

鹿兒島灣に於ける水溫の年変化の調和分析

田ノ上豊隆

The Harmonic Analysis of Annual Variation of Water Temperature in Kagoshima Bay.

Toyotaka TANOUÉ

1. 緒言

1953年4月より毎月上旬実習船準人丸(12 ton 40 H.P.)にて鹿兒島灣の定期海洋観測を実施している。此の結果は別に報告したが、こゝでは1953年4月より1954年3月までの1年間の水溫の実測値を各月共月上旬の値を示すものとして、そのまま各観測点、各層に就て調和分析を行いそれらの年変化の傾向を調べた。実際問題として水溫は日々の変化が顯著であり、これだけの資料の結果から1年間の詳細な連続的变化の状況を知るのは困難であるが概略的な模様は窺知出来ると思う。分解の式は

$$U = R_0 + R_1 \sin(\theta + \varepsilon_1) + R_2 \sin(2\theta + \varepsilon_2) + \dots$$

である。式中 R_0 は年平均水溫、 R_1 は年周期波の振幅、 ε_1 はその位相の遅れであり、 R_2 及び ε_2 は夫々半年周期のそれである。

2. 年平均水溫

観測点は第1図に、調和分析の結果は第1表に示す通りである。

平均水溫の断面図は第2図に掲げた。

平均水溫は物理的には大した意義のない仮想的のものであるが、之等の値は各点の特性を示し得る一つの目安となる。

その平面的分布をみると、表層から75m層までは各層共灣奥部が灣口に比して幾分低めになる傾向がみられるが、100m以深では各断面略同温となっている。即ち桜島以南(I, II, III, IV)断面を比較すると、各層共灣口のI断面が稍高いがその差は極めて少い。しかし桜島以北(V断面)は灣口に比して各層共1°C位低温である。

東西(大隅半島側と薩摩半島側)の傾度は灣口のI, II断面で稍明瞭に現われ、東高西低の傾向が見られる。即ち大隅半島側が稍高めとなつている。

III, IV断面でも東高の傾向はあるがその差は極めて少い。V断面では等温線は各層共略水平で変動はない。

各断面の垂直変化はほぼ等しく、表層と50m層の偏差が3°C、75m層で4°C、100m層

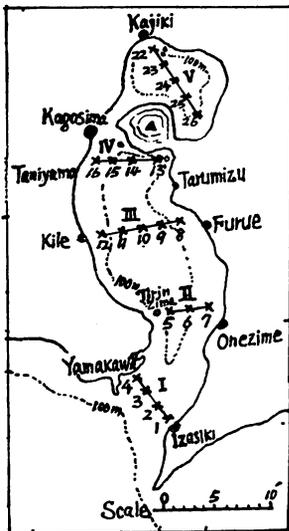


Fig. 1 The Positions of stations and sections.

で5~5.5°C, 150 m層が6°Cと深さと共に水温偏差は大きくなっているが, 200 m層と表層との偏差は150 m層の場合と殆んど相異がない。

この様に湾口ほど水温が高く, 大隅側で昇温の傾向のあらわれるのは外洋水(黒潮系水)の影響によるものでその流入が大隅側で強い事を示している。100 m以深が桜島以北と以南でほぼ同温である事はこの水系が陸水や外洋水の影響の少ない湾内特有の深層水であるためとみる事が出来よう。

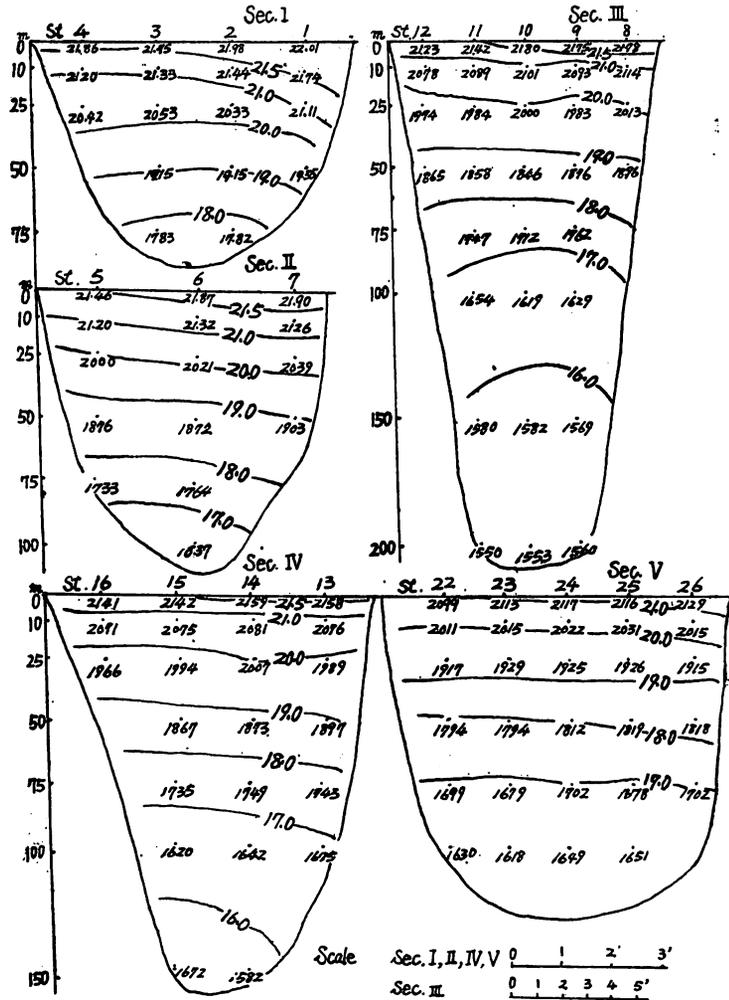


Fig. 2 Vertical distributions of the mean water temperature

3. 1年周期波の振巾

年周期波の振巾は第3図に見られる通り, 表層は湾口のI, II断面では大部分が6°C以下であるが他の湾内部の断面では全て6.2~6.7°Cとき大な振巾がある。しかし10m層になるとI, II, III断面では5.5°Cで表層との差異が極めて少ないが, IV, V断面では5.0°Cで前者に比較して小さく表層との偏差は逆に大きくなっている。25m, 50m層は各断面ほぼ同程度の振巾をあらわす。75m層は桜島以南は大体2~2.5°C程度の振巾を示すが, 桜島北側のV断面では振巾が小さく1°C以下となり, 他の断面と趣を異にしている。桜島北側海区では75m層位から外部の干渉が少く深層水の様な性質を帯びるものと考えられる。

垂直変化は桜島以南では表層と各層間の偏差が略同程度であるが, 桜島北側では偏差が前者に比して遙かに大きくなっている。

振巾で注目されるのはI, II断面の等振巾線に見られるように表面から10m層までは東

Table I. Results of the harmonic analysis of water temperature obtained by the monthly regular observations in the Kagoshima Wan in 1953, IV—1954, III

Station No.	Depth (m)	R ₀ (°C)	R ₁ (°C)	ε ₁ (°-′)	R ₂ (°C)	ε ₂ (°-′)	Station No.	Depth (m)	R ₀ (°C)	R ₁ (°C)	ε ₁ (°-′)	R ₂ (°C)	ε ₂ (°-′)
1	0	22.01	5.74	310-10	1.86	194-30	7	0	21.90	5.98	312-40	1.95	195-40
	10	21.74	5.47	300-0	1.43	180-50		10	21.26	5.41	307-40	1.77	233-50
	25	21.11	5.21	297-50	0.90	157-20		25	20.39	4.75	288-20	1.61	140-40
	50	19.55	3.66	276-10	1.18	90-30		50	19.03	3.79	273-40	1.79	88-10
2	0	21.98	5.83	311-20	1.62	191-50	8	0	21.78	6.20	315-50	1.67	222-30
	10	21.44	5.40	305-10	1.06	184-50		10	21.14	5.56	308-10	0.74	202-0
	25	20.33	4.47	284-0	0.91	60-0		25	20.13	4.68	296-20	0.75	93-50
	50	19.15	3.39	274-20	1.57	77-30		50	18.96	3.44	278-50	0.13	60-50
	75	17.82	2.33	260-10	0.81	73-10							
3	0	21.75	5.76	311-10	1.51	186-0	9	0	21.75	6.65	316-30	1.59	225-40
	10	21.33	5.51	306-50	1.18	186-50		10	20.93	6.38	305-0	0.89	234-40
	25	20.53	4.39	297-0	1.00	103-50		25	19.83	5.01	298-50	0.81	175-10
	50	19.15	3.11	271-40	1.49	71-40		50	18.76	3.08	277-20	1.29	85-40
	75	17.83	2.39	267-20	0.71	73-40		75	17.62	2.30	260-50	0.81	82-20
4	0	21.86	6.09	311-30	1.85	193-20		100	16.29	1.04	227-10	0.13	73-10
	10	21.20	5.77	304-40	1.21	183-20		150	15.69	0.25	180-10	0.09	179-40
	25	20.42	4.31	294-10	1.12	123-10		200	15.60	0.25	148-40	0.10	222-20
5	0	21.46	6.49	312-10	1.53	192-0	10	0	21.80	6.53	317-10	1.46	225-50
	10	21.04	5.75	305-30	1.40	175-10		10	21.01	6.10	308-40	1.07	194-40
	25	20.00	4.71	296-30	1.10	112-10		25	20.00	4.85	293-20	11.1	125-20
	50	18.76	3.35	269-20	1.08	77-10		50	18.46	3.10	271-20	0.87	66-50
	75	17.33	2.13	255-20	0.66	87-40		75	17.12	1.58	247-0	0.82	45-40
6	0	21.87	5.92	313-20	1.73	181-50	11	100	16.19	1.65	211-10	0.38	311-40
	10	21.32	5.61	307-20	1.10	176-0		150	15.82	0.52	190-30	0.29	286-10
	25	20.21	5.06	293-30	1.32	136-30		200	15.53	0.29	141-30	0.21	274-50
	50	18.72	3.37	275-40	1.14	82-40		0	21.42	6.22	315-50	1.74	214-30
	75	17.64	2.52	258-0	1.03	77-0		10	20.89	5.77	306-30	1.39	172-20
	100	16.37	1.01	223-50	0.41	22-20		25	19.84	4.51	294-20	0.97	102-0
							50	18.58	3.36	273-40	0.99	81-10	
							75	17.47	1.98	254-30	0.78	41-30	
							100	16.54	1.39	222-10	0.60	351-0	
							150	15.80	0.46	185-40	0.34	287-30	
							200	15.50	0.43	170-0	0.02	149-0	

Station No	Depth (m)	R ₀ (°c)	R ₁ (°c)	ε ₁ (°-')	R ₂ (°c)	ε ₂ (°-')	Station No.	Depth (m)	R ₀ (°c)	R ₁ (°c)	ε ₁ (°-')	R ₂ (°c)	ε ₂ (°-')
12	0	21.23	6.37	316-20	1.30	209-20	22	0	20.99	6.35	319-10	0.90	181-40
	10	20.78	5.93	308-20	1.23	176-30		10	20.11	4.99	302-10	0.50	142-20
	25	19.74	4.34	294-30	0.72	81-40		25	19.17	3.13	277-20	1.19	227-0
	50	18.65	3.25	272-50	0.62	165-40		50	17.94	2.53	266-10	0.25	22-40
13	0	21.58	6.59	316-40	1.61	227-30	75	16.98	1.46	242-30	0.29	336-20	
	10	20.76	5.34	305-0	0.70	198-10	100	16.30	0.80	214-0	0.42	248-10	
	25	19.89	4.52	288-0	0.82	91-50	23	0	21.13	6.30	319-30	1.22	234-20
	50	18.97	3.62	274-40	0.54	59-30		10	20.15	5.03	301-40	0.67	214-20
	75	17.73	2.23	251-40	1.57	42-10		25	19.29	4.22	286-20	0.76	106-40
100	16.75	1.52	236-10	0.44	50-20	50		17.94	2.25	263-0	0.24	49-40	
0	21.59	6.29	314-40	1.38	227-50	75		16.79	0.92	227-30	0.56	297-50	
14	10	20.81	5.45	306-40	0.63	196-20	100	16.18	0.43	216-0	0.26	257-50	
	25	20.07	4.62	292-20	0.89	84-40	24	0	21.17	6.39	317-0	0.99	205-40
	50	18.73	3.15	274-40	1.05	61-50		10	20.22	5.25	304-0	0.59	161-50
	75	17.49	2.22	247-0	0.83	25-40		25	19.25	3.41	275-10	1.11	70-0
	100	16.42	1.20	228-20	0.50	19-0		50	18.12	2.80	251-50	0.42	1-40
150	15.80	0.54	178-20	0.34	283-50	75		17.02	1.01	254-50	0.68	280-30	
15	0	21.42	6.26	316-20	1.12	227-40	100	16.49	0.90	228-0	0.10	277-20	
	10	20.75	5.41	309-40	0.82	169-30	25	0	21.16	6.57	317-30	1.70	184-40
	25	19.94	4.13	293-10	0.97	88-50		10	20.31	5.20	305-0	0.49	164-30
	50	18.67	3.30	268-50	1.45	64-50		25	19.26	3.69	289-0	0.93	89-0
	75	17.35	2.22	241-0	0.91	45-30		50	18.18	2.76	269-50	0.66	69-20
	100	16.20	0.83	215-10	0.19	317-20		75	16.78	1.09	219-30	0.29	261-10
150	15.72	0.40	158-50	0.11	190-50	100		16.51	0.87	230-20	0.15	235-0	
16	0	21.41	6.23	315-0	1.14	220-40	26	0	21.29	6.73	319-10	1.14	193-0
	10	20.71	5.45	309-0	0.43	160-20		10	20.15	5.46	298-10	0.62	142-40
	25	19.66	4.24	287-50	1.05	69-20		25	19.15	3.94	267-0	1.03	109-50
						50		18.18	3.14	269-10	0.55	102-20	
						75		17.02	1.02	265-20	0.71	267-40	

部が漸減しているが、I断面では25m層、II断面では50m層でほぼ水平になりそれ以深に於て東部が漸増している現象である。之は陸水の影響が表層附近は薩摩半島側で強く、所謂沿岸水の湾外流出は此の海区に多く、東側では中層以深に於ても猶黒潮系水の流入の強い事を示す証とみられる。III断面では9点と10点の表層から25m層に著しく振巾の大きい陸水の影響によるとと思われる水系が認められる。一方50m~100m層では逆に振巾は小さく深層水の影響によるのではないかと考えられる。

150m以深は振巾は0.5℃以下で小さい。

IV断面は表層より10m層の6.0℃、5.0℃の等振巾線は水平であり、25m以深では振巾は東部で漸増の傾向が見られ100m層附近ではその傾度が大きい。V断面は26点の表層が6.7℃で全点中最大であり、表層から50m層までは桜島側の振巾が大きいのが、75m以深の振巾は1℃以下で大きな変化はない。

全般的にみると振巾は陸水の影響の強い湾奥部の表層が最も大きく、水温年変化の大きい事を示している。又振巾は深さと共に減少しているが、その程度は湾口で小さく此の海域では上下層の混合の良く行われた黒潮系水の影響が強い事が判る。

湾奥部の75m以深と桜島以南の100m以深では振巾は小さく、水温の年変化の小さい事を示している。

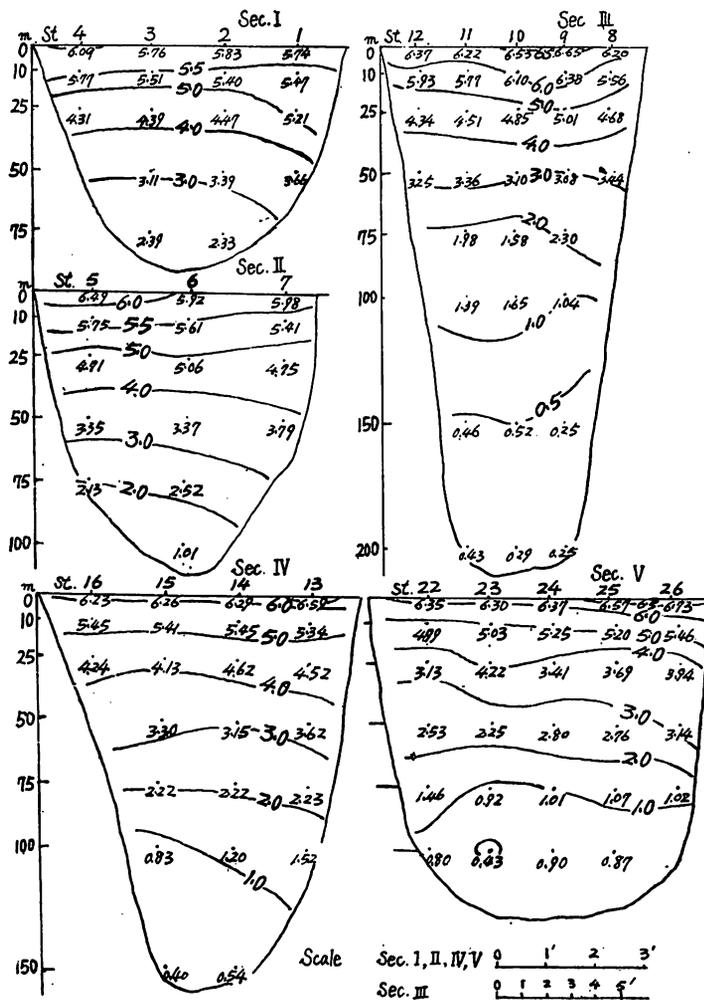


Fig. 3 Vertical distributions of the amplitudes for annual changes of water temperature.

4. 位 相 角

位相角は一般に表面から下方に向つて遅れがあらう事は常識として考えられる事であり、計算の結果についてもほぼ予想通りの減少が認められる。第4図に断面図を示した。こゝで位相角1°は大体1日に相当する。

年変化の位相の遅れを水平的にみると、表層では湾口が大きく湾奥部と10°位の差異があるが、大体310~320°となつており、最高は2月中旬から下旬に起る事を示している。10m層は位相が300~310°で表層に較べて10°位の遅れがある。25m以深になると、V断面の遅れは桜島以南の断面に比して大きい。75m層と表層ではI, II断面で50°, III, IV断面で65°, V断面で60°~90°位の遅れがあり、湾奥程上下両層の水質の差が大きくなる事が窺知出来る。

100m層になると各断面の位相は220~230°位である。150m層, 200m層と表層では夫々130°, 160°位の差異を有している。

各断面の垂直変化は、I断面では1点の10m, 2点の25mは他に比して大きい遅れが見られるが表面と10m層の遅れは最も小さくその他は均一化されておる。表層と底層では50°即ち50日位の遅れがある。II断面では7点の25mに大きい遅れが見られる外は等位相線はほぼ水平で変動が少い。表層と50m, 100m層で夫々40°, 90°位の遅れがある。

III断面は表層から50mまでの遅れ

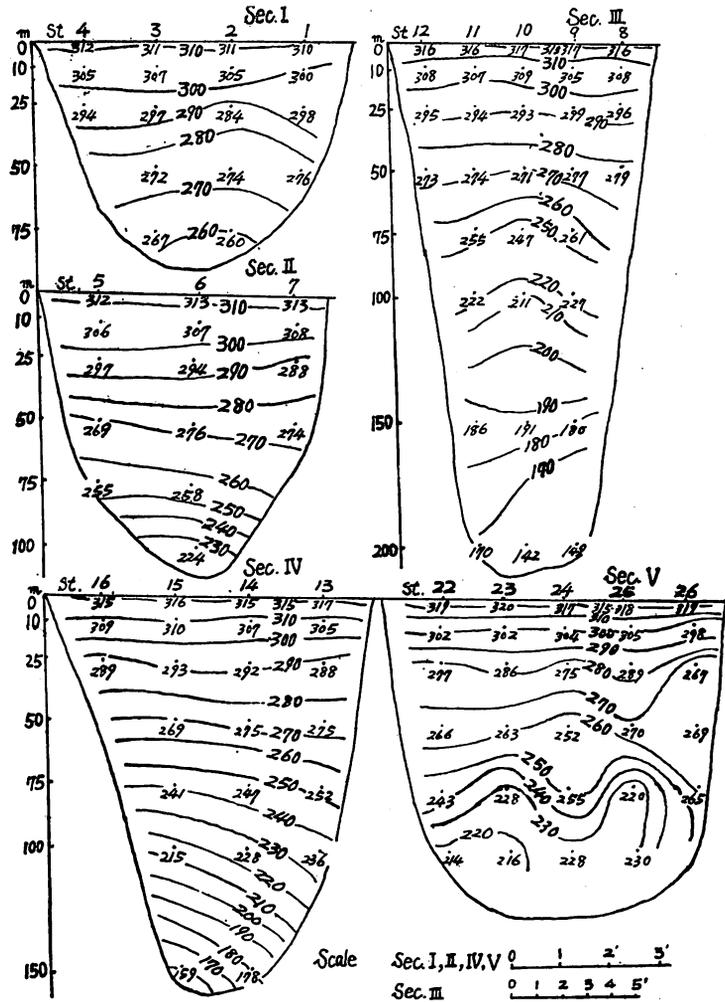


Fig. 4 Vertical distributions of the phase angles for the annual changes of water temperature.

は 20° 位で等位相線は略水平であるが、50 m から 150 m までの 10 点の遅れが大きく目立っている。IV 断面は 50 m 層までは III 断面と良く似た傾向を示しているが、75 m 以深では等位相線の傾度が明瞭であり、薩摩半島側で遅れが大きくなっている。V 断面では表層から 10 m 層までの遅れは最も大きく 20° 位に達している。25 m 以深になると桜島寄りでは遅れが小さい傾向があらわれているが、各点毎にかなりの差異が生じ複雑になっている。最も変化の大きいのは 23 点、25 点の 75 m 層にみられ表面と 90° 、 100° の遅れがみられる。即ち此の間には異つた水系の進入していることが窺知出来る。この原因は近くの島の影響と思われるが更に究明を要する。

5. 概 括

鹿児島湾の表面から 200 m 層までの 1 年間の毎月の定期海洋観測で得られた水温を調和分解し、平均値、年変化の振巾、位相等についてのべたが、要約すると次の通りである。

年平均水温は表層から 75 m 層までは湾口 (Sec. I) が高く、湾北部 (Sec. V) が最も低い。100 m 層及びそれ以深では各断面略同程度である。

年周期波の振巾は陸水の影響の強い表面は湾北部が最大、10~100 m 層は外洋水の勢いの強い湾口が大である。年周期波の振巾の上下両層の偏差は湾口が最も小さい。

湾北部の表面の水温変化は湾内で最も大きい。

桜島以北の 75 m 層以深、桜島以南の 100 m 層以深は平均水温、年周期波の振巾共に小さく、陸水や外洋水の影響が少い。

位相角は湾口では表層から 25 m 層附近までの遅れは $12\sim 20^\circ$ 程度で少いが、北部では $30\sim 35^\circ$ 位で稍多い。又表層と 75 m 層では湾口は 50° 、北部は $80\sim 90^\circ$ の遅れがあり、北方程上下層の差は大きい。

湾口は表面から 25 m 層附近までの上下両層の混合は比較的良く行われており、此の傾向は大隅側で顕著である。

終りに計算に関する御指導と有益な御助言を賜つた高橋淳雄助教授、湾内観測に協力された玉利教官、隼人丸高橋船長以下乗組員各位並びに計算の一部を援助した森尚士、北原徹君等に深く感謝の意を表する。

Résumé

We made some researches on harmonic analysis of water temperature ascertained as the results of the monthly regular observations from the surface to the depth of 200m layer in Kagoshima Bay during the lapse of twelve months.

The following results were obtained.

As to the mean water temperature of the whole year, in the limited depth from the surface to 75m layer, it showed the highest degree at the mouth of Bay (Sec. I) and the lowest at the northern region (Sec. V). But in 100m layer or in the layer deeper than that, it hardly showed any variation in spite of the

difference in each section of the layer.

The variance of the surface water temperature was found to be largest in the northern section of the Bay.

As to the amplitudes for annual changes of the surface water temperature, they were larger in the northern section than in any other, and at the layer from 10~100m they were largest at the mouth of the Bay.

The water masses both in the 75m and deeper layer of sec. V and in the 100m and deeper layer at the south of Sakurazima were hardly influenced by the land water and the oceanic water.

As to the phase angles it was confirmed that the time lag for the maximum and minimum temperature during the whole year increased gradually as the depth became deeper and the section shifted to the northern region.

文 献

- 1) 中野猿人：潮汐学 (1940)
- 2) 久保時夫：大阪湾及び紀伊水道に於ける
水温及び密度の年変化調和分析 海洋時報 Vol. XI No. 4 1939
- 3) 市栄誉・長尾千代子：紀伊水道の水温の年変化について (1) (2) 海洋時報 Vol. 12 No. 2 1951
- 4) 森安技官：紀伊水道の水温及び塩素量の年変化について (1953) 海洋時報 Vol. 15 No. 3 1954