

# 操船者から見た幽水現象について

湯山典重：巡視船「わかさ」船長

## The phenomenon of Phantom Water (Yuusui) observed by a Navigator

Norishige Yuyama : Captain, Patrol Vessel "Wakasa"

### 1. はじめに

#### 1-1 総括

平成7年(1995年)5月中旬,舞鶴港において幽水現象(引き幽霊+α)に巡り合った。

20年ほどの乗船歴で初めての例であり(註1-1参照),諸準備のうえでの邂逅ではなかったが,安全に寄与できればと,泥縄式に資料を集め,メモ・覚え書き風に纏めてみた。

#### 1-2 観点

本稿の観点の主体は操船者の目である。

#### 1-3 対応

実際の邂逅から,海洋学等の内部波のみでは理解できない面があり,それについても述べる。

### 2. 経緯等

#### 2-1 幽水現象

密度の異なる水の層の界面付近に生ずる現象の総称で,その接し方によって,

- 引き幽霊
  - 死水(しにみず・しすい) Dead Water
  - 内部波 Internal Wave
- など,さまざまな呼称がある。

本稿では,邂逅時の状況等から

◎「幽水」(幽水現象) Yuusui

; phantom water

と総称させていただく(註3-6参照)。

Dead Water・内部波等は,事典等によれば,『高緯度の海水のできる海や,河川からの淡水供給の多い海域では,ごく表層に密度躍層が生じやすい。

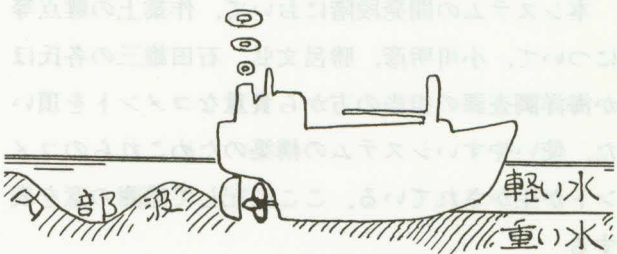
このような海域を推進力の小さい船が進むとき,

船を進めるためのエネルギーが内部波生成に消費され,造波抵抗が大きくなって船は進みにくくなる。

(停まってしまう。) (異常な抵抗を受けることがある。)

いま,軽い水の厚さを  $h_0$ , 海水の平均密度を  $\rho$ , 重い水と軽い水との密度差を  $\Delta\rho$  とすると,伝搬の速さ  $C$  は,最も早い波で

$$C \doteq (gh_0 \Delta\rho / \rho)^{1/2} \dots\dots\dots(1)$$



第2-1図 Dead Water の概念図

で与えられ,例えば

$$\Delta\rho / \rho = 10^{-3}, h_0 = 5 \text{ m}$$

とすると

$$C \doteq 22 \text{ cm/s } (\doteq 0.44 \text{ ノット}) \dots\dots\dots(2)$$

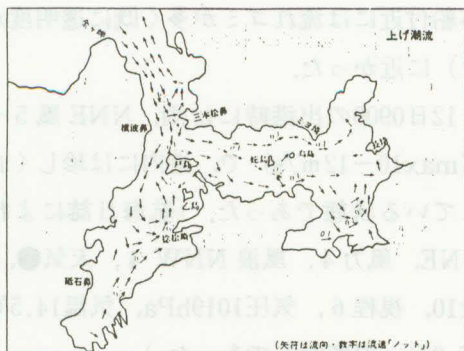
であり,最近の船はこの速さより充分速く進める推進力があるので問題にならず,過去のことばとなっている。とある。

しかし,(1)式において,二層水を海水1.025と真水1.000とすれば,

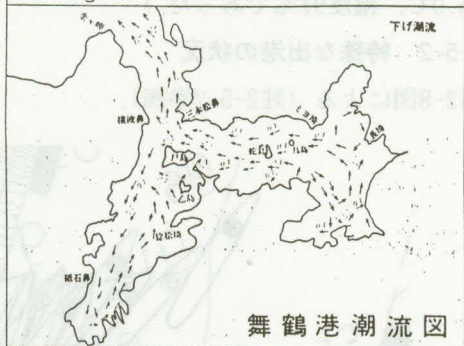
$h_0 = 5 \text{ m}$ では	$C \doteq 2.13 \text{ ノット}$	} \dots\dots\dots(3)
$h_0 = 4 \text{ m}$ "	$C \doteq 1.90 \text{ ノット}$	
$h_0 = 3 \text{ m}$ "	$C \doteq 1.65 \text{ ノット}$	

となり,「密度差がある増水期における出入港の低速時」に巡り合えるのではないかという期待は継続して持っていた(註1-1参照)。

第2-2図



第2-3図



舞鶴港潮流図

2-2 舞鶴湾 (港)

2-2-1 地勢

京都府北部 (日本海側) に位置する, わが国有数の天然の良湾である (註2-2-1参照)。

2-2-2 本船の基地

西港第2埠頭④号にある。

2-2-3 海象等

潮汐はごく小さく, 潮流 (第2-2-3図) も微弱である (註2-2-3参照)。

2-3 本船 (「わかさ」 PL103)

2-3-1 概要

昭和53年竣工の1,000トン型巡視船である。

2-3-2 要目

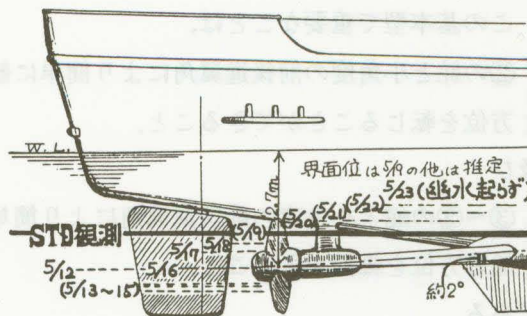
満載排水量1354.80トン, 可変ピッチプロペラ (CPP) 内廻り×2, 1舵である (註2-3-2参照)。

2-3-3 性能等

全速約20ノット, CPPのため低速での微妙な操船が可能である (註2-3-3参照)。

2-3-4 推進器・舵

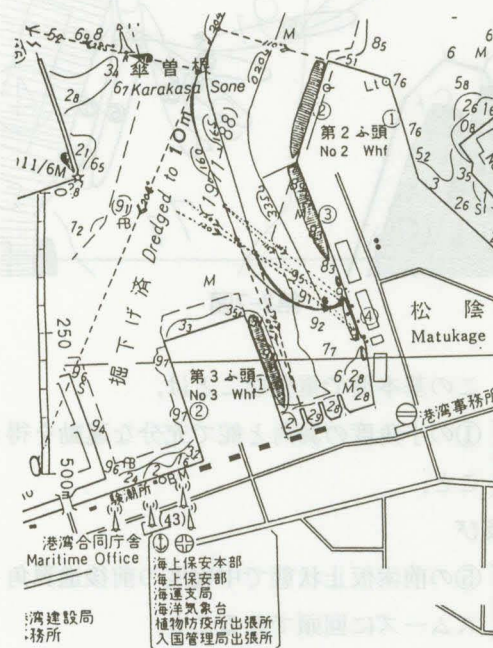
付近の側面図は, 第2-4図による。



第2-4図

2-4 基地出入港の基本型

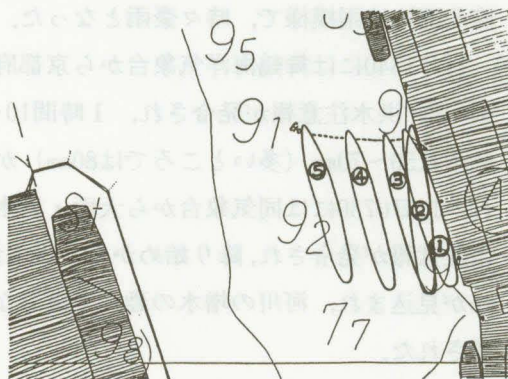
概要は第2-5図による。



第2-5図

2-4-1 出港基本型

第2-6図による (註2-4-1参照)。



第2-6図

この基本型で重要なことは、

〔②の舵と小角度の前後進翼角により簡単に船首  
方位を転じることができること。〕

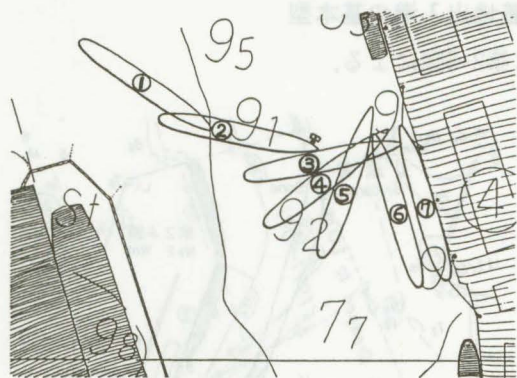
及び

〔③～⑤の舵と小角度の前後進翼角により簡単に  
船首方位を維持できること。〕

である。

### 2-4-2 入港基本型

第2-7図による（註2-4-2参照）。



第2-7図

この基本型で重要なことは、

〔①の小角度の翼角と舵で充分な運動を得られる  
こと。〕

及び

〔⑤の前索仮止状態で中程度の前後進翼角と舵で  
スムーズに回頭できること。〕

である。

### 2-5 「幽水現象」特定の端緒及び操船（その1）

#### 2-5-1 気象状況等（註2-5-1参照）

(イ) 平成7年（1995年）5月11日から、舞鶴（京都府北部）は雨模様で、時々豪雨となった。

(ロ) 11日1840には舞鶴海洋気象台から京都府北部大雨・雷・洪水注意報が発令され、1時間10～20mm、総雨量50～70mm（多いところでは80mm）が見込まれ、12日0730には同気象台から大雨・洪水警報、雷注意報が発令され、降り始めからの総雨量は150mmが見込まれ、河川の増水の恐れで嚴重な警戒が要された。

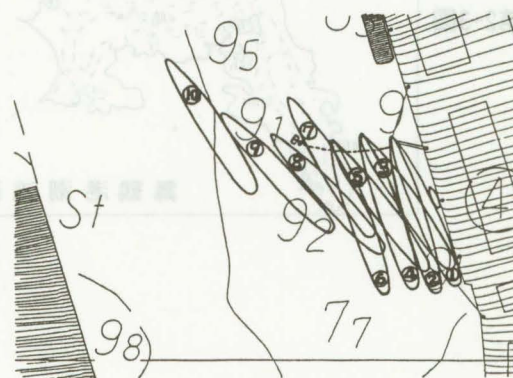
(ハ) 帰船途上、新相生橋から伊佐津川を見ると、雨の中ミルクコーヒー色の濁流が音を立てて流れており、また、基地付近の側溝も相当な流量であり、

本船付近には流れゴミが多く既に透明度が0（ゼロ）に近かった。

(ニ) 12日0900の出港時には雨、NNE風5～8m/s（max10～12m/s）で、港内には珍しく白波が生じている状態であった。（航海日誌によれば風向NNE、風力4、風浪NNW4、天気●、Ns、雲量10、視程6、気圧1019hPa、気温14.5℃、水温16.0℃、湿度97%であった。）

#### 2-5-2 特殊な出港の状況

第2-8図による（註2-5-2参照）。



第2-8図

ここで重要なことは、

〔①→②、③→④、⑤→⑥において、通常は簡単に  
できる「船首方位の変更」が殆どできないこと  
（回頭速度がごく緩慢であること）〕

及び

〔特定の行脚（未精測であるが約1ノット）にな  
ると舵効・回頭能力が回復すること〕

である。

#### 2-5-3 幽水現象の特定（その1）

(イ) 行脚0の態勢では、いかに舵・主機を使用しても運動性能を阻害され、行脚をつけると運動性能が回復することは幽水現象の特徴の一つであり、従って特定条件の一つである。

(ロ) 層の厚さは未測であったが、上層水（濁り水）と下層水（普通の海水）と明確に分離されていた。

(ハ) 内部波については、港内に白波があり、かつ透明度が悪く、明確には確認できなかった。

推進器流の中で水面に黒々と盛り上がってきて、徐々に船首方向（外方）に移動していくものをいくつか視認し（後方も同様）、内部波の山の部分と思えたが、操船も意外に忙しく、継続確認はできなかった。

(ニ) この出港において使用した翼角は通常の状態では使用しない大きなものであり、右 $-13^\circ$ で推進器流は船首を越えて流れ、左 $+7^\circ$ で船尾相当後方まで流れていたが、いずれも水流のみの空回りしている感じで回頭力はごく弱く、いわば、船底が海底に根を生やしているような感じであった。

操船していて、上層水のみが滑り動き（上層水滑流）船体底部が下層水につかまり、運動を阻害される…ようにも思えた。

(ホ) 主として(イ)・(ロ)から副次として(ハ)・(ニ)・2-5-1(イ)・(ロ)から幽水現象が起きていることは推定できたが、ただ1回のみ事例であり、更に事例を待つこととした。

2-6 「幽水現象」特定の端緒及び操船（その2）

2-6-1 気象状況等

平成7年5月中旬の一連の豪雨型天候も漸く回復の兆しを見せ、15日1045舞鶴海洋气象台から京都府北部大雨・雷・洪水注意報の解除が発表された。

16日の基地入港日には湾外から舞鶴湾一帯が黄緑白土色で、河川の相当な増水の海上（湾内・外）への流出があったことが推察できた。

気象・海象は出港時とは打って変わって平穏となり、風向N、風力1、海上平穏、天気☉、Ns:Sc、雲量10、視程6、気圧1003hPa、気温 $18.0^\circ\text{C}$ 、水温 $16.0^\circ\text{C}$ 、湿度90%であった。

2-6-2 特殊な入港の状況

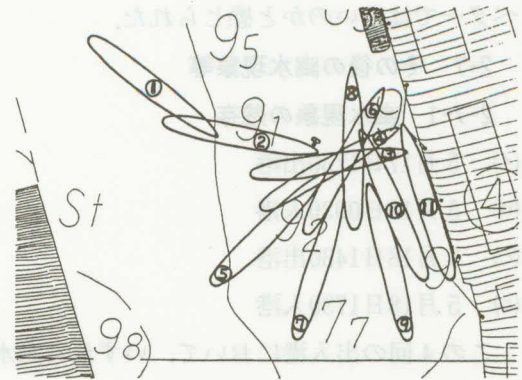
第2-9図による（註2-6-2参照）。

ここで重要なことは、「その場回頭」・「前索を張って片舷後進による回頭」ができなかったこと。

及び

（後進も含めて）特定の行脚（約1ノット）がつくと回頭能力が回復すること。

である。



第2-9図

2-6-3 幽水現象の特定（その2）

16日は（第2-9図の）①で舵効が小さいことから、幽水現象が存在していることが推察でき、II・I索をとってからは、12日より多く観察することができた。

また、海上平穏であったことも観察に幸いであった。

(イ) 行脚0状態での運動性能の阻害と、特定の行脚（約1ノット）を越えると運動性能が回復することは12日と同様であった。

また、特定の行脚には、後進も含まれることが実証できた。

(ロ) 上・下層水の明確な分離も12日と同様であった。

(ハ) 内部波については、海上平穏であり、確認できることを期待したが、上層の濁水及び操船指揮のため確実な連続観測はできなかった。

しかし、推進器付近でもくもくと盛り上がり、盛り上がり徐々に穏やかになりながらゆっくりと船首方向（外方）へ移動していくもの（多分内部波の山の部分）がいくつも認められ（後方も同様）、感覚的には確かにある（生じている）と感じられた。

(ニ) 上層水の滑流及び海底根生やし態様は、12日と同様であった。

(ホ) 主として(イ)・(ロ)により、副次として(ハ)・(ニ)・2-6-1の黄緑水域により、12日同様の幽水現象が起きていることが推定できた。

なお、この現象は「内部波」のみでなく「水の空回り（層水の滑流）」と「界面の遊離攪拌」等も加えて、「幽水現象」として総合的に解析した方が、より

ベターではないのかと感じられた。

2-7 その後の幽水現象等

2-7-1 幽水現象の残存

- (イ) 5月17日1730出港
- (ロ) 5月18日0930入港
- (ハ) 5月18日1430出港
- (ニ) 5月18日1730入港

この4回の出入港において、いずれも幽水現象が存在していた(註2-7-1参照)。

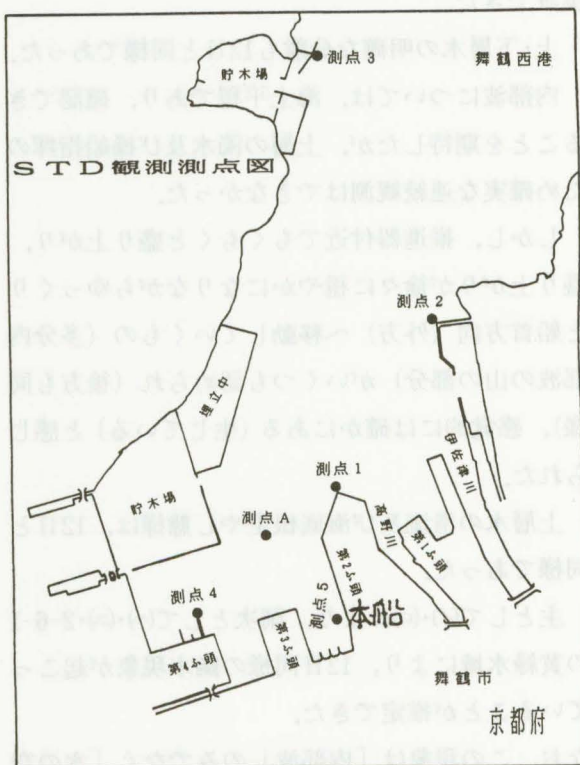
出入港の形態は、気象・海象の差異の他、2-5-2、2-6-2と同様であった。

2-7-2 本船の推進器・舵の状況

本船の関連機器の状態を明らかにするためのテストを実施したが、CPP・舵・計器等正常(良好)であった。

2-8 STDによる観測(註2-8参照)

5月19日第八管区海上保安本部水路部に赴き、5月12日~18日の操船の状況から幽水現象(二層水諸現象)が生じていると推定されることを説明したところ、早速、西港の5地点(第2-10図)においてSTDによる観測を実施していただいた。



第2-10図

その結果、海面下約2mに明確な塩分躍層が存在

することが判った(第2-1表)。

これにより、操船状況から推定された幽水現象は海洋学上の証明を得ることができた。

第2-1表

測点	1		2		3		4		5		A	
時間	1535		1550		1610		1625		1640		0900	
0 m	18.7	22.59	19.6	14.83	18.5	21.60	17.5	24.84	16.9	26.84	13.5	32.5
1 m	16.5	28.95	17.3	26.65	17.5	25.83	16.8	27.65	16.5	28.65		
2 m	15.9	31.95	15.9	32.25	16.1	30.83	16.3	30.22	16.1	30.93	13.9	32.7
3 m	15.7	32.42	15.7	32.56	15.8	32.12	16.0	31.77	15.9	31.86		
4 m	15.7	32.59			15.7	32.68			15.6	32.66	14.3	32.9
5 m	15.6	32.81			15.7	33.10			15.6	33.09		
6 m	15.6	33.22			15.6	33.50			15.5	33.31	14.9	33.2
7 m	15.5	33.49			15.6	33.56			15.4	33.50		
8 m	15.4	33.57			15.6	33.59			15.4	33.54	15.3	33.3
9 m	15.4	33.62			15.6	33.66			15.4	33.62		

(備考) 舞鶴西港の水温・塩分観測値(平成7年5月19日)  
測点Aは舞鶴湾沿岸海況調査の測点9で観測年月日は平成6年12月22日

2-9 幽水現象の消滅

5月23日1130の出港時には通常と同程度の操船ができ、幽水現象は起こらなかった(本船における幽水現象の消滅)。

3. 考察等

3-1 雨量と川水の影響について

3-1-1 雨量(註2-5-1参照)

舞鶴地方には、「弁当忘れても笠忘れるな」の諺があるように、雨は多いが、これは「雨の回数が多い」ということで、総雨量や豪雨はそれほど多くはないようである。舞鶴の年間降水量は1726.1mmで5月の降水量は128.5mm(それぞれ昭和50(1975)年~平成2(1990)年の平均)である。

舞鶴海洋気象台の好意によるアメダスデータによれば、

- 11日の総雨量 47mm
- 12日の総雨量 121mm(出港まで58mm)
- 47+58=105mm.....(4)

◎この短期間の豪雨が本船の最初の幽水現象の主因になったものと考えられる。

11日～16日 219mm

11日～17日 222mm

であって、平年の5月の全降水量の170%がこの一週間で降り、これが本船の幽水現象が約一週間継続した主因と考えられる。

3-1-2 川水の濁りの影響について

二層水が長時間に亙るのは、川水の濁りにも、その副因があると推察している。

関連川水の濁りの素の多くは、木のクズ・腐養分等の軽い粒子のように見える。これが、

◎川水の密度をさほど大きくすることなく、

◎川水の中において、いわば、飽和に近い状態となり、この分子運動等が海水との混合を妨げることにより、

結果的に二層水を長時間継続させるように推察されるが、これについては今後の解明を待ちたい。

3-2 舞鶴湾における二層水の形成及び幽水現象について

3-2-1 二層水の形成

舞鶴湾は次の条件により二層水を形成しやすいと考えられる。

- (イ) 湾口が狭い(約700m)こと。
- (ロ) 湾内が静穏である(風浪・海潮流が小さい)こと。
- (ハ) 流入する河川が多く、川口での傾斜が小さいこと。
- (ニ) 界面を攪拌消滅させるほど船舶の交通が輻輳していないこと。
- (ホ) 湾外からの海水の流入(循環)があること。

3-2-2 二層水の単純モデル

湾内を単純化すると次のモデルの例が考えられる。

(イ) 渇水期

二層水は、川口付近を中心に小面積にとどまり、上層水の厚さも乏しい。

(ロ) 降雨期

二層水は、川口付近に相当な広がりや厚さを見せ、湾外にも流出する。

(ハ) 豪雨・洪水期

二層水は、川口から相当な厚さで湾内に広がり、

湾外に大きく流出する。

(ニ) 各時期の比較

ここで考えられることは、

出現頻度 (イ) > (ロ) > (ハ)

川口付近の水の傾斜角  $\alpha$   $\alpha(イ) < \alpha(ロ) < \alpha(ハ)$

上層水の厚さ  $h_0$   $h_0(イ) < h_0(ロ) < h_0(ハ)$

上層水の表面積  $S$   $S(イ) < S(ロ) < S(ハ)$

上層水の体積  $V$   $V(イ) < V(ロ) < V(ハ)$

であり、その後の川水は一部は湾外へ、一部は湾内海水と混合、湾内海水の塩分が外洋より低い値となると考えられる。

3-3 舞鶴湾の幽水現象が表面化しなかった理由について

舞鶴湾は二層水の形成条件が備わっており、幽水現象も頻繁に起こっていたと考えられるのが妥当といえる。それが表面化しなかったのは次の理由によるものと考えられる(註3-3参照)。

- (イ) 推進器位置のバラツキのため、幽水現象が全船一様に起こることがなかったこと。
- (ロ) 船艇の機動力の向上。
- (ハ) 海員の口の固さ。

3-4 本船が邂逅した幽水現象について

3-4-1 本船と幽水現象との邂逅

今回の事例は豪雨の増水により、急激に大量の川水が湾内に流入することにより、

〔常に存在している二層水の界面の深さが増し、本船の推進器軸の近くに達したため、本船に幽水現象が生じたもの。〕

と考えられる。

3-4-2 内部波の速さ(幽水速力)

19日のSTD観測結果(第2-1表)をもとに、単純な比例式と(1)式により、水面下2.7mの予想界面における内部波の速さ(幽水速力)Cは

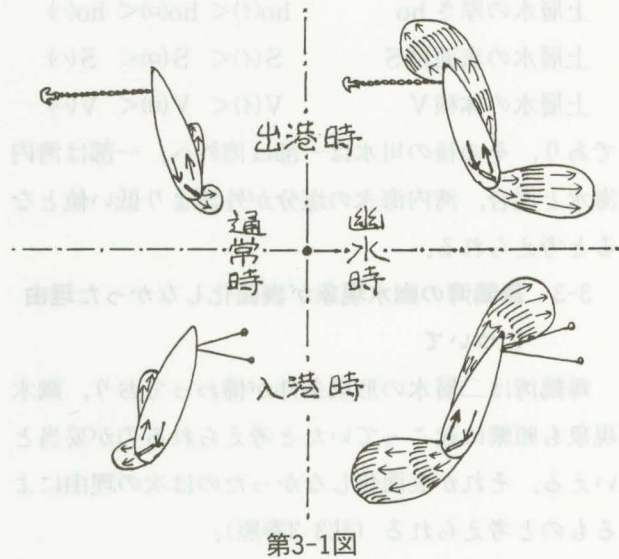
- 測点1 …… C ≒ 0.83ノット
  - ” 2 …… C ≒ 1.11ノット
  - ” 3 …… C ≒ 0.86ノット
  - ” 4 …… C ≒ 0.70ノット
  - ” 5 …… C ≒ 0.59ノット
- ……………(5) (註3-4-2参照)

となるが、日時経過による混合等を考慮すると、幽水現象が最も顕著であった16日の幽水速力は(目視

観察からも) 測点1~3の0.83~1.11ノットあたりが最も近いのではないかと推定している。

3-4-3 推進器流等の状況

操船中に観察した、通常時と幽水現象時の推進器流等の比較は第3-1図のようになる。



第3-1図

3-4-4 幽水現象の概念及び区分

以上の考察に推定・仮説を加えると、本船の邂逅した幽水現象は、

- (イ) 界面攪拌と内部波と層水滑流によりエネルギーを浪費することによる運動(操縦)性能の阻害を生じさせ、
- (ロ) 船体下部(船底付近)が下層水に浸り、あたかも、船体を固定(係止)させたかの感覚を与えたものといえ、
- (ハ) 幽水現象の概念及び相関区分を纏めると第3-2図及び第3-1表となる。

3-5 幽水現象中の操船参考について

実際の幽水現象中の操船を実施してみて、航海者の安全のために参考になり得ると思えたのは次のことである。

- (イ) 早期に幽水現象を特定する。
- (ロ) 常に平常心、細心大胆に。
- (ハ) 行脚0では操縦性能が著しく阻害されるので注意を要する。
- (ニ) (後進も含め) 特定の行脚がつくと操縦性能が回復することを考慮する。
- (ホ) (イ)・(ニ)を総合し、(後進も含め) 行脚を活用する

ように操船するとよい。

- (ヘ) 通常より大きな推進器流により、錯覚を生じやすいため、陸上の目標で自船の態勢を把握確認しておく。
- (ト) 安全が確保されたら、CPP・舵・計器等の状態を再点検する。

3-6 呼称・対応等について(註3-6参照)

実際の邂逅における状況等から、本稿では「幽水現象」と呼称することとし、この現象が内部波のみで処理されることなく、その他の事象も含め総合的に解析されることを提唱する次第である。

今回の事例も内部波とともに層水滑流等が相まって生じたもの(界面攪拌で相当のエネルギーを消費のうえ内部波となるが、さらに過剰のエネルギーは層水滑流となる。)と推定され、内部波のみでの解決には無理があると思料される。

内部波等と幽水現象との関係は式で表すと次になる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{内部波} \\ \text{Dead Water} \end{array} \right\} + \text{層水滑流} + \alpha(\text{界面攪拌等}) = \text{幽水現象} \quad \dots\dots\dots(6)$$

4. おわりに

4-1 今回

「幽水現象」中は平静に対応したつもりであったが、終わってみると更にしておくべきことがいくつも考えられる。

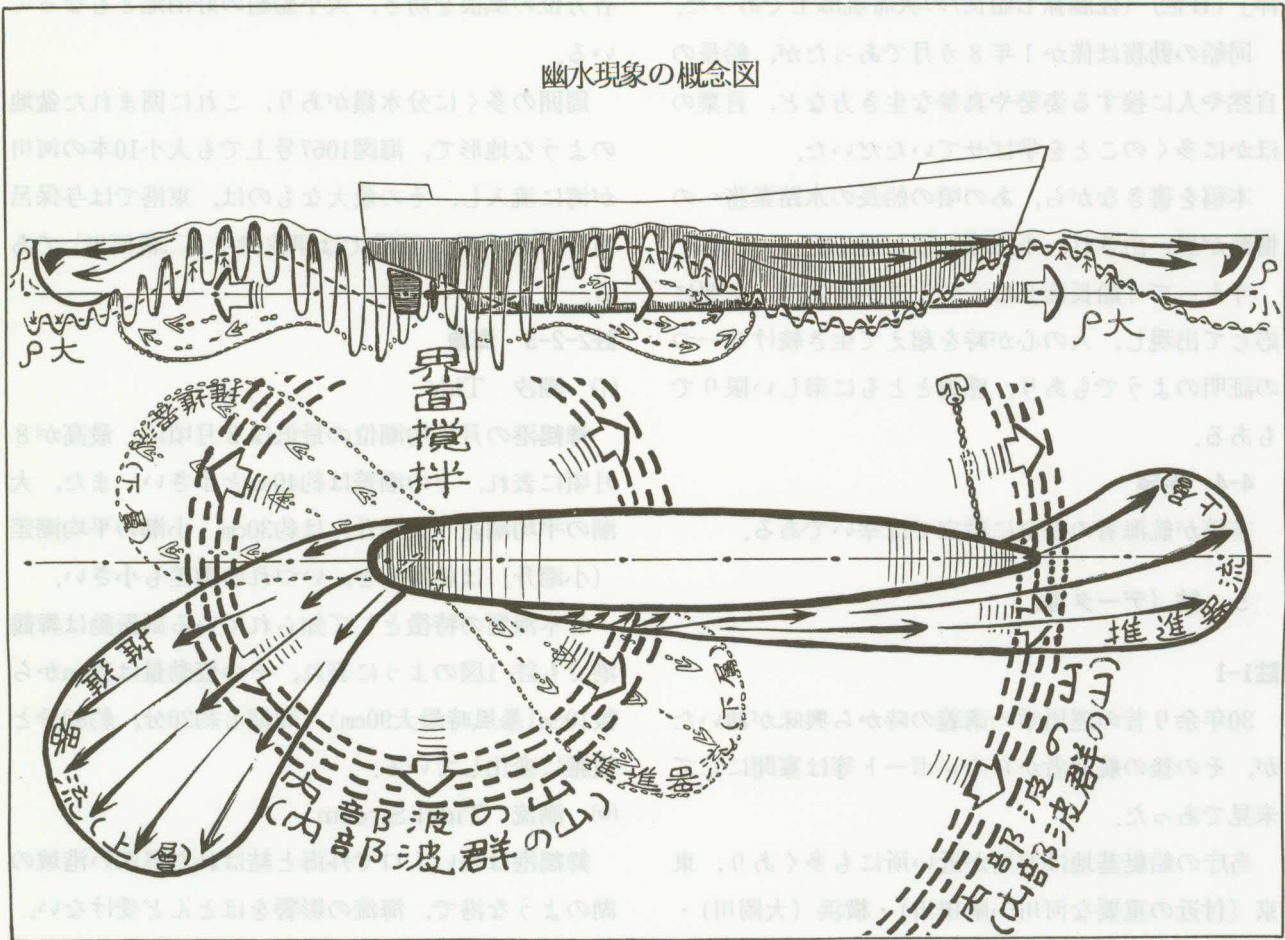
今度邂逅できれば、もっとよいレポートを……と思っはいるが、いつ遇えるか判りかねるので、今回はこれで提出することといたしたい。

4-2 次回

今回はカメラやビデオを用意したり、水路部の協力を得て、濁水期の基礎データや二層水のマスの推移の観測、推進器による層水滑流や内部波の測定を行ったり、幽水対象船艇別状況トリム別(船尾脚・等喫水 even keel・船首脚 by the head) 状況等々と夢を膨らませている。

4-3 感謝

初任は、約30年前(昭和40年)水路部測量船「明



第3-2図 幽水現象の概念図

第3-1表 幽水現象の相関区分表

$h_o ; d$ $V ; C$	上層水の推進軸の 厚さ $h_o$ 深さ $d$	$h_o < d$ で推進器の一部が 界面影響	$h_o \approx d$	$h_o > d$ で推進器の一部が 界面影響	$h_o \gg d$	総括	
船速 $V \gg$ 内部波の速さ $C$	上層水滑流 内部波 下層水滑流	× × ×	× △ △	△ ○ △	△ △ ×	× × ×	$d \approx h_o$ の付近での推進器効率のやや低下の他影響なし
$V > C$ で $V$ が低速	上 内 下	× × ×	× ○ ◎	○ ◎ ○	◎ ○ ×	× × ×	$d$ が $h_o$ に近い場合影響あり (推進器効率の低下)
$V \approx C$	上 内 下	× × ×	× ◎ ◎	◎ ◎ ◎	◎ ◎ ×	× × ×	$d$ が $h_o$ に近い場合大きな影響を受ける (運動性能阻害等)
$V < C$ で $V$ が極低速	上 内 下	× × ×	× ◎ ◎	◎ ◎ ◎	◎ ◎ ×	× × ×	同上
$V \ll C$ ( $V \approx \pm 0$ )	上 内 下	× × ×	× ● ●	● ● ●	● ● ×	× × ×	$d$ が $h_o$ に近い場合最大の影響を受ける (運動性能阻害等)
総括	幽水現象起こらず	下層水滑流と内部波を主とした幽水現象	幽水現象最多	上層水滑流と内部波を主とした幽水現象	幽水現象起こらず	$\Delta \cdot O \cdot \odot \cdot \bullet$ とともに 界面攪拌有り	

×: 無し又は殆ど無し △: 微有 ○: 有り ◎: 大いに有り ●: 最有



洋」(II世)(佐藤孫七船長)の次席航海士であった。同船の勤務は僅か1年8カ月であったが、船長の自然や人に接する姿勢や真摯な生き方など、言葉のほかに多くのことを学ばせていただいた。

本稿を書きながら、あの頃の船長の水路業務への情熱が思い出され、不思議と稿が進んだ。

今もって「船長流」は心のどこかにあり、必要に応じて出現し、人の心が時を超えて生き続ける一つの証明のようでもあり、感謝とともに楽しい限りでもある。

4-4 希望

本稿が航海者の安全に役立てば幸いである。

5. 註(データ等)

註1-1

30年余り昔の運用学の講義の時から興味が湧いたが、その後の航海者からのレポート等は寡聞にして未見であった。

当庁の船艇基地は河川が近い所にも多くあり、東京(付近の重要な河川…隅田川)・横浜(大岡川)・鳥羽(加茂川)・釧路(釧路川)・釜石(甲子川)・小松島(神田瀬川)・舞鶴(伊佐津川)と勤務し、流水の北洋海域にも出たり、測量船等で全国かなりの数の港に寄らせていただいたが、今回の事例まで、幽水現象に遇うことも、見聞もできなかった。

註2-2-1 舞鶴湾の地勢

舞鶴湾は金ヶ岬と博奕岬との間に湾入し、湾口の最狭部は獅子鼻付近の幅約700m(0.4M)で、ここから西湾がSSW方へ3.5M、東湾がE~NE方へ4M;E~S方へ4M延び、その形状は複雑であるが、

各方位の風浪を防ぎ、大小船舶の好泊地ともなっている。

周囲の多くに分水嶺があり、これに囲まれた盆地のような地形で、海図1067号上でも大小10本の河川が湾に流入し、その最大なものは、東港では与保呂川(二級河川)、西港では伊佐津川(二級河川)である。

註2-2-3 海象

(イ) 潮汐 Tide

舞鶴港の月平均潮位の最低は3月頃に、最高が8月頃に表れ、その潮差は約40cmと小さい。また、大潮の平均潮差(大潮升)は約30cm、小潮の平均潮差(小潮升)は約20cmと、いずれの潮差も小さい。

日本海側の特徴として知られている副振動は舞鶴港でも註-1図のように表れ、その変動量は数cmから数10cm(暴風時最大90cm)、周期も約20分、約80分と複雑に変化している。

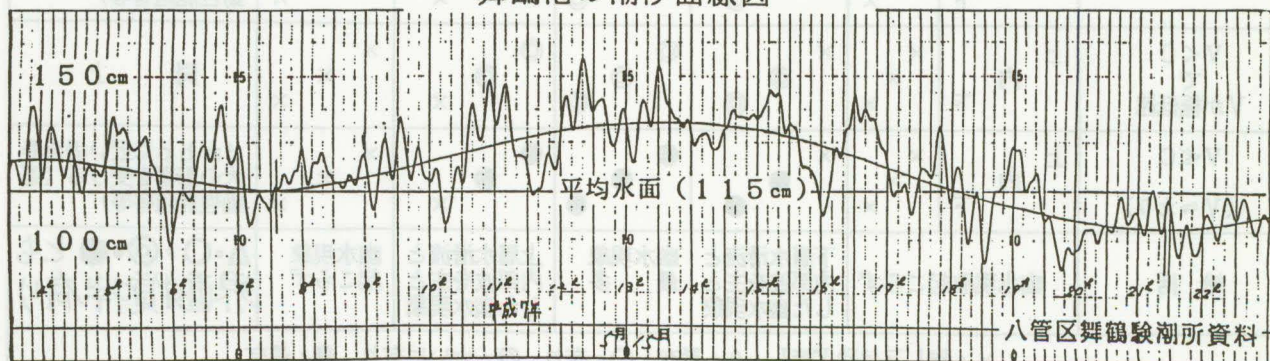
(ロ) 潮流 Tidal Stream

舞鶴港は狭い入口で外海と結ばれた奥深い港域の湖のような港で、海流の影響をほとんど受けない。また、前述した潮汐の干満も小さいため、潮流は極めて微弱で平均流速は0.2ノット前後であるが、港口付近では風や気圧などの気象要素と副振動などの海象要素の条件が相乗したときには1ノット前後のやや強い流れになることがある。一般に上げ(下げ)潮流は低潮(高潮)時の約2時間後に最高となるが、所によりかなり異なるようである。

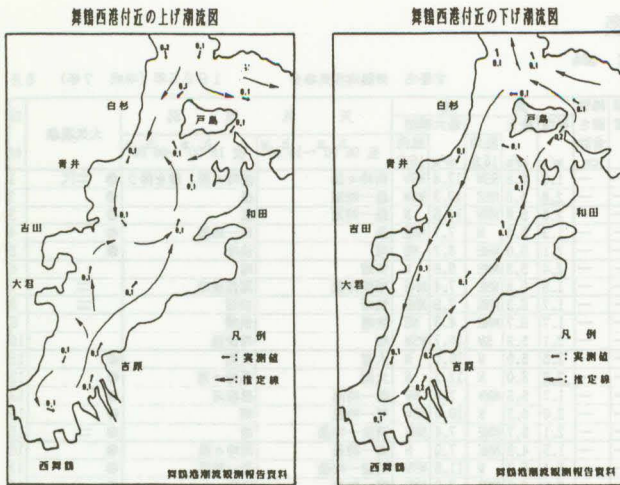
舞鶴西港付近の平均流況を見るため、上げ潮流と下げ潮流を註-2図に示す。

(ハ) 水温 Water Temperature

舞鶴港の潮汐曲線図



註-1図



註2-2図

流速は戸島の北方で流速は戸島の東側と吉原の西側で0.2ノットを示す他は0.1ノットと微弱である。流向は戸島の南南西方と港奥に2つの右旋環流が見られる。

舞鶴港における表面の月別平均水温は、3月は8～9℃台、4月は12～14℃台、6月は20～22℃台、8月は27～29℃台、10月は21～22℃台、12月は12～15℃台を示している（舞鶴沿岸海況調査資料）。

註2-3-2 「わかさ」要目

航行区域	遠洋
船種船質	汽船, 鋼
総トン数	960.10ton
満載排水トン数	1354.80ton
全長	77.81m
垂線間長	73.00m
型幅	9.60m
型深	5.313m
主機関	定格3500ps×2
推進器	4翼可変ピッチプロペラ 内廻り φ2200mm×2

註2-3-3 「わかさ」性能等

速力	4/4全力 380rpm pp=24.5°≒20ノット
航海速力	360rpm pp=20° ≒18ノット
〃	300rpm pp=15° ≒13ノット
港内速力	250rpm pp=+15°～-13°

実績	pp 両 + 8°	≒7.3ノット
	〃 + 7°	≒6.7ノット
	〃 + 6°	≒6.0ノット ≒   pp-13°
	5/12～ 〃 + 5°	≒5.3ノット ≒   pp-11°
	5/23の 〃 + 3°	≒3.5ノット ≒   pp-8°
	〃 + 2°	≒2.5ノット ≒   pp-6°
	〃 + 1°	≒1.5ノット ≒   pp-3°
	〃 + 0°	≒0.5ノット ≒   pp-1°
〃 - 0.5°	≒0ノット	

註2-4-1 出港基本型

- 船首方位 (S.H.) ≒341°
- 錨鎖方向 9 h (左90) 節数≒2.5節
- 船首喫水 (df) ≒3.10m
- 船尾喫水 (da) ≒3.90m  
トリム=0.8m 船尾脚 (by the stern)
- ① 主機テスト後250r.p.m. 「出港用意」  
船首舳索 I・船尾舳索IVを放索, 要員移乗
- ② 錨鎖張, 船尾スプリングIII (バイトにしてある) 放索  
面舵一杯 (面一)・左+1°・右-3°船首スプリングII (バイトにしてある) 放索
- ③～④ 錨鎖巻, SH 船位, 錨位に応じ舵 (舵央～面一)・左+0°～+2°・右-1°～-7°
- ⑤ 抜錨 SH≒335°で前進 (両+1°, +3°, +5°)

註2-4-2 入港基本型

- 徐々に減速 (250rpm, pp+15°→+8°)  
基地前700mで両+5°, 同500mで両+3°, 同300mで両+1°
- 気象・海象を勘案しコースの特定 (160°～165°)
- ① 所定位置で左転, pp左0°～-3°・右+1°
- ② 距離70mで左投錨
- ③ 船首10～15m接近, 取一・左-5°～-8°・右+1°→取一・左-3°・右+1°, II・I索
- ④ 回頭惰力の維持
- ⑤ その場回頭, 取一・左-8°・右+3°
- ⑥ III・IV索, 前後平行に巻き寄せ
- ⑦ 係止了, SH≒341°

註2-5-1 気象状況等

平成7年5月の舞鶴の気象月表, 11日と12日のアメダスデータ及び地上天気図は次による。

註-1表

気象月表

地点番号 47750 舞鶴 (京都府)

官署名 舞鶴海洋気象台

1995年(平成7年)5月

Table with 31 rows (days) and multiple columns for weather data including temperature, humidity, wind, and precipitation. Includes summary rows for the month and year.

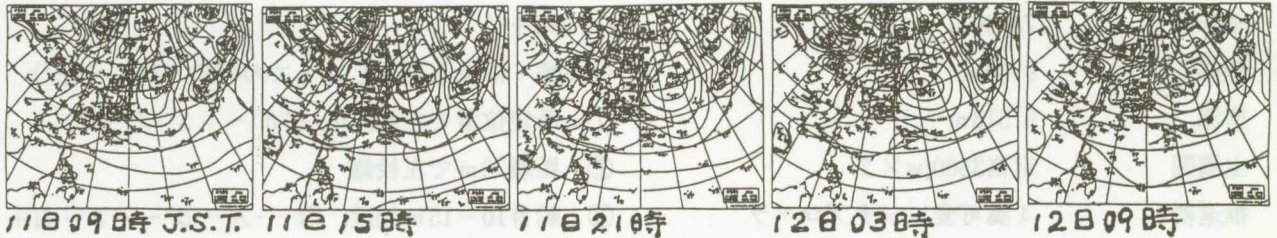
註-2表

アメダス地域気象観測 毎時降水量日報

京都(61)

-00001-

Table showing hourly precipitation data for May 11 and May 12, 1995, with columns for time (01-24) and precipitation amounts.

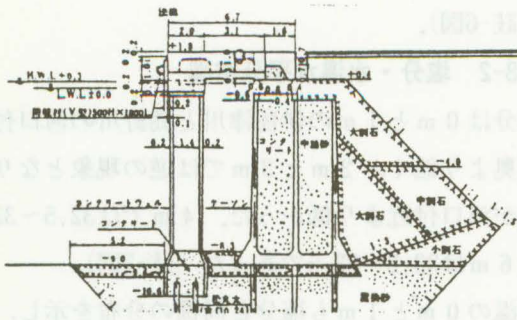


註-3図

註2-5-2 特殊な出港の状況 (その1)

- ① df=3.10 da=3.90 トリム0.80m by the stern 高速警備救難艇を揚降する都合のため、左舷側に7°開いた状態(SH334°)からの出港となった。
② 通常の方式によりII索(バイト)のみとした後、

面一・左+1°・右-3°としたが右転せず、右前(NNE)の風圧と面一・左+6°・右-13°(港内速力ではpp+15°~-13°まで)で、ごく徐々に船尾が開き、II放索。
(①→②約3分所要、…通常では小翼角で約30秒~1分ほどで可)



註-4図

(この埠頭は註-4図から判るように、防舷帯外面からケーソン壁まで約5mあるため、いわゆる「推進器流 (screw current) による岸壁効果」が小さく、これも船尾開を遅らせる一因…但しこれは通常の場合も同様のはず。)

③~④ 通常より少し強めの面一・左+3°・右-8°で錨鎖巻き始めるが、船尾が岸壁に接近、面一・左+7°・右-13°でもなお岸壁に接近、距離1mで錨止、ごく徐々に④となる。

(③→④約5分所要)

⑤~⑥ 又、錨鎖巻くと、船尾岸壁に接近、錨止、徐々に⑥となる。

(⑤→⑥約3分所要)

⑦ 上屋の風陰が終わると、NNE風10~12m/s(風に息あり)、No.3埠頭への圧流が懸念され、面一・左+7°・右-13°、近錨

⑧ 揚錨直前、錨張力で船首左へ回頭、面一・左+8°・右-8°、行脚(船速)をつけるため、錨はdrag状態、揚錨

行脚≒1.0ノット(0.5~1.5ノット)を越えると急に操縦性能が回復。

⑨ No.3埠頭への圧流懸念あり、面一・左+8°・右-3°~0°、さらに行脚をつけながら右回頭

⑩ 充分に行脚がついたら(充分に舵効が生じたら)面一・+3°→両+5°・Co335°→Co20°に変針後両+8°

註2-6-2 特殊な入港の状況(その2)

港内で減速していく間、操船支障等は見られなかった。①に至るまでは通常通りで、ただ用心のため(余裕を持つため)減速の時期を早目にしていた。

① 左-1°~-3°・右+1°・取~取一で左回頭力小

さいため、取一・左-8°・右+3°で漸く定係地向首(これで幽水現象の存在が推察できた。)

② 距離70mで左投錨、徐々に前進(両+1°)

③ 船首10mまで接近、取一・左-8°・右+3°→取一・左-3°・右+1°、II・I索をとる。回頭惰力を維持して④まで。

④ まず、「その場回頭」、取一・左-10°・右+5°(通常では左回頭するが)全く回頭せず、取一・左-13°・右+6°(約3分間)も同じ、次に「片舷後進による回頭」、左-13°・右0°(通常では左回頭するが)全く回頭せず(約5分間)これで幽水現象の存在が確認できたので、その対応として行脚をつけての操縦能力の回復を図る。II・I索を張らないようにして、左-13°・右+5°後進行脚になったら面一(徐々に左回頭)

⑤ II・I索が延びきる前に左-13°・右+8°として後進行脚0で舵中央、前進行脚になったら取一(徐々に左回頭)

⑥ 船首10mまで接近、直前に左-13°・右+5°前進行脚0で舵中央、後進行脚になったら面一(徐々に左回頭)

⑦ ⑤に同じ }  
 ⑧ ⑥に同じ } ⑤、⑥の繰り返して左回頭を積み重ねる。  
 ⑨ ⑤に同じ }  
 ⑩ ⑥に同じ }

IV・III索をとる。前後並行に巻寄せる。

⑪ 係止了 df=2.90, da=3.70

トリム0.80m, by the stern

註2-7-1 幽水現象の残存

(イ) 5月17日1730出港, df=3.10, da=3.90, 風向NW, 風力3, 風浪NW 1, ウネリなし, 天気☉, Ns:Sc, 雲量10, 視程6, 気圧1015hPa, 気温17.0°C, 水温16.0°C, 湿度87%

(ロ) 5月18日0930入港, df=3.10, da=3.90, 風向N, 風力1, 風浪・ウネリなし, 天気☉, Sc:Ac, 雲量5, 視程7, 気圧1023hPa, 気温18.0°C, 水温16.0°C, 湿度74%

(ハ) 5月18日1430出港, df=3.10, da=3.90, 風向NW, 風力3, 風浪NW 1, ウネリなし, 天気☉, 雲量0, 視程7, 気圧1022hPa, 気温17.5°C, 水温

16.0℃, 湿度74%

(二) 5月18日1700入港,  $df=3.10$ ,  $da=3.90$ , 風向 NE, 風力2, 風浪 NE 1, ウネリなし, 天気○, 雲量0, 視程7, 気圧1019hPa, 気温18.0℃, 水温 16.0℃, 湿度72%

註2-8 STDによる観測

5月19日に第八管区海上保安本部水路部が西港の5測点においてSTD観測を実施した。

S (Salinity : 塩分)

T (Temperature : 水温)

D (Depth : 深度)

註2-8-1 塩分・水温鉛直断面図

塩分は0~2m付近までは急激に濃度を増し, 2m付近で顕著な躍層が見られた。2~6mまでは徐々に濃度を増し, 6m以深ではほぼ一定の濃度であった(註-5図)。

水温も塩分と同様の断面を示し, 0~2m付近で急激に水温が下がり, 2~3m付近で躍層が見られ

た(註-6図)。

註2-8-2 塩分・水温水平分布図

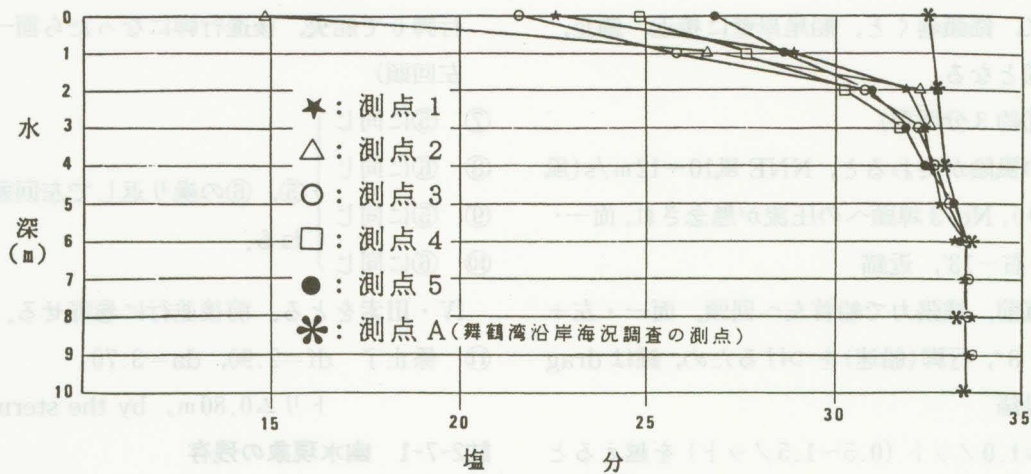
塩分は0mと1mの伊佐津川と高野川の河口付近で港奥より低く, 2mと3mでは逆の現象となり, 港奥が河口付近より低かった。4mでは32.5~32.6を, 6mは33.2~33.5であった(註-7図)。

水温の0mと1mも塩分と同様の分布を示し, 河口付近で高く, 港奥で低く, 2mと3mでは逆に港奥で高く, 港口で低かった。4mと6mの差は0.1℃で6mの方が低い, ほぼ同温であった(註-8図)。

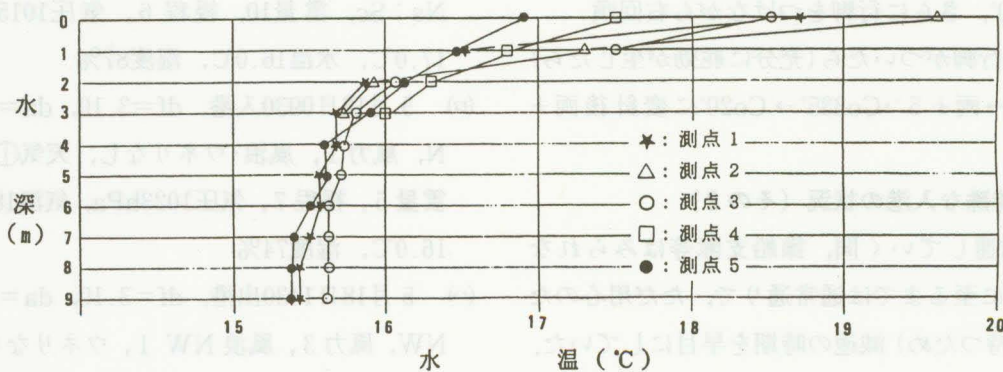
註3-3 舞鶴湾の幽水現象が表面化しなかった理由

(イ) 上層水の厚さが, 湯水期・降雨時期・豪雨洪水時等で異なり, 一方対象となる船舶の推進器の位置は水面下数十cmから数m, 最大で10m位と種々であって, 船舶が一様に幽水現象に遇うことがなかったため, 大きな話題にならなかったこと。

(ロ) 船艇の機動力の向上で, 内部波の速さを超える速力での航行が大部分であり, 内部波の速さ以下

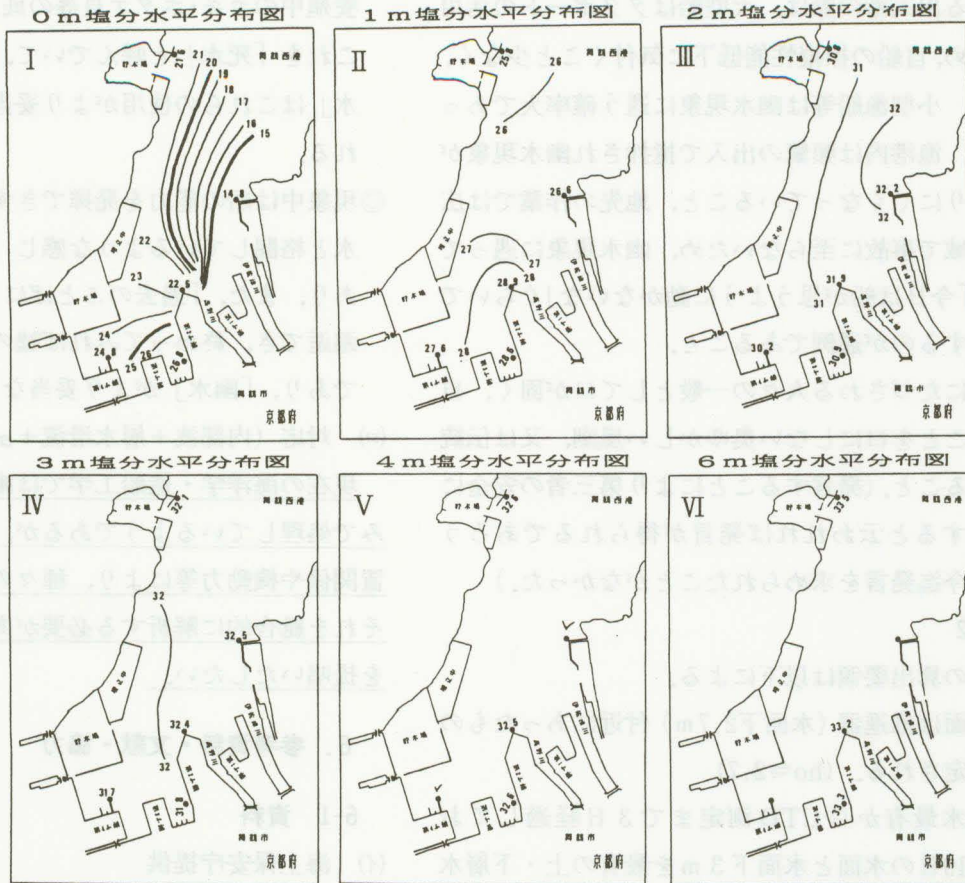


註-5図 塩分鉛直断面図

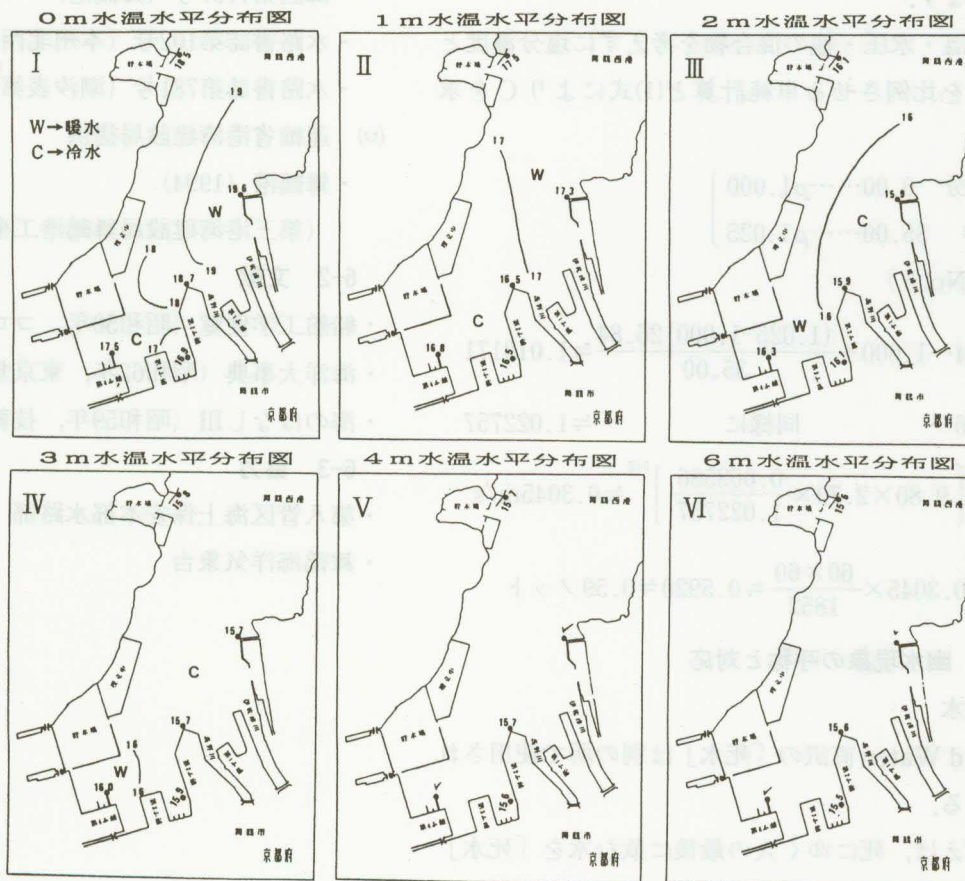


註-6図 水温鉛直断面図

註-7図 (I)  
~ (VI)



註-8図 (I)  
~ (VI)



となる出入港の際は、大型船はタグボートの活用のため、自船の操縦性能低下に気付くこと少なく、また、小型漁船等は幽水現象に遇う確率大であっても、漁港内は頻繁の出入で攪拌され幽水現象が起りにくくなっていること、地先の作業では広い水域で事故に至らないため、幽水現象に遇っても、「今日は船が思うように動かないな」ぐらいで納得するのが通例であること。

- (イ) 海にたづさわる人々の一般として口が固く、自分のことを口にしない奥ゆかしい風潮、又は伝統があること。(発言することにより第三者の安全に寄与すると云われれば発言が得られるであろうが、今迄発言を求められたことがなかった。)

註3-4-2

(5)値の算出要領は以下による。

- (イ) 界面は推進器(水面下2.7m)付近にあったものと推定される。(ho≒2.7)
- (ロ) 幽水最有からCTD測定まで3日経過しており、19日の水面と水面下3mを最有の上・下層水とみなす。
- (ハ) 水温・水圧・他の混合物を考えずに塩分濃度と密度を比例させる単純計算と(1)式によりCを求める。

$$\begin{pmatrix} \text{塩分} & 0.00 \cdots \cdots \rho 1.000 \\ \text{"} & 35.00 \cdots \cdots \rho 1.025 \end{pmatrix}$$

例 (No.5)

$$26.84 \cdots 1.000 + \frac{(1.025-1.000) 26.84}{35.00} \approx 1.019171$$

$$31.86 \cdots \quad \text{同様に} \quad \approx 1.022757$$

$$C \approx \left( 9.80 \times 2.70 \times \frac{0.003586}{1.022757} \right)^{1/2} \approx 0.3045 \text{m/s}$$

$$= 0.3045 \times \frac{60 \times 60}{1852} \approx 0.5920 \approx 0.59 \text{ノット}$$

註3-6 幽水現象の呼称と対応

- (イ) 幽水

◎ Dead Water 直訳の「死水」は別の所で使用されている。

例えば、死にゆく人の最後に飲む水を「死水」といい、また湾口の防波堤(出入口にも潜堤あり)により、湾内の底水が外洋と循環できなくなり、

養殖中のカキ・ホタテ貝等の底水の部分が死滅し、これを「死水」と呼んでいて、状況説明から「死水」はこれらの使用がより妥当ではないかと思われる。

◎現象中は船の能力を発揮できず、あたかも幽霊の水と格闘しているような感じ(幽霊水→幽水)であり、また、「過去のことばになっている現象」に邂逅でき、終わってみれば嘘のよう、まるで幽霊であり、「幽水」がより妥当なように思われる。

- (ロ) 対応 (内部波+層水滑流+α)

現在の海洋学・造船工学では幽水現象を内部波のみで処理しているようであるが、推進器と界面の位置関係や機動力等により、種々の場合が考えられ、それを総合的に解析する必要があると思われ、これを提唱いたしたい。

6. 参考資料・文献・協力

6-1 資料

- (イ) 海上保安庁提供
  - ・海図第1167号(舞鶴港)
  - ・水路書誌第102号(本州北西岸水路誌)
  - ・水路書誌第781号(潮汐表第1巻)
- (ロ) 運輸省港湾建設局提供
  - ・舞鶴港(1994)
  - (第三港湾建設局舞鶴港工事事務所)

6-2 文献

- ・船舶工学便覧(昭和50年, コロナ社)
- ・海洋大事典(昭和62年, 東京堂出版)
- ・海のはなしIII(昭和59年, 技報堂出版)

6-3 協力

- ・第八管区海上保安本部水路部
- ・舞鶴海洋気象台