

栗田湾の流動特性

加藤安雄・坂野安正・久米正直・藪本 隆

Characteristics of Water Currents in Kunda Bay

Yasuo KATO*・Yasumasa SAKANŌ*・Masanao KUME*
and Takashi YABUMOTO*

栗田湾は、宮津湾や舞鶴湾に比べ比較的開放型の湾である。したがって、湾内の海況は、外海水の影響を受け易い。しかし、湾東部には日本海有数の由良川を有し、湾の表層は、多量の河川水の直接の影響下にある。

図1のとおり、水深は湾北部が深く海底は泥質で、南部はより浅く砂質であり、湾の平均水深は17mである。湾口部には、大型定置網が2ヶ統、湾北部一帯に小型定置網が数ヶ統敷設され、主としてイワシ・イカ類を漁獲している。

湾南部には数ヶ統の曳網があり、また、湾奥部には京都府最大の養殖場があるなど、湾の漁場価値は高い。

筆者らは、湾内の流動特性を明らかにし、こんご当湾の漁業振興上の基礎資料を得るため、昭和55年5月と7月に計3回、一連の調査を実施した。即ち多数個のレーダーブイを用い、各層(1・5・10m)の流動調査を、また同時に水温・塩分の分布調査及び定点における水温・塩分・流速の連続調査を行った。調査は冬期を残しているが、若干の知見を得たので、その概要を報告する。

なお、取りまとめに当っては、レーダーブイによる流動調査及び水温・塩分の分布調査は主として加藤・藪本が、定点における連続調査は主として坂野がとりまとめた。

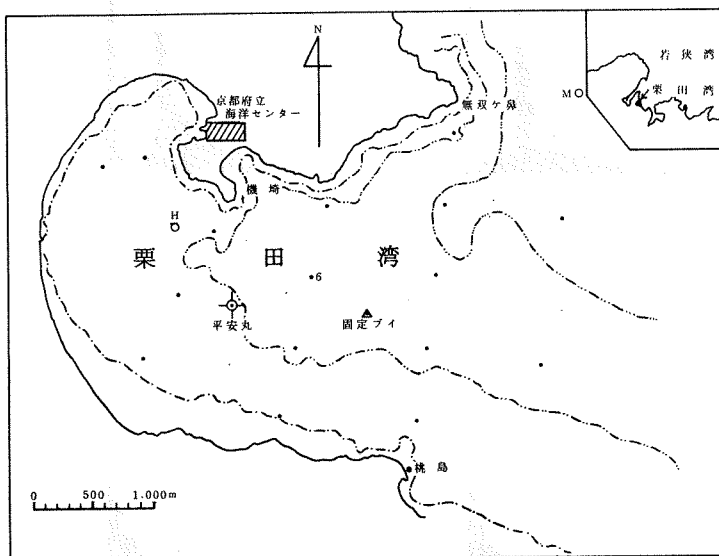


図1 観測定点及び平安丸の固定位置

* Kyoto Institute of Oceanic and Fishery Science,
Miyazu, Kyoto, Japan

調 査 方 法

使用したレーダーブイは、レンズレフ型のもので上部に直径20cmの反射体を有し、水中の抵抗体は幅1m、長さ2mのキャンバスを用いた。反射体の上端は水面から1.5mに、また水中の抵抗体の中心は所定の観測層(1.5・10m)にあわせた。これらのレーダーブイは、図1の点付近に2隻の船(みさき丸・くろさき)で全速投入した。その使用個数は表1のと

表1 レーダーブイの使用個数

月 日	使 用 個 数			計
	1m層	5m層	10m層	
5.16		12	7	19
7.3	3	12	7	22
7.4	3	12	7	22
計	6	36	21	63

おりである。

投入されたレーダーブイは、湾中央部に投錨した平安丸(228トン)の12インチのレーダーで最高5時間追跡し、その間30分毎にレーダーブイの位置をそれぞれ紙面にプロットした。

なお、レーダーブイの位置の精度を高め、作業性を考慮し、図1のとおり平安丸の投錨位置から東方約1kmの点に固定ブイを設置した。

平安丸の流動調査中は、みさき丸(15トン)及びくろさき(4トン)により、図1の定点でSTメーターを用い水温・塩分の分布観測を行った。観測層は9層(0.1・2.3・5.7.5・10.15.20m)である。また無双鼻沖のM点(35°33'.4N, 135°17'.3E)及び機埕沖のH点(35°32'.5N, 135°15'.3E)にMTCM-5A流速計を5m層に設置し、昭和55年7月2日~19日までの18日間の連続観測を行った。

結 果 及 び 考 察

1m層のレーダーブイの流跡と速度
7月に実施した2回の流跡は、図2, 3のとおりである。この結果からみると、湾内の流向はその長軸に沿う往復運動が推定され、湾口付近では次第に南東に向う流れが認められる。またレーダーブイによる平均流速は、0.27~0.3ノットと算出された。

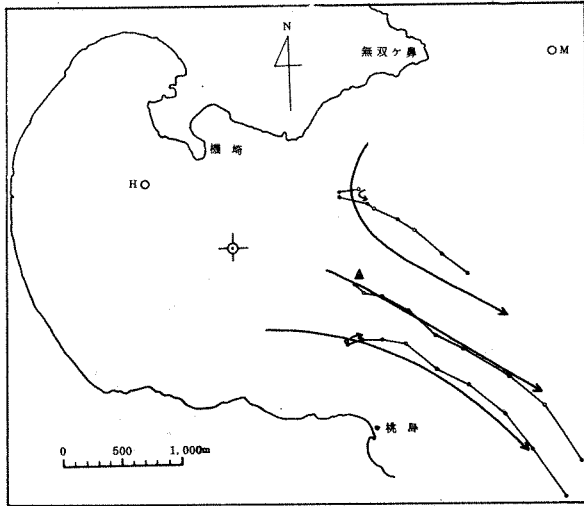


図2 1m層のレーダーブイの流跡(55.7.3)

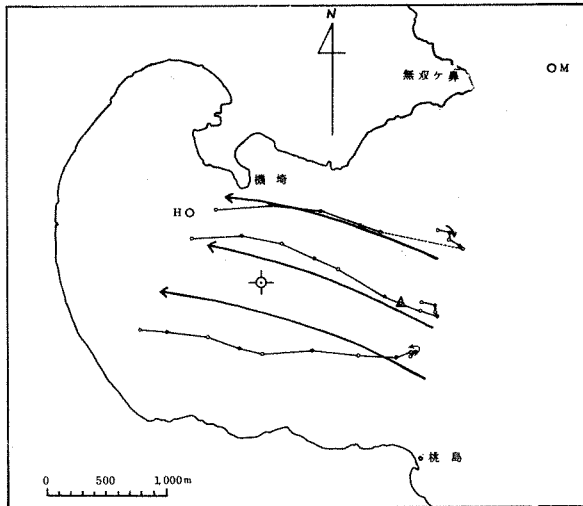


図3 1m層のレーダーブイの流跡(55.7.4)

5 m層のレーダーブイの流跡と速度
 5月の湾内の流跡は、図4のとおり反時計まわりの環流があることを示している。しかし、7月の結果をみると、図5、6のとおり流跡は、5月と異り複雑である。しかしこれを大局的にみると、7月3日レーダーブイは湾外へ、7月4日は湾内へ移動している。これらのレーダーブイによる平均流速は、0.07~0.1ノットで、前述した1 m層より遅い。

10 m層のレーダーブイの流跡と速度
 10 m層のレーダーブイの投入個数は、表1のとおり5 m層の場合に比べ少ない。5月の流跡は、図7のとおり5 m層と同様反時計回りの環流が認められる。7月の場合は、図8、9のとおり5 m層の流跡と基本的には変わらない。しかしレーダーブイにより平均流速は、0.11~0.14ノットと5 m層よりやや速い結果となっている。

水温・塩分の分布観測 平安丸が湾中央部でレーダー観測中、みさき丸とくろさきは、定点における分布観測を、5月は1回、7月にはそれぞれ3回ずつ計7回行った。この結果を概括すると、湾内は由良川水の影響が強く現われ、塩分値は、時空間的に変化が大きく、低塩分水の出現が湾中央部までしばしば認められた。その複雑な海況変化を湾中央部のst. 6を代表定点とし、5月及び7月(第1回目)の観測値を用い、図10のとおりT-S曲線で表わし検討した。このことについては後述する。

2 定点における流向流速の出現頻度
 無双鼻沖と機埼沖の5 m層に、浮子と

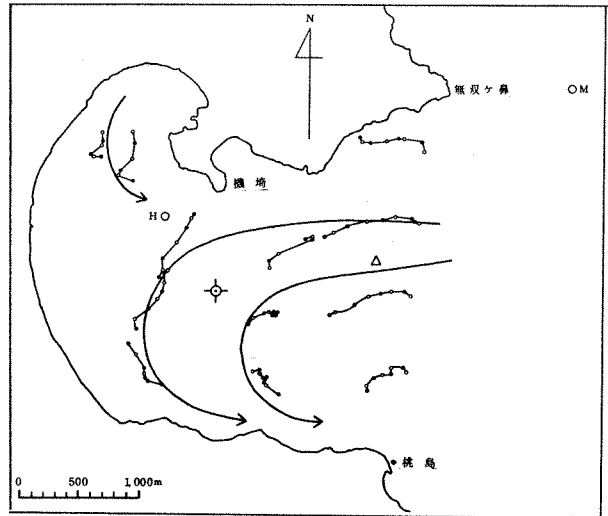


図4 5 m層におけるレーダーブイの流跡(55.5.16)

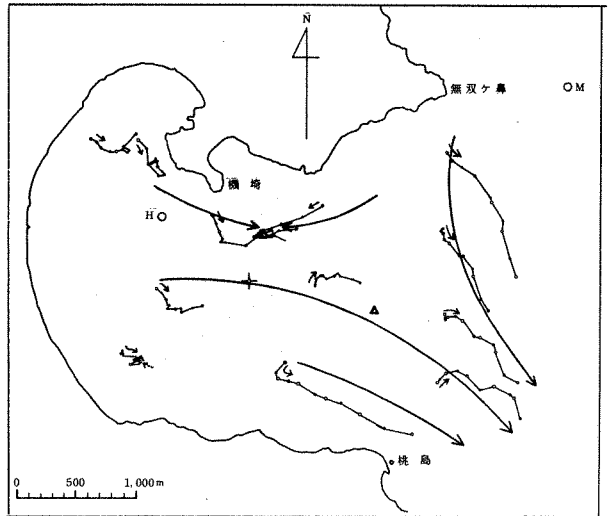


図5 5 m層におけるレーダーブイの流跡(55.7.3)

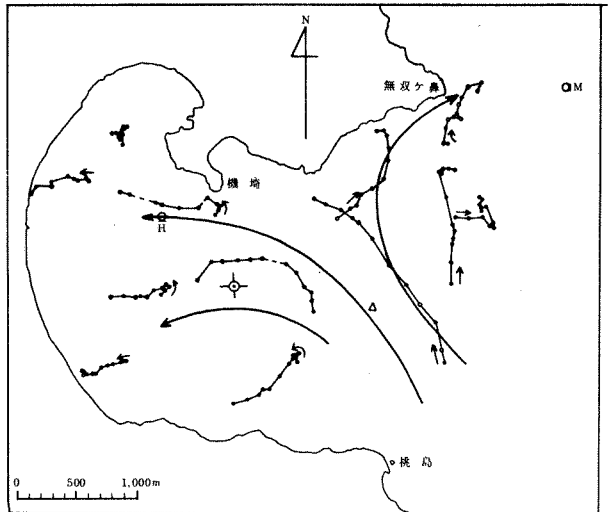


図6 5 m層におけるレーダーブイの流跡(55.7.4)

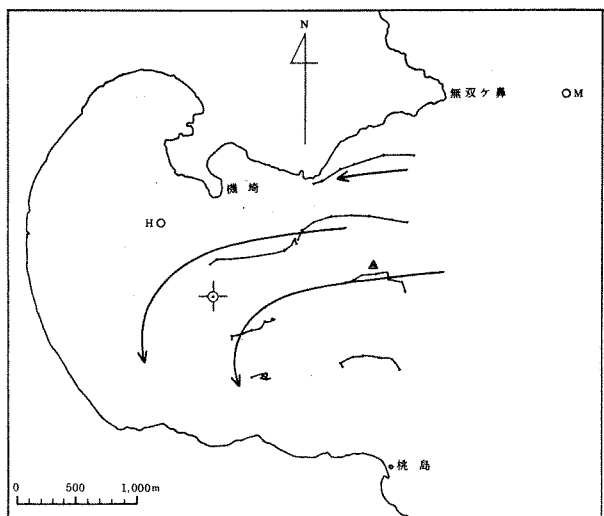


図7 10m層におけるレーダーブイの流跡 (55.5.16)

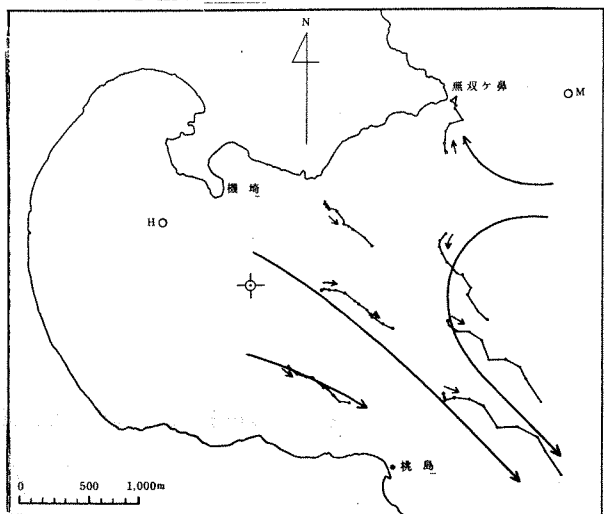


図8 10m層におけるレーダーブイの流跡 (55.7.3)

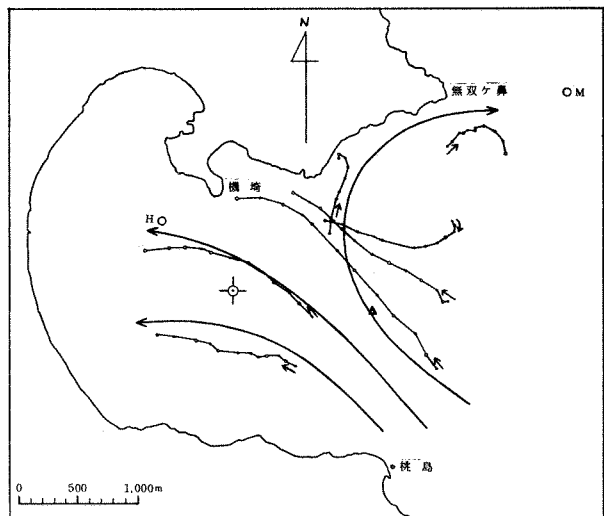


図9 10m層におけるレーダーブイの流跡 (55.7.4)

錨で固定したMTCM-5A流速計で、7月上旬から18日間連続観測を行った。その結果は、図11のとおりである。ここで流向別出現頻度の計算は、流速 1cm/sec 以下のものは除いてある。これによると機埧沖では南東及び西南西～北西への流れが多いが、西南西～北西への流れがより多かった。流速は 0.1 ノット以下が 97% を占め、そのうち 42% が無流という結果であった。しかし、わずかながら 0.4 ノット程度の速い流速も記録されている。

流向・流速についてもう少し詳細にみるため、流向別の流速を表2に示す。この表で平均流速は、流速別出現頻度分布から計算したもので、 1cm/sec 以下の測定値が入っていないため、全体の平均流速より速くなっている。

流向別に流速を比較すると、流向別出現頻度の高い南東及び西南西～北西への流れが比較的速く、中でも西及び西北西への流れが特に速かった。このため、測定期間全部を集計した場合、この機埧沖の流れは東から西へ、即ち湾口から湾奥へ向う流れになる。

無双鼻沖の流向は南流及び北流が多いが、南流がより多かった。流速は 0.1 ノット以上が全体の 55% を占めて、機埧沖より速い流れとなっていた。無双鼻沖は測器の故障により全データが取れず、目標の 4 割程度しか取れなかったので流向及び流速の出現頻度にふれるのみにしておく。

機埧沖における水温・塩分の変化

測定期間中の水温・塩分及び東分速の変化と、舞鶴の雨量を図12に示した。水温は測定開始時 21.5°C 、測定終了

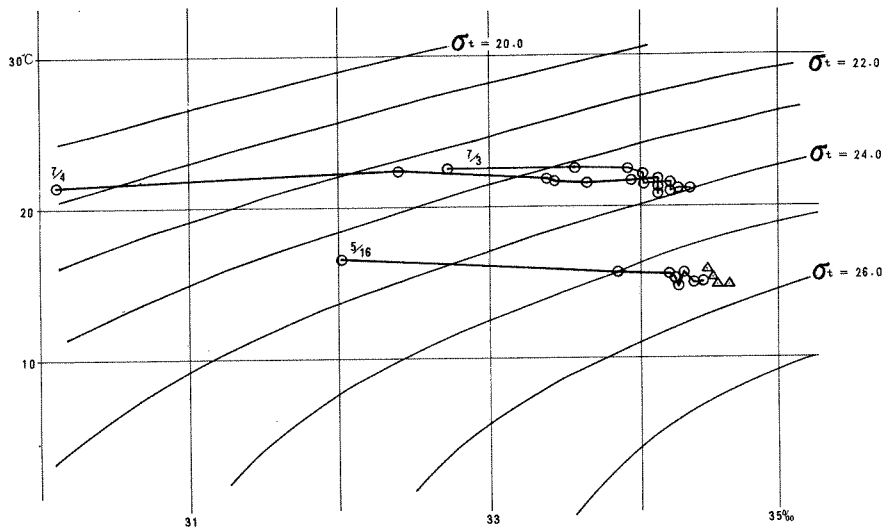


図10 St 6 のT-S曲線

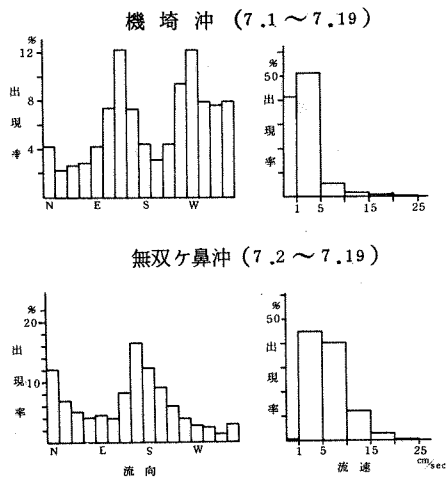


図11 機埼沖及び無双ヶ鼻沖の流向流速頻度分布

表2 流向別・流速階級別出現頻度及び流向別平均流速

流向	流速階級 (cm/sec)					計	平均流速 (cm/sec)
	1~5	5~10	10~15	15~20	20~25		
N	119					119	3.0
NNE	63	1				64	3.1
NE	73					73	3.0
ENE	81					81	3.0
E	120	1				121	3.0
ESE	197	15				212	3.3
SE	309	33	6	1		349	3.6
SSE	187	19	4			210	3.6
S	123	2				125	3.1
SSW	86	3				89	3.2
SW	122	4				126	3.1
WSW	251	16				267	3.3
W	260	39	24	24	1	348	5.2
WNW	142	57	22	3		224	5.3
NW	171	34	11			216	4.2
NNW	190	31	5			226	3.8
計	2497	255	72	28	1	2850	
SLACK						2029	
合計						4879	2.2

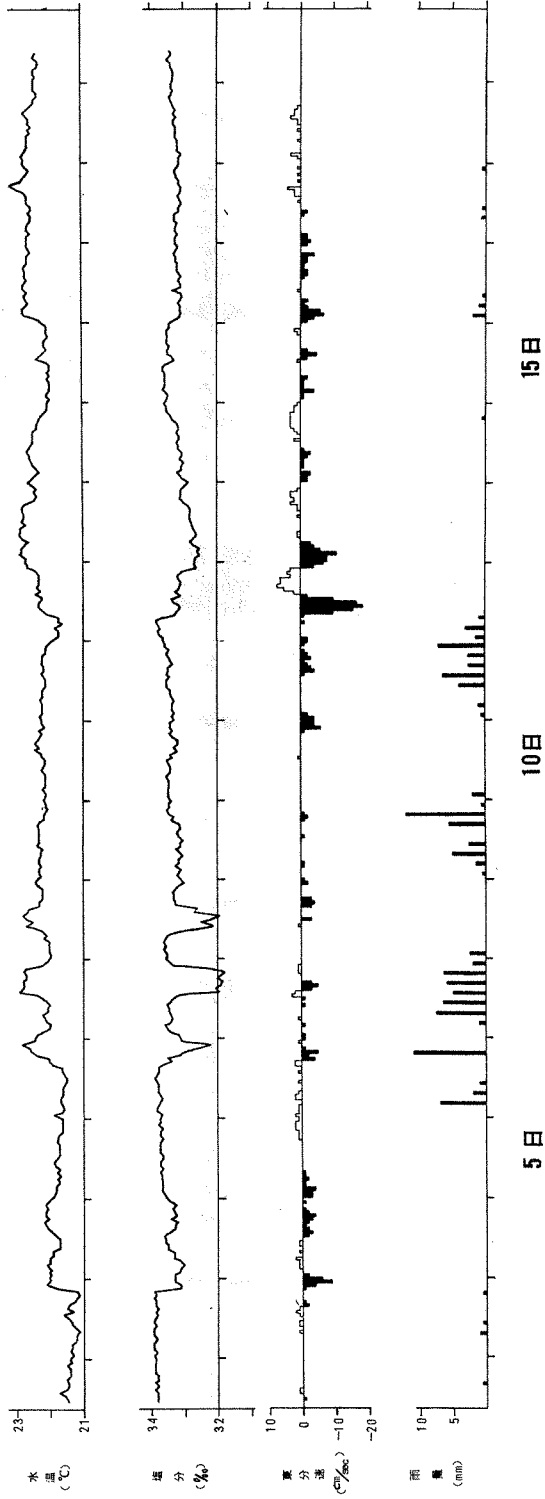


図12 水温・塩分・東分速及び雨量の変化

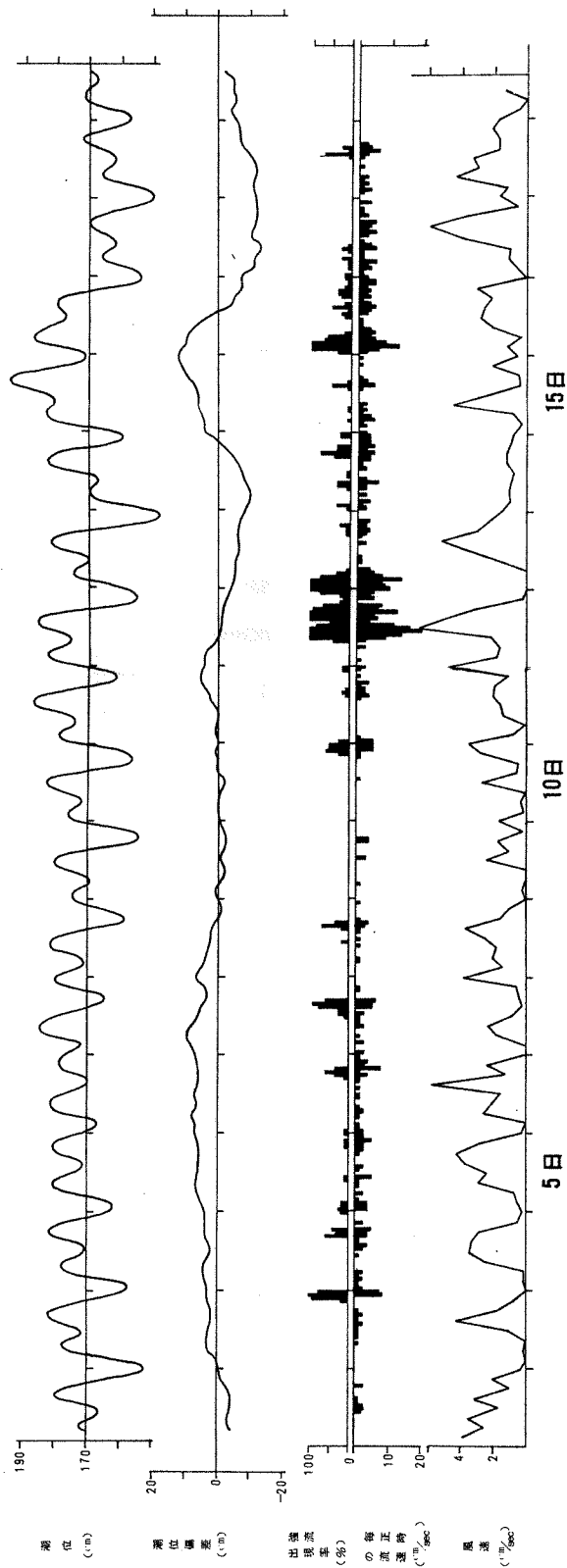


図 13 舞鶴湾の潮位・潮位偏差、流速及び舞鶴における風速の変化

時22.5℃と、全体のレベルとしては1℃昇温している。しかし経時的に水温の変化をみると、7月3日の昇温、7月6日に始まる3つの山の昇温、7月12日の一時降温した後の昇温及び7月16日の昇温などの大きな変化がみられる。又塩分は水温と逆相関の形で対応し変化している。

これらの変化を流速の変化と対応させてみると、水温の上昇、塩分の低下に対応する形で東分速が負の値、即ち、湾内へ向う流れがみられる。このことは栗田湾内の水温・塩分が流れにより大きく左右され、湾外水と強い関連にあることを示すものと思われる。

この極端な低塩分水の出現が由良川水量と関連深いと考え、由良川水量の変化を舞鶴の雨量で代表させ、その対応をみる。舞鶴の雨量と湾内の低塩分化は図に示した通り、水温と塩分ほど明瞭な対応関係にはないが、7月6～8日の最低塩分水の出現と、舞鶴の7月6～7日の雨量の様に良く対応している場合もある。

機埼沖における流況の変化 流況の変化については、全体の流れが測器の限界(0.02m/sec以上)近くの弱い流れであるため、周期性・海潮流の区分等が詳細にできないが、流れが強い弱いなどの観点から検討した。

毎正時の前後3個のデータの平均流速、5cm/sec以上の流れの1時間ごとの出現率及び舞鶴海洋气象台で測定した潮位と風を図13に示した。

全期間を通じて一番流れの速いデータが出現しているのは、7月12日～13日であり、この期間に最強流速が出現している。以下16日午前中、3日から4日にかけての夜中、7日の午後等であった。

このように流れが速くなる時間は毎日の潮差とあまり対応がみられなかった。ただ、大潮時である7月12日～13日に最強流が出現したことは、湾の流動特性を把握するうえで興味深い。

また、潮位偏差と流況との関係をみると、比較的良い対応がみられる。たとえば7月3日～8日、15日～16日に十の偏差があり強い流れが比較的多く見られ、7月8日～10日には偏差がほとんどなく、流れも弱い。また、舞鶴海洋气象台の風速記録と流れとの対応はあまり良く出ていない。これは流れが風の影響だけによるものはないこと、舞鶴で測定した風が地形の影響などにより、栗田湾での風と異っている可能性があるなどのためではないかと思われる。沿岸の流れが潮位偏差と関連が深く、また湾内の流れは周辺の風向風速の影響を直接強く受けることは容易に想像され、こんご十分検討の余地がある。

次に栗田湾内の流れと湾外の流れとは当然密接に関連していると思われ、栗田湾口の無双鼻沖からその北西海域に設置されている大型定置網4ヶ統の揚網状況を見てみると、測流期間中では、4日と12日を中心とした10～15日に揚網できなかった網が多く、栗田湾内の強流、特に12日～13日の強流に対応しており、栗田湾内の流れが栗田湾外の流れの影響を強く受けていることが推測された。

機埼沖測流結果の調和分解及び進行ベクトル図 流れが全般に弱く、調和分析計算を実施できるほどの流れが測定されなかったが、7月12日～13日にかけては流れが比較的速いので、一応調和解析してみると、

$$V_E \text{ cm/sec} = -4.24 - 4.93 \cos(i - 185.9) + 8.02 \cos(2i - 319.7)$$

$$V_N \text{ cm/sec} = -0.68 - 3.39 \cos(i - 330.1) + 2.55 \cos(2i - 110.3)$$

となった。7月12日が新月で大潮時に当ることから、仮に潮汐流の影響を強く受けての流れの変化であるとする、潮流楕円は図14に示すようになり、一日周潮の長軸は北西—南東で

反時計回りに回転していた。また半日周潮の長軸は西北西—東南東で反時計回りに回転しており、一日周潮より長軸は長くなっていた。恒流は 261° へ 4.3 cm/sec であった。

湾内のごく沿岸部の測流結果で描くことは適切でないかとも思われるが、この期間の進行ベクトル図を図15に示す。このことについては、湾内外の流動スケールも考慮したうえで後日検討したい。

まとめ 多数個のレーダーブイを追跡した結果、湾内の平均流速は、1 m層で0.3ノット、5 m層で0.1ノット、10 m層で0.14ノットと算出された。この流速値は1973年7月上旬、京都府水産試験場が由良川沖でドリフター追跡で得た値（表層0.2~0.3ノット、10 m層0.1ノット）と大差はなかった。

一方、MTCM-5Aで測定した結果では湾奥の機埼沖では0.1ノット以下（0.04ノット程度）と非常に弱い流れであった。また無双鼻沖では0.1ノット強の流れと推察され、レーダーブイ追跡結果と同様の値と思われる。

5月のレーダーブイの流跡結果をみると赤松¹⁾の想定したように、湾内に左旋流が認められた（図16）。

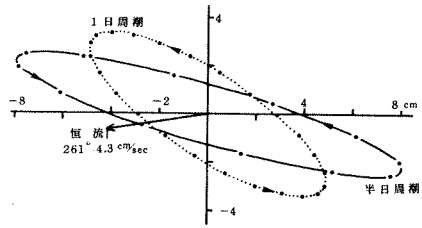


図14 潮流楕円と平均流 (55.7.12.06~7.13.06)

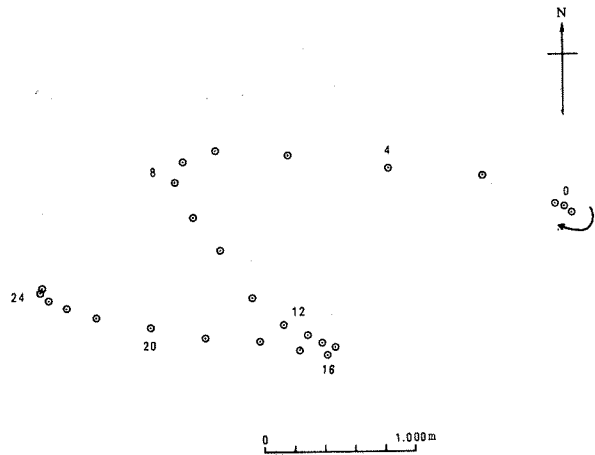


図15 進行ベクトル図 (55.7.12.06~7.13.06)

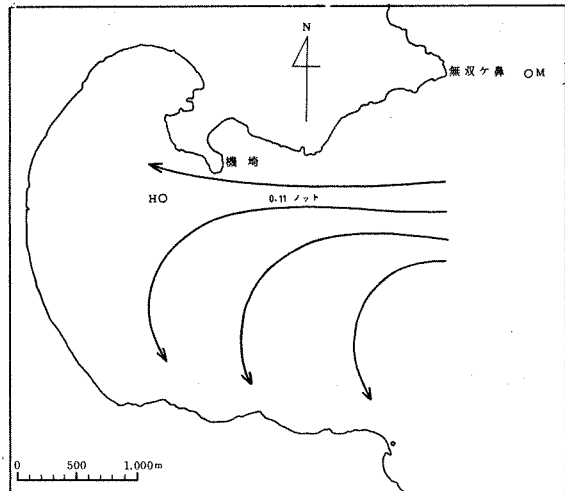


図16 栗田湾の想定流動 (5月)

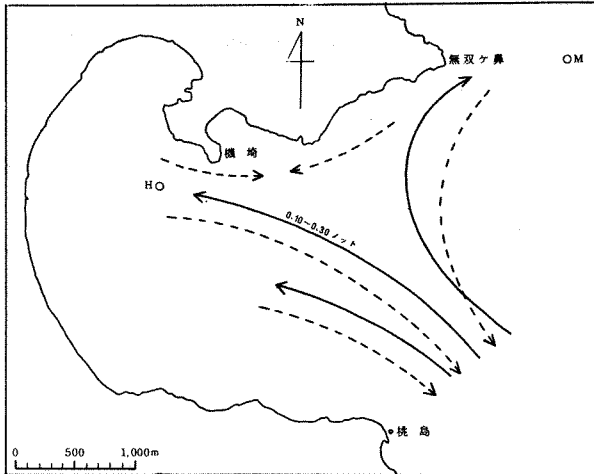


図17 栗田湾の想定流動（7月）

しかし、7月の流跡結果は、湾の長軸に対しやや傾きをもった往復運動であり、その運動パターンは、湾外の流動と関連深いことが示唆された。即ち、湾内流入時には湾口近くで北流が、流出時には南流が認められている（図17）。機崎沖における連続測流結果は、西向流が多く、平均流速が速い点では図16のパターンを、流向の出現頻度分布からみて西～北西又は南東への流れが多い点で図17のパターンを支持している。

以上のことから、栗田湾の流動特性を更に解明するには、こんご丹後海の規模まで調査を拡大する必要があると共に、連続測流点を増やすことが望ましい。

栗田湾の表層塩分の時空間的变化は、内野²⁾によって明らかにされているが、筆者らは、St. 6の分布観測の結果から、T-S曲線で検討した（図10）。即ち、5月の日本海の高塩分水の沿岸定線として、桑原外³⁾が指摘しているように、高塩分水の沿岸定線での出現を反映し、今回湾底層でも34.2%の高塩分水を観測している。図中の「△」印は、橋本⁴⁾の新井崎沖における5月の10年間（1952～1962年）の平均的水温・塩分値を用いて図中にプロットしたものであるが、この水塊は、今回得られた栗田湾の底層水塊とほぼ同質である。また、7月に得られた底層の塩分値は、図にみられるように34.0%以上の塩分値を示し、京都府の沿岸定線上St. 4の9年間（1970～1978年）の同月の平均塩分値とほぼ同じである。

このように湾内の底層水は、外海水との関連が深い。

一方、湾内の表層塩分値は、7月3日の第一回目（10時～10時55分）の観測から、24時間後の7月4日の第一回目（10時～10時40分）の観測までに、0 m層で2.9%、5 m層で0.3%塩分値が低下している。また、機崎沖でのMTCM-5Aの測定結果でも、「機崎沖における水温・塩分の変化」で述べたように、塩分低下がみられ、塩分低下に対応して西流が認められることが多かった。このような表層の低塩分は湾内に向う流れと直接関係が深く、湾内の表層水が他の表層低塩分水と大きく入れ代ることを示唆し、このことを裏付けているのが、レーダーブイによる7月3日と4日の流動パターンであると考えられる。

栗田湾の流動特性をレーダーブイ追跡、水温・塩分の分布観測及び定点における連続観測結果から検討し、筆者らは、栗田湾の流動の基本的な姿をとらえるという所期の目的に一歩近づいたものと考えているが、一般的に沿岸の流動は、特に風などの気象の変化を受け易く、また海況は微細に時々刻々と変化している。この点について、気象と流れとの関係をMTCM-5Aの記録から検討してみたが、まだ十分でなく、今後の検討事項として残った。ただ、7月12日～13日の流れのように潮位（新月による大潮）、気象（風・潮位偏差）などの要因が重なった場合、通常の数倍の流れも想定されるものと思われた。

今後これらの変化を受け易い内湾であることに十分留意し、作業仮説をたてるべきと考えている。

終りに、本調査を実施する機会を与えていただいた海洋センター所長塩川司博士、海上での観測、器機の設置等の作業に協力していただいた、平安丸船長杉山十六生氏をはじめ各調査船の乗組員諸兄に対し感謝の意を表する。

また、調査を遂行するに当り京都大学農学部水産学教室所属「白波丸」の協力、また、レーダーブイをはじめ観測器機について便宜を図って頂いたほか、同学部柏井誠助手並びに学生諸兄の援助を受けたことに対し厚くお礼申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 赤松英雄：若狭湾南西海域の海洋構造について，海と空，52（3），73～82（1977）。
- 2) 内野 憲：栗田湾の海洋変動，昭和50年度京水試報告，31～36（1977）。
- 3) 桑原昭彦外：京都府沖合海域における海況の一般的特性について，京海セ報告，3，133～141（1979）。
- 4) 橋本祐一：若狭湾西部（丹後海）における海況の一般的特性，海と空，49（3），69～84（1973）。