

16

16

No. 16

若狹灣及其の沿海の流動

宇田道隆

水産試験場報告第二號別刷

昭和六年九月

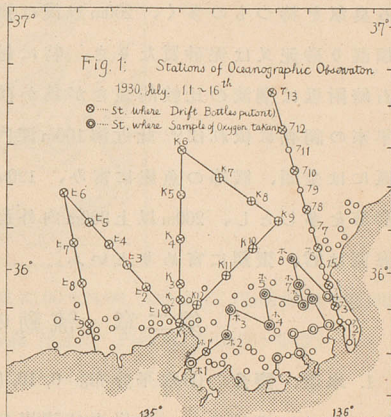
# (14) 若狭灣及其の沿海の流動

(圖版 I)

水産試験場 技師 宇田 道隆

## 緒 言

若狭灣は日本海に面せる本州の巨灣にして、灣口徑約38哩、奥行約20哩の略巾着狀矩形をなし、内部は小灣の出入多く且水深概ね150m未満の淺海にして漁利頗る豊かなり。茲に同灣開發の一端として京都水産講習所の提唱に應じ中央、福井、兵庫の各水産試験場は所屬の試験調査船昭和丸、蒼鷹丸、二州丸、但馬丸の各船を派して、自昭和5年7月11日至同年同月17日一齊に四船の聯合調査に従事せり。茲に其成績の内水理的部分の概要を取纏め報告せんとす。追つて此等の記録の詳細は要報<sup>(1)</sup>に掲載せるを以て参照すべし。調査観測地點一覽圖は第一圖に見るが如し。横斷観測は一齊に11日之を終れり。



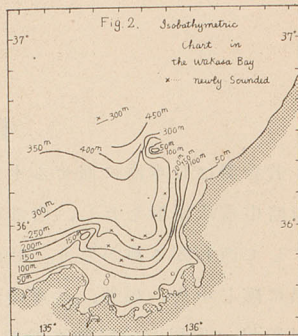
## 第一章 流動に影響する外的條件

1. 氣象概要 7月11日は北方に存在せる2低氣壓747mm及749mmの影響を受け概ね小雨にて波浪相當に高く、12日も午前は豪雨にて調査を妨げ、此の兩日間は西偏風多かりしも13~16日は大體好晴に恵まれ海上平穩にして無風に近き東偏軟風多かりき。

因みに7,8月は全國一汎に南寄りの風卓越せるも風速は平年と大差なし。

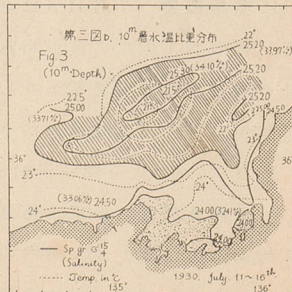
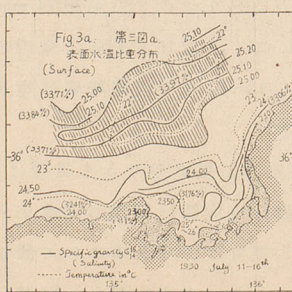
2. 深度及底質 海軍水路部發行の海圖に新測の深度を入れて修正せる等深線圖を第二圖とす。灣内の大部分は200m未満にして灣口には300mの等深線の迫れるを見る。茲に注目すべきは玄達の瀬なる福井三國港西方20哩沖

最浅部 50m の海礁にして、嘗つて福井水試の詳細なる調査あり<sup>(2)</sup>。北東、南西に長く、長さ約 3 哩、幅北東部半哩、南西部約 2 哩あり。其底質に就ては海礁最浅部より北～東方約半哩は貝類の死殻より成り、此れより北東方の海區は細長き靴形をなし貝類と砂との混合より成り海礁の南西方約 2 哩の海區は砂にして其周囲は全部泥質より成れるもの如しとなせり。今回の調査の範圍にては 200m 以深は概ね粘土様綠泥にして稍々硫化水素臭に似たる臭氣を持つもの多く、200m 以浅は概ね貝類混り砂泥又は泥砂質なりき。特に越前立石崎附近は潮流の比較的強きが爲か砂の分量多かりき。福井水試の大正 9 年來の調査に依れば<sup>(3)</sup> 此近海 100m 深内外の細砂の海區には鯛類、粗砂の海區には金頭、鱧等の魚族に富み、120m~150m 内外の砂泥混りの海區には鰈、鮭等を多しとし、200m 以上 300m 内外迄 (0°~2° 内外の冷水帯) の泥又は泥砂の海區は鱈、蟹類に富めりといふ。



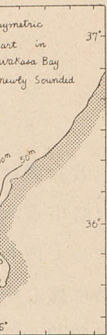
### 第二章 流動の間接的表示

1. 水温、鹽分 (I) 水平分布。0, 10, 50, 100, 200m 五層の分布圖を第三圖 a, b, c, d, e, にて示せり。沿岸水は陸岸の日射受熱の影響に依り比較的高温にして低鹹、沿岸より沖合に出づるに従つて低温高鹹となる。斯るが故に夏季は水温より見て對馬暖流域を判然せしむるは困難なりと雖も、高鹹なる水帯の位置を見るに距岸 3,40 哩沖を南西より北東に向ひて走るを以て略其流域を推知し得。第三圖を概観するに下の如し。



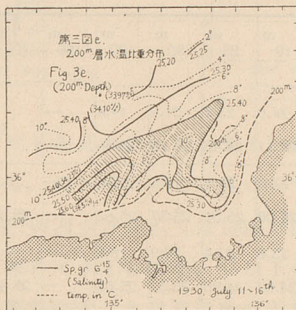
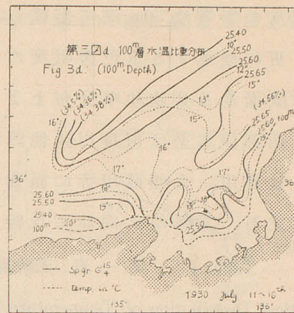
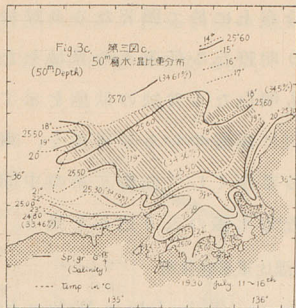
0m.....  
10m.....  
50m.....  
100m.....  
200m.....  
即ち 50m.....  
沿岸水に...  
を見たり。  
最低水温...  
に沿ひて...  
低比重は...  
は二系統...  
重 1.02300...  
宮津、丹谷

(2)。北東、南  
底質に就て



試の大正9  
、粗砂の海  
毎區には鰈、  
又は泥砂の

を第三圖 a,  
較的高温に  
るが故に夏  
、高鹹なる



- 0m.....灣内 25.6°(最高 27.8° に及ぶ), 比重 23.00~24.00, 沖合 22.3° (比重 24.50~25.20)
- 10m.....灣内 23.4°(最高 25°), 比重 24.50 未滿 沖合 22° 内外 (比重 25.00~25.30)
- 50m.....灣内 21.2° (比重 25.00~25.30), 沖合 18°~20° (比重 25.60 内外)
- 100m.....20° 以下, 灣内は多く 19° 内外にて比重 25.50~25.60
- 200m.....2°~10°, 比重 25.20~25.60, 概ね 25.30 内外。

即ち 50m 以浅は殆んど 20° を越え居り、24.00(32.41%)未滿の表面に瀰漫せる沿岸水に至りては無風無波好晴に際しては最高 28° 内外に迄過熱せらるるを見たり。

最低水温は 250m 深 1.3° なるものありき。又 200m 以深の冷水團は略等深線に沿ひて進入し來れるものの如し。最高比重は 100m 深の 1.02564 (34.54%)、最低比重は越前岬附近 0.1 1.02056 (27.94%) なり。第三圖より、若狭灣の淡水系は二系統に分れ居り、一は敦賀灣より越前岬を経て三國方面に及ぶ表面比重 1.02300 (31.1%) 未滿の東部淡水系にして、一は小濱灣を中心とせる淡水及宮津、丹後灣を蔽ふ 1.02300 未滿の淡水を併せたる西部淡水系なるを知る。

此等淡水の影響は 50m 深に迄達し、鯀の分布上に於て顯著なる多鯀域を形成し、更に後述する水色透明度の分布より明瞭なる低濁水の界域をなし、又溶解酸素量及其飽和率分布上より見るも明白なる貧缺の状態を示すものなり。西部淡水系は由良川其他西部小河川に涵養せらるる事多く、東部淡水系は敦賀川、九頭龍川等に涵養せらるる事多くして此等二系の間中に灣口より立石、常神崎に向ひて比較的高鹹なる水團の入り込みを見る。

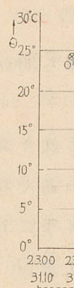
Table I. 第一表 若狭灣(夏季)水温比重垂直分布

Vertical Distribution of Temperature ( $\theta^{\circ}\text{C}$ ) and Sp. gr. ( $\sigma_t^{15}$ ) in July in Wakasa Bay

海區 District	位置 St.	Depth $\theta, \sigma_t^{15}$	Depth (m)													
			0	10	25	50	100	150	200	250	300	400	500			
灣内 In Bay	35-44-20	水温	24.5	24.0	23.4	21.9	19.4	(St.a)								
	135-45-51	比重	23.41	24.11	24.46	25.05	25.56									
灣口 Entrance	A	35-59-7	水温	23.0	22.5	21.1	19.5	17.6	5.2		1.7					
		135-47-30	比重	24.81	25.08	25.31	25.57	25.62	25.32		25.30					
	B	35-55-23	水温	26.2	23.6	22.4	20.9	18.6	9.4		3.4	1.4 (274m)				
		135-38-20	比重	24.20	24.87	24.95	25.32	25.58	25.41		25.26	25.26				
	C	35-51-0	水温	25.2	24.1	23.3	21.7	17.7	4.7							
		135-40-00	比重	23.97	24.45	24.62	25.00	25.61	25.27							
灣外 Exterior of Wakasa Bay	D	ヒ3~ヒ8	水温	22.6	22.3	21.4	19.5	16.7	9.5		3.1		(實測値)			
		Mean	Obs.							By $\theta = 22.6 - 0.065h$		$0 \leq h \leq 300\text{m}$				
		(Fig. 1)	Calc.	22.6	22.0	21.0	19.4	16.1	9.6		3.1		(計算値)			
	E	K4~K11	水温	22.0	21.7	20.0	18.2	15.4	7.6		2.2		(實測値)			
		Mean	Obs.							By $\theta = 22.0 - 0.066h$		$0 \leq h \leq 300\text{m}$				
		(Fig. 1)	Calc.	22.0	21.3	20.4	18.7	15.4	8.8		2.2		(計算値)			
F	フ10~フ15	水温	22.3	21.7	18.6	16.2	13.0	9.0	5.0	1.4		0.9	(0.6)			
	Mean	Calc.	25.17	25.22	25.54	25.63	25.60	25.42	25.29	25.27		25.25	(25.33)			

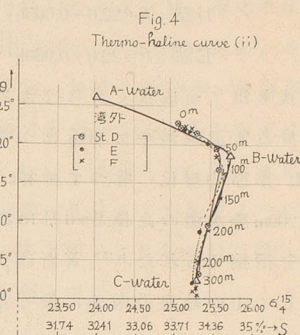
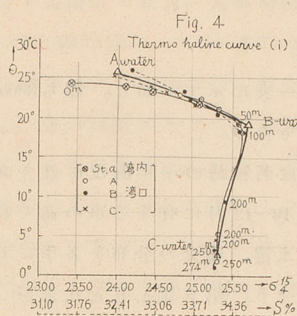
(II) 垂直的の分布 第一表第四圖に示すが如く灣内、灣口、灣外の代表點に就き其水温、鹽分の垂直的の分布を調査せり。水温に就ては正列、鹹度に就ては中鹹の層重状態を呈し、水層を次の三層に分ち得。即ち表層 50m 以淺の淡水被覆層(A-水系)、50m~150mに亘る 75m 深に於て最も高鹹なる對馬暖

流性水團(水團C-水系)



表層淡水は 25.50 内外、若狭灣立石流性水團を成す。斯くの (Thermohaline) 水系(約 26°) あり、100m 以下にして 0° 以下 C 直線の示す層を見る。躍層上部部は冷水部、井水試の報告魚等の漁業 150m 層の水 概言する 0.5° (周年) な

流性水團(B-水系)、200m以深の34.1%前後(25.25~25.40)の略恒鹹なる日本海固有水團(C-水系)の三層に分たる。



表層淡水は灣内に於ける程其の擴張著しきも100m深には及ばず、100mには25.50内外の鹹水を見る。灣外に出づるに従ひ上下の鹹度差は漸次乏しく若狭灣立石崎北17°西40~60哩の沖合にては150m以深に25.50を越ゆる對馬暖流性水團を見、200m以深には34.1%前後、5°以下の日本海固有冷水團を見る。斯くの如き灣内と灣外の著しき層重状態の差異は、第四圖の溫鹹曲線(Thermohaline Curve)に依りて特性的に明瞭ならしめらる。即ち50m以浅はA-水系(約26°, 32.4%)とB-水系(約19°, 34.6%)との混合水(圖上直線ABにて示す)を存し、100m~200mには上記B-水系とC-水系(日本海2,300m以深を占むる下層冷水にして0°~4°, 34.05%内外の混合水團(圖上直線BCにて示す)を見る。但しBC直線の示すは近似的にして混合の詳細に就きては將來に俟つべきものあり。水温遞減率は100m~200mの間に於て最も大にして略150m附近に水温躍層を見る。

躍層上部は暖水部に當り鯛、金頭は25m~140m, 17.8°に多く棲み、躍層下部は冷水部に當り200m~250m, 1°~5°の低冷に蟹、鱈の多く棲む事は既に福井水試の報告あり(3)。日本海に於ける水温躍層の位置は以上底魚の他鯖、柔魚等の漁業に特に緊密なる關係ありと云ふを得べく、今後日本海に於ては150m層の水温、鹽分の觀測を望む次第なり。

概言するに水温表面22°~27°, 200m 5°~10°, 300m 1°~4°, 400m 1°未滿、500m 0.5°(周年)なるを以て300m以深は夏季上下の較差20°を超過す。此れ日本海

多層域を形成域をなし、層を示すもの多く、東部淡水系の中に灣を見る。

Takasa Bay

	400 m	500 m
(實測値)	—	—
(計算値)	—	—
(實測値)	—	—
(計算値)	—	—
	0.9 (0.6)	25.25 (25.33)

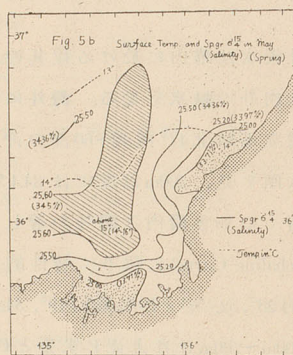
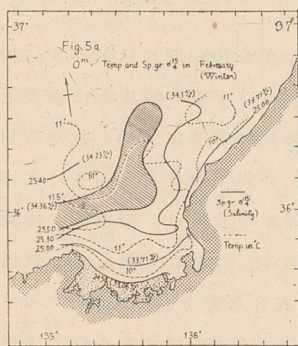
外の代表點列、鹹度に表層50m以なる對馬暖

と太平洋と異なる最も著しき特徴の一なり。此の時季に於ける灣外水温は深さに對して略直線的の降下を示し

$$\begin{aligned} \text{D 點: } \theta &= 22.6 - 0.065h \\ \text{E 點: } \theta &= 22.0 - 0.066h \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} 0 \leq h \leq 300\text{m}$$

なる式を以て可成良くあらはさるる事は第一表に示すが如し。即ち300m以淺に於る水温遞減率は10mにつき0.65~0.66°Cなり。

(III) 季節的變化 嘗つて神谷、川名兩氏は若狭灣の平年海況に就き論ぜられ200m層水温の高極2~6月にあり、低極10~12月に存する事の甚だ特異なるを指摘せられたり<sup>(6)</sup>。著者は表面に於る水温、鹽分の分布を各季に亘り調査して(I)の結果の四季に依る差異を調査せり。(第五圖 a, b, c, d, 参照)



外水温は深

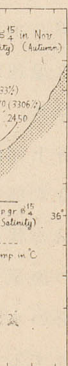
即ち300m以

に就き論ぜ

の甚だ特異

各季に亘り

d, 参照)



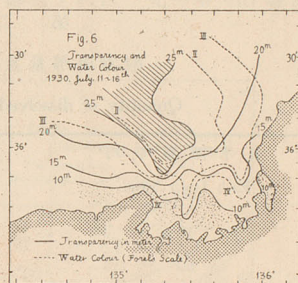
3月を通常

とし鹽分は冬春に高く5月高極にして夏秋に低しとなす。第五圖に見る如く2月は水温分布に於て約20哩の沖合を走る暖流域を最も鮮明に顯はし灣口より右旋して立石、常神崎間に向ひ $11^{\circ}\sim 11.5^{\circ}$ の海水を見、沿岸には $9^{\circ}\sim 10^{\circ}$ の水帯を見る。5月は $14^{\circ}\sim 16^{\circ}$ 、(沿岸25.20未満、沖合25.50~25.60)。8月は沖合 $26\sim 26.5^{\circ}$  (24.90~25.00)、沿岸27 (24.50以下)。11月は $19^{\circ}\sim 20^{\circ}$  (沖合25.00~25.20、沿岸24.70以下)なり。此等の水温、鹽分分布圖より、對馬暖流は若狭灣口より沖合數十哩に亘りて東~北東流をなし冬春最も岸に近づき夏季最も沖に遠ざかり且其の灣内への流入は越前岬に衝突して右旋する一枝を分ち地形性の渦流<sup>(4)</sup>をなすに依るものにして周年變りなきを看取し得らる。灣内淡水の前記東西二系統をなすは周年を通じて然り。

## 2. 水色、透明度

(I) 分布状態 (第六圖参照)水色は沖合(200m等深線外側の區域、第二圖参照)

にてはII~IIIの佳良を示すも、沿岸に近き100m等深線内側の區域はIV以下にして綠色強し。透明度は沖合15m~20m以上(最高29m)なるも前記東部淡水系及西部淡水系にては10m未満なり。立石崎~常神崎間は比較的透明度高し。斯くして水色、透明度の分布より見るも、沖合より若狭灣流に依りて

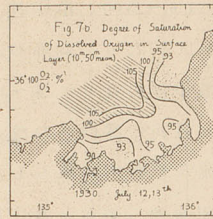
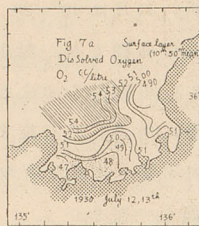


佳良なる洋水の直ちに立石崎に向ひて運ばれ來るものありて、低濁なる淡水には敦賀灣系統東部淡水と丹後、小濱灣系統西部淡水との二種あるを知る。

(II) 一年間の變化 著者の囊に調査せる所に依れば<sup>(6)</sup>、此沿海は年二回の高極低極を有する光學的變化を示し特に夏の高極、春の低極著しく2,3月の第二高極、秋の第二低極は微弱なる所謂對馬暖流型を示し概して夏秋は高佳期、冬春は低濁期をなす。低極は5月にして福井沖10m、經ヶ崎沖13m内外を示し、高極は8月にして福井沖27m、經ヶ崎沖26m水色IIを示す。又最も高佳なる部域は4,5月最も岸に近づき5月は距岸10哩に至る。夏は却つて沖合に遠ざかり7月は50哩の沖合に出で、12月再び接岸し來り20哩に迄近づく。

此事實は§3(III)に説きたる水温、鹽分の高き部域の岸への速近と全く合致するを以て水色透明の高佳なる部域は又對馬暖流の本幹を示すものと云ふを得べし。

### 3. 酸素溶解量及其飽和率 (第7圖 a, b, 参照)



灣内15地點に於て採水し Winkler 氏法に依り山下利得氏の分析せる結果に就き灣内各層の平均を求むれば第二表の如し。

第二表 (Table II)

酸素溶解量及其飽和率 ( $O_2$  and  $100 \frac{O_2}{O_2'}$ )

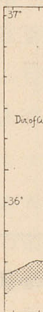
Quantity of dissolved oxygen and its degree of saturation

各水深層平均 Each Layer Mean	溶解酸素量 $O_2$ cc/litre	飽和率 $100 \frac{O_2}{O_2'}$
10m	4.98	97.0 %
50	5.10	96.9
100	5.04	91.4
200	5.52	80.8

即ち若狭灣内 $O_2$ は5c.c.内外を示すと雖も200mに於て特に溶解量の多きを示すは著しき低温に基くものにして、 $100 \frac{O_2}{O_2'}$ を見れば50m以浅は略均一なる97%内外を示すに反して200m僅かに80.8%に激減して最低75.8%なるに見るも明かなり。表層にては15點中過飽和を示すもの6點、最過飽和のものは109.4%に達せり。第七圖より $O_2$ 、 $100 \frac{O_2}{O_2'}$ の水平分布を觀察するに概して沿岸に値小に沖合に大にして鹽分及水色透明度の分布と酷似する分布状態を示し、明かに酸素貧乏飽和度低き前述の東部、西部二淡水系(5cc以下、95%以下)と酸素量に富み飽和度高き沖合洋水(約5.2cc以上、100%以上)との存在を示す。植物の少き沖合に酸素量及其飽和度の高きは思ふに沖合の流動盛ん

なる結果  
4. 浮游  
浮游生物  
西部淡水  
ち著しく  
をなす沖  
沿岸水  
象なり。  
べし。

沖合對  
を描きて



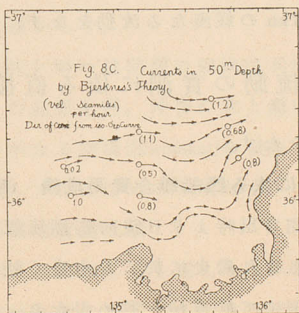
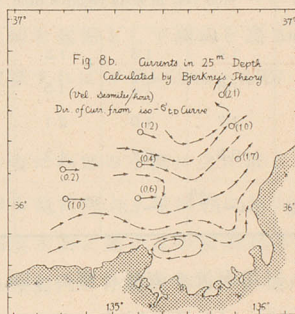
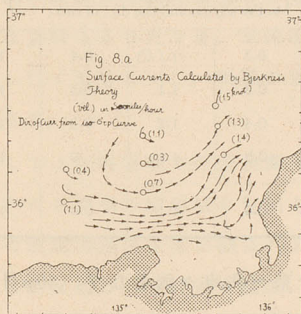
なる結果空气中よりの溶解量多きが爲なるべし。

4. 浮游生物分布状態より推察さるる流動 囑託相川廣秋氏の査定に依る浮游生物總量の分布は明瞭に沖合の水の入り込み、沿岸水の二系を示し、西部淡水系の經ヶ崎沖に於ける張り出しを示し透明度の分布と酷似す。即ち著しく植物浮に富める多浮域をなす沿岸水と、動物浮の割合多き貧浮域をなす沖合の水の分布は1, 2, 3, 同様の結論に導くものなり。

沿岸水域に於て植物浮多きに拘らず  $O_2$ ,  $\frac{O_2}{O_2'}$  の少きは甚だ注目すべき現象なり。之上述の如く流動の緩やかなる爲太氣中よりの溶解少きが爲なるべし。

### 第三章 水溫鹽分より力學的に推算せられたる流動

沖合對馬海流を定常の密度流に近きものと假定すれば<sup>(7)</sup> 先づ等  $\sigma_t D$  線圖を描きて流向を察知し(第八圖 a, b, c, 参照)<sup>(7)</sup>,



近と全く合  
示すものと云

分析せる結果

率
$O_2/O_2'$
0%
9
4
8

量の多きを  
は略均一な  
8%なるに見  
飽和のもの  
るに概して  
る分布状態  
cc以下、95%  
)との存在を  
の流動盛ん

Bjerknes の理論式  $\Delta v = \frac{\Delta D}{2wL \sin \phi}$  より断面に垂直なる流速成分  $v$  及  $V = \frac{v}{\cos \psi}$  より眞の流速  $V$  を求めたり(第三表参照)<sup>(8)</sup>。

Table III 第三表 計算流速

Vel. ( $v$  cm/sec) which is the normal component to the section calc. from  $\Delta v = \frac{\Delta D}{2wL \sin \phi}$

水深 Depth	135°46'E 36°15'N	135°43' 36°25'	135°40' 36°37'	135°13' 36°03'	135°13' 36°12'30''	135°13' 36°22'40''	134°36' 36°12'	134°38' 39°02'
m								
0	60.7	49.0	47.0	37.0	15.3	55.0	15.0	56.0
10	59.5	46.7	47.8	34.9	16.6	56.1	16.9	53.2
25	59.0	41.5	52.4	32.7	20.8	58.3	12.1	51.1
50	28.0	34.4	51.2	30.7	25.2	56.6	1.7	50.6
100	26.1	29.4	34.8	22.6	25.8	43.8	-6.7	39.0
150	0	22.5	19.7	—	—	—	—	—
200	4.2	11.6	9.1	8.1	19.2	12.3	-3.0	11.9
300	—	0	0	0.5	0	0.4	0	0
Depth	True Vel. in Knot required from $V = \frac{v}{\cos \psi}$ (Where $\psi$ is the angle betw. the normal to the section and the dir. of curr.)							
m	kn							
0	1.4	1.3	1.5	0.7	0.3	1.1 (?)	0.4	1.1
10	1.5	1.3	1.5	0.7	0.3	1.1	0.5	1.1
25	1.7	1.0	2.1	0.6	0.4	1.2	0.2	1.0
50	0.8	0.7	1.2	0.8	0.5	1.1	0	1.0
表層	1.4~1.7 <sup>kn</sup>	1~1.3	1.5	0.7	0.4	1.1	0.4	1.1

即ち對馬海流の表層は概ね 1kn. 程度の東~北東々流をなす。50m層にては 0.5~1kn, 450 哩の沖合に却つて稍強流を見る。100~200m 深に下れば流速急減し 200m 以深は 0~0.3 kn の緩漫なる流動をなす。

#### 第四章 流動の實測に依る直接的表示

本章は本調査の主眼をなす。

##### 1. 潮流板 (Current-Drage) に依る四船聯合實測成績 (圖版 I、第九圖参照)

7月12~17日の5日間日出時より日没時迄潮流板7~10個を放流して之を追跡せり。當時天候に恵まれ灣央に於ても尙良く陸標に依りて正確なる船位置の決定をなし得る程にて好成績を収め得たり。此の結果に依り第二章

に於て開  
見るが如  
見、餘部  
より經ケ  
流を示せ  
に向ひて  
沖合に互  
即ち上記  
1 kn. を以  
口北14哩、  
部にては  
北東々に  
大環流は  
馬海流の  
週期は當  
減速し行  
なりとす。  
而して  
せられた  
廻りの環  
崎、常神  
環流は其  
動の有る  
又茲に  
立的調査  
をなせる  
對照及流  
2. 海流  
結果の  
狭灣口を

$$v \text{ 及 } V = \frac{v}{\cos\psi}$$

$$\Delta v = \frac{\Delta D}{2wL \sin\phi}$$

736'	134°38'
712'	35°02'
0.0	56.0
0.9	53.2
1.1	51.1
1.7	50.6
1.7	39.0
—	—
0.0	11.9
0	0
the normal)	
curr.)	
4	1.1
5	1.1
2	1.0
0	1.0
4	1.1

50m層にて  
下れば流速

図参照

流して之を  
正確なる船  
に依り第二章

に於て間接的に推知し得たる表層海流の状態を明瞭にせり。即ち第九圖に見るが如く、經ヶ崎以西は單純なる岸に沿ひて東に奔馳し來る對馬海流を見、餘部沖0.8kn.内外、猫崎沖0.5~1.1kn. 神崎、掛津沖1.5kn.の強流、中濱より經ヶ崎を経て越前岬に向ひては1.5~2.0kn.の對馬海流に珍しき東行強流を示せり。斯くて越前岬に激突せる後、一枝を南に分ち本流は更に北東に向ひて安東崎沖を1.5kn.内外を以て前進を續け、此の強勢なる灣口より沖合に亘りて走れる對馬海流は茲に灣内に地形性の右旋大渦流<sup>4)</sup>を誘發す。即ち上記越前岬南よりの分流は越前岬より立石、常神崎間に向ひて略0.5~1kn.を以て南流し小濱沖は0.4~1.0knを以て西流し、10個の潮流板は小濱港口北14哩、新井崎東18哩附近を中心とせる圓弧上を運動し、更に冠島北東部にては0.5~0.7kn.にて北~北西流をなし新井崎、經ヶ崎間にありては再び北東々に轉向して對馬海流に平行し、茲に全く一大環流を完結す。即ち此大環流は長徑東西15哩、短徑南北10~15哩の楕圓形をなし其強さは全く對馬海流の流勢及流向に支配さるるものにして、灣一周に要する時間即ち其週期は當時4,5日なりき。又流速は經ヶ崎を起點として灣内を環る内漸次減速し行くを見るべし。渦動の強さを推算すれば  $\oint Vds/Area = 3.057 \text{ }^1/\text{hour}$  なりとす。

而して上記時計廻りの若狭灣大環流の他に内部の小灣に之に依りて副生せられたる數個の副環流を見出し得。即ち敦賀灣より越前岬に亘る反時計廻りの環流(東部淡水系に關係す)及び西部淡水系に屬する小濱灣北部の成生崎、常神崎間の反時計廻り環流、更に丹後灣内の小環流等なり。此等の副環流は其の勢概して弱く氣象潮汐等の影響に依り其範圍及勢力に著しき變動の有るべき事想像に難からず。

又茲に注目すべきは經ヶ崎~越前岬の強流は兵庫、中央、京都三船の獨立的調査に依り略同一の結果を得、沖合の水と灣内の水との著しき收斂線をなせると共に甚だ鮮明なる潮境(Siwozakai)を發見し、其處に水色の著しき對照及流れ藻等の集積して帯をなせるを見たり。

## 2. 海流瓶投入に依る海流實測成績

結果の大體は第四表及び圖版I第十圖a, bに示すが如くにして、當時若狭灣口を洗ひし對馬海流水團の奈邊に如何なる流速を以て到達するかの大

體を察知するを得たり。

第四表 (Table IV)

若狭灣投入海流瓶成績

Drift Bottles thrown overboard in the inside and outside of the Wakasa Bay

投入	昭和5年7月11日	740本	Percentage	
Put out	1930. July. 11 th	Bottles		
拾得	昭和5年12月1日迄	230本	31.1%	
Recovered	unto 1930. Dec. 1 st.	Bottles		
投入官廳 Office Carried out	本場	155本 (内 42 本拾得)	Sōyōmaru	
	京都水講	245 (78)	Kyōto-Syōwamaru	
	福井水試	160 (74)	Fukui-Nisyōmaru	
	兵庫水試	180 (36)	Hyōgo-Tazimamaru	
拾得内課 Details of Recovery				
Station Recovered, Bottles				
鳥取	(Tottori Pref.)	1		
京都	(Kyōto.)	3		
福井	(Fukui.)	28		
石川	(Isikawa.)	61	{ 羽咋郡 14 鳳至郡 7 其 他 5	珠洲郡 17
富山	(Toyama.)	11		鹿島郡 18
新潟	(Niigata.)	19		佐波 9
山形	(Yamagata.)	2		
秋田	(Akita.)	8		
青森	(Aomori.)	36	{ 西津輕郡 5 東津輕郡 7	上北郡 5
				下北郡 19
北海道	(Hokkaidō.)	50	{ 南岸 (Southcoast.) 20 西岸 (West // ) 26 北岸 (North // ) 7	
樺太	(Karahuto)	4		
宮城	(Miyagi)	2		
茨城	(Ibaraki)	2		

第十圖 a は投入時より拾上時迄の経過日数及其間の平均流速(哩/日)と大體の海流徑路を一目せしむるものにして拾得報告數230本(投入瓶740, 31.1%)中特に顯著なるもののみを掲げたり。同一海岸附近に數個の拾得瓶あるときは其の最も速かに到着せしものは最も眞の流速に近きものを推知せしむるが故に之を採用せり。又第十圖 b は投入より拾得迄數ヶ月を要せるもの

あるを考慮に就き V=きものを一能登半島迄外にて、全は津輕海峽三陸を南には茨城、銚北海道西岸を下り常呂達するもの日投入せら流過して或たり。又若及灣内に拾濱港口、新岩美郡福部馬暖流の衰參考の爲なるさまを其最高鹹部を前年及平し南下の勢秋田沿海に道~島根沖

3. Ekman-其成績は16日午後1少し、底流差なく西流

あるを考慮して途中の経過流速(湊/時)を第十圖 a の示す所により各月各旬に就き  $V = \frac{S_2 - S_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$  より推算せる結果と併せて経過距離の最も著しきものを一目せしむる圖なり。此等に依つて見るに對馬海流は若狭灣より能登半島迄は 1kn. を越ゆる流速を有するも能登より津輕海峽迄は 0.5kn. 内外にて、全體數の 1/3 迄は能登半島特に富山、七尾灣内に漂着せり。流れは津輕海峽西口にて二分し、一は津輕水道を抜けて 1~2kn. にて東に強流し三陸を南に、黒潮親潮の混合せる海區に入り 0.5kn. 内外にて南下し其末端は茨城、銚子沖合に達するものにして其最南なるもの経過距離 815 湊、一は北海道西岸を 0.5kn. 内外にて北上を續け宗谷海峽にて更に二分し北見沿岸を下り常呂に至るもの(経過距離 910 湊)と更に樺太西岸を北上し野田附近に達するもの(経過距離 860 湊)との 2 となる。即ち若狭灣口及其沖合に 7 月 11 日投入せられたる海流瓶が二ヶ月半以上を経過して 800~900 湊の長距離を流過して或は樺太西岸に或は北海道北見沿岸に或は茨城沖合に發見せられたり。又若狭灣内及距岸 10 湊以内の近岸に投入せられたるものは能登西岸及灣内に拾上げられたるもの多しとなす。灣内にては立石崎、常神崎、小濱港口、新井崎附近に多し。茲に特異なるは唯一個西行して 118 日目に鳥取岩美郡福部村岩戸の海岸に發見せられしものあり、之恐らく秋に入りて對馬暖流の衰ふると共に海岸に沿へる逆流に運ばれて南下せるものか。

参考の爲に日本海全汎の 7 月の海況を海洋圖<sup>(10)</sup>より窺ふに對馬海流の旺勢なるさまを知り得べければ茲に摘記す。即ち對馬海流は北流の勢強く 7 月其最高鹹部を既に秋田以北に運びたる爲秋田より樺太に亘りて特に 100m 層を前年及平年に比し高鹹ならしめたり。日本海大冷水帯は前年及平年に比し南下の勢強し。然れども本土側は高温にして 100m 層の 15° 線は遠く新潟秋田沿海に及び對馬水道は過去八ヶ年間に見ざる高温を示したり。對馬水道〜鳥根沖は既に 1.025 未滿の淡水を以て蔽れ居たり。

3. Ekman-Merz 潮流計に依る海潮流實測成績

其成績は第五表、第十一圖に見るが如し。潮汐は表層に半日週潮卓越し 16 日午後 1 時頃低潮時を示せり。流速は 25m 迄大差なくそれより下層程減少し、底流は表面流(0.5~0.7kn.)の僅かに 1/2 の速度にして流向は 25m 層迄大差なく西流するも、それより下層は反時計廻りに漸次南偏し 85m 層に至り

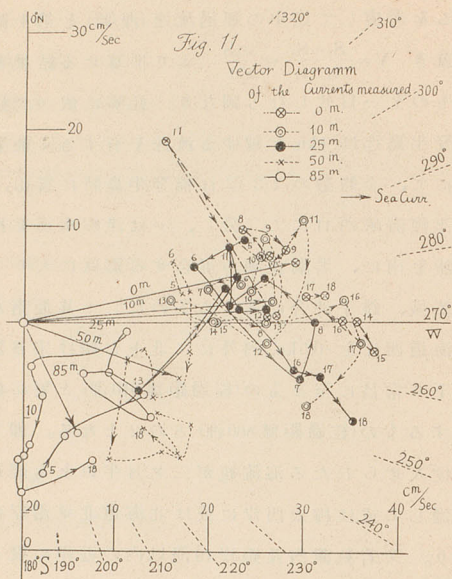
sa Bay

amuru	
amuru	
amuru	
州郡	17
島郡	18
海岸	10
北郡	5
北郡	19
	20
	26
	7

(湊/日)と大  
 740, 31.1%)  
 得瓶あると  
 推知せしむ  
 要せるもの

ては南々西流なり。本調査は天候、時間の都合上僅かに1回14時間の観測に止りしは遺憾なりき。

水温鹽分の分布より見るも高鹹なる若狭灣底層水は南偏して灣内へ緩やかに流入しをるものと見るべく、灣内沿岸上層流の拂出し潮多しとなす經驗的事實と符合するものなり。



第五表 (Table V) 潮流計に依る驗流  
Curr. Obs. by Ekman-Merz Currentmeter (Nr. 52)  
1930 July. 16th 5.00~18.30 on Board Sōyōmaru

at (135° 23' 37" E, 35° 38' 53" N) 冠島東、成生崎北にて。(H.W. 6.55 L.W. 11.30) Utiura Bay							
時間 Time.	水深 Depth.	流速 Vel.	流向 Direc.	時間 Time.	水深 Depth.	流速 Vel.	流向 Direc.
5.08	25	25	290	9.00	0	28.4	285
16	50	17	280	00	10	27	289
28	85	16	188	09	25	26	280
				18	50	16	240
				28	85	17	234
6.03	10	23	280	10.00	0	25.9	285
11	25	16	288	02	10	24.5	277
20	50	17	292	10	25	22	275
30	85	13	205	28	50	13	259
				38	85	10.5	240
7.30	0	27	285	11.00	0	24.0	322
01	10	20	280	02	10	31.5	290
36	25	30	259	12	25	23	290
18	50	18	280	21	50	12	250
27	85	15	240	43	85	11	265
8.00	0	24.7	292	12.00	0	26	270
00	10	26	270	03	10	26	265
08	25	31	270	12	25	23	283
18	50	18	260	20	50	17	213
28	85	8.5	230	30	85	5	190

時間 Time.	水深 Depth.
13.00	0
00	0
08	10
17	25
28	85
14.00	0
00	0
07	10
17	25
26	85
15.00	0
00	0
07	10
16	25
25	85

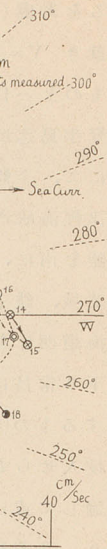
註  
Note: S

以上各章  
を綜合すれ  
る如く各の  
狭灣の流動  
經ヶ崎より  
重の沖合海  
若狭灣大環  
らずして灣  
記潮境面に  
界線上又一

時間 Time.	水深 Depth.	流速 Vel.	流向 Direc.	時間 Time.	水深 Depth.	流速 Vel.	流向 Direc.
	m	(cm/sec)	°		m	(cm/sec)	°
13.00	0	26.5	270	16.00	0	34	270
00	10	16	278	00	10	34	274
08	25	14.5	238	08	25	29	260
17	50	20	228	19	50	17	236
28	85	8	195	29	85	14	180
14.00	0	35.5	270	17.00	0	30	275
00	10	20	270	00	10	36	267
07	25	22	280	08	25	32	260
17	50	22	230	16	50	22	230
26	85	13	183	26	85	18	180
15.00	0	36.8	265	18.00	0	32	275
00	10	27	270	00	10	31	254
07	25	23	274	07	25	36.5	254
16	50	21	240	16	50	17	230
25	85	14.5	178	25	85	16	208
測流時間は五分間      Observation taken in 5 min.							
水深 Depth.	平均流速 Averaged vel.	平均流向 Averaged	最強時 h	最強時流速 (cm/sec)	最強時流向 °		
m	(cm/sec)	°					
0	29.2	282	15	36.8	265		
10	26.3	274	17	36.0	267		
25	25.8	273	18	36.5	254		
50	17.6	251	17.30	22.0	230		
85	12.8	207	17.30	18.0	180		
註 表面流は小潮流板(半米沈下)に依り測定せり、海流瓶に依る測定と大差なし。 Note: Surface Curr. was measured by a small current-drag.							

### 第五章 海流の総合的結論

以上各章に亘りて實測及推算に依りて得られたる若狭灣及同沿海の海流を綜合すれば圖版 I 第十二圖に示すが如し。第二章 1 (III) 及 2 (II) に説ける如く各の海流は周年を通じて著變なきものの如し。茲に注意すべきは若狭灣の流動は全く二次元的のみに起るにあらずして第四章 1 に説ける如く經ヶ崎より越前岬にかけての流線の著しき收斂と潮境の存在とは茲に高比重の沖合海水の潛入せる傾斜面に沿ひての降下運動を暗示するものなり。若狭灣大環流は單に對馬海流に誘發さるる二次元的に閉されたる渦流にあらずして灣口東部より灣内へ沖合の水の流入少からざるものあるべく、前記潮境面に於ての降下は  $\text{Div}(\text{流量})=0(\text{Quellenfrei})$  の必然的結果にして、該境界線上又一方灣内の水は沖合の水との不斷の混合をなして排出も行はれを



流向 Direc.
285
289
280
240
234
285
277
275
259
240
322
290
290
250
265
270
265
283
213
190

るものと解せざるべからず。

A. Defant に依れば<sup>(11)</sup> Anticyclonic に上層の輕き水團が速き速度にて廻轉する時は上層水團は中心に向つて隆まり、重き下層水團は中心に向つて凹むと説けるが、切斷面に現れたる現場密度線を見るに、若狭灣渦流に於ては200m以深にて稍其の傾向あり。

本調査の結果は既に終漁期に向へる鯖、初漁期に入れる柔魚及漁獲金額最も多き冬鰯等洄游の考察、鯛、金頭、鰈、蟹、鯉等の底魚族の漁況の考察に就きて重要な参考資料となし得べきも、將來は四季特に冬季の調査及底流の調査の完全を望む次第なり。

終りに臨み觀測調査に従はれし著者以外の調査員、小西芳太郎、柳田四郎、武市和文、谷島馬太郎、和田喜藏の諸氏並びに蒼鷹丸(船長今村喜市氏)昭和丸、但馬丸、二州丸乗組各位及び本論文の作圖其他に著者を助けられし渡邊信雄、丸山武雄、本田幸市三氏に深く感謝の意を表す。

## 摘 要

- (1) 新測點に依りて水路部海圖を補ひ、深度圖を作製せり。
- (2) 水温、鹽分、水色、透明度、酸素溶解量及其飽和率の分布を調査して水系を分てり。即ち水平的には高鹹(冬高温)、水色透明度高佳にして  $O_2$  100  $\frac{O_2}{O_2}$  大且總浮量に貧しき(動物性浮の割合多き)沖合對馬暖流水團と低鹹(夏高温冬低冷)、水色透明度低濁にして  $O_2$  100  $\frac{O_2}{O_2}$  小且總浮量に富める(植物性浮著しく多き)沿岸二淡水系に分たる。
- (3) 沿岸二淡水系とは經ヶ崎方面に對馬暖流に向つて張り出したる小濱丹後灣系西部淡水系と三國、敦賀灣系東部淡水系なり。沖合對馬暖流系水團は此の中間に入り込み來りて常神崎及立石崎に向へり。
- (4) 水温、鹽分、水色透明度の分布を平年四季に就き調査し以上三水系の周年を通じ其形式を保ち且對馬暖流系水團の冬春時に近接し夏秋時に沖に遠ざかるを知るを得たり。
- (5) 水温、鹽分より水層の層重狀態を調査し50m以淺の表層、50m~150mの高鹹なる中層、200m以深の低冷低鹹なる下層の三層に分たるを知り且温鹹曲線を利用して灣内外の層重の差異を明にせり。即ち50m以深はA-水系

(表面淡水に  
約19°, 34.62  
冷水 0°~3°)

(6) 水温  
海流瓶の放  
作製せり。

誘發さる  
尙沖合海  
を經ヶ崎よ

(7) 7月  
0.5~0.8kn. l

(8) 深層  
るものの如

(9) 740本  
の性質を明

最も速か  
經過距離、

(1) 海洋調

(2) 福井水

(3) 福井水

(4) 海洋時

(5) 海洋調

(6) 海と空

(7) 海洋時

(7) A. Schum

(8) Th. Hess

Meer. Be

(9) 海洋調

(10) 水産試

(11) A. Defant

(表面淡水にて約26°, 32.4%)とB-水系(50~100mを占むる對馬暖流系海水にて約19°, 34.6%)との混合水にて、100m~200mはB-水系とC-水系(200m以深の下層冷水0°~3°, 34.05%内外)との混合水を示す。

(6) 水温、鹽分を基として力學的に流向、流速を算出せる結果と潮流板海流瓶の放流成績及び潮流計に依る驗流成績に就き詳論し綜合的海流圖を作製せり。即ち若狭灣流は主として沖合を1~2kn.にて強流する對馬海流に誘發さるる地形性時計廻り大渦流にして之に數個の副生小環流を伴ふ。

尙沖合海水の入り込みは灣内の水を押し出して茲に顯著なる收斂線(潮境)を經ケ崎より越前岬に向ひて形成せり。

(7) 7月中旬は對馬海流著しく旺盛なりし爲灣口流速 1~2kn. 灣内流速 0.5~0.8kn. にて灣内一周の週期4,5日、主渦の強さは3.057 1/時なりき。

(8) 深層流は大體等深線に沿ひ左旋著しく南偏して緩漫に灣内に流入するものの如し。推算に依れば200m以深は0~0.3kn.の緩流をなすものの如し。

(9) 740本中31.1%の拾得報告を得たる海流瓶成績により夏季の對馬海流の性質を明かにせり。

最も速かに発見されしもの及び最も顯著なるものにつき瓶の經過日數、經過距離、經路平均流速及び途中各旬流速を示せり。

### 参 考 文 献

- (1) 海洋調査要報第四十七報。
- (2) 福井水試、昭3.事業報告、p. 59
- (3) 福井水試事業報告(大正9年~昭和3年)
- (4) 海洋時報 Vol. 2. No. 1, No. 2, p. 29, 43, 163.
- (5) 海洋調査彙報 Vol. 2. No. 1. 若狭灣の海況に就て(神谷、川名)(1928)
- (6) 海と空 Vol. 10. No. 8. Part 1. 宇田: 日本近海の水色透明度(1930)
- (7) 海洋時報 Vol. II. No. 2. p. 179
- (8) A. Schumacher: Graphische Ermittlung von  $\sigma_t$  aus  $t^\circ\text{C}$  u.  $S\%$ . Ann. d. Hydr. meteor. 1922. p. 305.
- (9) Th. Hesselberg u. H. U. Sverdrup: Beitrag zur Berechnung der Druck- und Massenverteilung im Meer. Bergens Museums. Aarbook 1914~15. Nr. 14.
- (10) 海洋調査要報第四十六報雜報欄。
- (11) 水産試験場海洋圖(1930. July) No. 131.
- (12) A. Defant: Dynamische Ozeanographie p. 110 (1929)

(14) **HYDROGRAPHICAL INVESTIGATIONS**  
**OF THE WAKASA BAY AND ITS ADJACENT SEAS** (*Abstract*)

By

**M. Uda.**

(With Plate I)

From 11th to 17th July, 1930, the Research Ship of the Imperial Fisheries Experimental Station Sōyōmaru in cooperation with Syōwamaru (Kyōto Fish. Inst), Tazimamaru (Hyōgo Fish. St.) and Nisyūmaru (Hukui Fish. St.) was engaged in the investigation of the adjacent seas of the Wakasa Bay.

The results are summarized as follows ;

(1) A bathymetric chart was drawn by inserting the new sounding data in the chart published by the Hydrographic Department of our Imperial Navy. (See Fig. 2 on page 18).

(2) First we classified a number of distinct water masses from the investigation of the distribution of water temperature, salinity, water colour, transparency, dissolved oxygen  $O_2$  and its degree of saturation  $100 \frac{O_2}{O_2^s}$ . Generally speaking, we may distinguish the following water masses which we consider as associated with Tusima Current having higher salinity, comparatively warm in winter, always transparent and poor in  $O_2$  and  $100 \frac{O_2}{O_2^s}$ , and also poor in the total quantity of planktons, and the coastal water masses having lower salinity, comparatively warm in summer and cold in winter, turbid and rich in planktons, poor in  $O_2$  and  $100 \frac{O_2}{O_2^s}$ . (See Fig. 3, 6, 7, on page 18, 19, 23, 24,).

(3) The coastal water-masses can be subdivided into two water-masses, one of which is the western fresh-water-mass occupying mainly the district of Ohama Bay and Tango Bay, and the other is the eastern fresh-water-masses extending from Mikuni to Turuga Bay. Between the two, the water masses belonging to Tusima Current intervenes and flows towards C. Tunegami and Tateisi.

(4) Studying the distribution of surface water temperature and salinity, water colour and transparency in each season for the normal year, we recognize that the main features of the above water-masses are kept during the whole year and also that the Tusima Current approaches the coast in winter and spring, getting away in summer and autumn. (See Fig. 5 on page 22).

(5) The vertical distributions of water temp. and salinity represent the stratification of three layers i. e. the upper layers above 50m. depth, the salty intermediate layer lying at about 50-100m. depth, and the cold, homohaline lower layer

below the

The t  
outside of  
water betw  
ca. 19°, 34.  
the 200m.

(6) C  
drags (See  
page 35) a  
with the re  
referring to  
Sverdrup,  
the Wakasa

The g  
vortical cur  
which flows  
currents in  
convergent  
water and

(7) O  
the velocit  
in the Bay  
Bay is abo  
3.057 1/hou

(8) T  
generally w  
zima in a s  
Below

of 0~0.3kn  
(9) T

from the jo  
Bay. (See

The ve  
along the d

below the 200m. depth.

The thermohaline curve shows the mixing of water-masses in the inside and outside of the Wakasa Bay. In Fig. 4 the straight line AB denotes the mixed water between A water (surface: ca.  $26^{\circ}$ , 32.4‰) and B water (50-100m. depth: ca.  $19^{\circ}$ , 34.6‰) and BC the mixed water between B water and C water (below the 200m. depth;  $0^{\circ}\sim 3^{\circ}$ , ca. 34.05‰).

(6) Combining the results of current measurements by means of the current-drags (See PL. I. Fig. 9 on page 35) and the drift-bottles (See PL. I. Fig. 10 on page 35) and also of the Ekman-Merz currentmeter (See Fig. 11 on page 30) with the results of the dynamical calculation of the currents by Bjerknes's theory referring to the graph of A. Schumacher, and to the table of Hesselberg and Sverdrup, we obtain the synthetic currents-chart in the inside and outside of the Wakasa Bay. (See PL. I. Fig. 12 on page 35).

The general circulation in the Wakasa Bay consists of a large primary vortical current rotating in an anticyclonic manner induced by the Tusima Current, which flows strongly off the Bay, and of the several secondary or satellite vortical currents in the coastal water area. It should be observed that very conspicuous convergent stream lines, forming a discontinuous boundary between the coastal water and the oceanic water, run from Kyôgasaki towards Etizenzaki.

(7) Owing to the remarkable power of the Tusima Current at that time, the velocities measured are 1~2kn. at the entrance of the Bay and 0.5~0.8kn. in the Bay. It may be inferred that the time taken to complete one cycle of the Bay is about 4~5 days, and that the main vorticity is calculated to be about 3.057 1/hour.

(8) The under water seems to flow almost along the isobathymetric lines, generally with a low velocity, somewhat in a cyclonic manner and near Kamurizima in a southerly direction.

Below the 200m. depth the water is supposed to move slowly with a velocity of 0~0.3kn.

(9) The general features of the Tusima Current in summer were obtained from the journey of the 740 drift-bottles put out in the inside and outside of Bay. (See PL. I. Fig. 10a, b. Table IV on page 28).

The velocities are inferred from the bottles recovered earliest at each distance along the drifting route.

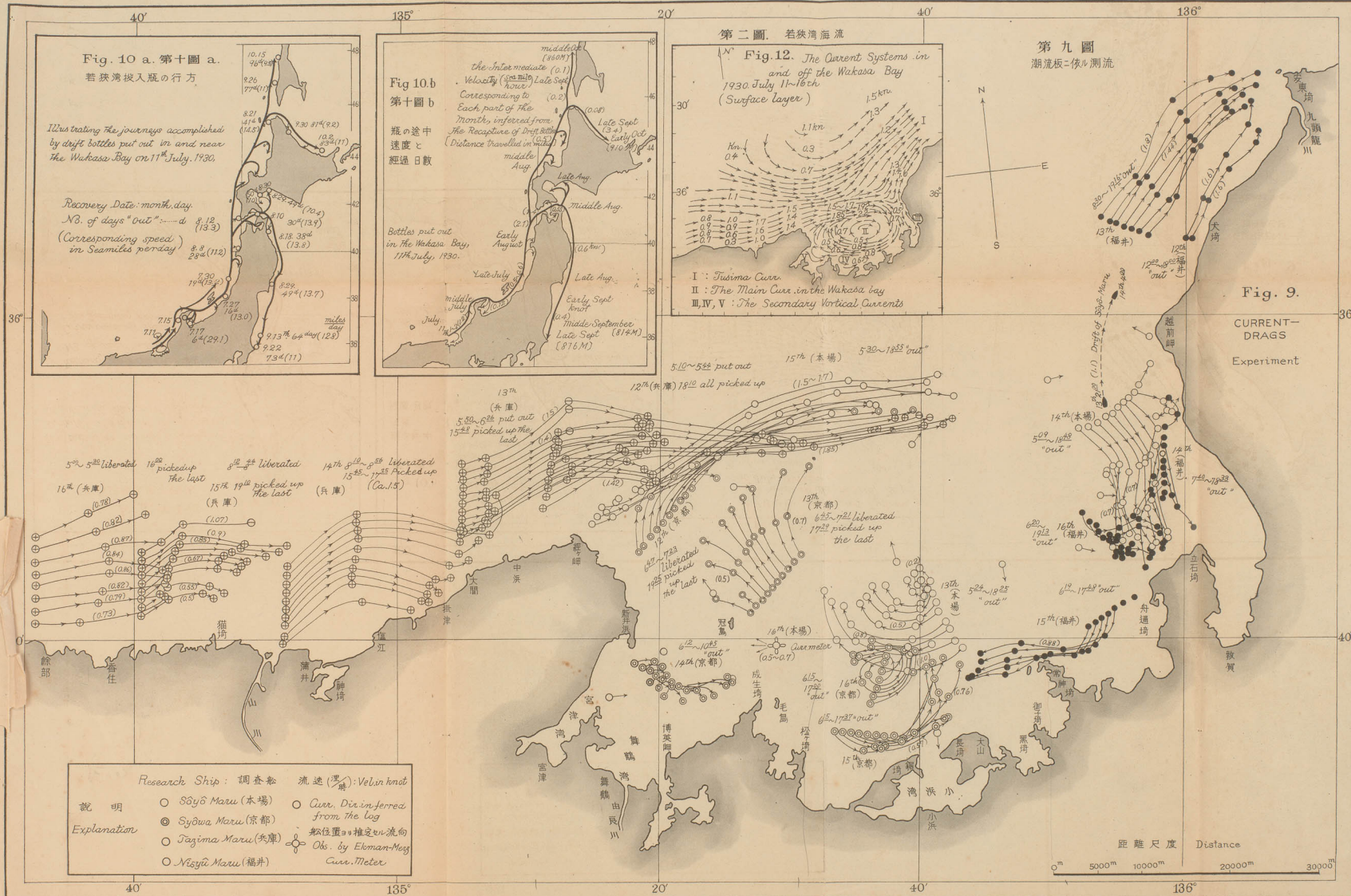


Fig. 10 a. 第十圖 a.  
若狹湾投入瓶の行方

Illustrating the journeys accomplished by drift bottles put out in and near the Wakasa Bay on 11<sup>th</sup> July, 1930.

Recovery Date: month, day  
No. of days "out" --- d (13.3)  
(Corresponding speed in Seamiles per day) 2.9 (11.2)

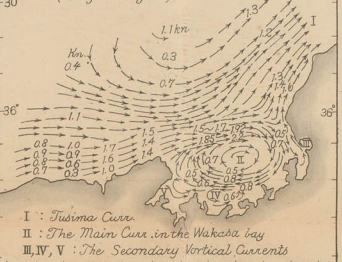
Fig 10 b  
第十圖 b

瓶の途中  
速度と  
経過日数

Bottles put out  
in the Wakasa Bay,  
11<sup>th</sup> July, 1930.

第二圖 若狹湾海流

Fig. 12. The Current Systems in and off the Wakasa Bay 1930 July 11-16<sup>th</sup> (Surface layer)



I : Tusima Curr.  
II : The Main Curr. in the Wakasa bay  
III, IV, V : The Secondary Vortical Currents

第九圖  
潮流板=依り測流

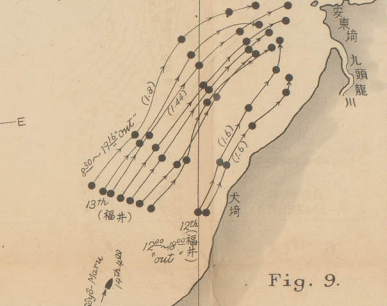


Fig. 9.

CURRENT-DRAGS  
Experiment

Research Ship: 調査船 流速(運時): Velocity  
説明 ○ Sōyō Maru (本場) ○ Curr. Dir. inferred from the log  
Explanation ○ Sōyō Maru (京都) ○ 船位置○推定之流向  
○ Tajima Maru (兵庫) ○ Obs. by Ekman-Mozey Curr. Meter  
○ Nisayō Maru (福井)

距離尺度 Distance  
0m 5000m 10000m 20000m 30000m