Names of stations	Lat.(N)	Long.(E)
A	Higashi-sonogi	33° 01.7'	129° 55.2'
B	Sinjo	32 54.4	129 57.3
C	Shishigawa	32 51.6	129 48.6
D	Kameura	32 59.7	129 48.8
E	Sakihario	33 02.9	129 46.2
F	Higashi-sonogi	33 01.7	129 55.2
G	Omura	32 54.4	129 57.3
H	Togitsu	32 51.6	129 48.6
I	Miyaura	33 00.3	129 47.4
J	Kogosaki	33 06.0	129 40.3
K	Tainoura	33 04.5	129 44.5
L	Sasebo harbor	33 09.4	129 44.0

A~I in Omura Bay, J~L in Sasebo Bay

The observers: Nihon Sewerage Public Corporation at stations F~I, Sasebo Maritime Safety Regional Headquarters at station L, The authors at the other stations

学講座が担当した。Fig. 1 に観測地点を図示し、各地点の地名と位置を Table 1 に示した。

(1) 大村湾においては1974年9月3日~4日の約1昼夜(25時間)にわたり、同湾の沿岸を約4等分し

た地点に伊ノ浦瀬戸附近の地点を加えた A~E の5点で実施した。使用測器は水圧式水位計で、いずれも20分間隔で直接読取り記録した。

(2) 佐世保湾では同湾をほぼ3分する3点を設定

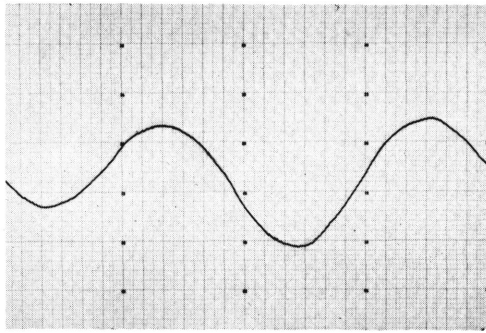


Fig. 2. A sample of the observed tidal curves recorded automatically at station J.

して1977年7月15日から15昼夜の連続観測を行なった。使用測器は向後崎 (J) と鯛ノ浦 (K) ではフロート式、早岐瀬戸入口では水圧式水位計である。これらはいずれも自記記録式であり、記録された潮位曲線 (Fig. 2) から30分間隔で読取りを行った。しかしながら早岐瀬戸入口の観測点で使用した水圧式水位計が不良であったため、良好な潮位曲線が得られず、以後の解析には使用し得なかった。

(3) 以上の他に、大村湾については日本下水道公団の資料〔3〕を、佐世保湾については佐世保海上保安部の観測結果を利用させていただいた。前者は湾内の4地点F～Iにおいて1976年3月1日～2日の約1昼夜の観測による潮位曲線図で、これから20分間隔で読取った。後者は(2)の観測と同一日に佐世保湾内の検潮所 (L) で測定された潮位曲線図から1時間間隔で読取ったものである。

調 和 分 解

実際に現われる潮汐は仮想天体によって別々に起される各種の分潮が合成されたものであるから、それらの分潮ごとに調和定数として、それぞれの振幅と天体が正中してから満潮になるまでの遅れ、すなはち遅角を求めるために調和分解の手法が用いられる。

分潮には多くの種類があるが、ここでは影響が大きなものとして Table 2 に示す7分潮をとりあげた。これらすべてを分解するには少くとも数ヶ月間以上の連続観測が必要である。しかしながら大村湾では約1昼夜のみの観測であるため、特に大きい影響をおよぼす半日周潮のうち、 M_2 、 S_2 潮のみの分解を行うこととした。また佐世保湾では15昼夜の観測ではあるが、4分潮から7分潮までの分解を試みた。

毎観測時の潮高を Y_i ($i=1\sim n$) とし、それが k 個の分潮の和であるとすれば、各分潮の調和定数で表されるから近似式は

$$\begin{aligned} Y_i &= A_0 + \sum_{r=1}^k R_r \cos(\omega_r i - \alpha_r) \\ &= A_0 + \sum_{r=1}^k A_r \cos \omega_r i + \sum_{r=1}^k B_r \sin \omega_r i \\ &\dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

A_0 : 平均潮位

R_r : 分潮 r の振幅 ($R_r = \sqrt{A_r^2 + B_r^2}$)

α_r : 分潮 r の位相 [$\alpha_r = \tan^{-1}(B_r/A_r)$]

ω_r : 分潮 r の角速度

となる。観測値 (Z_i) と (1) 式による計算値の差の2乗の全期間に亘る総和を最小にするように A_0 、 A_r 、 B_r を決定する。すなはち

$$\sum_{i=1}^n [(A_0 + \sum_{r=1}^k A_r \cos \omega_r i + \sum_{r=1}^k B_r \sin \omega_r i) - Z_i]^2 = C$$

(定数)

において、 A_0 、 A_r 、 B_r について各々微分して0とお

Table 2. Speed and period of each component tide.

Abbreviations	Names of component tides	Speed (degree/hour)	Period (hour)
M_2	Lunar semi-diurnal	28.9841042	12.421
S_2	Solar semi-diurnal	30.0000000	12.000
O_1	Lunar diurnal	13.9430356	25.819
K_1	Solar and Lunar resultant diurnal	15.0410686	23.934
M_4	Lunar quarter-diurnal	57.9682084	6.211
N_2	Lunar elliptic semi-diurnal	28.4397295	12.658
K_2	Solar and Lunar resultant semi-diurnal	30.0821373	11.967

Table 3. Harmonic constants of tides in Omura Bay.

Stations	M ₂ component tides		S ₂ component tides	
	R(cm)	Lag(degree)	R(cm)	Lag(degree)
A	20.2	311	9.4	3
B	20.7	320	9.6	12
C	20.7	310	9.3	2
D	20.2	313	9.4	5
E	19.2	312	8.9	4
F	20.4	316	9.5	344
G	21.3	315	9.9	343
H	19.2	311	8.9	340
I	20.1	312	9.3	341
T	24.0	326	9.0	358

R : Amplitude of each component tide

T : Constants at Omura (32° 54' N, 129° 57' E)

by "The Tides in the Sea Adjacent to Japan"

くと

$$\sum_{i=1}^n [(A_0 + \sum_{r=1}^k A_r \cos \omega_r i + \sum_{r=1}^k B_r \sin \omega_r i) - Z_i] = 0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\sum_{i=1}^n [(A_0 + \sum_{r=1}^k A_r \cos \omega_r i + \sum_{r=1}^k B_r \sin \omega_r i) - Z_i] \times \cos \omega_r i = 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\sum_{i=1}^n [(A_0 + \sum_{r=1}^k A_r \cos \omega_r i + \sum_{r=1}^k B_r \sin \omega_r i) - Z_i] \times \sin \omega_r i = 0 \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。(2), (3), (4)の3式から得られる未知数 A_0 , A_r , B_r について $(2k+1)$ 個の連立方程式を解き, 求められた A_0 , A_r , B_r より各分潮の振幅 R_r および位相 α_r が決定される。さらに α_r に観測当日の天体正中時を考慮して遅角 (Lag)_r が求められる。

大村湾の場合は前述の如く M_2 潮と S_2 潮のみについて分解したので半日周潮群の A_2 , B_2 を求め, これを M_2 潮と S_2 潮に分解する方法によった。すなはち, 簡単化のために, 得られた半日周潮群と M_2 潮および S_2 潮の速度は等しいものと仮定して M_2 潮について算出し, 資料より得られた両分潮の振幅比と位相差から S_2 潮の振幅と位相を求めた。

結 果

大村湾における調和分解の結果を Table 3 に, 佐世保湾のそれを Table 4 に示す。ここで, 両表にそれぞれ T, S として示したのは旧日本海軍により, 3ヶ月或いは1ヶ年間連続観測された結果である〔4〕。

また, 1例として大村湾の A 点と佐世保湾の J 点

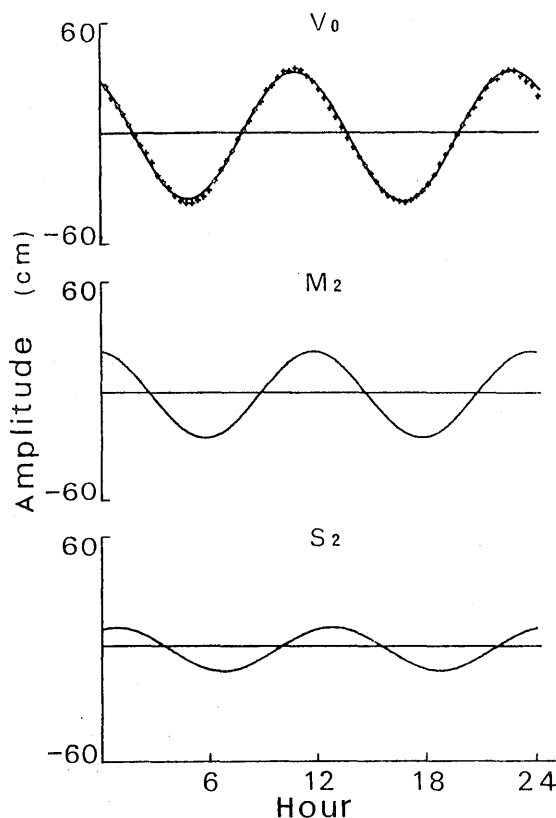


Fig. 3. Tidal curves of the observed tide and two component tides at station A in Omura Bay. V_0 : Tidal curve of the resultant M_2 and S_2 component tides and the observed values shown by + marks.

における各分潮の潮位曲線を Fig. 3, 4 (a, b) に示した。Fig. 4(b) における M_4 潮は振幅が小さいからスケールを10倍に拡大して画いたものである。

Table 4. Harmonic constants of tides on each number of harmonically analysed componet tides in Sasebo Bay.

N	Sta.	Component tides															
		M ₂		S ₂		K ₁		O ₁		M ₄		N ₂		K ₂			
		R	Lag	R	Lag	R	Lag	R	Lag	R	Lag	R	Lag	R	Lag	R	Lag
4	J	86.7	255	41.3	284	26.2	218	20.0	220								
	K	90.6	252	36.0	282	26.4	215	21.1	215								
	L	90.0	267	34.2	302	30.0	229	16.5	210								
5	J	86.4	254	40.5	285	26.6	220	15.0	219	1.0	283						
	K	90.4	252	35.2	284	26.5	216	16.4	213	1.5	266						
	L	90.4	266	33.9	304	26.2	230	16.1	208	1.0	320						
6	J	76.2	261	40.8	291	26.5	219	14.8	217	0.9	267	22.4	118				
	K	86.3	257	36.6	288	26.4	216	16.1	212	1.5	262	15.8	92				
	L	89.1	272	36.8	306	26.4	231	15.8	209	3.0	326	15.5	87				
7	J	83.3	264	109.4	282	26.7	219	15.0	217	0.9	261	22.4	101	68.9	127		
	K	89.7	258	68.3	274	26.4	216	16.1	212	1.5	260	16.0	82	28.9	107		
	L	91.0	273	46.1	288	26.4	231	15.7	209	1.5	326	15.8	82	15.6	105		
	S	84.3	242	38.5	268	23.7	215	18.2	194	1.0	322	16.0	238	10.2	263		

R : Amplitude of each component tide (cm)

Lag : Shown by unit of degree

N : Number of harmonically analysed component tides

S : Constants at Sasebo (33° 10' N, 129° 43' E) by "The Tides in the Sea Adjacent to Japan"

(1) 大村湾

1) M₂ 潮の振幅は湾口部の E 点で他の測点より 1 ~ 1.5 cm 小さいほかは測点間の差は小さいが、湾口に近い A, D 点の方が湾奥部の B, C 点より約 0.5 cm 小さく、湾奥へゆくにつれて増す傾向がみられる。参考とした日本下水道公団による観測結果〔3〕でも同様な傾向がみられる。両観測の近接測点間の差は、C 点と H 点では約 2 cm の差があるほかは、いずれも 1 cm 以下の差であり、全般的には顕著な差はみられない。両観測間にはその時期が秋と春という季節による差や、観測方法の相違のほか地形の異なることによる影響などによるものと考えられる。また、B, G 点とも T の値より 2 ~ 3 cm 小さいのは、観測日数の少ないことと、解析方法が異なることによる差と考えられる。

2) 遅角は B 点でやや大きいものの T の値より 6° 小さくなっている。しかし他の測点間の差はほとんどなく、湾口部と湾奥部での差はみられない。両観測間では、湾の東側の A 点と F 点、B 点と G 点の間に 5° の差がみられるが、西側ではほとんど差がない。全般に T の値より小さいのは観測日数の差によるものと考えられ、東側で両観測の間に差がみられるのは観測季節が異なることも一因であろう。

3) S₂ 潮では、その振幅は M₂ 潮との比によって算出したものであるから、全く同様な傾向である。遅角については、各測点とも T の値を上廻り、ことに B 点で 14° 大きいほか、それぞれ 4 ~ 7° 大きくなっている。しかし日本下水道公団の結果では、測点間の差は少ないものの T の値より 14 ~ 18° 小さくなっている。計算上、両分潮の速度と同一として扱っていることと、資料から求めた値が完全に合致していないことなどの原因が考えられる。

(2) 佐世保湾

観測日数は、通常主要 4 分潮の調和分解に必要な最低限とされている 15 日間である。しかし、潮流の解析に必要な M₄ 潮を含む 5 分潮と、さらに K₂ 潮および N₂ 潮を含めた 6 分潮と 7 分潮まで拡げての分解を試みた。これらの結果を並列して示したものが Table 4 である。

4 分潮の調和分解結果と比較した場合に、M₄ 潮を含めた 5 分潮の分解では、M₄ 潮の振幅は小さいものの J, K 点の O₁ 潮の振幅が約 5 cm 減少している。しかし他の分潮ではわずかに数 mm の変化がみられるのみである。一方、6 分潮では J 点の M₂ 潮が約 10 cm 減じ、N₂ 潮の振幅が他より過大となっている。また各

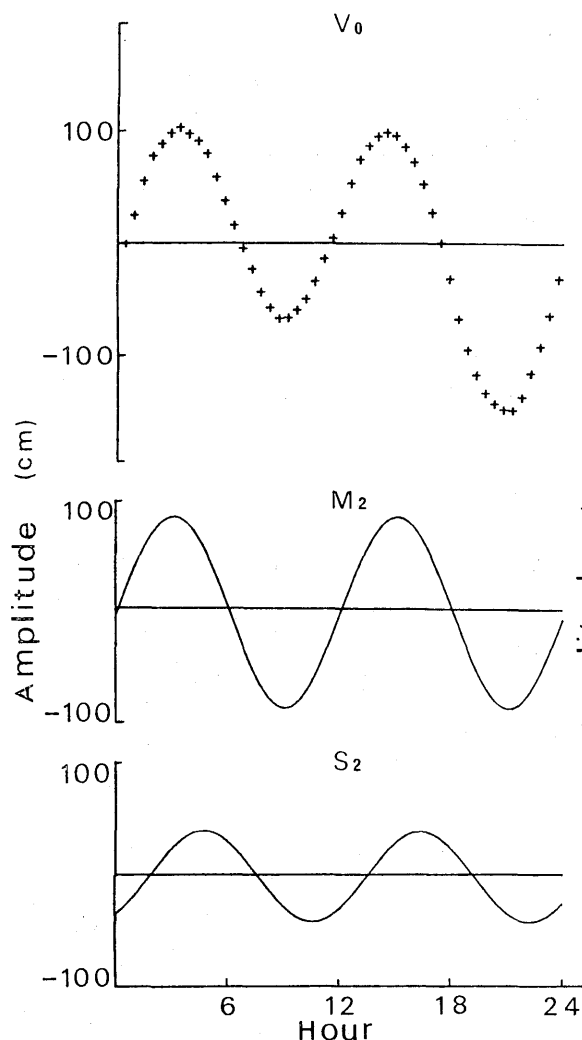


Fig. 4(a). The observed values and M_2 and S_2 component tides at station J in Sasebo Bay.
 V_0 : The observed values.

点の遅角が S の値と著しく異なる結果となっている。さらに7分潮の場合には、 S_2 潮、 K_2 潮が全く異状とも言える値を示し、分解不可能と云うべきであろう。従って観測日数が15日しかない場合には、主要4分潮に加え、振幅の小さい M_4 潮を含めた5分潮までにとどめるべきであると考えられる。従って以下の検討は5分潮の分解結果について行うこととした。

M_2 潮の振幅は湾口部より湾奥部において約4 cm 大きく、 K 、 L 点では一致しているが、遅角は L 点だけが約 13° おくれている。これらの値はいずれも S の値より2~6 cm 大きく、 $10 \sim 24^\circ$ おくれている。しかし S_2 潮では逆に湾口部で2 cm 大きく湾奥部では3~5 cm 小さくなり、遅角のおくれが増大し $16 \sim 36^\circ$ となっている。 K_1 潮と O_1 潮は、各測点間の差異は小さいものの S の値に比べ、前者では約3 cm 大きく、後者では

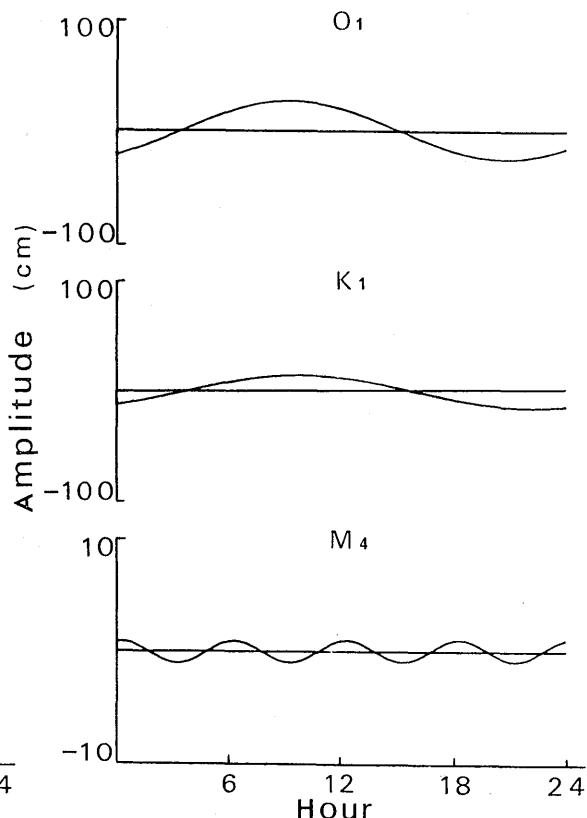


Fig. 4(b). Tidal curves O_1 , K_1 , and M_4 component tides at station J in Sasebo Bay. The amplitude of M_4 is shown by the scale of decuple.

2~3 cm 小さくなっている。 M_4 潮の振幅は小さいので、測点間の差も比率にすれば K 点では他の測点の1.5倍でもわずか0.5 cm の差にすぎない。遅角は K 点の K_1 潮、 L 点の M_4 潮が S の値とほぼ同じであるほかは K_1 潮で $5 \sim 15^\circ$ 、 O_1 潮で $14 \sim 25^\circ$ のおくれを示し、更に M_4 潮では $40 \sim 50^\circ$ の差がみられ、振幅が小さいほど測定間の差も大きくなる傾向がみられる。

佐世保湾内の測点は、いずれも湾口部、大村湾への流出入経路および港奥と、それぞれ特徴のある場所で、ことに前2点は潮流の速度が速く、地形的にも旋回流を生じやすい。従って分潮によっては測点間の振幅が同じでも遅角が異なったり、またその逆の現象が現れたりして、大村湾の場合の様に一定程度系統的とも言える傾向を示さないものと考えられる。それ故に、このような地形の入り組んだ海湾においては、連続観測

の日数を長くとも重要ではあるが、観測点も1点だけでなく、地形に応じて複数点を設定すべきである。

ま と め

大村、佐世保両湾は細長い屈曲した瀬戸に結ばれているものの潮位の変化は全く異質の海湾とも云える状態を示している。すなはち両湾では M_2 潮の振幅比が大きく (24/84), 遅角の差も 80 におよび, 潮汐現象の位相のずれが大きい。この様な両湾の流動状況の解明の第一段階として, まず潮位の調和分解という面からの検討を加えたが, さらに潮流の変動状況が解明されることが不可欠であり, さらにまた, 模型実験やシミュレーション解析の結果などとの総合的な解明が期待される。

終りに, 本研究について観測に御協力いただいた本

学工学部流体工学講座の田中清裕技官, 琴浦和樹技官他同講座の学生諸君, 資料を借用させていただいた佐世保海上保安部, 日本下水道公団, 観測にあたり御便宜をはかっていただいた佐世保重工業株式会社の各位に深甚の謝意を表する。

文 献

- [1] 長崎大学水産学部(1976). 大村湾水質汚濁対策総合調査報告書。
- [2] 長崎大学工学部(1976). 大村湾水質汚濁対策総合調査報告書。
- [3] 日本下水道公団(1976). 大村湾水質汚濁解析調査。
- [4] 中野猿人(1940)潮汐学, (1975, 復刻) 482. 生産技術センター新社。