

II - 3 気 象 調 査

3-1 概 要

3-1-1 気象調査の目的

気象調査は、調査海域の気象状況を把握するため実施する。また汚染予測シミュレーションの温排水拡散計算では、気温、水温、平均風向風速、放熱係数 ($\text{Cal}/\text{m}^2 \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C}$) 等の気象資料を必要とする。

また流動調査においては、海面に吹く風のため起るといわれている吹送流が、どの程度流況に影響を与えているか知る必要がある。

特殊な例ではあるが、油の流出に伴う油の拡りを予測する場合は、風の資料は最も重要な資料となる。

また潮汐観測のデータの気圧補正の場合は、気圧のデータが必要となる。

日本国内の調査では、調査海域の近郊の気象観測所の資料を入手したり、場合によっては観測所を設置して観測を行う。

3-1-2 今回実施した気象観測

今回の調査では、シンガポールの関係機関より資料を収集する方法によった。入手先の機関は、Meteorological Service, Singapore である。

3-2 気象データの整理

3-2-1 風向・風速

1) 現地調査期間中の風向・風速

Changi Air Base と JIC Flatted Factory Jurong の風向・風速データのうち、1981 年 2 月 23 日～3 月 17 日のデータについてパンチカード化して計算機に入力して、風向・風速ベクトル図を作成した。本図を図 II 3-①に示す。

2) 風向・風速の統計資料

入手した Meteorological Service, Singapore の資料から風向・風速の統計資料を抜き出し表にまとめた。本表を表 II 3-①に示す。

3-2-2 気 温

入手した Meteorological Service, Singapore の資料から気温の統計資料を抜き出して表にまとめた。本表を表 II 3-①に示す。

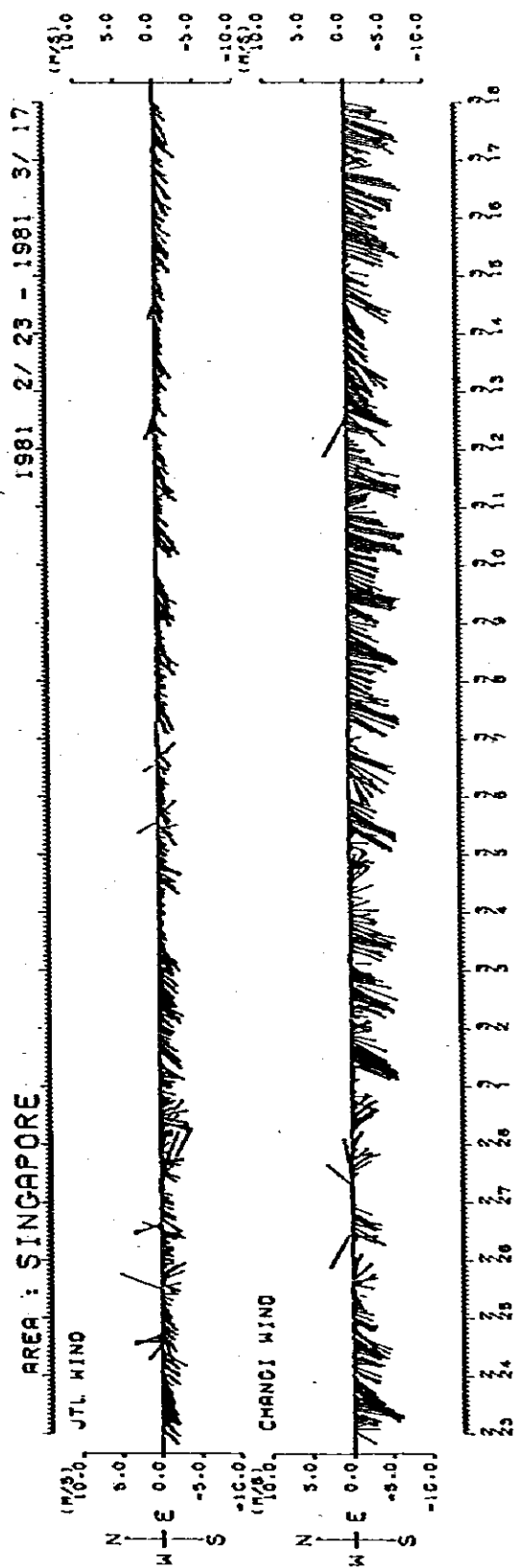


図 II 3 - ① 風向風速ベクトル図

(本図は風向180°反転後のベクトル図)

表II 3 - ① 平均気温と平均風速

地 点	項 目	JAN	FEB	MAR	APR	MAT	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	3月の 平均値	備 考
*1 JJC JURONG FLATT'D FACTORY BLDG	0(kt)	6.0	12.6	16.2	17.9	20.0	15.3	12.8	15.5	18.9	22.9	19.6	12.3	15.6	各ラックの中 央値に出現頻 度を乗じ加重 平均して求め た値である。
	1-3	19.7	20.8	33.3	42.0	36.6	30.0	21.1	22.4	29.7	33.2	34.1	22.6	29.2	
	4-6	44.9	41.9	39.2	28.8	27.1	31.3	32.7	28.9	29.3	26.0	32.6	38.7	33.3	
	7-10	25.1	22.9	13.6	10.5	15.0	21.3	30.5	29.2	19.9	15.7	12.2	23.2	19.7	
	11-16	4.3	1.8	1.7	0.8	1.1	1.9	2.9	3.9	2.0	2.1	1.5	3.1	2.2	
	17-21	—	—	—	—	0.2	0.2	—	0.1	0.2	0.1	—	0.1	—	
*2 CHANGI AIRFIELD	22-27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	() 内の値 は出現頻度 風向別平均風 速に出現頻度 を乗じ加重平 均して求めた 値である。
	N	(53) 6.7	(51) 6.5	(27) 3.1	(14) 4.9	(5) 3.9	(5) 4.3	(6) 4.2	(1) 4.0	(1) 3.2	(9) 3.4	(27) 3.5	(48) 4.6	(21) 4.5	
	NE	(13) 8.6	(35) 9.3	(28) 6.7	(13) 6.2	(7) 4.2	(3) 3.7	(4) 4.5	(1) 2.6	(2) 4.3	(5) 4.9	(17) 7.3	(43) 9.3	(14) 6.0	
	E	(1) 6.0	(1) 8.3	(5) 7.1	(10) 6.9	(6) 5.6	(4) 4.3	(6) 6.0	(1) 5.0	(1) 3.8	(2) 5.6	(4) 5.1	(1) 7.7	(1) 5.9	
	SE	(1) 7.0	(—) 7.5	(1) 6.5	(6) 7.0	(9) 6.1	(9) 6.7	(9) 7.5	(17) 8.1	(7) 7.1	(5) 6.5	(3) 6.2	(—) 6.3	(5) 6.9	
	S	(—) —	(1) 5.7	(1) 5.2	(6) 6.1	(15) 7.0	(20) 6.1	(27) 7.9	(25) 7.2	(27) 6.7	(16) 6.6	(3) 6.8	(1) 7.2	(13) 6.0	
	SW	(—) 6.0	(—) —	(—) 10.0	(5) 4.0	(8) 5.4	(11) 5.8	(9) 7.1	(14) 5.8	(23) 7.1	(12) 6.2	(2) 5.3	(1) 5.8	(7) 5.7	
	W	(3) 4.0	(—) —	(5) 3.8	(12) 3.6	(9) 3.6	(13) 3.4	(9) 4.9	(11) 5.5	(9) 5.1	(12) 5.2	(7) 5.2	(—) 4.3	(7) 4.2	
	NW	(23) 3.0	(10) 2.2	(10) 2.4	(13) 2.6	(13) 2.9	(8) 4.7	(10) 3.8	(3) 3.2	(11) 6.0	(14) 4.2	(12) 3.8	(3) 4.5	(12) 3.6	
	Ca/m	(6) —	(2) —	(17) —	(21) —	(28) —	(27) —	(20) —	(17) —	(29) —	(25) —	(19) —	(3) —	(18) —	
	平均気温°C	26.2	27.1	27.4	27.7	28.0	27.9	27.4	28.0	27.4	27.3	26.2	26.3	27.2	24Hr MEAN
*3 シンガポ ール全域	平均気温°C	25.5	26.1	26.5	26.9	27.3	27.3	27.1	26.9	26.8	26.6	26.1	25.6	26.6	24Hr MEAN

(注) *1 PERIOD 1978 1 year (METEOROLOGICAL SERVICE SINGAPORE)

*2 PERIOD 1975-1979 5 years

*3 PERIOD 1929-1941, 1948-1979 45 years

II - 4 水温塩分調査

4-1 概 要

本調査は汚染予測対象地区（セラヤ及びテコン島周辺地区）の水温塩分の水平及び鉛直分布を把握するため実施した。また本調査結果は、汚染予測シミュレーションにおいて調査地区の温排水拡算計算の基礎資料として使用するものである。

表II 4-①に本調査の概要を示す。

表II 4-① 水温塩分調査概要

Area	Suvey Item	Obsevation Layer ※	Suvey points	Date, Time
Seraya	Temperature	-0.5 m. -2 m. -5 m	49points	Mar. 2. 1981 13:00~16:00
		-10 m. Bottom+1 m		
	Salinity	-0.5 m	28points	
		-0.5 m. -2 m. -5 m	21points	
		-10 m. Bottom+1 m		
Tekong	Temperature	-0.5 m. -2 m. -5 m	35points	Mar. 5. 1981 15:00~17:00
		-10 m. Bottom+1 m		
	Salinity	-0.5 m	24points	
		-0.5 m. -2 m. -5 m	11points	
		-10 m. Bottom+1 m		

※ 観測層は原則で、水深によって若干変更があった。

4-2 現地調査の実施状況

4-2-1 調査測点

図II 4-① 本調査測点図を示す。両地区とも発電所、製鉄所立地予定地をほぼ中心に、それを取りまくように測点を配置した。

4-2-2 調査経過

本調査はセラヤ地区で1981年3月2日13:00~16:00、テコン地区で1981年3月5日15:00~17:00に実施した。当初テコン地区は3月4日を予定していたが、当日激しいスコールがあったため1日順延し3月5日に実施した。調査時間は同時性という面から短時

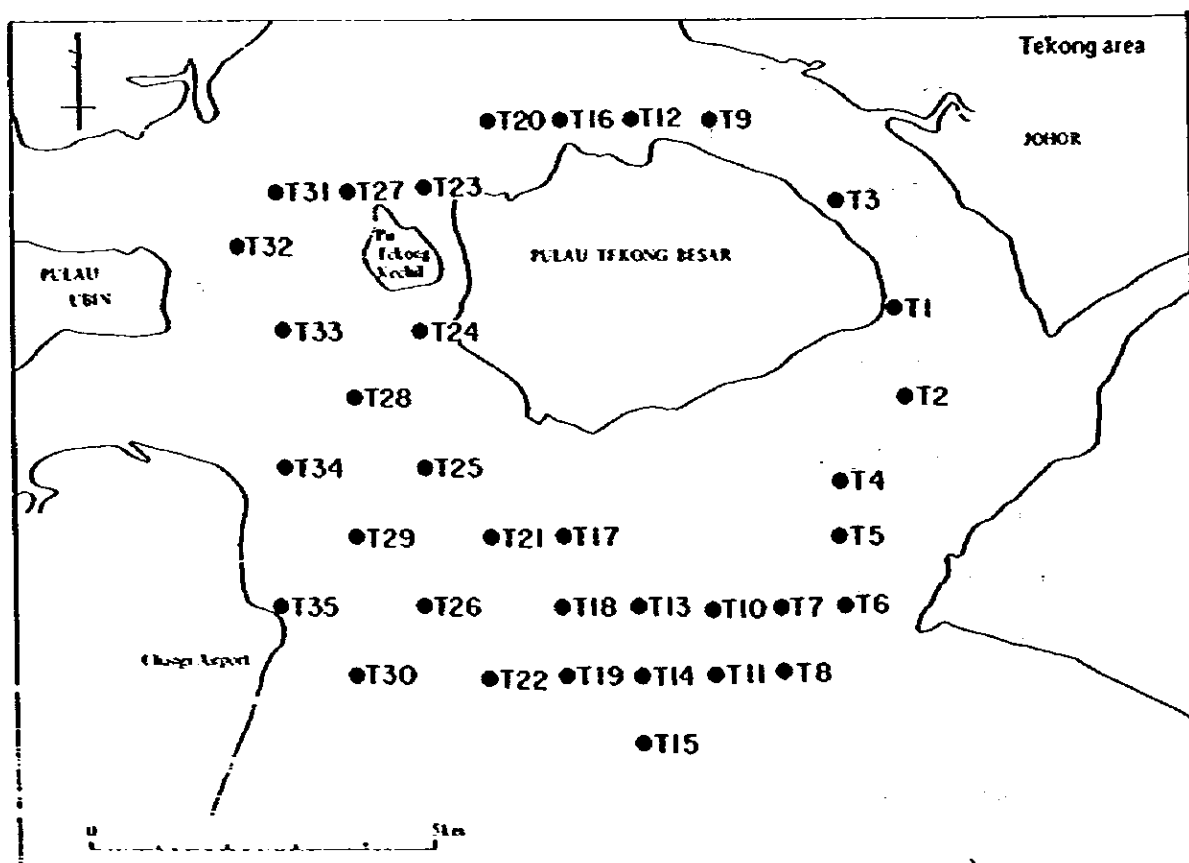
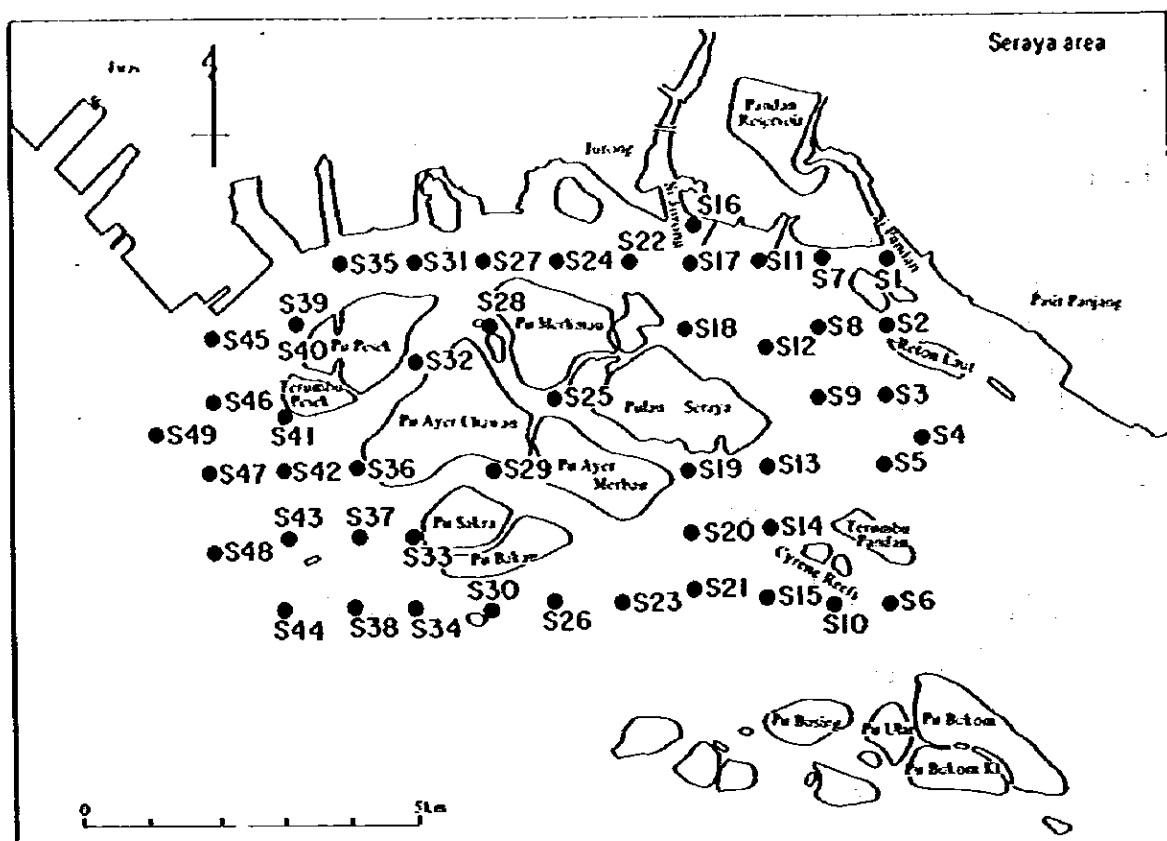


图 II 4 - ① 水温盐分调查测点图

間に流速の弱い時に行うことが望ましいので、VICTORIA DOCKの予報潮位より干潮時を選んだ。3月2日、3月5日とも海況はおだやかでデータ欠測はなかった。

4-2-3 調査方法

1) 船上作業

本調査は表Ⅱ 4-②に示すように5船に分れて実施した。調査船は図Ⅱ 4-②に示すようにセラヤ地区4号船がランチ、他はバムボートを使用した。調査測点は図Ⅱ 4-③に示すように三点両角法(Three point fix method)によった。

表Ⅱ 4-② 測点及び測定順番

Area	船 番	測 点 及 び 測 定 順 番
Seraya	1 号 船	S39→S35→S31→S32→S28→S27→S24→S22→S17→S16
	2 号 船	S5 →S4 →S3 →S9 →S12→S8 →S2 →S1 →S7 →S11→S18
	3 号 船	S6 →S10→S15→S21→S20→S14→S13→S19→S25
	4 号 船	S23→S26→S30→S34→S38→S44→S37→S33→S29
	5 号 船	S48→S43→S36→S42→S47→S49→S46→S41→S40→S45
Tekong	1 号 船	T12→T16→T20→T23→T24→T27→T31→T32
	2 号 船	T9 →T3 →T1 →T2 →T4
	3 号 船	T5 →T6 →T7 →T8 →T11→T10→T13→T14
	4 号 船	T15→T19→T18→T22→T26→T30→T35
	5 号 船	T17→T21→T25→T29→T34→T28→T33

調査測点に到着するとまず検縄で水深を測定し、表Ⅱ 4-③に示す観測層の測定を実施した。ただし塩分は代表点のみ5層を、他は-0.5 mだけを行った。

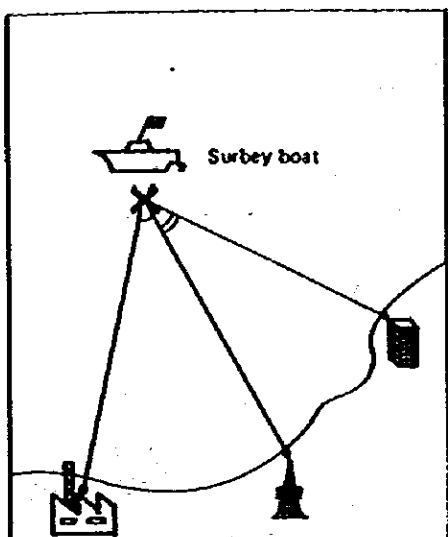
表Ⅱ 4-③ 水温塩分観測層

Depth (m)	Obeservation Layer (m)				
~8	-0.5	-1	-2	-3	B+1
8~12	-0.5	-1	-2	-5	B+1
12~	-0.5	-2	-5	-10	B+1



<ランチ>

図II 4-② 調査船



Three point fix method

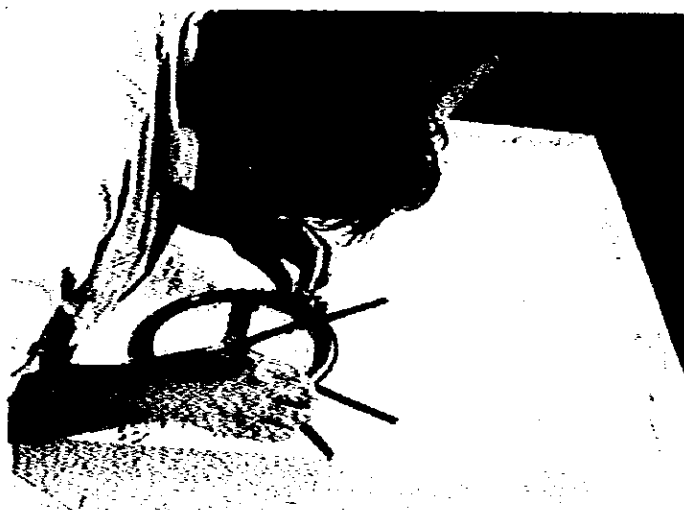
Decide three making point on the Land C for example, tower, building and so on)

Measure Left angle and right angle by

Sextant and fix the point by Station pointer



Sextant
六分儀



Station pointer
三杆分度儀

圖 II 4 - ③ 三点兩角法



Electric Thermometer ET-II



Kitahara's Sampling Bottle

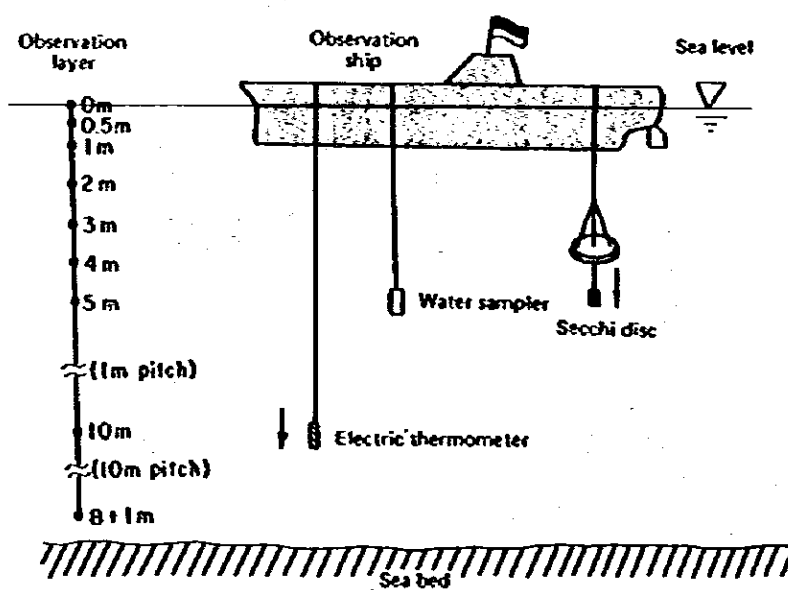


図11 4 - ④ 調査実施状況

図 II 4 - ④ に調査実施状況を示す。水温は ET-Ⅱ 電気水温計 (Electric Thermometer ET-Ⅱ) で各層を測定し、塩分は北原式採水器 (Kitahara's Sampling Bottle) にて採水しポリエチレンビンに入れ持ち帰った。また代表点においてアスマン乾湿計 (Assmann's Psychrometer) で気温、湿度を、ビラマ型風向風速計 (Biram Type Wind Vane and Anemometer) により風向風速を測定した。

2) 分 析

海水の塩分測定は、一般にサリノメータ法 (Salinometer) とモール滴定 (Mohr's titration) が用いられる。サリノメータ法は電気伝導度を測定しこれを塩分に換算する方法であり、短時間に精度のよい測定が行えるが、沿岸域で河川水、生活排水等の影響の大きな海水には好ましくない。モール滴定は塩素量 (Chlorinity) を硝酸銀滴定により測定する方法であり、精度はよいがサリノメータ法より時間を用する。図 II 4 - ⑤、図 II 4 - ⑥ に両方法を示す。

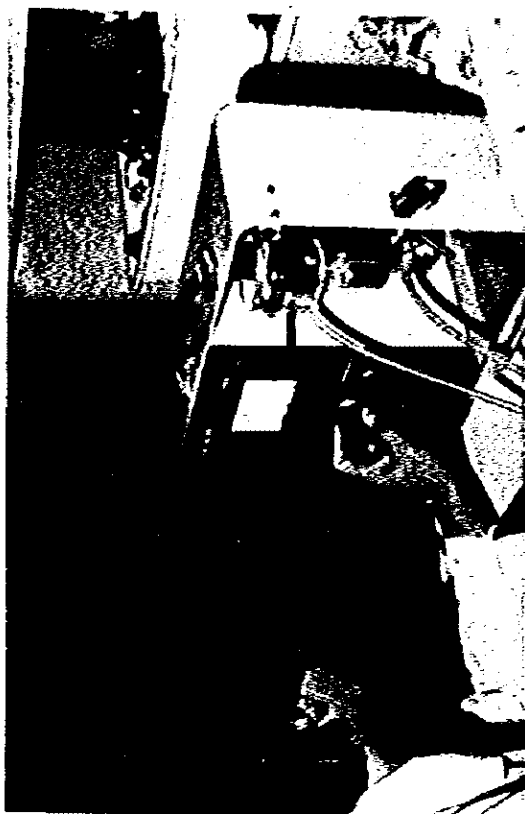
本調査では、サリノメータ法を用い、チェックのためモール滴定により代表点で測定した。表 II 4 - ④ に両方法による比較を示したが、 $\pm 0.2\%$ 以下で良い結果がえられた。

表 II 4 - ④ サリノメータ法とモール滴定の比較

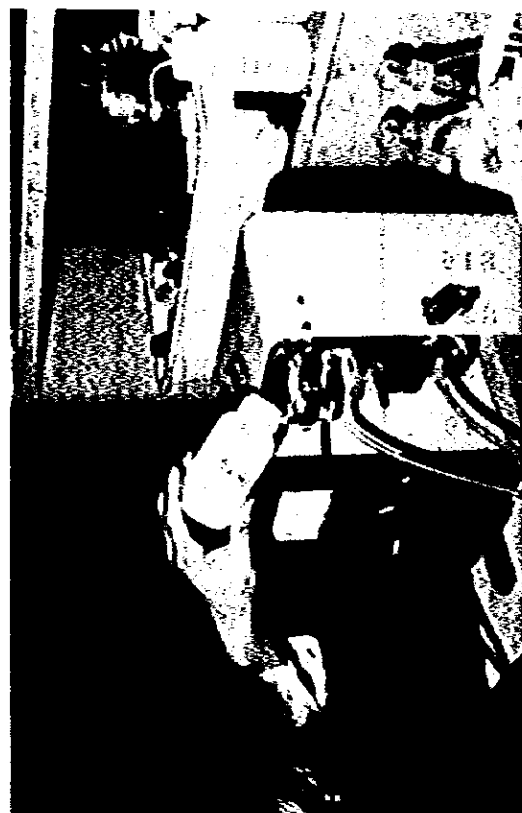
Survey point	Obsevation Layer (m)	Salinity (‰)		(B) - (A)
		(A) Mohr's titration	(B) Salinometer	
S5	-0.5	32.77	32.80	0.03
S16	-0.5	31.00	30.87	-0.13
S21	-0.5	32.84	32.80	-0.04
S39	-0.5	32.64	32.73	0.09
S49	-0.5	32.77	32.90	0.13
T1	-0.5	30.91	31.02	0.11
T9	-0.5	30.60	30.64	0.04
T15	-0.5	31.81	31.92	0.11
T28	-0.5	31.09	31.19	0.10
T32	-0.5	30.77	30.92	0.15



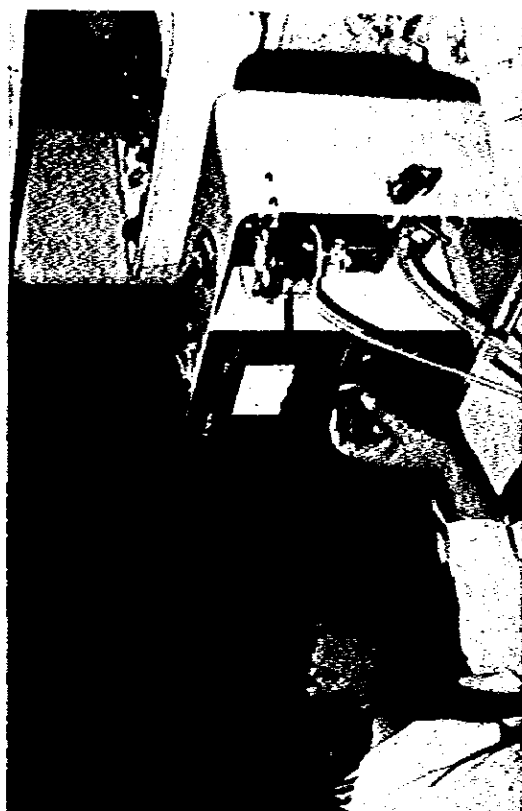
1. Standard sea water



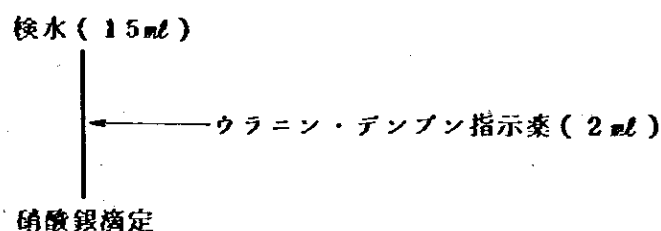
2. Measuring standard sea water,
and adjusted salinometer



3. Pour sample into cell



4. Measuring sample



〇かすかにピンクになったところを終点とする。

- ④1. あらかじめ標準海水で滴定し補正値を求めておく。
- ④2. 海水ビュレットの滴定値に補正を加えたものが求める塩素量である。
- ④3. 塩分は次の式により換算する。

$$(\text{Salinity})\text{‰} = 180655 \times (\text{Chlorinity})\text{‰}$$

図Ⅱ 4-⑥ 塩素量の測定 (モールの銀滴定法)

4-2-4 調査機器

本調査に使用した機器の概略説明及び図を次に示す。

1) 六分儀、三杆分度儀

三点両角法による位置決定は、六分儀で船上より目標間の水平角を測定し、その角度を三杆分度儀に整え海図上に置き位置を決める。測定は、六分儀を水平に保持し、望遠鏡で左側の物体に視線をむけ、右側の物体を反射させて水平鏡に導きマイクロメーターによって両像を一致させて六分儀の角度を読み水平角を求める。(図Ⅱ 4-③参照)

2) マスマン乾湿計

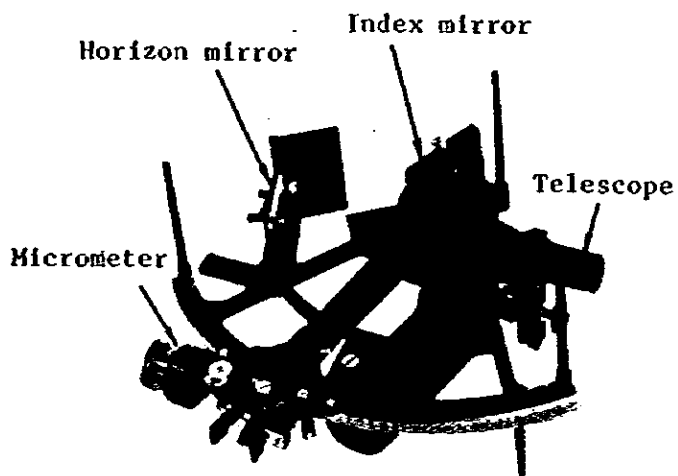
本器は、携帯用の乾湿計で、太陽の放射をできるだけ反射させるように、光沢めっきを施した金属管体に2本の温度計(乾球、湿球)を納め、頭部にゼンマイ駆動の強風装置を備えている。測定は、ゼンマイを巻き球部に2.5 m/s以上の風速で空気を吸込ませて約3～5分後に乾球と湿球を読みとり、湿度を求める。

3) 風向風速計(ピラム式)

本器は、携帯用の風向風速計で、ピラム式風車と矢羽根式風向計により構成される。風速は、100秒間の風車の回転数を歯車装置で読みとり、風向は矢羽根により指示した方向を読みとる。

4) 電気式水温計(モデルET-Ⅱ)

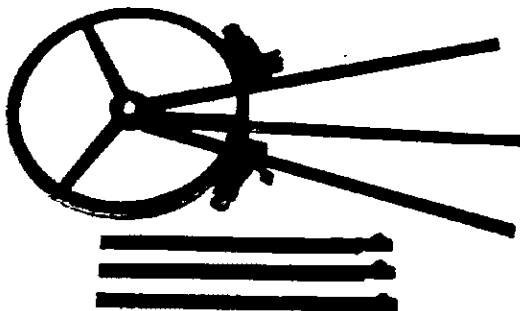
本器は、携帯用の水温計で、検出部に応答速計の早いサーミスター用い、1～2秒で応



SURVEYING SEXTANT (六分儀)

Specifications

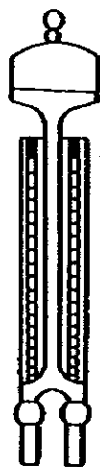
Light alloy casting:	
Radius:	162 mm
Graduation:	-5°C to 125°C
Reading:	
Micrometer reading:	1 min
Telescope:	4 x 40 mm
Horizon mirror:	
Circular:	50 mm dia.
Index mirror:	
Rectangular:	33 x 49 mm



STATION POINTER (三杆分度儀)

Specification:

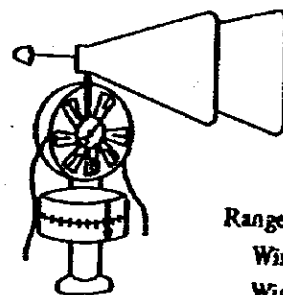
Out side diam. of circle:	24.5 cm
Graduation:	1°
Micrometer reading:	1 min
Length of arm:	40 cm
With adjustable arm:	65 cm



ASSMANN'S
PSYCHROMETER
(アスマン乾湿計)

Range: -30 ~ 50°C
Minimum Scale: 0.2°C

WIND VANE and ANEMOMETER
(Biram type)
(風向風速計)



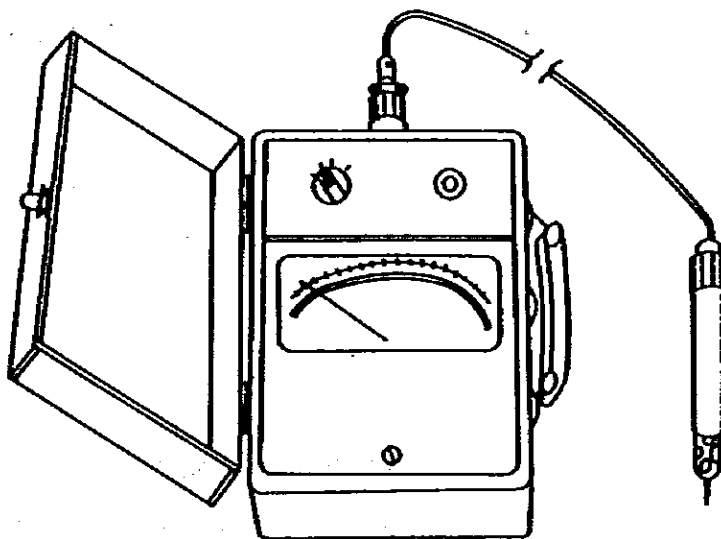
Range:
Wind Speed 0.5 ~ 15m/S
Wind Direction

図II 4 - ① 調査機器(I)

ELECTRIC THERMO METER

(ET-II)

(電気水温計)

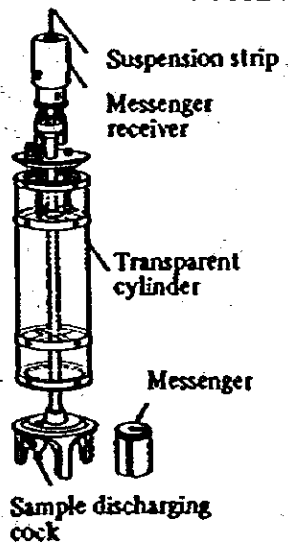


Sensor Type: Thermistor

Range: -5 ~ 10°C
10 ~ 25°C
25 ~ 40°C

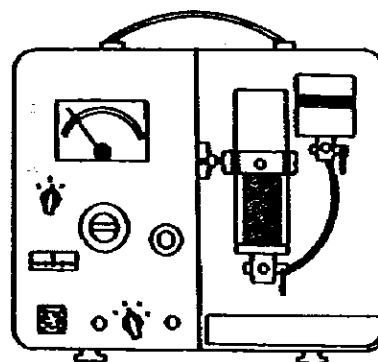
Power Source: 2 pcs. of SUM-2

KITAHARA'S SAMPLING BOTTLE (北原式採水器)



SALINOMETER

(TSE2) (サリノメーター)



Range: 0 ~ 40% S
30 ~ 40% S

Accuracy:
0 ~ 40% Range 0.04% S
30 ~ 40% Range 0.01% S

Power Source: AC 100V or
DC 12V

図II 4 - ⑦ 調査機器(2)

答して温度を指示する。

5) 北原式採水器

本器は浅海、湖沼、港湾などの中層で用いられる簡便な採水器で、筒部は透明なプラスチック製で内部が観察できる。

ロープで任意の深さに下ろし、ロープに沿ってメッセンジャーを落下させると、予め蓋を引き上げていた掛金が外れて蓋と共に採水筒が下がり、底部と密着して採水筒内部の水は、外部と遮断される。

6) サリノメーター

本器は、海水の電気伝導度測定によって、塩分を求める電気伝導度塩分計で、精度が高く迅速に測定ができる。

4-3 セラヤ地区の調査結果

4-3-1 調査実施日の気象と海象状況

表Ⅱ 4-⑤ に鉛上にて観測した海上気象を示す。表中の気温、湿度はアスマン乾湿計で、風向、風速はピラム型風向風速計で測定した。当日の気象は風も弱くおだやかであった。

表Ⅱ 4-⑤ 水温塩分調査、水質調査実施日の気象

Survey point	Time	Air Temperature (°C)	Humidity (%)	Wind Direction	Wind Speed (m/sec)
S5	13:00	29.5	86	N	2.9
S18	15:25	29.5	89	SE	6.6
S16	15:30	30.5	93	S	0.7

図Ⅱ 4-⑥ に調査時間の潮汐と流況を示す。

本図より調査時間の13～16時は15時4分を低潮とする干潮時であり、流況は全体的に東流を示し、セラヤ島をとり囲むような流れであった。また、干潮時の潮どまりによる転流は16時ごろ起こり、潮汐と約1時間の差があるため、当初予定していた弱い流速時の調査とはいかなかった。

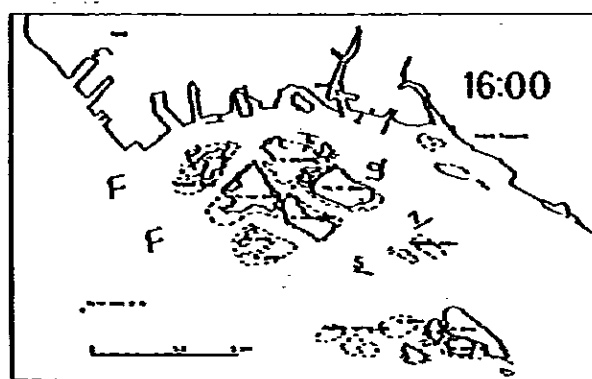
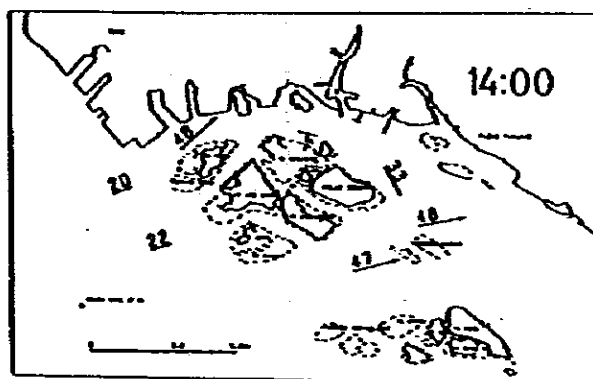
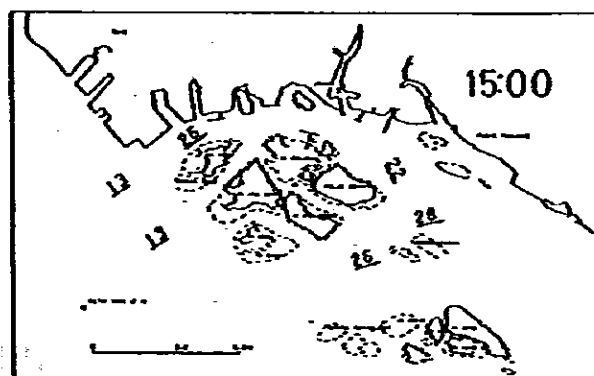
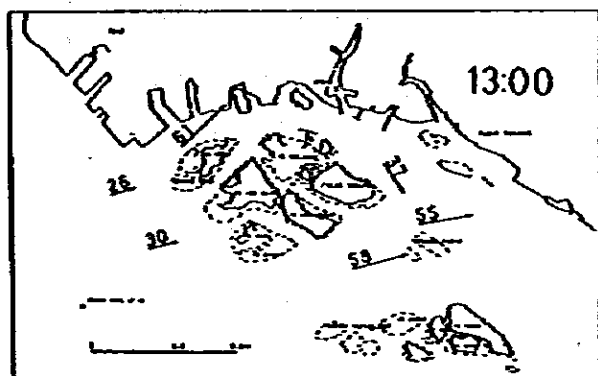
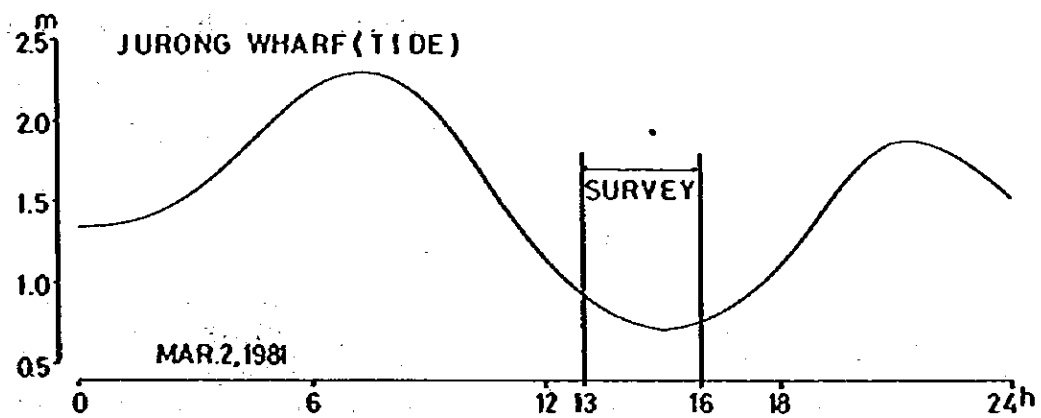


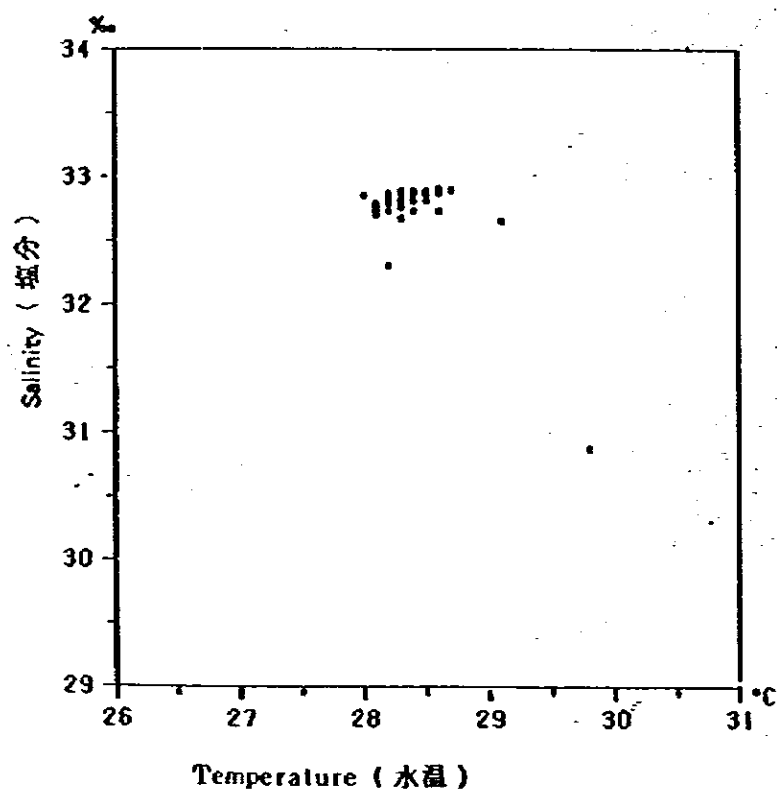
図 II 4 - ⑥ 調査時間の潮汐と流況

4-3-2 分布状況

表Ⅱ4-⑥に層別の状況を、表Ⅱ4-⑦に分析結果を、図Ⅱ4-⑨にSTダイアグラムを示す。ジュロン川河口のS16は、他に比べ高温で低塩分であるが、全体的に水温は下層は層ほど低くばらつきも少ない、塩分は層別の差はほとんどみられない。

表Ⅱ4-6 層別水温塩分状況

Layer	Temperature (°C)				Salinity (‰)			
	Min.	Max.	$\bar{X}$	σ	Min.	Max.	$\bar{X}$	σ
-0.5 m	28.1 ~ 29.8		28.4	0.30	30.87 ~ 32.91		32.78	0.28
-2 m	28.0 ~ 28.9		28.3	0.19	31.81 ~ 32.88		32.74	0.23
-5 m	27.9 ~ 28.5		28.1	0.10	32.73 ~ 32.88		32.83	0.04
-10 m	27.9 ~ 28.3		28.1	0.09	32.73 ~ 32.89		32.83	0.04
B+1 m	27.9 ~ 28.3		28.1	0.09	32.68 ~ 32.90		32.81	0.09



図Ⅱ4-⑨ セラヤ地区のSTダイアグラム

表II 4-② 水温塩分調査分析結果表(セラヤ地区)(1)

調査日 1981年3月2日

Sta- tion No.	Time	Depth (m)	Temperature (°C)							Salinity (‰)						
			0.5	1	2	3	5	10	B+1	0.5	1	2	3	5	10	B+1
S 1	14:50~14:56	6.5	29.1	29.0	28.9	28.6	-	-	28.0	32.65	32.62	32.65	32.63	-	-	32.68
S 2	14:30~14:34	11.7	28.2	-	28.0	-	28.0	28.0	28.0	32.73	-	-	-	-	-	-
S 3	13:37~13:45	13.2	28.4	-	28.4	-	28.3	28.3	28.3	32.73	-	32.73	-	32.73	32.73	32.74
S 4	13:20~13:28	27.0	28.2	-	28.2	-	28.1	28.1	28.0	32.82	-	-	-	-	-	-
S 5	13:00~13:10	25.0	28.2	-	28.2	-	28.1	28.1	28.1	32.80	-	32.62	-	32.77	32.78	32.79
S 6	13:00~13:30	26.0	28.1	-	28.1	-	28.1	28.1	28.1	32.77	-	32.75	-	32.77	32.76	32.57
S 7	15:03~15:06	12.3	28.6	-	28.5	-	28.1	28.1	28.1	32.73	-	-	-	-	-	-
S 8	14:22~14:26	11.7	28.2	-	28.1	-	28.0	28.0	28.0	32.79	-	-	-	-	-	-
S 9	13:55~14:01	16.8	28.1	-	28.1	-	28.0	28.0	28.0	32.76	-	-	-	-	-	-
S10	13:36~13:45	27.0	28.3	-	28.2	-	28.2	28.1	28.1	32.81	-	-	-	-	-	-
S11	15:12~15:15	11.5	28.3	28.3	28.2	-	28.1	-	28.0	32.76	-	-	-	-	-	-
S12	14:10~14:17	13.9	28.1	-	28.0	-	28.0	28.0	28.0	32.79	-	32.53	-	32.80	32.81	32.81
S13	14:52~15:00	19.0	28.3	-	28.3	-	28.1	28.1	28.1	32.84	-	32.82	-	32.82	32.82	32.84
S14	14:40~14:44	18.0	28.2	-	28.3	-	28.2	28.1	28.1	32.82	-	-	-	-	-	-
S15	13:51~13:58	18.0	28.1	-	28.1	-	28.2	28.1	28.1	32.70	-	-	-	-	-	-
S16	15:25~15:37	6.2	29.8	29.8	28.5	28.2	-	-	27.9	30.87	31.32	31.81	31.75	-	-	32.75
S17	15:15~15:19	18.0	28.3	-	28.2	-	28.1	28.0	28.0	32.67	-	-	-	-	-	-
S18	15:23~15:26	13.2	28.3	-	28.3	-	28.1	28.1	28.1	32.89	-	-	-	-	-	-
S19	15:11~15:15	17.0	28.5	-	28.3	-	28.3	28.2	28.1	32.81	-	-	-	-	-	-
S20	14:30~14:35	18.0	28.3	-	28.3	-	28.2	28.1	28.1	32.81	-	-	-	-	-	-
S21	14:07~14:23	20.0	28.2	-	28.2	-	28.2	28.2	28.1	32.80	-	32.84	-	32.82	32.82	32.83
S22	14:57~15:03	25.3	28.2	-	28.2	-	28.1	28.1	28.0	32.83	-	-	-	-	-	-
S23	12:57~13:05	23.0	28.2	-	28.2	-	28.2	28.2	28.2	32.86	-	-	-	-	-	-
S24	14:37~14:50	18.4	28.2	-	28.2	-	28.2	28.1	28.1	32.85	-	32.60	-	32.81	32.81	32.74
S25	15:23~15:32	11.5	28.4	28.4	28.3	-	28.3	-	28.1	32.86	32.84	32.84	-	32.84	-	32.82

表II 4-② 水温塩分調査分析結果表 (セラヤ地区) (2)

Sta- tion No.	Time	Depth (m)	Temperature (°C)							Salinity (‰)						
			0.5	1	2	3	5	10	B+1	0.5	1	2	3	5	10	B+1
S26	13:16~13:19	19.0	28.2	-	28.2	-	28.2	28.2	28.2	3286	-	-	-	-	-	-
S27	14:23~14:30	25.1	28.2	-	28.2	-	28.1	28.0	28.0	3283	-	-	-	-	-	-
S28	14:08~14:15	12.0	28.4	-	28.2	-	28.2	28.1	28.1	3281	-	3283	-	3280	3281	3283
S29	14:43~14:51	11.6	28.2	28.2	28.2	-	28.1	-	28.1	3287	3287	3286	-	3286	-	3286
S30	13:28~13:39	18.5	28.2	-	28.2	-	28.2	28.2	28.2	3286	-	3286	-	3286	3286	3265
S31	13:31~13:44	24.2	28.1	-	28.1	-	28.1	28.0	28.0	3273	-	3284	-	3284	3284	3286
S32	13:58~14:03	14.5	28.2	-	28.2	-	28.1	28.1	28.1	3286	-	-	-	-	-	-
S33	14:35~14:38	9.7	28.5	28.5	28.4	-	28.2	-	28.1	3289	-	-	-	-	-	-
S34	13:49~13:53	15.4	28.4	-	28.3	-	28.2	28.2	28.2	3289	-	-	-	-	-	-
S35	13:20~13:24	15.7	28.0	-	28.0	-	28.0	28.0	28.0	3285	-	-	-	-	-	-
S36	13:45~13:59	12.0	28.5	-	28.3	-	28.2	28.0	28.0	3286	-	3286	-	3288	3289	3289
S37	14:26~14:29	12.0	28.6	28.6	28.5	-	28.1	-	28.1	3290	-	-	-	-	-	-
S38	14:00~14:08	19.0	28.7	-	28.6	-	28.2	28.2	28.2	3289	-	3284	-	3287	3287	3287
S39	13:00~13:12	13.4	28.1	-	28.1	-	28.1	28.1	28.1	3273	-	3282	-	3283	3283	3284
S40	15:29~15:32	16.0	28.6	-	28.6	-	28.5	28.2	28.2	3288	-	-	-	-	-	-
S41	15:21~15:24	8.5	28.6	28.6	28.6	-	28.1	-	28.1	3287	-	-	-	-	-	-
S42	14:11~14:15	14.0	28.6	-	28.4	-	28.1	28.0	27.9	3289	-	-	-	-	-	-
S43	13:28~13:34	13.0	28.7	-	28.4	-	28.2	28.0	28.0	3289	-	-	-	-	-	-
S44	14:16~14:20	14.5	28.6	-	28.5	-	28.1	28.0	28.0	3291	-	-	-	-	-	-
S45	15:36~15:45	12.0	28.2	-	28.2	-	27.9	27.9	27.8	3280	-	3281	-	3283	3286	3287
S46	15:08~15:12	11.0	28.6	28.6	28.6	-	28.1	-	28.0	3290	-	-	-	-	-	-
S47	14:22~14:35	16.0	28.7	-	28.7	-	28.1	28.0	27.9	3290	-	3288	-	3288	3288	3288
S48	13:00~13:20	14.0	28.7	-	28.4	-	28.1	28.0	28.0	3290	-	3288	-	3287	3287	3288
S49	14:47~15:02	11.0	28.5	28.5	28.4	-	28.0	-	27.9	3289	3289	3288	-	3288	-	3290

1) 水温の水平分布

図 II 4 - ⑩ に層別の水温水平分布を示す。-0.5 m と -2 m はパンダン川、ジュロン川の河口にある S1, S16 は他測点より高い値を示し、メリアム島の西側は東側よりやや高い値を示した。また、-5 m, -10 m, B+1 m の各層は平均値がともに 28.1℃ でばらつきは小さい。

2) 塩分の水平分布

図 II 4 - ⑪ に層別の塩分水平分布を示す。水温の高かった S1, S16 をみると、S16 では他の測点より -0.5 m で 2 ‰ 程低く、-2 m で 1 ‰ 程低かった。一方 S1 では顕著な差はなく、パンダン川の淡水供給量が少ないことがわかる。また各層ともばらつきが少なく約 32.8 ‰ を示していた。

3) 水温塩分の鉛直分布

図 II 4 - ⑫ に代表点の水温塩分の鉛直分布を示す。水温は S16 で -0.5 m と B+1 m で 1.6℃ の差が見られるが、他は下層でやや低い、差は小さい。塩分は S16 で -0.5 m と B+1 m で約 2 ‰ の差がみられるが、他はほとんど差はない。

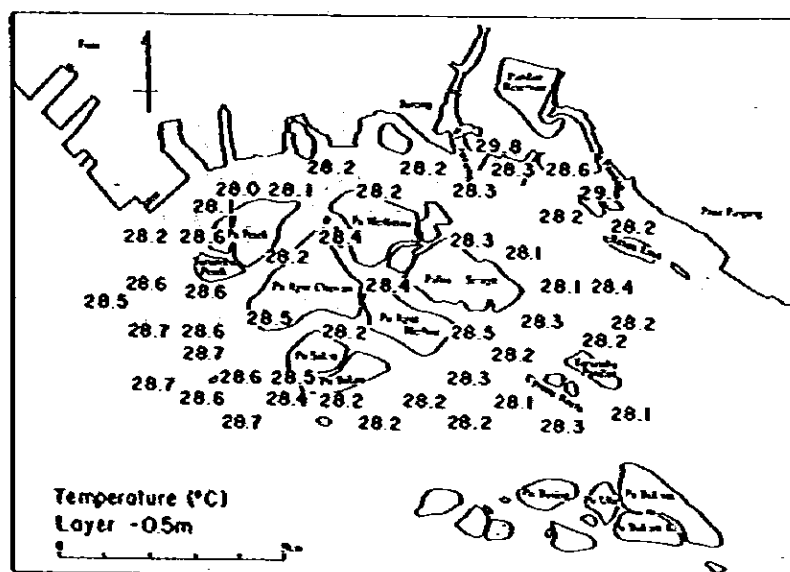
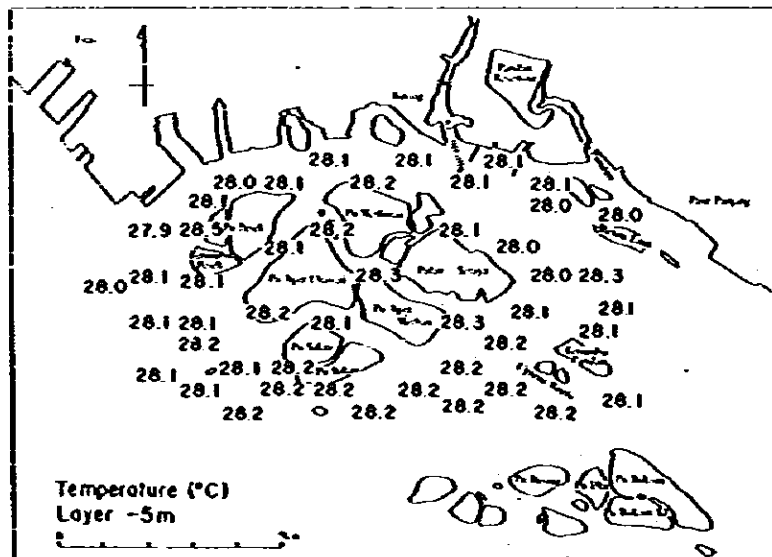
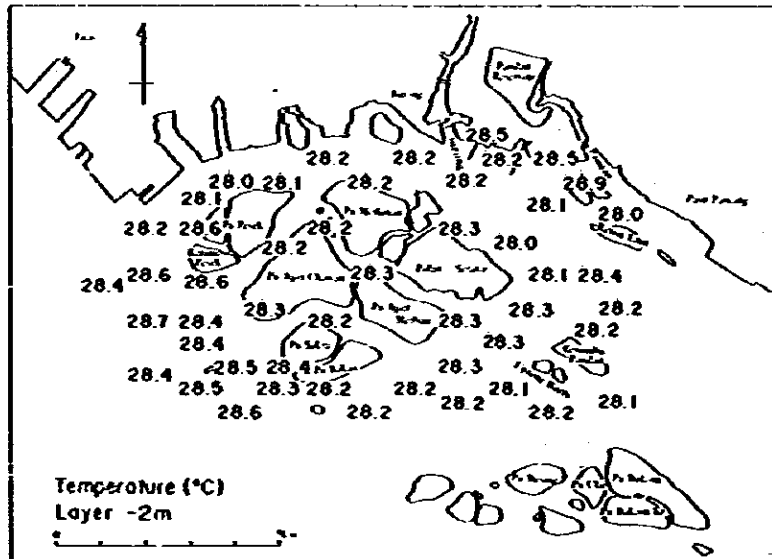
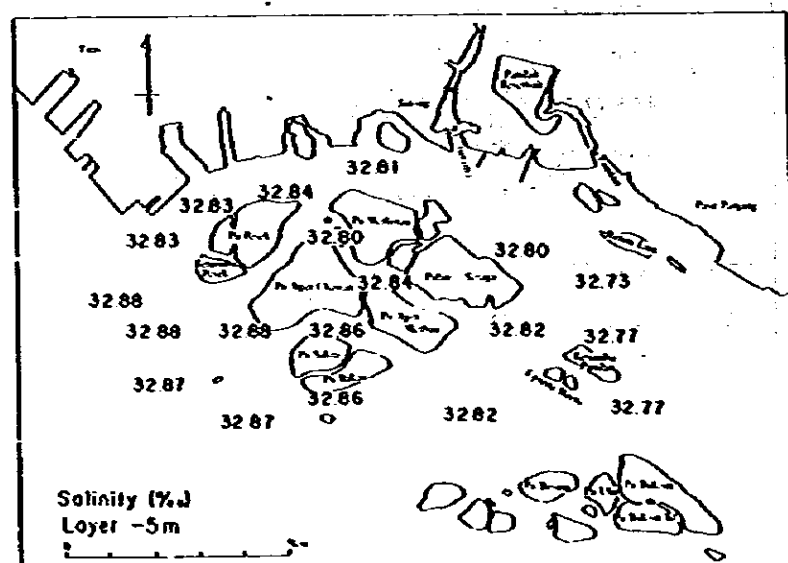
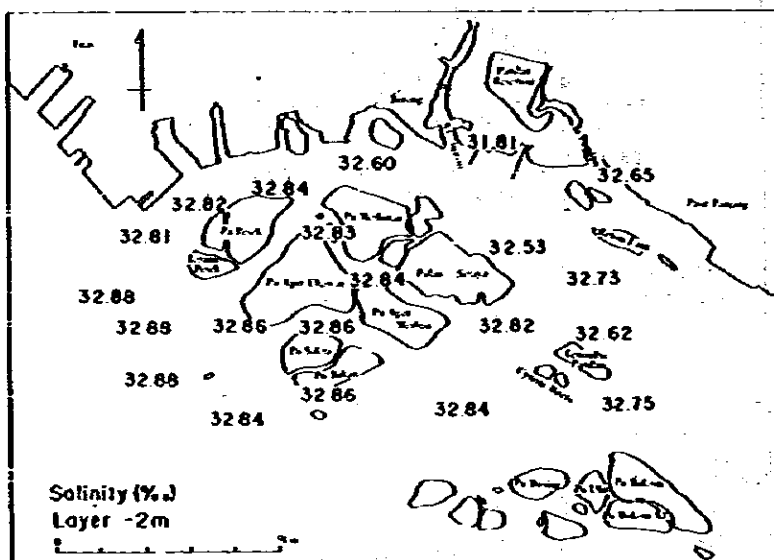
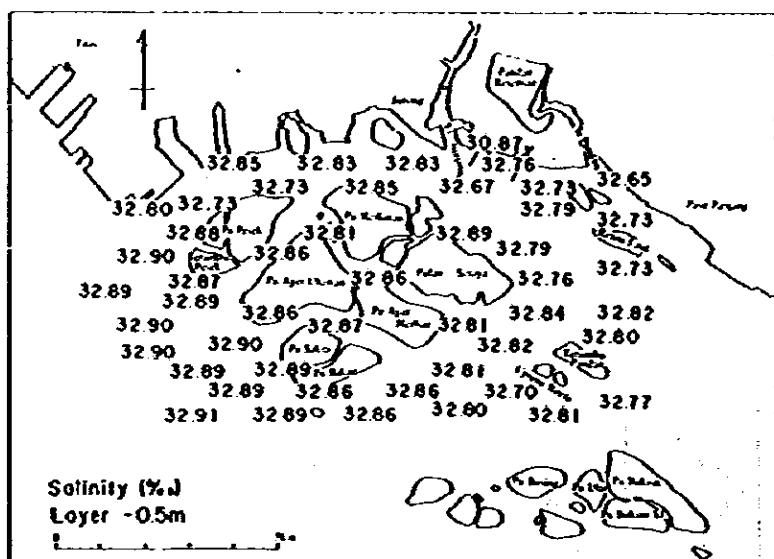


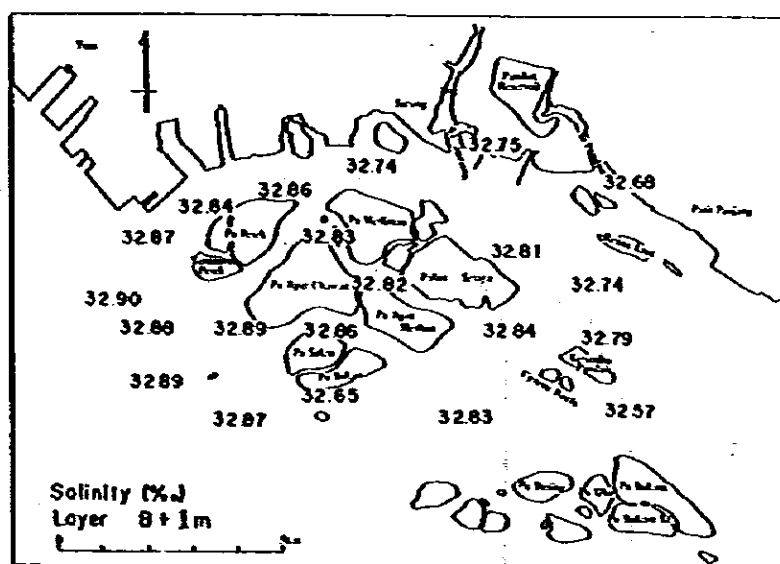
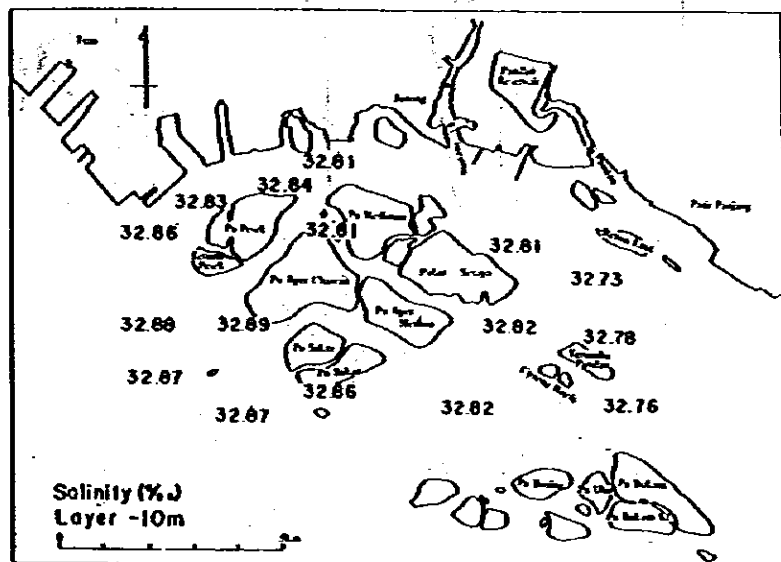
図 II 4 - ⑩ セラヤ地区の水温水平分布(I)



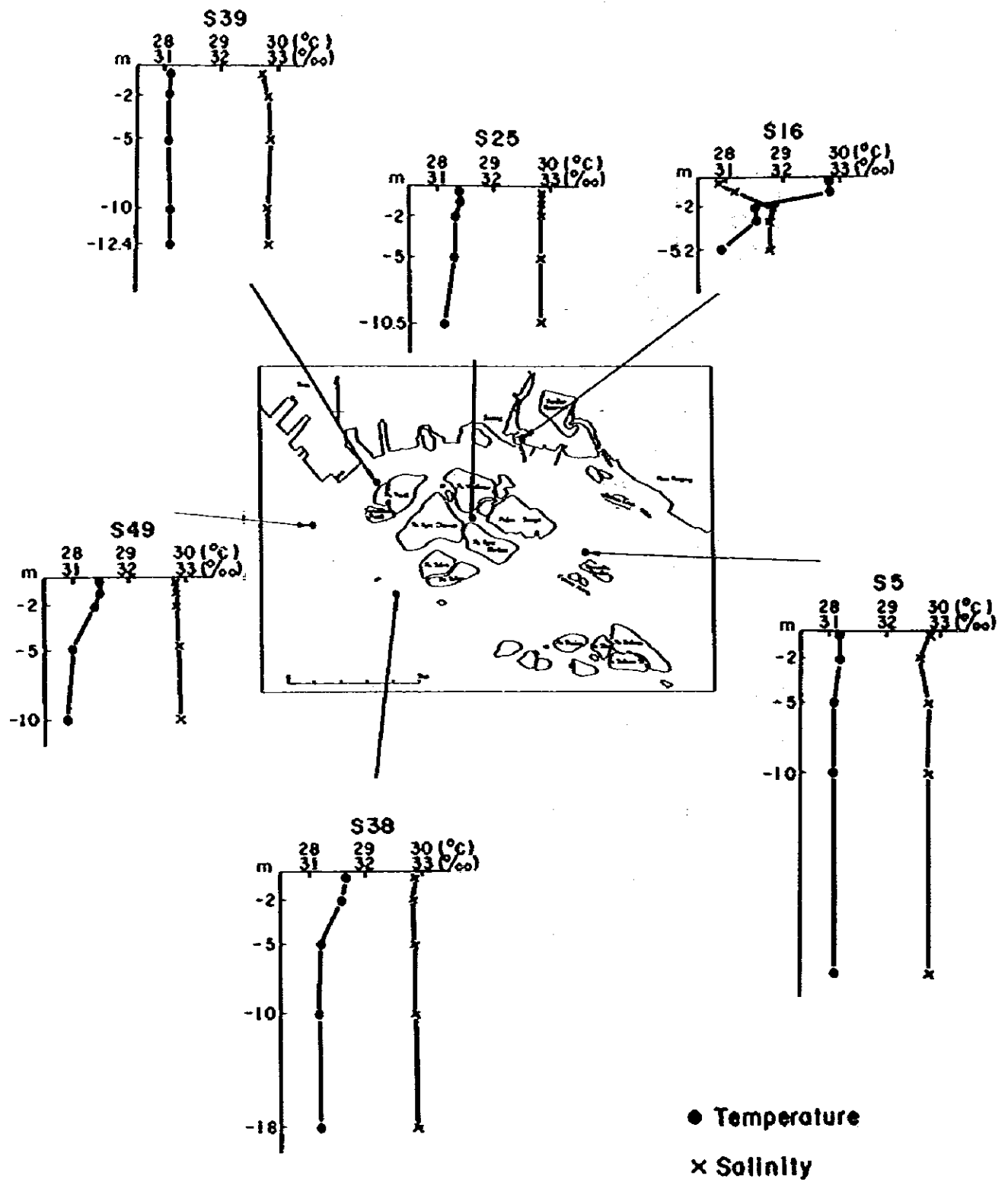
図II 4-⑩ セラヤ地区の水温水水平分布(2)



図II 4-⑪ セラヤ地区の塩分水平分布(I)



図II 4-Q① セラヤ地区の塩分水平分布(2)



図II 4-⑫ セラヤ地区の水温塩分鉛直分布図

4-4 テコン地区の調査結果

4-4-1 調査実施日の気象と海象状況

表 II 4-⑧ に示すように当日の気象は風も弱くおだやかであった。

表 II 4-⑧ 水温塩分調査、水質調査実施日の気象

Suvey Points	Time	Ain temperature (°C)	Hvmdity (%)	Wind Pirection	Wind Speed (m/sec)
T12	15:00	30.5	70	NW	2.6
T15	15:00	29.1	80	N	5.5

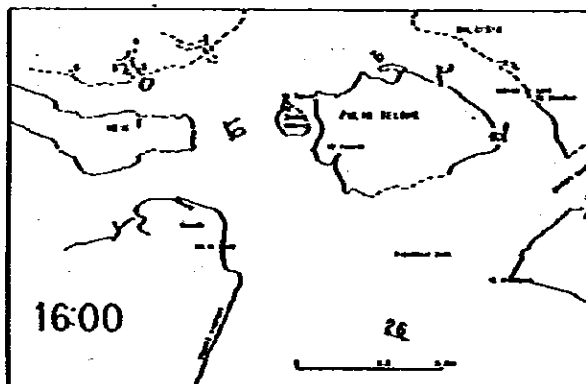
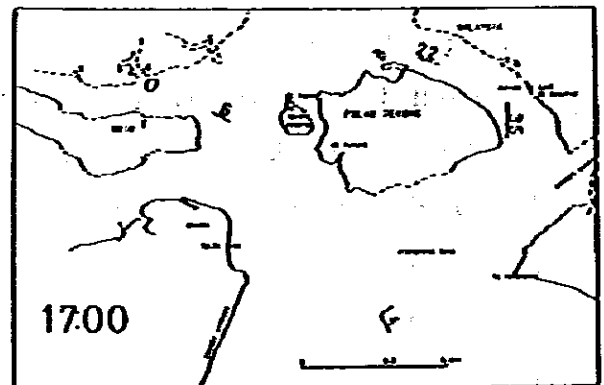
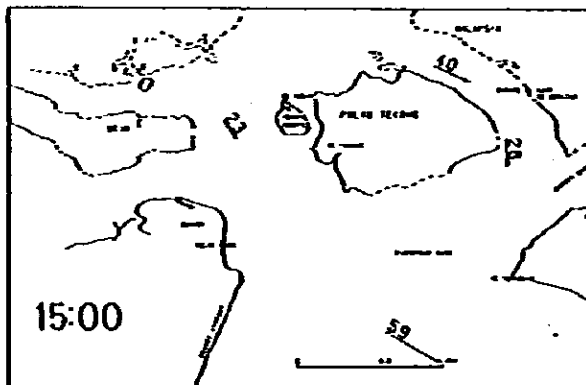
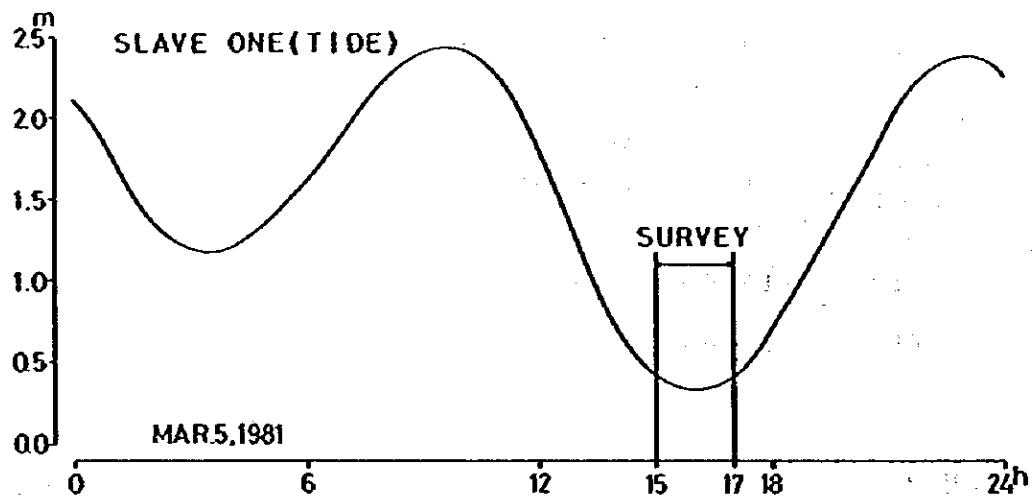
図 II 4-⑬ に調査時間の潮めと流況を示す。本図より調査時間の15~17時は15時50分を低潮とする干潮時であり、流況は全体的に16時ごろ転流が起こり、予定通り弱い流速の時調査を行うことができた。全体的に転流前は南流で、転流後は北流であった。

4-4-2 分布状況

表 II 4-⑨ に層別状況を、表 II 4-⑩ に分析結果を、図 II 4-⑭ にSTダイアグラムを示す。水温は層別の差はみられず全点全層28℃台を示した。塩分も層別の差はみられず全体に30.58~32.39‰とセラヤ海域に比べばらつきが大きかった。

表 II 4-⑨ 層別水温塩分状況

Layer	Temperature (°C)				Salinity (‰)			
	Min.	Max	$\bar{X}$	σ	Min.	Max	$\bar{X}$	σ
-0.5m	28.2 ~ 28.9		28.5	0.14	30.64 ~ 32.38		31.43	0.50
-2 m	28.2 ~ 28.9		28.5	0.14	30.59 ~ 31.93		31.16	0.47
-5 m	28.2 ~ 28.7		28.4	0.13	30.58 ~ 31.95		31.20	0.46
-10m	28.2 ~ 28.5		28.4	0.09	30.60 ~ 31.99		31.34	0.49
B+1m	28.2 ~ 28.9		28.4	0.15	30.59 ~ 32.39		31.51	0.60



図II 4-③ 調査時間の潮汐と流況

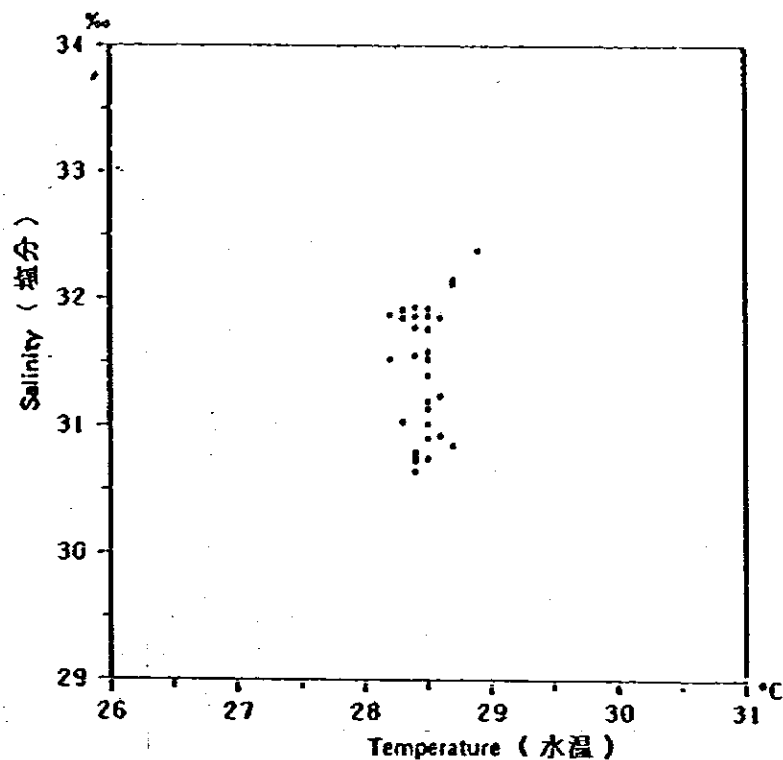


図 II 4-⑱ テコン地区のSTダイアグラム

1) 水温の水平分布

図 II 4 - ⑱ に層別の水温水平分布を示す。-0.5 m と -2 m は水深が 2.4 m と浅い T 4 では 28.9°C と他測点より高い値を示しているが、他の層ではほとんど大きな差はなく、セラヤ海域よりさらにばらつきも上層と下層の差も小さい。

2) 塩分の水平分布

図 II 4 - ⑱ に層別の塩分水平分布を示す。-0.5 m 層は水温と同様 T 4 では 32.38 ‰ と他測点より高い値を示しているが、全体的にはテコン島の北側は南側に比べ約 1 ‰ 低い。これはジョホール水道の影響と思われる。-2 m, -5 m, -10 m, 及び B+1 m 層は、それぞれ代表点のみで明確ではないが、-0.5 m 層と同様にテコン島の北側は南側に比べ低い。また、ばらつきはテコン地区に比べ大きい。

3) 水温塩分の鉛直分布

図 II 4 - ⑱ に代表的な水温塩分の鉛直分布を示す。水温、塩分とも鉛直分布の差はほとんど見られなかった。

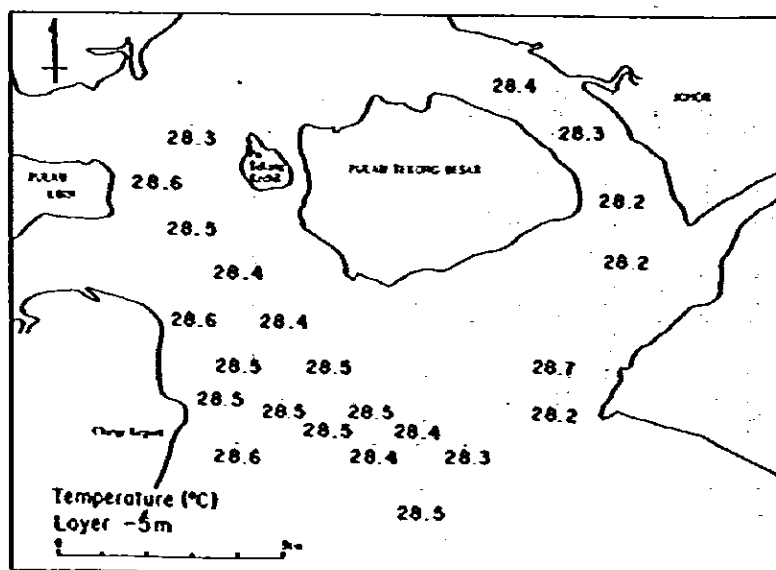
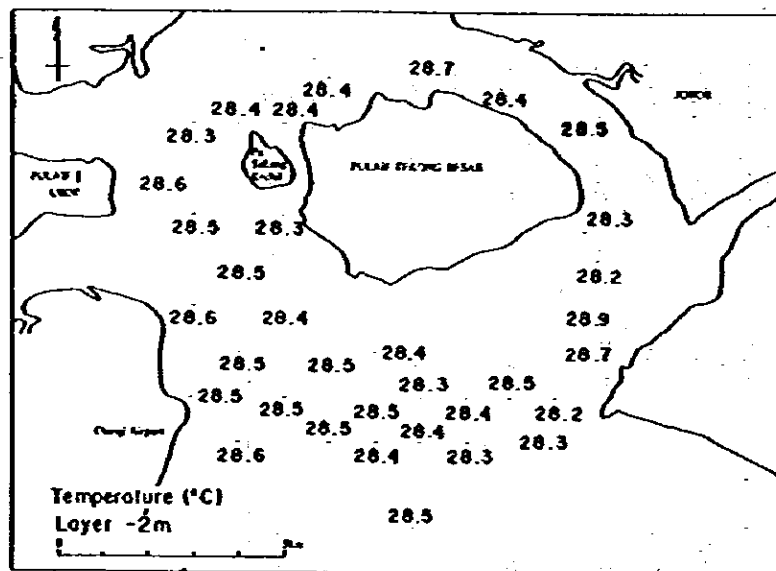
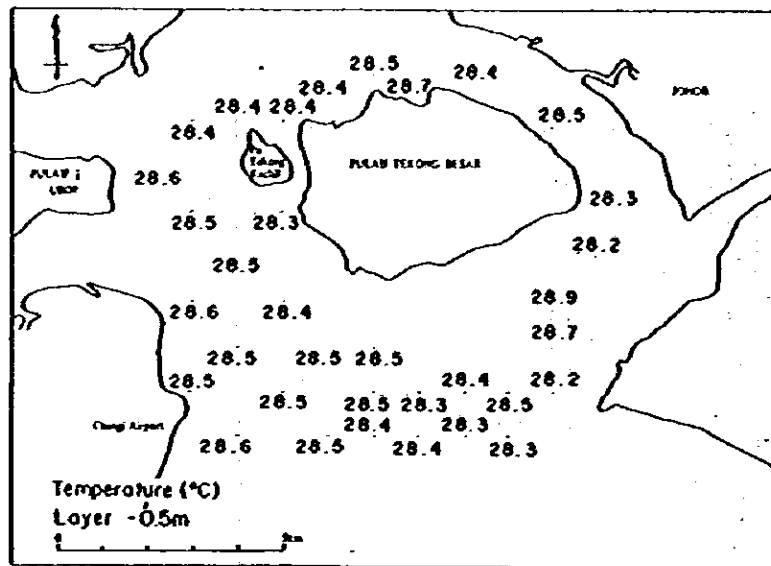
表Ⅱ 4-② 水温度分調査分析結果表(クマノ地区)(1)

調査日 1981年3月5日

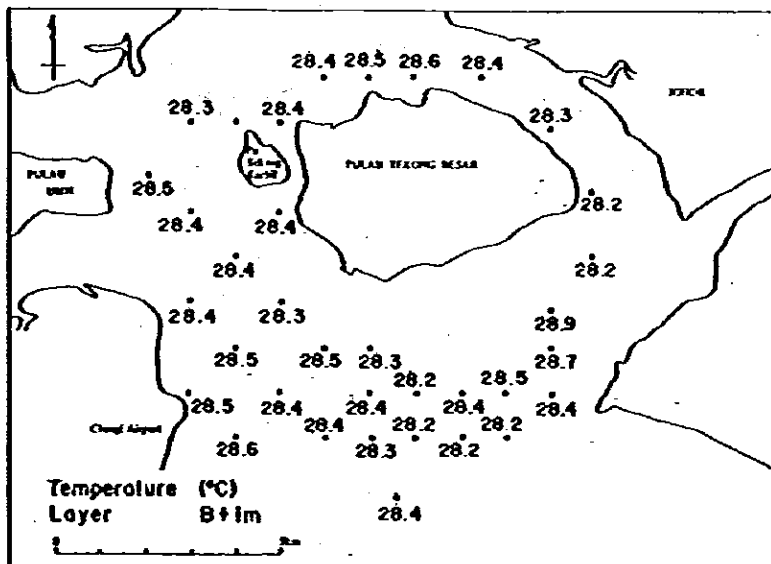
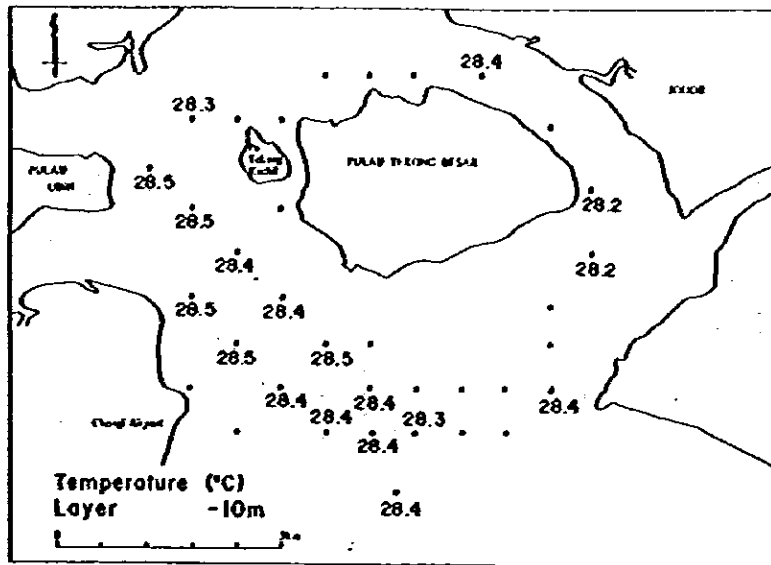
Sta- tion No	Time	Depth (m)	Temperature (°C)							Salinity (‰)						
			0.5	1	2	3	5	10	B+1	0.5	1	2	3	5	10	B+1
T 1	15:45~15:55	12.7	28.3	-	28.3	-	28.2	28.2	28.2	31.02	-	30.95	-	30.96	31.17	31.21
T 2	16:15~16:25	12.7	28.2	-	28.2	-	28.2	28.2	28.2	31.52	-	-	-	-	-	-
T 3	15:25~15:38	10.0	28.5	28.5	28.5	-	28.3	-	28.2	30.90	30.89	30.89	-	30.90	-	30.90
T 4	16:35~16:45	24	28.9	28.9	28.9	-	-	-	28.9	32.38	32.39	-	-	-	-	32.39
T 5	15:00~15:10	6.0	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	-	28.7	32.11	-	-	-	-	-	-
T 6	15:20~15:27	12.5	28.2	-	28.2	-	28.2	28.4	28.4	31.87	-	-	-	-	-	-
T 7	15:40~15:45	4.0	28.5	28.5	28.5	28.5	-	-	28.5	32.15	-	-	-	-	-	-
T 8	15:51~15:55	7.0	28.3	28.3	28.3	28.3	-	-	28.2	31.91	-	-	-	-	-	-
T 9	15:00~15:15	13.7	28.4	-	28.4	-	28.4	28.4	28.4	30.64	-	30.59	-	30.58	30.60	30.59
T10	16:12~16:17	4.5	28.4	28.4	28.4	28.4	-	-	28.4	31.93	-	-	-	-	-	-
T11	16:00~16:06	11.2	28.3	28.3	28.3	-	28.3	-	28.2	31.85	-	-	-	-	-	-
T12	15:00~15:06	7.7	28.7	28.7	28.7	28.6	-	-	28.6	30.84	-	-	-	-	-	-
T13	16:21~16:36	6.9	28.3	28.3	28.3	28.3	-	-	28.2	31.84	31.80	31.80	31.72	-	-	32.17
T14	16:43~16:50	15.0	28.4	-	28.4	-	28.4	28.3	28.2	31.77	-	-	-	-	-	-
T15	14:58~15:10	18.2	28.5	-	28.5	-	28.5	28.4	28.4	31.92	-	31.93	-	31.93	31.99	32.01
T16	15:17~15:21	4.3	28.5	28.5	28.5	28.5	-	-	28.5	30.74	30.74	30.74	30.74	-	-	30.75
T17	15:00~15:08	7.0	28.5	28.5	28.4	28.4	-	-	28.3	31.13	-	-	-	-	-	-
T18	15:32~15:36	17.8	28.5	-	28.5	-	28.5	28.4	28.4	31.58	-	-	-	-	-	-
T19	15:21~15:26	23.4	28.4	-	28.4	-	28.4	28.4	28.3	31.86	-	-	-	-	-	-
T20	15:32~15:35	24	28.4	28.4	28.4	-	-	-	28.4	30.74	-	-	-	-	-	-
T21	15:21~15:38	16.0	28.5	-	28.5	-	28.5	28.5	28.5	31.75	-	31.75	-	31.77	31.89	32.00
T22	15:41~15:46	19.8	28.5	-	28.5	-	28.5	28.4	28.4	31.76	-	-	-	-	-	-
T23	15:45~15:50	3.0	28.4	28.4	28.4	-	-	-	28.4	30.77	-	-	-	-	-	-
T24	15:55~16:00	7.2	28.3	28.3	28.3	28.3	-	-	28.4	31.03	-	-	-	-	-	-
T25	16:00~16:06	17.0	28.4	-	28.4	-	28.4	28.4	28.3	31.55	-	-	-	-	-	-

表II 4-⑩ 水温塩分調査分析結果表(オコン地区)(2)

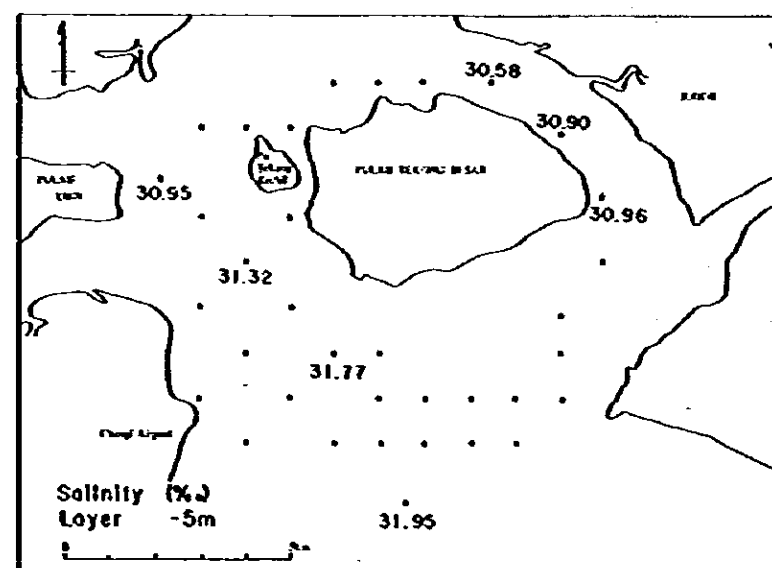
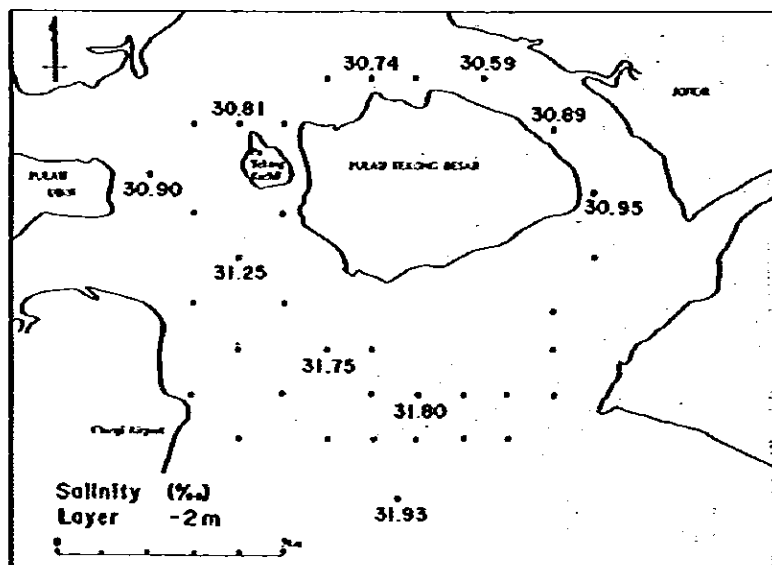
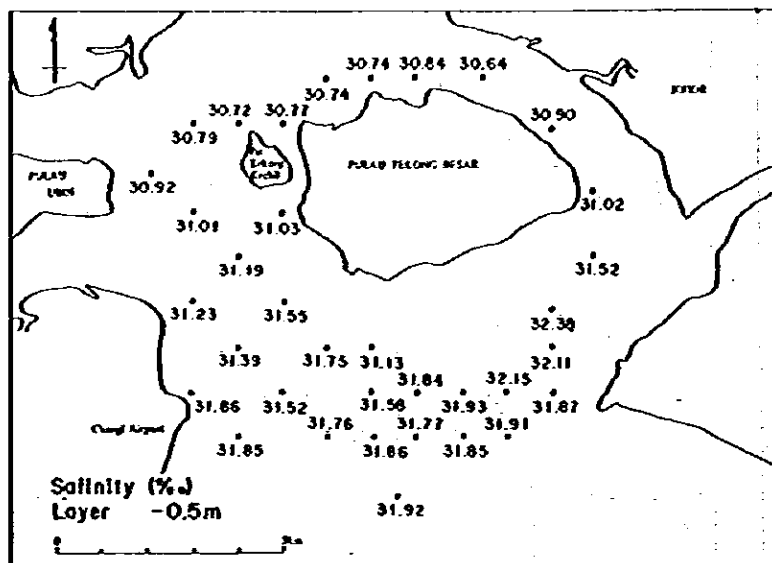
Station No.	Time	Depth (m)	Temperature (°C)								Salinity (‰)							
			0.5	1	2	3	5	10	B+1	0.5	1	2	3	5	10	B+1		
T26	15:57~16:02	23.5	28.5	-	28.5	-	28.5	28.4	28.4	31.52	-	-	-	-	-	-		
T27	16:12~16:18	3.2	28.4	28.4	28.4	28.4	-	-	-	30.72	30.82	30.81	30.84	-	-	-		
T28	16:41~16:52	17.0	28.5	-	28.5	-	28.4	28.4	28.4	31.19	-	31.25	-	31.32	31.46	31.52		
T29	16:12~16:17	19.0	28.5	-	28.5	-	28.5	28.5	28.5	31.39	-	-	-	-	-	-		
T30	16:11~16:14	7.8	28.6	28.6	28.6	-	28.6	-	28.6	31.85	-	-	-	-	-	-		
T31	16:25~16:30	16.0	28.4	-	28.3	-	28.3	28.3	28.3	30.79	-	-	-	-	-	-		
T32	16:37~16:45	20.7	28.6	-	28.6	-	28.6	28.5	28.5	30.92	-	30.90	-	30.95	30.95	31.58		
T33	16:57~16:59	15.0	28.5	-	28.5	-	28.5	28.5	28.4	31.01	-	-	-	-	-	-		
T34	16:27~16:31	25.0	28.6	-	28.6	-	28.6	28.5	28.4	31.23	-	-	-	-	-	-		
T35	16:22~16:26	8.2	28.5	28.5	28.5	-	28.5	-	28.5	31.86	-	-	-	-	-	-		
			28.46		28.45		28.43	28.39	28.40	31.429		31.161		31.204	31.343	31.512		
			0.139		0.142		0.133	0.091	0.150	0.495		0.465		0.462	0.494	0.599		



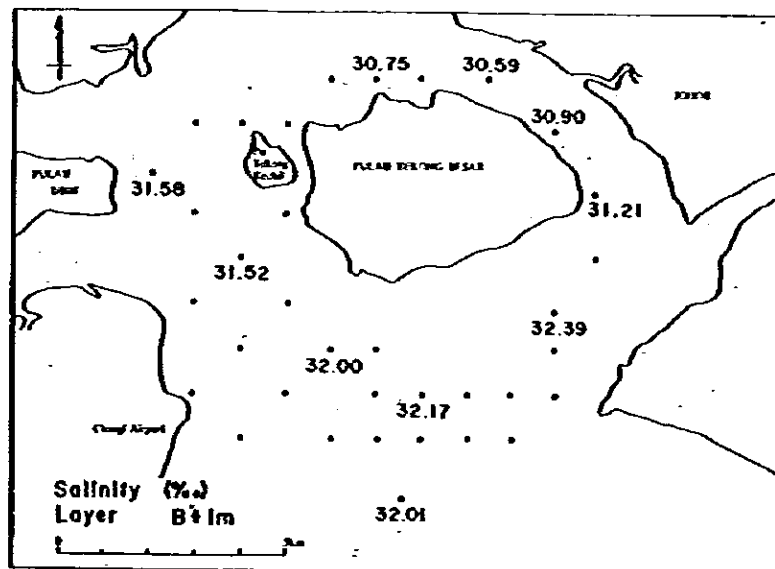
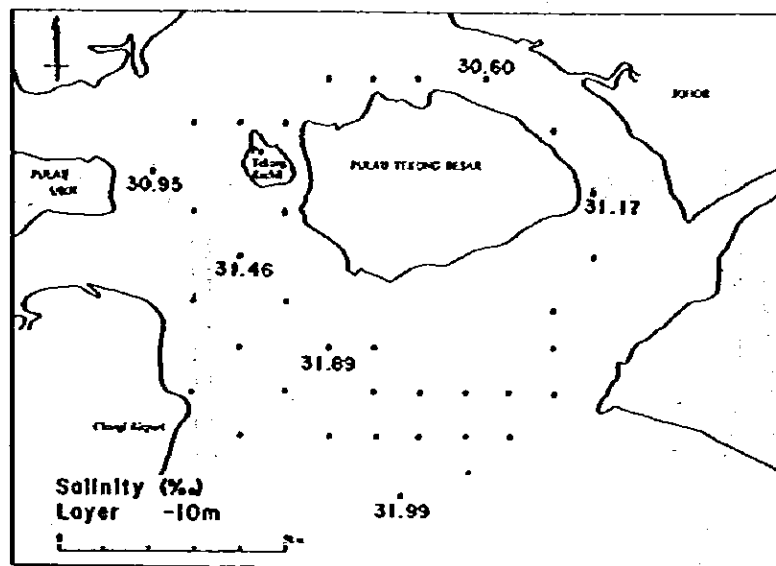
図II 4-19 テコング地区の水温水平分布(I)



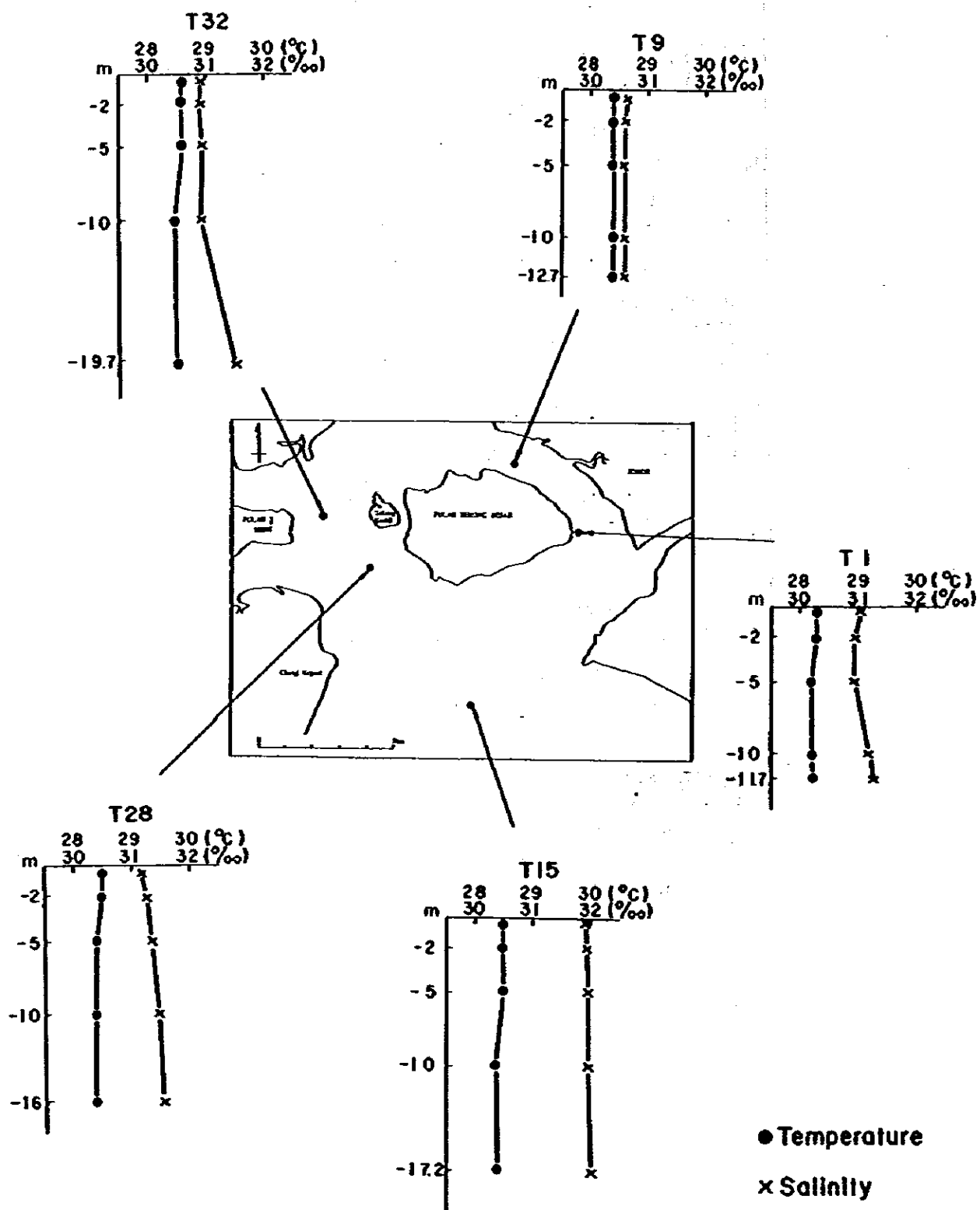
図II 4-⑬ テコン地区の水温水平分布(2)



図II 4-16 テコン地区の塩分水平分布(1)



図II 4-⑯ テコソ地区の塩分水平分布(2)



図II 4-⑪ テコン地区の水湿塩分鉛直分布図

II - 5 水 質 調 査

5-1 概 要

本調査は汚染予測対象海域（セラヤ及びテコン島周辺海域）の水質分布状況の把握するため実施した。また本調査結果は、汚染予測シミュレーションにおいて調査海域の水質拡散計算の基礎資料として使用するものである。

表 II 5 - ① に本調査の概要を示す。

表 II 5 - ① 水質調査概要

Area	Survey Item	Observation Layer	Survey points	Date, Time
Seraya	COD	-0.5 m	21 points	
	Transparency	—	49 points	Mar. 2, 1981
	Color of sea	—	49 points	13:00~16:00
	Chlorophyll-a	-0.5 m	5 points	
	COD	-0.5 m	11 points	
Tekong	Transparency	—	35 points	Mar. 5, 1981
	Color of sea	—	35 points	15:00~17:00
	Chlorophyll-a	-0.5 m	5 points	

5-2 現地調査の実施状況

5-2-1 調査測点

図 II 5 - ① に本調査測点図を示す。COD及びクロロフィル-aの調査測点は前述の水温塩分調査測点より代表的を選び、透明度及び水色は水温塩分調査と同測点で測定した。

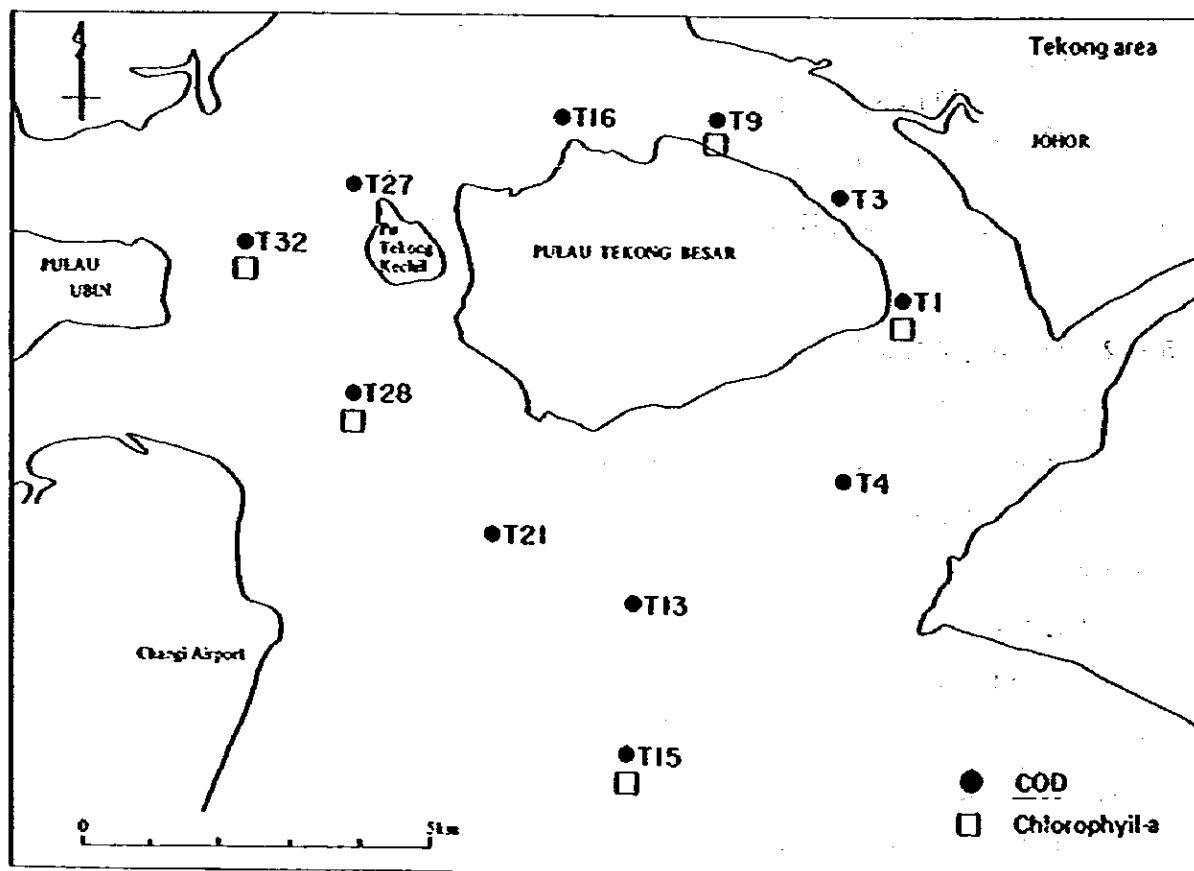
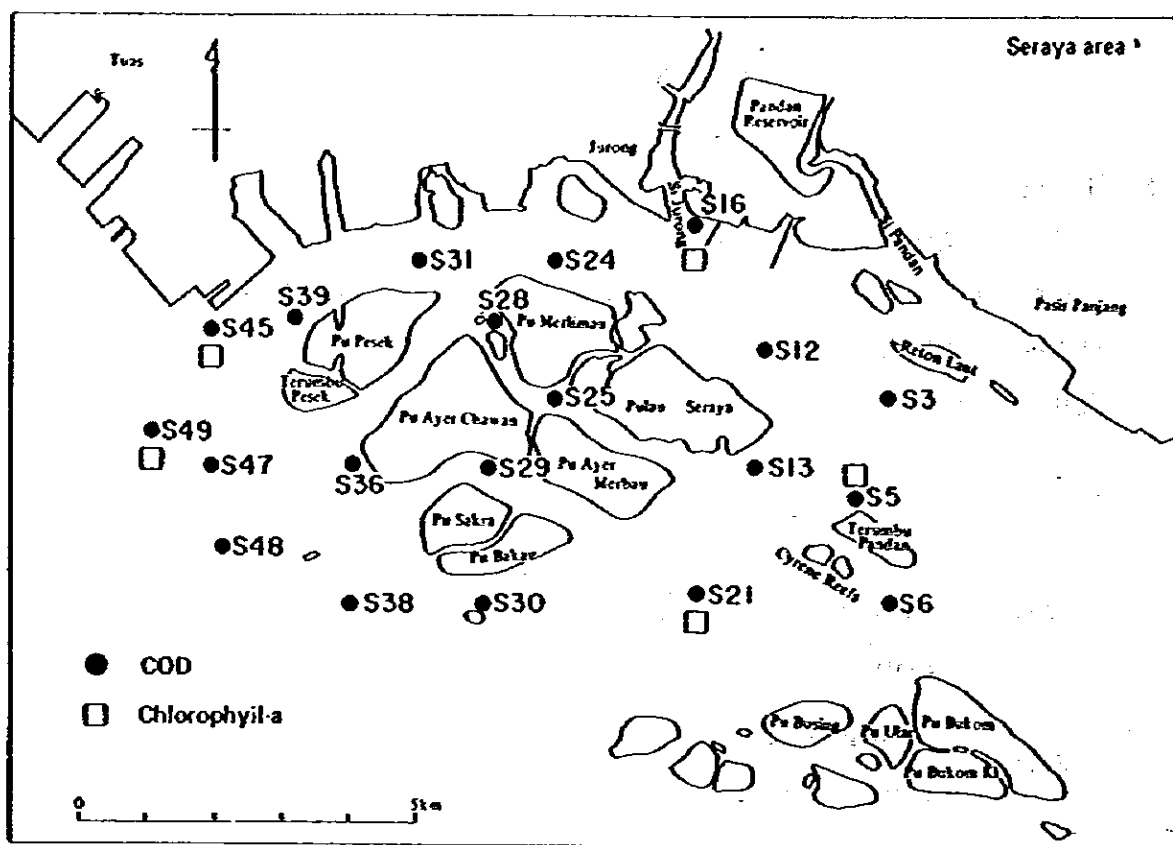
5-2-2 調査経過

本調査は水温塩分調査と同時に行ったもので、セラヤ海域を1981年3月2日、テコン海域を1981年3月5日に行った。

5-2-3 調査方法

1) 船上作業

本調査は船上において、透明度及び水色の測定とCOD及びクロロフィル-a分析用に採



図II 5-① 水質調査測点図

水を行った。採水は北原式採水器で行い、試料をポリエチレンビンに取りポリウレタンボックスで氷冷し分析室に持ち帰った。

透明度は海水の清濁の程度を示す一つの指標であり、透明度板と呼ぶ直径30 cmの白色の平らな円板を海水中に降ろし、上から見てこれがちょうど見えなく限界の深さを透明度とし、mを単位とする深さで表わす。

水色は、白昼海面の真上から見たときの海水の色であり、青色系のフォーレル水色標準液とかつ色系のウォーレル水色標準液を用いて比色法によって決める。

2) 分 析

CODは水の有機物質による汚染の程度を示す一つの指標であり、酸化剤により試水中の被酸化物質（主として有機物質）を酸化する際に消費される酸素量で表わす。分析方法は、酸化剤の種類、濃度、酸化条件などの違いにより色々な方法があるが、本調査では日本で法制上用いられる。JIS K 0102 13の100℃における過マンガン酸カリウムによる酸素消費量の方法により行った。

分析方法の原理は、過マンガン酸カリウム (KMnO_4) は酸性溶液で式-(1)のように強い酸化力を示し、試水中の被酸化物を酸化する。次にシュウ酸ナトリウム ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$) を加えて未反応の過マンガン酸イオン (MnO_4^-) を式-(2)のように分解する。次に過剰のシュウ酸イオン ($\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$) を過マンガン酸カリウムで逆滴定してCODを求める。



なお上述の方法では、試水中に塩素イオンが多量に含まれていると塩素イオンの一部が酸化され遊離塩素になるのでCODが高くなる。本分析では塩素イオンの妨害を防ぐため硫酸銀 (Ag_2SO_4) を加えた。図 II 5 - ② に分析方法を示す

クロロフィル-a は海水中の植物プランクトンの全体量を示す一つの指標であり、海水を通過したフィルターからアセトンを用いてクロロフィルを抽出し、吸光光度計で750, 663, 645, 630 nmの波長でそれぞれの吸光度を測定する。

図 II 5 - ③ にクロロフィル-a の分析方法を示す。

Take 50ml of the test water  Photo. 1, 2

← Add 5ml of sulfuric acid (1+2)  Photo. 3
< H_2SO_4 >

← Add 5g of silver sulfate powder  Photo. 4, 5
< Ag_2SO_4 >

Mix with vigorous shaking  Photo. 6,

← Add 5ml of $\frac{\text{N}}{40}$ potassium permanganate solution  Photo. 7, 8
< KMnO_4 >

Put in the boiling water bath and heat
for 30 minutes  Photo. 9, 10, 11

← Add 5ml of $\frac{\text{N}}{40}$ Sodium oxalate solution  Photo. 12, 13
< $\text{C}_2\text{O}_4\text{Na}_2$ >

Back titrate with $\frac{\text{N}}{40}$ KMnO_4  Photo. 14

図 15-② 過マンガン酸カリウム法による COD 分析方法(I)



Photo. 1

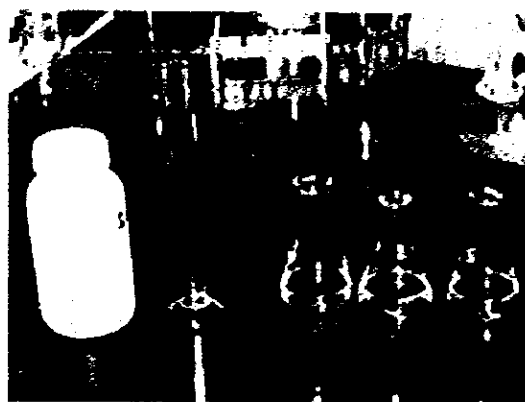


Photo. 2



Photo. 3



Photo. 4



Photo. 5

Fig.15-② 過マンガン酸カリウム法によるCOD分析方法(2)



Photo. 6



Photo. 7

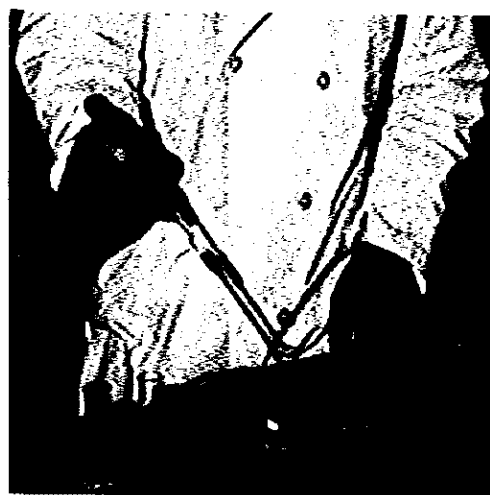


Photo. 8



Photo. 9



Photo. 10



Photo. 11

Fig. 15-② 過マンガン酸カリウム法によるCOD分析方法(3)



Photo. 12



Photo. 13



Photo. 14

Fig. 15-② 過マンガン酸カリウム法によるCOD分析方法(4)

適量の海水をろ過する

92%アセトンに3~4 ml加える

クロロフィルの抽出

フィルターを超音波発生装置で5~10分間処理する

遠心分離

10,000Gで約10分間処理する

吸光度測定

遠心分離した試料の上澄液をとり、各波長で吸光度を測定する

計算式

$$\text{クロロフィル-a} = \frac{(11.64 D_{665} - 2.16 D_{645} + 0.10 D_{680}) \times U}{V \times L}$$

($\mu\text{g/L}$)

D_{665} , D_{645} , D_{680} : 750 nmの吸光度を引いて補正した各波長の吸光度

U : 吸光度測定に用いた試料の容量 (ml)

V : 海水のろ過量 (L)

L : 吸光度セルの長さ (cm)

図II 5-③ クロロフィル-aの分析方法

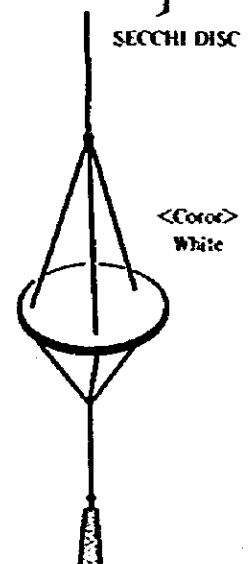
5-2-4 調査機器

1) 透明度板

透明度板は図II 5-④に示すように直径30 cmの白色の平らな円板で、円板の下には約5 kgのおもりをつけ、これを海水中に降ろす。

2) フォーレル・ウーレ水色標準液

フォーレル・ウーレ水色標準液は表II 5-③の3種の基液を混合し、内径8 mm、外径10 mmの無色のガラス管に封じ、1号から順に白色の下敷きのある箱に入る。



図II 5-④ 透明度板

表Ⅱ 5 - ② フォーレル・ウーレ水色標準液

標準液番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
第1液(%)	100	98	95	91	86	80	73	65	56	46	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
第2液(%)	0	2	5	9	14	20	27	35	44	54	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15
第3液(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50

第1液(あい色)	第2液(黄色)	第3液(かつ色)
硫酸銅 1g アンモニア水(25%) 10cc 蒸留水 190cc	クロム酸カリウム 1g 蒸留水 200cc	硫酸第1コバルト 1g アンモニア水(25%) 10cc 蒸留水 190cc

5-3 セラヤ海域の調査結果

表Ⅱ 5 - ③ に本調査結果を、図Ⅱ 5 - ⑤ ～図Ⅱ 5 - ⑧ にCOD等分布図を示す。

5-3-1 C O D

CODは0.1～3.9 ppmの範囲で、全体的に低濃度であり、1 ppmを超える測点はS1, S3, S16の3点だけであった。この3点を除く18点での平均値は0.3 ppm, 標準偏差は0.2 ppmであった。

S1, S16はそれぞれパンダン川、ジュロン川の河口にあり、下水等の影響で他測点より高い値を示したと思われる。

一般に海域のCODは、沿岸部で下水等の流入のため高く、沖合に行くに従い低くなる傾向がある。本海域は低濃度であるため分析誤差も大きく正確な比較はむずかしいが、沖合部(セラヤ諸島の南側)より沿岸部(セラヤ諸島北側)の方がやや高い値を示した。また、メリアム島を中心に東側と西側に分けると西側の方がやや低い値を示す。これは、本調査時に東流を示したことよりCODの非常に低い沖合水の影響のためと思われる。

5-3-2 透 明 度

透明度は0.9～8.2 mの範囲で、平均値3.9 m, 標準偏差2.0 mであった。全体的に沖合部より沿岸部で低い値を示し、沿岸部はほぼ3.5 m以下であった。

一般に海域の透明度は、沿岸部では低く、沖合に行くに従って高くなる傾向がある。本海域は、ジュロン川とパンダン川の影響が考えられるが、沿岸部全域の透明度を低下させるほど大きな河川ではない。むしろ流れが非常に強いいため沿岸部の浅い水深では海底の泥や砂の

表II 5-③ 水質調査結果(セラヤ地区)

調査日 1981年3月2日

Sta- tion No.	Time	Depth (m)	COD (ppm)	Trans- parency (m)	Colour of Sea Water	Chlorophyll- a ($\mu\text{g}/\text{L}$)	Sta- tion No.	Time	Depth (m)	COD (ppm)	Trans- parency (m)	Colour of Sea Water	Chlorophyll- a ($\mu\text{g}/\text{L}$)
S 1	14:50~14:56	6.5	1.3	1.5	12	-	S26	13:16~13:19	19.0	-	7.2	8	-
S 2	14:30~14:34	11.7	-	1.5	12	-	S27	14:23~14:30	25.1	-	2.0	9	-
S 3	13:37~13:45	13.2	2.4	2.9	9	-	S28	14:08~14:15	12.0	0.2	2.5	9	-
S 4	13:20~13:28	27.0	-	3.1	9	-	S29	14:43~14:51	11.6	0.1	7.7	7	-
S 5	13:00~13:10	25.0	0.7	3.5	7	1.2	S30	13:28~13:39	18.5	0.6	6.9	8	-
S 6	13:00~13:30	26.0	0.7	3.6	9	-	S31	13:31~13:44	24.2	0.5	2.0	10	-
S 7	15:03~15:06	12.3	-	2.3	10	-	S32	13:58~14:03	14.5	-	3.0	9	-
S 8	14:23~14:26	11.7	-	1.9	11	-	S33	14:35~14:38	9.7	-	7.8	7	-
S 9	13:55~14:01	16.8	-	2.5	9	-	S34	13:49~13:53	15.4	-	8.0	8	-
S10	13:36~13:45	27.0	-	3.8	9	-	S35	13:20~13:24	15.7	-	1.8	10	-
S11	15:12~15:15	11.5	-	2.1	10	-	S36	13:45~13:59	12.0	0.1	4.1	9	-
S12	14:10~14:17	13.9	0.7	2.1	9	-	S37	14:26~14:29	12.0	-	8.2	7	-
S13	14:52~15:00	19.0	0.3	2.8	9	-	S38	14:00~14:08	19.0	0.2	7.9	7	-
S14	14:40~14:44	18.0	-	3.7	10	-	S39	13:00~13:12	13.4	0.1	2.0	11	2.6
S15	13:51~13:58	18.0	-	4.2	10	-	S40	15:29~15:32	16.0	-	3.0	9	-
S16	15:25~15:37	6.2	3.9	0.9	12	1.7	S41	15:21~15:24	8.5	-	3.2	9	-
S17	15:15~15:19	18.0	-	2.0	9	-	S42	14:11~14:15	14.0	-	5.0	9	-
S18	15:23~15:26	13.2	-	3.2	8	-	S43	13:28~13:34	13.0	-	4.8	9	-
S19	15:11~15:15	17.0	-	2.2	11	-	S44	14:16~14:20	14.5	-	7.8	7	-
S20	14:30~14:35	18.0	-	4.1	10	-	S45	15:36~15:45	12.0	0.6	2.5	9	-
S21	14:07~14:23	20.0	0.1	4.7	10	1.0	S46	15:08~15:12	11.0	-	3.5	9	-
S22	14:57~15:03	25.3	-	3.5	9	-	S47	14:22~14:35	16.0	0.1	4.9	9	-
S23	12:57~13:05	23.0	-	7.1	7	-	S48	13:00~13:20	14.0	0.1	4.8	9	-
S24	14:37~14:50	18.4	0.4	3.0	9	-	S49	14:47~15:02	11.0	0.1	3.3	9	1.4
S25	15:23~15:32	11.5	0.4	2.0	10	-							

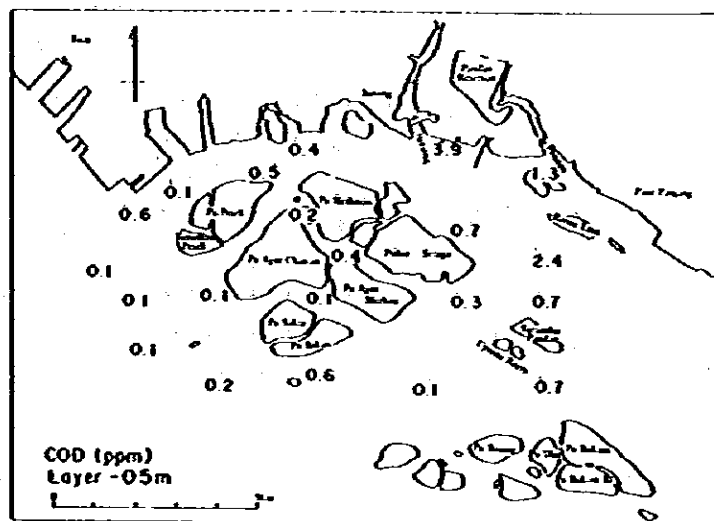


図 15-⑥ セラヤ地区COD分布図

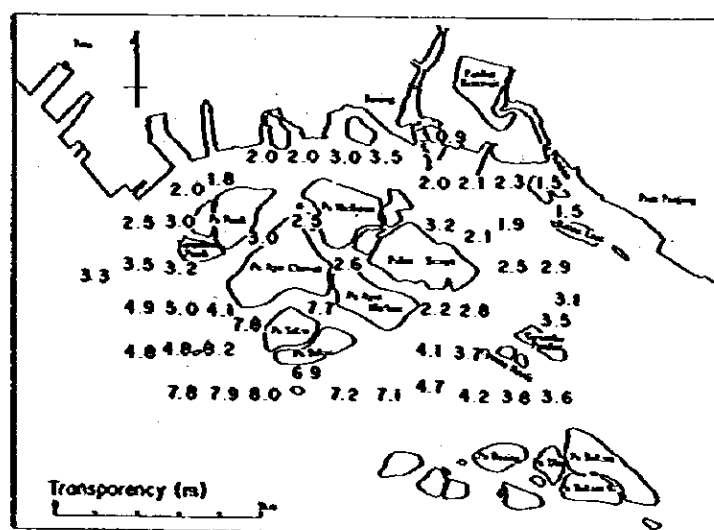


図 15-⑥ セラヤ地区透明度分布図

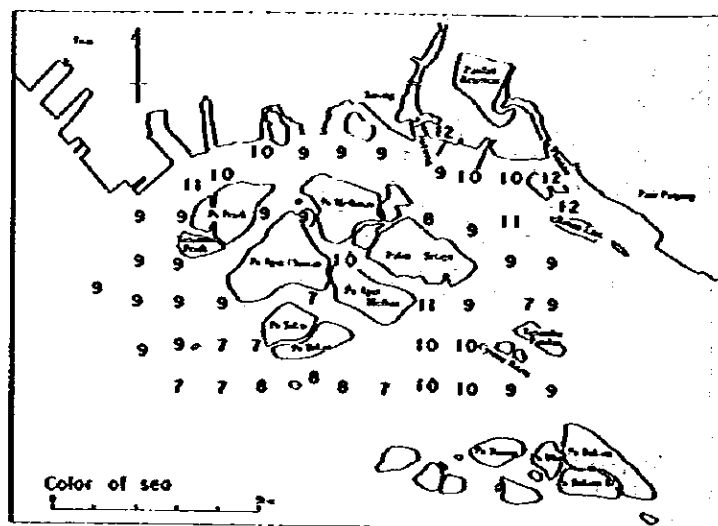


図 5-⑦ セラヤ地区水色分布図

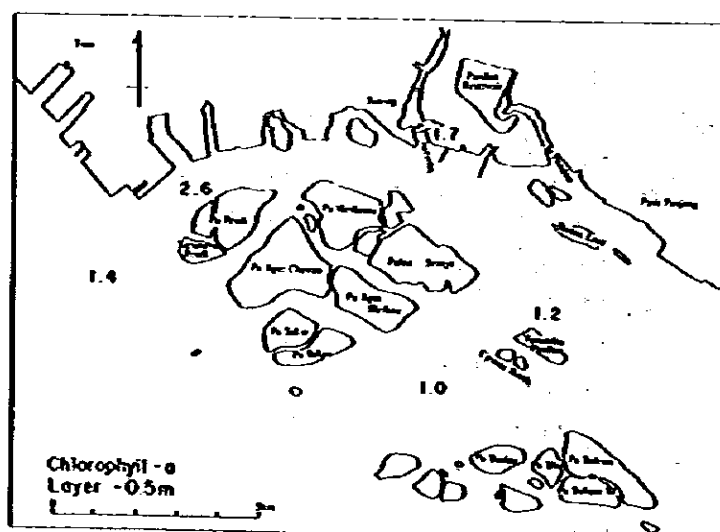


図 5-⑧ セラヤ地区クロロフィル-a分布図

巻き上がり現象が主要因と思われる。

また東側より西側の方がやや高い値を示す。これは前述のように透明度の高い沖合水の影響のためと思われる。

透明度とCODは一般に負の相関を示す。本調査ではこの関係を統計的に論じるには測点が少なすぎ、またCODが低濃度のため分析誤差も大きすぎると思われるが、参考のため相関係数を求めたところ-0.44であり相関は見られなかった。

5-3-3 水色

水色は7~12の範囲であり、全体的に青緑であった。この水色は番号が1から21まで大きくなるに従って青→青緑→かっ色と変化する。

沿岸部、特に河口域は大きな番号を示し、沖合部は小さな番号を示した。

一般的に透明度が高いほど水色は小さな番号を示すことが多い。そこで相関係数を求めたところ-0.77と高い相関を示した。

5-3-4 クロロフィル-a

クロロフィル-aは1.0~2.6 $\mu\text{g}/\text{L}$ の範囲で、測点が少ないのではっきりした傾向はいえないが、S39で2.6 $\mu\text{g}/\text{L}$ と他より高い値を示した。

5-4 テコン海域の調査結果

表Ⅱ-5-4に本調査結果を、図Ⅱ5-⑨~図Ⅱ5-⑫にCOD等分布図を示す。

5-4-1 COD

CODは0.7~2.5 ppmの範囲で、平均値1.5 ppm、標準偏差0.6 ppmであった。本海域は、セラヤ海域に比べ全体的に約1 ppm高い。またテコン島の北側は南側に比べやや高い。これはジョホール水道の影響と思われる。

5-4-2 透明度

透明度は0.5~2.5 mの範囲で、平均値1.3 m、標準偏差0.4 mであった。本海域は、セラヤ海域に比べ全体的に低く、ばらつきも小さい。またテコン島の北側は南側に比べやや低い。これはジョホール水道の影響と思われる。

CODと透明度の相関係数は-0.46であり相関はみられなかった。

5-4-3 水色

水色は11~15の範囲で、全体的にかっ色を示しばらつきも小さい。またテコン島の北側は南側に比べやや大きな番号を示しかっ色の程度が大きい。これはジョホール水道の影響と思われる。

水色と透明度の相関係数は-0.59で、セラヤ海域ほど高い相関は示さなかった。

5-4-4 クロロフィル-a

クロロフィル-aは $3.4 \sim 9.7 \mu\text{g}/\text{L}$ で、セラヤ海域より高い値を示している。測点が少ないのではっきりした傾向はいえないが、T32で $9.7 \mu\text{g}/\text{L}$ と他より高い値を示した。

表Ⅱ 5-④ 水質調査結果(チコン地区)

調査日 1981年3月5日

Sta- tion No.	Time	Depth (m)	COD (ppm)	Trans- parency (m)	Colour of Sea Water	Chlorophyll- a ($\mu\text{g}/\text{L}$)	Sta- tion No.	Time	Depth (m)	COD (ppm)	Trans- parency (m)	Colour of Sea Water	Chlorophyll- a ($\mu\text{g}/\text{L}$)
T 1	15:45~15:55	12.7	1.1	1.0	14	3.4	T19	15:21~15:26	23.4	-	1.8	12	-
T 2	16:15~16:25	12.7	-	1.0	12	-	T20	15:32~15:35	2.4	-	1.0	14	-
T 3	15:25~15:38	10.0	1.5	1.0	13	-	T21	15:21~15:38	16.0	0.9	1.5	12	-
T 4	16:35~16:45	2.4	1.6	0.5	14	-	T22	15:41~15:46	19.8	-	1.4	13	-
T 5	15:00~15:10	6.0	-	0.8	14	-	T23	15:45~15:50	3.0	-	1.0	14	-
T 6	15:20~15:27	12.5	-	1.0	13	-	T24	15:55~16:00	7.2	-	1.2	14	-
T 7	15:40~15:45	4.0	-	0.9	13	-	T25	16:00~16:06	17.0	-	2.5	12	-
T 8	15:51~15:55	7.0	-	1.0	12	-	T26	15:57~16:02	23.5	-	1.3	12	-
T 9	15:00~15:15	13.7	2.3	1.0	14	3.8	T27	16:12~16:18	3.2	2.1	1.0	14	-
T10	16:12~16:17	4.5	-	1.0	13	-	T28	16:41~16:52	17.0	1.2	1.7	11	4.9
T11	16:00~16:06	11.2	-	1.2	13	-	T29	16:12~16:17	19.0	-	2.5	12	-
T12	15:00~15:06	7.7	-	1.3	14	-	T30	16:11~16:14	7.8	-	1.3	12	-
T13	16:21~16:36	6.9	0.7	1.1	13	-	T31	16:25~16:30	16.0	-	1.1	14	-
T14	16:43~16:50	15.0	-	1.2	12	-	T32	16:37~16:45	20.7	2.5	1.0	15	9.7
T15	14:58~15:10	18.2	1.1	1.7	12	3.6	T33	16:57~16:59	15.0	-	1.6	11	-
T16	15:17~15:21	4.3	1.9	1.0	14	-	T34	16:27~16:31	25.0	-	2.0	11	-
T17	15:00~15:08	7.0	-	1.2	12	-	T35	16:22~16:26	8.2	-	0.9	12	-
T18	15:32~15:36	17.8	-	1.5	13	-							

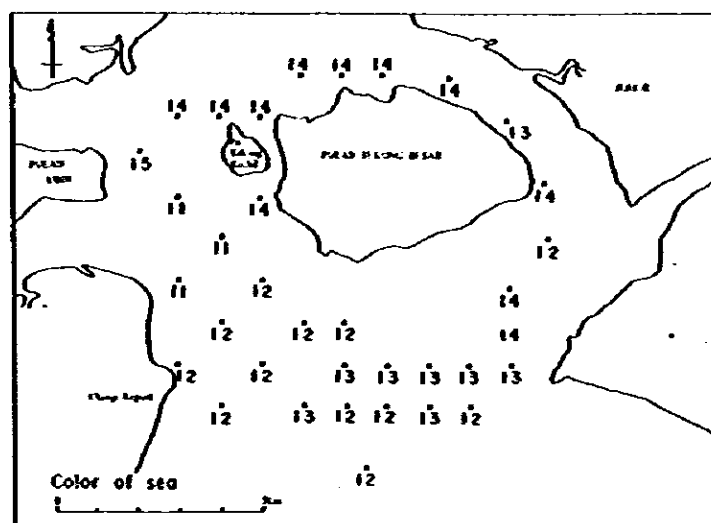


図 15-⑪ テコン地区水色分布図

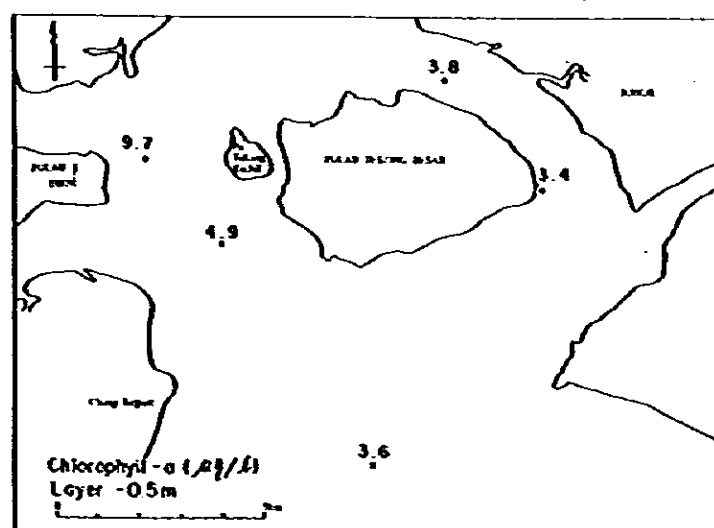


図 15-⑫ テコン地区クロロフィル-*a* 分布図

第 III 編

汚染予測シミュレーション

第1章 汚染予測シミュレーションについて

今回実施した汚染予測シミュレーションの適用方法、手順についてその概略をとりまとめる。

汚染シミュレーションを実施する際に考慮すべき項目と手順を図1-1に示す。

特に重要な点について説明を加えると以下のとおりである。

① 流況・水質のモデル化

海況での流況・水質は時々刻々変動しており、その変動の要因は、流況の場合、主なもので潮汐の影響、海流の長時間スケールでの変動、風の吹送などがあり、水質の場合、流況の変化、汚濁負荷量の変化、内部生産消失といったものがある。これらの変動要因の全てを含めた数値計算の実施は複雑であり、検証するためのデータ収集を含めて現時点では不可能である。

流況を長い時間スケールでみたとき、流況の変化には規則性をみいだすことができ、一般的に④潮汐による流れと、⑥潮汐の変動時間スケール以上の変動時間を持つ流れに分類することができる。これらを適宜組みあわせることにより対象海域の平均的な流れの場を評価することができる。この場合、鉛直方向の流れについても、充分注意を払う必要がある。ここで得られた平均的な流れは人為的な条件が変化しないかぎり、将来においても変化しない流れとして評価する。

水質では、平均的な流れに対応した水質の観測値は得られないので、長期間の観測結果の平均値をもって、平均的な流れに対応する水質として評価する場合が多い。

② 数値モデルの選定

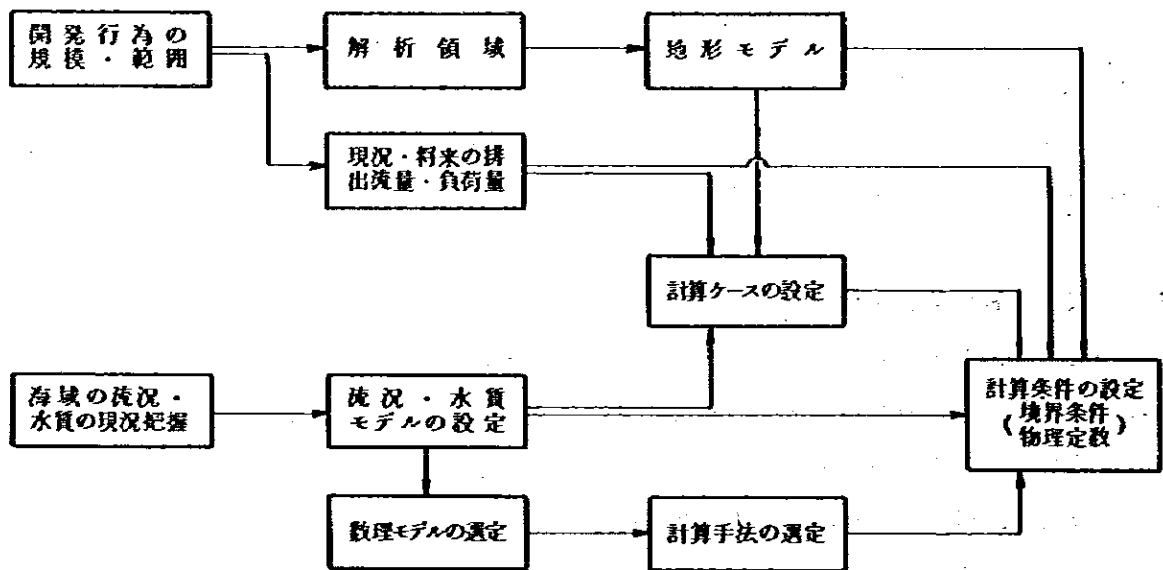
①で述べた流況・水質のモデル化で得られた結果により数値モデルは選定される。

すなわち、鉛直方向にみたとき、内部変動モード波のような傾圧的な性質をもつ変動があるとき、あるいは、流れ、温度、塩分等に顕著な差異がある場合には、多層モデルを採用するべきであるし、運動が傾圧的であり、温度等が一様な分布を示していれば一層モデルが適当である。

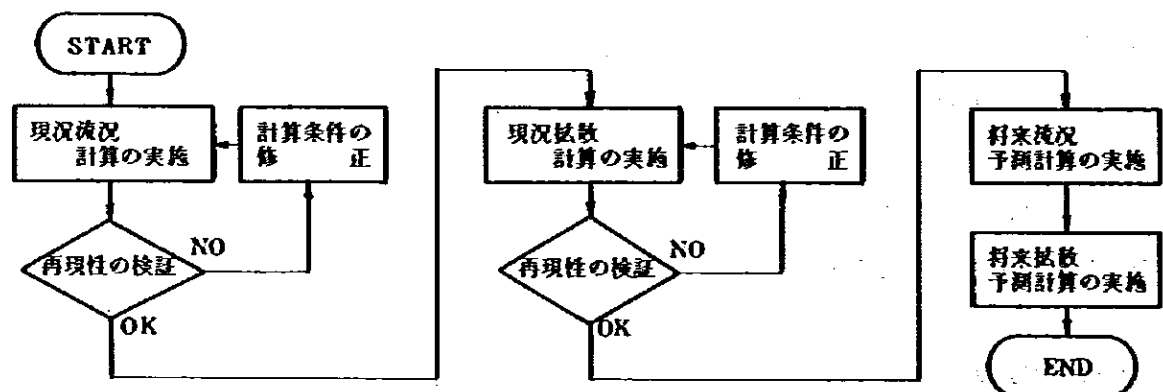
また、水質についてみれば、非保存系の拡散現象を対象とする必要もでてくる場合がある。

このように、流況・水質観測結果を基に設定された流況・水質モデルを充分表現し得る数値モデルの選定が必要となる。

STEP1. 数値シミュレーションの準備



STEP2. 数値シミュレーションの実施



STEP3. 結果の検討

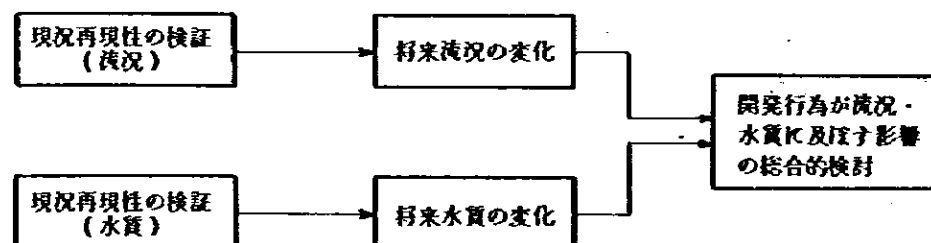


図 1-1 数値シミュレーションの手順

③ 境界条件の設定

②で選定した数値モデルは、各種の境界条件を設定した上で電子計算機を用いた近似計算により解が求められる。

近似計算を行なう手法としては、地形が正確に表現でき、各種境界条件を無理なく表現できる有限要素法を用いた。

流況・水質を求める場合に重要なことは、物理的に意味のある境界条件を設定する必要がある、次に述べる流況・水質の現況再現性の確認が充分得られるまで調整する。

④ 現況再現性の確認

現況再現性の確認とは、設定した境界条件により得られた計算結果が①で設定した流況・水質モデルを表現しているかを検討することであり、全体的な流況・水質の分布パターン、観測点で得られている観測値と計算値との比較を行ない、設定した境界条件が適正であるか否かを検証することである。

現況再現性の確認が得られるまで、境界条件の調整を行なう。

⑤ シミュレーション

④で述べた流況・水質の現況再現性の確認が得られた後に地形の変更、将来流量、負荷量を与えた将来予測計算を実施する。

将来予測計算で得られた結果と、現況再現計算で得られた結果とを比較することにより、開発行為が流況・水質に及ぼす影響を抽出し、影響を受ける範囲、度合について検討する。

第2章 Seraya 海域と Tekong 海域の海域特性

ここでは、前章までにまとめられている Seraya 海域、Tekong 海域の流況・水質データから、両海域の平均的な流況・水質を、数値シミュレーションへの入力条件の設定といった観点に立ち、再度整理する。

2-1 潮 位

Seraya 島近傍の Victoria Dock, Jurong Wharf および Tekong 島近傍の Slave one 潮汐調和定数(表 2-1 参照)によると、各海域の潮汐の特徴は次のとおりである。

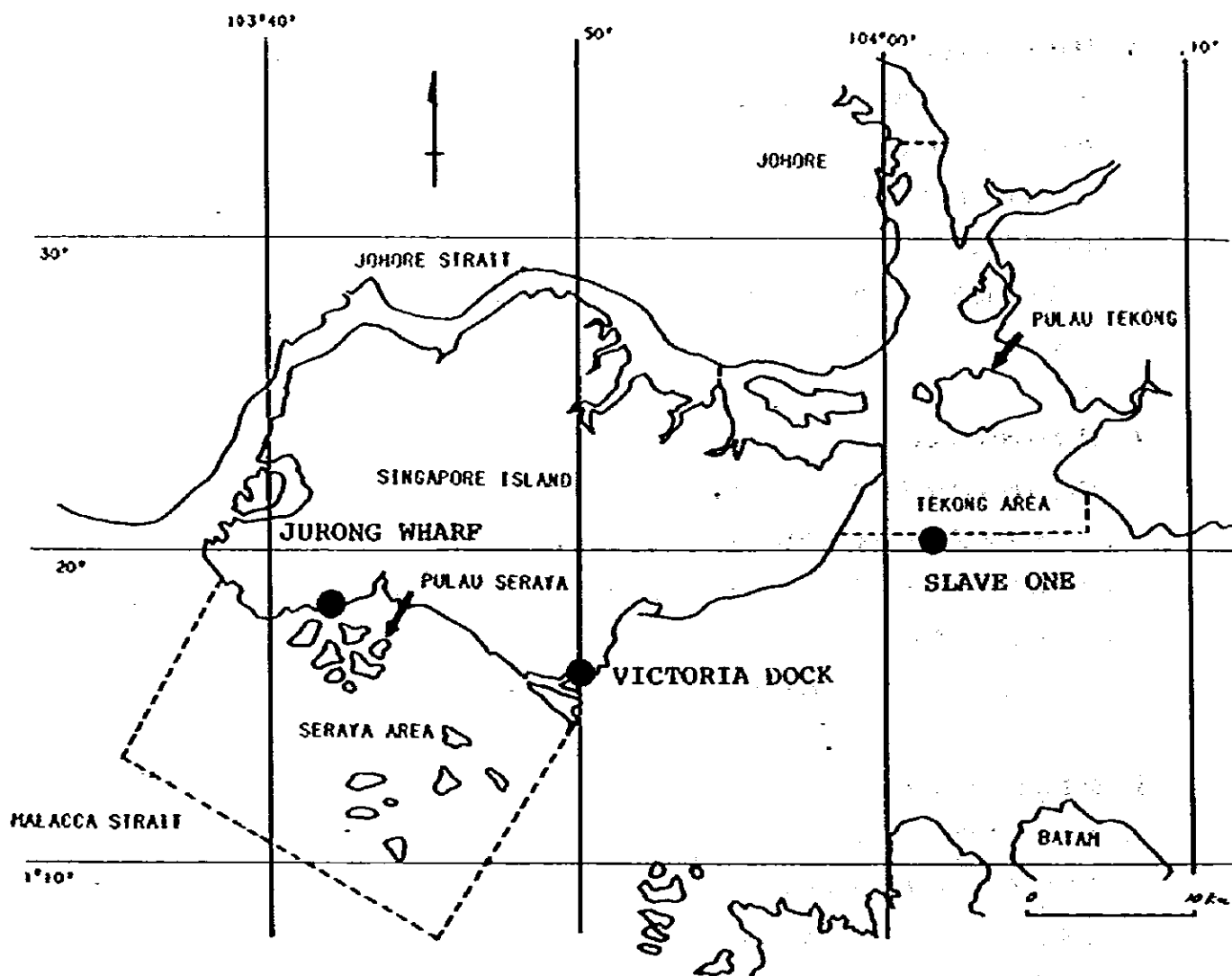


表 ■ 2-1 主要四分潮の潮位調和定数

	Jurong Wharf		Victoria Dock		Slave One	
	潮位 (m)	位相 (°)	潮位 (m)	位相 (°)	潮位 (m)	位相 (°)
K_1	0.262	123	0.289	99	0.299	76
O_1	0.266	82	0.296	57	0.270	41
M_2	0.811	303	0.773	302	0.689	293
S_2	0.361	356	0.349	351	0.250	338

Victoria Dock, Jurong Wharfとも卓越分潮は半日周潮の M_2 分潮である。潮型示数(K_1+O_1/M_2+S_2)から判断すると、混合潮型に分類され日潮不等が出現するようである。

各分潮の位相差から判断すると、潮汐現象はVictoria Dock 側からJurong Wharf 側、すなわち東から西に向って進行するようである。

半日周群では、Victoria Dock, Jurong Wharf 間(約15 Km)で $1\sim5^\circ$ (2分~10分)の位相差であるのに対し、日周潮群で $24\sim25^\circ$ (96分~100分)もの位相差が生じているのが注目される。

Tekong 島周辺の潮位も、Seraya 島周辺と同様に、卓越潮汐は半日周潮の M_2 分潮である。潮型も混合潮型に分類される。

半日周潮群では、Victoria Dock, Slave One 間(約30 Km)で $9\sim13^\circ$ (18~26分)、日周潮群では、 $16\sim23^\circ$ (64~92分)のそれぞれ位相差がみられ、Seraya 海域と同様に潮汐現象は東から西へ進行するようである。

なお、Johore 水道側の潮位、位相は不明であるが、Victoria Dock, Slave One の潮位、位相の関係から類推すると、Slave One 側からJohore 水道へ向って潮汐現象は進行し、外洋側から狭小水路へ向うことから、潮位はSlave One のそれに比べ大きくなるものと考えられる。

2-2 流 況

1979年および1981年に実施された流況調査結果によると、Seraya 海域、Tekong 海域の流況の特徴は次のとおりである。

2-2-1 Seraya 海域

卓越流は、日周潮群の K_1 , O_1 の各分潮成分による流れで最大流速は $20\sim50\text{ cm/sec}$ になり、半日周潮群の M_2 , S_2 の各分潮成分による流れの最大流速 $7\sim14\text{ cm/sec}$ に比べ2倍以上の流速が生じる。

潮位の卓越は半日周潮の M_2 分潮であったが、潮流については、日周潮群が圧倒的に卓越している。

潮流楕円の長軸の傾きから判断すると、いずれの観測点とも陸岸に平行した東西方向の往復流れであることがわかる。

また、潮流楕円の形状が比較的偏平であることから、転潮時前後の比較的短時間を除いて東西方向の流れの出現時間が長いこともわかる。

恒流ベクトルから判断すると、1979年と1981年の観測結果は異なっており、1979年の観測結果は西から東へ向う $1\sim20\text{ cm/sec}$ 流れであり、1981年の観測結果は、東から

西へ向う $7 \sim 20 \text{ cm/sec}$ 流れが出現している。

これは、Malacca 海峡の西端と東端で水位差が異なり、夏期と冬期では、水位勾配が逆転するため生ずるものとされている。

2-2-2 Tekong 海域

卓越流は、半日周潮群の M_2 分潮で最大流速は $30 \sim 40 \text{ cm/sec}$ になり、日周潮群の $5 \sim 16 \text{ cm/sec}$ に比べ、 $2 \sim 6$ 倍の流速が生じる。

潮流楕円の長軸の傾きから判断すると、外洋と Johore 水道の間を往復する流れが生じており Tekong 島東側の水路でも同様の往復流がみられる。

潮流楕円の形状は偏平であり、比較的単純な南北方向の往復流であることがわかる。

恒流ベクトルによると、TC1, TC3, TC4 の3観測点では、外洋側から Johore 水道へ向う流れ、あるいは、Tekong 島東側水路へ向う流れとなっているが、TC2 のみ逆に外洋側へ向う流れとなっている。

これらの恒流は、 $3 \sim 7 \text{ cm/sec}$ の流速であり、潮汐流の最大流速値に比べるとかなり弱い流れである。

2-3 水 質

1981 年の流況調査と同時期に実施された水質調査結果を参考に、Seraya 海域、Tekong 海域の水質の特徴をとりまとめると次のとおりである。

2-3-1 Seraya 海域

COD 濃度の平面分布についてみると、Jurong 近傍での最大 3.9 ppm と Pasir Panjang 付近の $1.3 \sim 2.4 \text{ ppm}$ の値を除いて、大部分の観測点での COD 濃度は $0.1 \sim 0.7 \text{ ppm}$ の範囲にあり、濃度勾配は非常に小さい。Seraya 島の東側海域と陸岸付近で比較的 COD が高く ($0.3 \sim 2.4 \text{ ppm}$)、Peseh 島、Seraya 島の西側海域で COD 濃度が低い ($0.1 \sim 0.6 \text{ ppm}$) といった傾向がみられる。

これは、水質の観測時の流れが西から東へ向っていたためとされている。

塩分では、河川水の流入があるとみられる S16 で、鉛直方向の変化が 1% 程度生じていることを除き、他の観測点では $32.5 \sim 33.0\%$ の範囲にあり、比較的水深が大きい S5 (-24 m)、S38 (-18 m) でも鉛直方向の塩分変化はきわめて小さい。

水温についても塩分と同様の傾向がみられ、S16 を除いた鉛直方向の水温変化は小さく、 $28.0 \sim 29.0 \text{ }^\circ\text{C}$ の範囲に含まれる。

2-3-2 Tekong 海域

COD 濃度の平面分布についてみると、Tekong 島と Ubin 島を結ぶ線より北側の海域で比較的 COD 濃度は高く (1.2 ~ 2.6 ppm)、南側での COD 濃度が低い (0.7 ~ 1.6 ppm) といった傾向がみられる。

これは、流況の項で述べた外洋側から Johore 水道に向う流れが存在するため、Tekong 島の南側で比較的低い COD 濃度がみられたものと考ええる。

塩分の全層平均値の平面分布によると、Tekong 島と Ubin 島を結ぶ線の北側で 31‰ 未満の値がみられるのに対し、南側では 31‰ 以上、32‰ 未満の値がみられ、外洋から Johore 水道に向う流れの存在によるものと考えられる。

代表点での鉛直方向の塩分変化は 1‰ 未満にとどまっている。

水温の全層平均値の平面分布では、COD、塩分でみられた傾向はなく、28.2 ~ 28.9℃ の範囲で一様の分布を示しており、代表点での鉛直分布をみても、水温の鉛直方向の変化は 1℃ 程度で小さい。

第 3 章 流況・水質モデルの設定

Seraya 海域、Tekong 海域の流況・水質の海域特性を参考に両海域の流況・水質モデルの設定を行なう。ここで設定する流況・水質モデルは各海域の流況・水質の特徴を充分表現し、現況再現計算結果と比較・検証するとき用いるものとする。

3-1 流況モデル

3-1-1 Seraya 海域

潮汐に起因する流れ (潮汐流と呼ぶ) の卓越成分である日周潮群潮汐流と潮汐の変動時間スケール以上の変動時間を持つ流れ (定常的な流れと評価し、恒流と呼ぶ) とを比べると、潮汐流の方が恒流より 2 倍以上大きく、潮汐流が Seraya 海域の流況を支配していることがわかる。

拡散現象に対しては、往復流である潮汐流の効果より、一定方向に流れ続ける恒流の影響の方がはるかに大きいので、対象とする流況は潮汐流と恒流を合計した流れを流況モデルとする。

潮汐流は、各種潮汐分潮の変動に伴ない生じる流れである。潮汐は、分潮成分の位相が異

なるため時期により潮位の山と山が合わさり、大潮とか小潮、あるいは、日潮不等といった現象が生じ、現実の潮汐流も各分潮成分の合成流として変動する。

流況モデルのうち、潮汐流の対象として主要四分潮の全てを含めた複合潮位による潮汐流のモデル化を考えたが、長期間の拡散現象（定常的な水質の場合）を求めるといった今回の予測調査の目的から判断すると、複合潮位により生じる大潮期の流れ、あるいは小潮期の流れの違いは長時間にわたって平均化すれば、平均的な潮位の変動に伴う流れとほぼ同一になる。

このことから、潮汐流のモデルとしては、卓越潮汐流である日周潮群潮汐流のうち、 K_1 分潮潮汐流を代表潮汐流とし、 K_1 分潮の変動により生じる流れをモデルとする。

流況モデルを設定するにあたり、対象とする流況観測結果は、後述の水質観測と同時期に実施された1981年流況調査結果とする。

このことから、恒流のモデルは、東から西に向う流れを対象とする。Seraya 海域では、1979年にも流況調査が実施されているので、現況計算結果の検証を行なう時に補足的に参照する。

3-1-2 Tekong 海域

Tekong 海域も Seraya 海域と同様に、潮汐流が支配している。潮汐流成分では、半日周潮群の M_2 分潮による流れが卓越していることから、Seraya 海域の流況モデルを設定したと同じ理由により、 M_2 分潮による流れと恒流を合計した流れを Tekong 海域の流況モデルとする。

図■2-1、■2-2に流況モデルとして設定した流れ（Seraya 海域は、 K_1 分潮潮汐流+恒流、Tekong 海域は M_2 分潮潮汐流+恒流）を示す。

また、両海域とも鉛直方向の流速観測値がないので即断できないが、塩分、水温の鉛直分布によると成層の存在はみられず、順圧的な場であると考えられる。

3-2 水質予測モデル

平均的な水質予測モデルを設定するためには、長期間の観測データを得る事が必要であるが、今回調査では、Seraya 海域、Tekong 海域とも1つの時間断面での観測値しかない。

観測値の代表性には、問題が残されるが、モデルはまず、この観測値の空間的な分布を再現することを目的とする。

なお、汚染指標は、有機汚濁指標としてのCODと熱負荷を加えた場合の水温とする。

図■2-3、■2-4に水質予測モデルの対象として設定した COD 及び海水温の水平分布図（鉛直方向に顕著な差がみられないことから全層平均値）を示す。

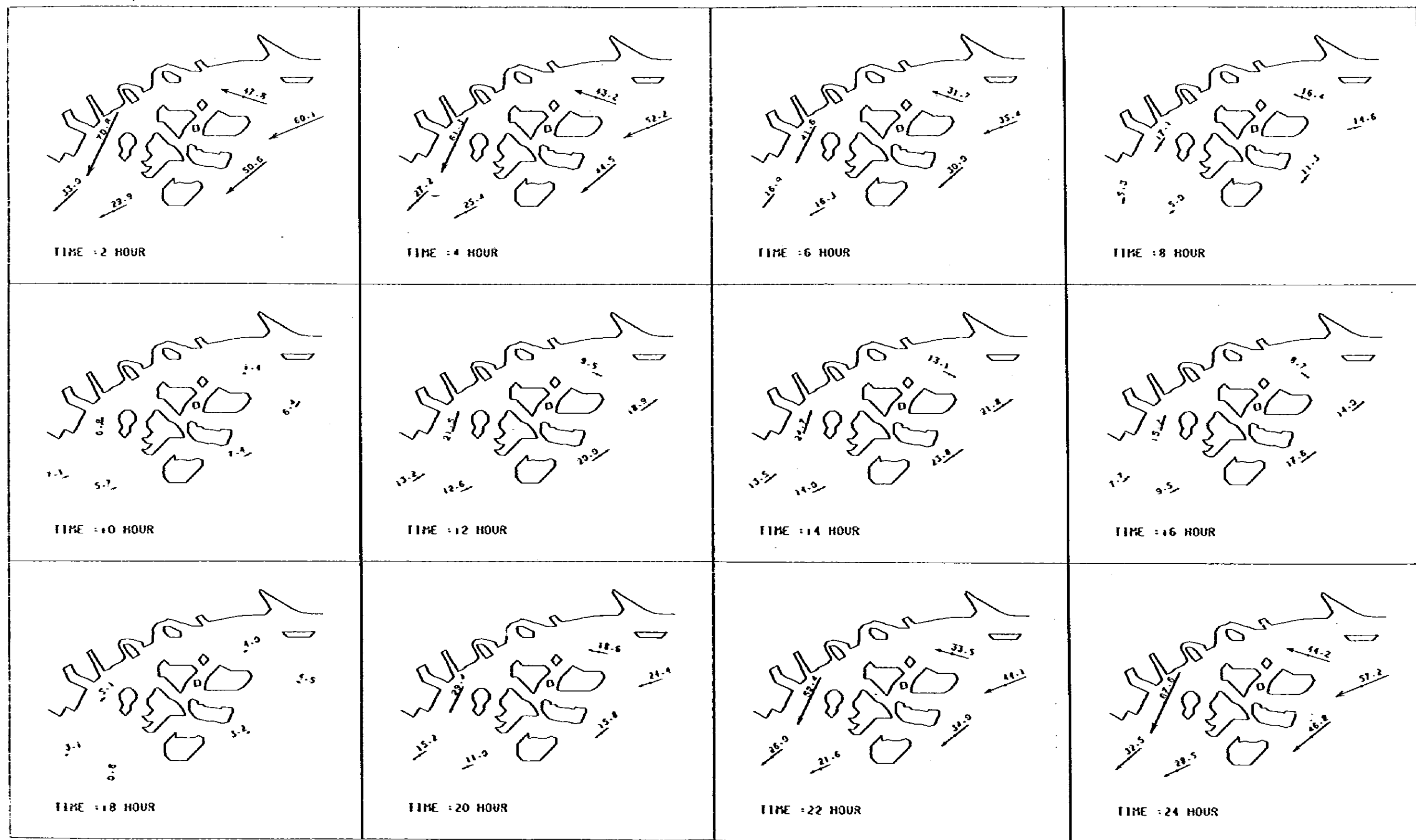
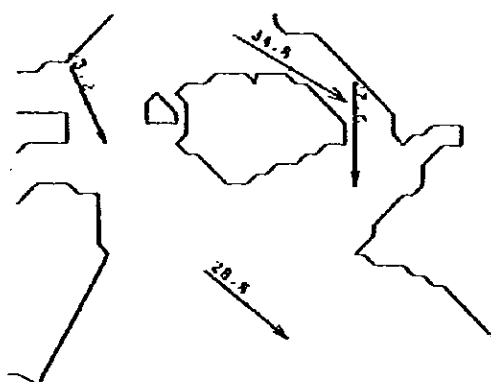
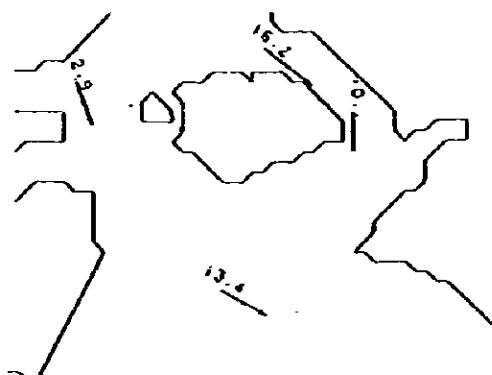


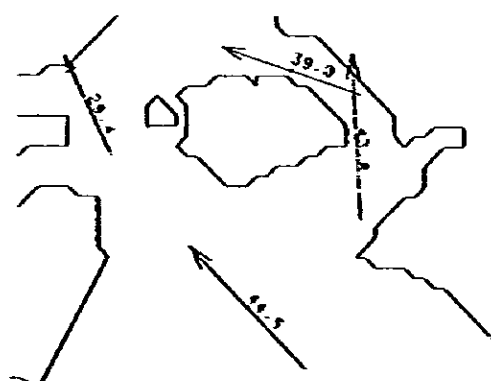
図 2-1 流況モデル・Seraya 海域



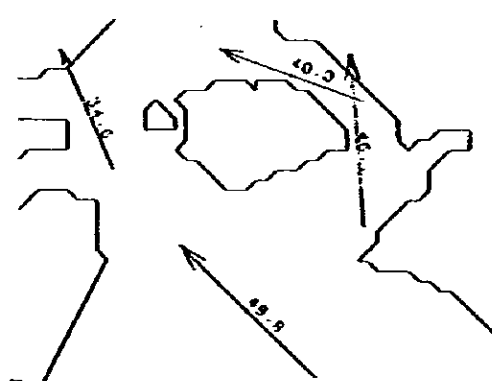
TIME : 1 HOUR



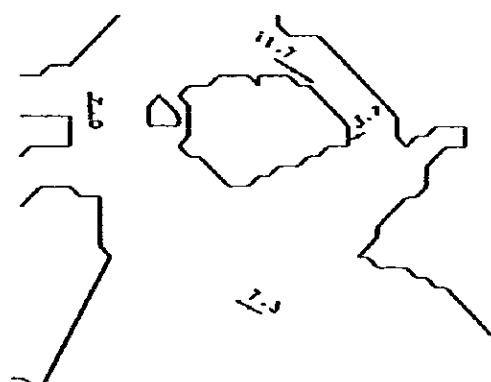
TIME : 2 HOUR



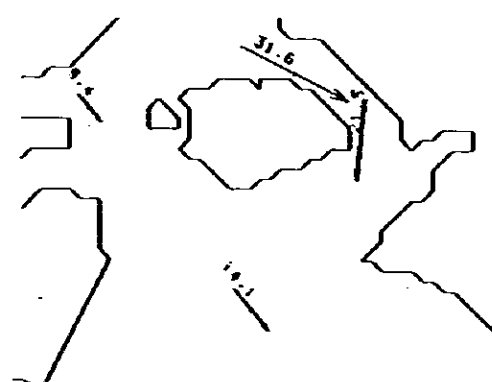
TIME : 5 HOUR



TIME : 6 HOUR



TIME : 9 HOUR



TIME : 10 HOUR

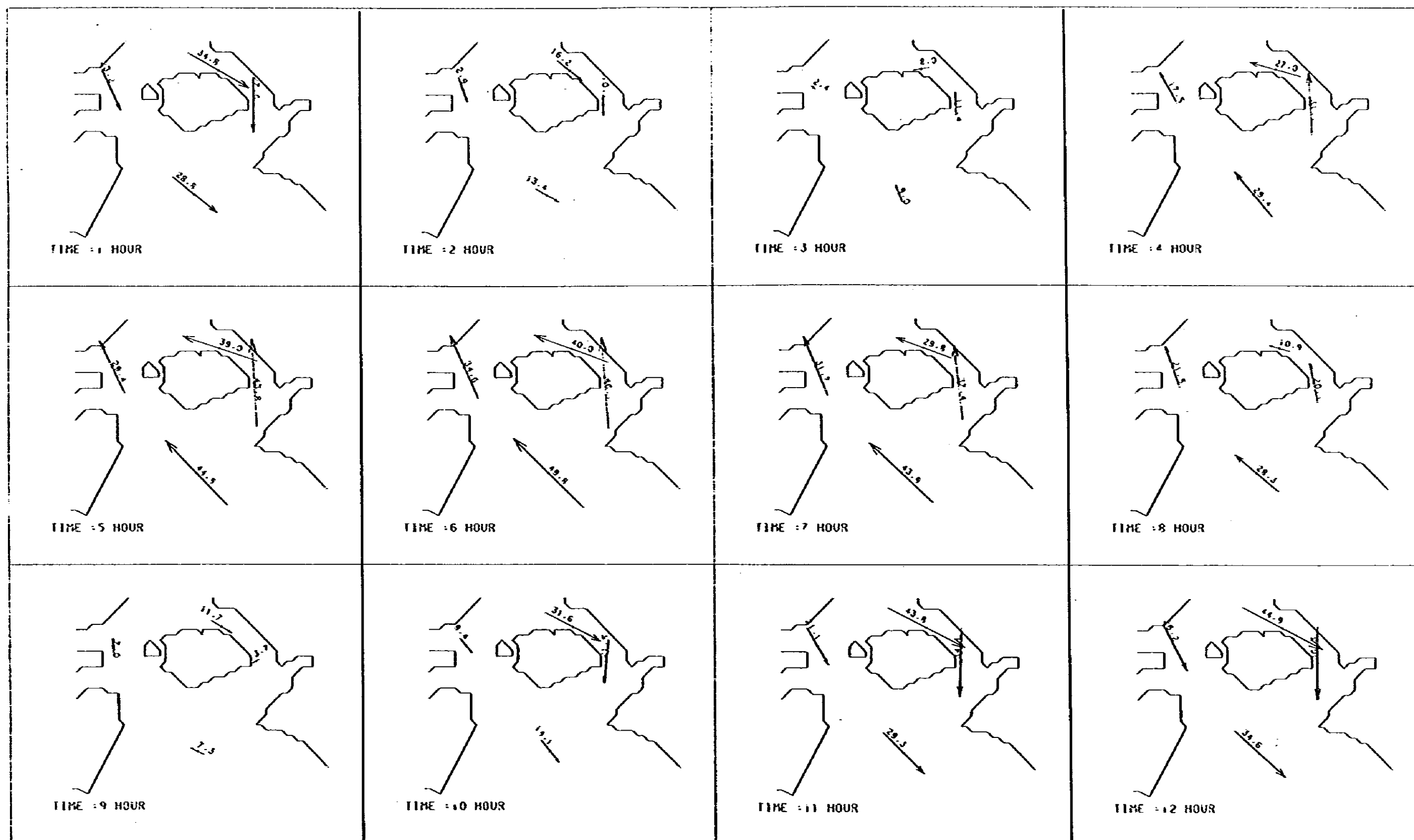


図 2-2 流況モデル・Tekong 海域

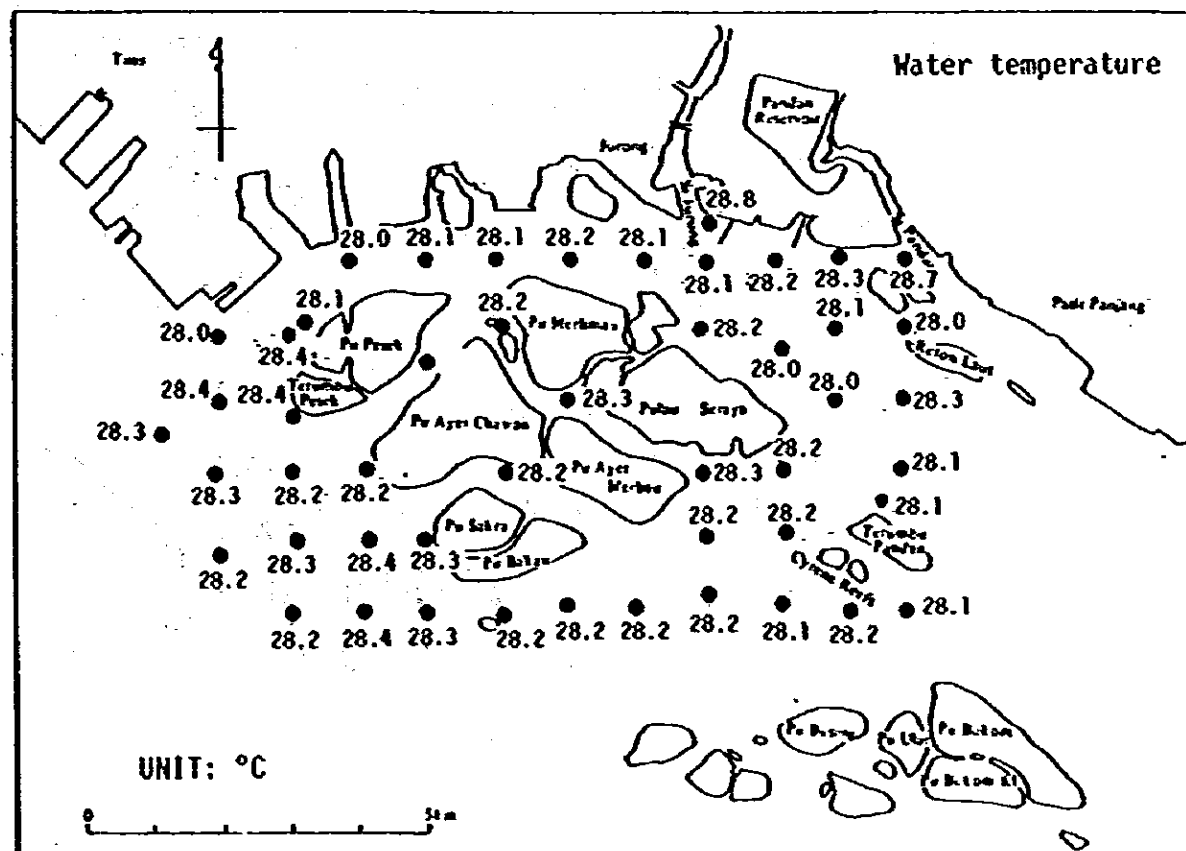
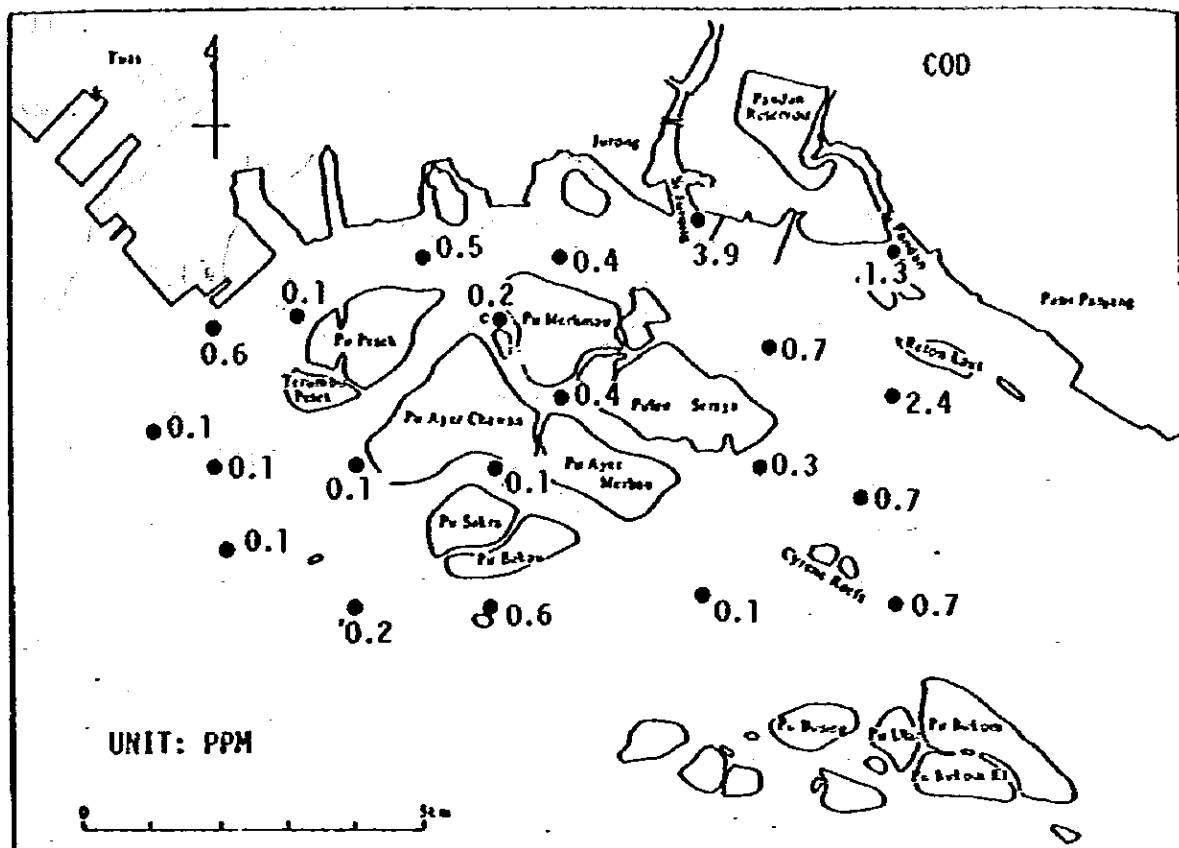


図 2-3 水質予測モデルに採用した Seraya 海域の COD 水温の水平分布図

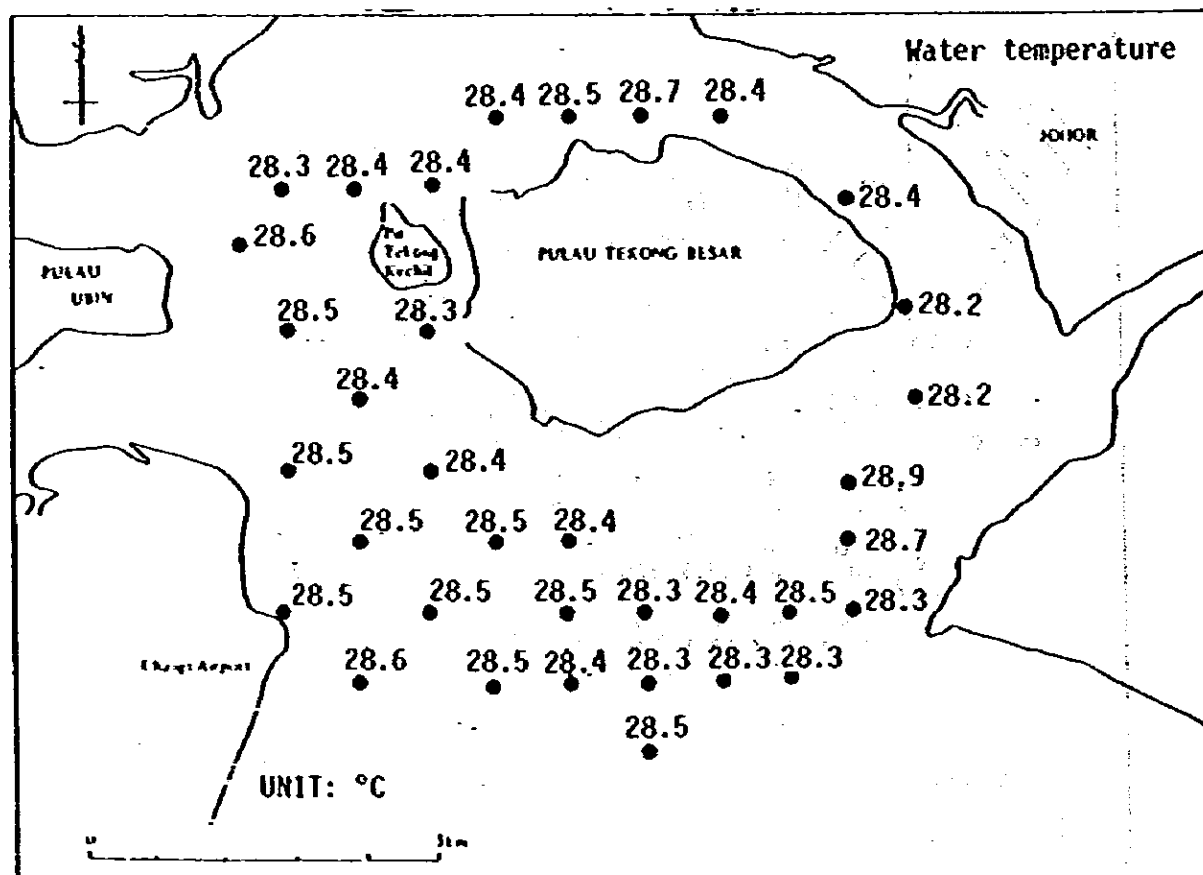
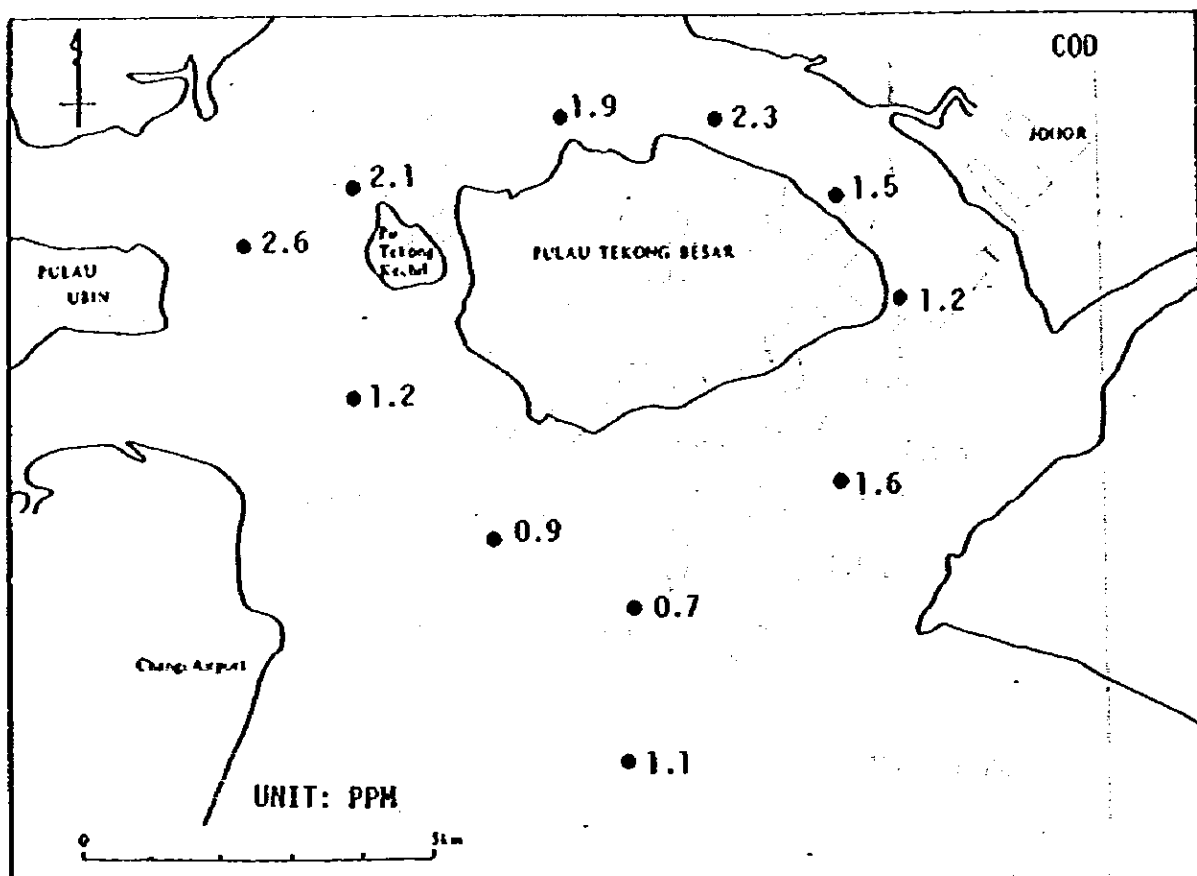


図 2-4 水質予測モデルに採用したTekong
海域のCOD水温の水平分布図

第4章 数値モデルの設定

流況および水質を解析する数値モデルは、水温、塩分の鉛直分布から判断して Seraya 海域、Tekong 海域ともほとんど密度成層がみられないこと、解析の対象とする海域の水深は、深くて30～40 mであり、これに対して水平方向の距離は10～20 Km程度で、水平方向のスケールに比べ、水深方向のスケールが充分小さいこと等から、2次元1層モデル（順圧モデル）を採用する。

潮汐流および恒流は非定常計算とし、COD温排水拡散は、長時間の平均的な水質を求めることから定常計算とする。COD拡散に関しては内部生産、消失に係わるデータがみられないので、保存系の物質拡散モデルとする。

なお、Seraya 地区のCOD拡散については、COD観測時の潮汐流が西から東へ向っており、流況モデルとして設定した恒流とは異なった様相を呈しているため、現況再現計算のみ観測時に対応する流況を再現するために非定常計算を実施する。

4-1 一層流況解析モデル

4-1-1 座標系の取り方

ここでは、2次元一層流況解析モデルを記述するために必要な方程式について述べる。

今、考えている海域の代表的な断面形は、図4-1のように表わされる。

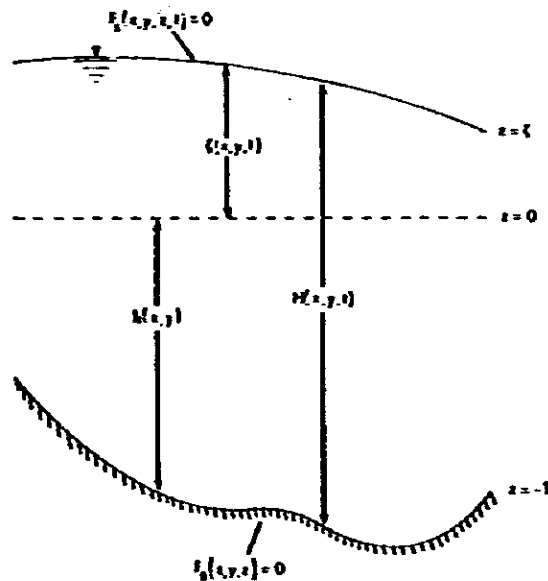


図4-1 海域の代表的な断面図

海域は任意の水深を有するので、 h 、すなわち平均海水面より海底までの距離は (x, y) の関数となる。また潮汐運動による平均海水面よりの水面上昇 η は (x, y) の関数であると同時に時間 t の関数となる。そして、水表面から海底までの距離は H で表わされ $H = h + \eta$ である。

基礎方程式を得るにあたって次の仮定を設ける。

(i) 鉛直方向に十分に混合されている。したがって三次元の基礎方程式を深さ方向に平均化することができる。

(ii) 海水の密度は一定であるとする。

ここで、後に表われる記号を次のように定めておく。

x, y, z : デカルト座標系で正の方向を x 軸は東, y 軸は北, z 軸は上向きにとる。

t : 時間

u, v, w : 流速の (x, y, z) 方向成分

ρ : 密度

P : 圧力

g : 重力加速度

f : コリオリのパラメータ

4-1-2 流速の境界条件

三次元の基礎方程式を水深方向に積分する時に水表面と海底における条件が必要となる。

そこで、ここではこれらについてまとめておくことにする。

境界の式が一般に $F(x, y, z, t) = 0$ で表わされるとすると境界のすべての点において、次式が成り立つ。

$$\frac{DF}{Dt} = \frac{\partial F}{\partial t} + u \frac{\partial F}{\partial x} + v \frac{\partial F}{\partial y} + w \frac{\partial F}{\partial z} \quad (1)$$

(1) 水表面における境界条件

図-1 より水表面は

$$z = \eta$$

で表わされる。したがって、水表面における式は

$$F(x, y, z, t) = z - \eta(x, y, t) = 0 \quad (2)$$

(1), (2)式より

$$\frac{DF}{Dt} = \frac{\partial(z-\eta)}{\partial t} + u \frac{\partial(z-\eta)}{\partial x} + v \frac{\partial(z-\eta)}{\partial y} + w \frac{\partial(z-\eta)}{\partial z}$$

となり、 η が (x, y, t) の関数であることを考えると、

$$\frac{DF_z}{Dt} = -\frac{\partial \eta}{\partial t} - u_z \frac{\partial \eta}{\partial x} - v_z \frac{\partial \eta}{\partial y} + w_z = 0$$

となる。したがって水表面に対しては

$$w_z - \frac{\partial \eta}{\partial t} - u_z \frac{\partial \eta}{\partial x} - v_z \frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

が成り立つ。ここに添字 z は水表面における値を意味している。

(2) 海底における境界条件

図-1 より海底は、

$$z = -h$$

で表わされる。したがって海底における式は

$$F_B(x, y, z) = z + h(x, y) = 0 \quad (4)$$

(1), (4)式より

$$\frac{DF_B}{Dt} = \frac{\partial(z+h)}{\partial t} + u_B \frac{\partial(z+h)}{\partial x} + v_B \frac{\partial(z+h)}{\partial y} + w_B \frac{\partial(z+h)}{\partial z}$$

となり、 h が (x, y) の関数であることを考えると

$$\frac{DF_B}{Dt} = w_B \frac{\partial h}{\partial x} + v_B \frac{\partial h}{\partial y} + w_B$$

となる。したがって海底に対しては

$$w_B + v_B \frac{\partial h}{\partial x} + u_B \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (5)$$

4-1-3 三次元基礎方程式

三次元座標系における基礎方程式は次のように表わされる。流体の運動はよく知られているように、Navier-Stokes 方程式と連続の式によって規定されている。これらの式は、次のように表わされる。

連続の式

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (6)$$

運動方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial(uu)}{\partial x} + \frac{\partial(uv)}{\partial y} + \frac{\partial(uw)}{\partial z} = f_x$$

$$+ \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) = 0 \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial(vu)}{\partial x} + \frac{\partial(vv)}{\partial y} + \frac{\partial(vw)}{\partial z} + fu \\ + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial(wu)}{\partial x} + \frac{\partial(wv)}{\partial y} + \frac{\partial(ww)}{\partial z} + g \\ + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

4-1-4 二次元一層方程式の誘導

(1) 連続の式

(6)式より連続の式は次のように表わされる。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad 00$$

仮定 1-1 の(i)より密度は一定であるから(6)式は

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad 01$$

となる。00式を全水深にわたって積分する。

$$\int_h^{\eta} \frac{\partial u}{\partial x} dz + \int_h^{\eta} \frac{\partial v}{\partial y} dz + \int_h^{\eta} \frac{\partial w}{\partial z} dz = 0 \quad 02$$

02式の最初の2項に対してライプニッツの定理を適用して、積分の順序をかえ、第3項は直接に積分を行うと

$$\frac{\partial}{\partial x} \int_h^{\eta} u dz - u_s \frac{\partial \eta}{\partial x} - u_B \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \int_h^{\eta} v dz - v_s \frac{\partial \eta}{\partial y}$$

$$- v_B \frac{\partial h}{\partial y} + w_s - w_B = 0$$

$$\therefore \frac{\partial}{\partial x} \int_h^{\eta} u dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_h^{\eta} v dz + (w_s - u_s \frac{\partial \eta}{\partial x} - v_s \frac{\partial \eta}{\partial y})$$

$$- (w_B + u_B \frac{\partial h}{\partial x} + v_B \frac{\partial h}{\partial y}) = 0 \quad 03$$

境界条件(3), (5)式を適用すると, (4)式は

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \int_{-h}^{\eta} u dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_{-h}^{\eta} v dz = 0 \quad (4)$$

となる。

ここで, 水深方向に平均化した流速成分を次のように定義する。

$$U = \frac{1}{(\eta+h)} \int_{-h}^{\eta} u dz = \frac{1}{H} \int_{-h}^{\eta} u dz \quad (5)$$

$$V = \frac{1}{(\eta+h)} \int_{-h}^{\eta} v dz = \frac{1}{H} \int_{-h}^{\eta} v dz \quad (6)$$

このようにする時(4)式は次式のようになる。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial (HU)}{\partial x} + \frac{\partial (HV)}{\partial y} = 0 \quad (7)$$

(7)式が, 鉛直方向に平均化された連続の式となる。

(2) 運動方程式

運動方程式(7)~(9)において, x 方向の運動方程式については次の仮定に基づいて簡単に
する。すなわち, 鉛直方向の加速度とせん断応力は, 重力と圧力の勾配に比べて省略でき
るものとする。このように仮定する時(9)式は

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + g = 0$$

$$\therefore \frac{\partial P}{\partial x} = -\rho g \quad (8)$$

水表面 $z = \eta$ で圧力 P が大気圧 P_0 に等しいとして(8)式を解くと

$$P = -\rho g z + C_0$$

$z = \eta$ で $P = P_0$ とすると

$$C_0 = P_0 + \rho g \eta$$

したがって

$$P - P_0 = \rho g (\eta - z) \quad (9)$$

(9)式を(7), (8)式に代入し, 大気圧 P_0 は一定であると仮定すると, (x, y) の運動方程式は
次のようになる。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial (uu)}{\partial x} + \frac{\partial (uv)}{\partial y} + \frac{\partial (uw)}{\partial z} - f_v + g \frac{\partial \eta}{\partial x}$$

$$-\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) = 0 \quad (19)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial(uv)}{\partial x} + \frac{\partial(vv)}{\partial y} + \frac{\partial(vw)}{\partial z} + f_u + g \frac{\partial \eta}{\partial y} \\ & - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) = 0 \end{aligned} \quad (20)$$

連続の式と同様に(19)式も鉛直方向に積分すると、

$$\begin{aligned} & \int_{-h}^{\eta} \frac{\partial u}{\partial t} dz + \int_{-h}^{\eta} \frac{\partial(uv)}{\partial x} dz + \int_{-h}^{\eta} \frac{\partial(uv)}{\partial y} dz + \int_{-h}^{\eta} \frac{\partial(uw)}{\partial z} dz \\ & - \int_{-h}^{\eta} f_v dz + g \int_{-h}^{\eta} \frac{\partial \eta}{\partial x} dz - \int_{-h}^{\eta} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} dz \\ & - \int_{-h}^{\eta} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} dz - \int_{-h}^{\eta} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} dz = 0 \end{aligned} \quad (21)$$

最初の3項、7項、8項に対してライプニッツの定理を適用し、積分を行うと、(21)式は次式となる。

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} \int_{-h}^{\eta} u dz + \frac{\partial}{\partial x} \int_{-h}^{\eta} (uv) dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_{-h}^{\eta} (uv) dz - \int_{-h}^{\eta} f_v dz \\ & + gH \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho} [\tau_{xx}]_{z=\eta} + \frac{1}{\rho} [\tau_{xx}]_{z=-h} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} \int_{-h}^{\eta} \tau_{xx} dz \\ & - \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} \int_{-h}^{\eta} \tau_{xy} dz + u_s \left(-\frac{\partial \eta}{\partial t} - u_s \left(-\frac{\partial \eta}{\partial t} - u_s \frac{\partial \eta}{\partial x} - v_s \frac{\partial \eta}{\partial y} + w_s \right) \right. \\ & \left. - u_B \left(u_B \frac{\partial h}{\partial x} + v_B \frac{\partial h}{\partial y} + w_B \right) + \frac{1}{\rho} [\tau_{xx}]_{z=\eta} \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{1}{\rho} [\tau_{xx}]_{z=-h} \frac{\partial h}{\partial x} \right. \\ & \left. + \frac{1}{\rho} [\tau_{xy}]_{z=\eta} \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{1}{\rho} [\tau_{xy}]_{z=-h} \frac{\partial h}{\partial y} \right) = 0 \end{aligned} \quad (22)$$

(22)式において、10項と11項は境界条件(3)、(5)によって0となる。また、最後の4項は、傾斜した水表面、または海底を横切る運動量の水平方向の輸送を表わしているが、これは無視できるものとする。したがって(22)式は、

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{-h}^{\eta} u dz + \frac{\partial}{\partial x} \int_{-h}^{\eta} (uv) dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_{-h}^{\eta} (uv) dz - \int_{-h}^{\eta} f_v dz$$

$$\begin{aligned}
& + gH \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} \int_{-h}^{\eta} \tau_{xx} dz - \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} \int_{-h}^{\eta} \tau_{xy} dz \\
& - \frac{1}{\rho} \{ \tau_{xx} \}_z = \eta + \frac{1}{\rho} \{ \tau_{xx} \}_z = -A = 0
\end{aligned} \tag{24}$$

第6項と第7項は運動量の水平方向の輸送であり、次のように表わされる。

$$\frac{1}{H} \int_{-h}^{\eta} \tau_{xx} dz = \nu \frac{\partial U}{\partial x} \tag{25}$$

$$\frac{1}{H} \int_{-h}^{\eta} \tau_{xy} dz = \nu \frac{\partial U}{\partial y} \tag{26}$$

ν は渦動粘性係数である。

第8項は風応力のために生じる水表面における応力であり、次のように表わされる。

$$\{ \tau_{xx} \}_z = \eta = \rho_a K |W| W \cos \varphi \tag{27}$$

K : 風の抗力係数

W : 風速

φ : 風向と x 軸のなす角

ρ_a : 空気の密度

第9項は海底摩擦項で、次のように表わされる。

$$\{ \tau_{xx} \}_z = -A = \rho_g U (U^2 + V^2)^{1/2} / C_b \tag{28}$$

C_b : シェーアの係数 ($L^{1/2} T^{-1}$)

(25)~(28)式の項を(24)に代入すると、鉛直方向に積分された x - 方向の運動方程式は次のように得られる。

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial(HU)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (HUU) + \frac{\partial}{\partial y} (HUV) - fHW + gH \frac{\partial \eta}{\partial x} \\
& - \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu H \frac{\partial U}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu H \frac{\partial U}{\partial y} \right) - \frac{1}{\rho} \rho_a K |W| W \cos \varphi \\
& + \frac{1}{\rho} \frac{1}{C_b} U (U^2 + V^2)^{1/2} = 0
\end{aligned} \tag{29}$$

x -方向の運動方程式を導びいた方法と同様にして、鉛直方向に積分された y - 方向の運動方程式は次のように得られる。

$$\frac{\partial(HV)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (HVU) + \frac{\partial}{\partial y} (HV^2) + fHV + gH \frac{\partial \eta}{\partial y}$$

$$\begin{aligned}
& -\frac{\partial}{\partial x} \left(\nu H \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu H \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) - \frac{1}{\rho} \rho_a K |W| W \sin \varphi \\
& + \frac{1}{\rho} \frac{\eta}{C_1^2} \nu (U^2 + V^2)^{1/2} = 0
\end{aligned} \quad (30)$$

最終形として(4), (5)式を H で除して運動方程式を(30), (31)式のとおりとする。ただし、以後、風に関する項は省略する。

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + fV + \eta \frac{\partial \eta}{\partial x} - \nu \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) \\
& + \frac{\eta}{HC_1^2} \nu (U^2 + V^2)^{1/2} = 0
\end{aligned} \quad (31)$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} - fU + \eta \frac{\partial \eta}{\partial y} - \nu \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) \\
& + \frac{\eta}{HC_1^2} \nu (U^2 + V^2)^{1/2} = 0
\end{aligned} \quad (32)$$

4-1-5 有限要素方程式

(1) 弱変分方程式

重み関数をそれぞれ u^* , v^* , η^* とおき、これらを用いて式(30), (31), (32)に対する弱変分方程式を導く。 Ω を解析領域とすれば、

$$\begin{aligned}
& \int_{\Omega} u^* \frac{\partial u}{\partial t} dV + \int_{\Omega} u^* u \frac{\partial u}{\partial x} dV + \int_{\Omega} u^* v \frac{\partial u}{\partial y} dV \\
& - \int_{\Omega} f v^* dV + \eta \int_{\Omega} u^* \frac{\partial \eta}{\partial x} dV + \frac{\eta}{HC_1^2} (u^2 + v^2)^{1/2} \int_{\Omega} u^* u dV \\
& + \epsilon \int_{\Omega} \left(\frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial y} \right) dV \\
& = \epsilon \int_{\Omega} \left(u^* \frac{\partial u}{\partial x} n_x + u^* \frac{\partial u}{\partial y} n_y \right) dS \\
& \int_{\Omega} v^* \frac{\partial v}{\partial t} dV + \int_{\Omega} v^* u \frac{\partial v}{\partial x} dV + \int_{\Omega} v^* v \frac{\partial v}{\partial y} dV \\
& + \int_{\Omega} f v^* dV + \eta \int_{\Omega} v^* \frac{\partial \eta}{\partial y} dV + \frac{\eta}{HC_1^2} (u^2 + v^2)^{1/2} \int_{\Omega} v^* v dV
\end{aligned} \quad (33)$$

$$+ \epsilon \int_V \left(\frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial y} \right) dV$$

$$= \epsilon \int_S \left(v^* \frac{\partial v}{\partial x} n_x + v^* \frac{\partial v}{\partial y} n_y \right) dS \quad (34)$$

連続の条件は

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial H}{\partial x} + v \frac{\partial H}{\partial y} + H \frac{\partial u}{\partial x} + H \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (35)$$

と書き換えれば、次の式が得られる。

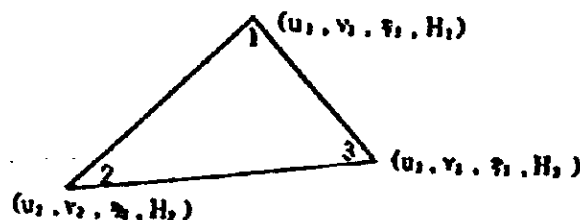
$$\begin{aligned} & \int_V \eta^* \frac{\partial \eta}{\partial t} dV + \int_V \eta^* u \frac{\partial H}{\partial x} dV + \int_V \eta^* v \frac{\partial H}{\partial y} dV \\ & + \int_V \eta^* H \frac{\partial u}{\partial x} dV + \int_V \eta^* H \frac{\partial v}{\partial y} dV = 0 \end{aligned} \quad (36)$$

(2) 有限要素方程式

解析領域 Ω を三角形要素に分割し、要素内の変数を面積座標による一次の内挿関数を用いて次式で近似する。

$$\left. \begin{aligned} u(x, y) &= \sum_{a=1}^3 \phi_a(x, y) u_a = \phi_a u_a \\ v(x, y) &= \sum \phi_a(x, y) v_a = \phi_a v_a \\ \eta(x, y) &= \sum \phi_a(x, y) \eta_a = \phi_a \eta_a \\ u^*(x, y) &= \sum \phi_a(x, y) u_a^* = \phi_a u_a^* \\ v^*(x, y) &= \sum \phi_a(x, y) v_a^* = \phi_a v_a^* \\ \eta^*(x, y) &= \sum \phi_a(x, y) \eta_a^* = \phi_a \eta_a^* \\ H(x, y) &= \sum \phi_a(x, y) H_a = \phi_a H_a \end{aligned} \right\} \quad (37)$$

$u_a \sim H_a$ は、三角形の頂点(節点)で図のように定義されるものとする。



0式を(3), (4), (5)式に代入すると、次式の有限要素方程式を得る。ここで、総和規約を適用し同一項で Suffix が重ねて使われている場合は総和を意味する。Suffix, K, L, M は節点を意味し、それぞれ 1 ~ 3 まで変化する。

$$M_{KL} \dot{v}_L + K_{KLM}^1 v_L v_M + K_{KLM}^2 v_L v_M - f_{M_{KL}} v_L + \gamma N_{KL}^1 v_L + \frac{\gamma}{H_L C^2} (v_L^2 + v_L^2)^{1/2} M_{KL} v_L + v^2 S_{KL} v_L = r_K^1 \quad (8)$$

$$M_{KL} \dot{v}_L + K_{KLM}^1 v_L v_M + K_{KLM}^2 v_L v_M + f_{M_{KL}} v_L + \gamma N_{KL}^1 v_L + \frac{\gamma}{H_L C^2} (v_L^2 + v_L^2)^{1/2} M_{KL} v_L + v^2 S_{KL} v_L = r_K^1 \quad (9)$$

また、連続の条件(6)に対する有限要素方程式は同様にして

$$M_{KL} \dot{v}_L + K_{KLM}^1 H_L v_M + K_{KLM}^2 H_L v_M + K_{KLM}^1 v_L H_M + K_{KLM}^2 v_L H_M = 0 \quad (10)$$

各係数マトリックスは次のとおりである。

$$M_{KL} = \int_V \phi_K \phi_L dV \quad (11)$$

$$K_{KLM}^1 = \int_V \phi_K \frac{\partial \phi_L}{\partial x} \phi_M dV \quad (12)$$

$$K_{KLM}^2 = \int_V \phi_K \frac{\partial \phi_L}{\partial x} \phi_M dV \quad (13)$$

$$S_{KLM} = \int_V \left(\frac{\partial \phi_K}{\partial x} \cdot \frac{\partial \phi_L}{\partial x} + \frac{\partial \phi_K}{\partial y} \cdot \frac{\partial \phi_L}{\partial y} \right) dV \quad (14)$$

$$N_{KL}^1 = \int_V \phi_K \frac{\partial \phi_L}{\partial x} dV \quad (15)$$

$$N_{KL}^2 = \int_V \phi_K \frac{\partial \phi_L}{\partial y} dV \quad (16)$$

(3) 時間積分スキーム

得られた連立常微分方程式(8), (9), (10)の初期値問題に対して Two-Step Lax-Wendroff 法を用いる。すなわち、関数 F の時刻 t における値を用いて時刻 t + dt の値を

$$F(t + dt) = F(t) + dt \dot{F}(t) + \frac{dt^2}{2} \ddot{F}(t) \quad (17)$$

で近似する。更に、2階微分項を省くために、次式のような近似を行なう。すなわち、

$$F(t + \frac{dt}{2}) = F(t) + \frac{dt}{2} \dot{F}(t) \quad (18)$$

$$F(t+dt) = F(t) + dt \dot{F}(t + \frac{dt}{2}) \quad (49)$$

算法 (48), (49) を用いるために, 式 (38), (39), (40) を次のように書き換えておく。

$$M_{KL} u_L = - \{ K_{KLM}^1 u_L u_M + K_{KLM}^2 u_L u_M - f_{M_{KL}} u_L + g N_{KL}^1 \eta_L \\ + \frac{g}{H_L C^2} (u_L^2 + u_L^2)^{1/2} M_{KL} u_L + v^2 S_{KL} u_L + \kappa_K \} \quad (50)$$

$$M_{KL} v_L = - \{ K_{KLM}^1 v_L u_M + K_{KLM}^2 v_L u_M + f_{M_{KL}} u_L + g N_{KL}^1 \eta_L \\ + \frac{g}{H_L C^2} (u_L^2 + v_L^2)^{1/2} M_{KL} u_L + v^2 S_{KL} v_L + \kappa_K \} \quad (51)$$

$$M_{KL} \eta_L = - \{ K_{KLM}^1 H_L u_M + K_{KLM}^2 H_L v_M + K_{KLM}^1 u_L H_M + K_{KLM}^2 v_L H_M \} \quad (52)$$

のとき, (48), (49) 式の F として, $M_{KL} u_L$, $M_{KL} v_L$, $M_{KL} \eta_L$ をそれぞれ考え, (50), (51), (52) 式を (48), (49) 式に代入して Two-Step の式を作成する。

$$M_{KL} u_L(t + \frac{dt}{2}) = M_{KL} u_L(t) + \frac{dt}{2} M_{KL} \dot{u}_L(t) \quad (53)$$

$$M_{KL} v_L(t + \frac{dt}{2}) = M_{KL} v_L(t) + \frac{dt}{2} M_{KL} \dot{v}_L(t) \quad (54)$$

$$M_{KL} \eta_L(t + \frac{dt}{2}) = M_{KL} \eta_L(t) + \frac{dt}{2} M_{KL} \dot{\eta}_L(t) \quad (55)$$

および

$$M_{KL} u_L(t + dt) = M_{KL} u_L(t) + dt M_{KL} \dot{u}_L(t + \frac{dt}{2}) \quad (56)$$

$$M_{KL} v_L(t + dt) = M_{KL} v_L(t) + dt M_{KL} \dot{v}_L(t + \frac{dt}{2}) \quad (57)$$

$$M_{KL} \eta_L(t + dt) = M_{KL} \eta_L(t) + dt M_{KL} \dot{\eta}_L(t + \frac{dt}{2}) \quad (58)$$

以下, $M_{KL} u_L$, $M_{KL} v_L$, $M_{KL} \eta_L$ のかわりに, 関数 $M_{KL} W_L$ で代表させる。便宜上,

$$F(t) = M_{KL} W^A, \quad F(t + \frac{dt}{2}) = M_{KL} W^{A+\frac{1}{2}}, \quad F(t + dt) = M_{KL} W^{A+1} \text{ と表わすと (58), (59)}$$

式は次のとおりである。

$$M_{KL} W_L^{A+\frac{1}{2}} = M_{KL} W_L^A + \frac{dt}{2} M_{KL} \dot{W}_L^A \quad (59)$$

$$M_{KL} W_L^{n+1} = M_{KL} W_L^n + \frac{dt}{2} M_{KL} W_L^{n+\frac{1}{2}} \quad (60)$$

従って、解 $W_L^{n+\frac{1}{2}}$ および W_L^{n+1} を求めるためには、質量マトリックス M_{KL} の逆行列を両辺にかけ合わせてやればよい。しかし、この質量マトリックス M_{KL} は、非対角なマトリックスであり、逆行列の作成および非定常の計算には、多くの計算時間が必要となる。仮に、逆行列を作成して非定常計算を行なったとしても、解は甚だ不安定となり、数値解を求めることは困難となる。

そこで通常用いられている方法として、(59)、(60)式の左辺の質量マトリックス M_{KL} の代わりに、質量集中により M_{KL} を対角行列とした $\bar{M}_{KL}$ により (59)、(60) 式を次のように変形する。

$$\bar{M}_{KL} W_L^{n+\frac{1}{2}} = M_{KL} W^n + \frac{dt}{2} M_{KL} W^n \quad (61)$$

$$\bar{M}_{KL} W_L^{n+1} = M_{KL} W^n + dt M_{KL} W^{n+\frac{1}{2}} \quad (62)$$

ここで、 M_{KL} 、 $\bar{M}_{KL}$ は三角形要素の面積 A を用いて次式で表わされる。

$$M_{KL} = A \cdot \begin{pmatrix} \frac{1}{6} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \\ \frac{1}{12} & \frac{1}{6} & \frac{1}{12} \\ \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{6} \end{pmatrix} \quad (63)$$

$$\bar{M}_{KL} = A \cdot \begin{pmatrix} \frac{1}{3} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{3} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{3} \end{pmatrix} \quad (64)$$

(61)、(62) 式のように、左辺のみに質量集中マトリックスを用いることにより、逆行列の算出は容易となる。つまり、右辺に非対角な質量マトリックスを用いることにより、計算は安定する。

4-2 一層拡散解析モデル

4-2-1 基礎方程式

乱流場における拡散の基礎方程式は次のように与えられる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (uC) + \frac{\partial}{\partial y} (vC) + \frac{\partial}{\partial z} (wC) \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (65)$$

二次元の一層流況解析の所で述べた方法と同様の手順により一層拡散方程式を導く。座標系の取り方は図-1と同様とする。

(65)式を海底から水表面まで積分する。

$$\begin{aligned} \int_H^\eta \frac{\partial}{\partial t} C dz + \int_H^\eta \frac{\partial}{\partial x} (uC) dz + \int_H^\eta \frac{\partial}{\partial y} (vC) dz + \int_H^\eta \frac{\partial}{\partial z} (wC) dz \\ = \int_H^\eta \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) dz + \int_H^\eta \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) dz + \int_H^\eta \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) dz \end{aligned}$$

ライプニッツの定理を適用すれば

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \int_H^\eta C dz + \frac{\partial}{\partial x} \int_H^\eta (uC) dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_H^\eta (vC) dz \\ - \frac{\partial}{\partial x} \int_H^\eta \left(K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) dz - \frac{\partial}{\partial y} \int_H^\eta \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) dz \\ - C|_{x=\eta} \left(\frac{\partial \eta}{\partial t} + u\eta \frac{\partial \eta}{\partial x} + v\eta \frac{\partial \eta}{\partial y} - w\eta \right) - C|_{z=-H} \left(u_B \frac{\partial h}{\partial x} + v_B \frac{\partial h}{\partial y} + w_B \right) \\ + \left\{ \left(K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) |_{z=\eta} \frac{\partial \eta}{\partial x} + \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) |_{z=\eta} \frac{\partial \eta}{\partial y} + \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) |_{z=-H} \frac{\partial h}{\partial x} \right. \\ \left. + \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) |_{z=-H} \frac{\partial h}{\partial y} - \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) |_{z=\eta} + \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) |_{z=-H} \right\} = 0 \end{aligned} \quad (66)$$

最後の〔 〕の項は水表面または海底の底での拡散物質の輸送を表わす。この項は水表面、海底で物質のやりとりがないとすれば無視することができる。また、 $C|_{x=\eta}$, $C|_{z=-H}$ の項は境界条件(3), (5)によって0とすることができる。

ここで、水深方向に平均化された物質の濃度を

$$\bar{C} = \frac{1}{H} \int_H^\eta C dz \quad (67)$$

とすると、(32)式は次のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (H\bar{C}) + \frac{\partial}{\partial x} (H\bar{U}\bar{C}) + \frac{\partial}{\partial y} (H\bar{V}\bar{C}) \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(HK_x \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(HK_y \frac{\partial \bar{C}}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (68)$$

4-2-2 一層定常物質拡散モデル

(I) 基礎方程式

一層定常拡散の基礎方程式は以下に示すとおりである。

$$\begin{aligned} \frac{\partial (Huc)}{\partial x} + \frac{\partial (Hvc)}{\partial y} \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(Hk_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(Hk_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (69)$$

ここに、

c : 水深方向に平均化した COD 濃度

H : 水深

u, v : 水深方向に平均化した流速ベクトルの x 方向成分および y 方向成分

k_x, k_y : x, y 方向の渦動拡散係数

(2) 有限要素方程式

i) 弱変分方程式

重み関数を c^* として (3.46) 式に乗じて、任意の領域で積分すると、

$$\begin{aligned} \int_V c^* \frac{\partial}{\partial x} (Huc) dV + \int_V c^* \frac{\partial}{\partial y} (Hvc) dV \\ = \int_V c^* \left(Hk_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) dV + \int_V c^* \left(Hk_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) dV \end{aligned} \quad (70)$$

ii) 有限要素方程式

解析領域 Ω を三角形要素に分割し、以下のように一次式で内挿する。

$$\begin{aligned} c(x, y) = \sum \phi_a(x, y) c_a = \Phi_a c_a \\ c^*(x, y) = \sum \phi_a(x, y) c_a^* = \Phi_a c_a^* \end{aligned} \quad (71)$$

ここに、 ϕ_a は内挿関数と呼ばれ、流況解析の場合用いた (37) 式と同様のものである。

(71) 式を (70) 式に代入して 2 階の微分項に対して部分積分を施すとして以下の式が得られる。

$$\begin{aligned}
& \bar{h} \int_v \phi_i c_i^* \phi_k u_k \frac{\partial}{\partial x} (\phi_j c_j) dV \\
& + \bar{h} \int_v \phi_i c_i^* \phi_k v_k \frac{\partial}{\partial y} (\phi_j c_j) dV \\
& + k_x \bar{h} \int_v \frac{\partial \phi_i c_i^*}{\partial x} \cdot \frac{\partial \phi_j c_j}{\partial x} dV + k_y \bar{h} \int_v \frac{\partial \phi_i c_i^*}{\partial y} \cdot \frac{\partial \phi_j c_j}{\partial y} dV \\
& = k_x \bar{h} \int_s \phi_i c_i^* \frac{\partial}{\partial x} (\phi_j c_j) n_x dS \\
& + k_y \bar{h} \int_s \phi_i c_i^* \frac{\partial}{\partial y} (\phi_j c_j) n_y dS \quad (72)
\end{aligned}$$

ここで $\bar{h}$ は要素内平均水深をあらわす。今、 c_i^* は任意に選べる関数であることを考えると以下の式が得られる。

$$\begin{aligned}
& \bar{h} \int_v \phi_i \phi_{j,x} \phi_k dV (u_k c_j) + \bar{h} \int_v \phi_i \phi_{j,y} \phi_k dV (v_k c_j) \\
& + k_x \int_v \frac{\partial \phi_i}{\partial x} \frac{\partial \phi_j}{\partial x} dV c_j + k_y \int_v \frac{\partial \phi_i}{\partial y} \frac{\partial \phi_j}{\partial y} dV c_j \\
& = k_x \bar{h} \int_s \phi_i \phi_{j,x} dS c_j n_x + k_y \bar{h} \int_s \phi_i \phi_{j,y} dS c_j n_y \quad (73)
\end{aligned}$$

(73)式は整理すると次のように表わされる。

$$K_{ij}^1 u_k c_j + K_{ij}^2 v_k c_j + R_{ij}^1 c_j + R_{ij}^2 c_j = \pi_i \quad (74)$$

ここに、それぞれの係数は次のとおりである。

$$K_{ij}^1 = \bar{h} \int_v \phi_i \phi_{j,x} \phi_k dV \quad (75)$$

$$K_{ij}^2 = \bar{h} \int_v \phi_i \phi_{j,y} \phi_k dV \quad (76)$$

$$R_{ij}^1 = \bar{h} k_x \int_v \phi_i \phi_{j,x} dV \quad (77)$$

$$R_{ij}^2 = \bar{h} k_y \int_v \phi_i \phi_{j,y} dV \quad (78)$$

$$\pi_i = \bar{h} k_x \int_s \phi_i \phi_{j,x} dS c_j n_x + \bar{h} k_y \int_s \phi_i \phi_{j,y} dS c_j n_y \quad (79)$$

4-2-3 一層非定常物質拡散モデル

(1) 基礎方程式

一層非定常拡散基礎方程式は以下に示すとおりである。

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial}{\partial t} (Hc) + \frac{\partial}{\partial x} (Huc) + \frac{\partial}{\partial y} (Hvc) \\
& = \frac{\partial}{\partial x} \left(Hk_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(Hk_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) \quad (80)
\end{aligned}$$

ここに

t : 時刻 (> 0)

その他の変数は一層定常モデルと同様である。

(2) 有限要素方程式

i) 弱変分方程式

重み関数を c^i として, (80)式に乗じて任意の領域で積分すると

$$\begin{aligned} \int_V c^i \frac{\partial}{\partial t} (Hc) dV + \int_V c^i \frac{\partial}{\partial x} (Huc) dV + \int_V c^i \frac{\partial}{\partial y} (Hvc) dV \\ = \int_V c^i (Hk_x \frac{\partial c}{\partial x}) dV + \int_V c^i (Hk_y \frac{\partial c}{\partial y}) dV \end{aligned} \quad (81)$$

ii) 有限要素方程式

解析領域 Ω を三角形要素に分割し, (71)と同じ内挿関数を用いると (72), (73)式に対応して以下の (82), (83)式が得られる。

$$\begin{aligned} \bar{h} \int_V \phi_i c_i^i \frac{\partial}{\partial t} (\phi_j c_j) dV + \bar{h} \int_V \phi_i c_i^i \phi_{kx} \frac{\partial}{\partial x} (\phi_j c_j) dV \\ + \bar{h} \int_V \phi_i c_i^i \phi_{ky} \frac{\partial}{\partial y} (\phi_j c_j) dV \\ + k_x \bar{h} \int_V \frac{\partial \phi_i c_i^i}{\partial x} \cdot \frac{\partial \phi_j c_j}{\partial x} dV + k_y \bar{h} \int_V \frac{\partial \phi_i c_i^i}{\partial y} \cdot \frac{\partial \phi_j c_j}{\partial y} dV \\ = k_x \bar{h} \int_S \phi_i c_i^i \frac{\partial}{\partial x} (\phi_j c_j) n_x dS + k_y \bar{h} \int_S \phi_i c_i^i \frac{\partial}{\partial y} (\phi_j c_j) n_y dS \end{aligned} \quad (84)$$

今, c_i^i は任意に選べる関数であることを考えると,

$$\begin{aligned} \bar{h} \int_V \phi_i \phi_i dV \frac{\partial c_i}{\partial t} + \bar{h} \int_V \phi_i \phi_{ix} \phi_k dV (u_k c_j) \\ + \bar{h} \int_V \phi_i \phi_{iy} \phi_k dV (v_k c_j) \\ + k_x \bar{h} \int_V \frac{\partial \phi_i}{\partial x} \frac{\partial \phi_j}{\partial x} dV c_j + k_y \bar{h} \int_V \frac{\partial \phi_i}{\partial y} \frac{\partial \phi_j}{\partial y} dV c_j \\ = k_x \bar{h} \int_S \phi_i \phi_{ix} dS c_j n_x + k_y \bar{h} \int_S \phi_i \phi_{iy} dS c_j n_y \end{aligned} \quad (85)$$

(85)式を整理すると次の式が得られる。

$$M_{ij} \dot{c}_j + K_{ij}^1 u_k c_j + K_{ij}^2 v_k c_j + R_{ij}^1 c_j + R_{ij}^2 c_j = \pi_i \quad (86)$$

ここで各係数は (3.51) 式に用いたものと同じである。また、 $\dot{}$ は時間微分を表わす。

■) 時間積分スキーム

(86) 式は空間に関して離散化された式であり、時間に対してはまだ離散化されていない。そこで次には時間に対して離散化することを考える。

(86) 式は、一般に次のように書くことができる。

$$M\dot{c} + Kc = F \quad (87)$$

$\dot{c}$ の時間に関する離散化としては、Crank-Nicolson の方法を用いる。この方法を用いると (86) 式は (87) 式のように示せる。

$$\left. \begin{aligned} M \frac{c^{n+1} - c^n}{\Delta t} + K \left\{ \left(1 - \frac{1}{2} \right) c^n + \frac{1}{2} c^{n+1} \right\} &= F \\ \left\{ \frac{1}{\Delta t} M + \frac{1}{2} K \right\} c^{n+1} &= \left\{ \frac{1}{\Delta t} M - \frac{1}{2} K \right\} c^n + F \\ c^{n+1} &= \left\{ \frac{1}{\Delta t} M + \frac{1}{2} K \right\}^{-1} \left\{ \left\{ \frac{1}{\Delta t} M - \frac{1}{2} K \right\} c^n + F \right\} \end{aligned} \right\} \quad (88)$$

(88) 式を用いると初期状態での値 c^0 が与えられれば、順次 c^n の値を決定することができる。

4-2-4 一層定常温度拡散解析モデル

放水口より排出された温排水は周囲の水と混合し、また、大気への放熱を伴いながら、しだいにその温度を低下し拡散していく。

一層定常温度拡散の基礎方程式を以下に示す。

$$U \frac{\partial T}{\partial x} + V \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{Q_0}{\rho H_w C} \quad (89)$$

ここに K , T : 水温

U, V : x, y 方向流速

ρ : 海水の密度

C : 比熱

H_w : 温排水層厚

Q_0 : 表面における単位面積あたりの交換熱量

海面からの冷却又は、加熱による交換熱量 Q_0 は次の様に表示される。

$$\begin{aligned} Q_0 &= Q_s - Q_b + Q_h + Q_c \\ &= a + b \cdot w \end{aligned}$$

ここに、 Q_r : 輻射量

Q_b : 海表面からの逆輻射量

Q_A : 顕熱量 (対流により大気と海面の間を出入する熱交換量)

Q_e : 潜熱量 (蒸発・凝結による熱移動量)

α, β : 水温および、水温と気温の差に係数

W : 風速

有限要素方程式は、一層定常物質拡散モデルと同様に作成することができる。

第 5 章 計算ケースと計算条件

5-1 計算ケース

計算ケースを構成する要因を次のようにとりまとめた。表 5-1 に示す計算ケースは、これらの要因を組み合わせて設定したものである。

① 地形変更が流況・水質へ与える影響

1981年時点を現況、1990年時点を将来とする。

② 汚染負荷量の変更が流況・水質へ与える影響

この他に、Seraya 海域では、流況モデルとして設定した東から西へ向う恒流 (西流と呼ぶ) と同程度の流速値を持つ西から東へ向う恒流 (東流と呼ぶ) も将来地形で求め、流況の違いによる水質への影響も考慮する。

また、Tekong 海域では、石炭火力発電所の立地のみの場合と、石炭火力発電所と一貫製鉄所の立地の場合の 2 ケースを設定した。

5-2 解析領域と要素分割

解析領域は、Seraya 海域、Tekong 海域のそれぞれについて 図 5-1 に示すように設定した

Seraya 海域では、Seraya 島を中心に東西方向 2.4 km、南北方向 1.4 km の範囲を解析領域とした。南北方向の境界の軸を経度線に対し傾けてあるが、これは、現地の流動観測結果でみられた陸岸に平行する流れを、解析で求めるときの境界条件を設定しやすくするためである。

Tekong 海域では、Tekong 島を中心に南北方向 1.8 km、東西方向 1.3 km の範囲を解析領域とした。Johore 水道側は、Ubin 島の西方 1 km までを解析領域に含めた。

表 5-1 計算ケース

項 目	現況 (1981年)		将来 (1990年)	
	Seraya 海域	Tekong 海域	Seraya 海域	Tekong 海域
㊦ 流 況 解 析				
潮汐流	○	○	○	○
恒 流 A	○	○	○	⊙
B	—	—	○	—
㊧ 物質拡散解析				
COD拡散A	○	○	○	⊙
B	—	—	○	—
㊨ 温排水拡散解析				
A	○	○	○	○
B	—	—	○	—

注) Seraya 海域の恒流 A は西流, 恒流 B は東流である。

Tekong 海域の⊙印のケースは, 火力発電所のみの場合と, 火力発電所 + 製鉄所の場合の 2 ケースである。

解析領域として設定した Seraya 海域, Tekong 海域のそれぞれを三角形を用いて, 連続した空間に分割し, 数値解析に用いる地形モデルを作成する。このとき用いる三角形を要素と呼び, 要素を用いて地形モデルを作成したものを要素分割と呼ぶ。

今回採用した解析手法では, 三角形の各頂点で, 流速値, COD濃度値等が求められる。三角形の各頂点を節点と呼ぶが, ある空間をモデル化する場合, 節点が多い程 (用いる要素が多い程) 空間内の流れ, あるいは拡散を精密に表現することになる。しかし, 要素の数と解析に必要とする計算機の使用時間とは比例し, 計算機的能力, 経済性の点で制約がでてくる。

今回採用した解析手法では, 用いる要素の粗密が許されることから Seraya 島周辺, Tekong 島周辺等着目すべき海域では密な要素を用い, 境界近傍では比較的粗い要素を用いて要素分割を行なった。

また, 1981年時点の地形と1990年時点の地形の変化は, Seraya 海域では, Sakra 島と Bakau 島を埋立てで結ぐことであり, Tekong 海域では Tekong 島南部の Fisherman Bank を埋立ることであるので, これら地形の変化も地形モデルを作成する上で配慮した。

図 5-2 ～ 5-5 には、Seraya 海域の要素分割図と水深図を、図 5-6 ～ 5-9 には Tekong 海域の要素分割図と水深図をそれぞれ示す。表 5-2 には、両海域の要素分割の諸元を示す。

なお、水深は海図から読みとった値（略印度大低潮面下の水深）に主要四分潮の振幅の和の値を参考に 2 m を加えた値を、平均海面からの水深として各節点に与えたものである。

表 5-2 要素分割の諸元

海 域	地 形	節点総数	要素総数	節点間距離 の最大(m)	節点間距離 の最小(m)
Seraya 海域	1981年地形	1,355	2,387	1,414.0	94.3
	1990年地形	1,341	2,358	1,414.0	94.3
Tekong 海域	1981年地形	1,033	1,749	753.0	150.0
	1990年地形	1,001	1,678	753.0	150.0

5-3 計算条件

主な計算条件は表 5-3 に示すとおりである。特に重要な条件については、その設定根拠について述べる。

5-3-1 潮汐流の境界条件

Seraya 海域、Tekong 海域とも、陸岸以外の境界に潮位と位相を与え、水位の変動に伴う流れを求めた。

Seraya 海域では、Victoria Dock, Jurong Wharf の K_1 分潮の潮位と位相の値を参考に、表 5-4 に示す値とした。

Tekong 海域では、Slave One の M_2 分潮の潮位と位相の値を参考に表 5-5 に示す値とした。

これらの値は何回かの試行計算結果のうち、最も流れの現況再現性が良好であったケースでの値である。

なお、Seraya 海域の南側の境界は、Seraya 島周辺の流れのバランスを調整するために、直交する流れはないものとしてある。

設定した潮位、位相が、現地の潮位、位相に比べ、若干大きな値であることや、Seraya 海域南側の境界の処理等、実際の現象とは異なった条件となっている。

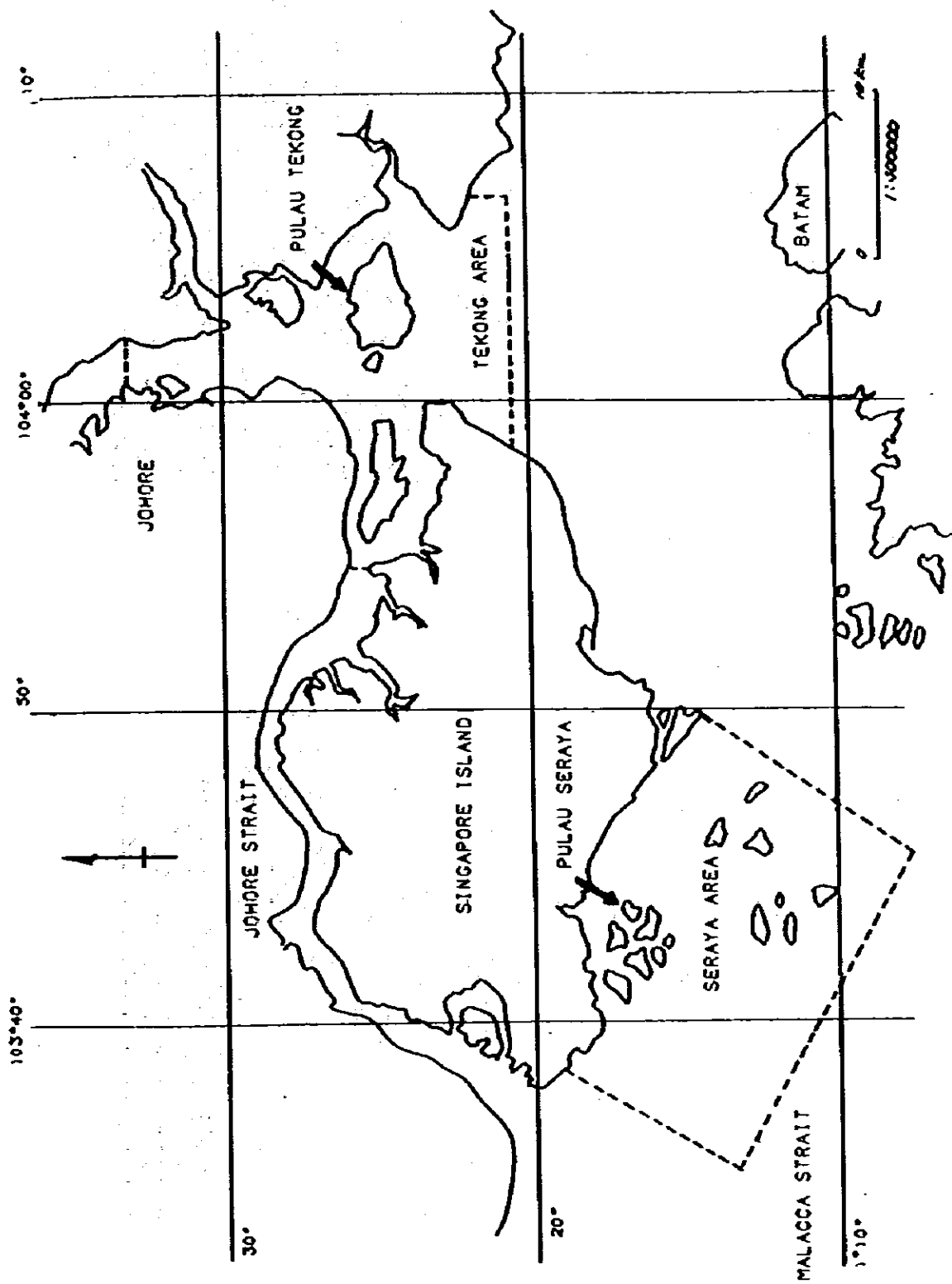


图 III 5-1 解析领域

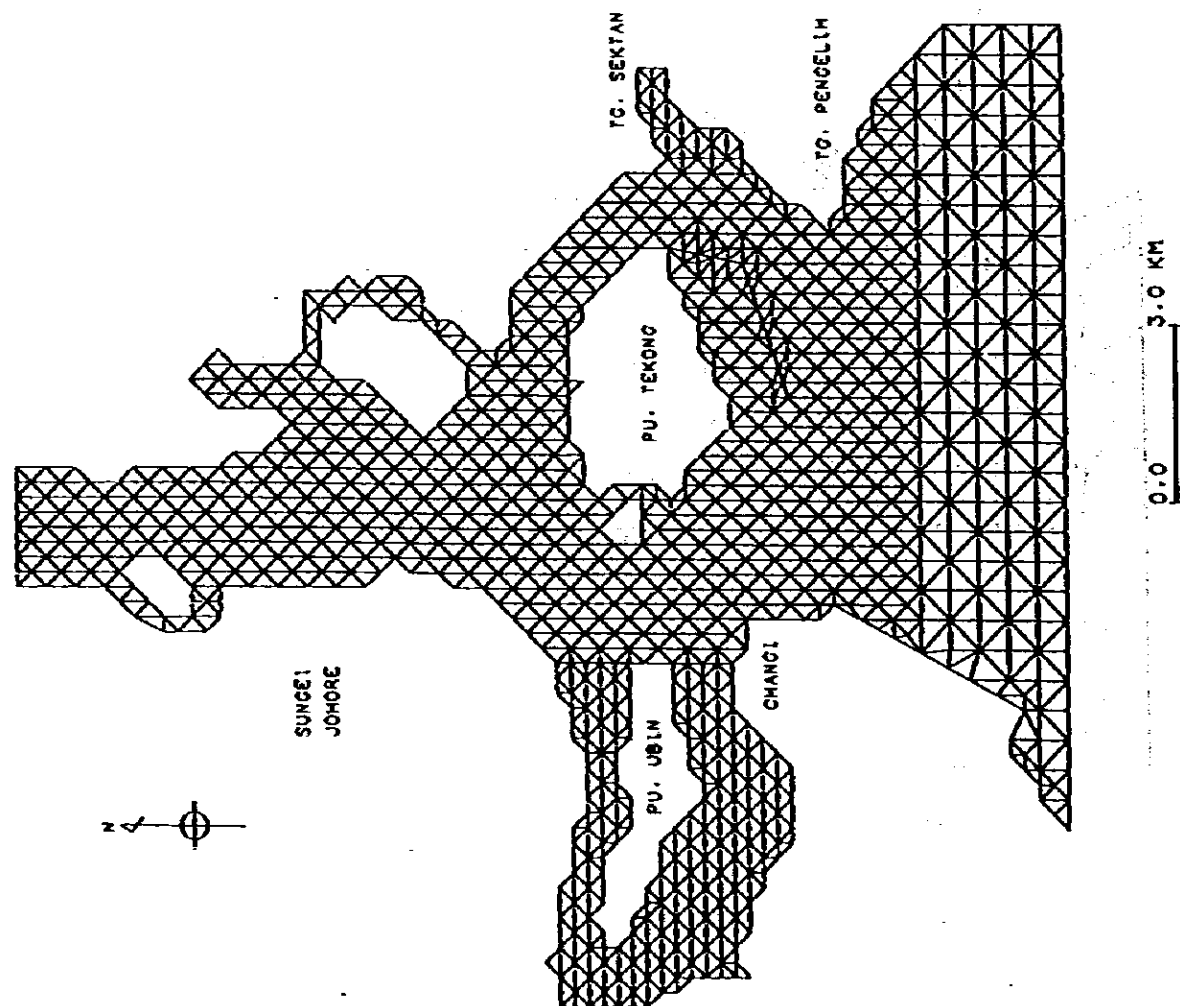


图 III 5—6 要素分割图—1981 年地形—Tekong 海域

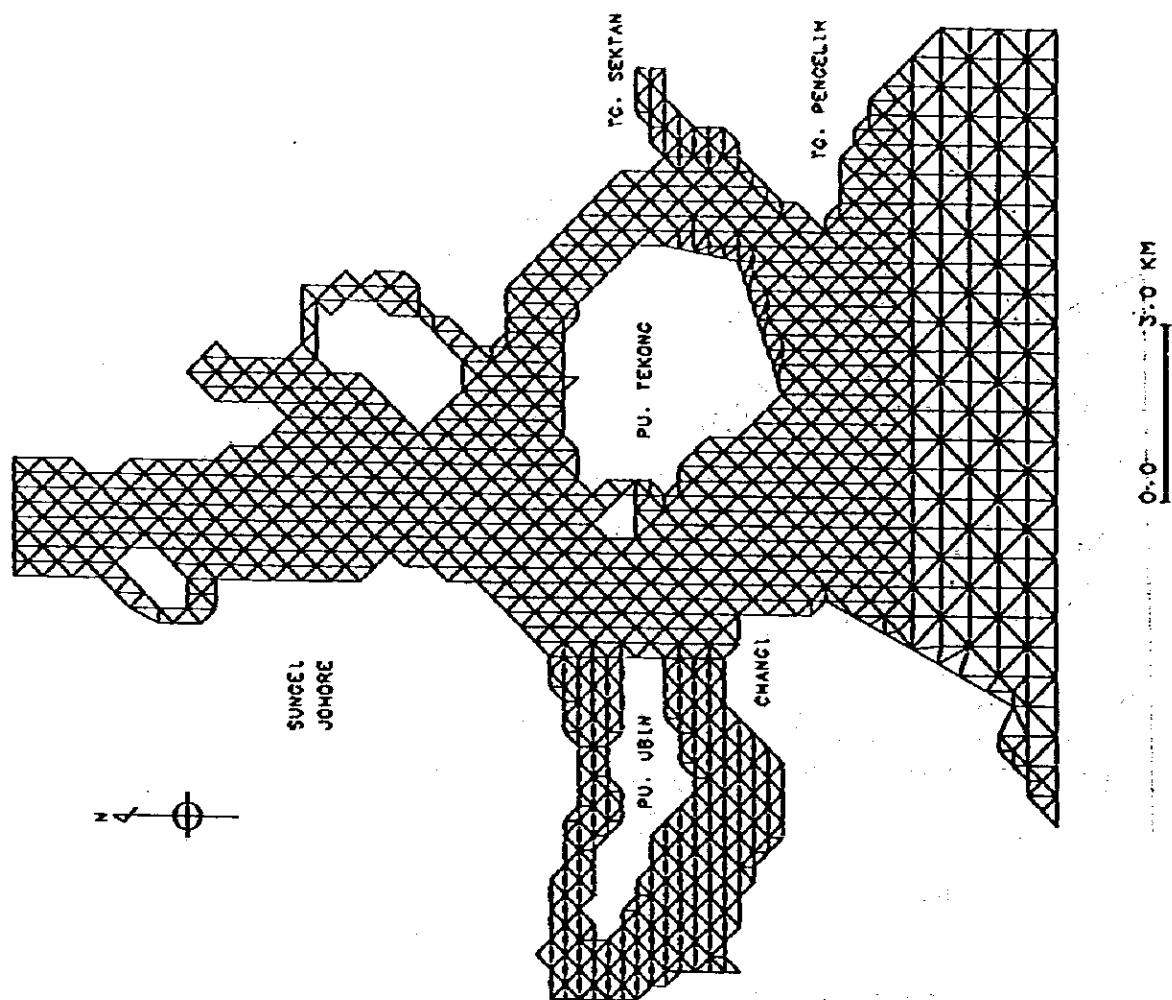


图 III 5—7 要素分割图—1990 年地形—Tekong 海域

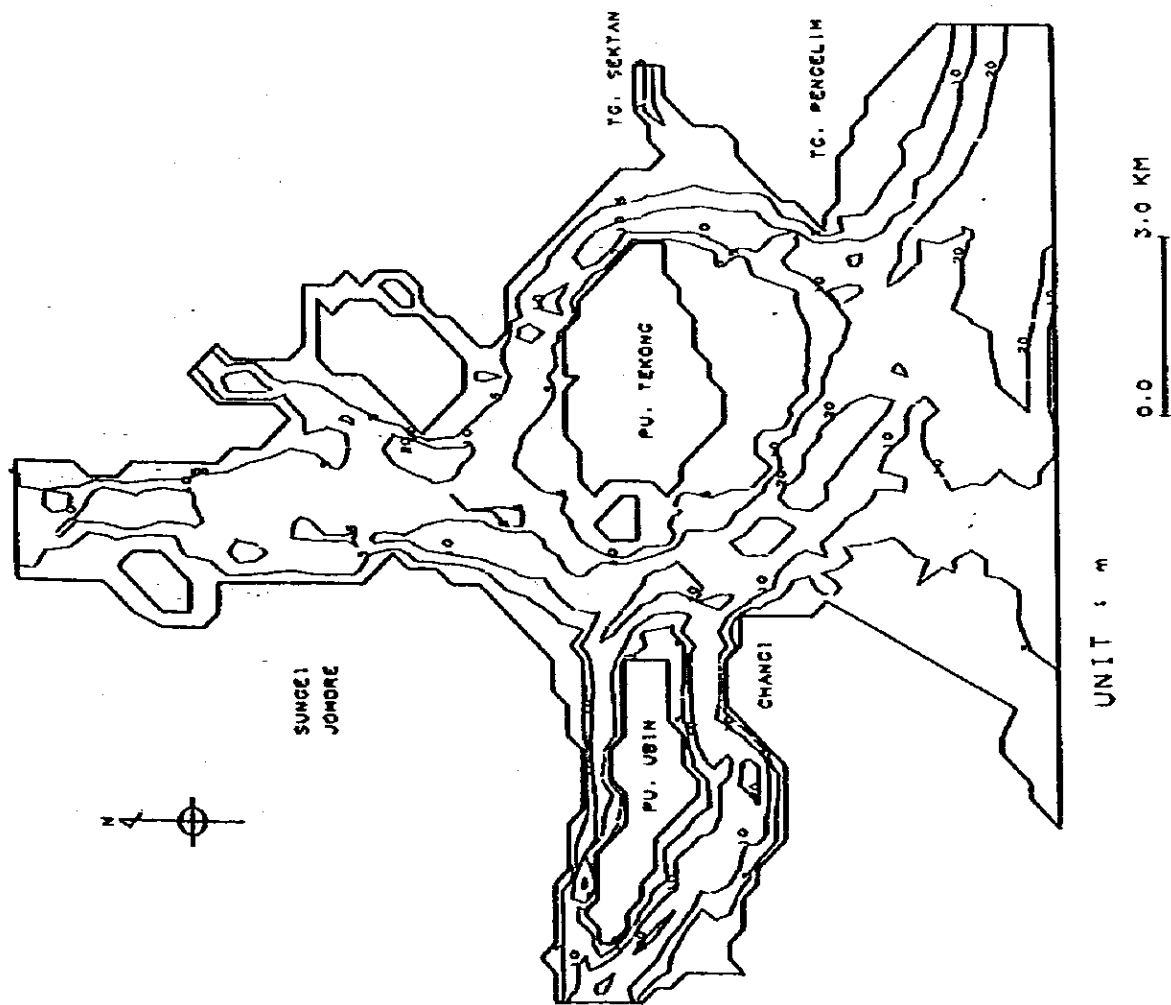


图 5-8 水深图—1981年地形—Tekong 海域

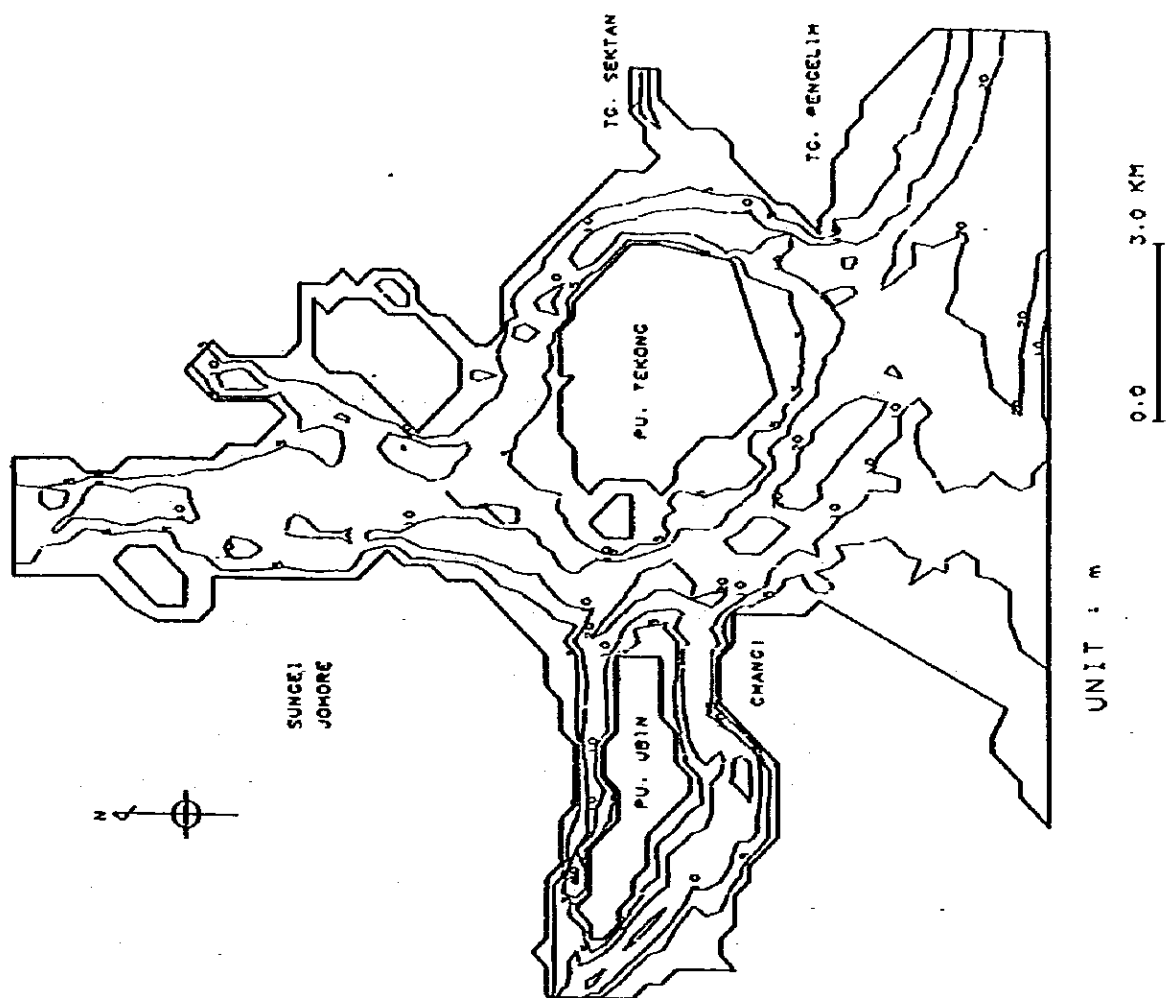


图 5-9 水深图—1990年地形—Tekong 海域

限定された解析範囲で最良の結果を得るためのこのような処理は、数値シミュレーションや水理模型実験でしばしば行なわれている。

5-3-2 恒流の境界条件

恒流の境界条件を述べる前に、恒流計算の手順を述べておく。

恒流は、一般的に言われる海流、河川流、風による吹送流、密度流、潮汐流が地形の影響を受けて生じる潮汐残渣流などにより生成され、潮汐流の周期よりは長い時間スケールの変動を持つ。今回の調査では、潮汐流より長い時間スケールを持つ流れを定常的な流れ（恒流）として、流況モデルに組み込んだ。

さて、潮汐流計算を実施すると、入力した潮位振幅の変動に起因する流れ（潮汐流）の他に、1潮汐の流れを平均することにより定常的な流れが求められる。

これは潮汐残渣流と呼ばれている。この流れは、地形の影響から渦度が生じ、この渦度が流れの持つ非線形効果によってCascade upされていくことによって成されるといわれている。

流況モデルの一部として設定した恒流は、潮汐残渣流と、その他各種要因による流れの合成されたものであることから、数値計算では、潮汐流計算から得られた定常的な流れと、恒流計算結果の流れを合成して対応させる。すなわち、恒流計算結果の流れは、潮汐残渣流に相当する流れ以外の流れを包括しているものとする。

恒流の境界条件は、このことから潮汐流計算が実施された後に設定されたものである。

恒流の境界条件は、Seraya 海域、Tekong 海域とも陸岸以外の境界に流速値（流量）を与え、解析領域を通過する流れを求めた。また、河川流量、企業による取排水量を、取排水地点に相当する計算点に与えた。

Seraya 海域では、東から西へ向う恒流（西流）を求めるために 図 5-10 に示す流速値を設定した。この流速値による流入出流量は約 $30,000 \text{ m}^3/\text{sec}$ である。

また、将来時点で求める西から東へ向う恒流（東流）の条件は、図 5-11 に示すとおりであり流入出流量は前述の値と同一である。Seraya 海域南側の境界では、潮汐流の境界条件設定と同様の理由から直交する流れはないものとした。

Tekong 海域では、図 5-12 に示す流速値を設定した。この流速値による流入出流量は約 $8,000 \text{ m}^3/\text{sec}$ である。

なお、Johore 川の流量が不明であるので、次のように評価した。潮汐流計算結果から得られた定常的な流れは、Johore 川から解析領域内へ流入するパターンを示している。

この定常的な流れと恒流計算結果の流れを合成した流れが、流況モデルの恒流を再現して

いれば、Johore 川の流量が評価されているものとした。

今後、恒流という概念は、潮汐流計算結果から得られた流れと恒流計算結果で得られた流れを合成したものとして定義する。

5-3-3 海底摩擦係数

数値シミュレーションでは、流れに対する海底摩擦の効果を一般的に流速の 2 乗に比例する形で次式のように評価する場合が多い。

$$F = K \cdot \rho \cdot |u| \cdot |u|$$

ここに、 F ：摩擦力、 K ：摩擦係数、 ρ ：海水密度、 u ：平均流速

海洋での摩擦数を求める試みは、Grace-1936-、宇野木-1963-、B野-1964-らによって行なわれている。宇野木は、東京湾での海底摩擦係数を求めたが、この結果によると、海底摩擦係数の値を $K = 2.6 \times 10^{-3}$ としている。この値は、海洋における海底摩擦係数の目安として、数値シミュレーションによく採用される。

しかし、現実には、海底形状、土質といった要因による海底摩擦係数を充分表現しているわけではない。

5-3-4 拡散係数

拡散係数を正確に評価する方法は、まだ確立されていないが、海洋における拡散係数の評価方法は、a) 染料流しによる方法、b) 塩分分布による方法、c) 流速変動の観測から求める方法等があげられる。

1981年の流況・水質調査から、b) と c) に対応するデータが得られている。

b) の塩分分布の観測結果からは、Seraya 海域、Tekong 海域とも水平方向、鉛直方向に 1~2% の変化がみられる程度で、ほとんど均一な水塊であることが示されている。これは、淡水流入がほとんどないか、拡散係数が大きく、淡水が流入しても海水とすぐに混合されるかのいずれかであり、塩分分布から拡散係数を推定することには難がある。

c) の流速変動の観測から求める方法は、拡散係数を G. I. Taylor の定理を使って次式から算出する。

$$K_x = \overline{u_L^2} \int_0^\infty R_{LU}(\tau) d\tau$$

$$K_y = \overline{v_L^2} \int_0^\infty R_{LV}(\tau) d\tau$$

ここに、 R_{LU} 、 R_{LV} ；それぞれの x 、 y 方向の Lagrange 自己相関係数、 $\overline{u_L^2}$ 、 $\overline{v_L^2}$ ；Lagrange 変動速度の 2 乗平均。

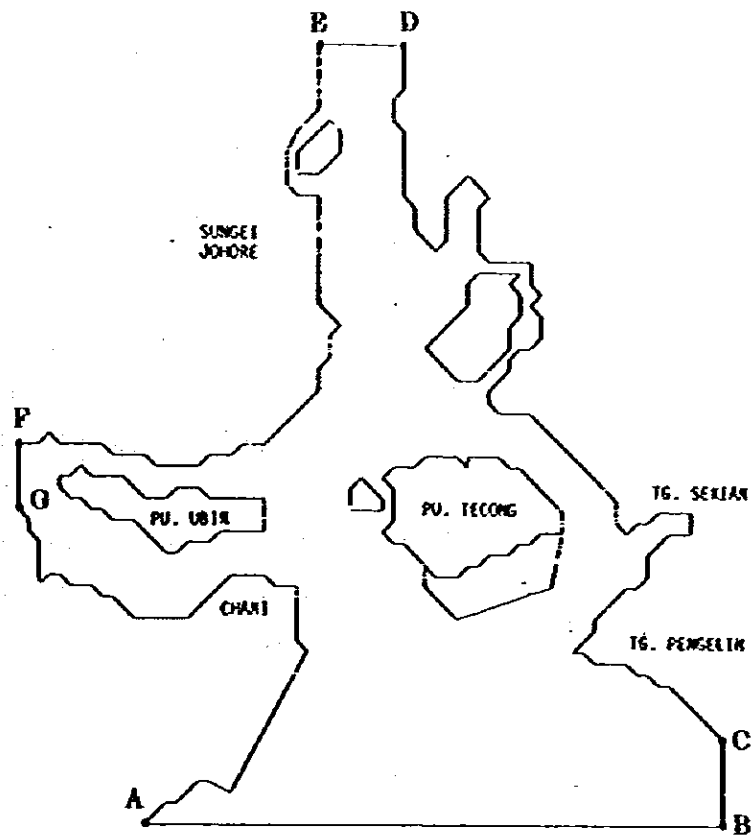
流速を計測する流速計は、海中に固定されているので、流速のデータは Euler 系のもので

表 5-3(I) 主な計算条件 (セラヤ海域)

項	目	採用した値	備考
Seraya 海域	流況計算		
	潮 汐 流	表 5-4 に示すとおり境界に潮位と位相を与えた。	
	恒 流	図 5-10 , 5-11 に示すとおり流速を与えた。	
	陸 岸 条 件	$U_n:0$ (U_n :陸岸に直交する流れ)	
	排 出 流 量	表 5-7 , 図 5-13 に示すとおりである。	
	コリオリの係数	$\phi 1.1^\circ f = \omega \sin \phi$ ここに, ω :地球の自転角速度 (0.729×10^{-4} rad/sec) ϕ :解析領域の緯度	
	渦動粘性係数	10^{-6} cm ² /sec	
	海底摩擦係数	2.6×10^{-2} 10.0	
	計算時間間隔	12 sec	
	COD拡散計算		
	排 出 負 荷 量	表 5-7 , 図 5-13 に示すとおりである。	
	拡 散 係 数	3×10^6 cm ² /sec	
	外洋境界濃度	0.1~1.0 ppm	
	温度拡散計算		
	上 昇 温 度	表 5-7 , 図 5-13 に示すとおりである。	
	平 均 気 温	表 5-9 に 気温: 26.6℃	観測値の全層平均値
	平 均 風 速	示すとおり 風速: 2.04 m/s	
	平 均 水 温	水温: 28.4℃	
	温 水 層 厚	全層	
	拡 散 係 数	COD拡散計算で用いたもの。	

表 5-3(2) 主な計算条件 (テコン海域)

項 目	採 用 し た 値	備 考
Tekong 海域	流況計算 潮 汐 流 表 5-5 に示すとおり境界に潮位と位相を与えた。 恒 流 図 5-12 に示すとおり境界に流速を与えた。 陸 岸 条 件 $U_n=0$ (U_n: 陸岸に直交する流れ) 排 水 流 量 表 5-8, 図 5-14 に示すとおりである。 コリオリの係数 $\phi=125$, $f=2\omega \sin\phi$ ここに, ω: 地球の自転角速度 $(0.729 \times 10^{-4} \text{ rad/sec})$ ϕ: 解析領域の緯度 渦動粘性係数 海底摩擦係数 2.6×10^{-3} 計算時間間隔 15 sec	
	COD拡散計算 排 出 負 荷 量 表 5-8, 図 5-14 に示すとおりである。 拡 散 係 数 $1 \times 10^6 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 外洋境界濃度 0.75~2.75 ppm	
	温度拡散計算 上 昇 温 度 表 5-8, 図 5-14 に示すとおりである。 平 均 気 温 表 5-9 に 気温 26.5℃ 平 均 風 速 示すとおり。 風速 2.2 m/s 平 均 水 温 水温 28.4℃ 温 水 層 厚 全層 拡 散 係 数 COD 拡散計算で用いたもの。	観測値の全層平均値



Tat 表 5 - 5 潮汐流の境界条件 Tekong 海域

POINT	潮位 (cm)	位相 (°)
A	75.0	0.0
B	75.0	0.0
C	75.0	0.0
D	80.0	50.0
E	80.0	50.0
F	80.0	75.0
G	80.0	75.0

注) 各 POINT 間での潮位，位相は内挿した。

表 5-6 流速変動から求めた拡散係数

(cd/sec)

1979年流況調査			1981年流況調査					
測点	成分	拡散係数	測点	成分	拡散係数	測点	成分	拡散係数
ST.1	N-S	454×10^5	SC.1	N-S	519×10^6	TC.1	N-S	559×10^6
	E-W	139×10^6		E-W	332×10^6		E-W	259×10^5
ST.2	N-S	788×10^5	SC.2	N-S	310×10^6	TC.2	N-S	383×10^6
	E-W	189×10^6		E-W	229×10^6		E-W	203×10^6
ST.3	N-S	584×10^5	SC.3	N-S	382×10^5	TC.3	N-S	971×10^6
	E-W	421×10^4		E-W	432×10^6		E-W	523×10^4
ST.4	N-S	1.15×10^6	SC.4	N-S	884×10^5	TC.4	N-S	759×10^6
	E-W	391×10^5		E-W	499×10^6		E-W	132×10^6
ST.5	N-S	1.19×10^6	SC.5	N-S	326×10^5			
	E-W	5.53×10^6		E-W	1.97×10^6			
			SC.6	N-S	1.08×10^7			
				E-W	9.39×10^6			
平均	N-S	833×10^5	平均	N-S	294×10^6	平均	N-S	6.68×10^6
	E-W	1.85×10^6		E-W	4.38×10^6		E-W	9.15×10^5

注) Seraya 海域の拡散係数は、24 時間以上の周期成分を Cut
Tekong 海域の拡散係数は、12 時間以上の周期成分を Cut

ある。

Lagrange 系における流速の測定は一般的にむずかしく、Euler 系と Lagrang 系との関係も明らかにされていない。しかしミクロスケールの Euler, Lagrange 速度の自己相関分布における相似性に基づくことにより次の Euler, Lagrange の変換式が成立する (Hay & Pasquill-1959-)

$$R_L(\eta) = R_E(\tau) \quad \eta = \beta \tau$$

ここに β ; 乱れのスケールに依存する無次元パラメータ。 β の値は Hay らの観測によると非常にばらつきがあり、1.0 ~ 8.5 の値をとり、平均的には 4.0 であることを示している。このように β の値には、ばらつきがある。しかし、Euler 相関と Lagrange 相関を等しいとみなし、 $\beta = 1.0$ と仮定して拡散係数を見積る場合もある。(日本の電調審)

表 5-6 には、1981 年の流況観測結果から得られた Seraya 海域、Tekong 海域の拡散係数を示す。なお、1979 年の流況観測結果による値も参考のために示す。

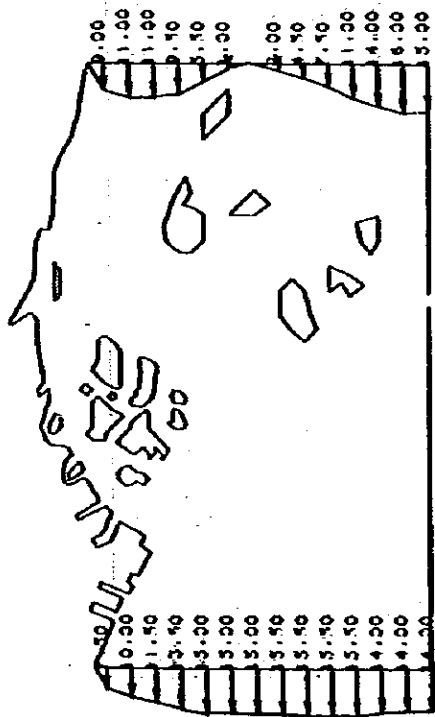


図 Ⅲ 5-10 恒流の境界条件 (西流) Seraya 海域



図 Ⅲ 5-11 恒流の境界条件 (東流) Seraya 海域

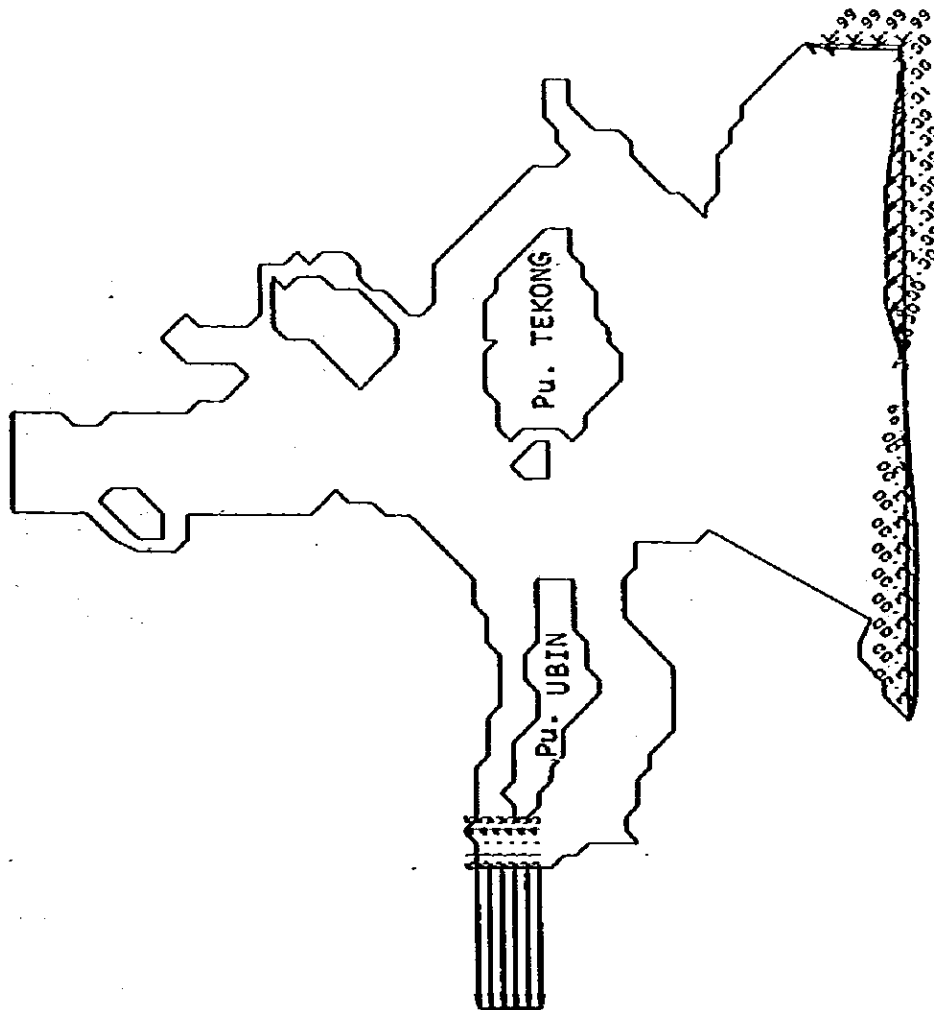
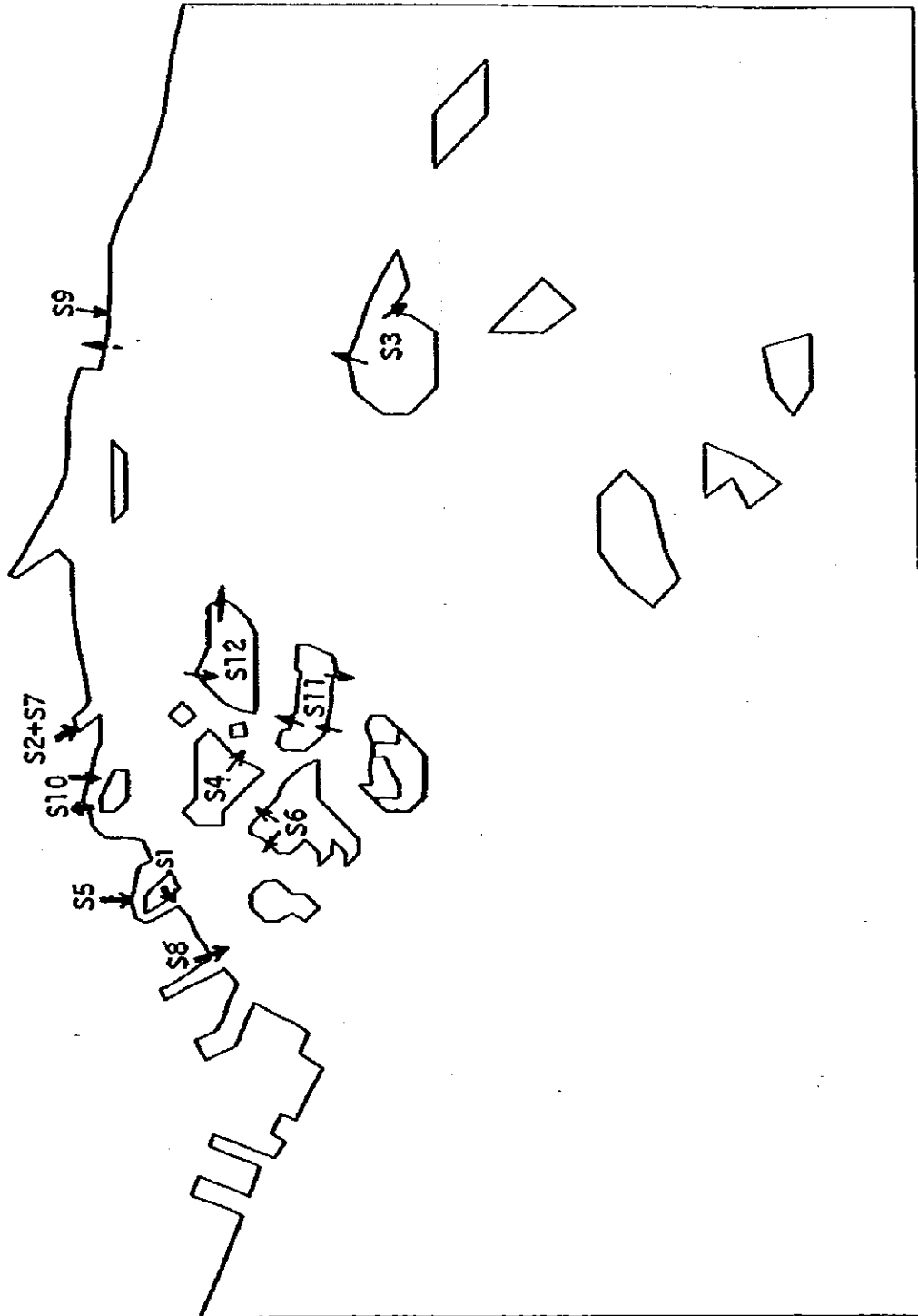


図 Ⅲ 5-12 恒流の境界条件・Tekong 海域

表Ⅲ 5-7 排水量と負荷量（セラヤ地区）

記号	名 称	1981 年			1990 年			備 考
		上昇水温 (℃)	排水流量 (m ³ /日)	COD負荷 (kg/日)	上昇水温 (℃)	排水流量 (m ³ /日)	COD負荷 (kg/日)	
S 1	Jurong Shipyard Ltd.	1.5	12050	1610	1.5	18457	2466	
S 2	Sugar Industry of Singapore Ltd.	5.0	43230	27337	5.0	107689	68098	
S 3	Shell Eastern Pte.Ltd.	10.0	672455	224364 ~784364	10.0	1040293	348219 ~1214544	最大値を採用
S 4	Singapore Refining Co. Pte. Ltd.	15.0	175080	1703820	15.0	270850	2635824	
S 5	Mobil Oil Singapore Pte. Ltd.	-	3700	12950	-	5724	20034	
S 6	Esso Singapore Pte. Ltd.	2.0	359250	-	2.0	555763	-	
S 7	Ulu Pandan Svoge Treatment	-	136000	362667	-	272000	725333	
S 8	Jurong Svoge Treatment	-	-	-	-	240000	640000	
S 9	Pasir Panjang Power Station	5.6	1441440	-	5.6	1441440	-	
S10	Jurong Stage Power Station	5.6	2882880	-	5.6	2882880	-	
S11	Petrochemical Corp of Singapore	-	-	-	14.0	2641500	10400	
S12	P. Soraya Power Station	-	-	-	8.3	2641500	7500	
	Total	-	5726085	2332748 ~2892748	-	10919716	4457874 ~5924199	



図Ⅲ 5-13 排出点位置図（セウヤ地区）

表Ⅲ 5-8 排水量と負荷量（サコン地区）

記号	名 称	1981 年			1990 年			備 考
		上昇水温 (℃)	排水流量 (m^3 /日)	COD負荷 (kg /日)	上昇水温 (℃)	排水流量 (m^3 /日)	COD負荷 (kg /日)	
T1	Kum Chuan Sewage Treatment	-	218,000	4360.00	-	255,000	6800.00	
T2	P. Tekong Power Station	-	-	-	8.3	2401.500	75.00	
T3	Integrated Steel Mill	-	-	-	-	9,300	65.10	
	Total	-	218,000	4360.00	-	2665.800	6940.10	

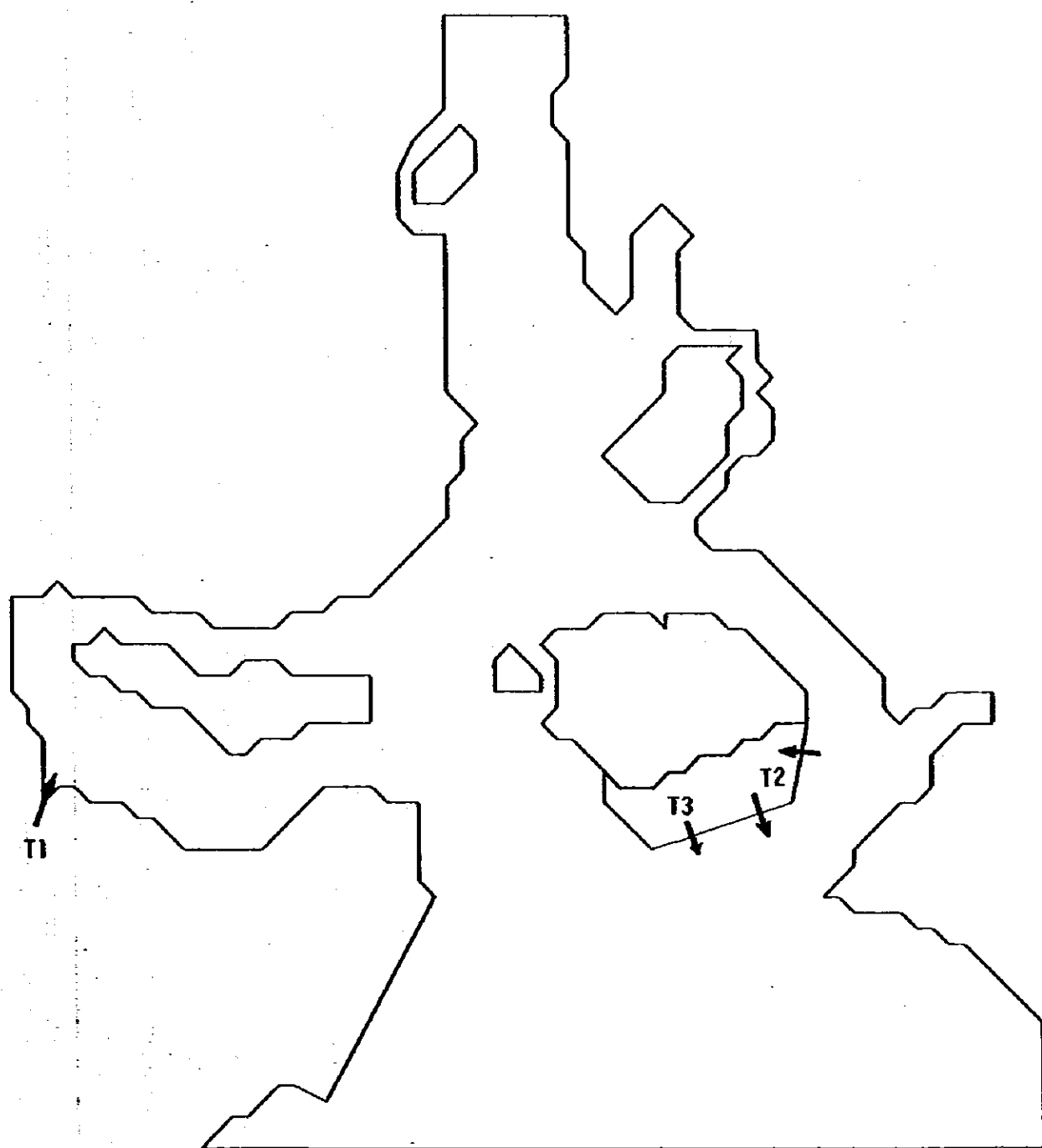


図 5-14 排出点位置図（テコン地区）

表Ⅲ 5-9 平均気温と平均風速

地 点	項 目	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANV	3月の 平均値	備考
*1 JJC JUROMG FLATTZD FACTORT BLDC	0 (kt)	6.0	12.6	12.2	17.9	20.0	15.3	12.8	15.5	18.9	22.9	19.6	12.3	15.6		各ラシク の中央値 に出現頻 度を乗じ 加重平均 して求め た値であ る。
	1-3	19.7	20.8	33.3	42.0	36.6	30.0	21.1	22.4	29.7	33.2	34.1	22.6	29.2		
	4-6	44.9	41.9	39.2	28.8	27.1	31.3	32.7	28.9	29.3	26.0	32.6	38.7	33.3	4.08kt	
	7-10	25.1	22.9	13.6	10.5	15.0	21.3	30.5	29.2	19.9	15.7	12.2	23.2	19.7	2.04	
	11-16	4.3	1.8	1.7	0.8	1.1	1.9	2.9	3.9	2.0	2.1	1.5	3.1	2.2	m/sec	
	17-21	-	-	-	-	0.2	0.2	-	0.1	0.2	0.1	-	0.1	-	-	
	22-27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
*2 CHANGI AIRFIELD	N	(53) 6.7	(51) 6.5	(17) 5.1	(14) 4.9	(5) 3.9	(5) 4.3	(6) 4.2	(1) 4.0	(1) 3.2	(9) 3.4	(17) 3.5	(49) 4.6	(21) 4.5		() 内 の値は出 現頻度。 風向別平 均。風速 に出現頻 度を乗じ 加重平均 して求め た値であ る。
	NE	(13) 8.6	(35) 9.3	(28) 6.7	(13) 6.2	(7) 4.2	(3) 3.7	(4) 4.5	(1) 2.6	(2) 4.3	(5) 4.9	(17) 7.3	(43) 9.3	(14) 6.0		
	E	(1) 6.0	(1) 8.3	(5) 7.1	(10) 6.9	(6) 5.6	(4) 4.3	(6) 6.0	(1) 5.0	(1) 3.8	(2) 5.6	(4) 5.1	(1) 7.7	(3) 5.9		
	SE	(1) 7.0	(-) 7.5	(1) 6.5	(6) 7.0	(9) 6.1	(9) 6.7	(9) 7.5	(17) 8.1	(7) 7.1	(5) 6.5	(3) 6.2	(-) 6.3	(5) 6.9	4.40kt	
	S	(-) -	(1) 5.7	(1) 5.2	(6) 6.1	(15) 7.0	(20) 6.1	(27) 7.9	(35) 7.2	(27) 6.7	(16) 6.6	(3) 6.8	(1) 7.2	(13) 6.0	2.20	
	SW	(-) 6.0	(-) -	(-) 10.0	(5) 4.0	(8) 5.4	(11) 5.8	(9) 7.1	(14) 5.8	(23) 7.1	(12) 6.2	(2) 5.3	(1) 5.8	(7) 5.7	m/sec	
	W	(3) 4.0	(-) -	(5) 3.8	(12) 3.6	(9) 3.6	(13) 5.4	(9) 4.9	(11) 5.5	(9) 5.1	(12) 5.2	(7) 5.2	(-) 4.3	(7) 4.2		
	NW	(23) 3.0	(10) 2.2	(16) 2.4	(13) 2.6	(13) 2.9	(8) 4.7	(10) 3.8	(3) 3.2	(11) 6.0	(14) 4.2	(12) 3.8	(3) 4.5	(12) 3.6		
	Ca/m	(6) -	(2) -	(17) -	(21) -	(28) -	(27) -	(20) -	(17) -	(29) -	(25) -	(19) -	(3) -	(19) -		
	平均気温(°C)	26.2	27.1	27.4	27.7	28.0	27.9	27.4	28.0	27.4	27.3	26.2	26.3	27.2	27.4	24Hr MEAN
シンガポール 全	平均風速(°C)	25.5	16.1	26.5	26.9	27.3	27.3	27.1	26.9	26.8	26.6	26.1	25.6	26.5	26.5	24Hr MEAN
	*1 PERIOD	1978					1year									
	*2 PERIOD	1975-1979					5years									
	*3 PERIOD	1929-1941, 1948-1979					45years									

(注) *1 PERIOD 1978 *2 PERIOD 1975-1979 *3 PERIOD 1929-1941, 1948-1979 45years

これによると、Seraya 海域、Tekong 海域とも 106 オーダー程度の値がみられる。Seraya 海域では東西方向が、Tekong 海域では南北方向のそれぞれ拡散係数が卓越するが、値に大きな差はみられない。

この拡散係数を参考に、表Ⅱ 5-3 に示す値を今回拡散計算で採用した。

5-3-5 外洋境界濃度 (COD)

外洋境界濃度は、解析領域内の水質のバックグラウンド濃度として評価される。一般的に外洋境界濃度を設定するために長期間の水質観測結果を統計処理し、外洋側の観測点での最も低い濃度の平面分布状況を参考とすることが多い。

1981 年の水質観測結果は前述したとおりある 1 つの時間断面での値でしかない。このため今回実施した拡散計算では、水質観測を実施した時間の流れと、観測値の平面分布状況から判断して、Seraya、Tekong 両海域の外洋境界濃度を次のように設定した。

Seraya 海域では、水質観測時の流れが西から東へ向っていたことから、西側の境界には、Seraya 島より西側の水質観測点での最低濃度 0.1 ppm も、東側の境界では 0.1~1.0 ppm とした。

Tekong 海域では、Tekong 島南側で濃度は低く、北側で高いといった傾向が水質観測値で示されている。このことから Tekong 島南側の境界で 0.75 ppm、北側の Johore 川の境界で 2.75 ppm とした。この値は、北側と南側の境界濃度をパラメータとして実施した試行計算結果のうち、最も現況再現性が良好であったケースでの値である。

第 6 章 計 算 結 果

6-1 Seraya 海域の結果

6-1-1 流 況

— 現況再現性の確認

現況再現計算を実施し、得られた結果と流況モデルとして設定した流れとを比較し、現況の流況モデルを再現しているかを検証する。

潮汐流計算は、3 潮汐 (72 時間) 分、恒流計算は 1000 step (3.3 時間) のそれぞれ計算を実施し、充分安定した結果であることを確認した。

検証項目と方法は次のとおりである。

潮汐流については、流況モデルの一部として設定した計算値から作成した観測地点と同

一計算点の潮汐楕円とを比較する。比較する項目は、最大流速の大きさを示す潮汐楕円の長軸の長さ、最大流速時の流向を示す潮汐楕円の長軸の傾きと、各潮時における流れの挙動を示す楕円の形状である。

恒流については、観測値から作成した計算値から同様に作成したベクトルについて比較する。

表Ⅱ6-1には、潮汐楕円の大きさ、傾きについて比較したものを、図Ⅱ6-1、図Ⅱ6-2には、観測値の潮汐楕円と計算値による潮汐楕円を比較したものを示す。また、表Ⅱ6-2には、恒流ベクトルについて比較したものを示す。

これから潮汐流と恒流の現況再現性について要約すると以下のとおりである。

- ① 1981年流況調査の観測値と計算値との潮汐楕円の比較は、最大流速値を示す楕円、長軸の大きさの計算値は、観測値に対し3～-6 cmの差を示す。比較的大きな差がみられた場所はSC1の3 cm/secとSC3の-6 cm/secであり、これらの観測点はSeraya島の北側と南側にあり、Seraya島北側の水路と南側の外洋の流れのバランスが完全ではないことを示している。

しかし、全体的な最大流速の分布のバランスといった観点からみると、計算値と観測値との流速比率の平均は0.991であり(SC1:0.8951, SC2:0.9925, SC3:1.1720, SC4:0.9815, SC5:0.9490, SC6:1.0046)、ほぼ1:1の関係に近い。

また、最大流速時の流向を示す長軸の傾きについて、観測値との差は14～-23°の範囲にあり、ほぼ観測値の流向を再現している。

楕円の形状も観測値と相似で偏平であることから明確な往復流が再現されている。

- ② 1979年流況調査の観測値と計算値の比較を補足的に行なうと次のとおりである。

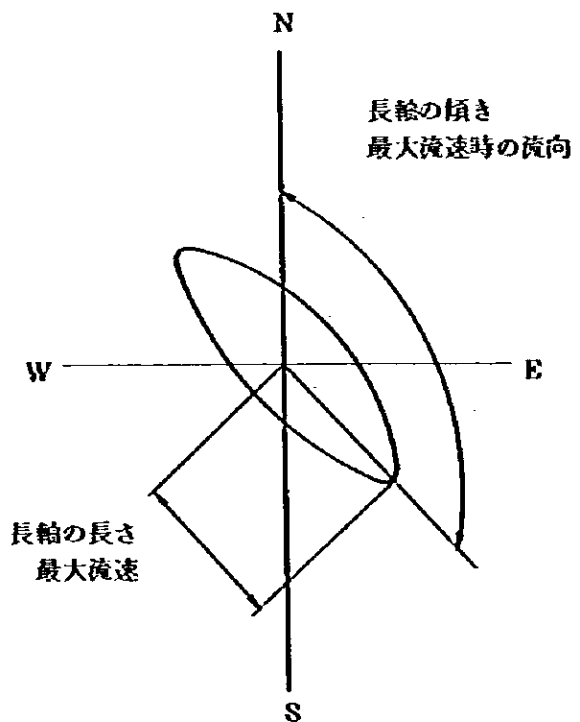
最大流速値を示す楕円の長軸の長さは、どの点においても観測値の方が計算値より大きく0.3～2.4 cm/secの差がみられる。島間の各観測点の最大流速値の観測値と計算値との比率は0.5320で、再現性が良好とは言えない(ST1:0.1826, ST2:0.5963, ST3:0.9636, ST4:0.2197, ST5:0.6252)。

最大流速時の流向を示す楕円の長軸の傾きは、観測値と計算値との間で3～132°の差がみられる。

- ③ 1979年流況調査のK₁分潮による潮汐流と計算値との間に良好な再現性が得られなかった原因は1981年流況調査のK₁分潮による流れを流況モデルのうちの潮汐流として再現することを第一としたことと、長軸の傾きの比較でみられたように島間の狭小水路での流向に大きな差があることから地形モデルを作成する際に島周辺の複雑な地形変化を

表 Ⅱ 6 - 1 潮流楕円の比較

地 点		長軸の長さ：最大流速値 (cm/s)				長軸の傾き：最大流速時の流向 (°)		
		a = 観測値	b 計算値	c = a - b 差	d = b/a 比	e 観測値	f 計算値	g = e - f 差
1981年 流況調査	SC1	30.40	27.21	3.19	0.8951	130	116	14
	SC2	41.13	40.82	0.31	0.9925	86	99	-13
	SC3	37.27	43.68	-6.41	1.1720	74	62	12
	SC4	22.17	21.76	0.41	0.9815	86	90	-4
	SC5	23.94	22.72	1.22	0.9490	72	95	-23
	SC6	48.10	48.32	-0.22	1.0046	45	45	0
1979年 流況調査	ST1	29.79	5.44	24.35	0.1826	119	125	-6
	ST2	39.98	23.84	16.14	0.5963	123	124	-1
	ST3	7.97	7.68	0.29	0.9636	7	139	-132
	ST4	15.36	4.48	10.88	0.2917	151	56	95
	ST5	52.72	32.96	19.76	0.6252	63	60	3



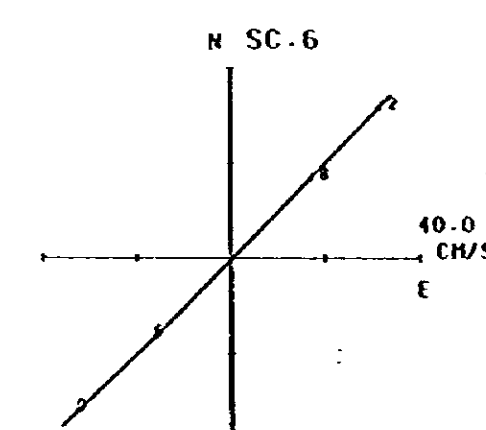
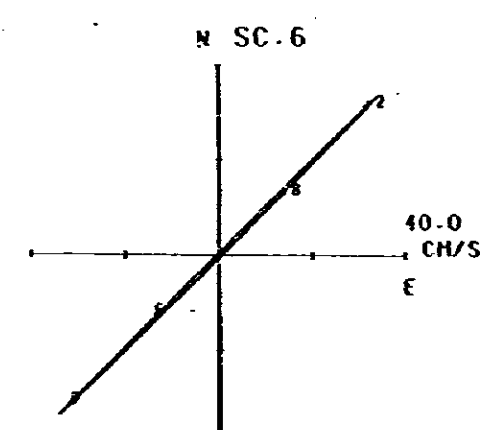
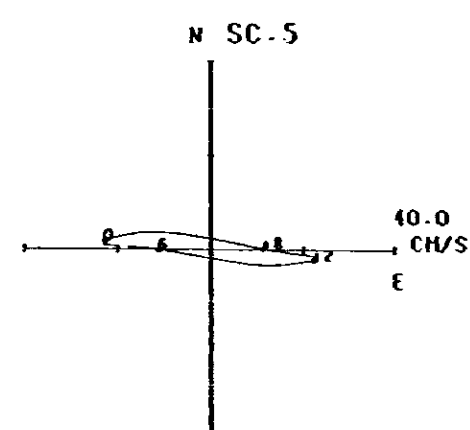
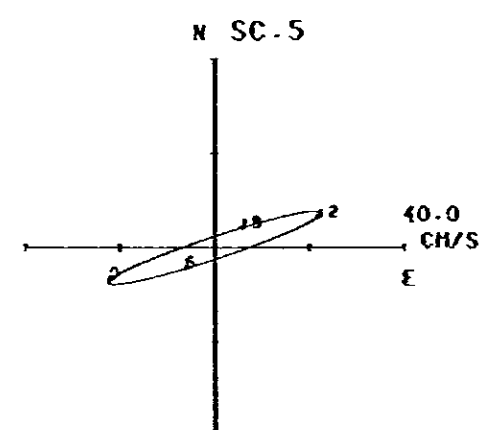
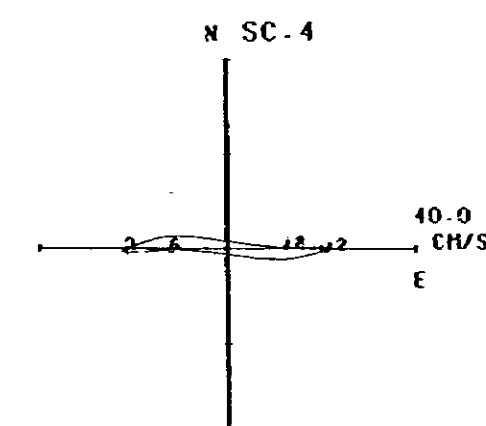
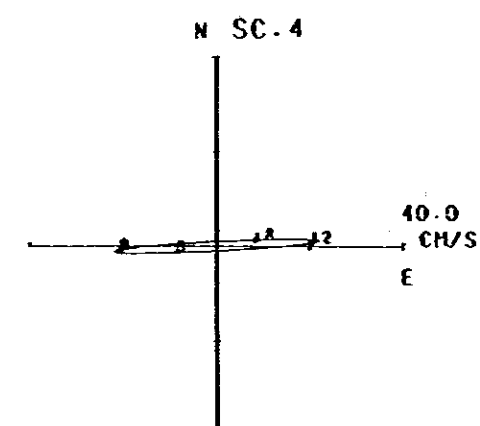
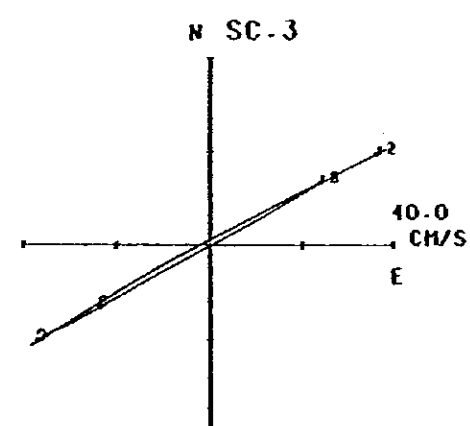
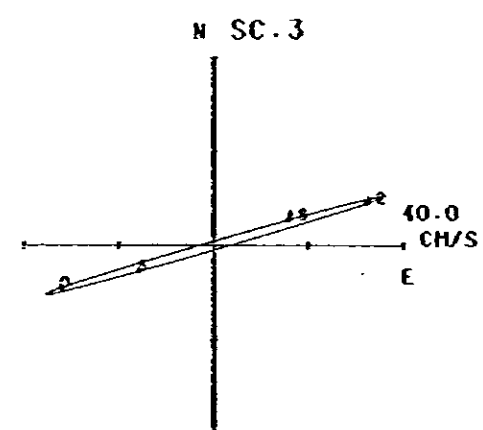
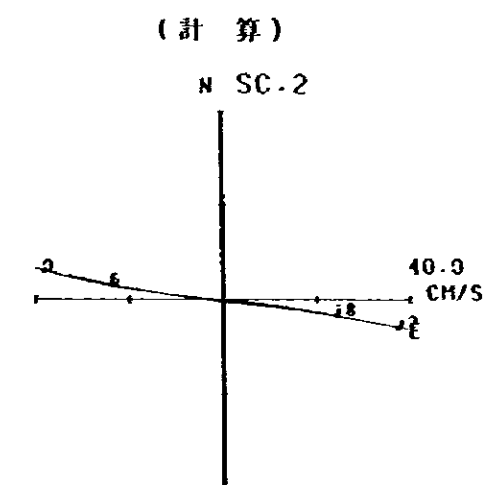
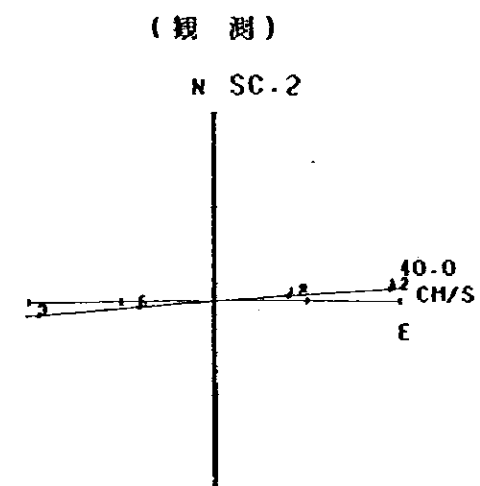
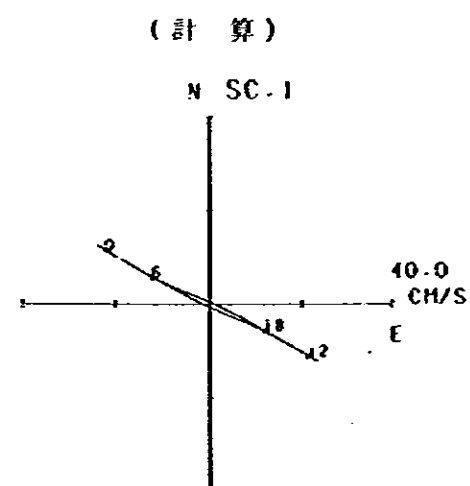
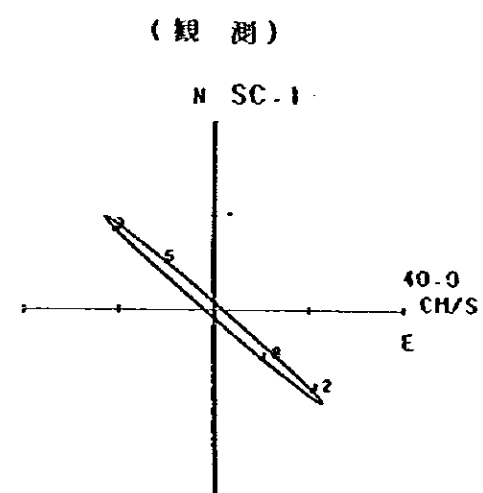
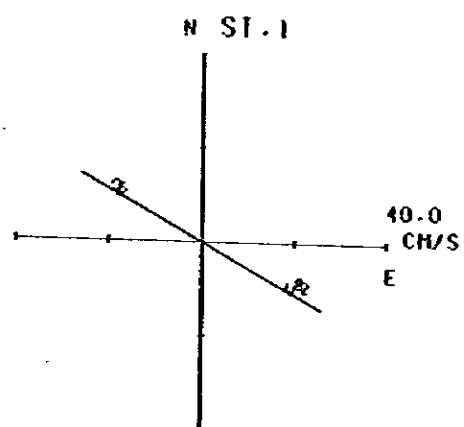
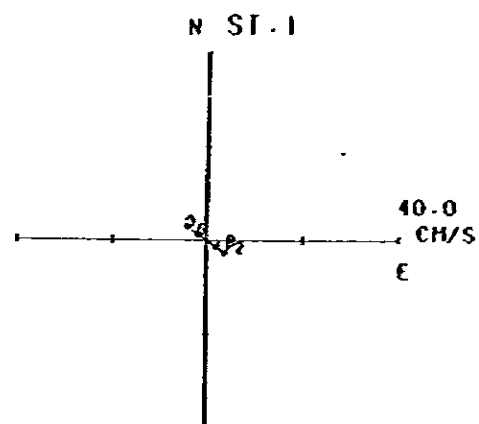


図 11-6-1 潮流楕円の比較-1981年浪況観測-(セラヤ海域)

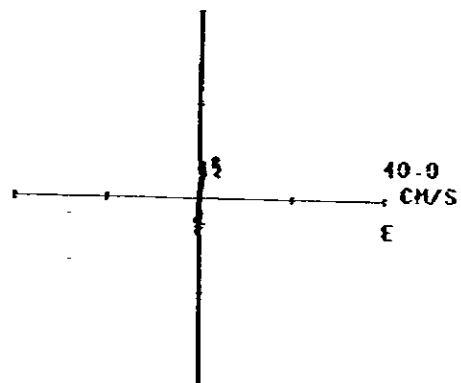
(観測)



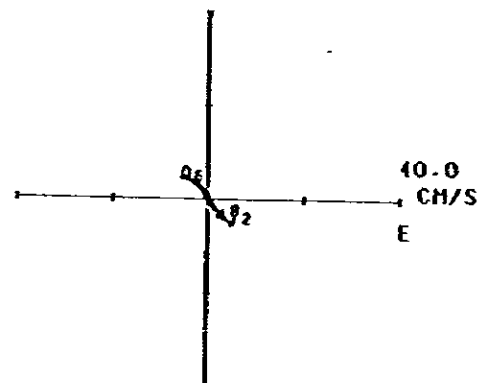
(計算)



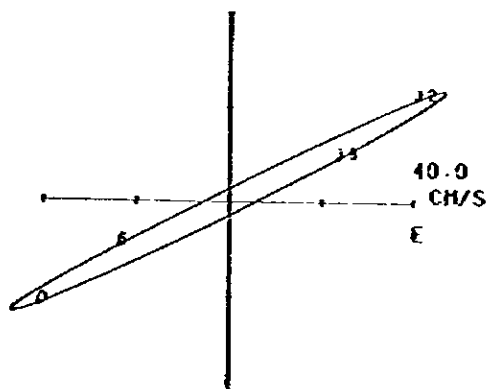
N ST.3



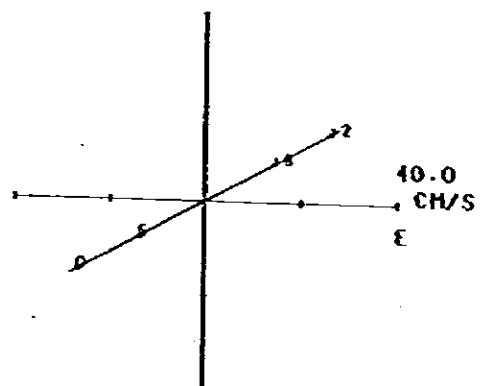
N ST.3



N ST.5



N ST.5



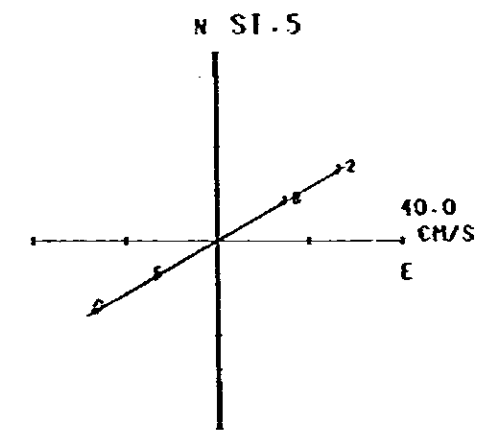
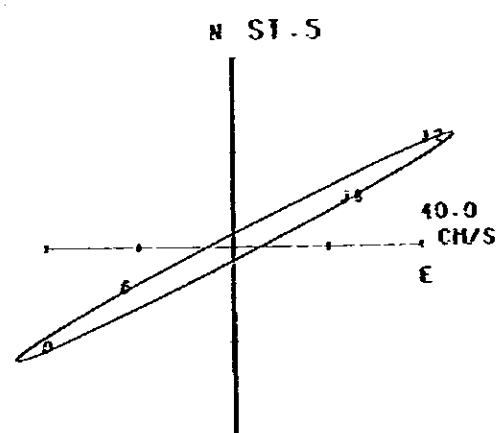
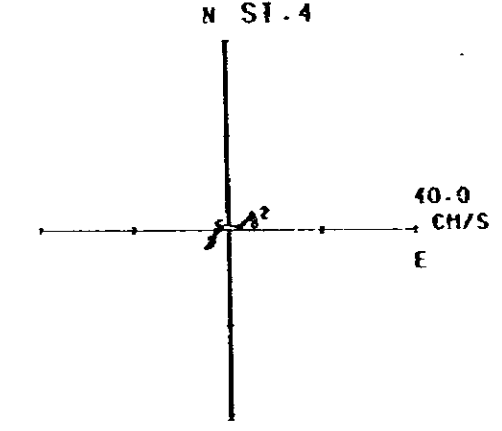
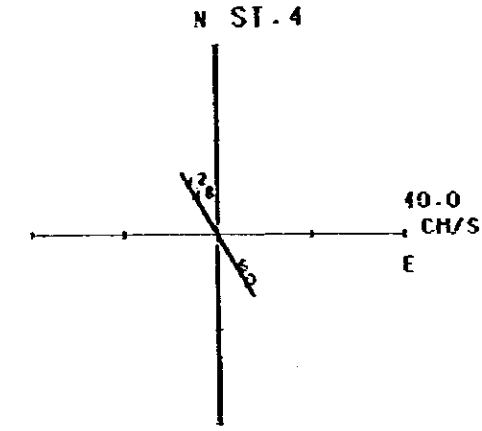
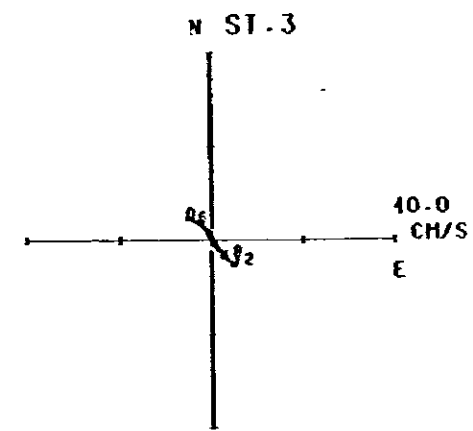
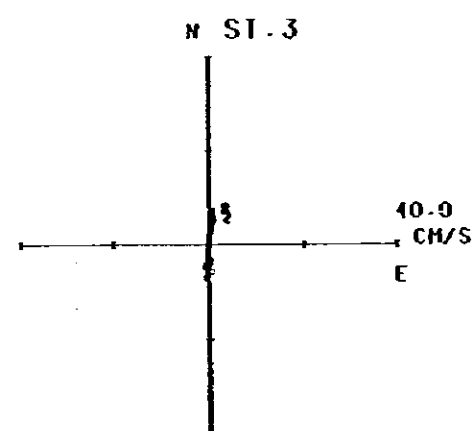
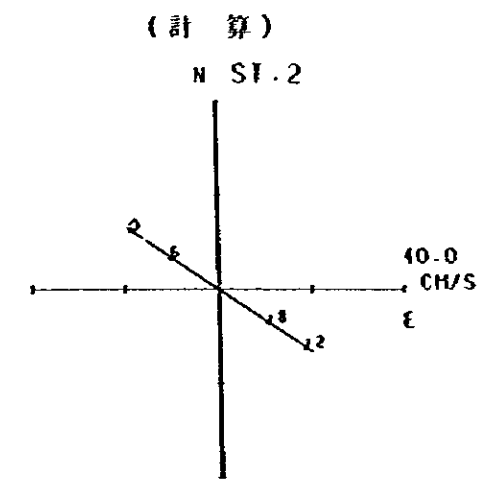
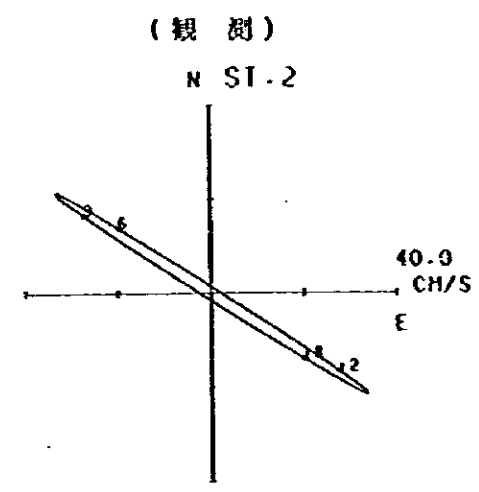
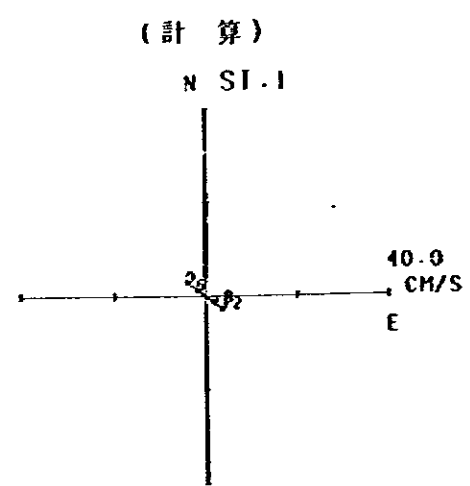
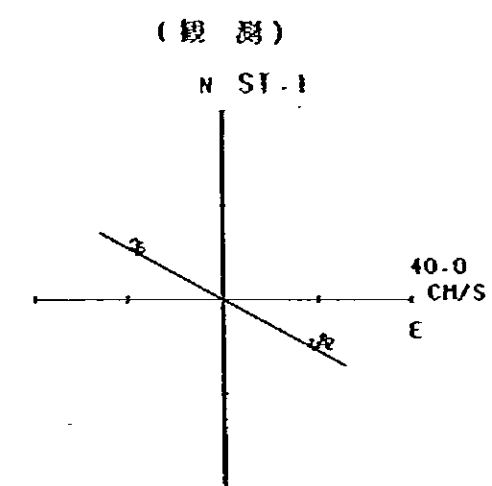
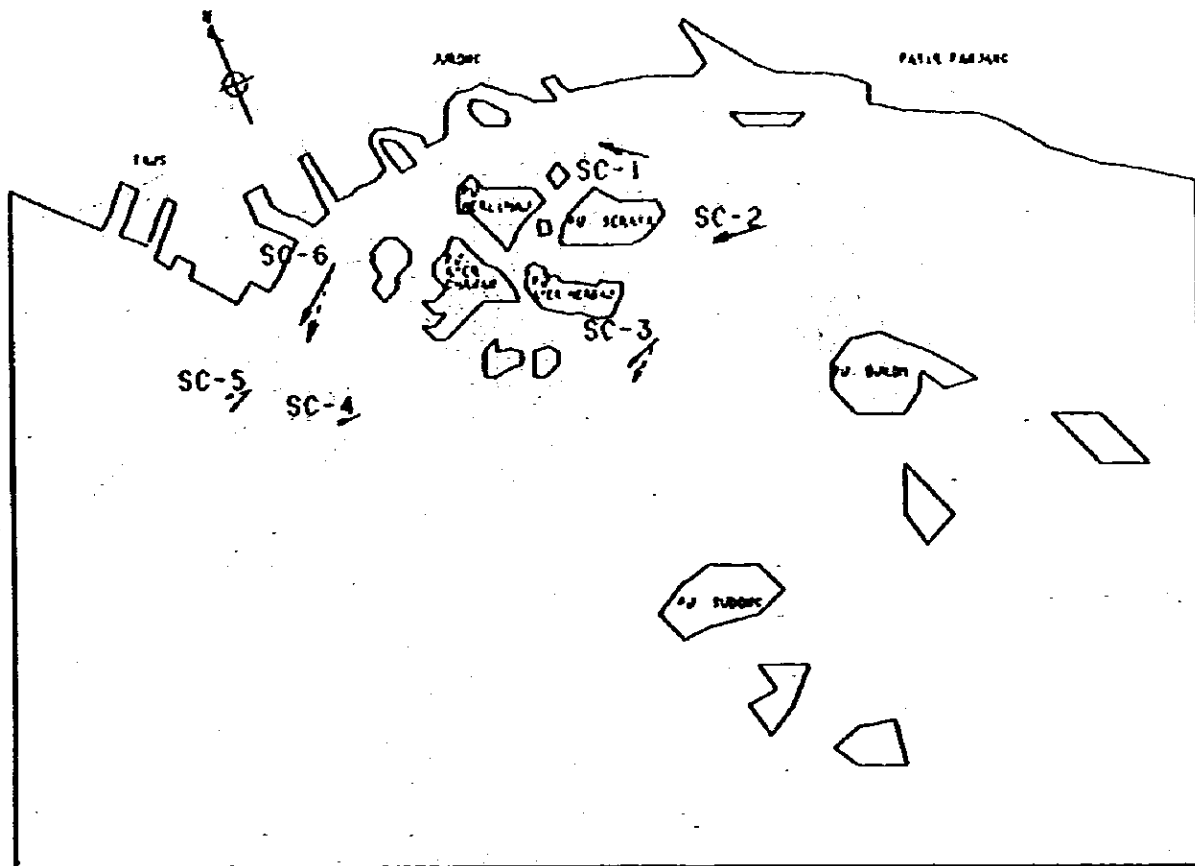


図16-2 潮流格点の比較-1979年流況観測-(セラヤ海域)



25.0 cm/s

——— OBSERVATION (1981) 観測 0.0 3.0 km
 - - - - - CALCULATION 計算

表 Ⅲ 6 - 2 恒流ベクトルの比較 - 1981 年状況観測 -

POINT	OBSERVATION		CALCULATION		DIFFERENCE		VELOCITY RATIO
	VELOCITY (cm/s)	DIRECTION (°)	VELOCITY (cm/s)	DIRECTION (°)	VELOCITY (cm/s)	DIRECTION (°)	
SC-1	17.44	327.60	14.80	299.27	-2.63	28.34	0.8491
SC-2	19.48	297.22	21.20	280.15	-1.72	17.06	1.0863
SC-3	13.46	270.67	17.55	239.00	-4.09	31.67	1.3035
SC-4	7.96	287.49	10.20	277.28	-2.25	10.21	1.2823
SC-5	9.77	267.79	11.62	276.93	-1.84	9.73	1.1886
SC-6	23.22	253.06	28.76	225.96	-5.54	27.10	1.2384

Direction
S

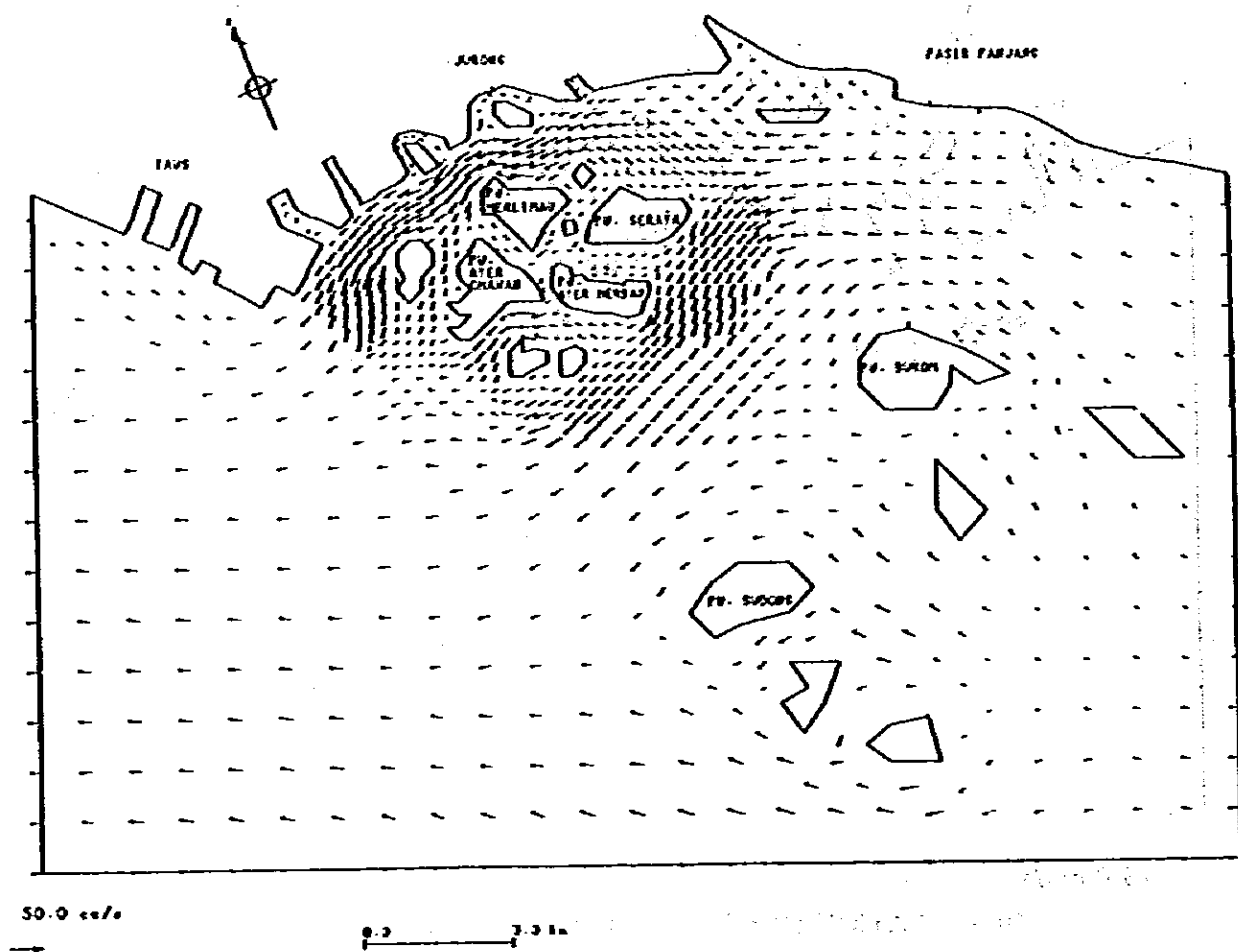


圖 6-3 恒流・現況

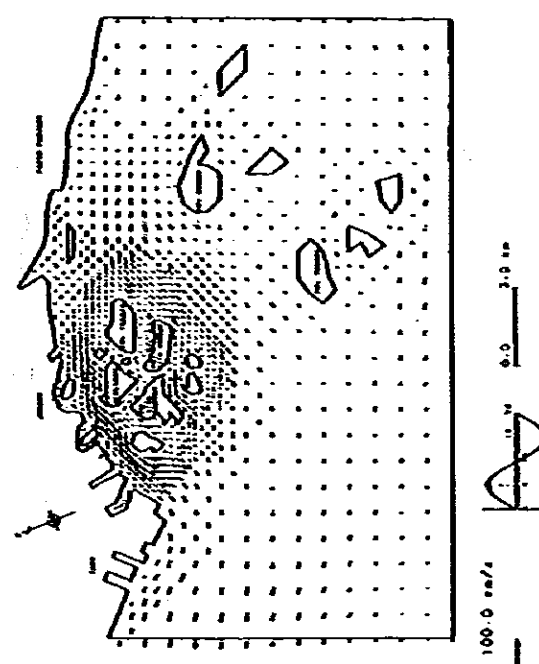
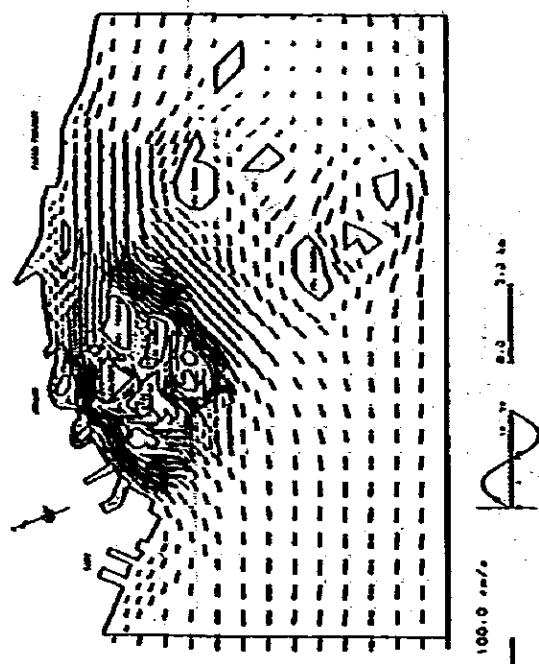
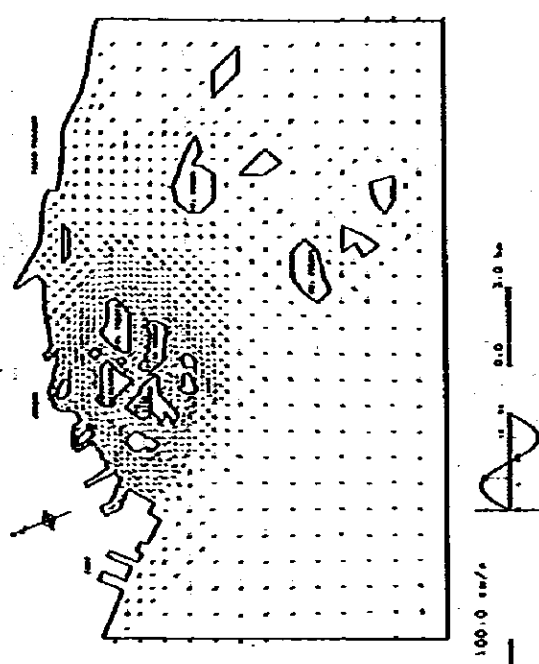
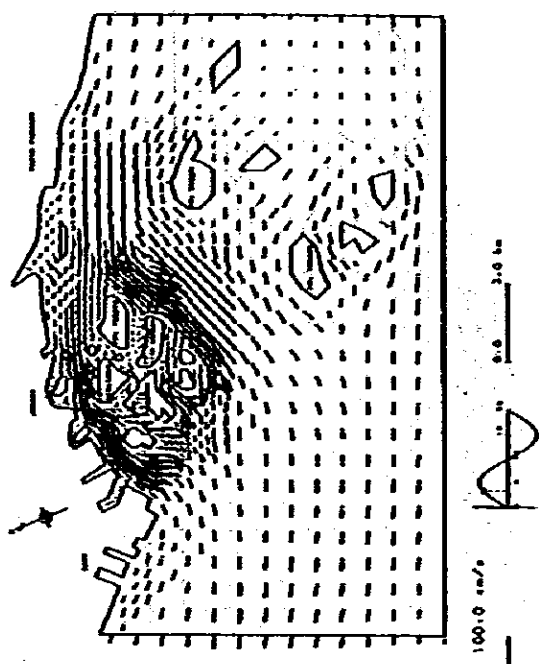


图 6-1-4 (1) 航务局十航区 (航况·航况·航况)

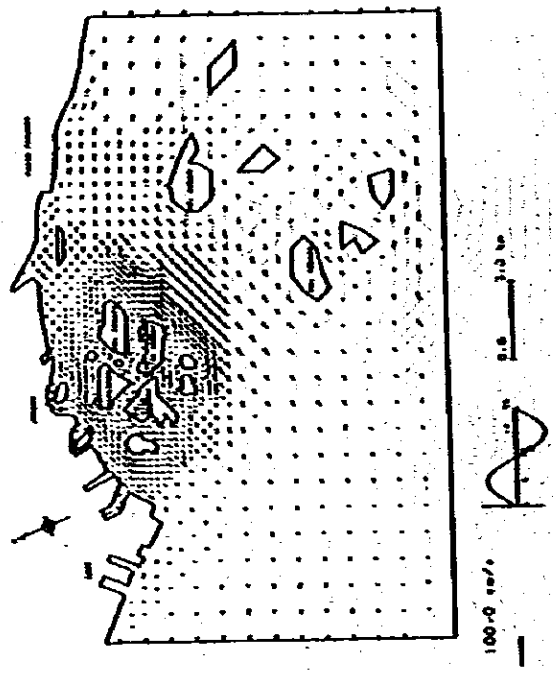
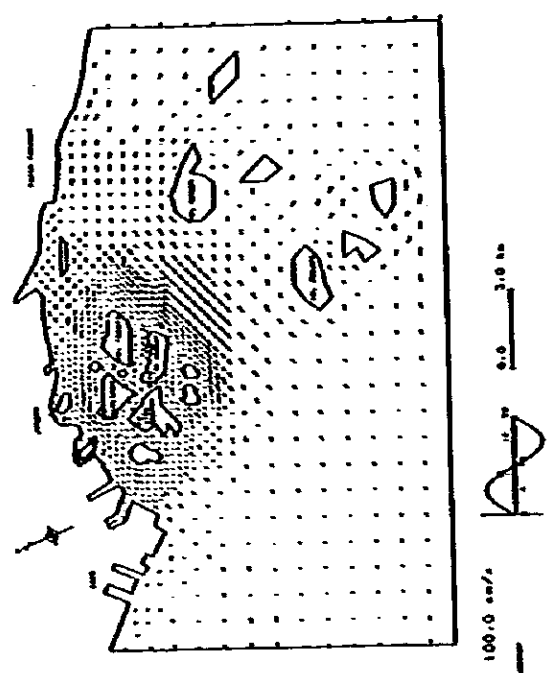
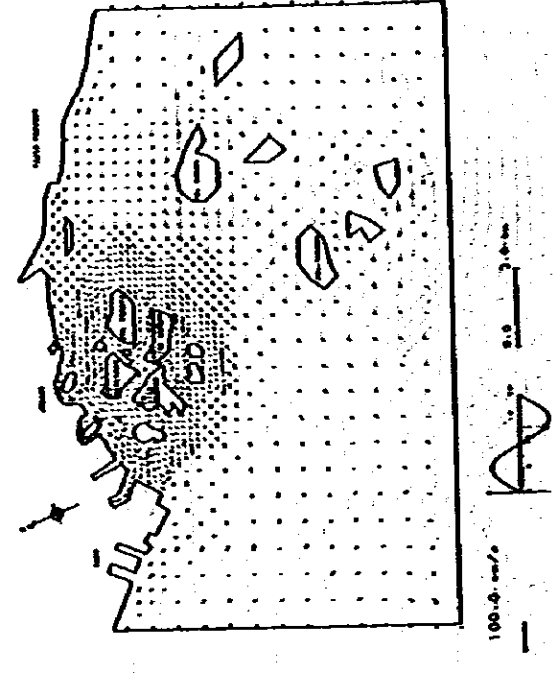
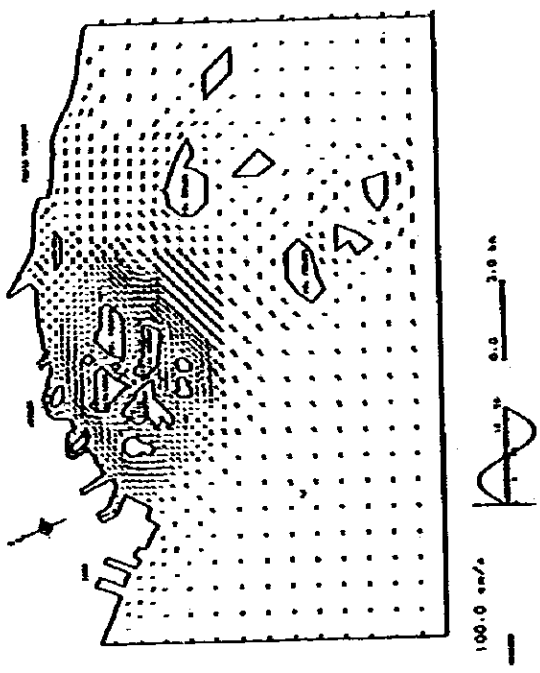


图 6-4 (2) 流况 + 流况 (流况 + 流况)

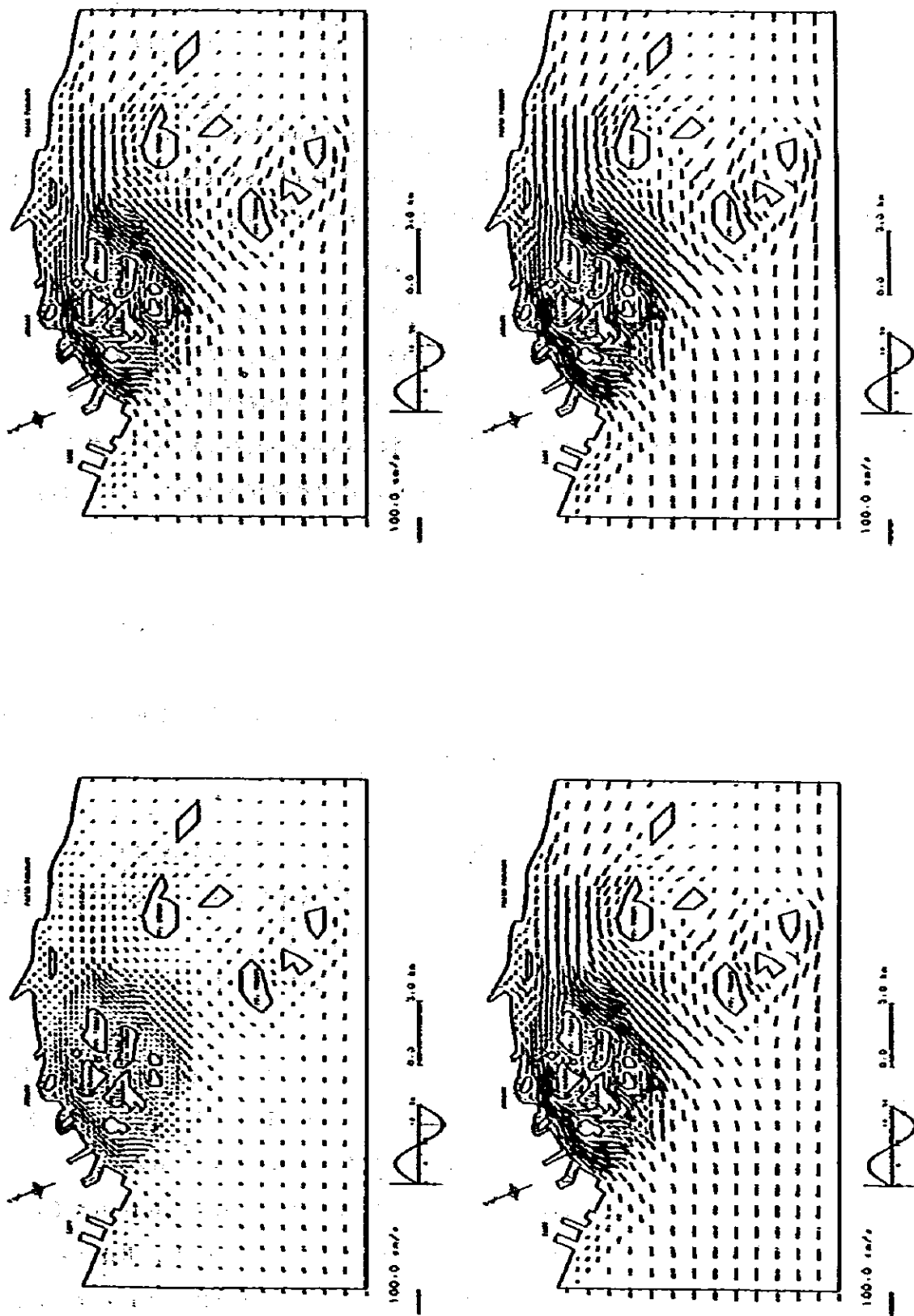


图 6-4(3) 流况·现况 (恒流 + 潮流)

充分表現しきれなかったためと考える。

- ④ 恒流については、恒流ベクトルにより1981年流況観測の観測値と計算値とを比較する。

流速値を比較すると観測値と計算値との差は2.6～5.5cm/secの範囲にある。

観測値と計算値との流速の比率を全点平均してみると1.1584であり(SC1:0.8491, SC2:1.0883, SC3:1.3035, SC4:1.2823, SC5:1.1886, SC6:1.2384), 計算値の方が観測値より若干大きな流速となっている。

また、流向は、観測値と計算値との差で5～30°程度であり、よい整合がみられる。

①～④に述べたように、Seraya島の北側水路と南側の外洋での流速のバランスが完全でないものの、観測値と計算値の全体的な流速値の比率がほぼ1:1であること、流向によい整合性が得られたこと等から判断してSeraya海域の流況を再現したと考える。

現況再現の確認が得られた恒流を図Ⅱ6-3に、恒流と潮汐流とを合成した2時毎の流況を図Ⅱ6-4にそれぞれ示す。

一 将来流況

現況計算と同一の境界条件を用い、地形の変更、排出流量の変更を加えて将来予測計算を実施した。

図Ⅱ6-5、Ⅱ6-6に将来の恒流(西流と東流)を、図Ⅱ6-7、Ⅱ6-8に上記恒流と潮汐流とを合成した2時間毎の流況を示す。

一 将来流況の変化

恒流の西流と潮汐流とを合成した流況について将来流況と現況流況を比較する。

図Ⅱ6-9に2時間毎の代表点における流速値、流向の変化を示す。また、図Ⅱ6-10には下げ最強時と上げ最強時点の流速変化とその範囲を示す。

これから、将来流況の変化について要約すると以下のとおりである(潮時に関する記述はJurong Wharfでの状況である)。

- ① 高潮時の流れは全体的に西へ向うが、恒流直前であることから流速は小さい。いずれの比較点とも現況の流況に比べ1cm/sec未満の変化にとどまる。流向は、地続きとなったSakra島、Bakau島付近のH地点で2°程度の変化がみられるだけである。
- ② 高潮+3時(下げ最強時)の流れは、恒流と潮汐流が相殺しあって流速は小さくなるが、全体的に西から東へ向うパターンを呈す。流速値の変化はSakra島、Bakau島付近のH、F地点で1cm/sec以上の変化がみられる。図Ⅱ6-10に示されるように、Sakra、Bakau島とChawan、Merbau島の間(3km×1kmの範囲)で最大6cm/sec程度

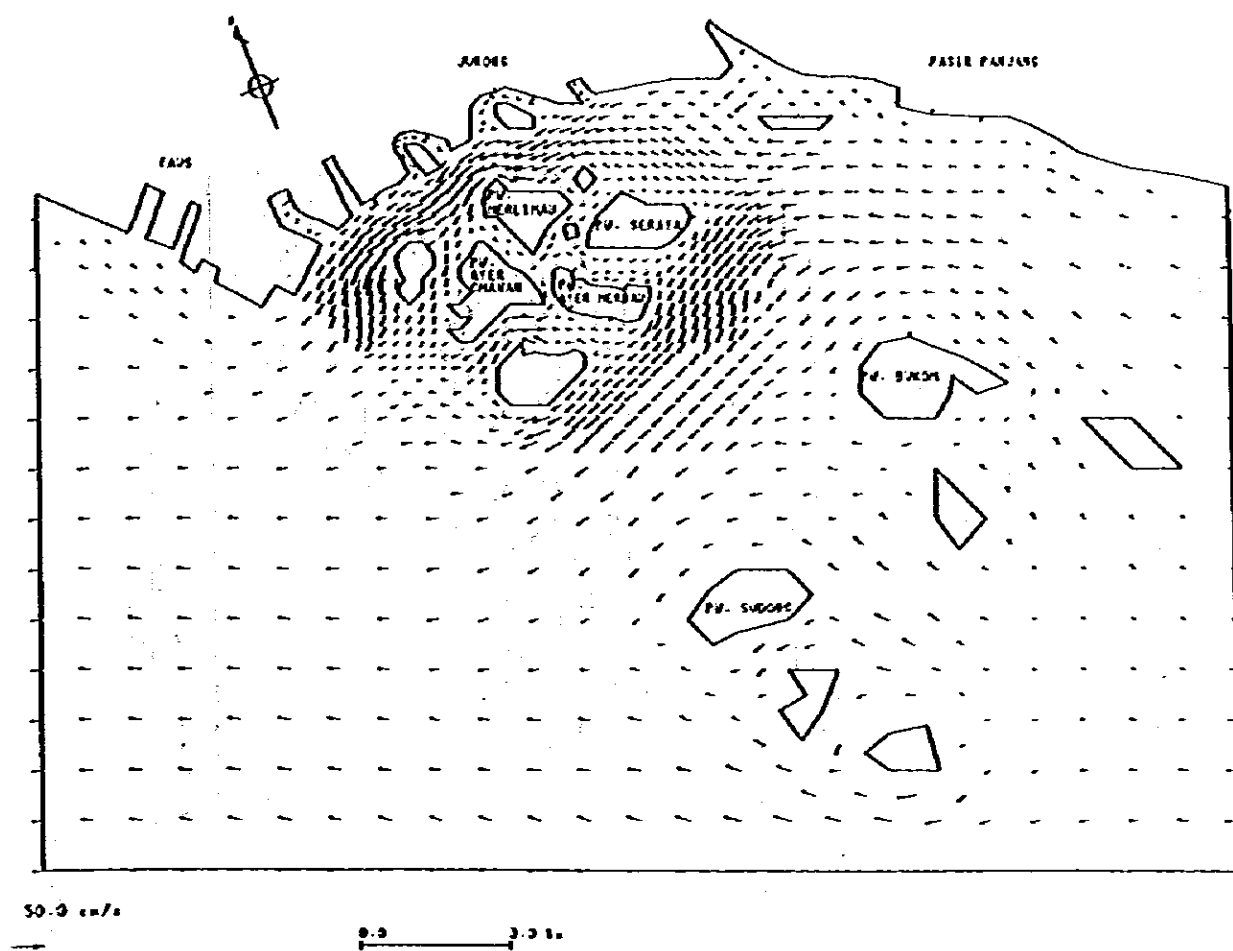


圖 6-5 恒流・符來 (西流)

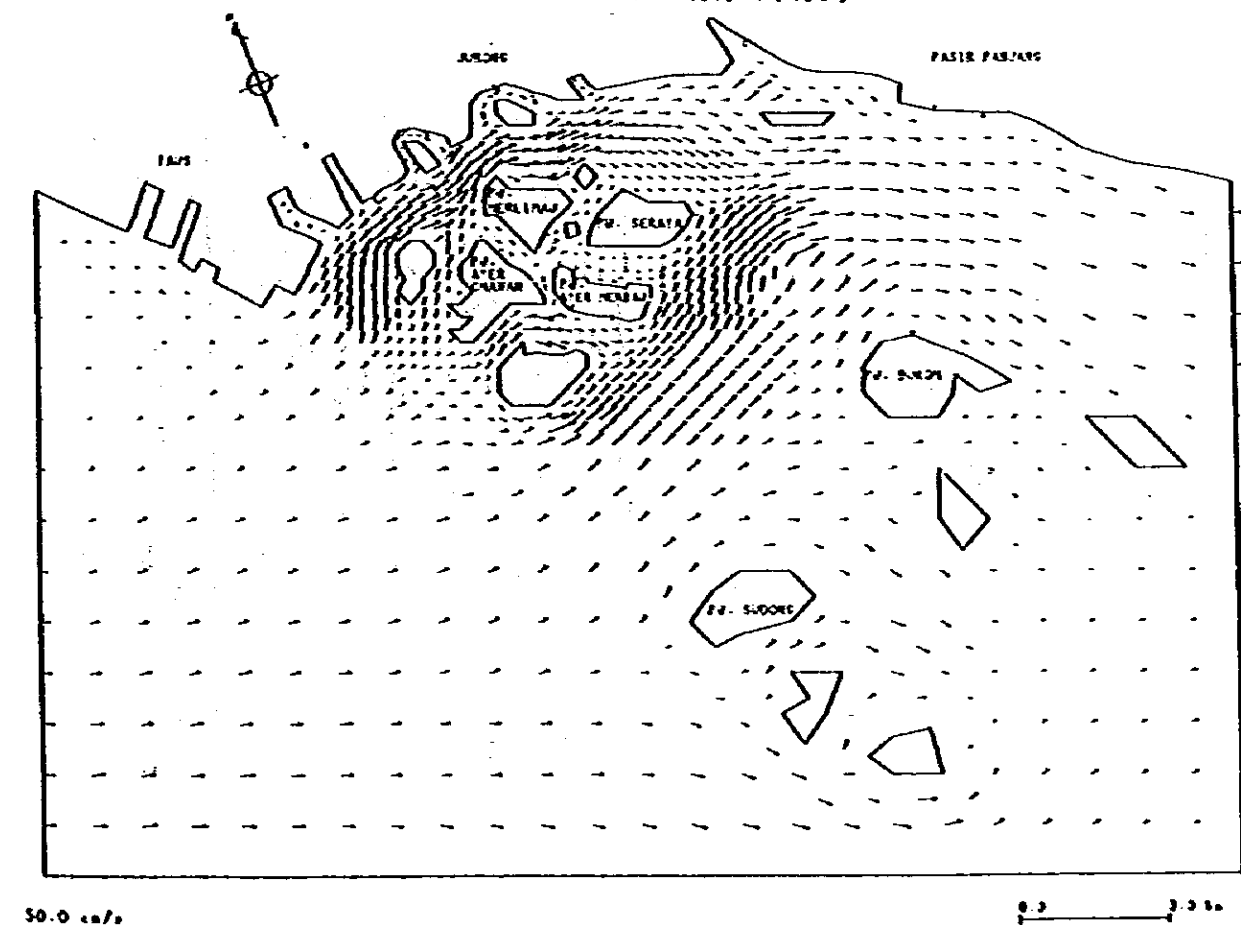


圖 6-6 恒流・符來 (東流)

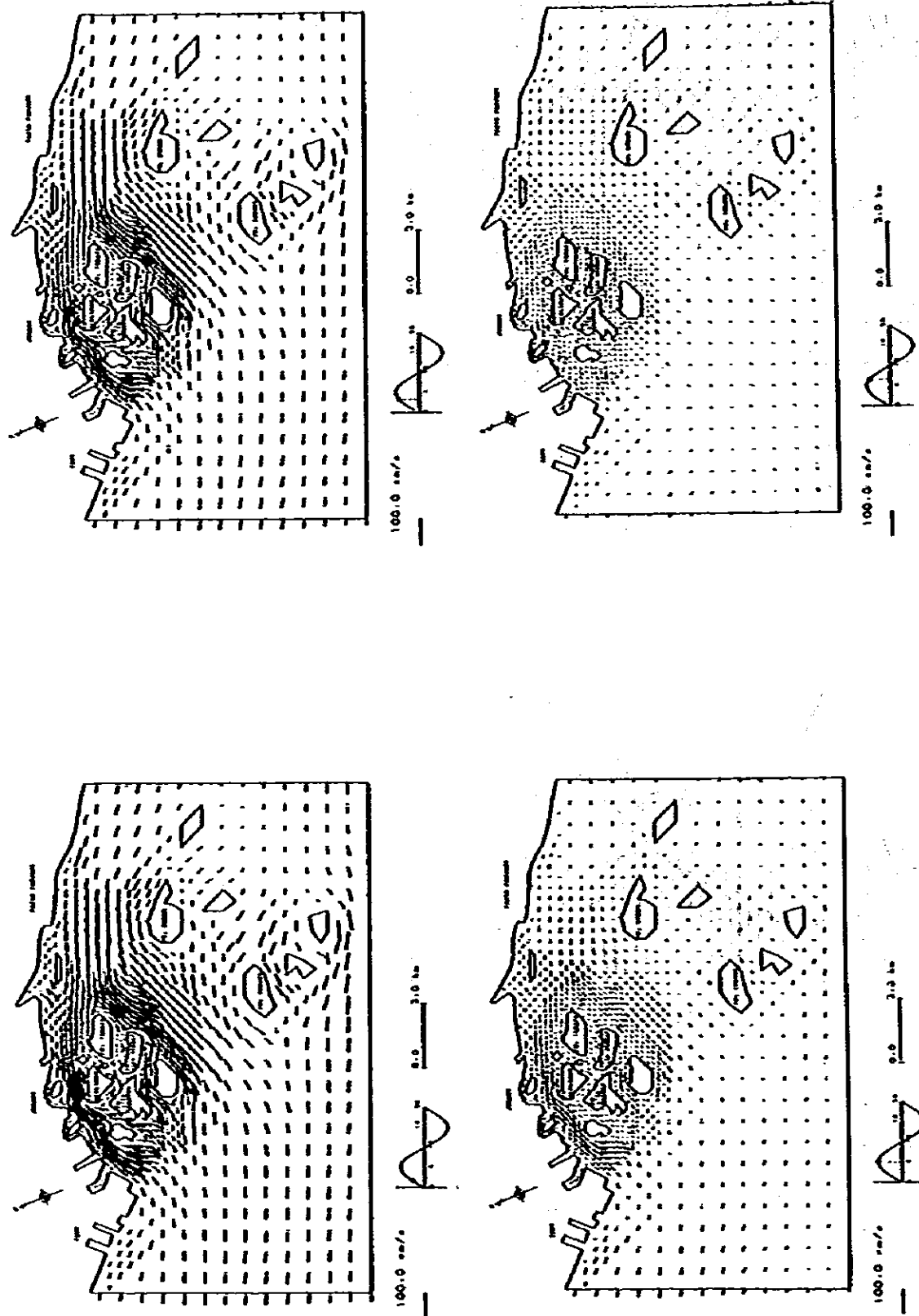


图 6-7(1) 流况·将来(西流+K₁分潮流)

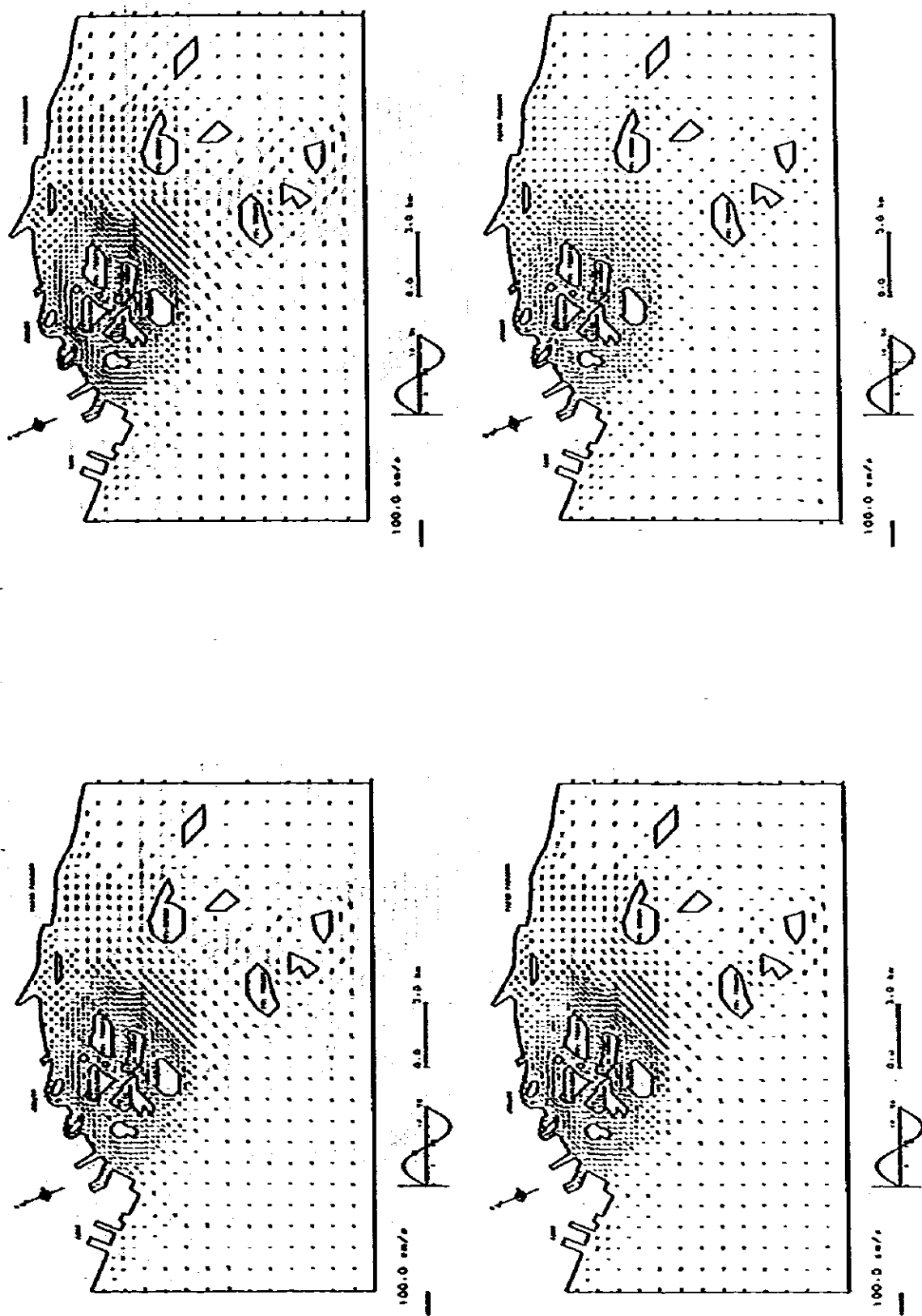


图 6-1-7 (2) 潮流·将米 (西流 + K₁ 分潮流)

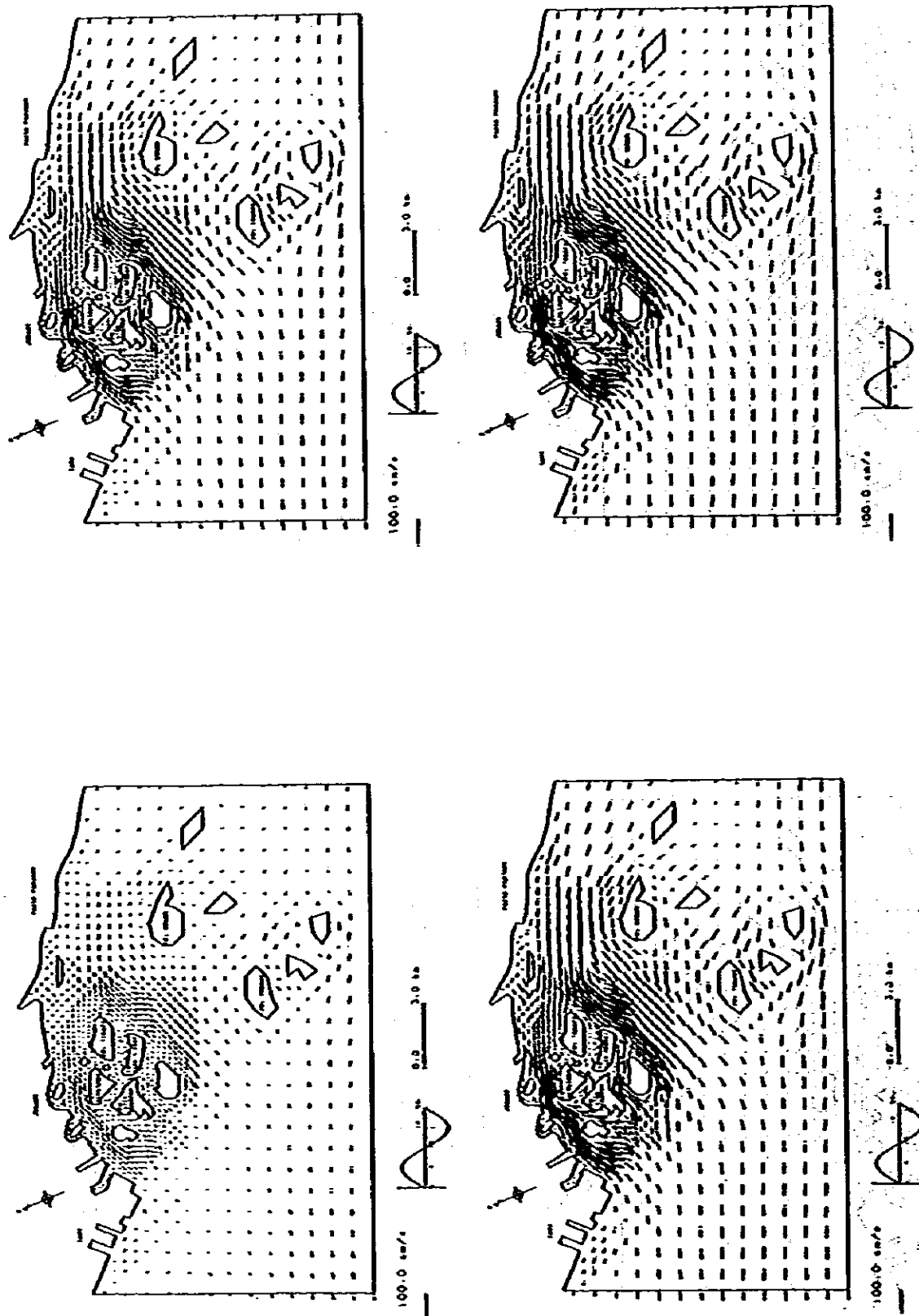


图 6-7(3) 黄海·韩来(西北) K₁ 分潮

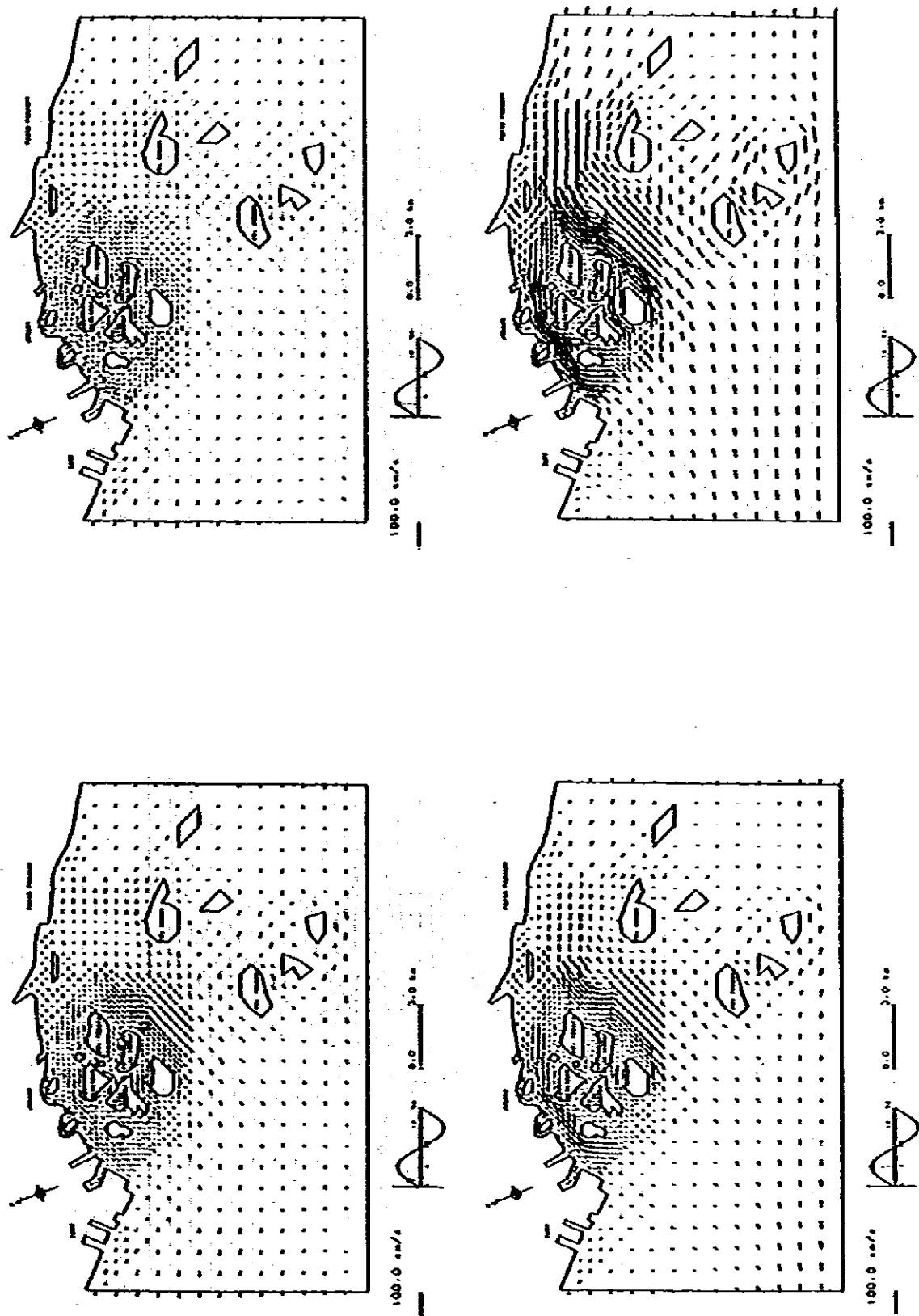


图 6-8(1) 流況・将来 (東流 + K, 分潮流)

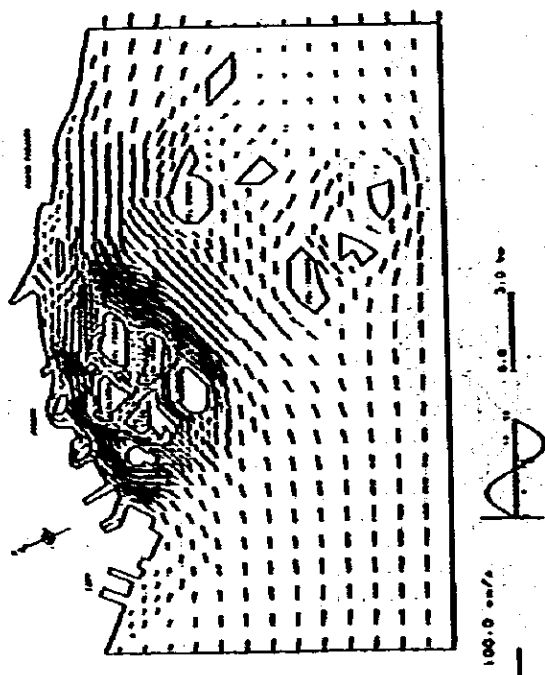
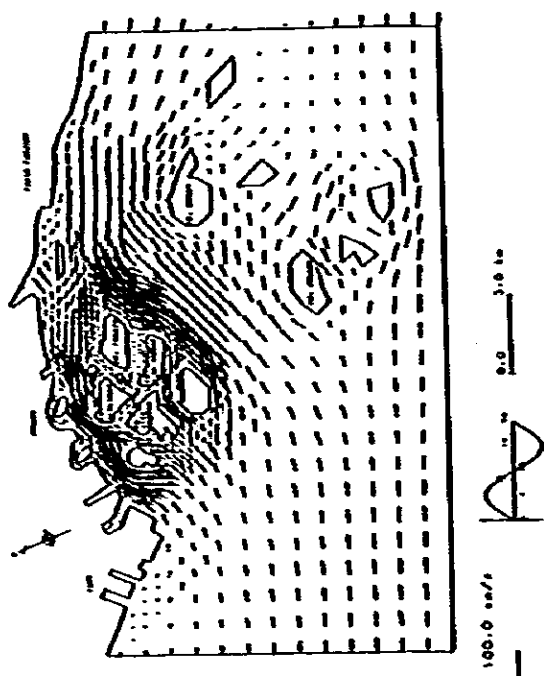
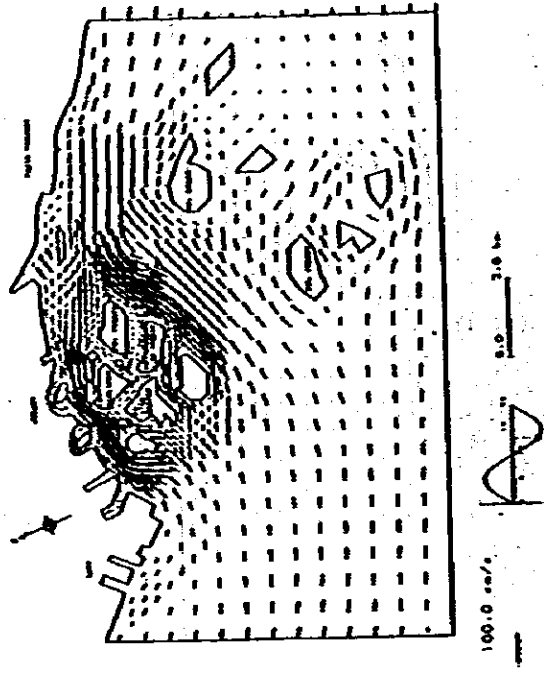
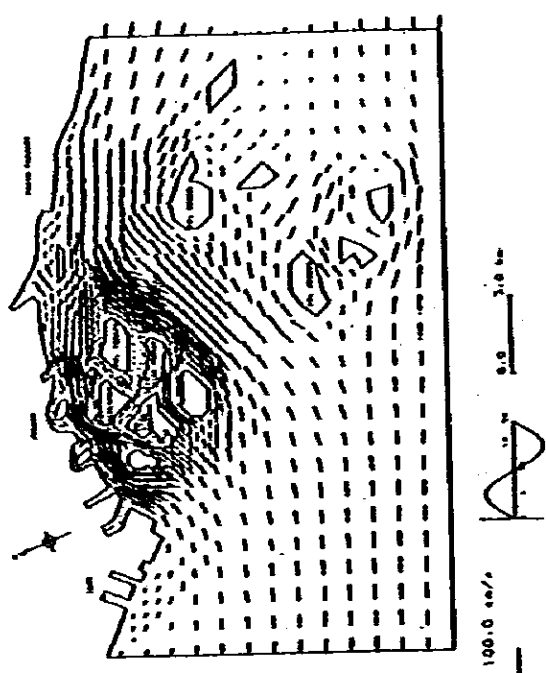


图 6-8(2) 地形图 (米制·公里·分)

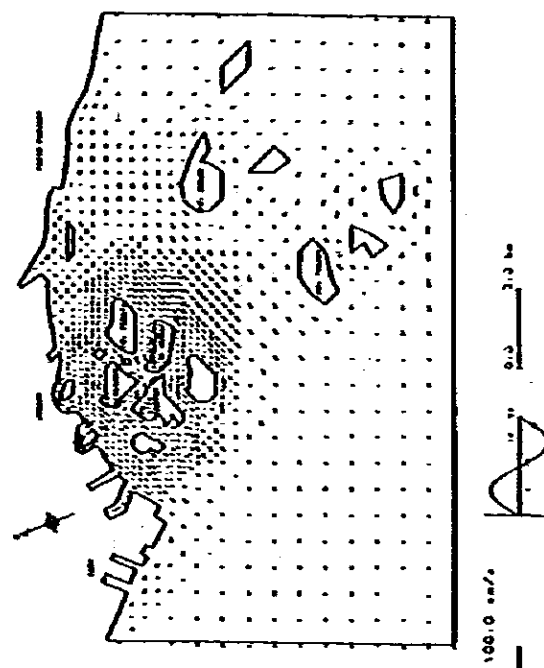
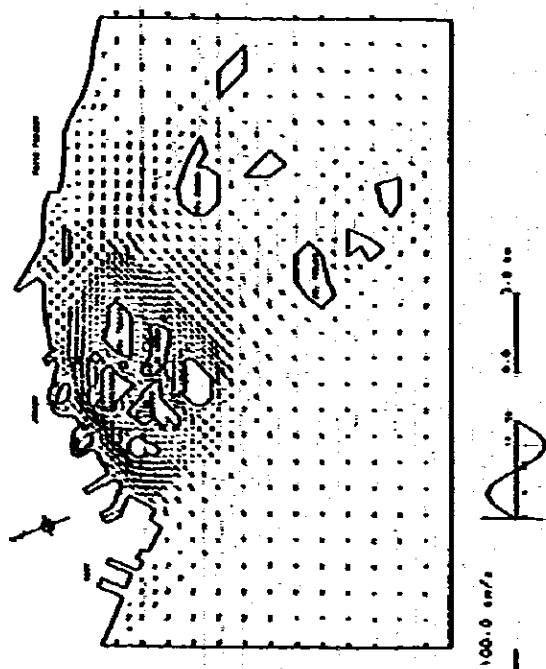
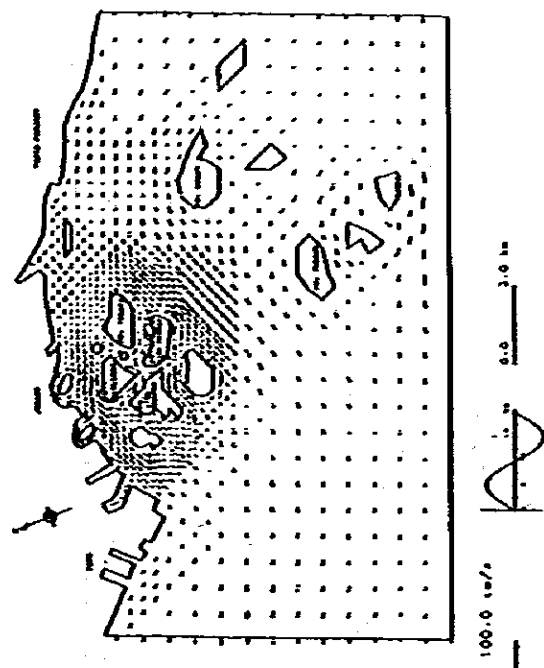
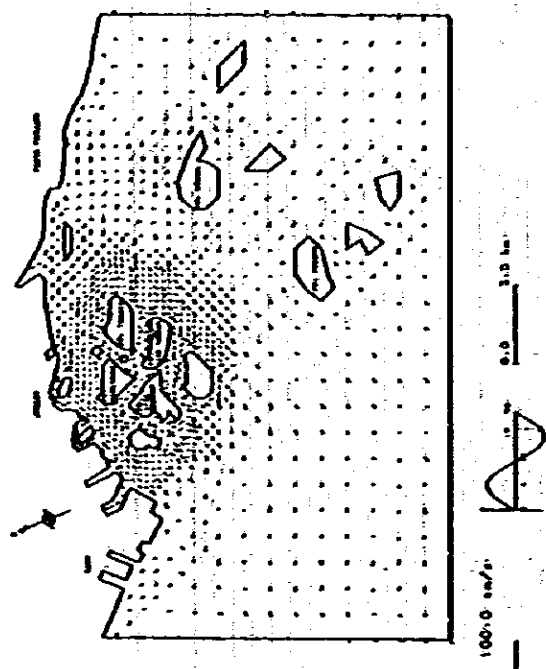
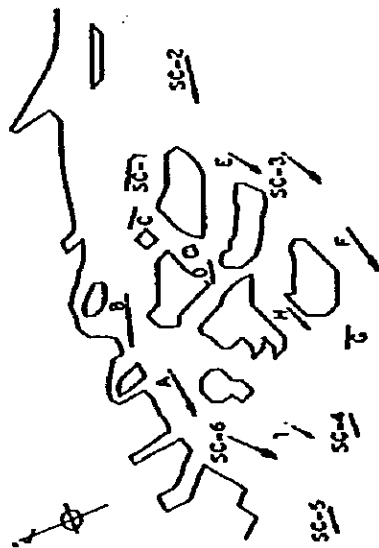
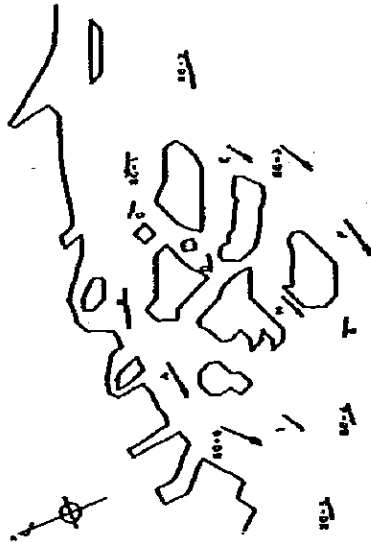


图 6-8-3 (3) 东经 121° 30' 附近 (东经 121° 30' 附近)



50.0 cm/s
—— PRESENT STAGE
----- FUTURE STAGE

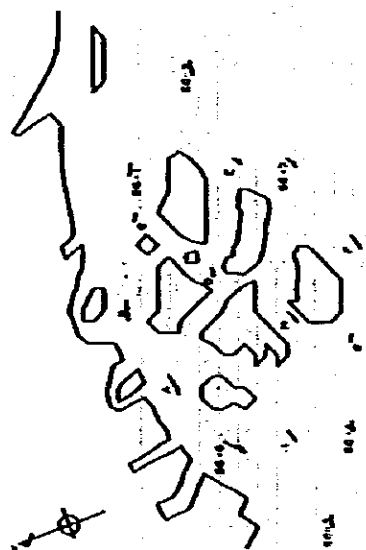
POINT	PRESENT STAGE		FUTURE STAGE		DIFFERENCE	
	VELOCITY m/s	DIRECTION deg	VELOCITY m/s	DIRECTION deg	VELOCITY m/s	DIRECTION deg
SC-1	25.07	287.48	25.00	287.48	-0.07	0.00
SC-2	38.78	278.32	38.78	278.32	0.00	0.00
SC-3	42.18	240.41	42.18	240.46	0.05	0.05
SC-4	21.18	280.27	21.11	280.28	-0.07	0.01
SC-5	22.48	271.13	22.08	271.13	-0.40	0.00
SC-6	48.00	273.80	48.04	273.80	0.04	0.00
A	41.15	261.47	41.47	261.47	0.32	0.00
B	41.15	263.81	41.15	263.81	0.00	0.00
C	17.08	308.13	17.08	308.13	0.00	0.00
D	20.13	282.16	20.06	282.28	-0.07	0.12
E	32.04	233.75	32.04	233.75	0.00	0.00
F	42.88	238.05	41.77	233.48	-1.11	-4.57
G	18.88	292.84	18.00	283.31	-0.88	-9.57
H	27.05	267.13	27.14	249.32	0.09	-17.81
I	23.48	227.00	23.00	227.82	-0.48	0.82



50.0 cm/s
—— PRESENT STAGE
----- FUTURE STAGE

POINT	PRESENT STAGE		FUTURE STAGE		DIFFERENCE	
	VELOCITY m/s	DIRECTION deg	VELOCITY m/s	DIRECTION deg	VELOCITY m/s	DIRECTION deg
SC-1	13.81	285.47	13.82	285.48	0.01	0.01
SC-2	28.07	278.00	28.07	278.00	0.00	0.00
SC-3	31.15	240.00	31.17	241.04	0.02	1.04
SC-4	16.17	273.17	16.41	273.16	0.24	-0.01
SC-5	17.49	279.87	17.33	278.71	-0.16	-1.16
SC-6	28.75	273.44	28.77	273.44	0.02	0.00
A	23.13	261.12	23.13	261.12	0.00	0.00
B	23.18	284.19	23.80	284.10	0.62	-0.09
C	13.16	307.22	13.13	307.83	-0.03	0.61
D	13.49	283.03	13.38	283.08	-0.11	0.05
E	23.13	233.76	23.13	233.80	0.00	0.04
F	31.40	233.10	31.14	233.40	-0.26	0.30
G	15.00	292.04	14.88	288.13	-0.12	-3.91
H	19.08	248.44	19.81	248.44	0.73	0.00
I	16.88	247.88	16.47	247.18	-0.41	-0.70

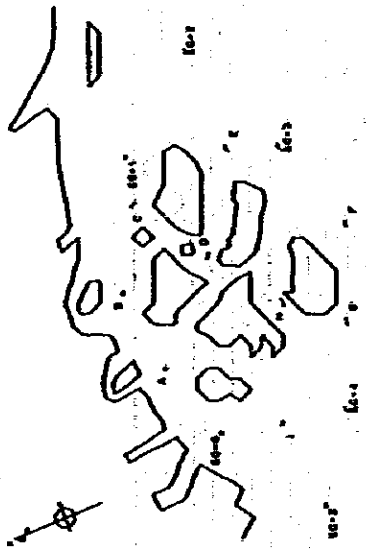
図 16-9(1) 流況の変化 (西流 + K₁ 分潮流)



30.0 m/s
 PRESENT STAGE
 FUTURE STAGE

POINT	PRESENT STAGE		FUTURE STAGE		DIFFERENCE	
	VELOCITY (m/s)	DIRECTION (°)	VELOCITY (m/s)	DIRECTION (°)	VELOCITY (m/s)	DIRECTION (°)
SC-1	0.86	324.83	0.94	326.96	-0.08	0.04
SC-2	2.06	86.64	2.38	86.63	-0.30	0.01
SC-3	3.25	53.06	3.08	54.13	0.17	1.04
SC-4	2.40	33.18	2.41	33.03	-0.01	0.15
SC-5	4.60	306.29	4.61	308.26	-0.06	0.02
SC-6	4.42	226.02	4.47	228.00	-0.01	0.03
A	1.80	261.66	1.81	261.63	-0.01	0.04
B	1.78	246.37	1.79	246.37	-0.01	0.00
C	1.00	308.22	1.00	308.24	-0.00	0.01
D	2.07	284.08	2.08	284.07	-0.01	0.00
E	1.68	42.67	1.64	42.62	0.04	0.05
F	3.13	77.44	3.12	75.71	0.02	1.72
G	3.11	328.04	3.11	341.01	-0.04	1.97
H	1.07	246.55	1.81	248.75	-0.74	2.20
I	4.73	306.28	4.73	306.24	0.01	0.04

DIFFERENCE
 VELOCITY
 DIRECTION

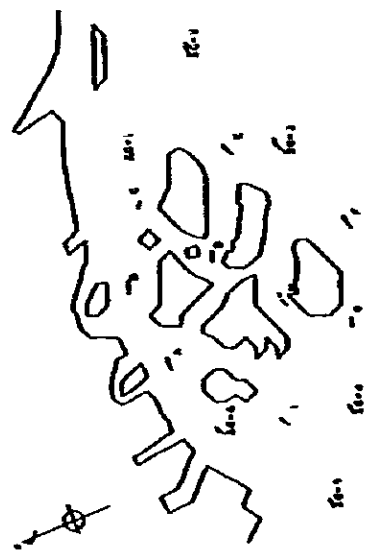


30.0 m/s
 PRESENT STAGE
 FUTURE STAGE

POINT	PRESENT STAGE		FUTURE STAGE		DIFFERENCE	
	VELOCITY (m/s)	DIRECTION (°)	VELOCITY (m/s)	DIRECTION (°)	VELOCITY (m/s)	DIRECTION (°)
SC-1	13.05	114.78	13.05	114.80	-0.01	0.02
SC-2	24.18	97.07	24.18	97.08	0.00	0.00
SC-3	27.37	61.90	27.40	62.23	-0.04	0.33
SC-4	12.48	89.73	12.38	89.61	0.10	0.04
SC-5	11.34	80.18	11.30	80.21	0.04	0.03
SC-6	22.87	44.53	22.88	44.53	-0.02	0.00
A	20.10	82.28	20.72	82.79	-0.62	0.00
B	21.43	107.33	21.47	107.35	-0.04	0.00
C	8.59	127.13	8.60	127.14	-0.01	0.01
D	9.42	102.36	9.48	102.35	-0.06	0.08
E	18.16	54.32	18.16	54.33	-0.00	0.02
F	27.86	77.63	27.86	75.41	0.00	2.22
G	12.78	115.87	12.11	116.83	0.67	1.04
H	14.98	66.25	12.43	68.50	2.54	2.26
I	13.18	48.96	13.90	48.18	-0.72	0.77

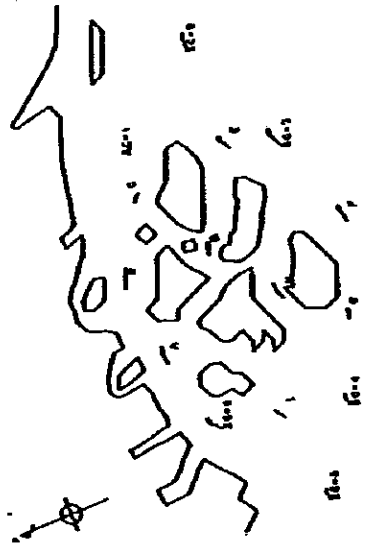
DIFFERENCE
 VELOCITY
 DIRECTION

図 6-9(2) 流況の変化 (西流 + K₁ 分潮)



50.0 cm/s
 — PRESENT STAGE
 ... FUTURE STAGE

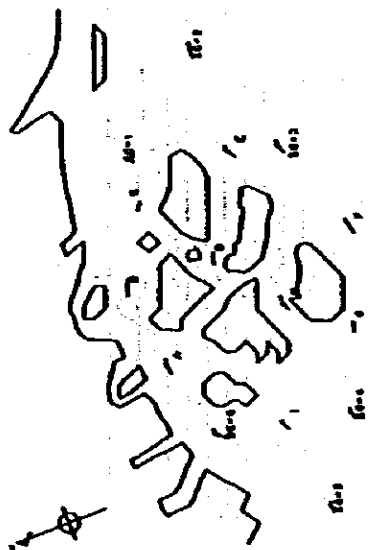
POINT	PRESENT STAGE		FUTURE STAGE		DIFFERENCE	
	VELOCITY (cm/s)	DIRECTION (°)	VELOCITY (cm/s)	DIRECTION (°)	VELOCITY (cm/s)	DIRECTION (°)
SC-1	22.47	116.79	22.58	116.80	-0.01	0.01
SC-2	35.64	88.74	35.64	88.74	0.00	0.00
SC-3	36.31	82.57	36.31	82.57	0.00	0.00
SC-4	19.64	86.00	19.64	86.00	0.00	0.00
SC-5	18.48	82.55	18.48	82.55	0.00	0.00
SC-6	40.43	44.48	40.44	44.48	-0.01	0.00
A	38.33	87.18	38.35	87.18	-0.02	0.01
B	37.87	107.58	37.88	107.58	-0.01	0.00
C	15.27	128.99	15.28	127.00	-0.01	0.01
D	17.70	101.43	17.63	101.48	0.07	0.04
E	27.83	94.73	27.83	94.74	0.00	0.00
F	36.46	77.20	36.46	75.49	1.03	1.43
G	18.82	114.42	17.52	113.27	0.40	0.43
H	35.53	66.13	35.48	68.18	-0.05	2.43
I	23.43	50.48	23.25	50.14	0.24	0.44



50.0 cm/s
 — PRESENT STAGE
 ... FUTURE STAGE

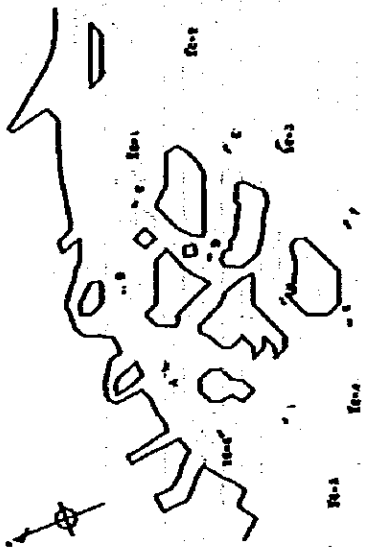
POINT	PRESENT STAGE		FUTURE STAGE		DIFFERENCE	
	VELOCITY (cm/s)	DIRECTION (°)	VELOCITY (cm/s)	DIRECTION (°)	VELOCITY (cm/s)	DIRECTION (°)
SC-1	26.48	117.35	26.48	117.35	-0.01	0.01
SC-2	40.03	88.75	40.03	88.75	-0.00	0.00
SC-3	43.73	82.71	43.71	82.74	-0.04	0.03
SC-4	23.41	89.61	23.31	89.63	0.10	0.02
SC-5	23.47	84.63	23.43	84.67	0.04	0.02
SC-6	47.12	44.43	47.13	44.43	-0.02	0.00
A	47.84	87.69	47.87	87.68	-0.03	0.01
B	44.80	107.64	44.81	107.64	-0.01	0.00
C	18.03	127.08	18.04	127.08	-0.01	0.01
D	31.48	101.37	31.39	101.03	0.04	0.04
E	31.11	94.83	31.11	94.83	-0.00	0.00
F	43.73	78.97	42.83	75.41	1.11	1.53
G	30.38	113.91	29.23	114.87	0.41	0.74
H	28.81	66.02	33.43	68.18	-4.13	2.43
I	27.21	51.02	27.23	50.66	-0.02	0.36

図 6-9 (3) 流況の変化 (西流 + K₁ 分潮流)



30.0 km/s
—— PRESENT STATE
--- FUTURE STATE

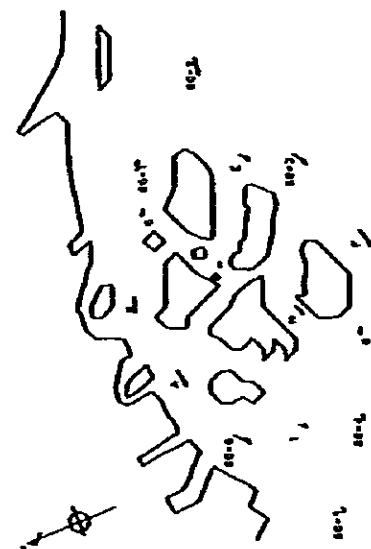
POINT	PRESENT STATE		FUTURE STATE		DIFFERENCE	
	VELOCITY M/S	DIRECTION °	VELOCITY M/S	DIRECTION °	VELOCITY M/S	DIRECTION °
SP-1	29.13	117.12	29.13	117.12	0.00	0.00
SP-2	37.65	89.43	37.65	89.43	0.00	0.00
SP-3	41.28	82.28	41.28	82.28	0.00	0.00
SP-4	21.28	91.14	21.28	91.14	0.00	0.00
SP-5	21.50	94.17	21.50	94.17	0.00	0.00
SP-6	23.28	84.25	23.28	84.25	0.00	0.00
A	28.87	87.46	28.87	87.46	0.00	0.00
B	40.41	107.56	40.42	107.57	-0.01	0.01
C	16.51	127.36	16.52	127.37	-0.01	0.01
D	20.98	101.46	20.91	101.64	0.07	0.04
E	28.44	54.84	28.45	54.83	-0.01	0.00
F	41.22	78.87	40.20	73.36	1.02	1.52
G	18.43	114.88	18.48	113.87	-0.05	0.80
H	27.64	65.01	27.42	64.17	0.22	1.34
I	24.82	53.74	24.81	53.74	0.01	0.00
					DIFFERENCE	
					VELOCITY	DIRECTION



30.0 km/s
—— PRESENT STATE
--- FUTURE STATE

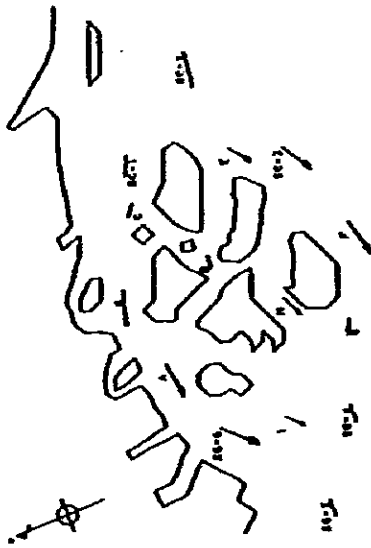
POINT	PRESENT STATE		FUTURE STATE		DIFFERENCE	
	VELOCITY M/S	DIRECTION °	VELOCITY M/S	DIRECTION °	VELOCITY M/S	DIRECTION °
SP-1	15.18	113.45	15.40	113.47	-0.01	0.01
SP-2	27.37	87.87	27.37	87.87	0.00	0.00
SP-3	30.43	82.07	30.47	82.34	-0.04	0.27
SP-4	16.14	84.72	16.14	84.72	0.00	0.00
SP-5	17.18	100.63	17.14	100.48	0.04	0.15
SP-6	27.72	44.52	27.73	44.52	-0.01	0.00
A	27.38	82.24	24.40	82.24	0.02	0.00
B	23.34	107.10	23.36	107.10	-0.02	0.00
C	10.48	127.82	10.80	127.83	-0.01	0.01
D	13.48	102.83	13.44	102.10	0.04	0.05
E	21.63	54.48	21.64	53.00	-0.01	1.48
F	30.74	72.72	29.94	73.57	0.80	0.85
G	15.10	118.41	14.88	118.44	0.22	1.12
H	18.28	65.01	18.12	64.12	0.16	2.21
I	18.03	63.57	18.00	64.01	0.03	0.66
					DIFFERENCE	
					VELOCITY	DIRECTION

図 6-9 (4) 流況の変化 (西流 + K₁ 分潮流)



30.0 km
— PRESENT STAGE
--- FUTURE STAGE

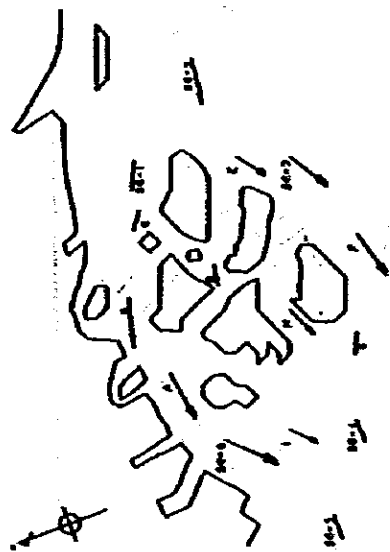
POINT	PRESENT STAGE		FUTURE STAGE		DIFFERENCE	
	VELOCITY (m/s)	DIRECTION (deg)	VELOCITY (m/s)	DIRECTION (deg)	VELOCITY (m/s)	DIRECTION (deg)
80-1	1.03	143.53	1.04	143.53	0.01	0.00
80-2	1.04	143.53	1.04	143.53	0.00	0.00
80-3	1.04	143.53	1.04	143.53	0.00	0.00
80-4	1.04	143.53	1.04	143.53	0.00	0.00
80-5	1.04	143.53	1.04	143.53	0.00	0.00
80-6	1.04	143.53	1.04	143.53	0.00	0.00
80-7	1.04	143.53	1.04	143.53	0.00	0.00
80-8	1.04	143.53	1.04	143.53	0.00	0.00
80-9	1.04	143.53	1.04	143.53	0.00	0.00
80-10	1.04	143.53	1.04	143.53	0.00	0.00
80-11	1.04	143.53	1.04	143.53	0.00	0.00
80-12	1.04	143.53	1.04	143.53	0.00	0.00
80-13	1.04	143.53	1.04	143.53	0.00	0.00
80-14	1.04	143.53	1.04	143.53	0.00	0.00



30.0 km
— PRESENT STAGE
--- FUTURE STAGE

POINT	PRESENT STAGE		FUTURE STAGE		DIFFERENCE	
	VELOCITY (m/s)	DIRECTION (deg)	VELOCITY (m/s)	DIRECTION (deg)	VELOCITY (m/s)	DIRECTION (deg)
80-1	1.03	143.53	1.04	143.53	0.01	0.00
80-2	1.04	143.53	1.04	143.53	0.00	0.00
80-3	1.04	143.53	1.04	143.53	0.00	0.00
80-4	1.04	143.53	1.04	143.53	0.00	0.00
80-5	1.04	143.53	1.04	143.53	0.00	0.00
80-6	1.04	143.53	1.04	143.53	0.00	0.00
80-7	1.04	143.53	1.04	143.53	0.00	0.00
80-8	1.04	143.53	1.04	143.53	0.00	0.00
80-9	1.04	143.53	1.04	143.53	0.00	0.00
80-10	1.04	143.53	1.04	143.53	0.00	0.00
80-11	1.04	143.53	1.04	143.53	0.00	0.00
80-12	1.04	143.53	1.04	143.53	0.00	0.00
80-13	1.04	143.53	1.04	143.53	0.00	0.00
80-14	1.04	143.53	1.04	143.53	0.00	0.00

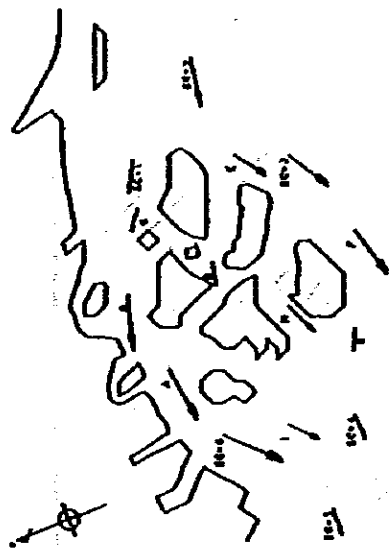
図 16-9 (5) 流況の变化 (西流 + K₁ 分潮流)



30.0 cm/s
—— PRESENT STAGE
--- FUTURE STAGE

POINT	PRESENT STAGE		FUTURE STAGE		DIFFERENCE	
	VELOCITY	DIRECTION	VELOCITY	DIRECTION	VELOCITY	DIRECTION
SC-1	10.00	287.80	10.00	287.80	0.00	0.00
SC-2	38.00	278.47	38.00	278.47	-0.01	0.00
SC-3	38.25	240.08	38.25	240.08	-0.04	0.14
SC-4	18.08	267.14	18.08	267.10	0.04	0.04
SC-5	18.48	271.37	18.48	271.03	0.02	0.00
SC-6	23.48	223.73	23.48	223.73	-0.01	0.00
A	38.47	261.80	38.48	261.61	-0.01	0.00
B	38.92	283.97	38.92	283.97	-0.00	0.00
C	18.48	308.51	18.48	308.51	0.00	0.00
D	17.87	287.27	17.73	287.30	0.07	0.03
E	40.89	235.37	40.91	235.37	-0.02	0.00
F	38.16	250.48	38.92	253.40	0.83	1.04
G	18.47	291.58	18.08	292.68	0.39	0.11
H	23.37	248.90	23.48	248.73	-0.11	1.83
I	24.38	221.21	24.17	221.34	-0.21	0.16

Direction



30.0 cm/s
—— PRESENT STAGE
--- FUTURE STAGE

POINT	PRESENT STAGE		FUTURE STAGE		DIFFERENCE	
	VELOCITY	DIRECTION	VELOCITY	DIRECTION	VELOCITY	DIRECTION
SC-1	10.00	287.80	10.00	287.80	-0.00	0.00
SC-2	38.00	278.47	38.00	278.47	-0.01	0.00
SC-3	38.25	240.08	38.25	240.08	-0.04	0.14
SC-4	18.08	267.14	18.08	267.10	0.04	0.04
SC-5	18.48	271.37	18.48	271.03	0.02	0.00
SC-6	23.48	223.73	23.48	223.73	-0.01	0.00
A	38.47	261.80	38.48	261.61	-0.01	0.00
B	38.92	283.97	38.92	283.97	-0.00	0.00
C	18.48	308.51	18.48	308.51	0.00	0.00
D	17.87	287.27	17.73	287.30	0.07	0.03
E	40.89	235.37	40.91	235.37	-0.02	0.00
F	38.16	250.48	38.92	253.40	0.83	1.04
G	18.47	291.58	18.08	292.68	0.39	0.11
H	23.37	248.90	23.48	248.73	-0.11	1.83
I	24.38	221.21	24.17	221.34	-0.21	0.16

Direction

図 6-9(6) 流況の変化(西流+K₂分潮流)

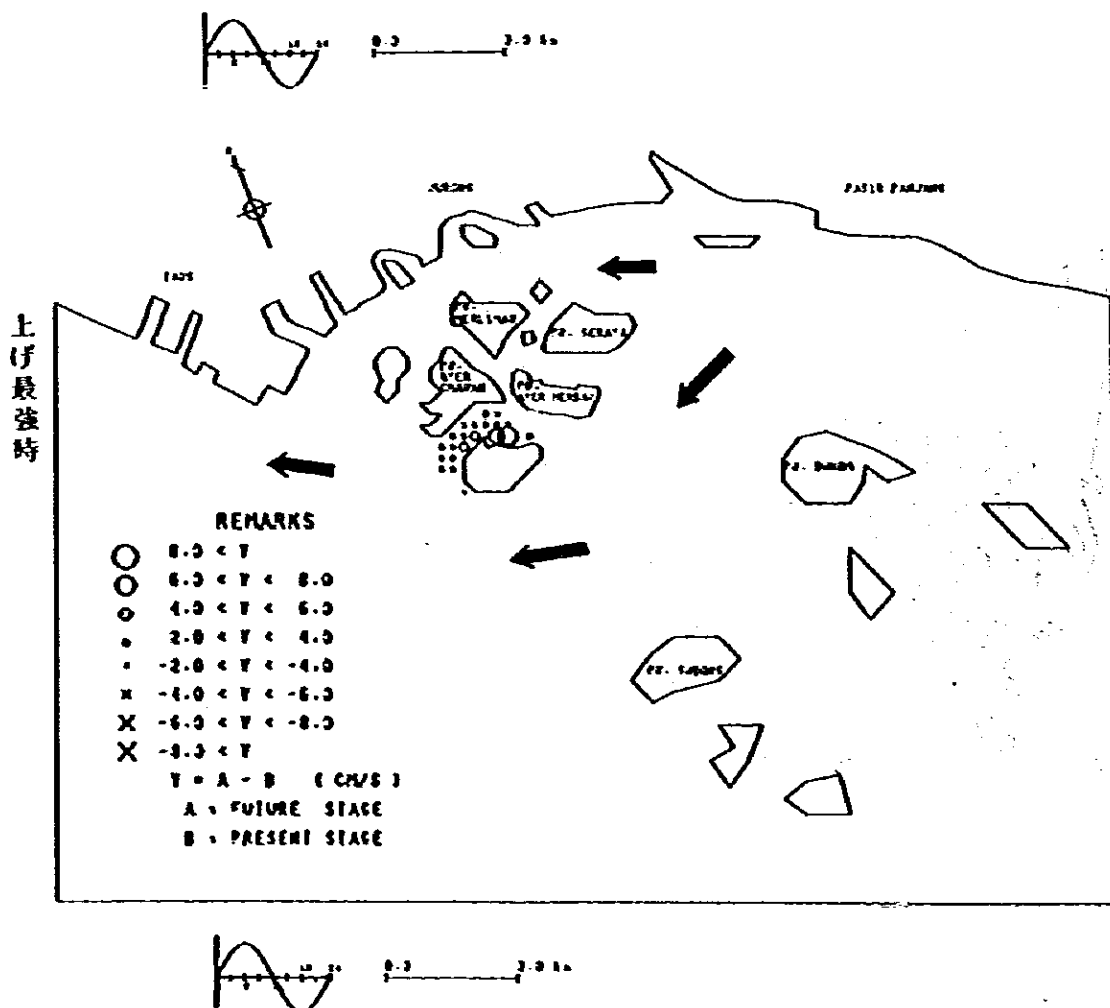
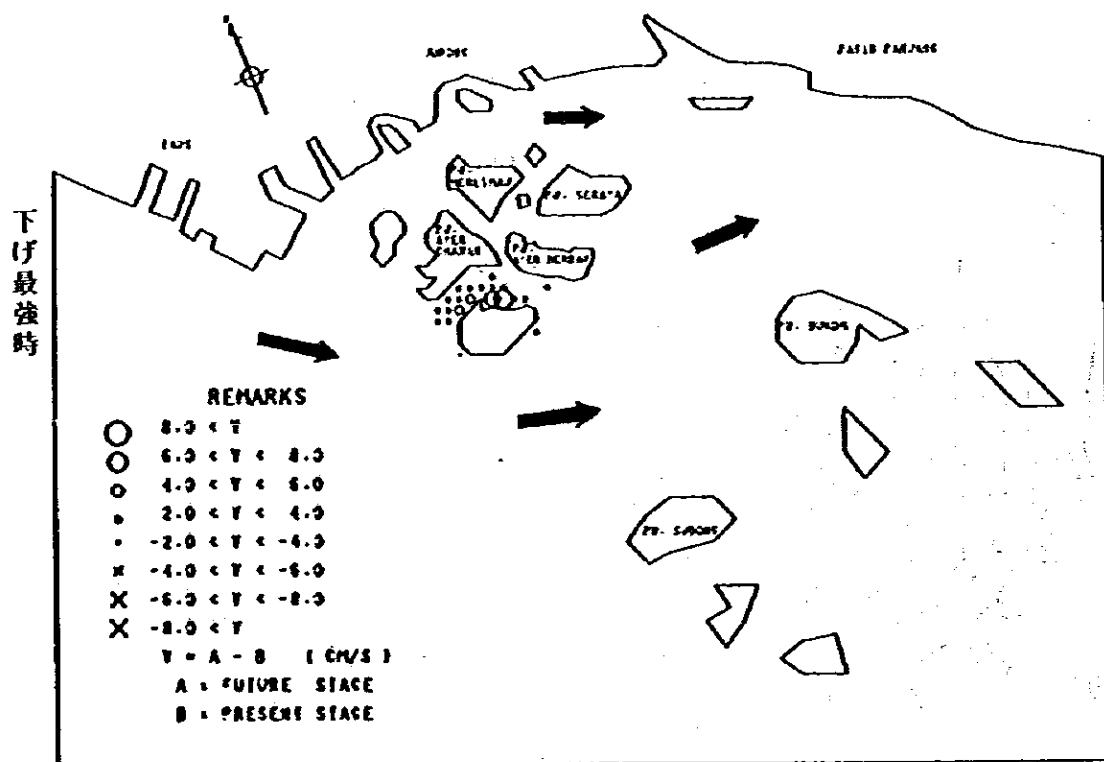


図 6-10 流速の変化とその範囲

の流速増加がみられ、Sakra, Bakau 島の南側で最大 4 cm/sec 程度の流速減少が生じる。流向の変化は、Sakra, Bakau 島の南側で最大 2° 程度である。

③ 低潮時の流れは、全体的に東から西へ向う様相を呈す。いずれの比較点とも現況の流況に比べ 1 cm/sec 未満の変化にとどまる。流向の変化は Sakra, Bakau 島の西側 H, G 地点で 2° 程度みられる。

④ 低潮 + 3 時（上げ最強時）の流れは、恒流と潮汐流が同方向に流れるため流速値は最大になり、強い西向きの流れが生じる。流速の変化は、H 地点で 4 cm/sec 程度の変化がみられる。図 6-10 に示されるように、Sakra, Bakau 島, Chawan, Merbau 島の間（ $2\text{ km} \times 1\text{ km}$ の範囲）で最大 6 cm/sec 程度の流速増加がみられる。流向は、同じ地点で 2° 未満の変化にとどまる。

①～④に述べたように、流況の変化は、Sakra 島, Bakau 島の地形変更があった付近の限定された海域のみにとどまる。

6-1-2 COD 拡散

一 現況再現性の確認

現況再現計算を実施して得られた結果と、水質予測モデルの対象として設定した COD 濃度観測値とを比較し、再現性の検証を行なう。

Seraya 海域では、水質観測時の流れが西から東へ向っていたことから、この潮時の流れに対応した水質を求めるために非定常計算を実施した。再現性の検証のために用いる計算結果は、充分安定した非定常拡散計算結果から、水質観測時の流況に対応した潮時の計算結果を抽出した。

計算結果の COD 濃度平面分布を図 6-11 に、観測値と計算値とを比較したものを図 6-12、表 6-3 にそれぞれ示す。また、代表断面における COD 濃度を図 6-13 に示す。

これから計算結果の現況再現性について要約すると次のとおりである。

- ① 計算結果の COD 濃度の平面分布は、COD 濃度観測値の平面分布状況と同様に Seraya, Bakau 島西側で濃度は低く、東側で高い傾向を再現している。
- ② 水質観測点 (S1～S49) 21 点の観測値と計算値とを比較すると、観測値と計算値との差は最大で 1.9 ppm 程度である。全点の平均値によると観測値の 0.65 ppm に対し、計算値は 0.66 ppm で、その差は小さい。
- ③ 観測値と計算値との関係を求めたところ、相関係数 0.81 、回帰直線も $y = 1.124x - 0.098$ が得られた。

$$\left[\begin{array}{l} \text{Pandan 川河口の S1, S3 の 2 点を除くと} \\ \text{相関係数 0.94 回帰直線式 } y = 1.137x - 0.273 \text{ 程度になる。} \end{array} \right]$$

ここに、 y : 観測値, x : 計算値

①～③の考察から、計算結果は現況を再現していると考えられる。

現況再現計算で採用したある潮時の流れに対応した水質を求めることを目的に実施した。これとは別に、本調査の目的である平均的な水質を求めるためにも実施した。

充分安定した 1 潮汐分の非定常拡散計算結果を時間方向に平均化することにより潮流の変動による水質の変動が除去され、平均的な水質の分布が求められる。この平均的な水質は定常計算結果で得られた水質に対応する。表 Ⅲ 6-5 には、代表点における定常計算結果と平均化した非定常計算結果を示す。定常計算結果と平均化した非定常計算結果との差は小さい。

図 Ⅲ 6-14 に定常拡散計算により得られた現況の COD 濃度平面分布を示す。

— 将来水質

再現性の確認が得られた現況 COD 拡散計算と同様に、将来地形、将来負荷量を入力して将来予測計算を実施した。

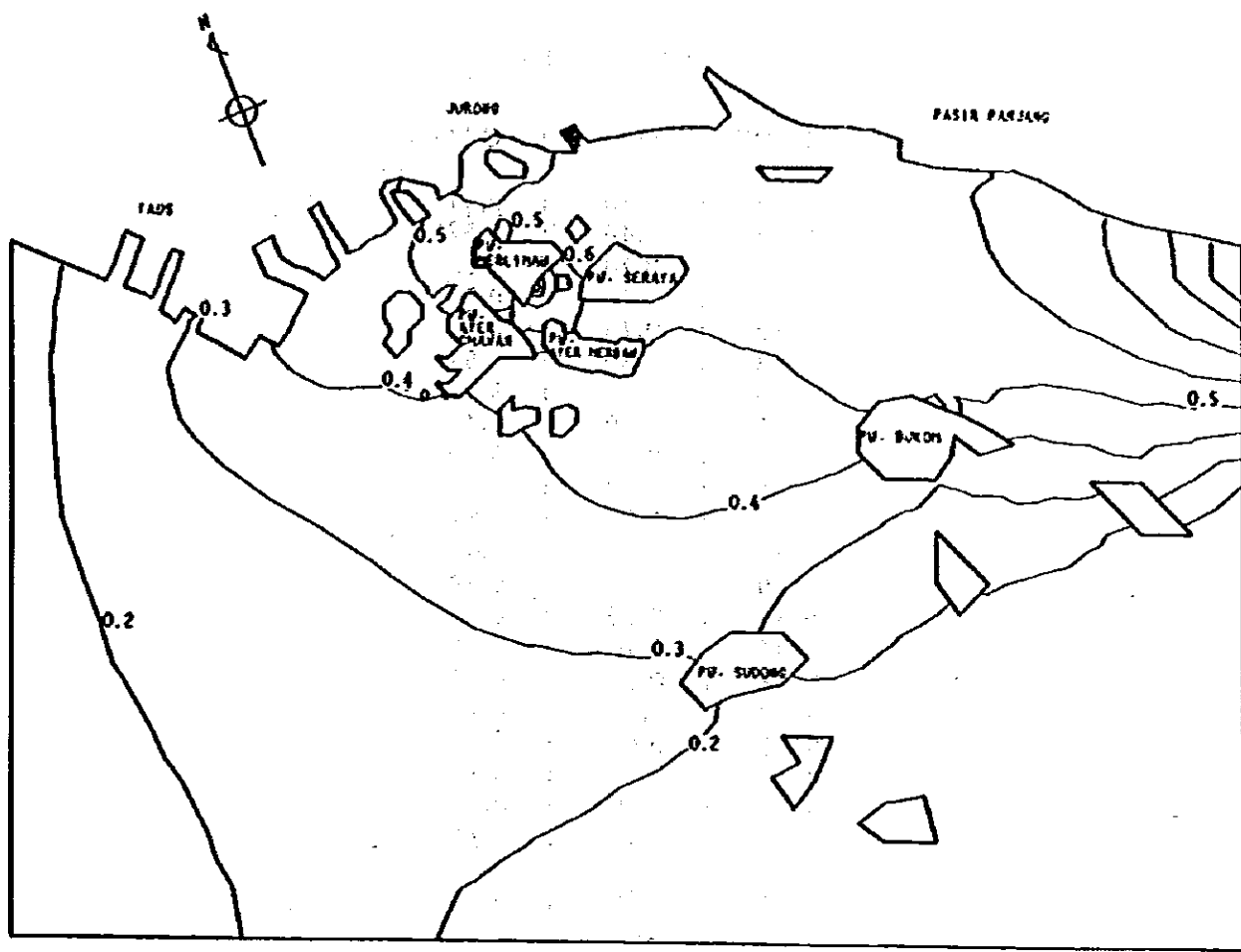
将来計算結果の COD 濃度平面分布を図 Ⅲ 6-15、図 Ⅲ 6-16 に、代表地点における COD 濃度値を表 Ⅲ 6-6 に、代表断面での COD 濃度値を図 Ⅲ 6-17 にそれぞれ示す。これから将来の水質について要約すると次のとおりである。

① 現況水質と直接比較できる西流による水質について、現況と将来とを比較すると、1ppm 以上の COD 濃度の変化がみられるのは、Pandan 川河口の S1 だけである。

水質観測点 (S1～S49) の 21 点の平均値によると、現況水質の 0.65ppm に対し、将来は 0.85ppm であり、負荷量増加のため 0.2ppm の上昇となる。

② 将来時点の西流による水質と、東流による水質とを比較すると、東流による水質は、Pandan 川河口を除き、西側から流入する低濃度の水質の影響を受け、COD 濃度は全体的に低下する。水質観測点 (S1～S49) の 21 点での平均値は 0.51ppm で、西流による水質に比べ 0.34ppm の減少となる。なお、現況の水質 (西流) に比べても 0.14ppm の減少である。

①、②に述べたように、将来水質は、現況水質に比べ最大で 3ppm (Pandan 川河口)、平均的にみて 0.5ppm 未満の濃度上昇にとどまる。Seraya 海域では、各排出点からの負荷の影響より、東側から (シンガポール港側) 流入する負荷の影響の方が海域水質に対して大きいようである。



UNIT : ppm

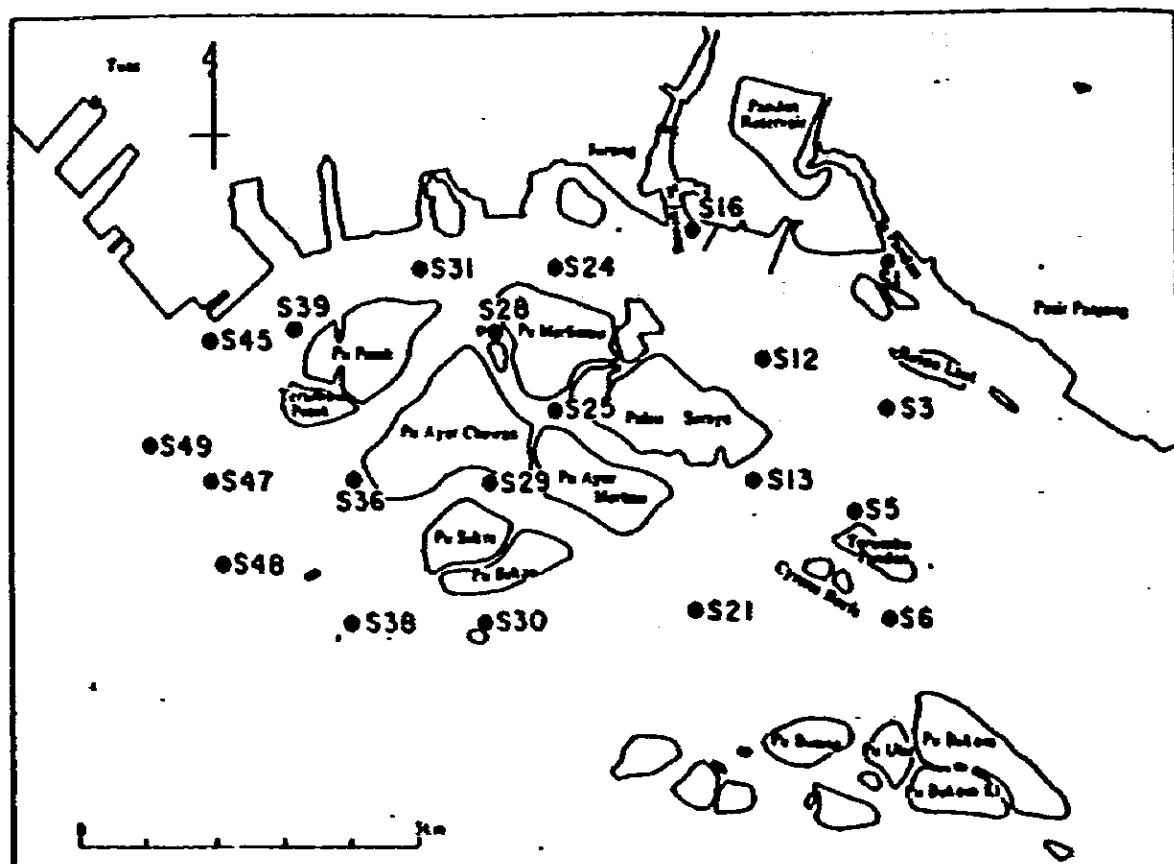
0.0 3.0 KM

1 : 125000

圖 6-11 COD 濃度平面分布・現況（低潮時）

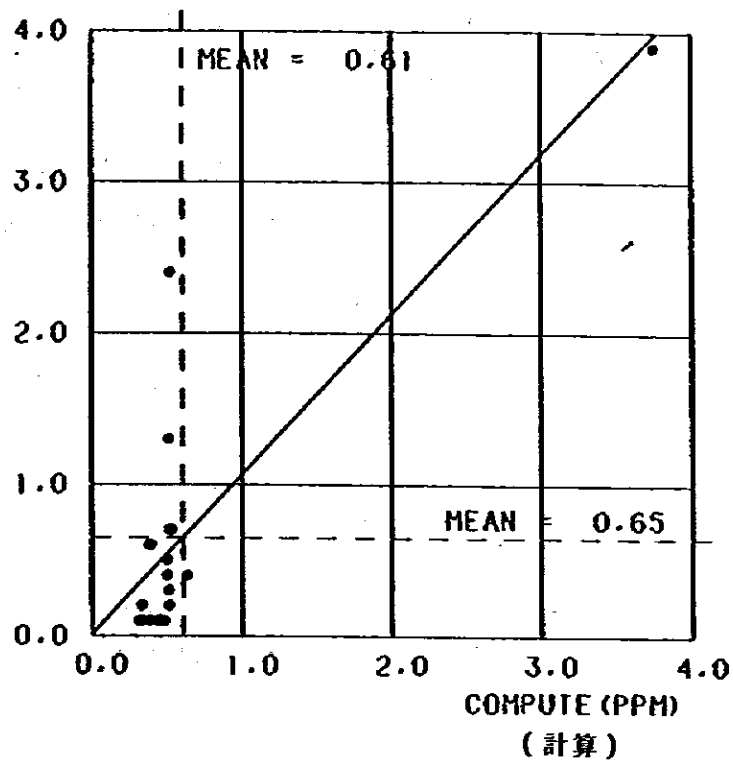
表Ⅱ6-3 観測値と計算値との比較

(UNIT : PPM)			
		(観測)	(計算)
POINT :	OBS	:	CALC.
S 1	: 1.30	:	0.51
S 3	: 2.40	:	0.52
S 5	: 0.70	:	0.53
S 6	: 0.70	:	0.51
S 12	: 0.70	:	0.51
S 13	: 0.30	:	0.51
S 16	: 3.90	:	3.74
S 21	: 0.10	:	0.45
S 24	: 0.40	:	0.50
S 25	: 0.40	:	0.63
S 28	: 0.20	:	0.51
S 29	: 0.10	:	0.43
S 30	: 0.60	:	0.39
S 31	: 0.50	:	0.50
S 36	: 0.10	:	0.38
S 38	: 0.20	:	0.33
S 39	: 0.10	:	0.48
S 45	: 0.60	:	0.38
S 47	: 0.10	:	0.33
S 48	: 0.10	:	0.31
S 49	: 0.10	:	0.31
MEAN :	0.65	:	0.66



(観測)

OBSERVE (PPM)



$$Y = 1.06X + 0.004$$

$$R = 0.83$$

図 6-12 観測値と計算値との関係

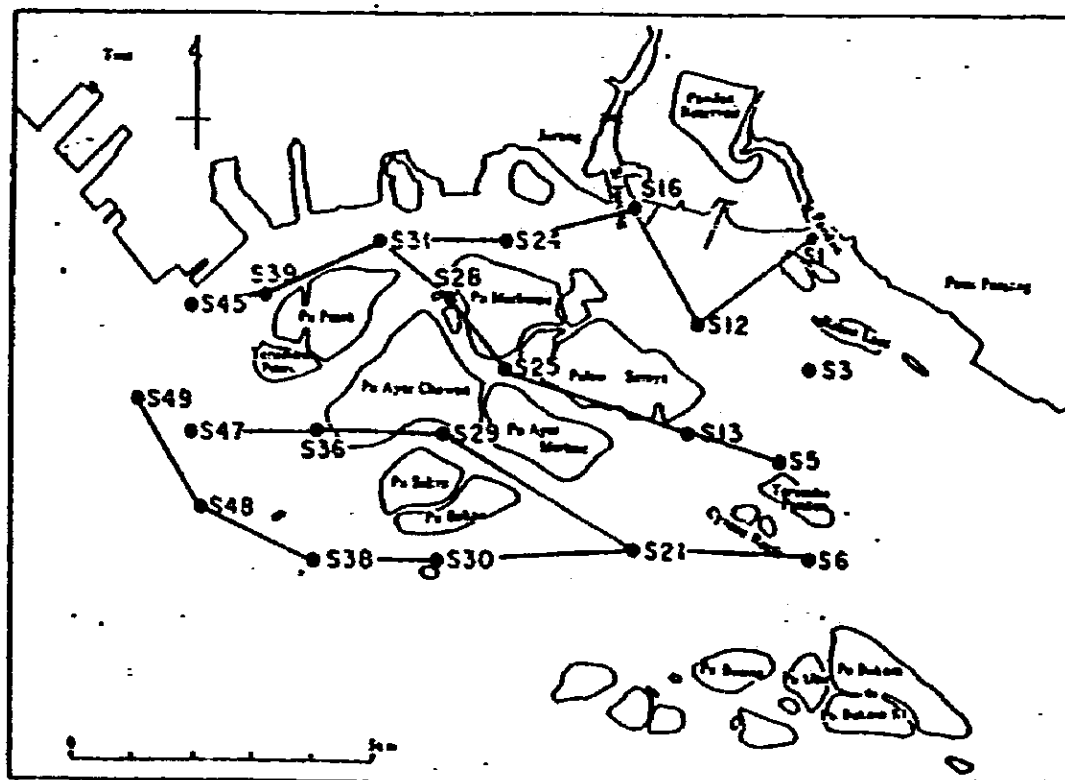
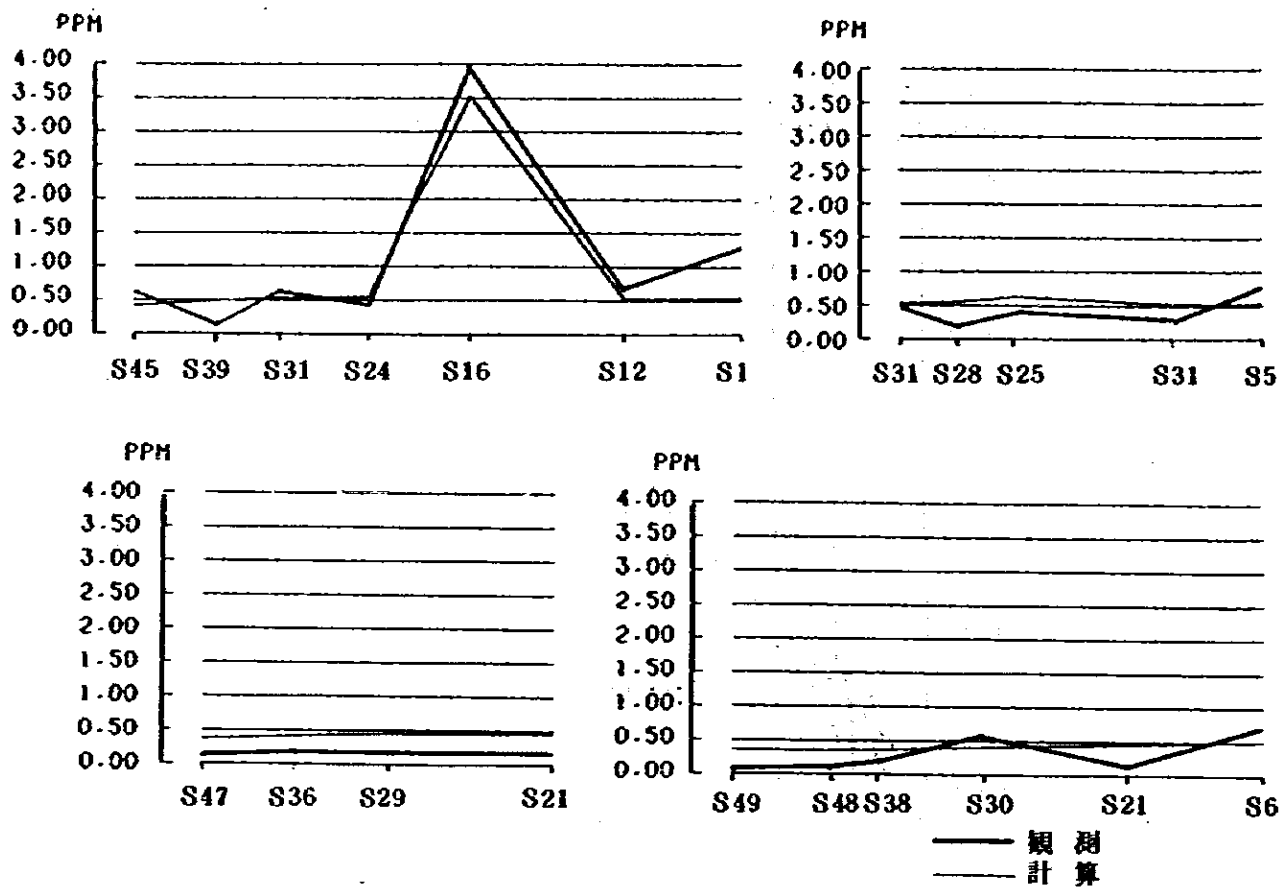
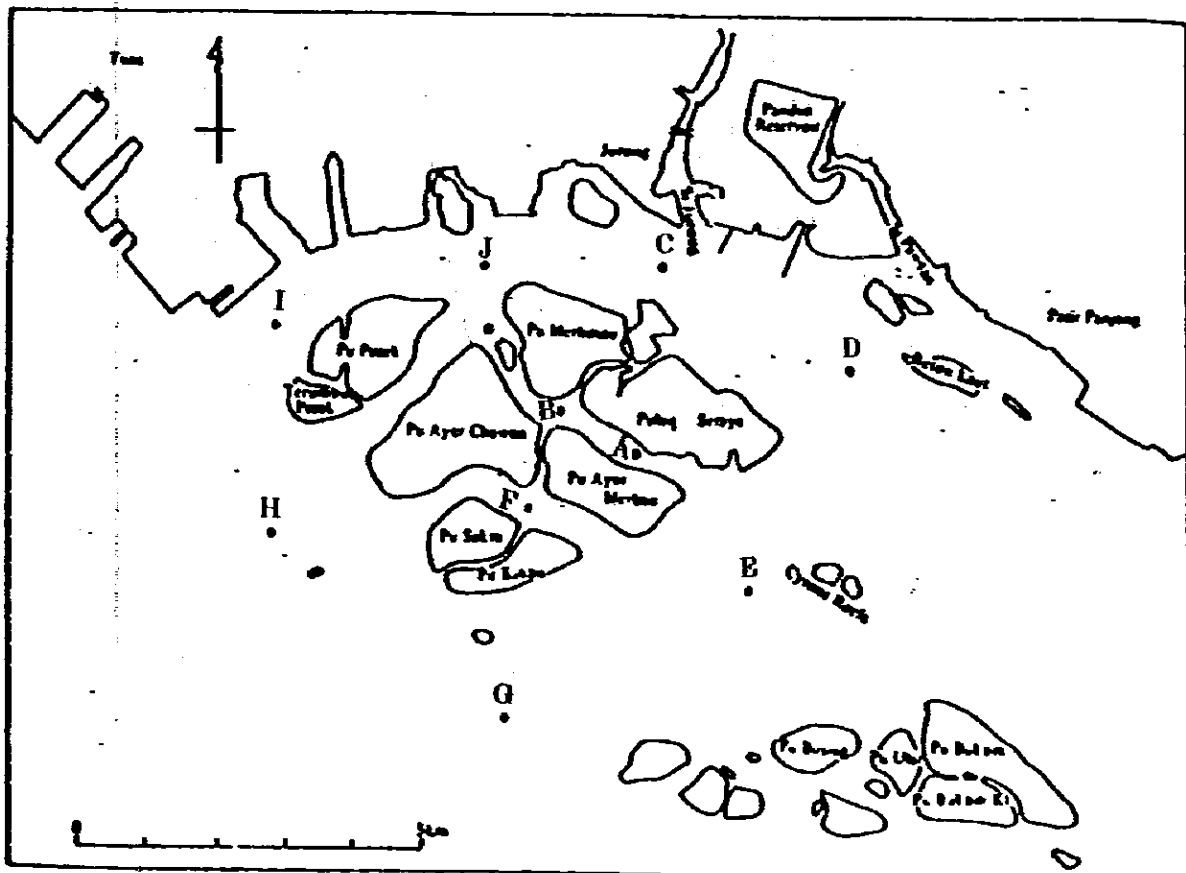


図 6-13 代表断面での COD 濃度 (観測値と計算値)

(UNIT : PPM)



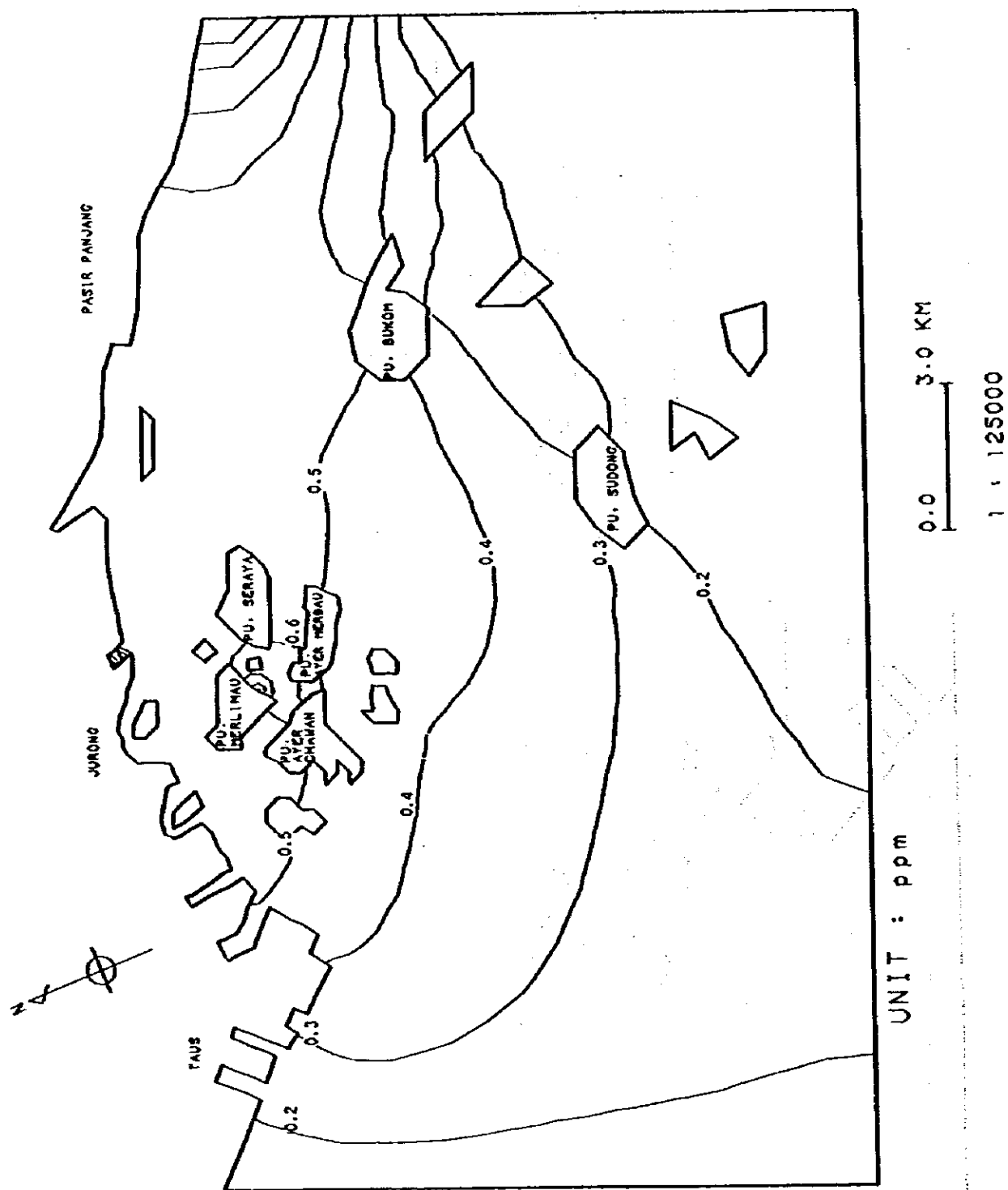


図 6-14 定常計算によるCOD濃度平面分布

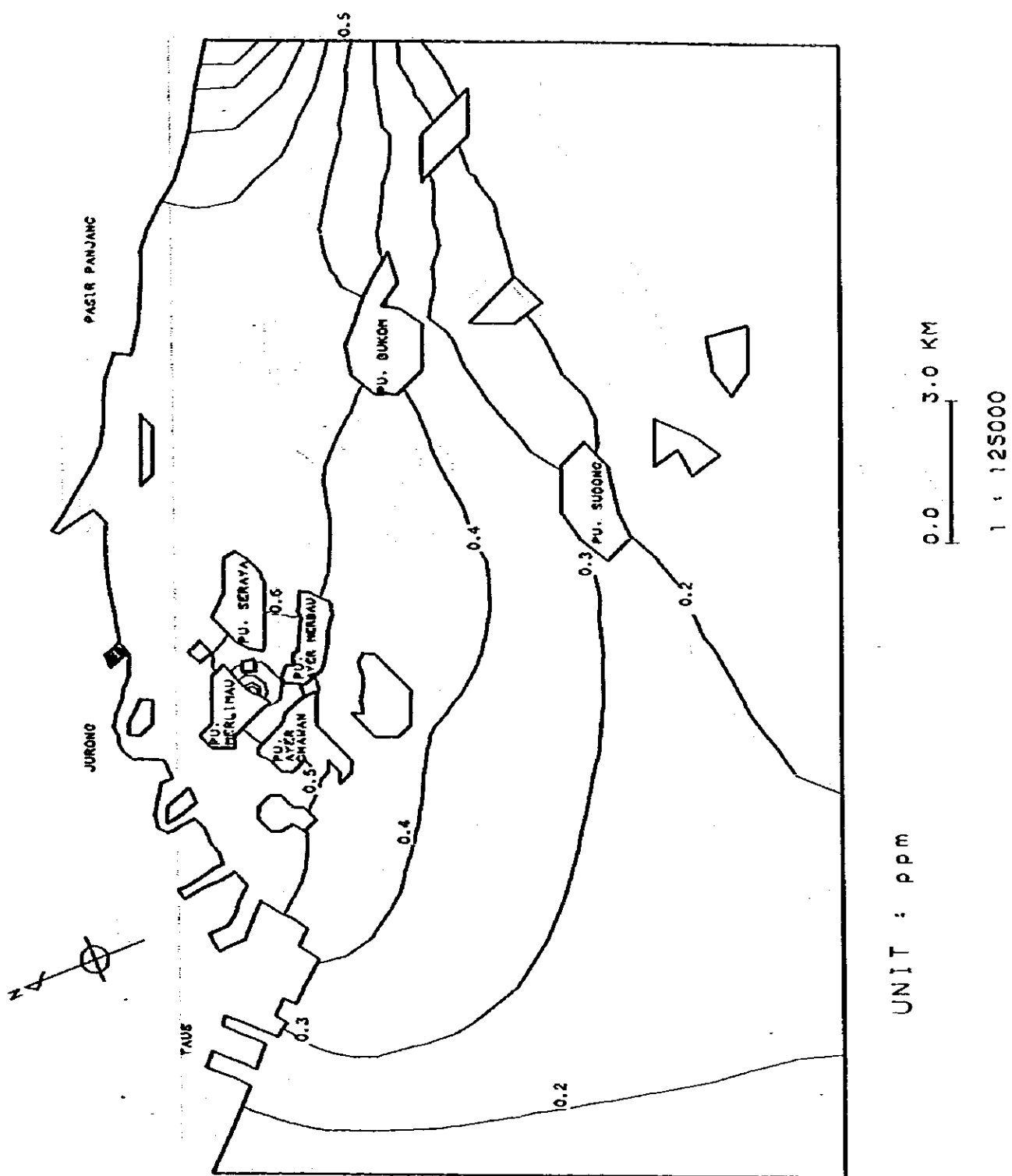


图 6-15 COD 浓度平面分布· 得来 (西淡)

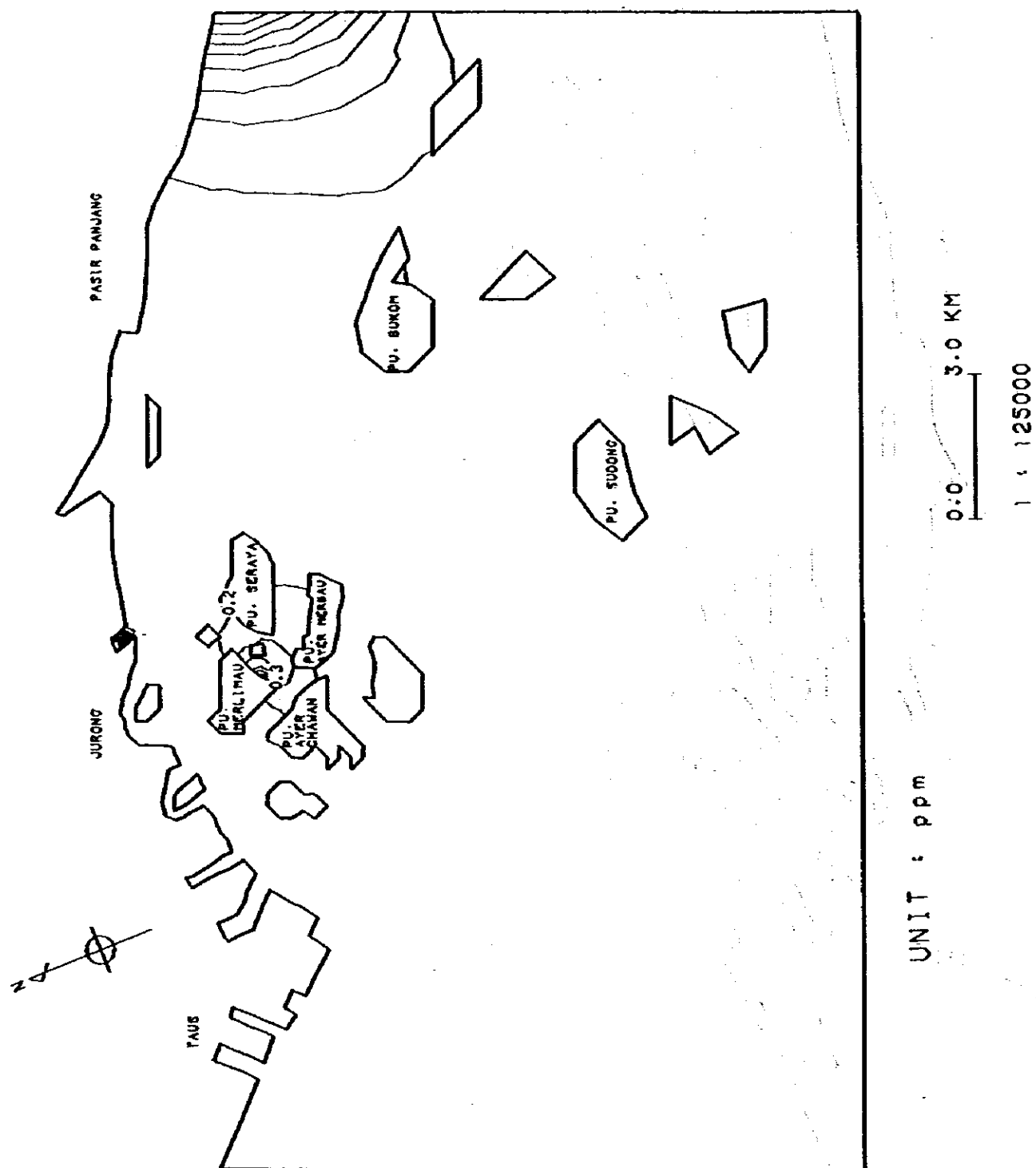


图 6-16 COD 濃度平面分布・将来 (東流)

表 Ⅲ 6 - 6 COD濃度の比較 (現況と将来)

(UNIT : PPM)

POINT	PRESENT STAGE (現況)	FUTURE STAGE (将来)	
		E-W	W-E
S 1	0.540	0.544	0.157
S 3	0.535	0.539	0.146
S 5	0.524	0.527	0.135
S 6	0.508	0.512	0.130
S 12	0.532	0.536	0.148
S 13	0.520	0.524	0.134
S 16	3.518	6.383	7.830
S 21	0.461	0.466	0.112
S 24	0.543	0.565	0.144
S 25	0.623	0.687	0.277
S 28	0.549	0.581	0.146
S 29	0.450	0.462	0.115
S 30	0.409	0.413	0.104
S 31	0.529	0.562	0.129
S 36	0.416	0.428	0.105
S 38	0.366	0.371	0.102
S 39	0.512	0.546	0.119
S 45	0.415	0.430	0.103
S 47	0.374	0.383	0.102
S 48	0.357	0.363	0.102
S 49	0.357	0.366	0.101
A	0.550	0.551	0.155
B	0.524	0.527	0.155
C	0.291	0.294	0.151
D	0.140	0.141	0.113
E	0.542	0.554	0.169
F	0.409	0.413	0.105
G	0.286	0.289	0.102
H	0.273	0.276	0.100
I	0.252	0.256	0.100

