

来島海峡の潮流等の航行環境への  
影響に関する研究

平成18年12月

多田光男



## 目 次

第1章 序論	1
1.1 来島海峡の特徴	1
1.2 これまでの来島海峡の航行環境や潮流に関する研究の状況	4
1.3 本研究の目的	5
1.4 論文の構成とその概要	7
第2章 来島海峡東口付近の海上交通の現状	11
2.1 はじめに	11
2.2 交通量観測の概要	13
2.3 解析及び考察	15
2.4 おわりに	24
第3章 観測機器の性能・精度と解析ツールの開発	25
3.1 はじめに	25
3.2 3D解析ツールの開発とその特徴	26
3.3 3D解析ツールのプログラミングの流れ	30
3.4 3D解析ツールを用いた解析例	32
3.5 ADCPの性能・精度	34
3.6 CTDの性能・精度	35
3.7 CTDで求められる塩分及び密度	36
3.8 おわりに	39
第4章 弓削島・浜都湾の流況調査	40
4.1 はじめに	40
4.2 観測の概要等	41
4.3 解析及び結果	46
4.4 おわりに	57





第 5 章 来島海峡南東部の潮流の特徴 .....	59
5. 1 はじめに .....	59
5. 2 観測場所、観測目的及び観測の方法 .....	59
5. 3 解析結果及びまとめ .....	63
5. 4 おわりに .....	68
第 6 章 来島海峡水道部の潮流の船体に及ぼす影響 .....	69
6. 1 はじめに .....	69
6. 2 観測概要 .....	69
6. 3 観測・解析結果 .....	72
6. 4 おわりに .....	87
第 7 章 来島海峡南東部の潮汐フロント構造の観測 .....	88
7. 1 はじめに .....	88
7. 2 観測の概要 .....	91
7. 3 C T D 観測の解析結果 .....	94
7. 4 A D C P 観測の解析結果 .....	100
7. 5 まとめ .....	104
7. 6 おわりに .....	104
第 8 章 結論 .....	106
付録 A 来島海峡の通航方法の史的考察 .....	110
A-1 はじめに .....	110
A-2 分離通航方式の利点と推薦航路の意義 .....	110
A-3 明治時代の来島海峡の通航方法 .....	111
A-4 「順中逆西の航法」の習慣化と慣習法としての成立時期 ..	115
A-5 「順中逆西の航法」の法制化とその潜在危険性の顕在 .....	119
A-6 流れのある海域における航法慣習に対する考察 .....	122
A-7 おわりに .....	124



付録 B	主な用語の解説	126
B - 1	「順中逆西の航法」	126
B - 2	「右側通航」	126
B - 3	A D C P	127
B - 4	C T D	127
B - 5	ケーブル (Cable)	127
B - 6	ノット (Knot)	127
B - 7	ロラン C	128
B - 8	G P S	128
B - 9	船体運動収録装置	128
B - 10	潮汐フロント	128
付録 C	3 D 解析ツールのプログラム	129
付録 D	弓削島浜都湾潮流ベクトル表示プログラム	139
付録 E	来島海峡南東部潮流ベクトル表示プログラム	144
謝辞		147
参考文献		148



# 第 1 章 序論

## 1. 1 来島海峡の特徴

来島海峡は瀬戸内海のほぼ中央部に位置し、今治と伊予大島とに挟まれた海域をいい、燧灘と安芸灘をつなぐ瀬戸内海の要衝である<sup>1)</sup>。この海域には、武志島、小武志島、中渡島、馬島、小島、津島、来島などいくつかの島があり、これらの島がいくつかの水道を形成し、これらを含んだ海域を総称して来島海峡と呼んでいる。

来島海峡という呼称のもとになっている来島は、対岸の波止浜から手を伸ばせば届きそうな程近くにある小さな島である。来島には中世の頃芸予海域一帯で活躍した三島水軍（因島村上水軍、能島村上水軍、来島村上水軍を総称して三島水軍といたり、三島村上水軍と呼んでいた。）の本拠地の一つがあり、潮流という自然の防壁に囲まれ、根城としては理想的な環境にあったようである<sup>2)</sup>。

しかし、時代が変わり、来島海峡周辺海域が船舶交通の重要な通航路として利用されるようになってくると、この潮流の影響がむしろ航行上の至難な障害となっていることは否定できない。

図 1-1 には、来島海峡付近の概要図を示す。

来島海峡の特徴を列記してみると、概略以下のように整理することができる。

### 1) 潮流が速く、通航路が狭い。

来島海峡には船舶の通航に利用されている水道は、中水道、西水道、小島・波止浜間の水道、東水道の 4 つである<sup>1)</sup>。

中水道は馬島と中渡島間の水道で、最狭可航幅は約 400 m<sup>1)</sup>である。来島海峡航路の一部を構成する主要な通航路となっている。潮流は他の水道に比べ最も速く、最強時は約 10 ノットを超える<sup>1)</sup>。水道は比較的直状である。

西水道は馬島と小島間の水道で中水道と同様に来島海峡航路の一部



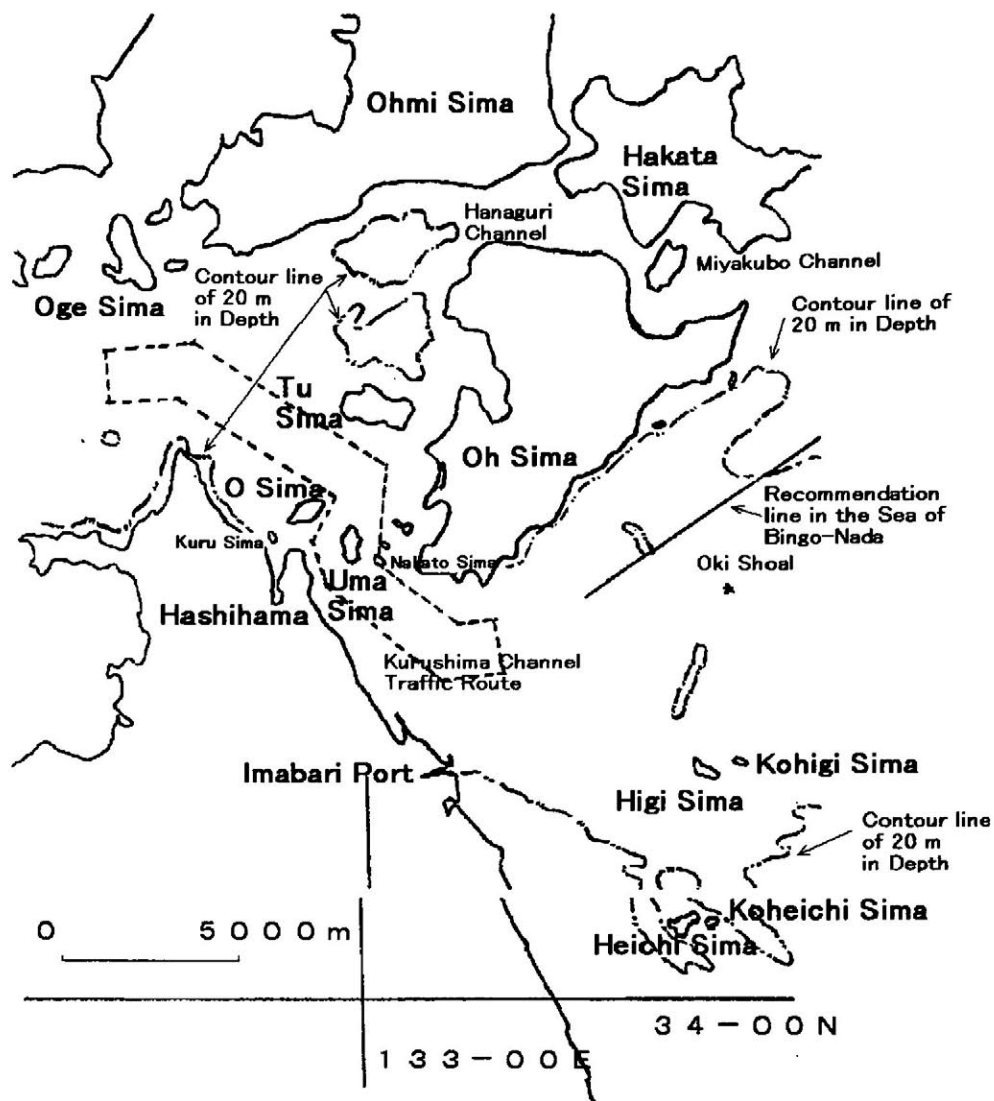


図 1 - 1 来島海峡付近の概要図

を構成する主要な通航路となっている。最狭可航幅は約 900 m<sup>1)</sup>である。潮流は中水道に比べると幾分弱い（中水道の最強流速の約 0.9 倍<sup>1)</sup>）。水路が大きく屈曲している。

小島・波止浜間の水道（来島の瀬戸）は、小島と波止浜の水道で、最強流速は中水道の最強流速の約 0.3 倍<sup>1)</sup>であり、長さ 50 m 未満の小型船や漁船の利用が中心である。

東水道は大島と中渡島の間で、最強流速は中水道の最強流速の約 0.6 倍<sup>1)</sup>である。主に島嶼部廻りの小型定期旅客船や小型フェリ



一や漁船の利用が中心である。

2) 船舶通航量が多く、また、漁船も多い。

海上保安庁の調査<sup>3)</sup>によれば、1日平均通航量は一般船舶で800隻前後、漁船で300隻前後となっている。また、海峡内の海底地形は複雑で、場所によっては水深100mを超える海釜が幾つもあり、来島海峡は鯛やアコウなどの好漁場として、毎日多くの漁船が出漁している。

3) 航路が屈曲し見通しが悪く、時期的には濃霧が多発する。

来島海峡は上空から見ると、ちょうどアルファベットの「Z」の文字のように屈曲しており、水道に入る反航船の状況がわかりにくい。

また、4月から6月頃には雨が降ると濃霧が多発<sup>1)</sup>し、通航条件を悪くしている。

4) 通航方法(「順中逆西の航法」\*)の持つ潜在的な危険性がある<sup>4)</sup>。

海上衝突予防法などに規定される一般的な航法原則は「右側通航」であるが、来島海峡は潮流の方向によって通航する水道を変えるという独特の通航方法である「順中逆西の航法」を採用しているため、南流時には航路で「左側通航」となり、航路出入口付近で船舶交通の流れに「交差」が発生することになる。また、転流時は現在通航中の水道を引き続き通航することができるので、各水道の最狭部で「行会い」の発生する可能性があり、一方通航を採用している趣旨に反する場合ができる。

図1-2には、航路内の「右側通航」と「左側通航」の模式図を示す。

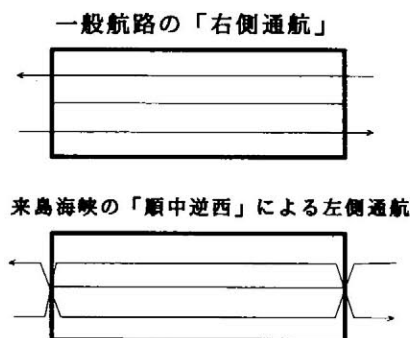


図1-2 航路内の「右側通航」と「左側通航」の模式図

\* 「順中逆西の航法」とは、来島海峡航路の通航方法として海上交通安全法（昭和47年法律第115号）に規定されている航法である。同法によれば同航路を順流時に通航する船舶は中渡島と馬島間の中水道を航行し、逆流時に通航する船舶は馬島と小島間の西水道を航行するように規定されている（同法第20条第1項参照）。中水道と西水道という2つの水道を利用して船舶交通の通航分離を図っているが、潮流の方向によって通航水道を変える変則的一方通航を採用している海域は世界的にも珍しい（詳細については付録Aを参照）。

上記の特徴の中で来島海峡の独特の通航方法である「順中逆西の航法」ともっとも関わりが深いのは潮流影響であり、通航方法ばかりでなく、霧の問題や漁船の問題なども、その起因は来島海峡の潮流に結びつくといえる。

来島海峡の海難事故は年間10～15件程度発生している<sup>3)</sup>。この状況は現在でもほとんど変わっていない。来島海峡での海難事故の2大類型は「衝突」と「乗揚げ」で、この海域での全海難事故の約8割を占めている。事故原因については海難審判庁の裁決録に詳しく記述されている。この中には来島海峡独特の通航方法の危険性が顕在化したと思われるものも多数見られる<sup>5)</sup>。

## 1. 2 これまでの来島海峡の航行環境や潮流に関する研究の状況

来島海峡は、昭和4(1929)年に「内海水道航行規則」(昭和4年通信省令第3号)によって、いわゆる「順中逆西の航法」が規定されて以後、基本的には同じ航法が昭和47(1972)年制定の現行「海上交通安全法」(昭和47年法律第115号)に受け継がれている。

現在まで来島海峡の航法の問題点や航法の見直し(「順中逆西」から「右側通航」への改正)が提言・検討されてきている<sup>5)~11)</sup>。しかし、最終的には来島海峡の海上交通に潮流がどのように影響しているのか不明な部分が多いため、なかなか改正に踏み切れないのが現状である。



また、来島海峡の海上交通や航行環境と潮流に関連しては以下のような研究報告や提言がなされている。

神戸海難防止研究会(1953)<sup>12)</sup>は中渡島潮流信号所の可視範囲や潮流信号転換時刻と潮汐表予報値とのズレの問題等を指摘している。杳名ら(1959)<sup>13)</sup>は潮流信号を潮汐表の推算値に基づいて表示することを提言し、第六管区海上保安本部でも潮汐表の予報値の精度が実務レベルでも航海に支障ない程度にまで向上してきていることを考慮し、潮流信号表示の基礎に潮汐表予報値を採用することが合理的であると指摘<sup>14)</sup>している。実務的には昭和43(1968)年に潮流信号所の信号方法を改正(昭和43年海上保安庁告示第83号)して、潮汐表予報値を用いるようになった。

来島海峡の潮流調査については、第六管区海上保安本部(1964)<sup>15)</sup>が航空写真をもとに最強時期の流況及び渦流の調査を行っている。また、運輸省第三港湾建設局神戸調査設計事務所(1971)<sup>16)</sup>は観察や写真撮影によって来島海峡の渦流調査を行っている。藤原(1981)<sup>17)</sup>はフロート追跡による手法で来島海峡の潮流観測を行った。しかし、全般に来島海峡における潮流の調査は困難であり、かつ、調査例も少ないのが現状である<sup>18)</sup>。

小瀬ら(1998)<sup>19)</sup>はシミュレーションを利用した来島海峡における操船と潮流影響に関して報告を行っている。しかし、潮流データは推定値で、かつ、マクロ的なものを利用している。他にも来島海峡において船体運動を計測し、潮流影響を推定した報告<sup>20)</sup>もあるが、潮流の観測は行われていない。

### 1.3 本研究の目的

本研究では来島海峡の海上交通の安全を確保し海難を予防しようとする見地から、来島海峡海域の潮流等と船舶交通の関係を多面的に調査・観測し、もって潮流等の航行環境への影響を明らかにすることを目的としている。

ここで、「潮流等」とは来島海峡の潮流だけでなく、潮流と地形との相互影響によって形成される潮流渦あるいは来島海峡海域と燧灘海域との海水の水温

や塩分の違いによって形成される潮汐フロントを包含した概念である。また、「航行環境」とは船舶の航行に影響を及ぼすであろう様々な環境因子のことであるが、本研究では特に来島海峡特有の通航方法や海上交通流、地形、船体運動や操縦性能、漁船、遊漁船の集合・離散などの動向あるいは来島海峡海域で海難事故が発生した場合の汚染物質の挙動や霧等を念頭に置いている。

次に具体的な研究の手順とその関連を示す。

#### (1) 来島海峡の潮流が海上交通流に及ぼす影響

航路出入口付近で交通流の観測を実施し、潮流の流れる方向によって海上交通流が受ける影響を解析によって明らかにする（第2章関連）。

キーワード 「順中逆西の航法」、「右側通航」、「交差」、「交通流の偏位」

#### (2) 潮流の可視化ツールの開発

潮流の可視化のために必要な潮流ベクトル表示ツールや3次元解析ツールを開発し、解析に利用する（第3章関連）。

キーワード 「潮流の可視化」、「3D解析ツール」

#### (3) 観測方法の工夫

船舶の輻輳海域や狭水道、浅水域など観測上の制約を受ける海域での観測の効率化を図るために、観測船の設定方法や疑似同時観測手法の採用など観測方法の工夫を行う（第4章関連）。

キーワード 「浅水域」、「疑似同時観測」、「潮流ベクトルの同時表示図」

#### (4) 来島海峡の潮流及び潮流渦と地形との関係

A D C Pを用いた時系列観測、空間分布観測、あるいは2隻の観測船での同時観測などを実施し、潮流や潮流渦の現況と地形影響を解析によって明らかにする（第5章関連）。

キーワード 「A D C P」、「潮流渦」、「時系列観測」、「同時観測」

#### (5) 来島海峡の潮流と船体運動との関係

A D C Pと船体運動収録装置を用いた同時・時系列観測を実施し、来島海峡の水道部航行時の潮流の船体運動に及ぼす影響を解析によって明らかにする（第6章関連）。

キーワード 「船体運動収録装置」、「水道部の潮流」、「順圧流」

#### (6) 来島海峡の潮汐フロントと漁船等の動向、汚染物質の挙動、霧の関係



A D C P、C T Dによる来島海峡起源の潮汐フロントの時系列観測を実施し、水温等の鉛直分布、空間分布や潮時変動による時系列変化の現況と潮汐フロントの密度構造を明確にし、漁船等の集合・離散や汚染物質の挙動、霧との関連などを明らかにする（第7章関連）。

キーワード 「C T D」、「潮汐フロント」、「鉛直分布」、「密度構造」

## 1. 4 論文の構成とその概要

本論文は、第1章序論から第8章結論まで本文6つの章からなっている。以下、章を追って論文の内容を概説する。

### 第1章 序論

本章では、本研究の背景や関連研究についての概要を述べ、研究目的を提示する。また、本論文の構成を章ごとに概説する。

### 第2章 来島海峡東口付近の海上交通の現状<sup>21)</sup>

本章では、来島海峡東口付近で行った目視観測及びレーダ観測の解析結果に基づいて、海上交通の現状を述べるとともに、来島海峡の潮流が航行環境にどのような影響を与えているかを海上交通流の分布状況を例に明らかにしている。

### 第3章 解析ツールの開発<sup>22)</sup>と観測機器の性能・精度

本章では、解析に使用するために新しく開発した3次元解析ツールについて、その特徴を解析事例をまじえながら紹介し、併せて本研究で使用した主な観測機器の性能や精度を明らかにしている。

### 第4章 弓削島・浜都湾の流況調査<sup>23)</sup>

本章では、弓削島・浜都湾で行った超音波ドップラー流速計（Acoustic Doppler

Current Profiler、以下ADCPという。)による潮流観測の解析結果を述べる。調査船を用いた現地観測では、効果的・効率的な観測が期待される。ここでは1隻の調査船で3本の設定観測線上をそれぞれ1日ずつ3日間にわたって行った観測結果から、あたかも3隻の調査船を用いて同時観測を行ったのと同じ解析結果を得ることができた。

## 第5章 来島海峡南東部の潮流の特徴<sup>24),25)</sup>

本章では、2隻の調査船による同時観測によって来島海峡南東部海域にその存在がフロート追跡などの観測調査から指摘されていた主流域と反流域からなる楕円状の潮流渦を初めてADCP観測によって明らかにした。併せて、連続観測の結果から時系列変化の状況や海底地形との関係などについても明らかにし、その特徴を実測によって可視化することに成功した。

## 第6章 来島海峡水道部の潮流の船体に及ぼす影響<sup>26)</sup>

本章では、来島海峡航路内で行った潮流の実測データと併せて収録した船体運動データを関連づけながら、来島海峡航路通航時に船体がどのように潮流の影響を受け、かつ、どのような運動が引き起こされるのかについて、順流での中水道航行時及び逆潮での西水道航行時を例として解析結果に基づいて考察を加え、来島海峡の流れが船舶の通常喫水に与える影響はほとんど表層流れと一致していることを鉛直多層観測によって明らかにしている。

## 第7章 来島海峡南東部の潮汐フロント構造の観測<sup>27),28)</sup>

本章では、来島海峡海域で海難事故が発生した場合の船舶起源の水溶性汚染物質の拡散挙動や漁船・遊漁船の集合・離散あるいは霧の発生に影響を及ぼすと考えられる潮汐フロント(潮目)の構造の観測結果について述べる。

来島海峡起源の潮汐フロントは加熱期に相当する夏季にだけ出現するものである。潮汐フロントと来島海峡の強潮流との関係は深く、潮汐フロント形成場所付近は良好な漁場であるので漁船などが密集し、海上交通に大きな影響を及ぼす可能性がある。一方では、海難の多発海域である来島海峡で海難事故により汚染物質が流出した場合、潮汐フロントが形成されない冬季と同フロントが



形成される夏季では海水の密度構造が異なるため、拡散挙動に大きな違いが発生する。また潮汐フロントを境に水温の不連続線が生じるため霧の発生にも影響を及ぼしている。したがって、来島海峡周辺海域の潮汐フロント形成場所の特定とその鉛直物理構造や潮時変化による時系列変動の状況を正確に把握しておくことは来島海峡の航行環境を考える上で大切な要素となる。本章では、上記の事象を観測によって明らかにしている。

## 第8章 結論

本章では、本論文の総まとめを行うとともに、今後の研究課題について述べる。

### 付録A 来島海峡の通航方法の史的考察<sup>29)</sup>

本付録では、来島海峡で採用されている世界でも珍しい通航方法である「順中逆西の航法」について、萌芽、成長、成熟の様子を述べ、併せて来島海峡が船舶の通航路として利用され始めた頃からの通航状況や通航方法の検討に影響を与えた海難について文献調査した結果を紹介し、来島海峡の通航方法に対する規則が潮流との関係でどのように整備されてきたのかを明らかにしている。

### 付録B 主な用語の解説

本文中で登場する専門略語、用語などの簡単な解説を付した。

### 付録C 3D解析ツールのプログラム

来島海峡の潮流可視化ツールとして Visual BASIC 言語を用いて開発した3D解析ツールのソースファイルを参考として付した。

### 付録D 弓削島浜都湾潮流ベクトル表示プログラム

弓削島・浜都湾で行った潮流調査の解析用としてC言語を用いて作成した潮流ベクトル表示プログラムのソースファイルを参考として付した。

### 付録E 来島海峡南東部潮流ベクトル表示プログラム

来島海峡南東部で行った潮流調査の解析用としてBASIC言語を用いて作成した潮流ベクトル表示用プログラムのソースファイルを参考として付した。

図1-3には本論文の第1章から第8章までの構成を示す。

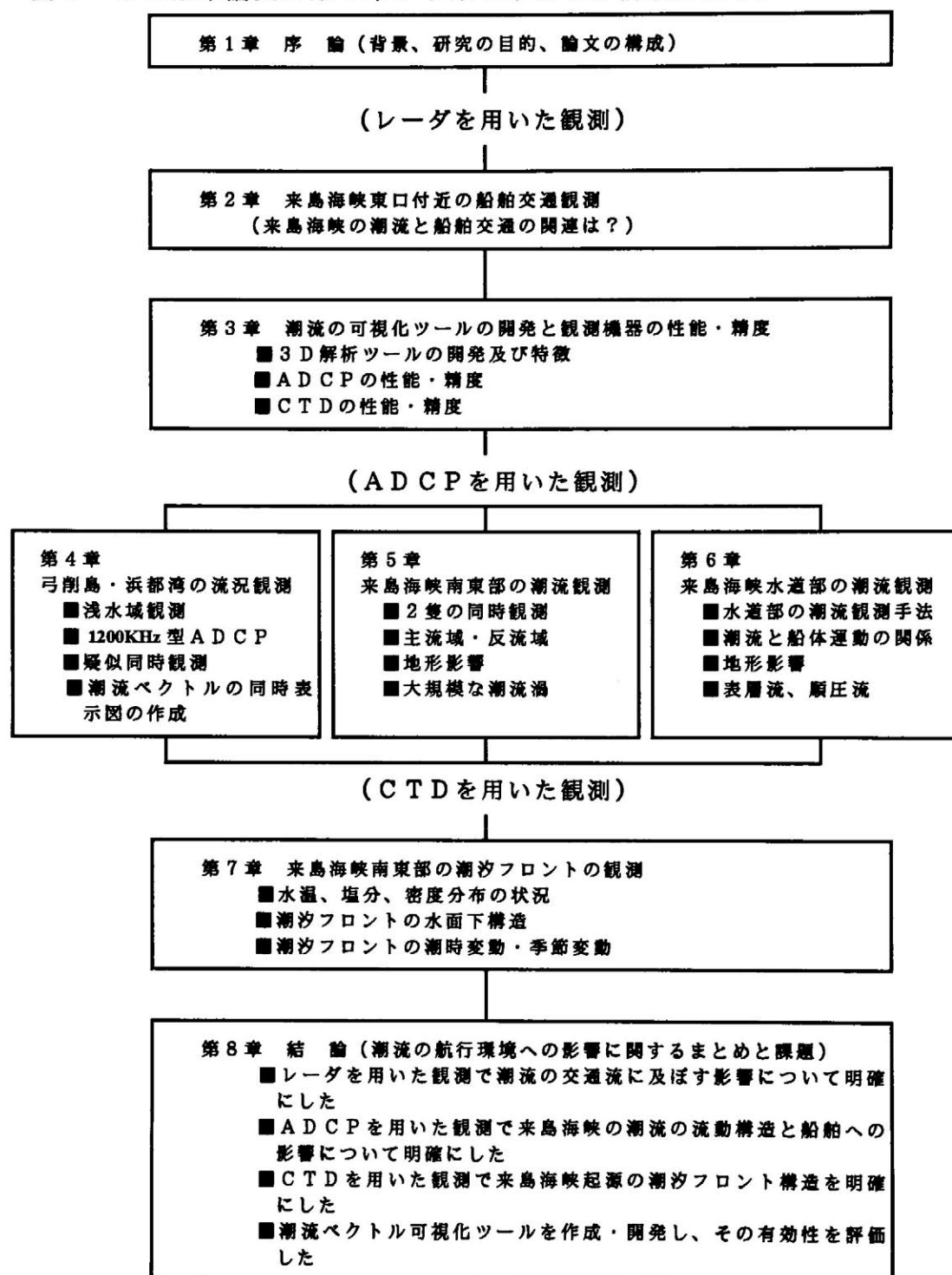


図1-3 本論文の構成

## 第2章 来島海峡東口付近の海上交通の現状

### 2.1 はじめに

来島海峡は瀬戸内海のほぼ中央部に位置し、燧灘と安芸灘を結ぶ海上交通の主要な航路となっている。

同航路は、長さ約8.3マイル(15.4キロメートル)、幅約1500メートルで、最狭部の中渡島・馬島間(中水道)の可航幅は約400メートルである<sup>1)</sup>。

過去の通航船の記録としては、最大トン数で11万6427総トン、最大喫水で18.3メートルの船舶の通航が挙げられている<sup>2)</sup>。

図2-1には、最近5カ年間の来島海峡の1日当たりの通航船舶数を示す。

また、図2-2には、同じく最近5カ年間の来島海峡における海難事故の発生状況を示す。

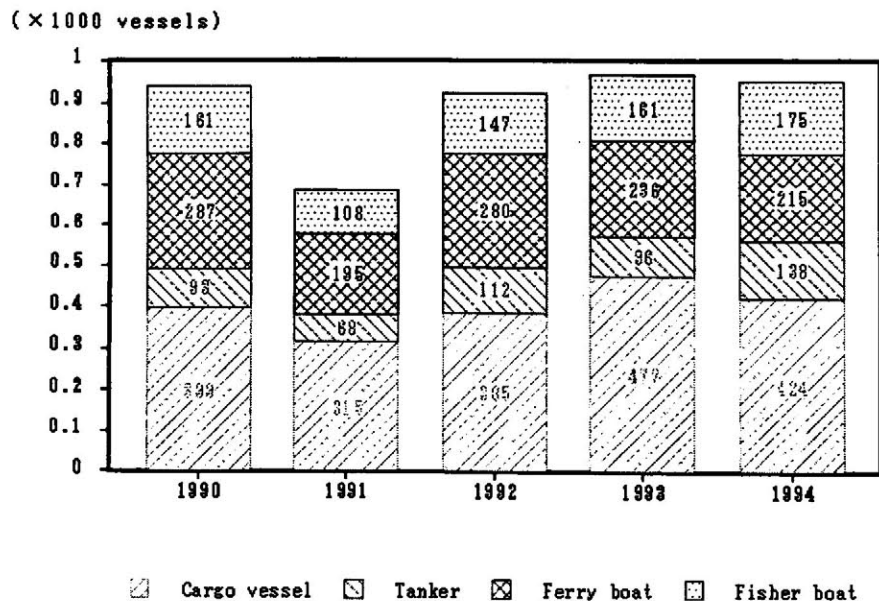


図2-1 来島海峡航路の1日当たりの船舶通航量<sup>3)</sup>



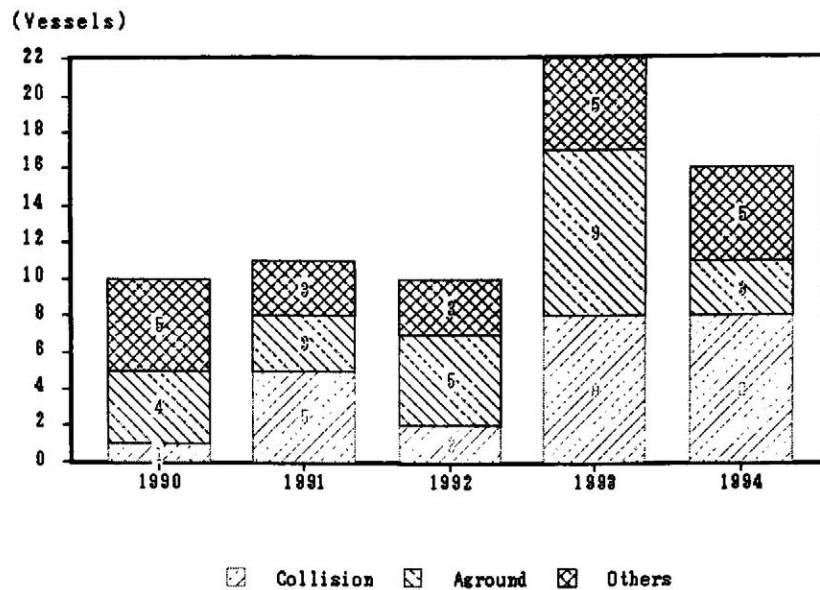


図 2 - 2 来島海峡の海難発生件数の推移<sup>3)</sup>

来島海峡は、独特の通航方法である「順中逆西の航法」が採用されていることでも有名で、このため周辺 5 ヶ所に潮流信号所が配置され、電光表示・灯火・腕木・無線等でその時の潮流の状況が航行船舶に周知されている。

ここ数年で、来島海峡航路内の航行支援設備等に次のような改善が施されている。

- 1) 1989 年 中渡島潮流信号所の腕木信号の大型化
- 2) 1990 年 来島海峡航路第 7 号灯浮標にレーダービーコンを装備し、来島海峡航路東口無線方位信号所と改称
- 3) 1998 年 来島海峡海上交通センター（来島マーチス）の開設

来島海峡の場合、航路内の灯浮標への船舶の衝突事故は年間に 7 ～ 8 件程度発生しているが、来島海峡航路東口に設置されている来島海峡航路第 8 号灯浮標に対するものが過半数を超え、ついで同じく来島海峡航路東口無線方位信号所（第 7 号灯浮標）に対するものが 3 割程度、ついで第 4 号灯浮標、第 2 号灯浮標の順となっている<sup>3)</sup>。

来島海峡は航路出入口付近での船舶交通流の交差の危険性がこれまでも指

摘されていた<sup>5)~10)</sup>。特に東口で多い航路浮標への衝突事故の原因を調べるために1993年5月に実施した来島海峡東口付近での船舶通航量の観測結果から、来島海峡東口付近の海上交通の現状を明らかにしておく。

## 2.2 交通量観測の概要

来島海峡東口付近を見渡すことができる場所として、大島の江越付近の広場を観測場所に設定し、目視線は観測場所と比岐島南西端を結ぶ線とした。

図2-3に観測海域の概要及び設定目視線を示す。

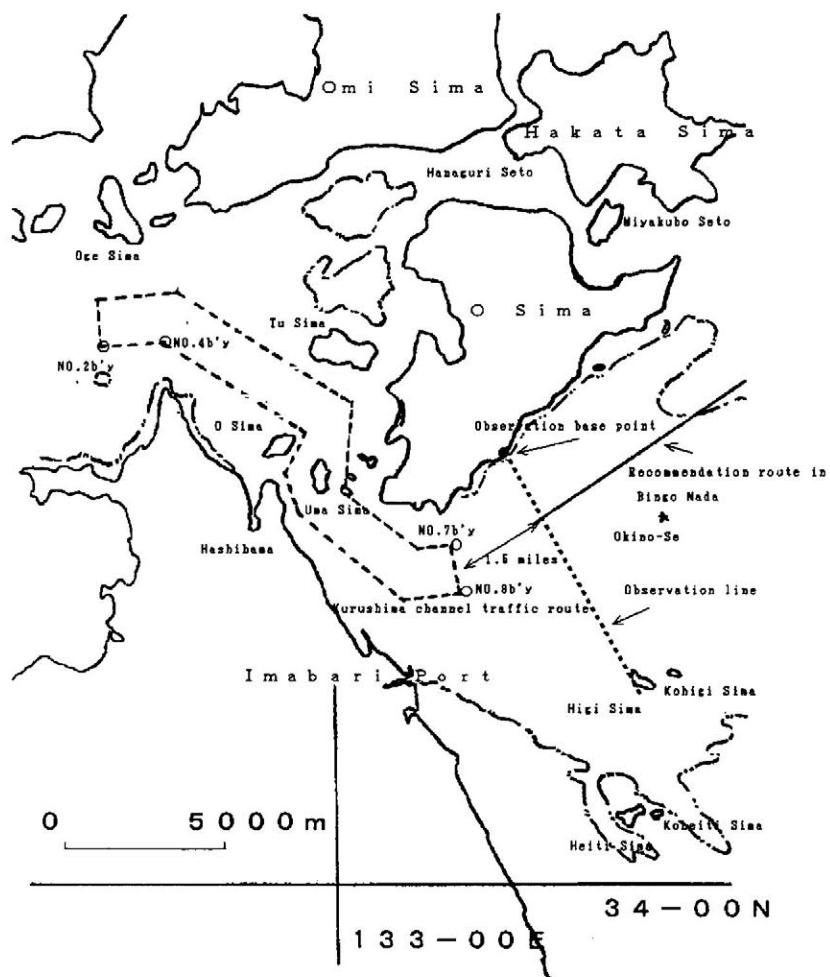


図2-3 観測海域の概要及び設定目視線

観測は1993年5月3日15時から5月5日15時までの48時間にわたって実施した。観測員は合計6名で2名ずつ3つの班を編成し、交替しながら連続して観測にあたった。

観測方法は目視観測とレーダ観測を併用し、目視線通過時刻、目視線通過距離、船種、大きさ等と毎時間の気象データを野帳に記録し、かつ、船舶の航跡を記録するため6分間隔でレーダ映像をカメラで撮影した。

なお、観測に用いたレーダは航跡プロット機能を持った光電製作所のカラーレーダ（MD-407S）である。

レーダスキャナは観測場所至近の標高約30mの見晴らしの良い場所を選び、高さ約1mの専用脚立に載せて設置した。

観測期間中の天候は曇りのち晴れで、風はほとんどなく、視界は良好であった。月齢は11.1～13.1で大潮に近い時期であった。

表2-1には、観測期間中の来島海峡の潮流の状況を示す。

表2-1 観測期間中の来島海峡の潮流の状況

Date	Slack time	Max. time	Dir	Speed
May 3rd	02:46	05:53	S	5.7Kt
	08:57	12:07	N	6.0Kt
	15:12	18:22	S	6.6Kt
	21:31	—	—	—
May 4th	—	00:38	N	6.4Kt
	03:46	06:46	S	6.4Kt
	09:44	12:55	N	7.0Kt
	15:59	19:12	S	8.0Kt
	22:23	—	—	—
May 5th	—	01:30	N	7.2Kt
	04:37	07:33	S	6.8Kt
	10:25	13:38	N	7.7Kt
	16:43	19:56	S	9.0Kt
	23:11	—	—	—



## 2.3 解析及び考察

図2-4に来島海峡東口付近の1日平均船舶通航量を示す。

船種は図2-1と同じ分類で行い、比較しやすいようにした。旅客船等は定期旅客船航路との関係で観測場所によってかなり増減があり、今回観測を行った来島海峡東口付近は九州と阪神方面を結ぶ長距離フェリーを除けば、比較的定期旅客船航路の少ない海域であるといえる。また、一般貨物船等に関しては、観測日が5月連休時期であったため、通常の交通量を代表しているとは考えにくい。

図2-5は来島海峡東口付近の時間別方向別の船舶通航量を観測期間にわたってプロットしたものである。

この図を見ると、東航船、西航船ともに終日平均的な通航量があることが判る。一般に都市近郊では、夜間になると船舶通航量が急激に減少する。一方、夜間に比較的通航量の多い来島海峡は都市型の通航形態というよりは長距離型の通航形態と推察できる<sup>30)</sup>。

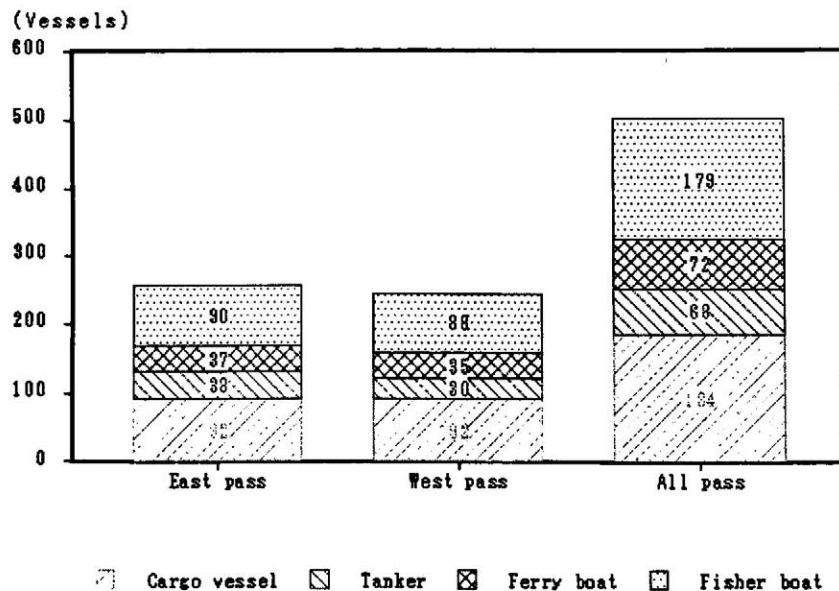


図2-4 来島海峡東口周辺海域の1日平均船舶通航量

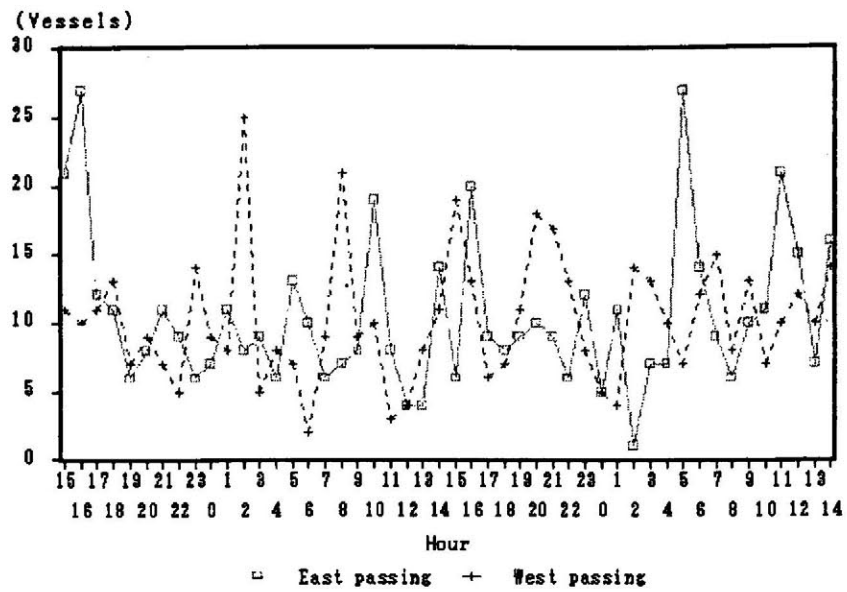


図 2 - 5 来島海峡東口周辺海域の時間別・方向別船舶通航隻数

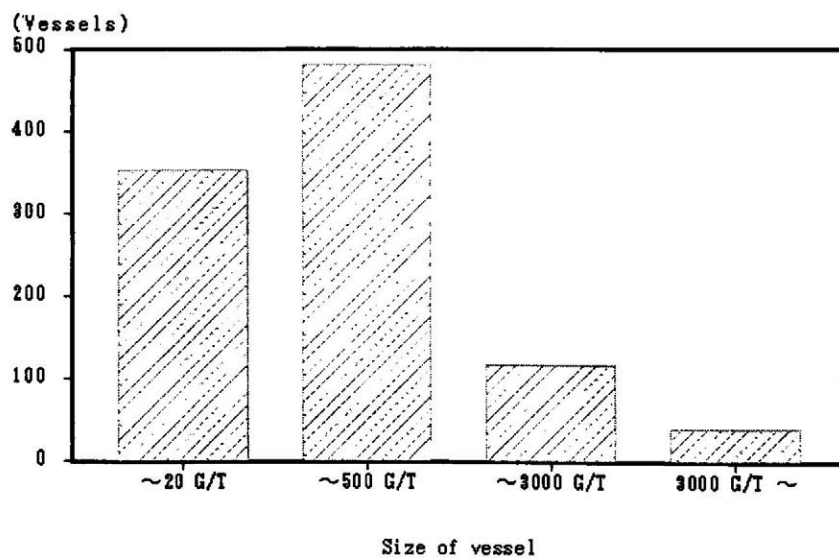


図 2 - 6 来島海峡東口周辺海域の大きさ別船舶通航隻数

図 2-6 には、来島海峡東口付近の大きさ別船舶通航隻数を示す。

総トン数 500 トンの船舶は長さでは 50 m 相当、同じく 3000 トンの船舶は 100 m 相当とみなすことができる。

図 2-6 から判るように、来島海峡通航船舶の大半は総トン数 500 トン未満の小型船であるといえる。また、総トン数 3000 トンを超える船舶の大半は長距離大型カーフェリーで占められ、大型の一般貨物船等の航行はまれであるといえる。

一般に単位時間に設定目視線を通過する船舶の通航隻数は典型的なポアソン分布であるといわれている<sup>30)</sup>。

図 2-7 は目視線を通航した船舶の時間間隔を方向別にヒストグラム化したものを示す。

この図を見るとポアソン分布していることが判る。

今回の観測における東航船の単位時間当たりの通航隻数は約 10.4 隻、平均通航時間間隔は約 5.7 分、同様に西航船の場合それぞれ約 10.2 隻、約 5.8 分となった。

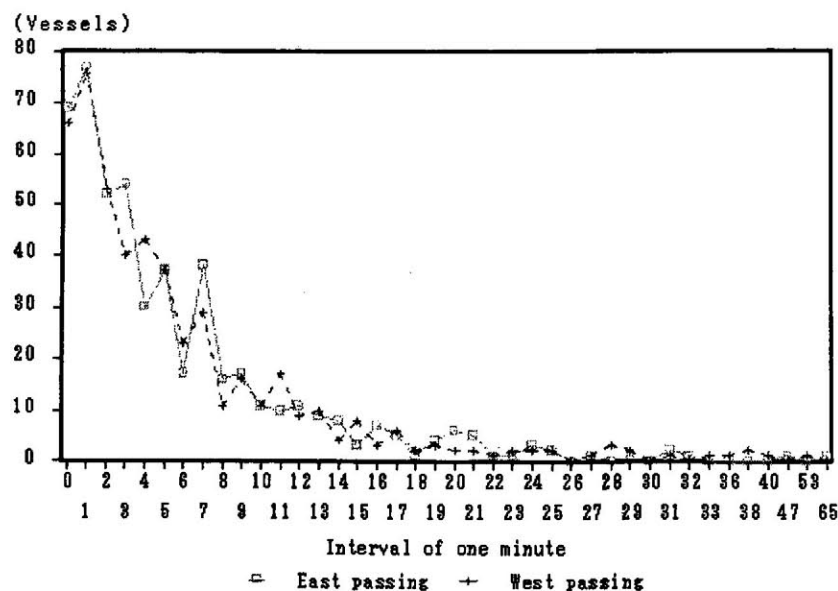


図 2-7 来島海峡東口周辺海域の通航船時間間隔

この数値を可航幅 700 m 程度の平均的一方通航航路内を平均 12 ノット程度の速力で航行する船舶に置き換えて計算してみると、その密度は約 0.6 隻 / km<sup>2</sup> となる。

今回の観測データがこの海域の平均的な交通量を代表しているわけではないが、この数値を過密海域<sup>30)</sup>といわれる明石海峡の約 3 隻 / km<sup>2</sup>と比較して見ると、来島海峡東口周辺海域は明石海峡に比し過密海域ということはできない。

図 2-8 及び図 2-9 には、それぞれ来島海峡の南流時及び北流時における通航船舶の目視線通過状況を示す。

来島海峡航路は、潮流の方向によって通航する水道を変えなければならないという「順中逆西の航法」が採用されている。このため、南流時には来島海峡航路内は「左側通航」となり、航路出入口付近では船舶の一般的な通航方法である「右側通航」から一時的に通航方法の切り替えが必要となる。このため衝突の危険性の高い「交差」が発生することになる。

この「交差」が目視線付近で見られるかどうかがこの解析のポイントである。

今回観測で用いた目視線は、来島海峡航路東側出入口から約 1.5 マイル東方に離れたところに設定してある。

解析には転流時の影響をできる限り除外するため、転流時前後の通航船舶を排除してある。

表 2-2 には、目視線通過状況の解析に用いた通航船舶の目視線通過時間帯を示す。

表 2-2 目視線通過状況解析に用いた通航船舶の目視線通過時間帯

Time of South current	Time of North current
5/3 16:00 ~ 20:00	5/3 22:30 ~ 02:30
5/4 04:30 ~ 08:30 17:00 ~ 21:00	5/4 10:30 ~ 14:30 23:30 ~ 03:30
5/5 05:30 ~ 09:30	5/5 11:00 ~ 15:00



表 2 - 3 には、潮流別・方向別の目視線通航船舶数を示す。

図 2 - 8 及び図 2 - 9 の解析には、表 2 - 3 に示す隻数の船舶を用いた。また、対象船舶を来島海峡航行船とするために、解析に用いた船舶の中から漁船及び島嶼部廻りの定期旅客船・フェリー等は除外した。

表 2 - 3 潮流別・方向別の目視線通航船舶数

Time of South current		Time of North current	
East pass	West pass	East pass	West pass
90 vessels	70 vessels	89 vessels	108 vessels

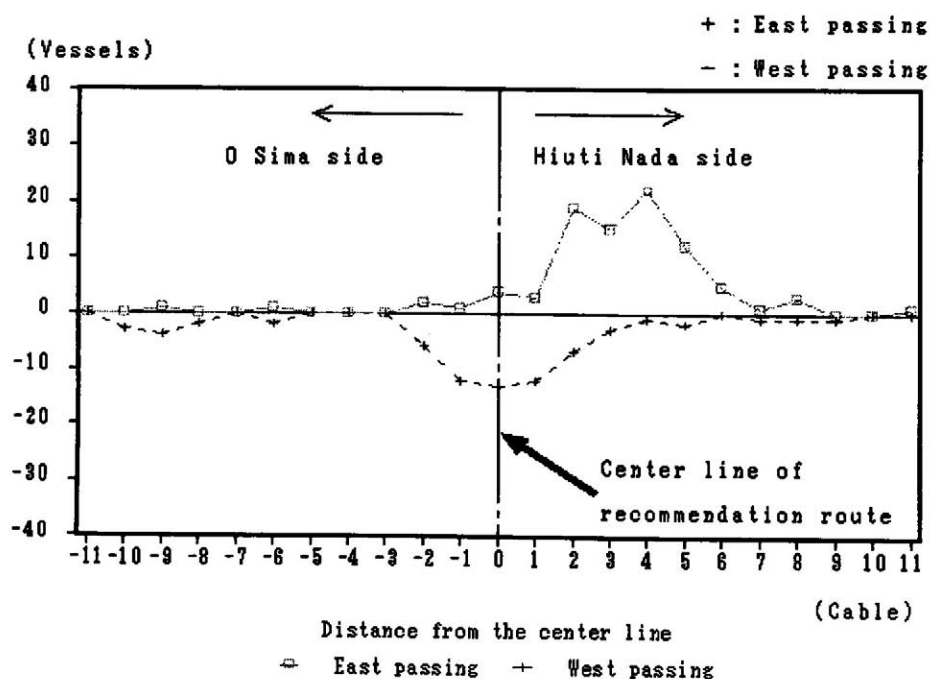


図 2 - 8 南流時における通航船の目視線通過状況

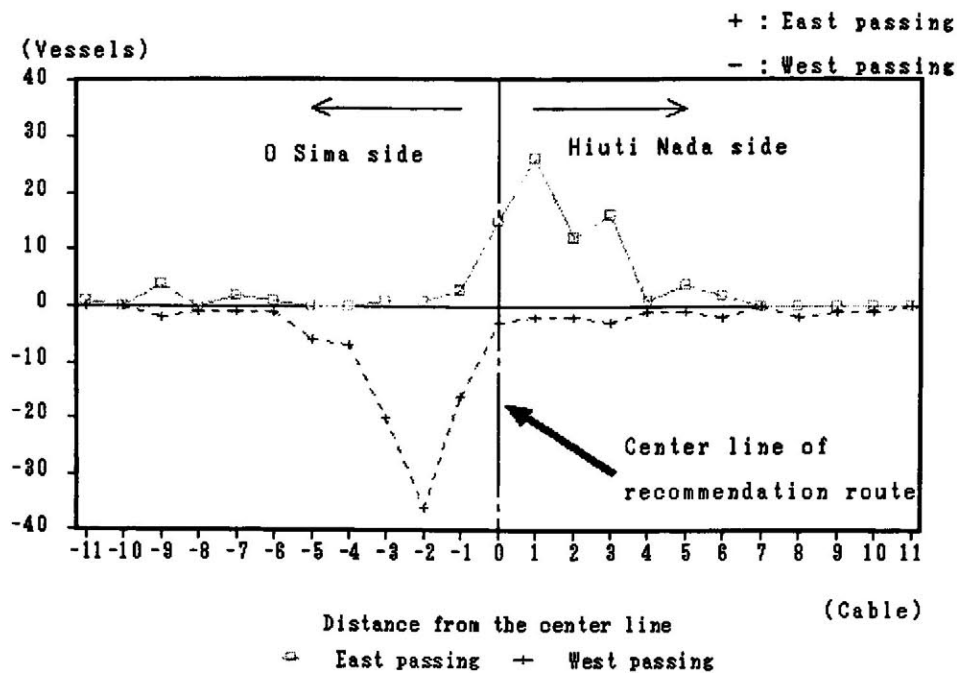


図 2 - 9 北流時における通航船の目視線通過状況

図 2 - 8 及び図 2 - 9 はともに、横軸上の中央部を備後灘推薦航路の中央線とみなし、中央線より右側を燧灘側に、左側を大島側としてプロットした。また、縦軸上の中央部を目視線とみなし、その上方に東航船の通航隻数を、下方に西航船の通航隻数を表示してある。

両図を見比べると、北流時は推薦航路の中央線を分離線として「右側通航」が維持されているが、南流時は中央線が 1 ケーブルほど燧灘側にシフトしたような形で、かつ、シフトした中央線である分離線がやや曖昧な状態となることが判る。しかし、北流時ほど明確ではないが、不十分ながらもまだ「右側通航」が維持されていることが判る。この傾向は西口での観測結果<sup>31)</sup>とは若干異なっている。

表 2 - 4 は通過船舶の目視線通過時の備後灘推薦航路中央線からの平均距離を示す。

同表では、中央線より燧灘側をプラス、大島側をマイナスとして整理してある。

表 2 - 4 潮流別・方向別の中央線からの平均距離

Time of South current		Time of North current	
East pass	West pass	East pass	West pass
3.2 cables	-0.6 cables	0.7 cables	-1.6 cables

以上のことから、南流時における「交差」は、目視線設定箇所である来島海峡航路東側出入口より約 1.5 マイル東側の海域以西（来島海峡航路に近寄った海域）で発生し、目視線設定海域付近では不十分ながらも「右側通航」に整流されていることが判った。

表 2 - 4 を見ると、南流時は北流時に比較して、東航船は約 2.5 ケーブル、西航船は約 1 ケーブルほど燧灘側に偏位している。ここで東航船の方が偏位量が多いのは、「左側通航」から「右側通航」に早く戻そうとする操船者の心理的影響と来島海峡の非常に強い潮流の影響とが競合したものと推察できる。しかし、明確なことは不明である。

図 2 - 10 には、南流時における通航船舶の航路中央線の横断状況を来島海峡東側出入口からの距離で示す。

ここで、「航路中央線」とは、来島海峡航路内では来島海峡東側出入口の中央から出入口線に対して直角に引いた線を意味し、また、備後灘航路側では備後灘推薦航路の中央線と来島海峡東側出入口の中央を結ぶ線のことを意味する。

この解析の目的は、南流時に一般通航船がどこで「右側通航」と「左側通航」の切り替えを行っているのかということを明らかにすることにある。

解析は、各時間ごとに整理した通航船の航跡プロットをもとにして、転流時の影響を受けない南流時間帯を抽出し、上述の「航路中央線」を横切った点までの距離を、来島海峡東側出入口を基準として計測していくことによっておこなった。

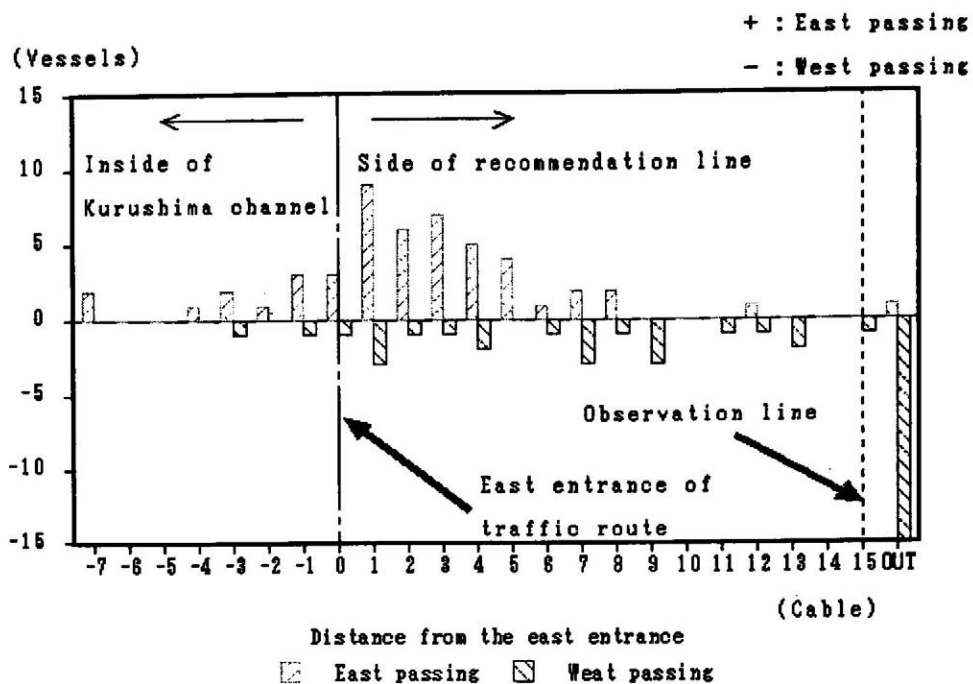


図 2 - 1 0 南流時における通航船の中央線横断の状況

表 2 - 5 航跡プロットを抽出した南流時間帯、解析船舶数及び解析結果

Time data of South flow	5/3 16:00 ~ 20:00	
	5/4 05:00 ~ 08:00	
	5/4 17:00 ~ 21:00	
	5/5 06:00 ~ 09:00	
Data of analysis and its results		
Item	East pass	West pass
Number of vessels	50 vessels	38 vessels
Ave. cross dist.	2.4 cables	13.3 cables
Max. cross dist.	18.7 cables	40.4 cables
Min. cross dist.	-6.7 cables	-2.7 cables
S.D.of cross dist.	4.2	10.7
% in the Route	24 %	8 %
% within 0.5 M	62 %	18 %
% within 1.0 M	72 %	39 %
% within 1.5 M	74 %	53 %
% without 1.5 M	2 %	39 %



表 2-5 に、航跡プロットを抽出した南流時間帯、解析船舶数及びその解析結果を示す。

表 2-5 から判るように、東航船は航路内を含む来島海峡航路東側出入口付近のごく狭い範囲でほとんどの船舶が「左側通航」と「右側通航」との切り替えを行うために航路中央線を横切っている。これを具体的に数値で表現すれば、来島海峡航路内及び来島海峡航路東側出入口から備後灘推薦航路方向に 0.5 マイルの範囲内では東航船の 86% が、また 1 マイルの範囲内では 96% が、1.5 マイルまでの範囲内では 98% が既に「左側通航」から「右側通航」に切り替えていることが判る。

西航船の場合は、来島海峡航路に入るまでに 90% 以上の船舶が備後灘推薦航路の中央線を横切って、「右側通航」から「左側通航」への切り替えを行っている。しかし、その横断の範囲は広く、来島海峡航路東側出入口から備後灘推薦航路側に 1.5 マイルの範囲内を見ても西航船全体の 60% 程度しか該当していない。

図 2-8 から判るように、西航船は目視線付近では約 40% は「左側通航」への切り替えを行っているが、東航船との関係では相対的に東航船が西航船のより燧灘側を航行しているため、「右側通航」が維持されている結果となっている。

以下推測の域を出ないが、南流時の来島海峡通航船の動静を考察してみるに、西航船は来島海峡航路に入る手前で、比較的早い時期に「できる限り四国側に近寄る」動作を取っている傾向があり、また、その動作を取るための時間的・距離的余裕を持っているといえる。一方、東航船は航路出入口付近までは「できる限り大島側に近寄って」航行し、航路を出れば直ちに推薦航路の右側に、かつ、西航船と「左舷対左舷」で航過できる距離まで燧灘側に出ようとする傾向があり、航路内では潮流の影響による燧灘側への圧流に気を配りながら、対抗する西航船と「右舷対右舷」で航過できるように注意しなければならない、その意味では西航船ほど動作に余裕がないものと考えられる。

## 2. 4 おわりに

今回の観測では、来島海峡航路東側出入口付近における通航船の動静と来島海峡航路の特異な通航方法である「順中逆西の航法」の関係について、その概要を明らかにすることができた。

衝突の危険性の高い「交差」の発生場所については、少なくとも目視線設定海域よりも来島海峡航路に接近したごく狭い海域で発生していることが判る。

来島海峡航路東側出入口に設置されている航路浮標への衝突事故の頻度が高い理由についても、「交差」と強い因果関係がありそうであるが、明確に断定することは現時点では控えておく。

## 第3章 解析ツールの開発と観測機器の性能・精度

### 3.1 はじめに

潮流の船体に及ぼす影響などを調査する場合、潮流データや船体運動データを個々に解析していたのでは、重要な相互影響の関連などを見逃してしまう場合がある。また、動的な関連を見るためにはトレンドグラフを観察するだけではなく積極的にアニメーションなども活用すると判りにくかった要素間の相互の関係などがはっきりしてくる場合が多い。このようなことに鑑みて、潮流と船体運動の相互関連を同時に観察することができるような3次元解析ツール（以下、3D解析ツールという。）の開発を試みた。

一方では、潮流の流動構造や密度分布など海洋の物理構造を観測するのに、近年急速に開発が進み、かつ、普及した代表的な観測機器としてADCPと塩分水温深度計（Conductivity-Temperature-Depth Meter、以下CTDという。）が挙げられる<sup>32)</sup>。

ADCPは船舶に搭載して航行しながら、水面下の多層にわたって流向や流速を計測することができる機器<sup>33)</sup>で、この機器の登場によって、これまで観測が難しかった狭水道部分や船舶の輻輳海域でも比較的容易に観測が行えるようになった。

CTDは圧力センサー、温度センサー、電気伝導度センサーを同時に備えた機器<sup>32)</sup>で、この機器を利用することで水面から海底までの鉛直方向の水深、水温、塩分データが容易に入手でき、海水の物理構造（密度構造）を比較的容易に解析することが可能となった。

ここでは、船体運動や潮流データ解析のために独立行政法人海上技術安全研究所（旧運輸省船舶技術研究所）システム技術部と共同開発した3D解析ツールの特徴を紹介し、併せて本研究の観測に用いた主な観測機器の性能や精度を明示する。

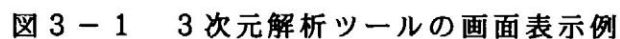
来島海峡の潮流とその船体挙動への影響の関係をより判りやすく、かつ、的確に判断することができるようにするため、潮流と船体運動の状況を同時に可視化できる 3D 解析ツールを、Visual Basic（以下、VB という。）を利用して開発した。

(1) 画面は鳥瞰(Bird's-eye)を基本としている。

(3) 画面上のテキストボックスには数値データも表示できる。

(5) 画面上で視点を自由に變化させることができる。

図 3-1 には、3D 解析ツールの画面表示例を示す。



表示画面の説明は以下のとおりである。

( 1 ) Text window

種々のテキストデータ（データ番号、時間、緯度、経度、水深、流速、流向など）の表示をする。

( 2 ) New file click button

新規ファイルを開く。

( 3 ) Reliability window

画面表示している潮流ベクトルの信頼度（A D C P 表示）を表示する。

( 4 ) Reliability modification bar

画面表示する潮流ベクトルの信頼度（A D C P 表示）を調整する。

( 5 ) Point number

現在表示している潮流ベクトルのデータ番号を表示する。

( 6 ) Start-stop button

データ処理を制御する。（開始、停止、進行、後退など）

( 7 ) Hard copy button

現在の画面をプリント出力する。

( 8 ) Show-hide AXES button

3次元軸（X(緯度)軸、Y(経度)軸、Z(垂直)軸）の ON-OFF スイッチ。

( 9 ) Control bar of the yaw degree

YAW 角を調整する（0 ～ 360 度まで 1 度刻みで反時計回りに調整）。

( 10 ) Control bar of the pitch degree

PITCH 角を調整する（-89 ～ 89 度まで 1 度刻みで調整）。

( 11 ) Control bar of the zoom rate

画面の拡大・縮小の調整する（× 1/4 ～ × 32 の範囲で 2 倍ずつ調整）。

( 12 ) Control bar of the perspect degree

PERSPECT 角を調整する（1 ～ 100 まで 1 刻みに調整）。

( 13 ) File name box

現在オープンしているファイル名を表示する。

( 14 ) 3D-AXES



X 軸は緯度線、Y 軸は経度線、Z 軸は垂直線を、それぞれ赤色で表示。

(15) Digital map

画面上の点線は島や海岸線などの地形情報を黒色で表示。

(16) Ship's tracking line

船の航跡を緑色で表示。

(17) Tidal current vectors

鉛直各層の潮流ベクトルを水色で表示。

(18) Practical ship's heading line

船の実航針路（航跡針路）を青色で表示。

(19) Rudder angle

実舵角を 5 倍に強調して青色で表示。

(20) Ship's heading line by the gyro compass data.

船の視針路（コンパス針路）を紫色で表示。

図 3-2 には 3D 解析ツールの拡大・縮小画面の例を示す。

本解析ツールの精度はデータの精度に依存し、データの品質を損ねるような処理は行っていない。ただ、舵角表示については実舵角では画面上の変化が乏しいため 5 倍に強調して表示させている。

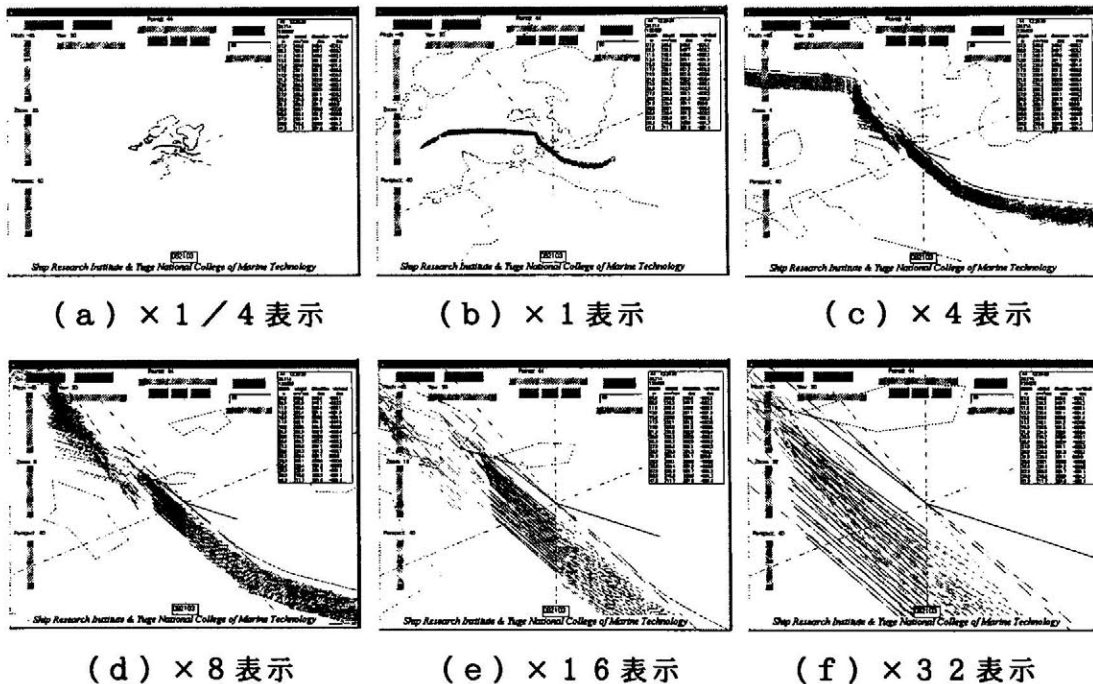
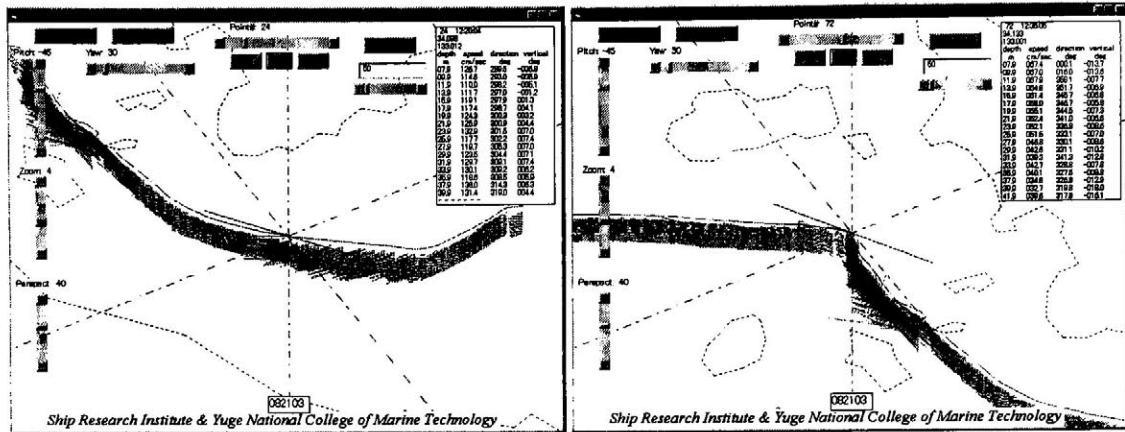


図 3-2 3D 解析ツールの拡大・縮小表示の例 ((a) ~ (f))

図 3 - 3 には 3 D 解析ツールのアニメーションの例を示す。

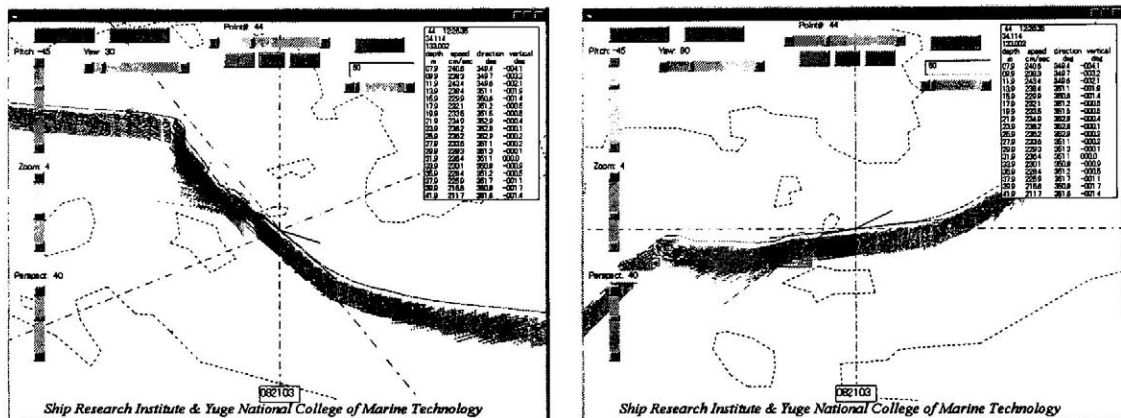
図 3 - 4 には 3 D 解析ツールの視点変更の例を示す。



( a ) 中水道通航前の状況

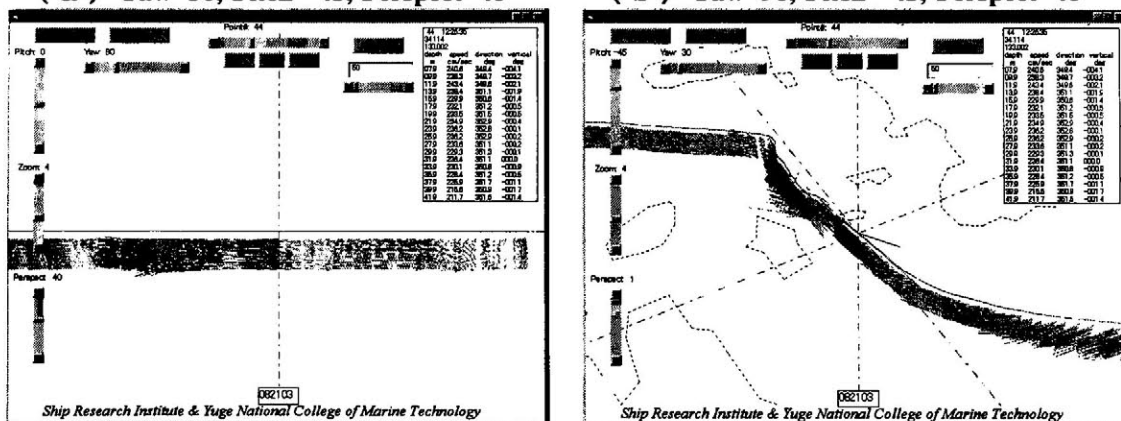
( b ) 中水道通航後の状況

図 3 - 3 3 D 解析ツールのアニメーションの例 (( a ) ~ ( b ))



( a ) Yaw=30, Pitch=-45, Perspect=40

( b ) Yaw=90, Pitch=-45, Perspect=40



( c ) Yaw=90, Pitch=-0, Perspect=40

( d ) Yaw=30, Pitch=-45, Perspect=1

図 3 - 4 3 D 解析ツールの視点変更の例 (( a ) ~ ( d ))

### 3.3 3D解析ツールのプログラミングの流れ

図3-5に3D解析ツールのプログラミング手順を示す。

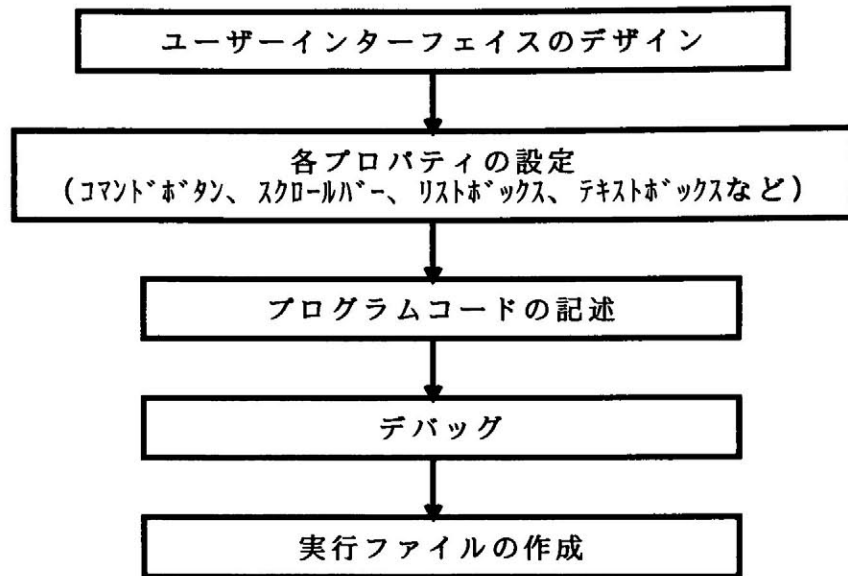


図3-5 3D解析ツールのプログラミング手順

図3-6には3D解析ツールのユーザインターフェイスのデザインを示す。

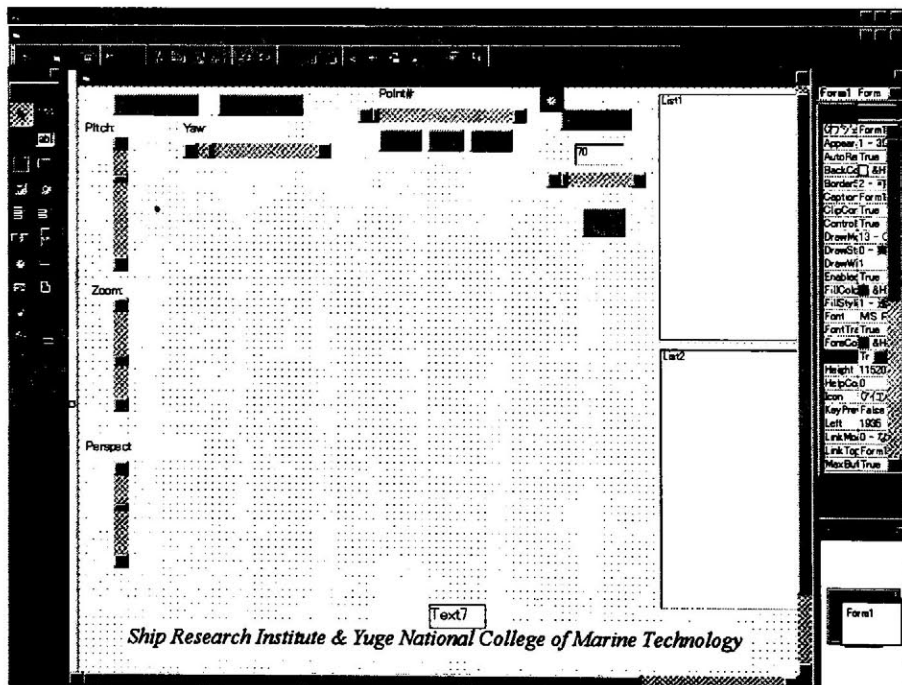


図3-6 3D解析ツールのインターフェイスのデザイン

インターフェースをデザインするにあたっては、画面中央部に解析図を表示させるようにし、周辺部にコマンドボタンやスクロールバー、テキストボックスなどを配置した。同一画面で解析図と数値データを同時に参照可能であり、視点の変更なども容易に行えるようになっている。

各プロパティの設定は、VBのプロパティウインドウ上で表示される各項目の内容を適当に埋めていくことだけでできるのでコード記述は不用であり、これまでのプログラミングのことを考えれば非常に楽であった。また、プログラミングコードの記述は、Private Sub ~ End Sub までの範囲で、各イベントが完全にサブルーチン化されており、最初に使用する関数についてサイズや型を宣言しておけばいいだけであり、ライブラリー関数も充実しているので、比較的容易にできた（付録C参照）。

テキストウインドウには、種々のテキストデータ（データ番号、時間、緯度、経度、水深、流速、流向などの数値データ）を表示させるようにしている。

リスト3-1にはテキストウインドウにテキストを表示させるプログラム例を示す。

#### リスト3-1 テキストウインドウへのテキストデータ表示プログラム例

```
Private Sub ShowCurrent()
List1.Clear
List1.AddItem Str$(pindex%) + Format$(hhh$(pindex%), "#00:") + Format$(mmm$(pindex%), "#00:") + Format$(sss$(pindex%), "#00"), 0
List1.AddItem Format$(lat!(pindex%), "#00.000"), 1
List1.AddItem Format$(lon!(pindex%), "#000.000"), 2
List1.AddItem "depth    speed    direction vertical", 3
List1.AddItem "    m        cm/sec      deg        deg", 4
For i% = 0 To 17
curabs! = Sqr(curew!(pindex%, i%) ^ 2 + curns!(pindex%, i%) ^ 2 + curud!(pindex%, i%) ^ 2)
If curns!(pindex%, i%) > -1000 And curgd%(pindex%, i%) >= dgrthreshold Then
List1.AddItem Format$(curz!(pindex%, i%) / 10, "#00.0    ") + Format$(curabs!, "#000.0    ") + Format$(curdir!(pindex%, i%), "#000.0    ") + Format$(curpitch!(pindex%, i%), "#000.0    "), i% + 5
Else
List1.AddItem "- - - - -", i% + 5
End If
Next
End Sub
```

### 3.4 3D解析ツールを用いた解析例<sup>2)</sup>

ここでは、1997年8月26日及び27日の両日にわたって来島海峡で行った観測（詳細は第6章で述べる）のデータを利用した3D解析ツールでの解析例を紹介する。

図3-7には、第3回観測時の潮流ベクトル（水深5m）を示す。

図3-8には、第3回観測時の潮流ベクトルの多層表示を示す。

図3-9には、第3回観測時の3D解析図を示す。

これらの図を比較してみると、2次元のトレンドグラフによって表された潮流ベクトル（図3-7及び図3-8参照）よりも、3Dイメージの方が時間と空間との関係や潮流と船体挙動の関係などが瞬間的に、あるいは視覚的により理解しやすいことがわかった。

また、連続的にアニメーションさせることで、静止画では見落としてしまう微妙な挙動も確実に補足することができた。

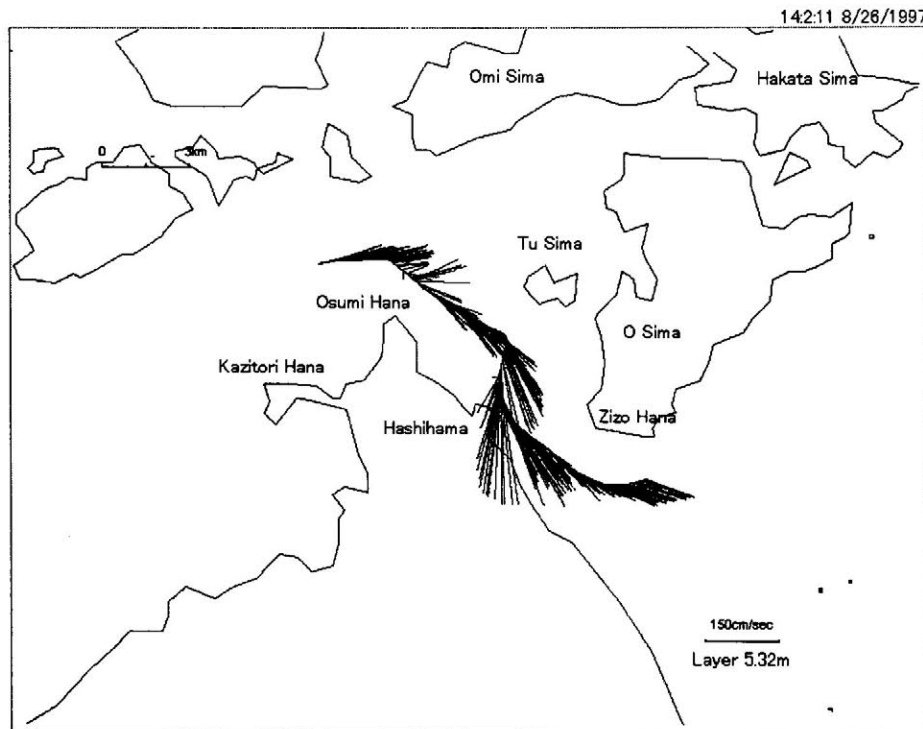


図3-7 第3回観測時の潮流ベクトル（水深5m）



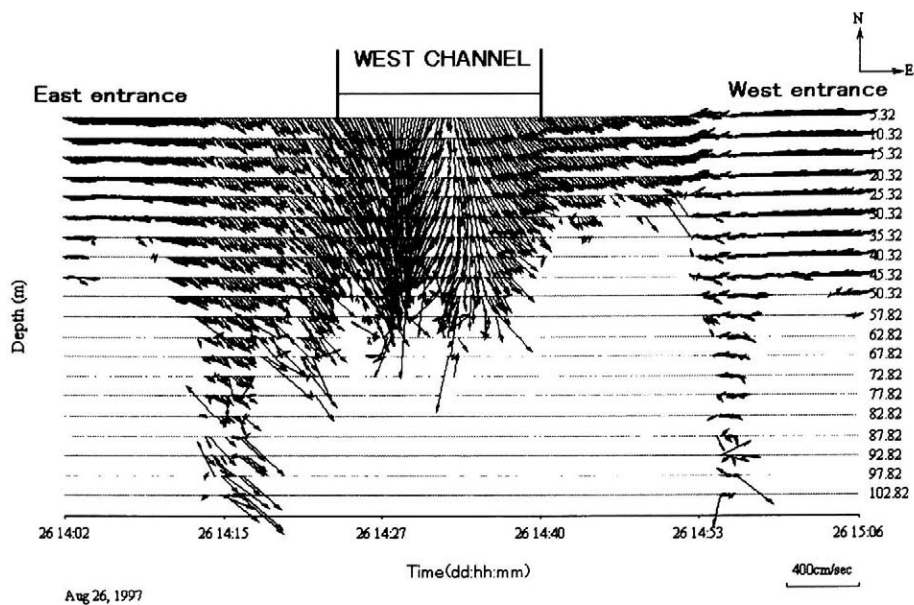


図 3 - 8 第 3 回観測時の潮流ベクトルの多層表示図

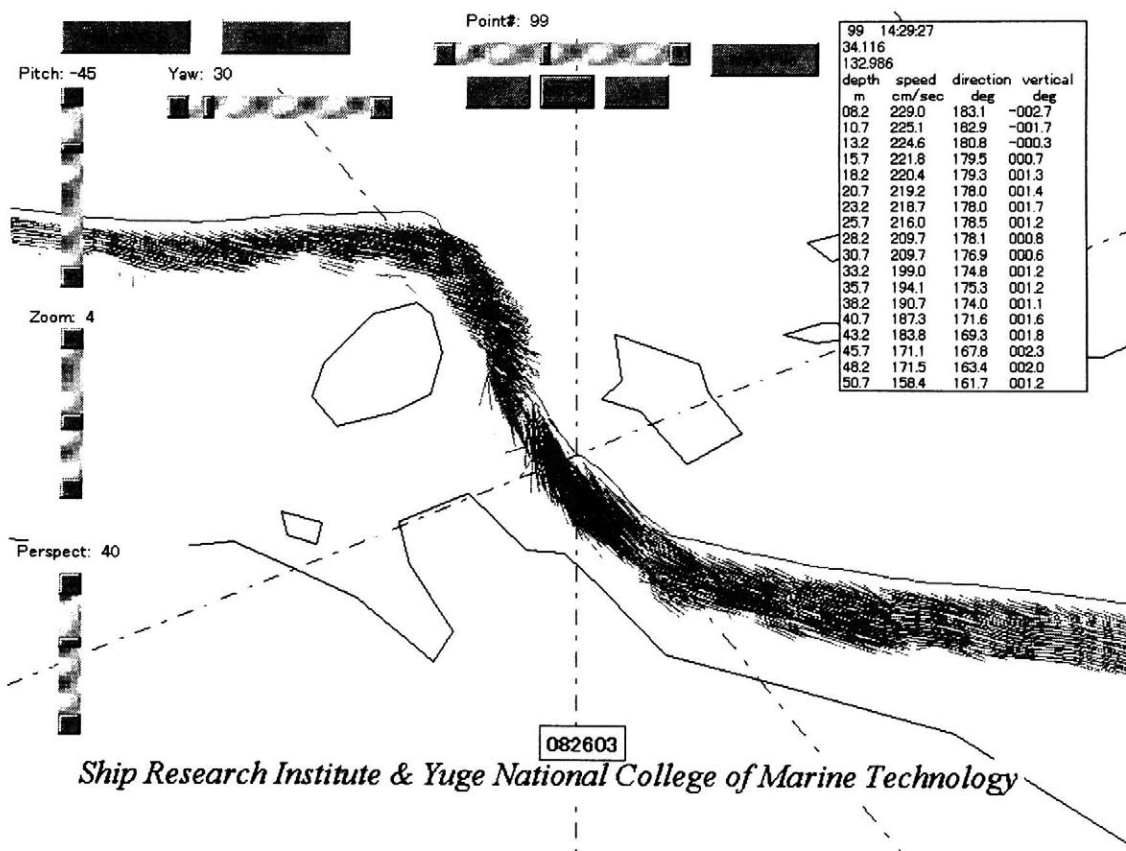


図 3 - 9 第 3 回観測時の 3 D 解析図

### 3.5 ADCPの性能・精度<sup>39)</sup>

本研究で観測に使用したADCPはRDI社製のブロードバンドタイプの1200KHz型と300KHz型である。

これらの機器は4つのビームを集合させた発信器から音響パルスを発信し、ドップラー原理（効果）を用いて水中に浮き漂っている動物性プランクトンや微細粒子からの反射散乱音響信号を受信し、海底からの反射信号との差分を取り流速成分に変換している。また、DEPTH CELL（当該機種周波数に依存する一定の厚みの層）と呼ばれる128層までの任意の層の鉛直断面のプロファイル（PROFILE）を作成でき、複数の層の流向・流速を測定することも可能である。

ADCPと他の流速計（例えば小野式流速計や電磁流速計など）との大きな違いは、水流の各層の鉛直プロファイルを計測することができるかどうかであり、これは散乱体（動物性プランクトンや微細粒子など）からの反射散乱信号を時間でRANGE GATING（反射散乱信号が返ってくるとき受信器側で規則的にON-OFFすること）することによりおこなわれている。このプロセスの中で反射散乱信号を規則的に並んでいるDEPTH CELLのセクションに割り振って、各層の流向・流速成分に換算している。

表3-1に1200KHz型及び300KHz型ADCPの性能及び精度を示す。

表3-1 観測で用いたADCPの性能及び精度

ITEM	1200KHz TYPE	300KHz TYPE
Number of beams	4	4
Acoustic Frequency	1200KHz	300KHz
Beam angle from vertical in 90 °	30 °	30 °
Beam width	1.5 °	1.5 °
Profiling range	20 m	130 m
Number of depth cells	1 to 128	1 to 128
Begining of 1st cell	0.5 m	2 m
Current profiling accuracy	± 0.2 %	± 0.2%
Current velocity range	± 10 m/sec	± 10 m/sec

### 3.6 CTDの性能・精度<sup>34)</sup>

本研究で観測に用いたCTDは、アレック電子（株）のAST200-Pである。

表2にAST200-Pのセンサー仕様を示す。

表3-2 AST200-Pのセンサー仕様

水 温	センサー	白金測温抵抗体
	測定レンジ	-5 ~ 40 °C
	精 度	± 0.02 °C
	分解能	0.01 °C
	応答時間	0.25 秒
電気伝導度	センサー	電磁誘導型電磁センサー
	測定レンジ	0 ~ 60mmho/cm
	精 度	± 0.03mmho/cm
	分解能	0.015mmho/cm
	応答時間	0.2 秒
深 度	センサー	静電容量型圧力センサー
	測定レンジ	0 ~ 200 m
	精 度	± 0.2 m
	分解能	0.2 m
	応答時間	0.2 秒

C T D は一定の水深毎の水温及び電気伝導度を測定することができる計測器で、センサーユニットとプリンターユニットで構成されている。今回、観測に用いたものはメモリーバック式でセンサーユニットの内蔵メモリーロガーに取得データを記憶しておき、回収後専用インターフェイスを介してデータをプリンターユニットでプリントアウトしたり、パソコン等に取り込むこともできる。

記録されるデータはバイナリー形式であるが、付属のコンバーターソフトを利用してアスキー形式に変換することは可能である。

図 3 - 1 0 に、C T D のシステム構成図を示す。

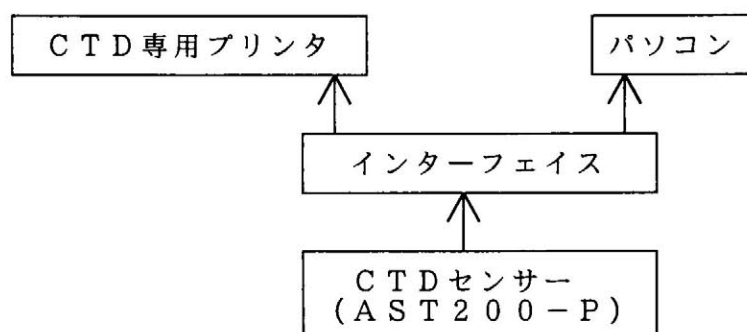


図 3 - 1 0 C T D のシステム構成図

C T D で取得できるデータは、表 3 - 2 に示した水温、電気伝導度、水深の 3 つであるが、換算によって塩分及び密度まで求めることができる。

### 3. 7 C T D で求められる塩分及び密度 <sup>35)</sup>

塩分 (Salinity) とは、海水中の溶存物質の 99.5% 以上を占めるといわれている塩類 (塩化物、硫酸塩、臭化物、重炭酸塩、ナトリウム、マグネシウム、カリウム、リン酸塩、窒素化合物等) の濃度のことというが、計測対象としての塩分濃度 (塩分量) の定義は、以下のような変遷をたどっている。

- 1) 塩分濃度の元来の定義は、海水 1 k g 中に含まれる固有物質の g 数であった。(単位は %、または g/kg)

2) 次に、銀滴定により海水中の塩素量 (Chlorinity:Cl) を求め、クヌッセンの式 (1901) によって、塩分に換算することが行われた。

$$S = 0.03 + Cl \times 1.805 \quad (1)$$

ただし、S:塩分

Cl:塩素量

3) やがて、UNESCO 勧告 (1962) により塩分の定義が以下のように修正された。

$$S = Cl \times 1.80655 \quad (2)$$

4) 近年になって海水の電気伝導度の値から塩分に換算する方法が一般化され、UNESCO で次式のように塩分と電気伝導度の関係が定義づけられた (1965)。この方法で求めた塩分を「実用塩分 (Practical Salinity Unit)」と呼んでいる。

$$S = -0.08996 + 28.29720R + 12.80832R^2 + 10.67896R^3 + 5.98624R^4 - 1.32311R^5 \quad (3)$$

ただし、

R:水温 15 °C、1 気圧における塩分 35 ‰の標準海水に対する試料海水の比伝導度

5) その後、UNESCO では「実用塩分」の定義を以下のように改訂した (1982)。

「水温 15 °C、1 気圧において 1 kg の水中に塩化カリウム 32.4356 g を含む溶液と電気伝導度が等しくなる海水の塩分を 35 とする。その他の塩分は水温 15 °C、1 気圧における上の塩化カリウム溶液との電気伝導度の比 (k) から次式で計算されたものを塩分とする。」

$$S = 0.0080 - 0.1692k^{1/2} + 25.3851k$$

$$+ 14.0941k^{3/2} - 7.0261k^2 + 2.7081k^{5/2} \quad (4)$$

従って、現在では、塩分は単位なしで表すか、あるいは psu (practical salinity unit) をつけて表すことが多い。

また、海水の密度 (Density) は、水温と塩分と圧力の関数として表され、大陸棚程度の深さまでの浅水域では圧力の項は無視して、水温と塩分の関数として決まっている場合が多い。1 気圧における海水の密度は、次式によって表される。

$$\begin{aligned} \rho(S, t, p) \\ = \rho_w + (b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3 + b_4 t^4) S \\ + (c_0 + c_1 t + c_2 t^2) S^{3/2} + d_0 S^2 \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、S : 塩分

t : 水温

p : 圧力 (水深 200m までの海洋上層部では圧力変化は非常に小さいので通常無視して取り扱う。従って、p = 0 とした。)

$$\begin{aligned} b_0 &= 8.24494 \times 10^{-1} & c_0 &= -5.72466 \times 10^{-3} \\ b_1 &= -4.0899 \times 10^{-3} & c_1 &= 1.02270 \times 10^{-4} \\ b_2 &= 7.6438 \times 10^{-5} & c_2 &= -1.65460 \times 10^{-6} \\ b_3 &= -8.2467 \times 10^{-7} \\ b_4 &= 5.3875 \times 10^{-9} & d_0 &= 4.83140 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

一方では、基準の純水の密度  $\rho_w$  は次式で与えられる。

$$\rho_w = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 + a_5 t^5 \quad (6)$$

ここで、t : 水温

$$\begin{aligned} a_0 &= 999.842594 & a_1 &= 6.793952 \times 10^{-2} \\ a_2 &= -9.095290 \times 10^{-3} & a_3 &= 1.001685 \times 10^{-4} \\ a_4 &= -1.120083 \times 10^{-6} & a_5 &= 6.536332 \times 10^{-9} \end{aligned}$$



直接(5)式で表すことは桁数が多くなり繁雑となるので、通常は次式で定義されるシグマで海水の密度を表している。

$$\sigma = \rho - 1000 \quad (7)$$

特に1気圧の値はシグマティーと呼ばれ、通常よく用いられる。

$$\sigma_t = \rho(S, t, p) - 1000 \quad (8)$$

### 3.8 おわりに

解析ツールについては様々な市販品も安価に流通するようになってきたが、「帯に短し、襷に長し」の間は否定できず、本研究の中でもほとんどは自作のプログラムツールに頼っているのが現状である。ここで紹介した3D解析ツールもこれまでの可視化ツールの一分派であり、現在のところ表示マップが来島海峡海域しか対応していないので、汎用ツールとはなっていない。しかし、汎用電子海図との組合せで国内のあらゆる海域に対応できるように改良を加える予定である。また、ADCPと船体運動収録装置のデータフォーマットが同一でないため、現時点では収録データを再フォーマットしなおしてから3D解析ツールでの解析を行わなければならないため、観測時に実時間解析できるところまではいたっていない。この点についても改良を加える予定である。

一方、ADCPやCTDは海洋の物理構造を観測する上では、必要不可欠な観測機器であり、水中リモートセンシング技術の発展とともに最近の四半世紀の間に急速にその利便性や精度が向上したといえる。

本研究の中でも重要な観測機器となっている。

## 第4章 弓削島・浜都湾の流況調査

### 4.1 はじめに

これまで、流れの速い海峡部や船舶交通の輻輳している航路筋などの比較的制約の多い海域での流況等の観測は、一般に容易ではなかった。しかし、近年このような海域で、A D C Pを用いた流況の観測例が多く報告されるようになってきている<sup>36)~38)</sup>。

A D C Pは、超音波のドップラー効果を利用したもので、船に装備し、航走しながら連続して複数の層の流向・流速を計測することができる<sup>39)</sup>。

このA D C Pを用いて、来島海峡の潮流を観測するための予備観測として、弓削島・浜都湾の流況の観測を下げ潮流時、上げ潮流時各1回ずつ合計2回にわたり観測した。

瀬戸内海のほぼ中央に位置する弓削島・浜都湾は、瀬戸内海国立公園内にあり、夏は海水浴場として、冬は愛媛県内有数の海苔の養殖場として有名である。しかし、最近、海岸部の砂浜のやせ細り現象が見られるようになった。この原因として、防波堤の補強・拡張工事や港湾の埋立工事等の影響による湾内の流況の変化があるものと推察できるが、この海域における過去の流況等の調査データはほとんどなく検証できないというのが現状であった。また、湾内は水深が浅く、深いところでも10 m程度で、このような浅い海域でA D C Pを用いた流況調査はほとんど行われていない。

このような状況に鑑み、浅い海域の観測に適した1200 KHz型A D C Pを小型舟艇に装備し、1994年9月及び1995年6月にそれぞれ3日間ずつ二度の観測を行って、湾内の流況を調査しその現況を明らかにしたので、その結果を報告する。

## 4.2 観測の概要等

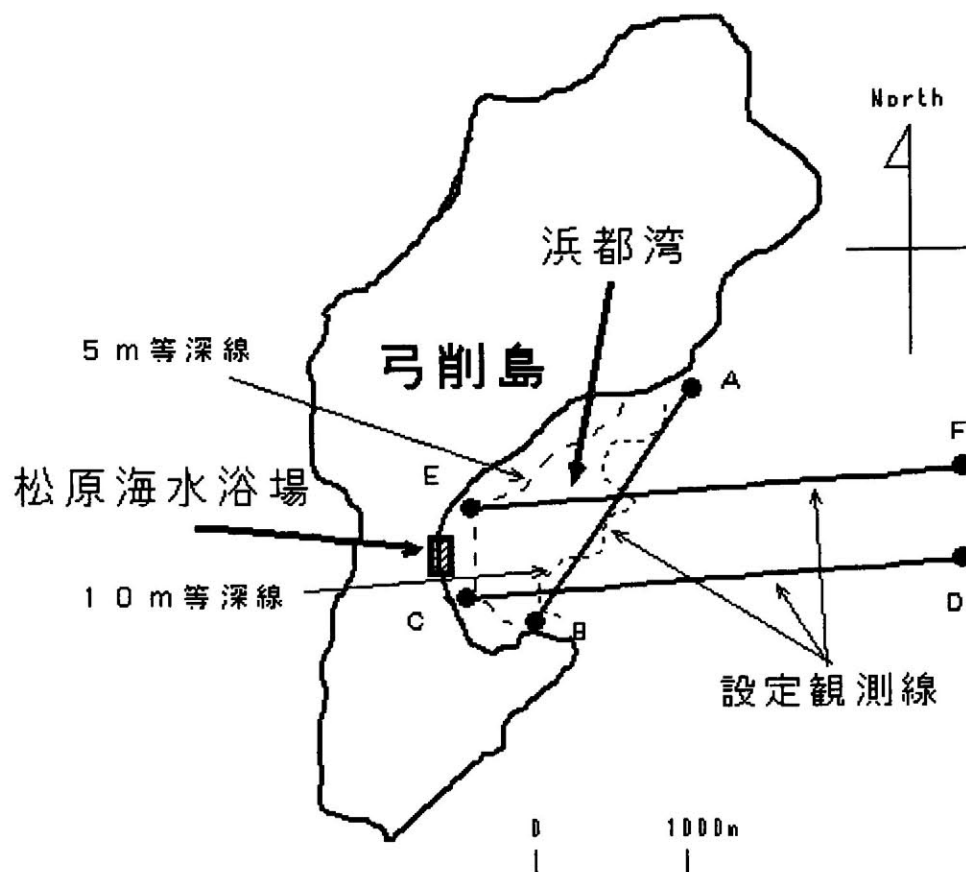


図4-1 観測海域と観測線

図4-1に、観測海域の全容と設定観測線を示す。

観測線は湾口部に1本、湾奥部から沖合に平行に2本の合計3本を設定し、沖合の流れと湾内の流れを比較できるようにした。図中の点線及び破線はそれぞれ10m及び5mの等深線を表している（図4-1参照）。

表4-1に、設定観測線の概位を示す。

表 4 - 1 設定観測点の概位

観測線名	観測点	緯度(N)	経度(E)	距離
A B 線	A 点	34-15.8	133-13.8	1.0 mile
	B 点	34-14.9	133-13.2	
C D 線	C 点	34-15.0	133-12.9	1.5 mile
	D 点	34-15.1	133-14.7	
E F 線	E 点	34-15.4	133-12.9	1.5 mile
	F 点	34-15.5	133-14.7	

観測時期は、上げ潮流時及び下げ潮流時のそれぞれ初期～末期の時間帯が昼間に観測できるような時期を選んで、それぞれ3日間ずつ合計6日間実施した。なお、第2次観測時は天候が悪く1日観測ができない日があり、やむを得ずE F線の観測を放棄した。

表 4 - 2 に、潮流観測実施日時を示す。

表 4 - 2 潮流観測実施日時

観測名	実施日時	観測線
第1次観測	1994年09月15日 08:52-17:00	A B 線
	1994年09月17日 08:45-16:48	C D 線
	1994年09月18日 08:51-17:12	E F 線
第2次観測	1995年06月02日 09:15-16:54	A B 線
	1995年06月03日 09:30-10:23	中止
	1995年06月04日 09:20-17:01	C D 線

観測は、それぞれの観測線を1日1本ずつ、それぞれ観測点A、C、Eを開始点として、往復しながら終日連続して行った。

表4-3に、各観測線の観測回数を示す。

表4-3 観測線の観測回数

第1次観測	A B 線	3 9 回 (19.5 往復)
	C D 線	2 1 回 (10.5 往復)
	E F 線	2 1 回 (10.5 往復)
第2次観測	A B 線	2 8 回 (14.0 往復)
	C D 線	2 0 回 (10.0 往復)

観測に用いたADC Pは、対象海域が水深5～15m程度の浅水域であることを考慮し、このような水域の観測に適したRD社製のポータブル式1200KHz型ADC Pを使用した。

表4-4に、1200KHz型ADC Pの主な性能を示す。

表4-4 1200KHz型ADC Pの主な性能

測定可能水深	0 . 5 - 2 0 m
測定流速精度	± 0 . 2 %
同時測定層数	1 - 1 2 8 層
層の深さ	0 . 1 2 - 3 2 m
流速のレンジ	± 1 0 m / s

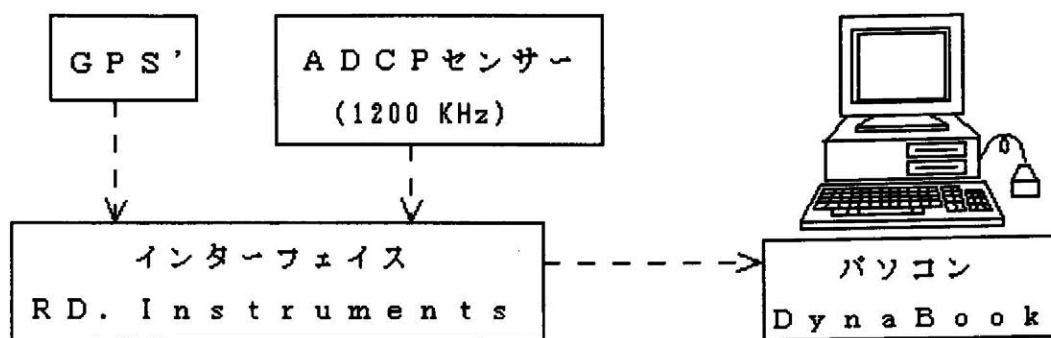


図 4 - 2 観測システムの概要

図 4 - 2 には、流況の観測に用いた観測システムの概要を示す。

観測船には、本校の実習艇「はまかぜ」(総トン数 18 トン)を使用した。ADCP センサーは船尾舷側に取り付け(写真 4 - 1 参照)、観測は船速約 6 ノットで行った。また、潮流データのサンプリングは約 13 秒間隔で行った。位置情報は、GPS (Global Positioning System) によった。取得した潮流データ及び位置データは、専用インターフェイスを経由して、パソコンに収録される(図 4 - 2 参照)。

写真 4 - 1 には、観測船に取り付けた 1200KHz 型 ADCP のセンサー部を示す。

写真 4 - 2 には、観測に用いた ADCP のインターフェイス及び表示用パソコンを示す。



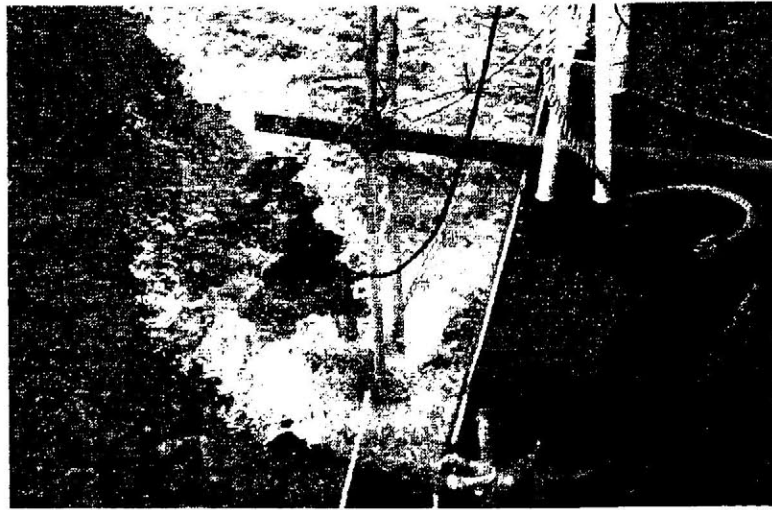


写真 4 - 1    1200KHz 型 A D C P のセンサー部



写真 2    インターフェイス及びパソコン

### 4. 3 解析及び結果

解析は、GPSの位置データが周期的にスキップしたりして不安定なこともあり、各観測の開始から終了までのサンプリングデータを算術的に間引きし、観測線上に1ケーブル間隔でプロットして潮流ベクトルを描かせ、湾内の流況の同時表示を行うことで、流況の現況とその時間的な変化傾向を見ることとした。解析に使用したプログラムは、C言語で作ったオリジナルなものである(付録C参照)。

図4-3に解析プログラムのフローチャートを示す。

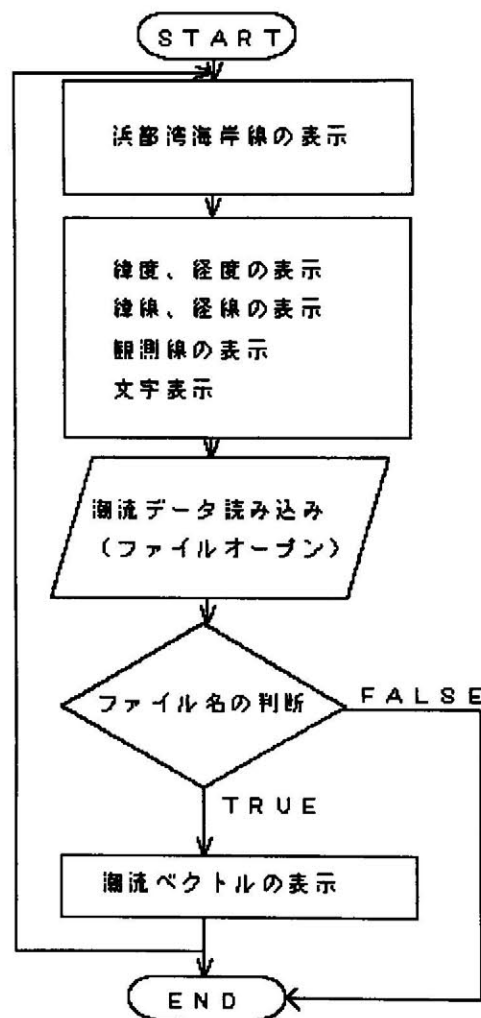


図4-3 解析プログラムのフローチャート

また、解析に使用した潮流データは、専用ファイルコンバーターを利用してアスキーデータ化したものである。

各観測線上の潮流ベクトルを卓越潮流の潮時に合わせて同時表示を行うために、観測日及び観測時間の違いによる潮流の位相の違いを修正した。なお、位相差の修正に用いた潮流は海上保安庁発行の潮汐表の予報値によった。潮流予報値は、浜都湾に最も近い位置である「豊島の南方約1300m地点（地点番号1318）」の値を利用している。

修正は、位相差についてのみ実施し、振幅については今回は実施していない。また、位相差は、いずれも観測日初日を基準として、2日目ないし3日目の予報値に対し修正を行い、各観測線の観測開始時間を±10分程度で一致させ、潮流ベクトルの同時表示図を作成した。

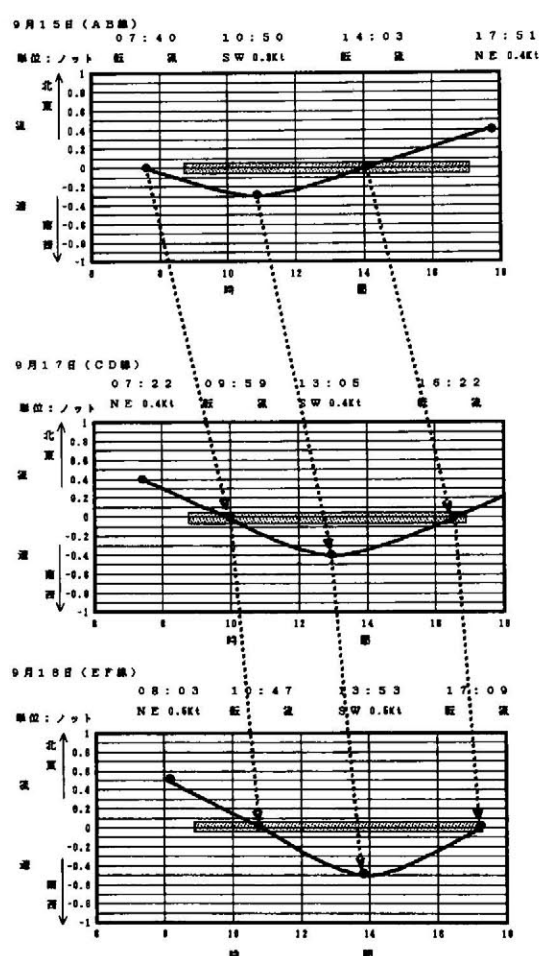


図4-4 第1次観測時の観測時間帯と沖合の潮流予報値

図 4 - 4 に、第 1 次観測（1994.9.15-18. 下げ潮流初期～下げ潮流末期）時の観測時間帯と沖合の潮流予報値及び 3 日間の潮流の位相の違いを示す。

図 4 - 5 には、第 2 次観測（1995.6.2-4. 上げ潮流初期～下げ潮流初期）時の観測時間帯と沖合の潮流予報値及び 2 日間の潮流の位相の違いを示す。

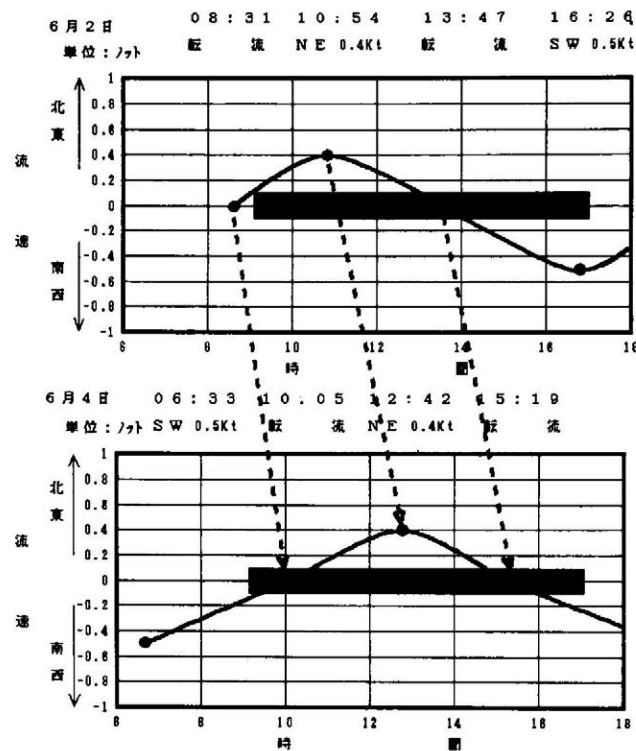


図 4 - 5 第 2 次観測時の観測時間帯と沖合の潮流予報値

位相は、第 1 次観測の 9 月 1 7 日及び 9 月 1 8 日の観測時間に対して、それぞれ（－）2 時間 1 7 分及び（－）3 時間 5 分を、また第 2 次観測の 6 月 4 日の観測時間に対して（－）1 時間 4 8 分の修正を行い、観測開始時間が ± 1 0 分程度となるような観測データを抽出した結果、第 1 次観測について 1 1 枚、第 2 次観測について 1 6 枚の潮流ベクトルの同時表示図を作成することができた。

図 4 - 6 及び図 4 - 7 に、第 1 次及び第 2 次観測時の換算観測時間とその観測回数を示す。

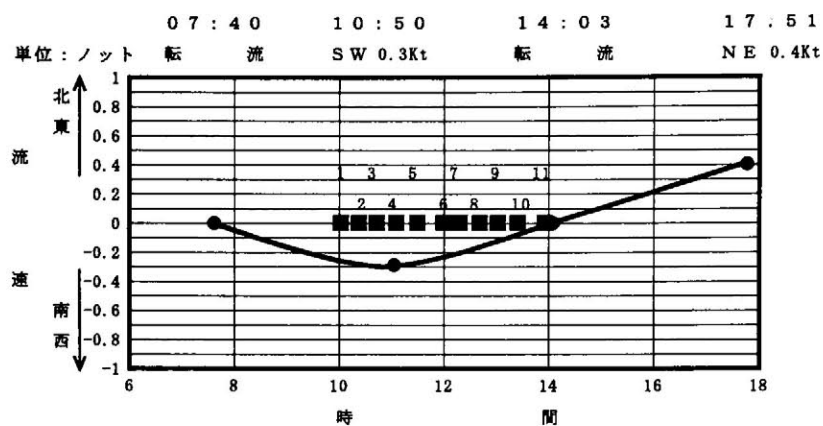


図 4 - 6 第 1 次観測時の換算観測時間とその回数(左から 1、2、3、・・・)

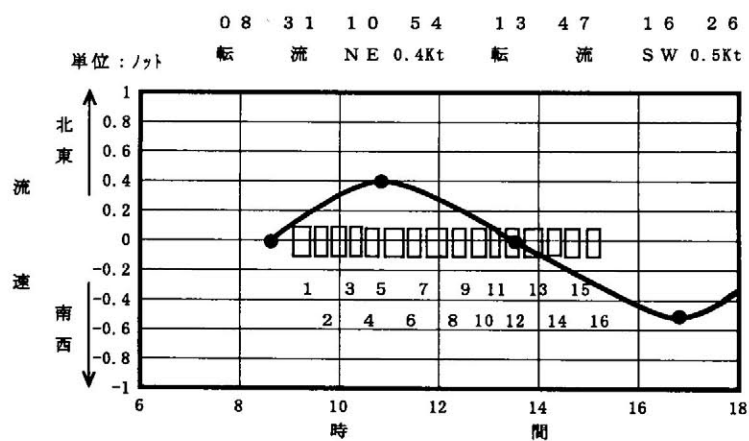


図 4 - 7 第 2 次観測時の換算観測時間とその回数(左から 1、2、3、・・・)

図 4 - 8 ～ 図 4 - 1 1 は、下げ潮流初期、最強時、末期、転流時頃の潮流ベクトルの同時表示図を示す。

また、図 4 - 1 2 ～ 図 4 - 1 5 は、同様に上げ潮流時のそれを示す。

DATA NUMBER 1

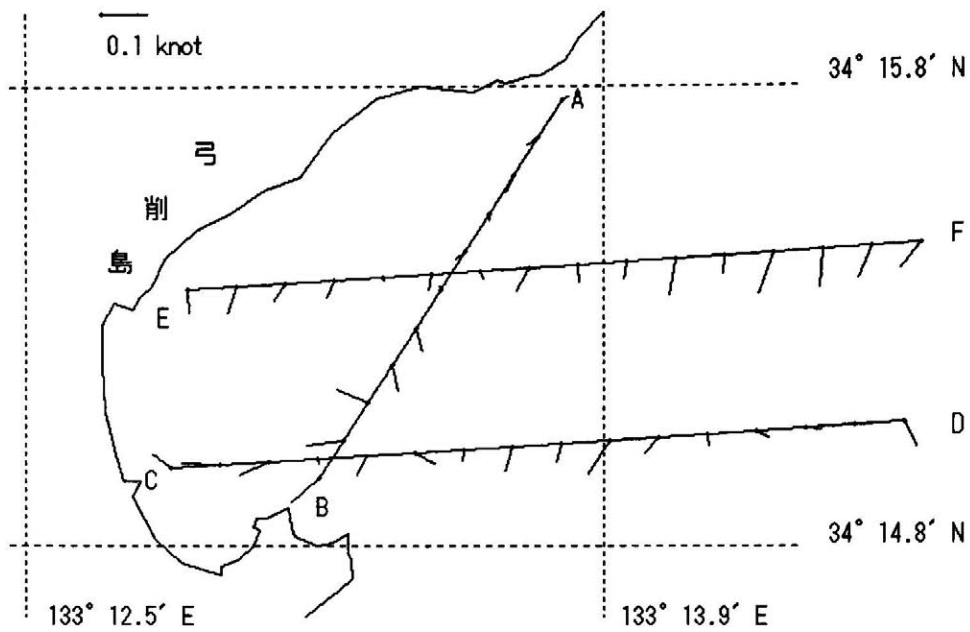


図 4 - 8 下げ潮流初期の同時表示図 (第 1 次第 1 回)

DATA NUMBER 4

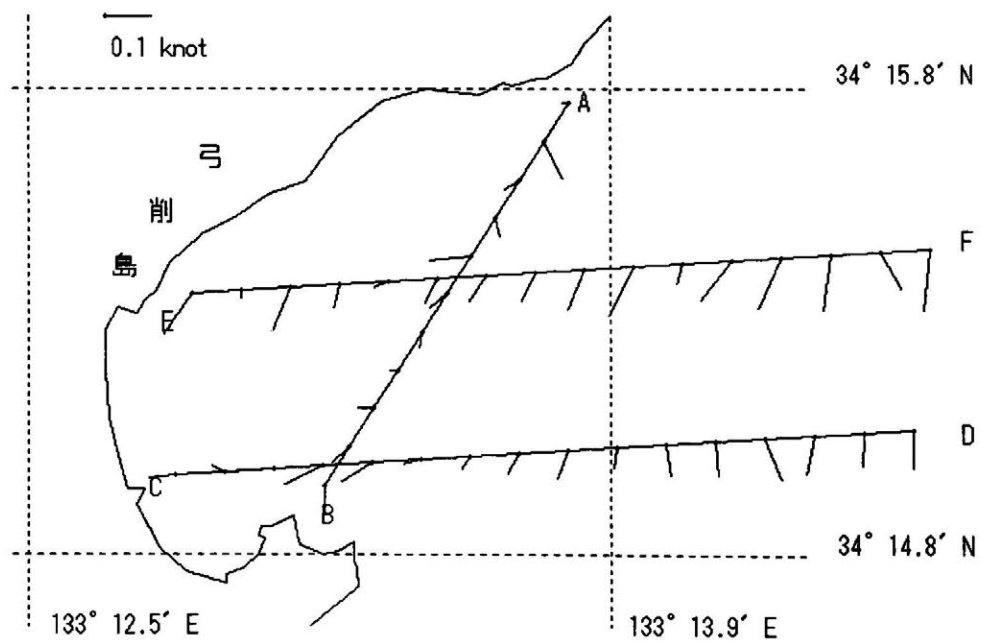


図 4 - 9 下げ潮流最強時の同時表示図 (第 1 次第 4 回)



DATA NUMBER 8

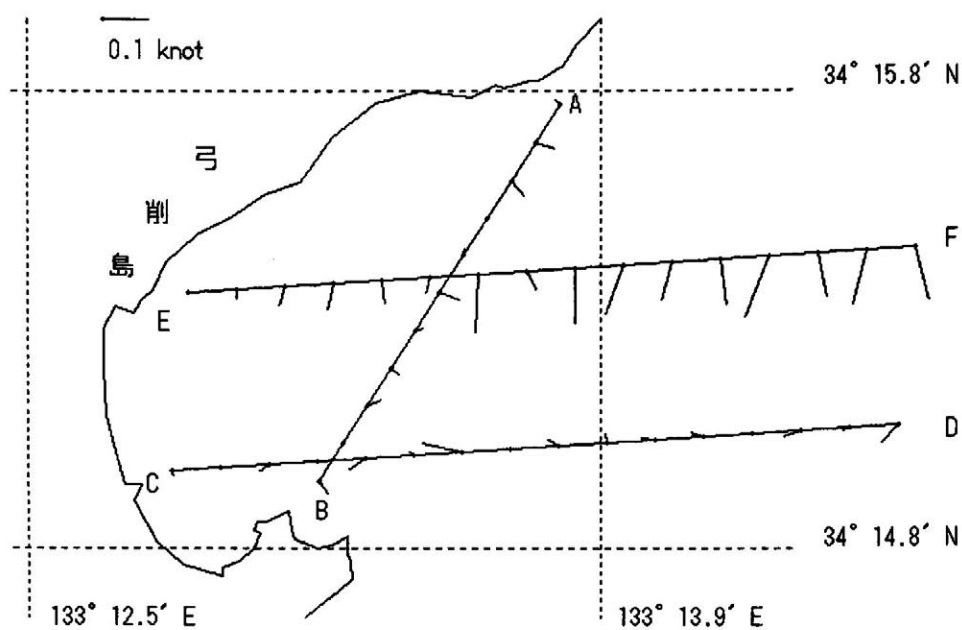


図 4 - 1 0 下げ潮流末期の同時表示図 (第 1 次第 8 回)

DATA NUMBER 11

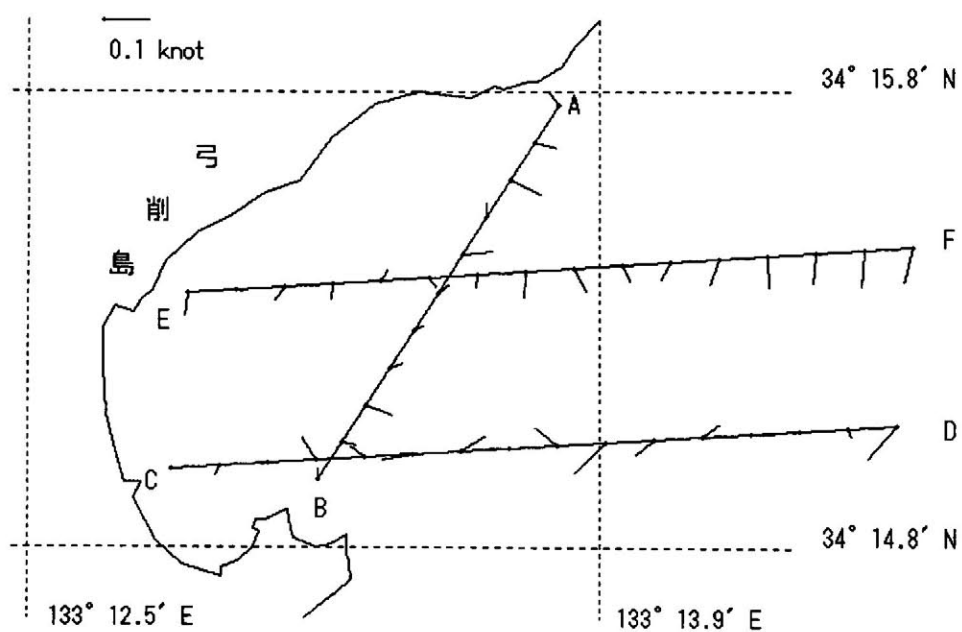


図 4 - 1 1 下げ潮流転流頃の同時表示図 (第 1 次第 1 1 回)

DATA NUMBER 1

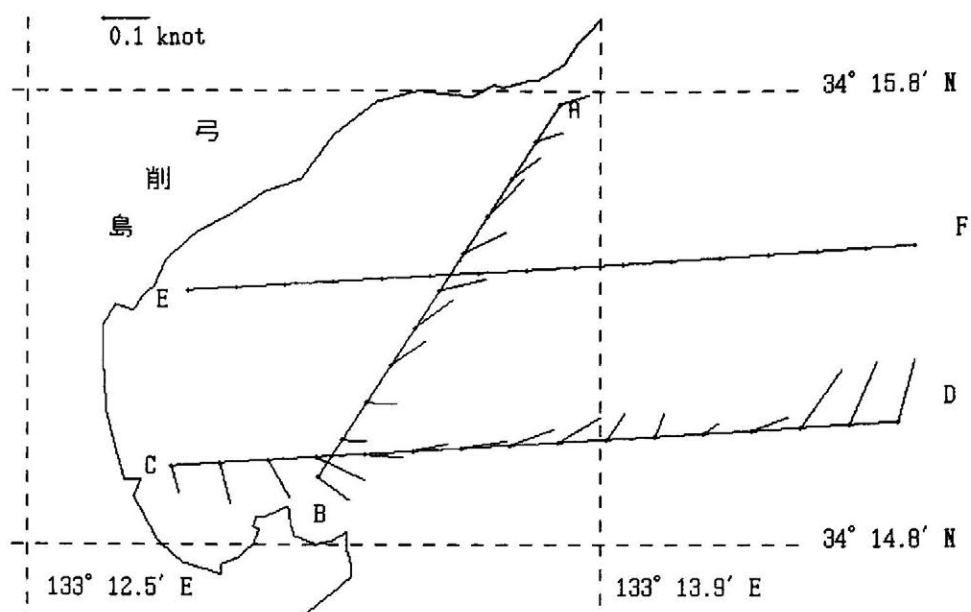


図 4 - 1 2 上げ潮流初期の同時表示図 (第 2 次第 1 回)

DATA NUMBER 5

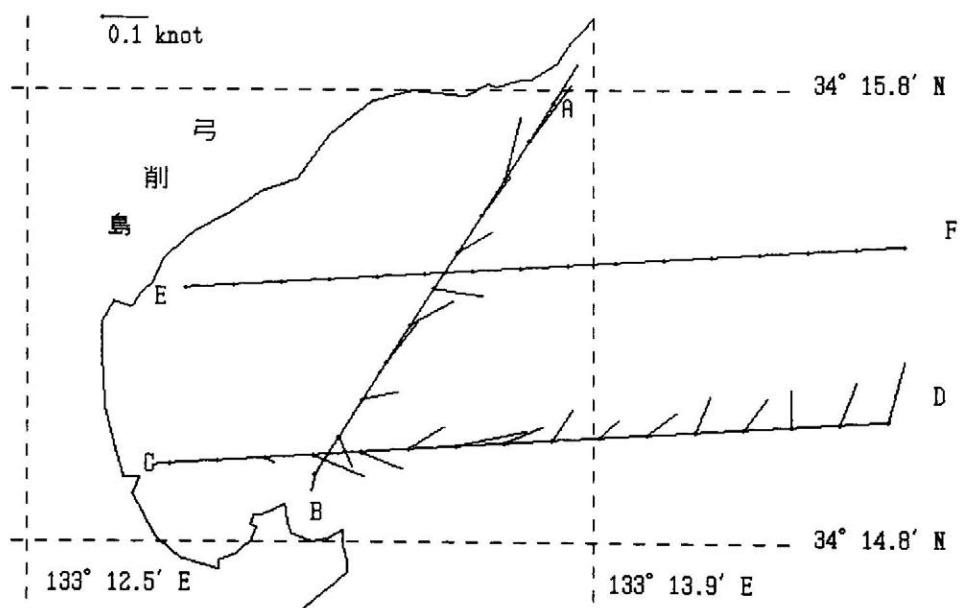


図 4 - 1 3 上げ潮流最強時の同時表示図 (第 2 次第 5 回)

DATA NUMBER 10

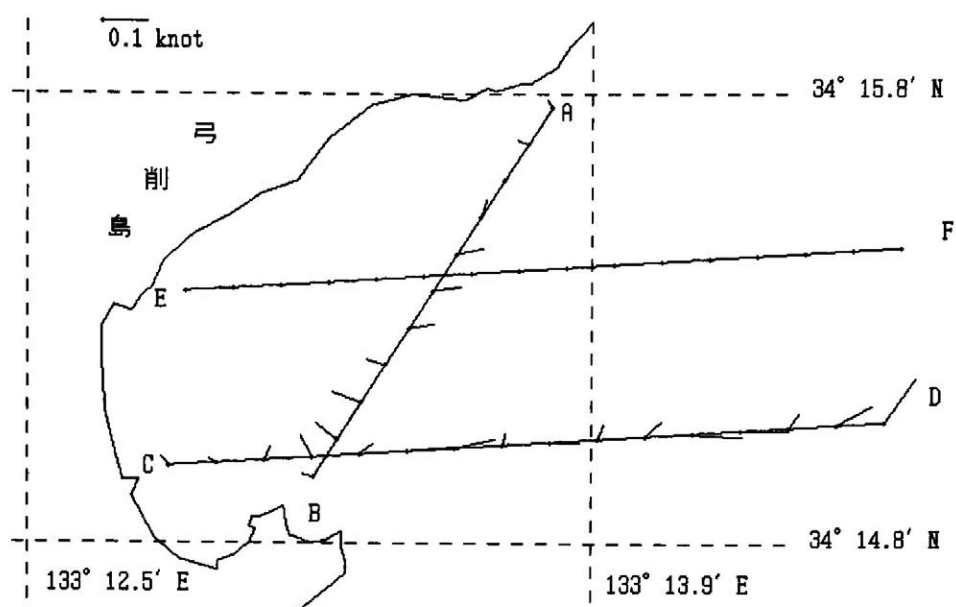


図 4 - 1 4 上げ潮流末期の同時表示図（第 2 次第 1 0 回）

DATA NUMBER 12

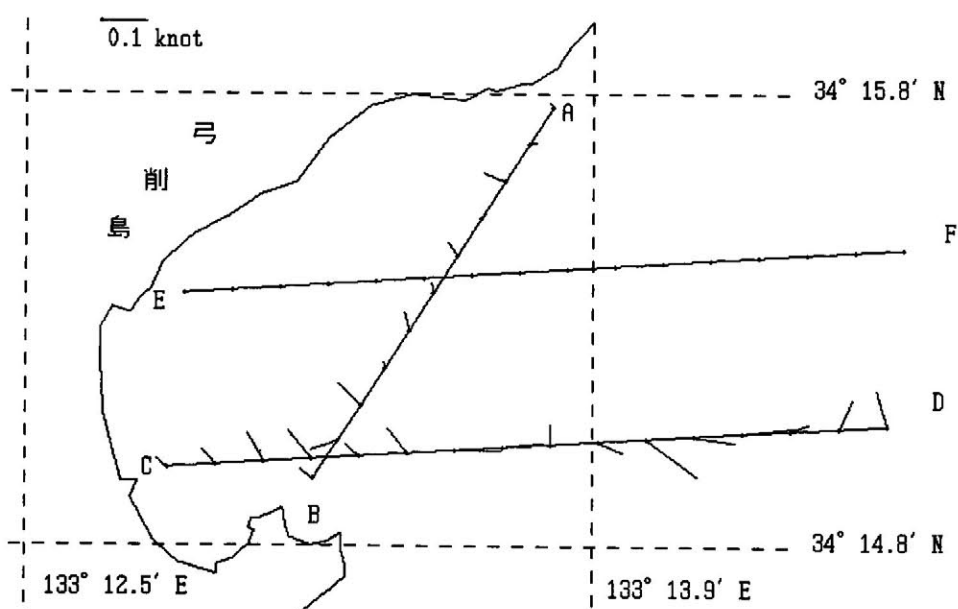


図 4 - 1 5 上げ潮流転流頃の同時表示図（第 2 次第 1 2 回）

図4-8～図4-15に示した潮流ベクトルは、いずれも水深約2mのものである。ベクトルの始点はいずれの図も観測線上となるように描画してある。上層と下層の流れについて比較を行ってみたが、各観測線とも浜都湾南部の岬周辺（観測点B付近）の一部海域を除き、上層・下層で顕著な違いはなく、ほぼ順圧的な流れであった。

図4-16は、観測線ABにおける第1次第1回観測時の各層の潮流ベクトル図を示す。

図4-16の左側が観測点B、右側が観測点Aを表し（図4-1参照）、表層付近から水深2mごとに潮流ベクトルを描いている。潮流ベクトルの方向は、図の上方が北、下方が南を意味している。下部の実線は海底を意味している。また、最下部の％表示（色分け）は取得データの信頼性を表し、ここではほぼ100％の信頼性を示している。

この図から判るように、観測点B付近（浜都湾南部の岬付近）に一部傾圧的な流れがあるが、他は各点の鉛直方向で上層・下層に顕著な違いは見られなかった。

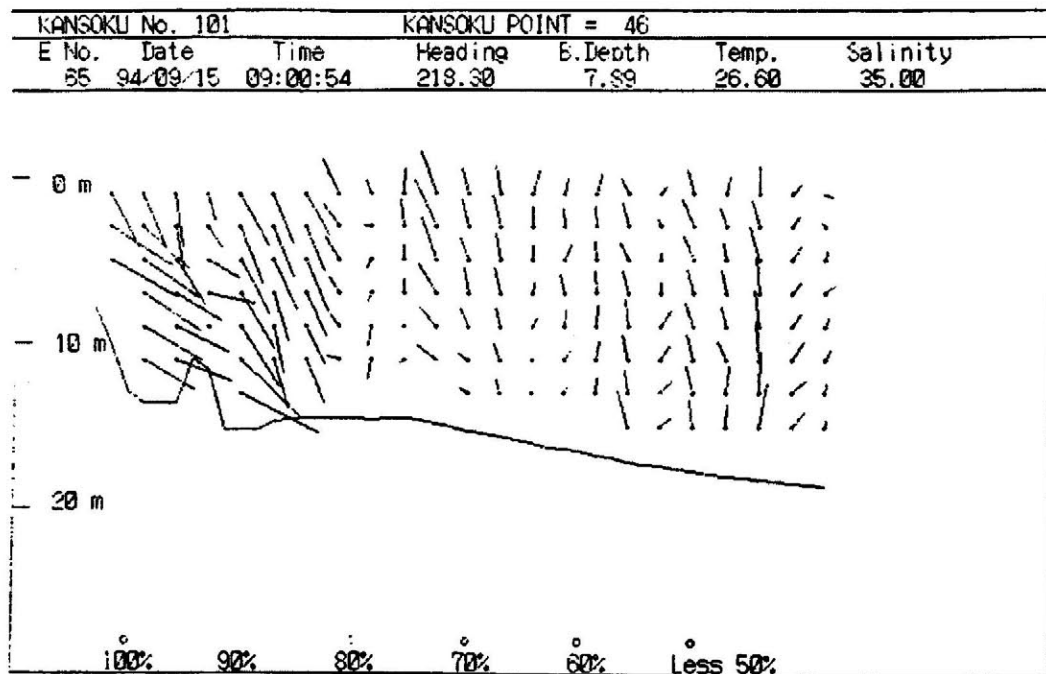


図4-16 観測線ABの多層ベクトル表示（第1次第1回）

従って、ここでは平面的な流れを前提として観察した。その結果、以下のことが判った。

1) 潮流予報値参照海域が下げ潮流最強時頃（図4-9参照）における浜都湾沖合の主流域は南西方向に0.1～0.2 knotで流れ、また同海域が上げ潮流最強時頃（図4-13参照）における浜都湾沖合のそれは北東に0.1～0.2 knotと潮流予報値参照海域のおよそ半分の流速で流れている。

2) 浜都湾沖合が下げ潮流時は、観測点B付近で岬の地形影響を受けた南西主流の一部が湾内に分岐し、時計回りの渦流を生成し、湾内で反流域を形成している。一方では、弓削島の海岸線に沿うように、島の北の方から主流成分が湾内に流入し、湾内の流れを複雑にしている（図4-8～図4-9参照）。

3) 下げ潮流から上げ潮流への転流は南から北方向へ伝播している。

4) 潮流予報値参照海域が上げ潮流初期頃には、浜都湾沖合では（観測点D付近）既にかなり強い上げ潮流が観測され、観測点B点付近で湾内から沖合に向かう比較的強い流れ（0.1 knot強）が観測された（図4-12参照）。これは下げ潮流時の南下流のなごりと考えられる。

5) 潮流予報値参照海域が上げ潮流最強時頃には、観測線AB線と観測線EF線の交点の北側海域付近から湾内に流入する北東主流の分岐が観測され、観測線EFのデータがないので明確に示すことができないが、観測点B点付近での湾内から沖合への流出と相俟って、湾内には比較的弱い反時計回りの流れが形成されているものと考えられる（図4-13参照）。

6) 潮流予報値参照海域が上げ潮流末期頃には、既に観測線CD付近で転流が始まっており、上げ潮流から下げ潮流への転流は北から南方向に伝播している。

以上の観察結果から、浜都湾内の流れを判り易く表現するために下げ潮流時及び上げ潮流時の典型的な二つの模式図を作成してみた。

図4-17は、下げ潮流最強時から末期頃の浜都湾内の流れの模式図を示す。

下げ潮流時は、観測点B付近の地形影響を受けて湾内に分岐した主流の一部が反流域を形成し、一方では浜都湾北側海域から湾内に流れ込んでいる主流と湾中央部付近で合流し、離岸流となって沖合に流出しながら時計回りの渦を形成している。

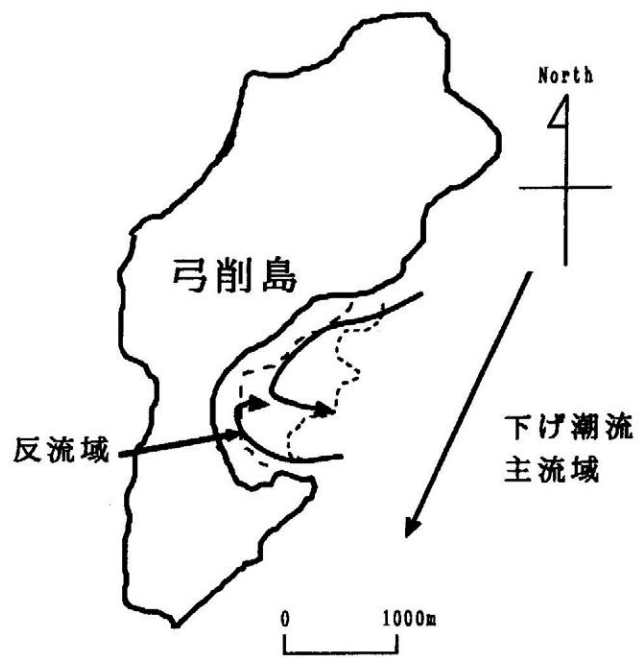


図 4 - 1 7 浜都湾の下げ潮流時の模式図

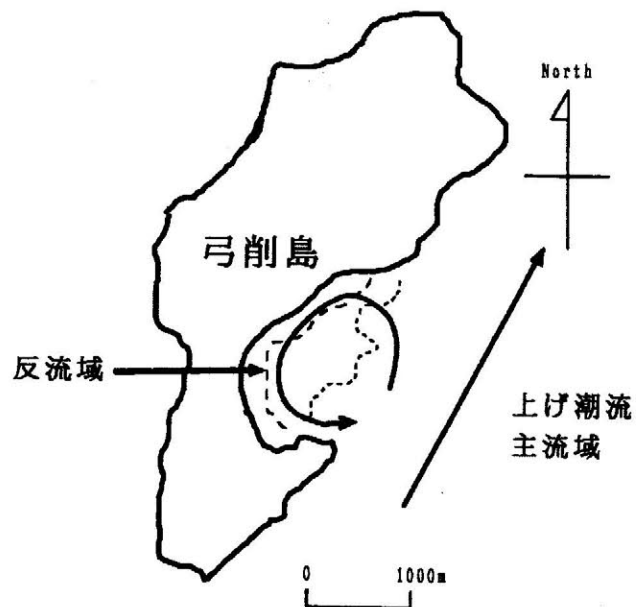


図 4 - 1 8 浜都湾の上げ潮流時の模式図

この渦流は、潮流予報値参照海域が下げ潮流初期頃はまだ小さなものであるが、時間の経過とともに成長し、下げ潮流最強時を過ぎた頃から顕著となり、下げ潮流末期から転流時頃にかけて発達する。観測時における流速は、観測点 B 付近など部分的に強いところもあるが、総じて 0.1 knot 程度であると推定できる。

図 4-18 には、上げ潮流初期から最強時頃の浜都湾内の流れの模式図を示す。

下げ潮流のなごりと考えられる比較的強い流れが、上げ潮流の主流域に吸い込まれる形で、特に観測点 B 付近に観測され、この流れが牽引する形で湾内に反時計回りの反流域が形成されているものと考えられる。この点については、観測線 E F のデータが欠損しているため明確に断言はできない。一方では主流の一部が浜都湾北側から湾内に流入し、海岸線に沿うような形で湾内の反流を補強しているように観察できるが、上記の理由で詳細は不明である。

浜都湾内では潮流予報値参照海域より転流が早く起こり、同海域が上げ潮流末期頃には既に浜都湾内は下げ潮流傾向が見られるようになる。

観測時の上げ潮流時における湾内の反流域の流速は、観測点 B 付近など部分的に強いところもあるが、下げ潮流時と同様に総じて 0.1 knot 程度であると推定できる。

#### 4.4 おわりに

今回の観測で、上げ潮流・下げ潮流時における浜都湾内の流況の現況をほぼつかむことができた。

上げ潮流時には、湾内は反時計回りの反流域が卓越し、下げ潮流時は時計回りの反流と湾入する主流との合流で湾中央部付近に離岸流を形成しながら、時計回りの渦流が生成されていることが判った。

これらの流れは、特に 10 m 等深線の形状と良く一致し（図 4-1 参照）、また本稿では触れていないが、地元の漁師さん等への聞き取り調査で収集した



経験データとも比較的良く符合していたことを付け加えておきたい。

浜都湾のほぼ中央部に位置する松原海水浴場は、この数年海水浴シーズンになると、数百万円の予算を投じて砂浜の砂を補充している。砂浜の浸食は潮流と風浪の複合影響で発生しているものと推察できる。

今回の観測で得られた経験やデータを基礎資料として、今後來島海峡海域での流況調査に役立てていきたい。

## 第 5 章 来島海峡南東部の潮流の特徴

### 5. 1 はじめに

流れの速い海峡部における潮流の観測は、一般に容易ではない。また、来島海峡のように一般航行船舶の主要な通航路となっている場所においては、なおさらその制約が多いものとなる。このため、このような海峡部における潮流の観測方法<sup>32)</sup>として、係留系を設置する方法やフロートなどのトレーサーを利用する方法、人工衛星画像や航空写真を利用したリモートセンシングによる方法などがあるが、近年に開発・実用化された ADCP を利用することで比較的容易に観測が行えるようになった。

弓削商船高専練習船「弓削丸」及び広島商船高専「広島丸」に装備されている ADCP を用いて、来島海峡南東部付近の潮流を観測し、その特性について明らかにした。

### 5. 2 観測場所、観測目的及び観測の方法

観測を実施した海域は、来島海峡航路東側出入口から備後灘推薦航路（真方位 56 度）方向に約 2.5 マイル離れた海域で、2 隻の練習船を用いた同時観測を実施するため 2 本の観測線を設定し、その観測線上で観測を実施した。

図 5-1 に観測海域の概要を示す。

表 5-1 には設定観測線の概位を示す。

設定観測線は互いに平行で、線間距離は約 1500 メートルである。各観測線の線長は約 4 マイルで、西側観測線の北端を A 点、南端を B 点、同様に東側観測線の北端を C 点、南端を D 点とした。

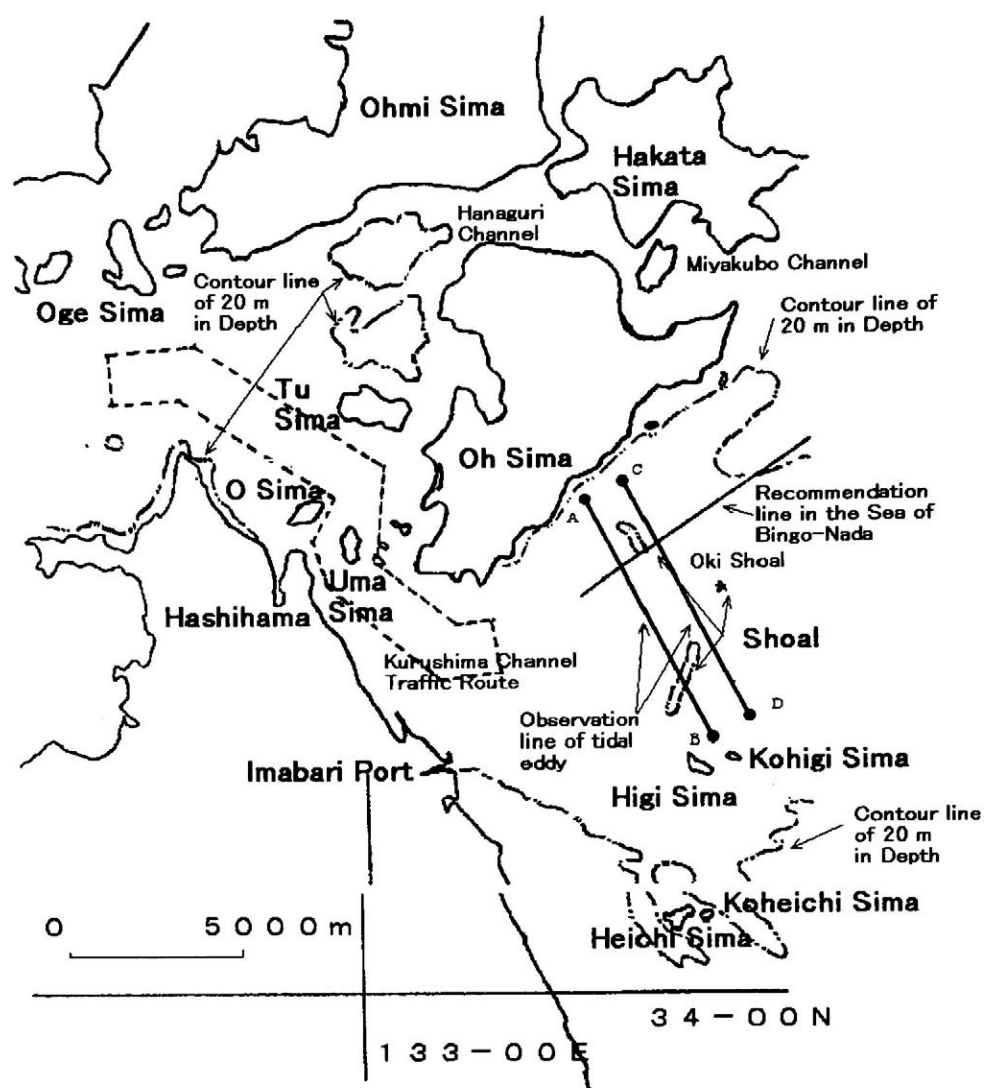


図 5 - 1 観測海域の概要

表 5 - 1 設定観測線の概位

POINT	LATITUDE	LONGITUDE
A	34-07.45N	133-03.93E
B	34-03.81N	133-05.95E
C	34-07.80N	133-04.91E
D	34-04.17N	133-06.87E

観測の目的は次のとおりである。

これまでの観測から、沖ノ瀬北西部の水深20メートル程度の浅瀬以北の海域に明確な反流域の存在が確認されている<sup>36)</sup>。しかし、反流域の規模や形成状況についてはよく判っていない。したがって、これらの点を観測し、来島海峡南東部付近の潮流の特性を明確にする。

観測は、観測線ABを「広島丸」が、観測線CDを「弓削丸」が分担し、互いにトランシーバーで連絡し合いながら毎回の観測開始時間を合わせ、毎回の観測終了時間は±10分程度の精度で同期をとった。

位置情報はロランC（古野電機製LC90-MARK II（M））を用い、針路・船速情報は超音波ドップラー速力計（古野電機製CI-30）のデータを使用した。ちなみに、両船の観測・解析システムはすべて同一メーカー・同一形式のものを使用した。

表5-2に、観測時の初期設定データを示す。

また、表5-3には、観測の回数、各観測時の進行方向及び両船の観測時間を示す。

観測は、「広島丸」の方は全観測を通じて比較的スムーズに行えたが、「弓削丸」の方は4回程度航路筋の航行船に対する回避措置に伴う離路や機関調整（速力変更）があった。しかし、解析結果にはほとんど影響は見られなかった。

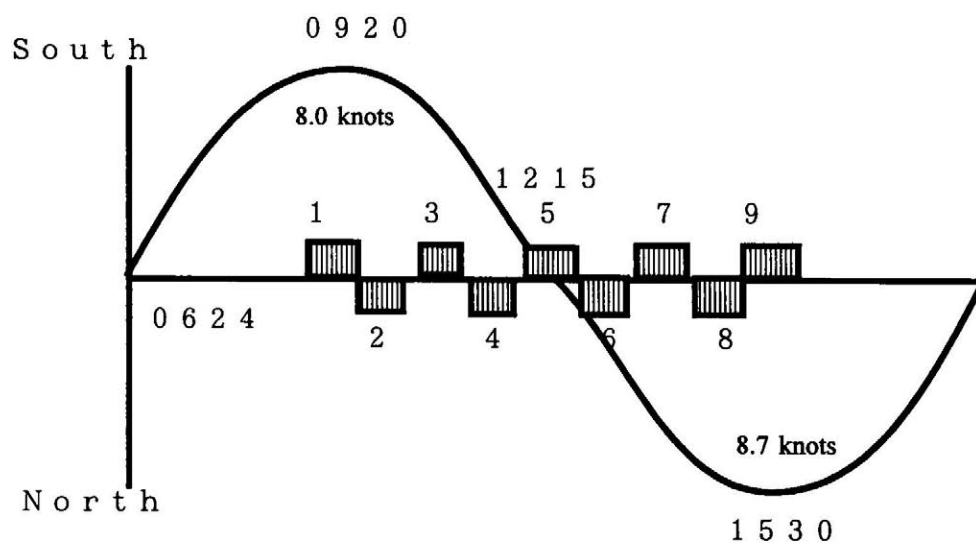
表5-2 観測時の初期設定データ

ITEM	CONTENT(S)
DATE	August 19,1993
TIME	09:00-16:00
SHIP SPEED	6 knots
LINE DISTANCE	4 miles
SAMPLING TIME	1 minute
DEPTH	16-54m (AB line), 21-40m (CD) line
MEASUREMENT DEPTH	8m, 10m, 12m

表 5 - 3 観測の回数、観測時間など

No.	Dir.	SURVEYING TIME	
		HIROSHIMA-MARU	YUGE-MARU
1	S E	09:00-09:39	09:00-09:41
2	N W	09:45-10:25	09:45-10:26
3	S E	10:35-11:09	10:35-11:19
4	N W	11:20-12:00	11:20-12:01
5	S E	12:05-12:45	12:05-12:48
6	N W	12:50-13:32	12:50-13:32
7	S E	13:40-14:21	13:40-14:23
8	N W	14:25-15:03	14:25-15:04
9	S E	15:10-15:51	15:10-15:54

図 5 - 3 来島海峡の潮流及び A D C P 観測時間



観測当時の月齢は1.2（新月に相当）で、「大潮」時期の相当する。潮汐表によれば、観測時における来島海峡中水道の最強流速は南流時（上げ潮流時）8ノット、北流時（下げ潮流時）8.7ノットである。

観測は南流（上げ潮流）最強直前から開始し、北流（下げ潮流）最強直後で終了するという半周期観測であった。

図5-3には、潮汐表に掲載された観測当時の来島海峡中水道の潮流データ及び観測時間を示す。

### 5.3 解析結果及びまとめ

観測の結果から得られたデータに基づいて、流速ベクトルを描いてみた。解析プログラムはBASIC言語で書いたオリジナルなものである（付録D参照）。なお、潮流ベクトルの始点はいずれの図も黒点の位置である。

図5-4には、潮流が南流から北流に変わる転流期直前に実施した第4回観測時の3層（第1層=8m、第2層=10m、第3層=12m）の流速ベクトルを示す。

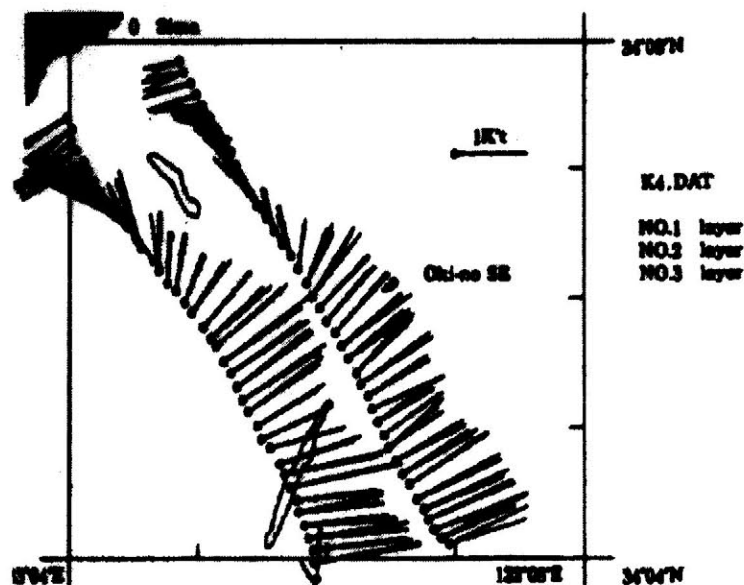


図5-4 第4回観測時の3層の潮流ベクトル図

図5-4を見ると、観測を行った3つ層の上層・下層の間ではほとんどベクトルの傾向に大きな違いが見られず、明確な系統的变化は観察できなかった。したがって、以下に示す潮流ベクトル図はいずれも観測した3つの層の平均ベクトルを描いてある。

図5-5～図5-13には、各観測ごとの3層の平均潮流ベクトル図を示す。

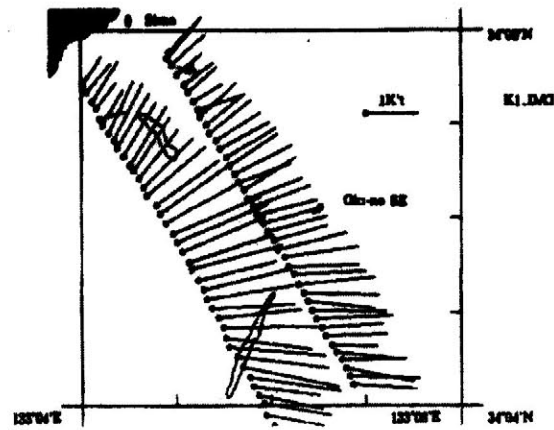


図5-5 第1回観測時の潮流ベクトル図

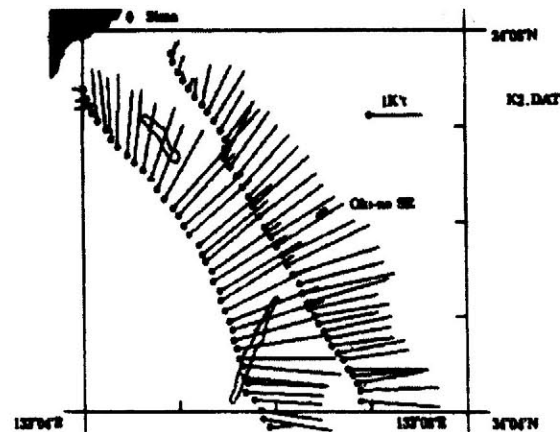


図5-6 第2回観測時の潮流ベクトル図



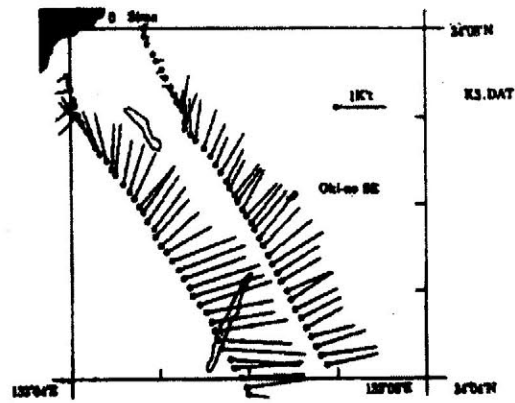


図 5 - 7 第 3 回観測時の潮流ベクトル図

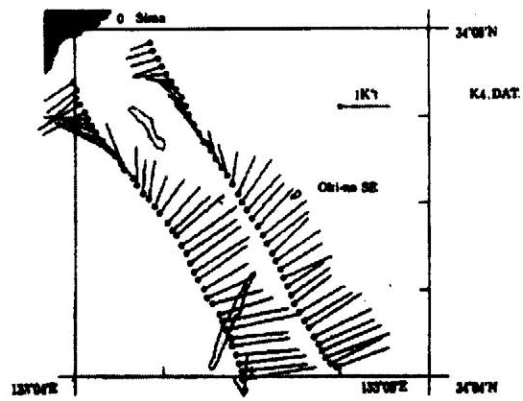


図 5 - 8 第 4 回観測時の潮流ベクトル図

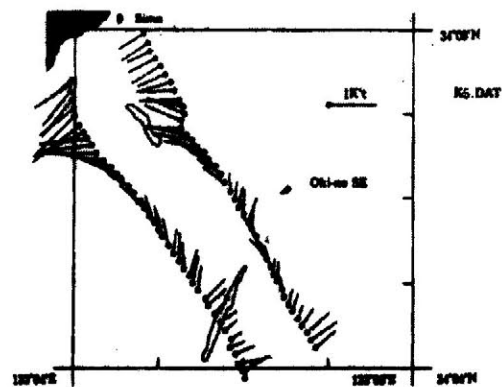


図 5 - 9 第 5 回観測時の潮流ベクトル図

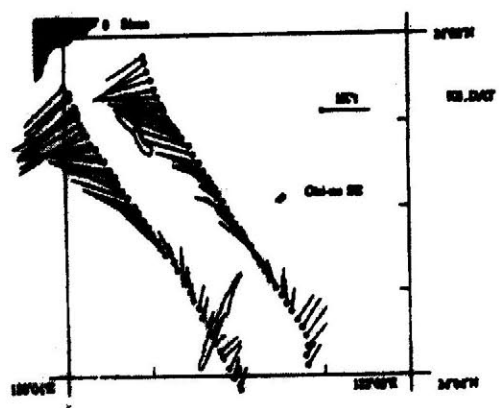


図 5 - 1 0 第 6 回観測時の潮流ベクトル図

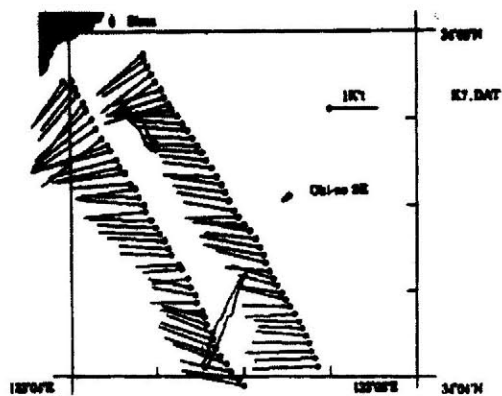


図 5 - 1 1 第 7 回観測時の潮流ベクトル図

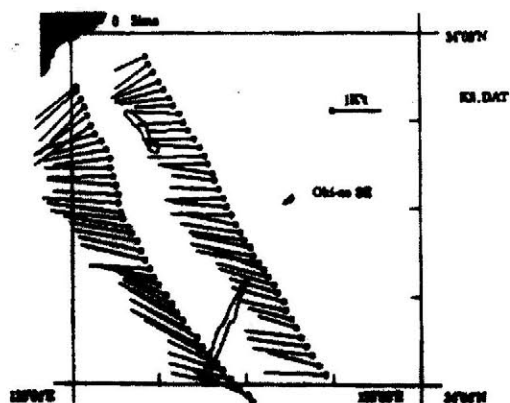


図 5 - 1 2 第 8 回観測時の潮流ベクトル図

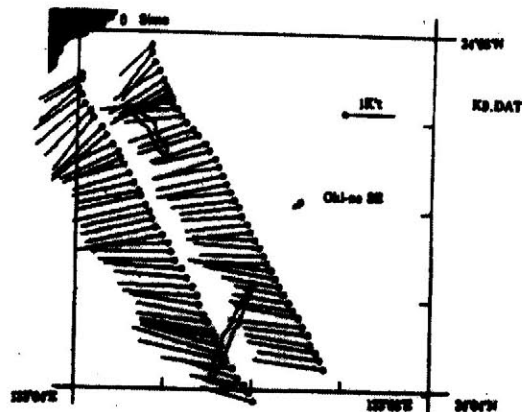


図 5 - 1 3 第 9 回観測時の潮流ベクトル図

これらの図から転流時前後に反流域が一番発達する様子が顕著に観察できた (図 5 - 7 ~ 図 5 - 1 0 参照)。

解析の結果、これまでの観測から潮流渦の存在を伺わせる転流時前後における沖ノ瀬北西部の水深 20 メートルの浅瀬付近の潮流ベクトルの変化は、主流域と反流域とを形成する楕円状の潮流渦の一部分の弧であることが推測できる。

転流時に相当する第 5 回観測時の潮流ベクトル図 (図 5 - 9 参照) を例にすると、各観測線の主流域及び反流域を形成する最大潮流ベクトルがそれぞれ接線となるような 4 つの接点を結ぶ楕円を考えることができる。

図 5 - 1 4 には第 5 回観測時の最大潮流ベクトルとそれを結ぶ楕円弧を示す。

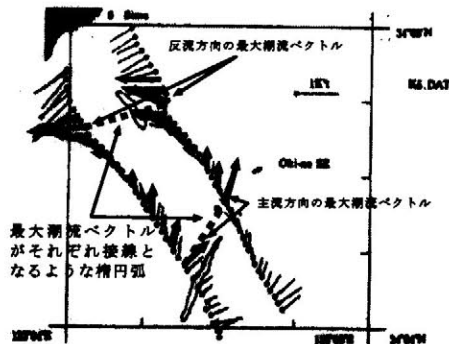


図 5 - 1 4 第 5 回観測時の最大潮流ベクトルとそれを結ぶ楕円弧

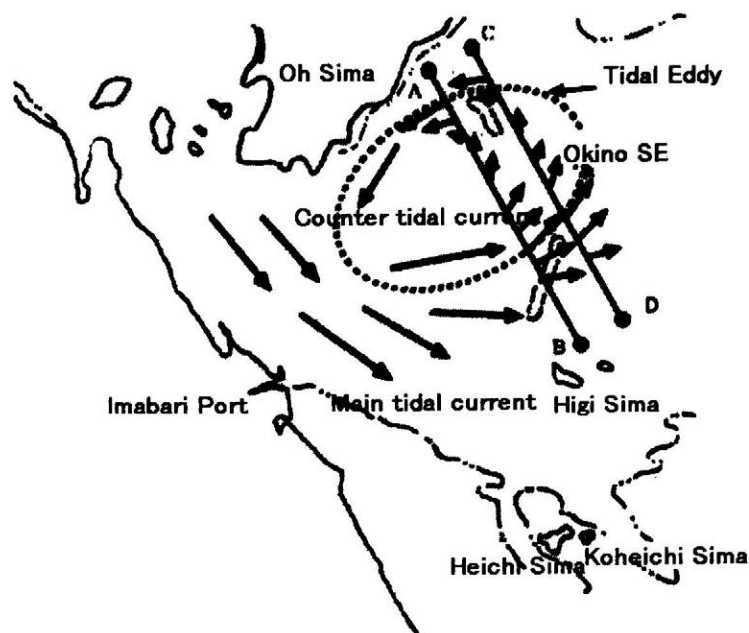


図 5 - 1 5 楕円状の潮流渦の概念図

図 5 - 1 5 には、主流域と反流域で形成される潮流渦の概念図を示す。

この図から判るように、来島海峡から燧灘に入ってきた潮流が、一部沖ノ瀬南西部及び同北西部の浅瀬の側壁に沿うような形で反流域を形成していることが、解析図と海底地形図<sup>40)</sup>を比較することで明らかになった(図 5 - 1 4 参照)。

#### 5. 4 おわりに

来島海峡南東部付近の潮流の特性について、その概要を明らかにした。

観測海域に形成される潮流渦は付近に散在する浅瀬の影響を受けていることが今回の同時観測によって判明した。

今回実施した観測形態である複数(二隻)の船舶による ADCP を用いた潮流の同時観測の例はほとんど見られなかった。今回の観測で明らかになったように、このような観測形態が潮流の特性を立証するのに有効である。

## 第6章 来島海峡水道部の潮流の船体に及ぼす影響

### 6.1 はじめに

来島海峡は通航路が狭く、地形の関係で見通しが悪いことや潮の流れが速く、航行の難所となっている。その中でも特に強潮流の影響が大きく、古くから潮流信号所が整備され、独特の通航方法である「順中逆西の航法」が採用されていることは既に述べたとおりである<sup>29)</sup>。

来島海峡の水深は、20 m～140 mと起伏が激しく、特に水道部は急激に深くなり、「海釜」と呼ばれる深みが形成され、大潮時期には水道部の下流域に複雑な地形性渦流が生成され、操船をいっそう難しくしているものと考えられる<sup>18)</sup>。

操船への潮流影響を検討する場合には、その潮流の流動構造を明確に観測・調査しておく必要がある。しかし、来島海峡の流動構造とその操船に与える影響については今だ不明な部分が多い。

これを確かめる目的で、1997年8月、2日間にわたり、調査船「弓削丸(240トン)」装備のADCP及び船体運動収録装置を用いて来島海峡航路内での潮流の流動構造と船体挙動を観察した。ここでは、その解析結果から潮流が航行中の船舶にどのような影響を与えているのかを論じる。

### 6.2 観測概要

図6-1に今回観測を行った来島海峡航路及びその周辺海域を示す。

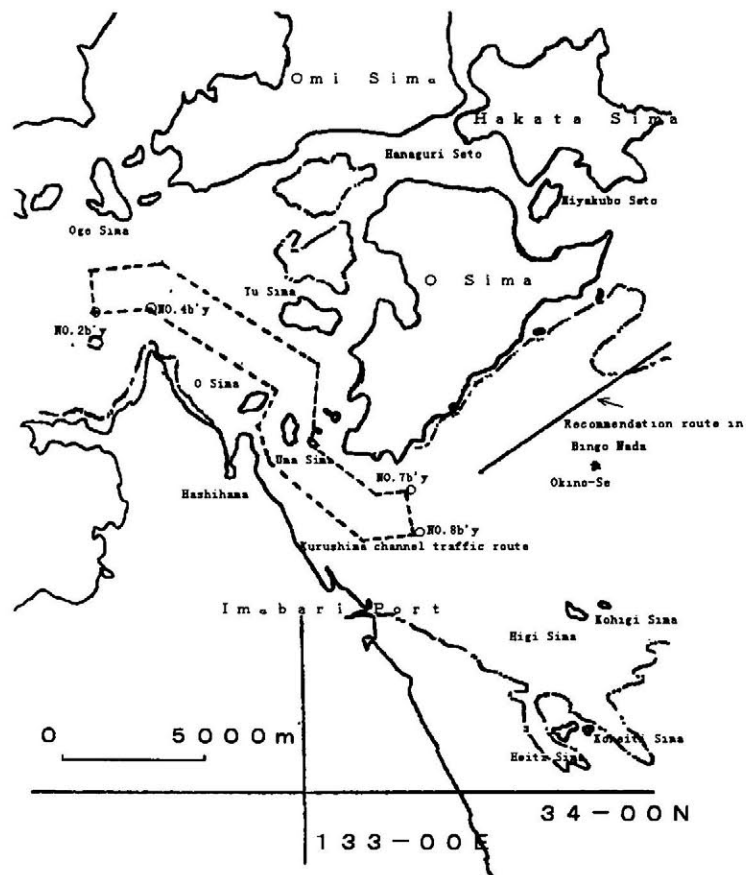


図 6 - 1 来島海峡航路及びその周辺海域

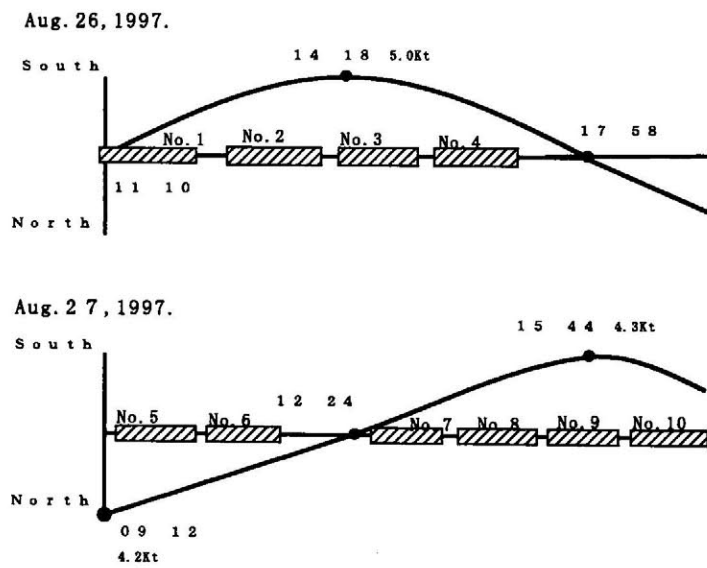


図 6 - 2 観測時の潮流と観測時間帯

表 6 - 1 観測時間及び通航水道など

Survey No.	Time	Dir.	Pass.Channel
8/26 1	1104-1211	W	Nishi-channel
2	1241-1340	E	Naka-channel
3	1403-1508	W	Nishi-channel
4	1527-1624	E	Naka-channel
8/27 5	0933-1029	W	Naka-channel
6	1049-1143	E	Nishi-channel
7	1258-1356	W	Nishi-channel
8	1416-1502	E	Naka-channel
9	1513-1600	W	Nishi-channel
10	1612-1644	E	Naka-channel

表 6 - 2 船体運動計測項目一覧

船体運動計測項目	単 位
( 1 ) 計測開始時刻	—
( 2 ) 計測終了時刻	—
( 3 ) 計測周期	秒
( 4 ) 計測回数	—
( 5 ) 舵角	度
( 6 ) C P P 翼角	度
( 7 ) 船首方位	度
( 8 ) 指令舵角	度
( 9 ) X ( 船首尾線方向 ) 対地船速	ノット
( 10 ) Y ( 船横方向 ) 対地船速	ノット
( 11 ) 緯度 ( G P S )	度・分
( 12 ) 経度 ( G P S )	度・分
( 13 ) 横移動速度 ( 船首 )	m/sec
( 14 ) 横移動速度 ( 船尾 )	m/sec
( 15 ) 真風向	度
( 16 ) 真風速	m/sec



観測は、来島海峡航路を通常の通航方法に従って航行しながら、繰り返し往復し、2日間で中水道5回、西水道5回の合計10回観測を行った。観測範囲は来島海峡航路のそれぞれ東西の出入り口線を観測開始及び終了の基準とした。観測データのサンプリング時間は、弓削丸装備の300KHz型ADCPでは約12秒、船体運動収録装置では1秒である。

図6-2に観測時の潮流と観測時間帯を示す。

表6-1に、観測時間及び通航水道、進行方向等を示す。同じく表2に、今回の観測時に収録した船体運動計測項目などを示す。

観測時の月齢は22.7～23.7で小潮時期、潮流は5.0～4.3ノットであった。

### 6.3 観測・解析結果

本観測では上げ潮流、下げ潮流を挟んで合計10回の観測を行った。このうち、典型的なパターンとして上げ潮流時と下げ潮流時のそれぞれ西水道（第3回観測及び第6回観測）及び中水道（第4回観測及び第5回観測）航行時の水深5mの潮流ベクトル図を図6-3～図6-6に示す。

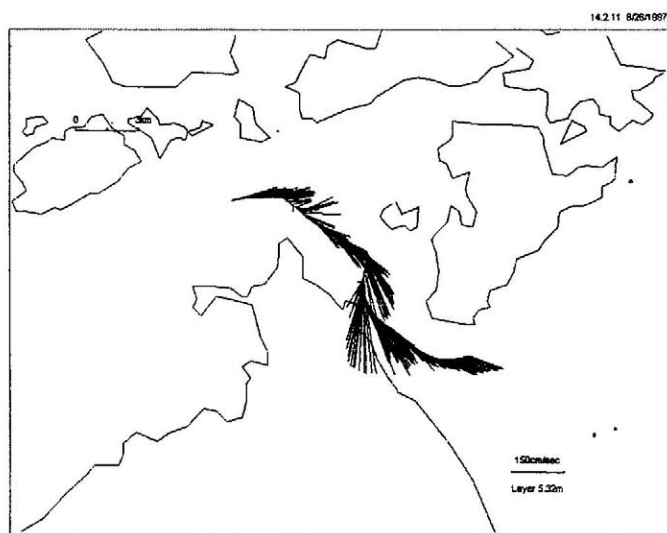


図6-3 第3回観測時の潮流ベクトル図（西水道航行）

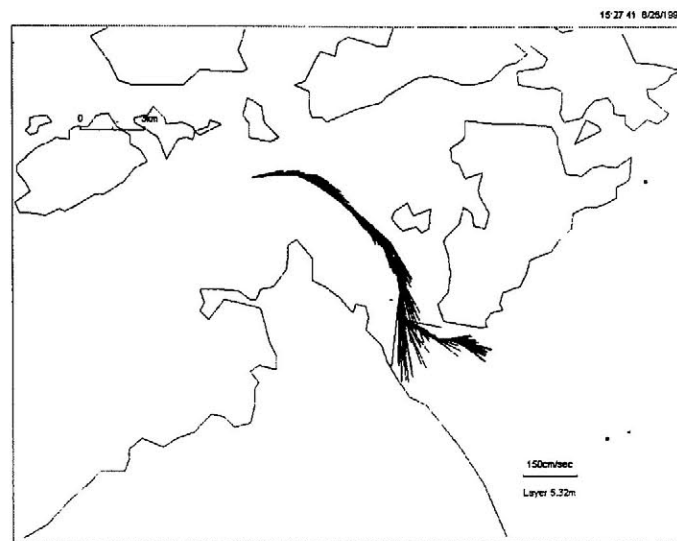


図 6 - 4 第 4 回観測時の潮流ベクトル図（中水道航行）

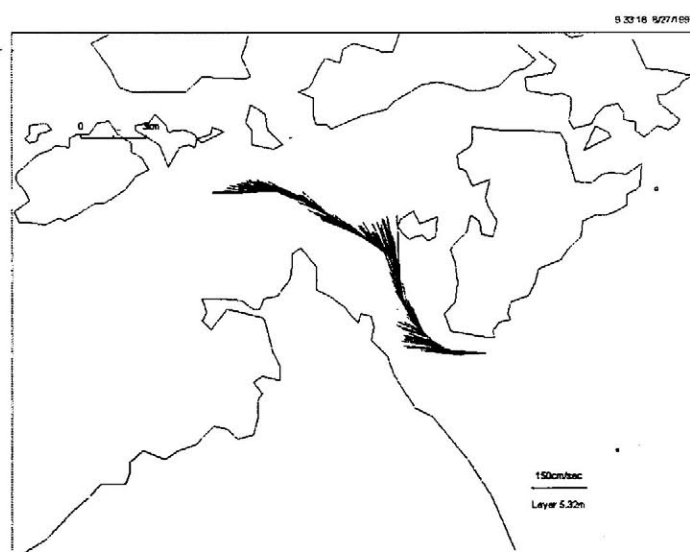


図 6 - 5 第 5 回観測時の潮流ベクトル図（中水道航行）

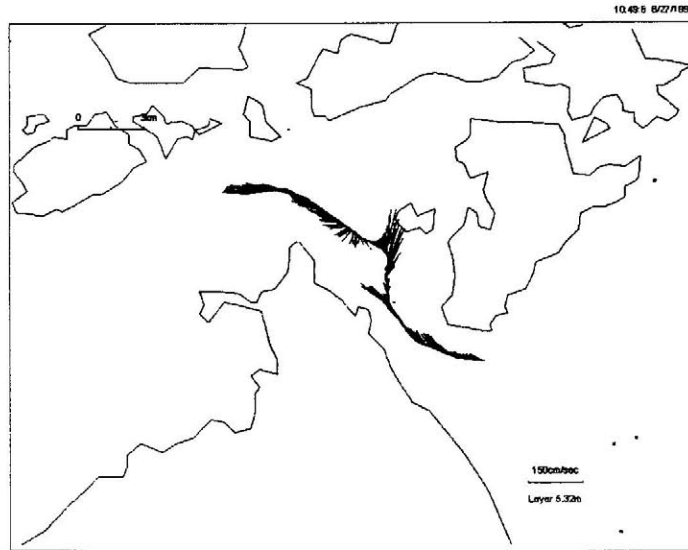


図 6 - 6 第 6 回観測時の潮流ベクトル図（西水道航行）

図 6 - 3 ～図 6 - 6 に示された潮流ベクトルの始点はいずれも中央に示された船の各航跡位置である。これらの図を見てみると、潮流の流線が場所によって大きく変化していることがよく判る。中水道や西水道などの水道部はほとんど流線が南北方向を向いており、かつ、流れも他の部分より強いことも顕著である。また、これらの図をよく見てみると、大角鼻や津島、小島、大島地藏鼻付近で流線の方が大きく変化しており、岬や半島の地形的な影響が流向の変化に大きくかかわっていることが判る。

図 6 - 7 及び図 6 - 8 は、それぞれ上げ潮流時に相当する第 3 回観測（西水道航行）及び第 4 回観測（中水道航行）の時の潮流ベクトルの多層表示を示す。

これらの図で、縦軸は水深を 5 m 間隔で表示し、横軸は観測時間の経過を表している。下方の空白部分は海底を示している。海底付近でベクトルが極端に大きくなっているのはデータエラーと考えられる。深いところは 140 m 程度ある。ここでは、データの信頼度の低くなっているため、100 m までしか表示していない。これらの図を見ると、一部深淵部を除いて上層と下層の流れに大きな違いがないことが判る。

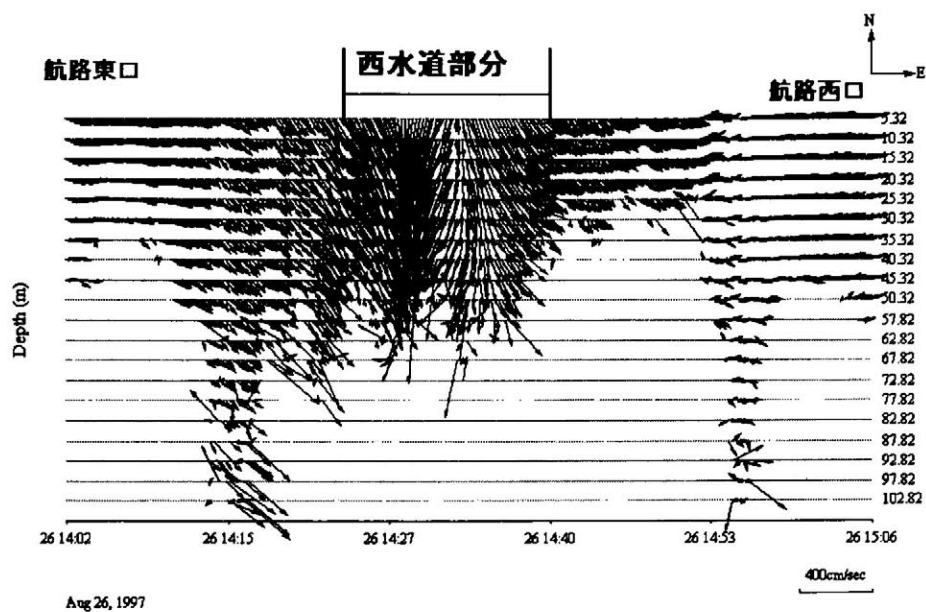


図 6 - 7 第 3 回観測時の潮流ベクトルの多層表示

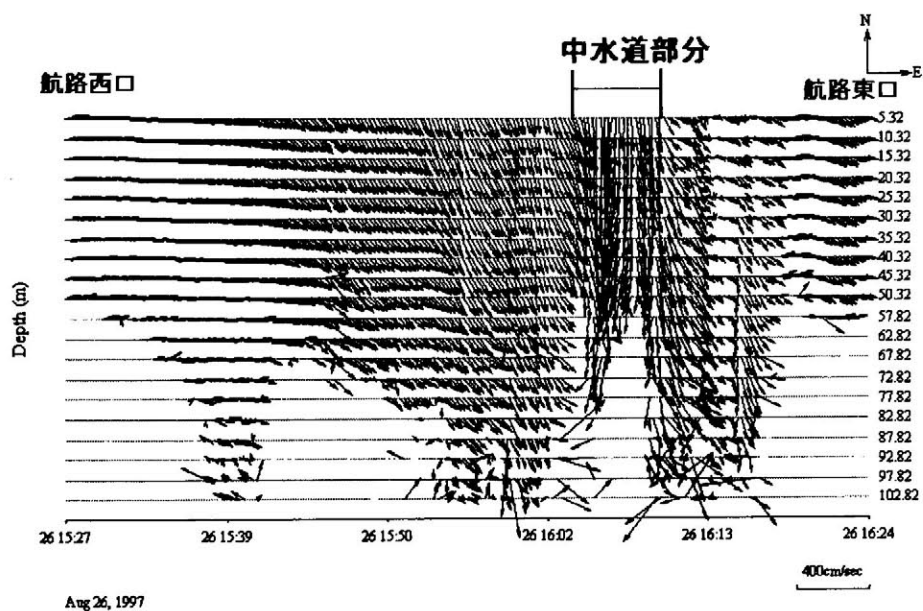


図 6 - 8 第 4 回観測時の潮流ベクトルの多層表示

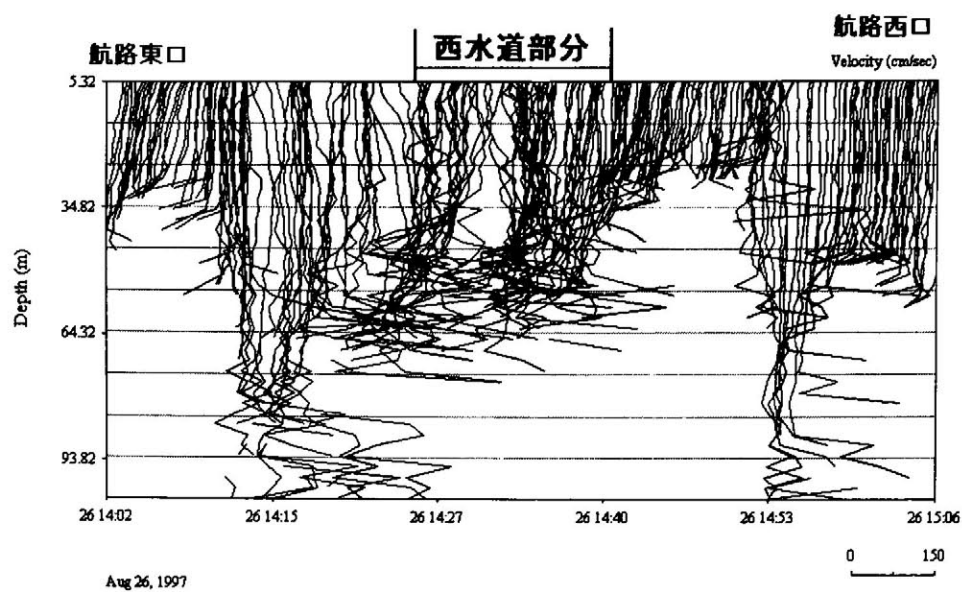


図 6 - 9 第 3 回観測時の潮流ベクトルのプロファイル

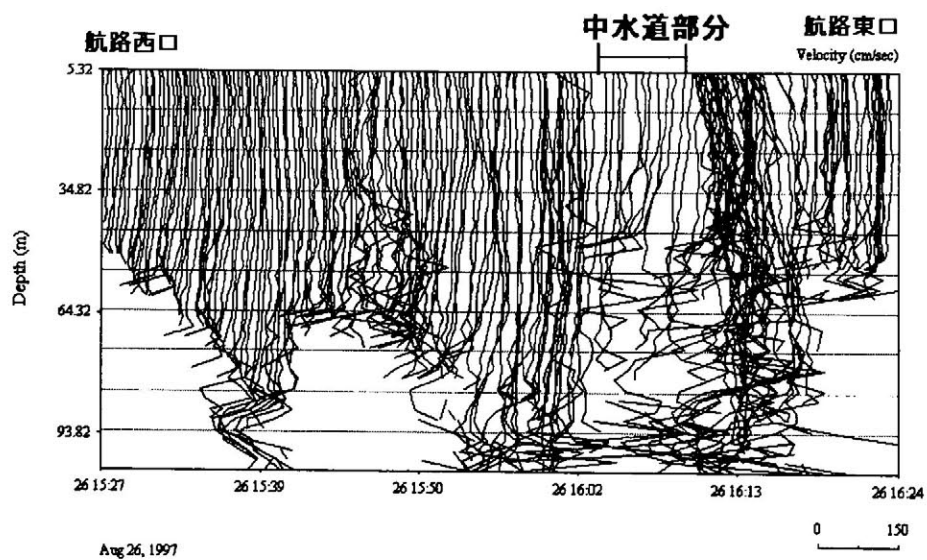


図 6 - 1 0 第 4 回観測時の潮流ベクトルのプロファイル

図 6 - 9 及び図 6 - 10 は、それぞれ第 3 回及び第 4 回観測時の潮流ベクトルの鉛直プロファイルを示している。

縦軸は水深を表し、横軸は観測時間の経過を表している。また、下方の空白部分は海底を示す。図中の縦方向に描かれた実線は潮流ベクトルの鉛直プロファイルを示している。実線の数 は A D C P の実際の計測状況（超音波の発信頻度）と一致している。観測頻度は 12 秒から 13 秒で一定しているが潮流によって対地船速が変化しているために線間に粗密が生じている。

これらの図を見ると、潮流ベクトルの鉛直プロファイルは海底付近や深淵部や強潮流部で下層の方にひずみが生じているものの、ほぼ上層と下層を真っ直ぐな直線で近似することが可能なように見える。つまり、上層と下層で潮流の流れに大きな変化がなく、順圧的な流れを形成していると言える。特に、船舶への潮流影響を考えた場合、例えば水深 30 m までを見てみると、来島海峡航路内のほぼ全海域で上層と下層はほぼ一樣な流れ方をしていることが判る。ここで、30 m までを例にしたのは来島海峡航行船舶の喫水を考慮した実質的な潮流の影響範囲はその程度と仮定してのことである。

図 6 - 11 及び図 6 - 12 には、第 3 回及び第 4 回観測時の潮流ベクトルの南北方向成分を示す。同様に図 6 - 13 及び図 6 - 14 に、潮流ベクトルの東西方向成分を示す。

これらの図から、水道部では南北方向成分が卓越し、東西方向成分が著しく弱くなっていることがよく判る。これは来島海峡の地形影響によるものである。

また、図 6 - 13、図 6 - 14 の測定は、上げ潮流時であるので一般流として東流成分が卓越している。しかし、水道部では西流成分が確認できる。特に西水道で顕著であり、中水道と西水道の地形形状とよく対応していると言える。

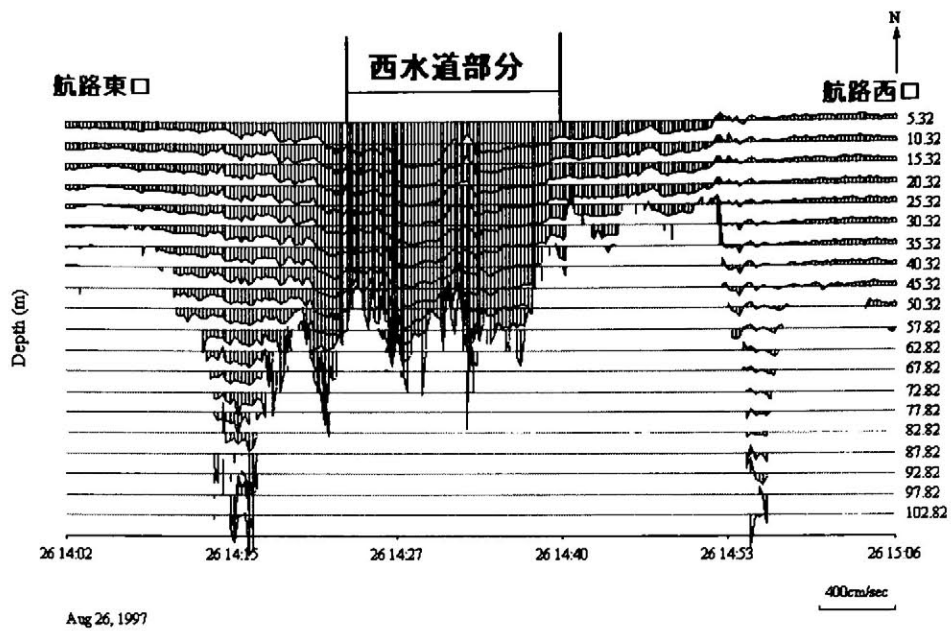


図 6 - 1 1 第 3 回観測時の潮流ベクトルの南北方向成分

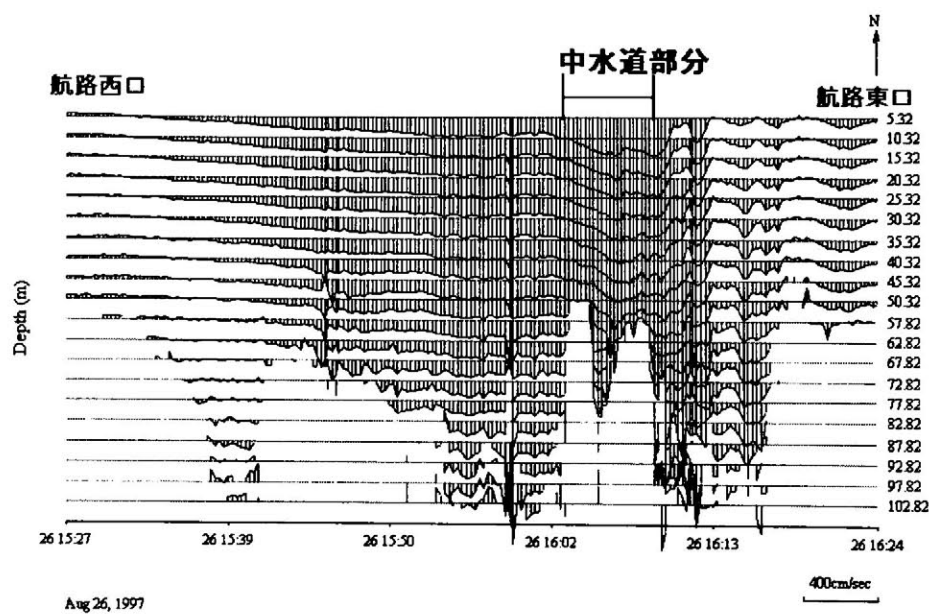


図 6 - 1 2 第 4 回観測時の潮流ベクトルの南北方向成分

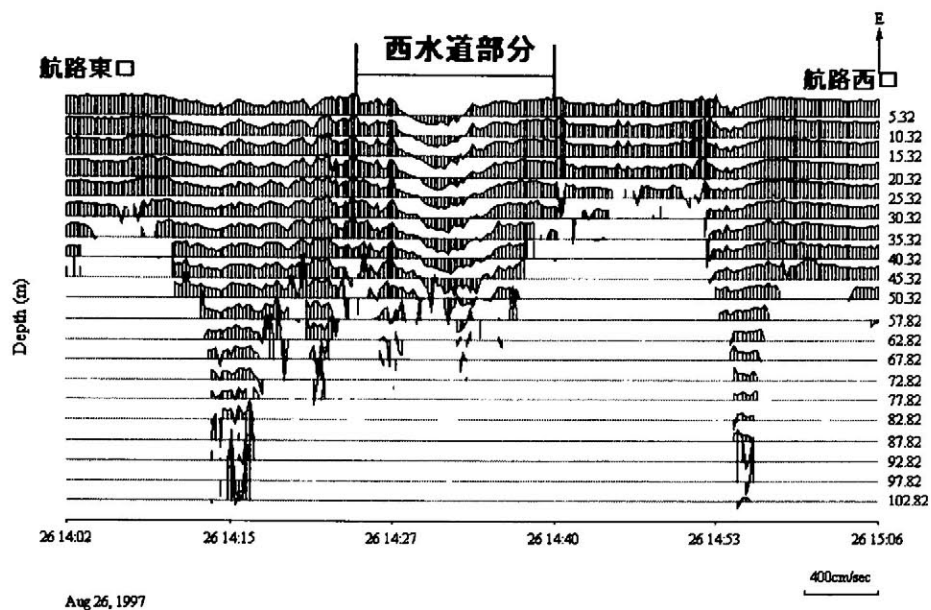


図 6 - 1 3 第 3 回観測時の潮流ベクトルの東西方向成分

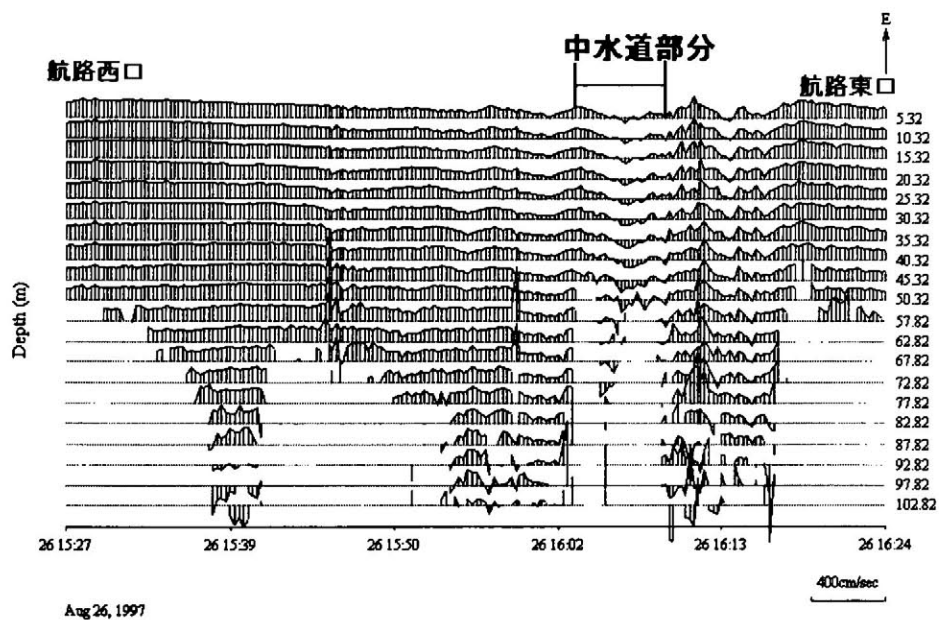


図 6 - 1 4 第 4 回観測時の潮流ベクトルの東西方向成分



図 6 - 1 5 ～ 図 6 - 1 9 には、それぞれ第 3 回観測時の流速、C P P 翼角、舵角、船首尾線方向の船速（対地）及び船横方向の船速（対地）を示す。

また、図 6 - 2 0 ～ 図 6 - 2 4 には、それぞれ第 4 回観測時の流速、C P P 翼角、舵角、船首尾線方向の船速（対地）及び船横方向の船速（対地）を示す。

図 6 - 1 5 ～ 図 6 - 2 4 まで横軸は観測開始からの積算時間を秒で表している。

第 3 回観測時の西水道航行時間は積算時間で 1 3 0 0 秒から 2 3 0 0 秒の範囲であり、この時の卓越風向は南、風速は 4 ～ 5 m/sec であった。第 4 回観測時の中水道航行時間は積算時間で 2 2 0 0 秒から 2 5 0 0 秒の範囲であり、この時の卓越風向は南東で、風速は同様に 4 ～ 5 m/sec であった。

流速を見てみると、水道部で急激に強くなっている（図 6 - 1 5 及び図 6 - 2 0 参照）。

C P P 翼角は対地速力で 8 ノット程度を維持するために流速の変化に併せて変更がなされている（図 6 - 1 6 及び図 6 - 2 1 参照）。

一般に逆潮の時は舵効きが良く、順調の時は悪いといわれている。西水道航行時（逆潮時）は保針のため小角度の舵を頻繁に取っており、中水道航行時（順潮時）は当て舵の頻度は西水道航行時に比べて少ない。すなわち相対的に大角度の舵を取っている（図 6 - 1 7 及び図 6 - 2 2 参照）。

船首尾線方向の船速の変化状況はそれぞれ対応する潮流の変化状況とよく一致している（図 6 - 1 8 と図 6 - 1 5 及び図 6 - 2 3 と図 6 - 2 0 参照）。

図 6 - 1 9 及び図 6 - 2 4 には船速の船横方向成分を示している。プラスの値は右舷方向、マイナスの値は左舷方向の成分を示す。偏位傾向には船首方向と流向とが大きく関係してくる。上げ潮流時は相対的に左舷側に流される傾向が強いようである。

### 第3回観測時の流速

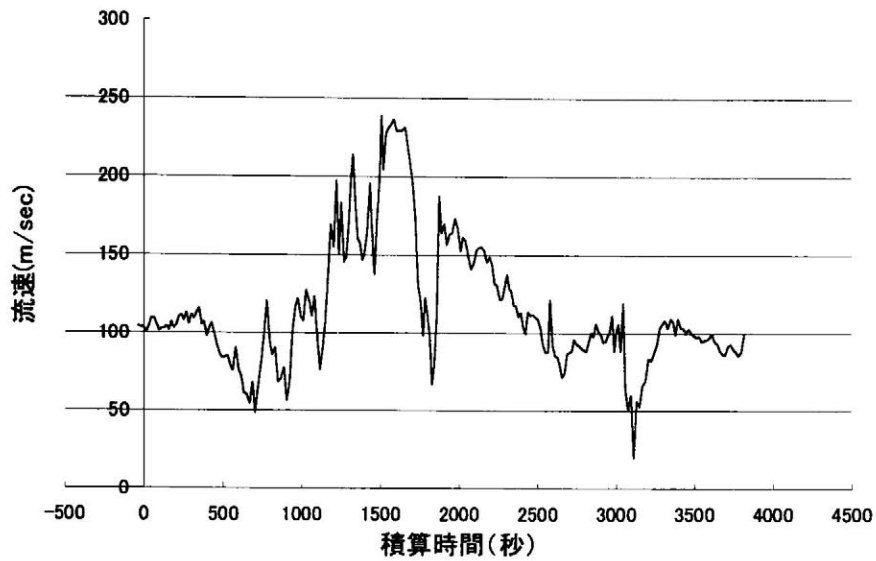


図 6 - 1 5 第 3 回観測時の流速

### 第3回観測時のCPP翼角

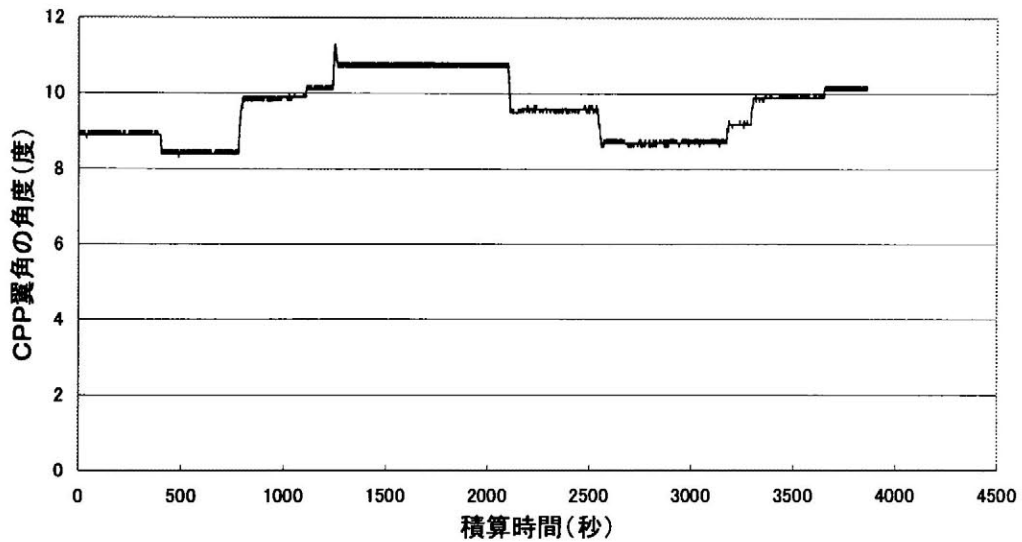


図 6 - 1 6 第 3 回観測時の C P P 翼角

第3回観測時の舵角

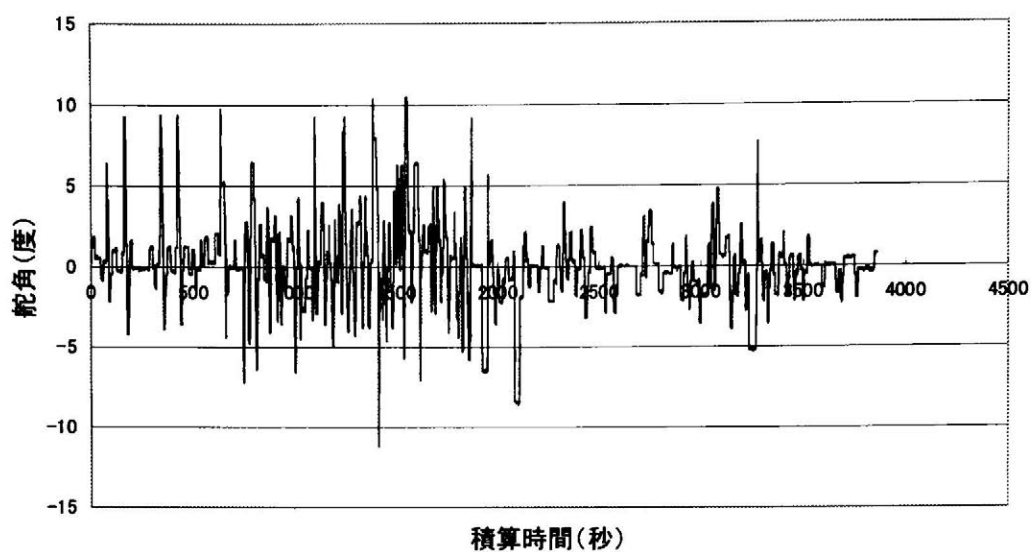


図 6 - 1 7 第 3 回観測時の舵角

第3回観測時の船首尾線方向船速(対地)

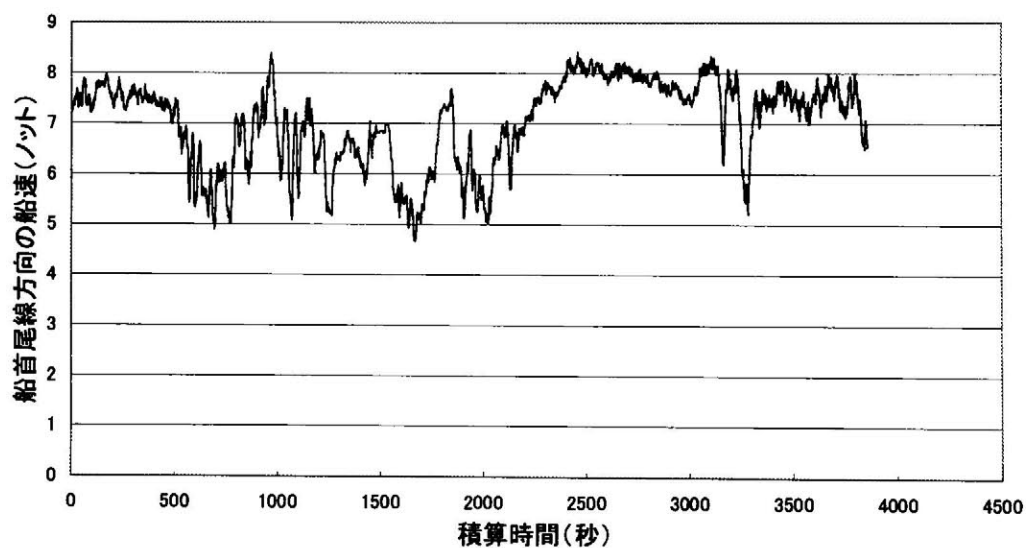


図 6 - 1 8 第 3 回観測時の船首尾線方向の船速

### 第3回観測時の船横方向の船速(対地)

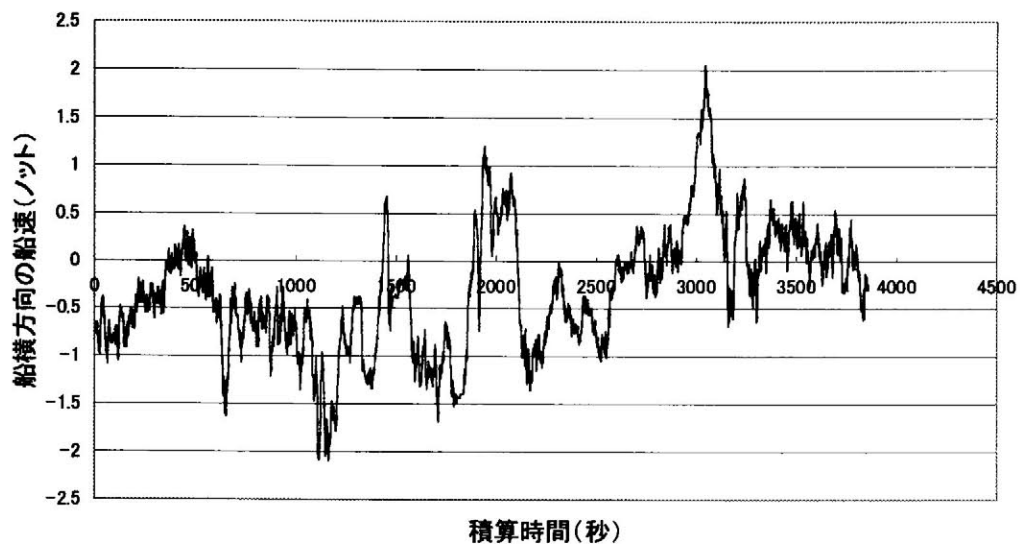


図 6 - 1 9 第 3 回観測時の船横方向の船速

### 第4回観測時の潮流

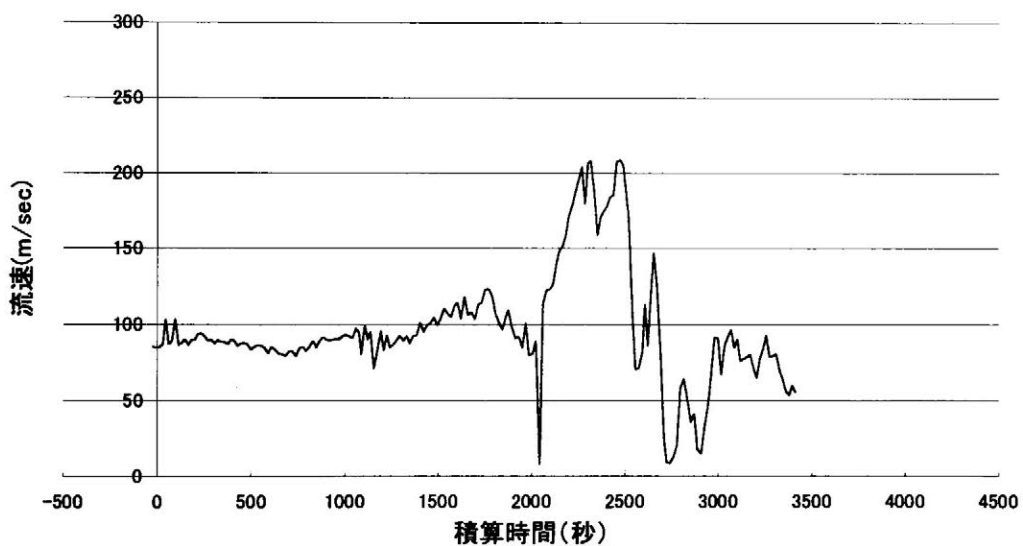


図 6 - 2 0 第 4 回観測時の流速

### 第4回観測時のCPP翼角

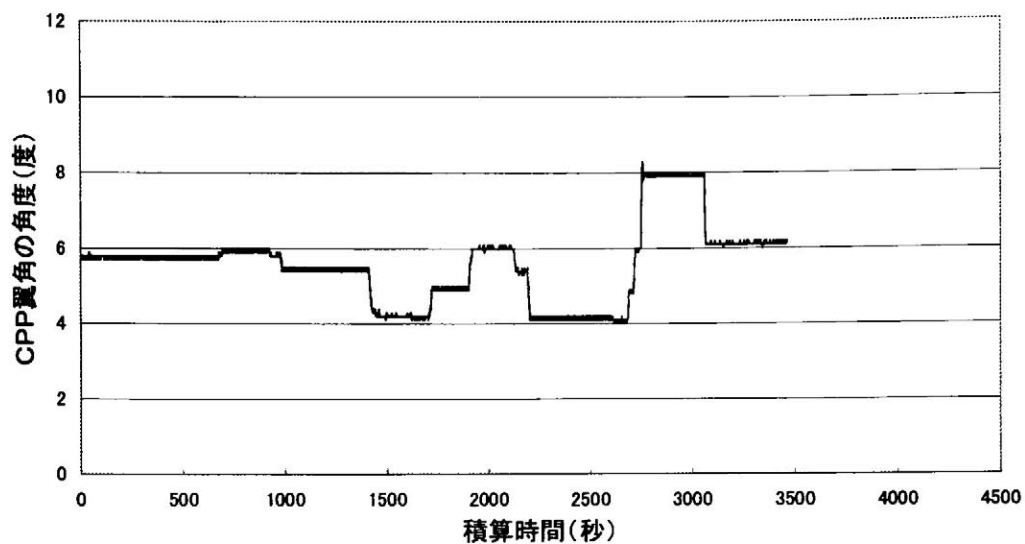


図 6 - 2 1 第 4 回観測時の C P P 翼角

### 第4回観測時の舵角

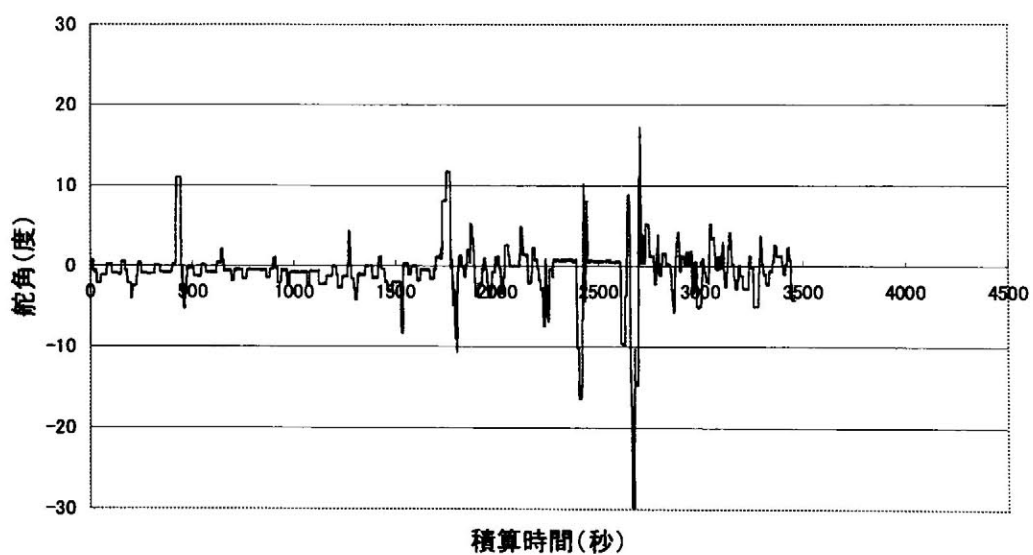


図 6 - 2 2 第 4 回観測時の舵角

第4回観測時の船首尾線方向船速(対地)

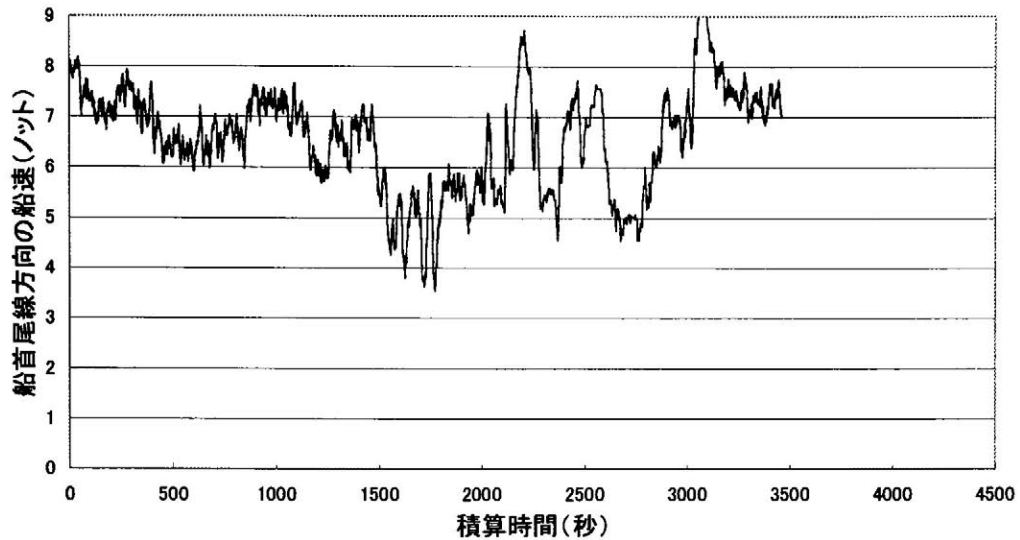


図 6 - 2 3 第 4 回観測時の船首尾線方向の船速

第4回観測時の船横方向の船速(対地)

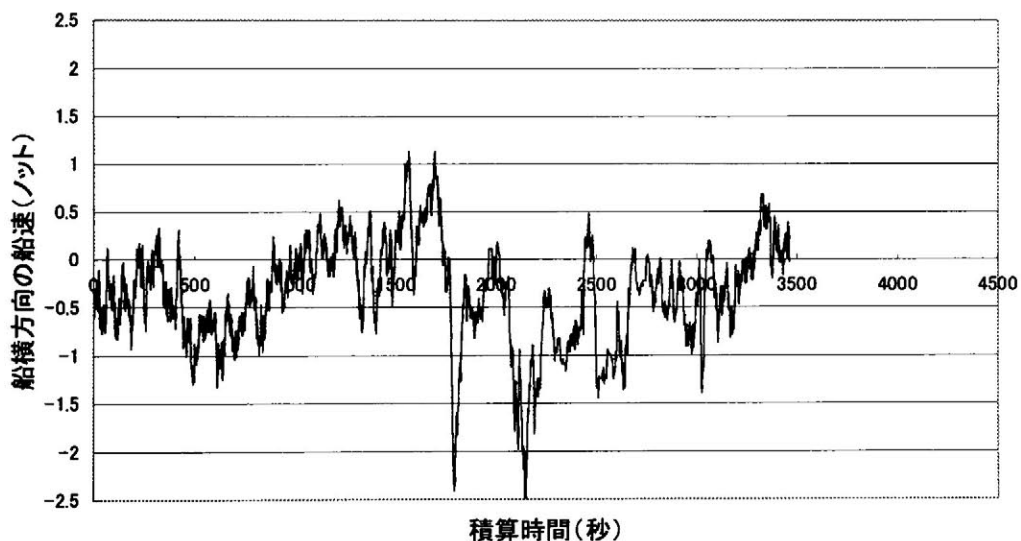


図 6 - 2 4 第 4 回観測時の船横方向の船速

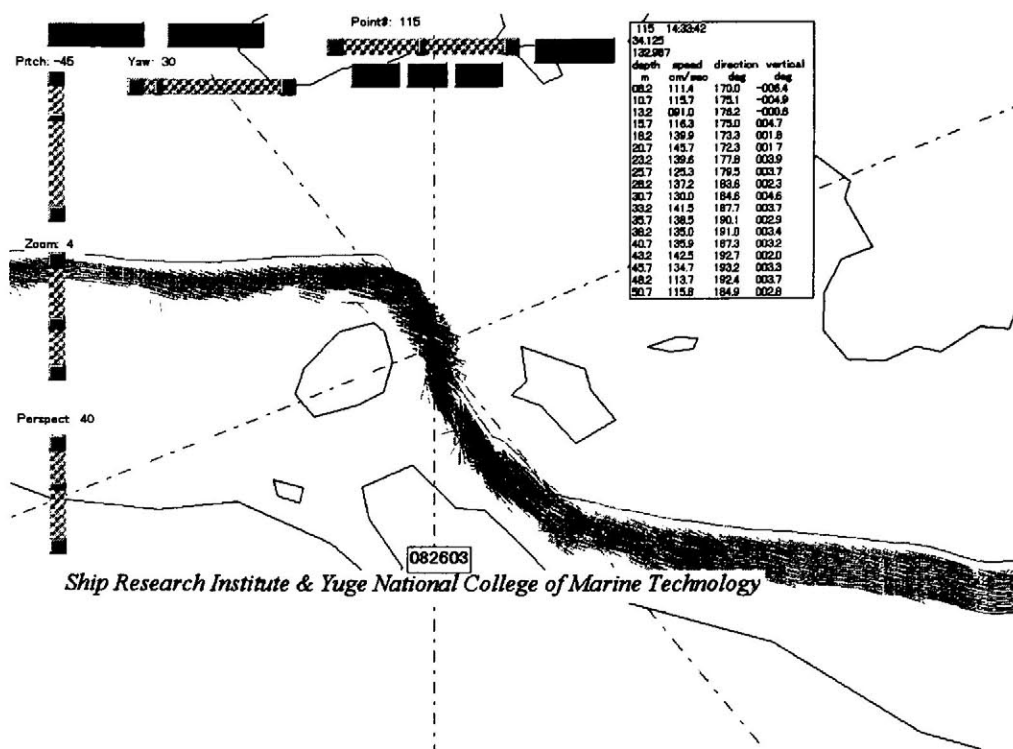


図 6 - 2 5 第 3 回観測時の 3 D 解析図

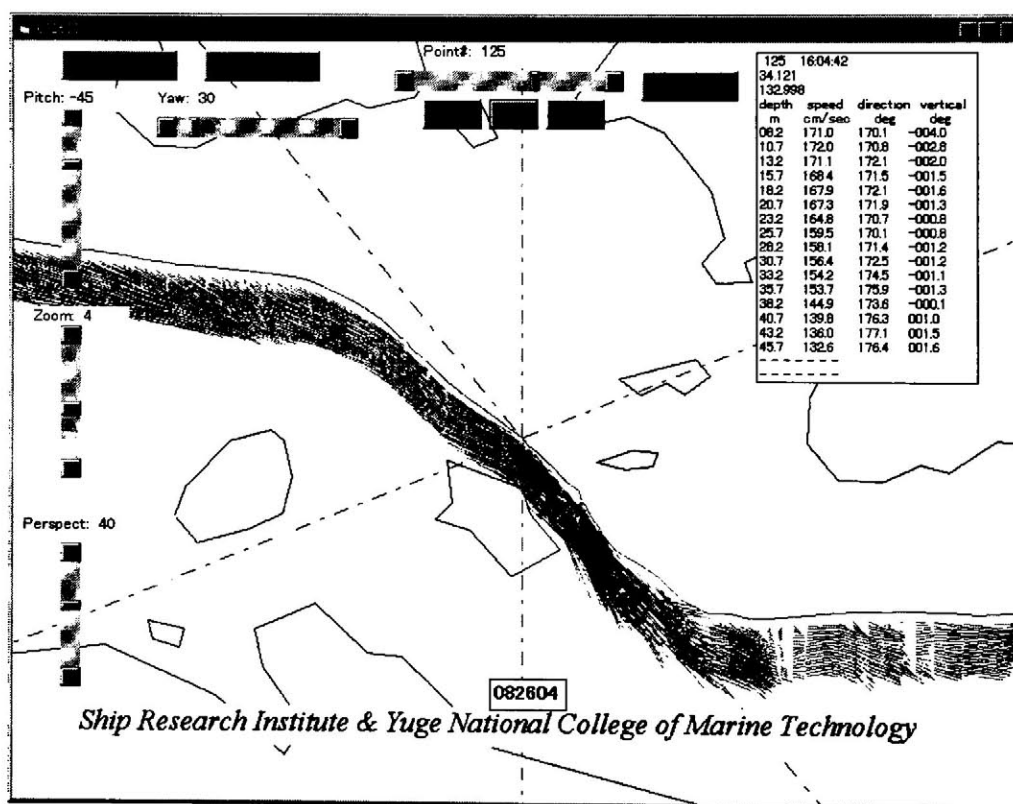


図 6 - 2 6 第 4 回観測時の 3 D 解析図

今回の観測に、観測結果を判りやすく表現するために開発した 3D 解析ツールを利用してみた。

図 6-25 には第 3 回観測時の 3D 解析結果を示す。

図 6-26 には第 4 回観測時の 3D 解析結果を示す。

3D 解析ツールを使用してみて、次のようなことが判った。

1) 個々の要素の時間・空間解析では、これまでのトレンドグラフに代表される 2 次元表示の方が判りやすかった。

2) 時間・空間的な要素間の関係を相互に比較する場合、3D 解析ツールは有力な道具として利用できることが判った。

3) アニメーション機能などを利用した動的観察や視点変更機能を利用した複数のアングルからの観察によって、要素の観察についても特徴を容易に把握することができることが判った。

## 6. 4 おわりに

本章では、来島海峡航路内の潮流の流動構造と船舶挙動の関係について、実際の観測と解析結果を論じた。

その結果、以下の結論を得た。

1) 来島海峡の潮流は、島や半島など、いわゆる地形効果が顕著で、場所によって流向に大きな変化が観察できる。

2) 来島海峡の潮流は深淵部など一部海域を除き、上層と下層の流れがほぼ同様な傾向を示し、順圧的な流れである。

3) 上記の観察より、来島海峡の潮流による船体運動への影響は、地形効果による平面的な流れの変化の影響が大きいと推定される。

潮流の下流にできる地形性渦流の船体への影響や海底起伏の急変によってつくられる湧昇流や沈降流などの観察についてはまだ不明な部分が多い。今後解析をすすめていく予定である。



## 第7章 来島海峡南東部の潮汐フロント構造の観測

### 7.1 はじめに

海水の加熱期に相当する4月から9月頃にかけて、来島海峡南東部海域（燧灘西部海域）にはっきりした潮汐フロントが出現することが知られている<sup>41)</sup>。これは、来島海峡の強潮流によってよく掻き混ぜられた「来島海峡水（混合水）」と潮流が弱いため成層しやすい「燧灘水（成層水）」との境界に形成されるもので、成層水塊と混合水塊という性質の異なった2つの水塊によって形成される海面上の境界を潮汐フロント（潮目）といい、水面下の境界を温度躍層あるいは水面下フロントと呼んでいる<sup>42)</sup>。

図7-1に潮汐フロントの模式図を示す。

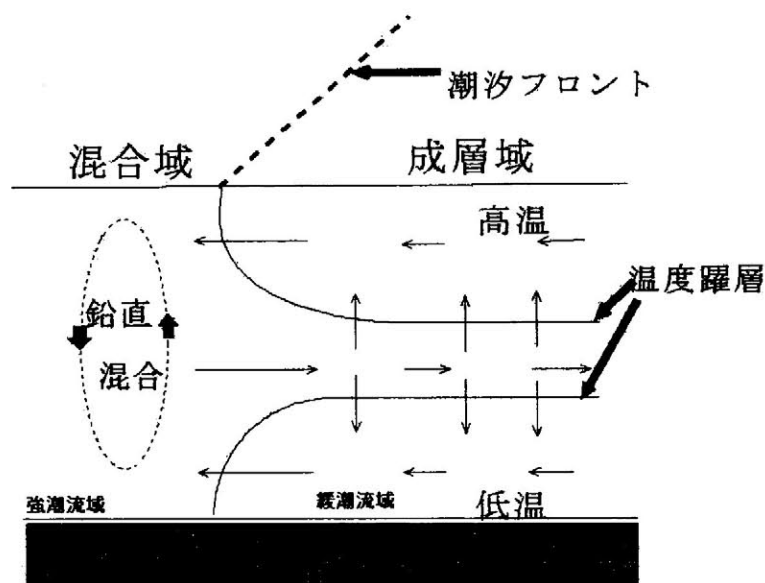


図7-1 潮汐フロントの模式図<sup>42)</sup>

その出現場所については、SIMPSON and HUNTER の研究(1974)<sup>43)</sup>によれば  $\log_{10}(H/U^3) \approx 2.5 \sim 3.0$  (ここで、H : 水深を m で、U :  $M_2$  の潮流振幅を  $m \cdot sec^{-1}$  で表される数値をそれぞれ用いる理論式) の等値線付近であるといわれている。

海表面の潮汐フロント付近にはゴミやクラゲなどの浮遊物が集まっているので、肉眼でもその存在を比較的容易に確認できる。また、境界付近には海水温に差が生じているため NOAA/AVHRR 等の近赤外衛星画像などでも確認できる<sup>41)</sup>。

写真 7-1 に燧灘で見られた潮汐フロントの写真を示す。

写真 7-2 には来島海峡付近の衛星写真を示す。

潮汐フロントの構造や空間分布状況を調査・観測することは、漁船や遊漁船の集合・離散の動静を見ていく上で必要である。また、船舶の輻輳海域である来島海峡での海難事故などによって流出する可能性のある汚染物質などの動態を調べる上でも重要であると推測される。しかし、潮汐フロントの形成とそのダイナミックスなどについては未だ不明な部分が多い<sup>44),45)</sup>。

本章では、CTDやADCPを用いて、1998年4月から10月までの間、来島海峡南東部付近に生成される潮汐フロント周辺の観測を行い、潮汐フロントの構造や形成場所の潮時による時系列変化の状況について述べる。

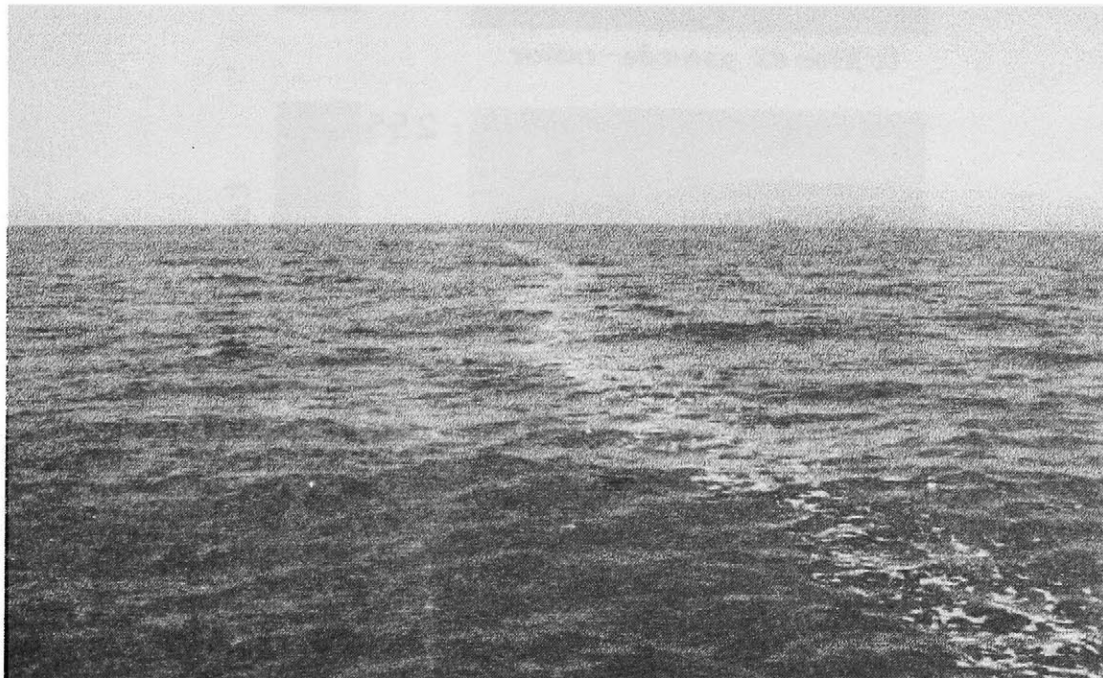
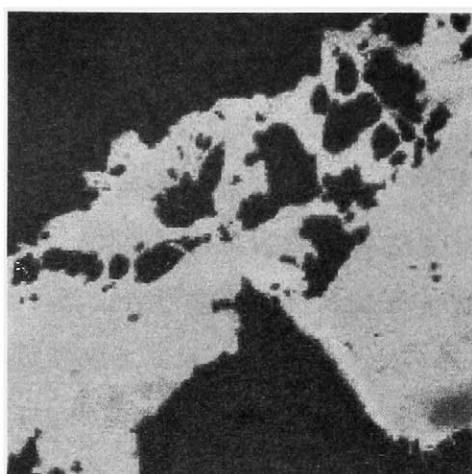
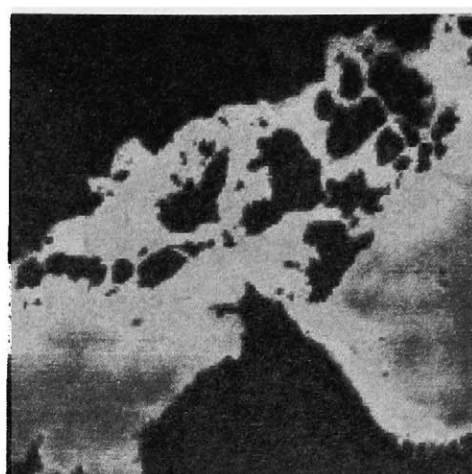


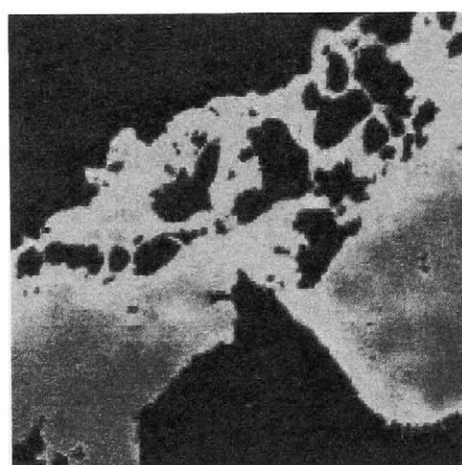
写真 7-1 燧灘で見られた潮汐フロント (1999年4月30日撮影)



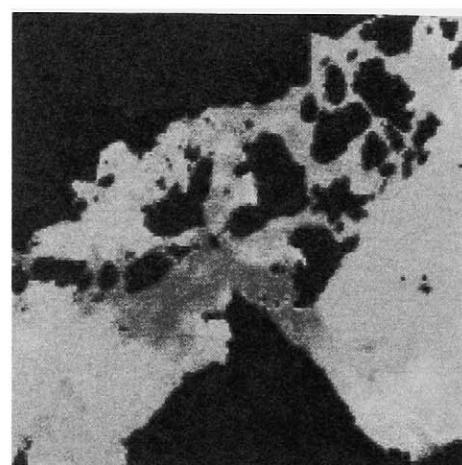
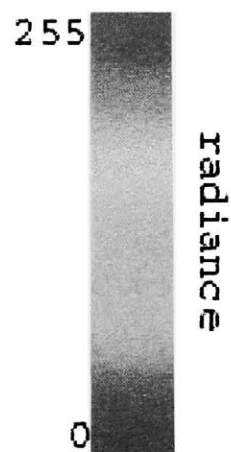
**(a)Band1 pseude-color**



**(b)Band2 pseude-color**



**(c)Band3 pseude-color**



**(d)Band Near Infrared  
pseude-color**

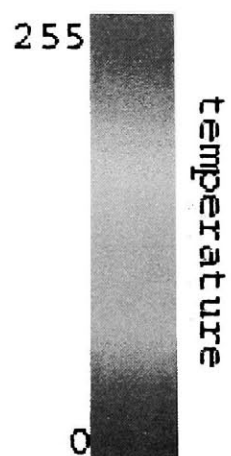


写真 7 - 2 来島海峡の衛星写真 (Landsat TM image, 1984.05.08. )

## 7. 2 観測の概要

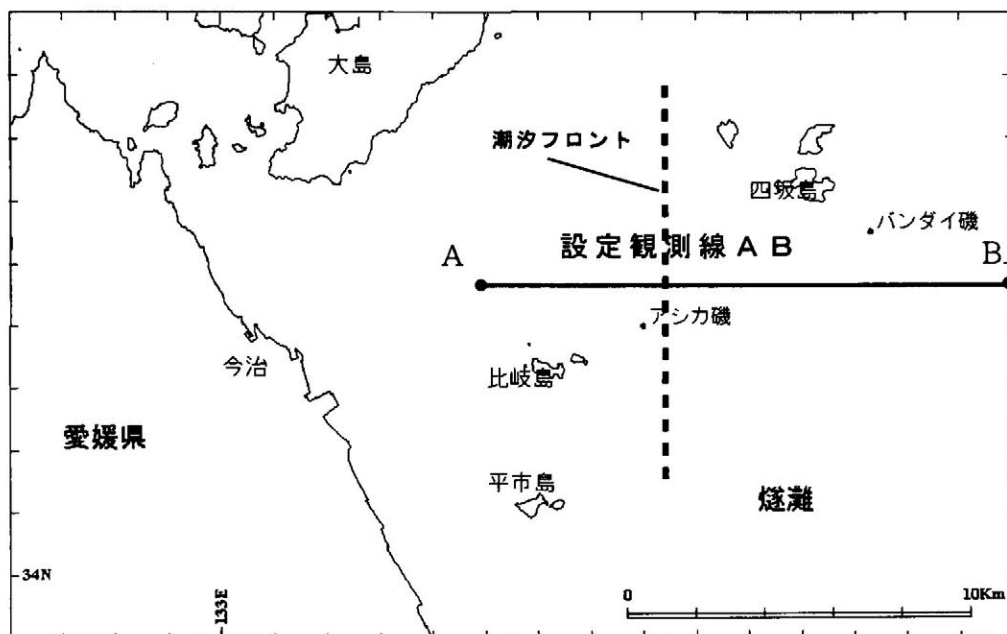


図 7 - 2 来島海峡南東部海域及び設定観測線 (AB)

表 7 - 1 設定観測線の概位

Point	Latitude	Longitude
A	34-04.5N	133-05.0E
B	34-04.5N	133-15.0E

図 7-2 に来島海峡南東部海域及び今回潮汐フロントを観測するために設定した観測線 (A B) を示す。

観測線は潮汐フロントを挟むような形で、断面構造が明確になるように単純な直線とした。また、300 KHz 型 ADCP での観測のことを考えて、水深が 20 m 程度確保できるような海域を選定した。

表 7-1 には設定観測線の概位を示す。

設定観測線上における CTD 観測は、目視で潮汐フロントを見つけ、そのフロントを基準に来島海峡 (西) 側に 1 マイル (1 点)、燧灘 (東) 側に 3 マイル (3 点) 以上の観測点を設け、西から東方向に観測し、時間が十分ある場合、同一観測点を東から西に観測した。また、目視で潮汐フロントが確認できなかった場合は、観測点 A から東方に観測していった。

潮汐フロントの西方 (来島海峡側) は、混合域であるために複数の観測点を観測しても同様の傾向を示すことが予想された。そこで、混合域であることが確認できた場合は 1 点のみ観測した。また、東方 (燧灘側) では、目視で確認できた表層の潮汐フロント位置より中層あるいは下層部でどのように来島海峡水が燧灘側に貫入しているかを調査するために 3 点以上観測を行った。

図 7-3 に設定観測線上に設けた CTD 観測点のイメージを示す。CTD 観測にはアレック電子 (株) の AST-200P を用いた。

表 7-2 に CTD 観測の回数及び日時を示す。

ADCP 観測では、本校練習船「弓削丸」(240 トン) に装備されている RD 社の 300 KHz 型 ADCP を用い、設定観測線 A B 上をフロントを挟むような形で数回往復して観測を行った。

表 7-3 に ADCP 観測の回数及び日時を示す。

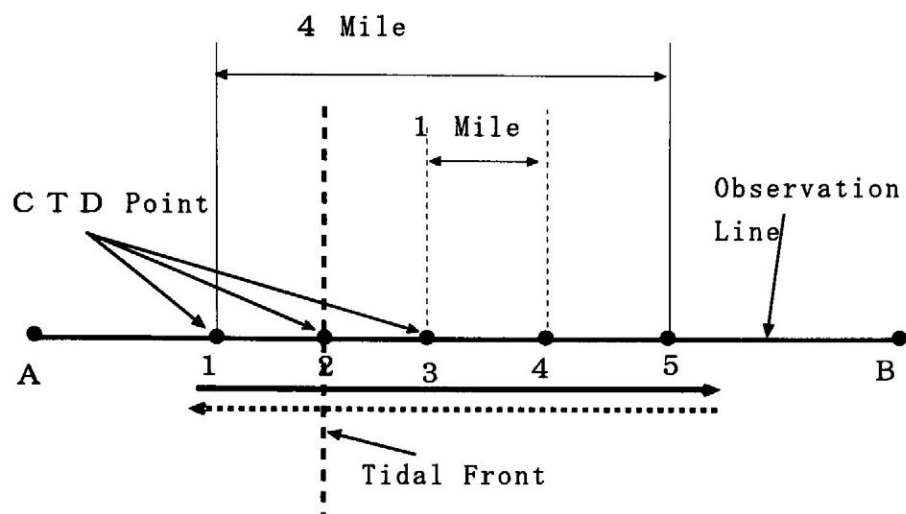


図 7 - 3 設定観測線上での C T D 観測の概念図

表 7 - 2 C T D 観測の回数及び日時

No.	Date	Time
1	4/18	10:25 - 11:58
2	4/18	12:49 - 13:30
3	5/18	14:30 - 16:01
4	6/01	14:12 - 15:18
5	6/01	15:23 - 15:54
6	6/12	14:12 - 15:05
7	6/12	15:14 - 16:12
8	7/23	09:45 - 11:25
9	8/29	11:44 - 13:06
10	9/12	11:03 - 12:12
11	9/12	14:04 - 15:19
12	10/24	10:58 - 12:19

表 7 - 3 A D C P 観測の回数及び日時

No.	Date	Time
1	6/01	14:28 - 14:43
2	6/01	14:48 - 15:16
3	6/01	15:21 - 15:47
4	6/01	15:55 - 16:12
5	6/01	16:17 - 16:33

### 7. 3 C T D 観測の解析結果

図 7 - 4 に 4 月 1 8 日第 1 回 C T D 観測の水温、塩分、密度コンター図を示す。図 7 - 4 において、縦軸は水深を、横軸は観測点を表し、観測点は設定観測線上の観測点 A を S T N. 1 とし、0. 5 マイル間隔で順次 S T N. 2、S T N. 3・・・と描いてある。また、コンターの間隔は水温が 0. 2 度、塩分及び密度は 0. 1 度間隔で描いている。図中の太い実線は海底線を表す。

水温、塩分、密度コンターのいずれも同様の傾向を示している。これは、観測海域周辺には大きな河川がないこと、あるいは当該河川のほとんどが上流にダムを持っているため海域への河川水の流入がほとんどみられないことなどから、河川水の影響がほとんどないためと推測できる。すべての観測において同様の傾向が見られたので、ここでは水温コンターを例として、潮時の変化と潮汐フロント構造の変化の関係を紹介する。水温コンターを例とする理由は、一つには密度は水温と塩分をパラメータとして表されるため、水温及び塩分の傾向が同じであれば密度も同じ傾向となるため、密度分布傾向は水温分布傾向で代表することができること。二つには水温変化の方が塩分変化よりも感覚的に理解されやすいためである。

図 7 - 5 ～図 7 - 7 に来島海峡の潮時と C T D 観測の時間帯を示す。また、図 7 - 8 ～図 7 - 1 2 にはそれぞれ図 7 - 5 ～図 7 - 7 に対応した C T D 観測

の水温コンターを示す。

上げ潮流初期から最強時にかけて、表層部の水温コンターは東西の勾配が緩やかであったため、表層では明瞭な潮汐フロントが目視で確認できなかった。一方、中層部では来島海峡水が楔状に貫入している状況が見られ、S T N. 6 から S T N. 9 付近では部分的に高温水、混合水、低温水の三層構造が形成されている（図 7 - 8 参照）。

上げ潮流最強時から上げ潮流末期にかけて、来島海峡水が燧灘側に流入し、表層部のコンター密度の高い部分が潮流の影響で東方に移動する。このため、S T N. 6 付近から S T N. 8 付近にかけて表層部の水温コンターの東西の勾配がきつくなる。しかし、ここでもまだ表層では潮汐フロントは確認はできない（図 7 - 9 参照）。

上げ潮流から下げ潮流への転流期になると、S T N. 7 付近に明瞭な潮汐フロントが目視で確認できる。すなわち、水温コンター図から、S T N. 7 付近を中心に S T N. 6 から S T N. 8 付近の表層部に明瞭にコンター密度が高くなっている部分が見られる（図 7 - 10 参照）。また、S T N. 11 付近から S T N. 13 付近にも同様に水温コンター密度が高くなっている部分が見られる。しかし、来島海峡水と燧灘水との間にできる来島海峡起源の潮汐フロントなのか、あるいは潮汐フロントとは別の原因によって生成したものか、今回の観測では確認できなかった。なお、S T N. 6 付近で水温コンターが海底方向に凸状に大きく歪んでいる。これは S T N. 2 ～ S T N. 3 付近に存在する浅瀬によって、この付近に地形性渦流が形成され、潮流の線形を乱しているものと考えられる。これについては、A D C P 観測結果と比較しながら後で改めて論じることにする。

下げ潮流になると、表層の潮汐フロントは設定観測線より来島海峡側に移動し、観測線上では目視で確認できなかった。また、時間の経過とともに表層部の水温コンターの密度勾配が緩やかになっていく。表層から中層にかけて成層域が卓越していく様子が観察できる（図 7 - 11 及び図 7 - 12 参照）。



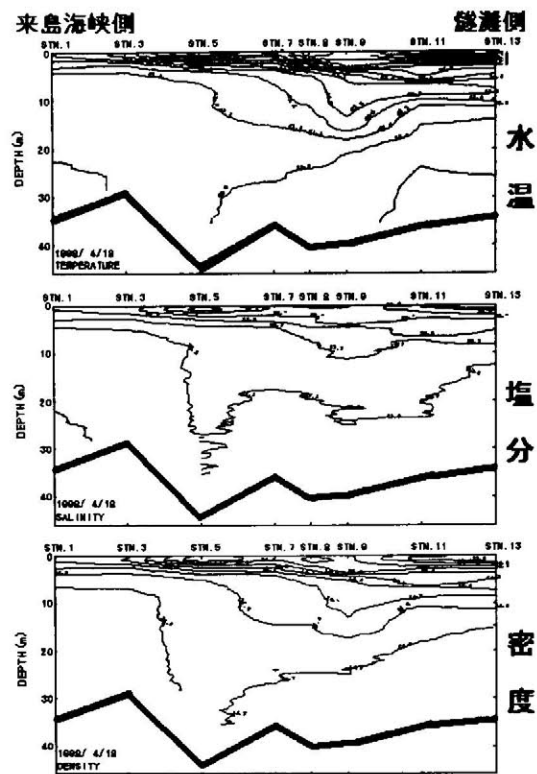


図 7 - 4 4 月 1 8 日 第 1 回 C T D 観測のコンター図

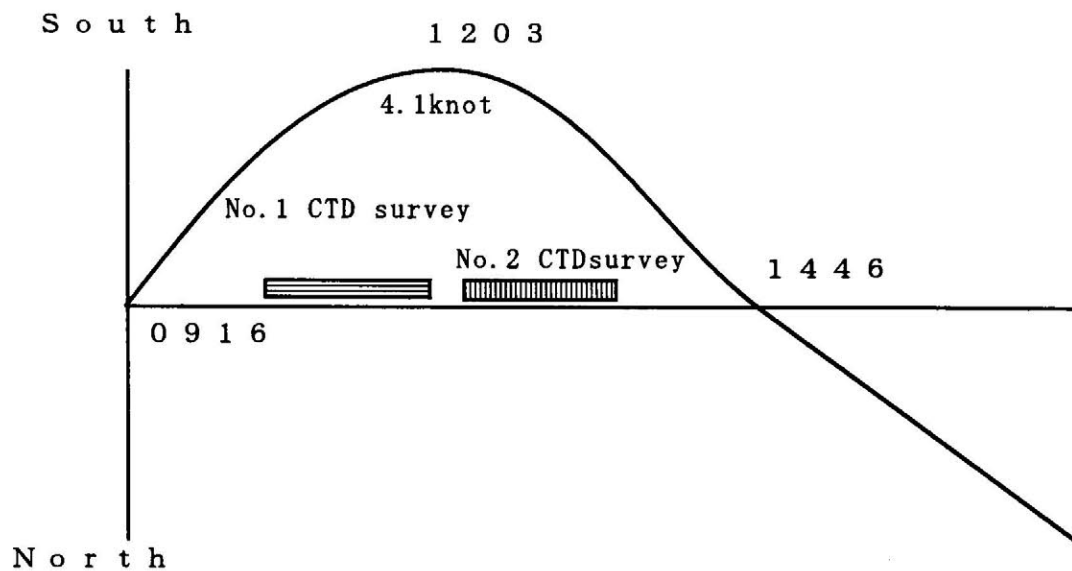


図 7 - 5 4 月 1 8 日の来島海峡の潮時と C T D 観測時間

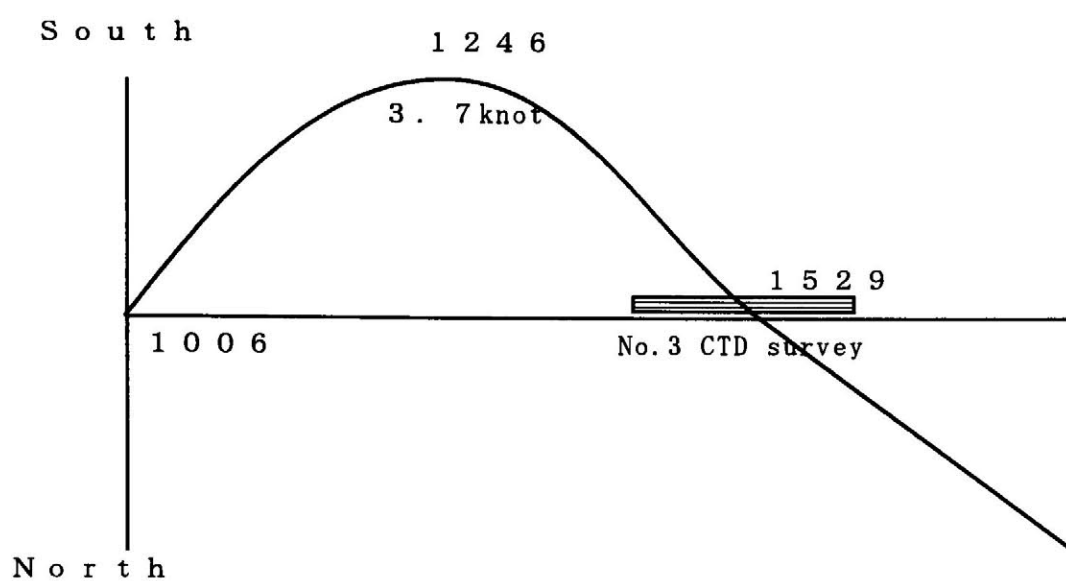


図 7 - 6 5 月 1 8 日 の 来 島 海 峽 の 潮 時 と C T D 観 測 時 間 帯

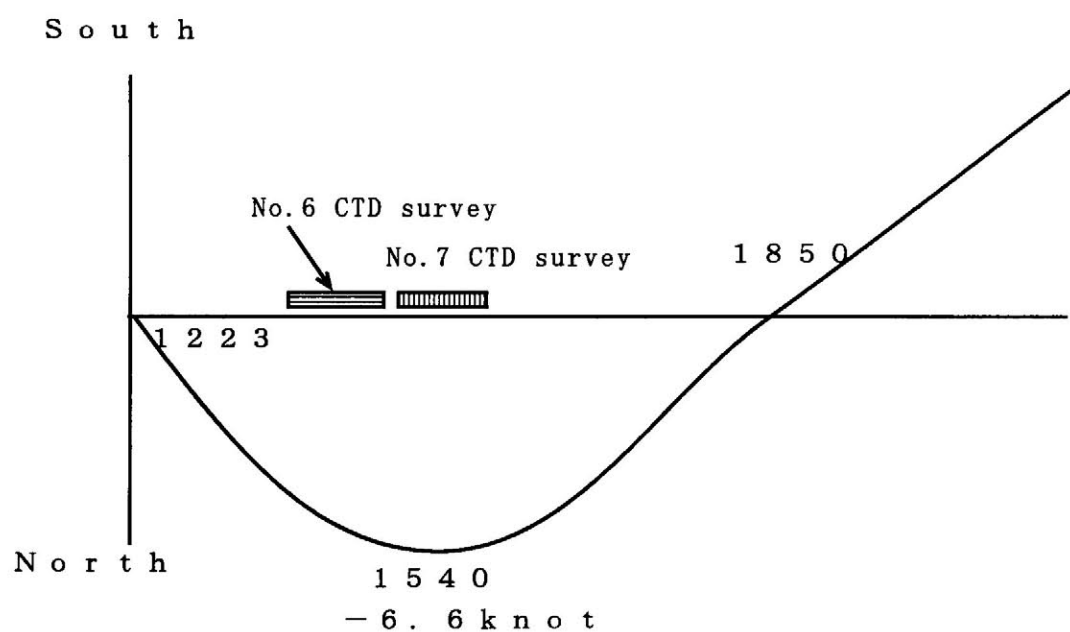


図 7 - 7 6 月 1 2 日 の 来 島 海 峽 の 潮 時 と C T D 観 測 時 間 帯

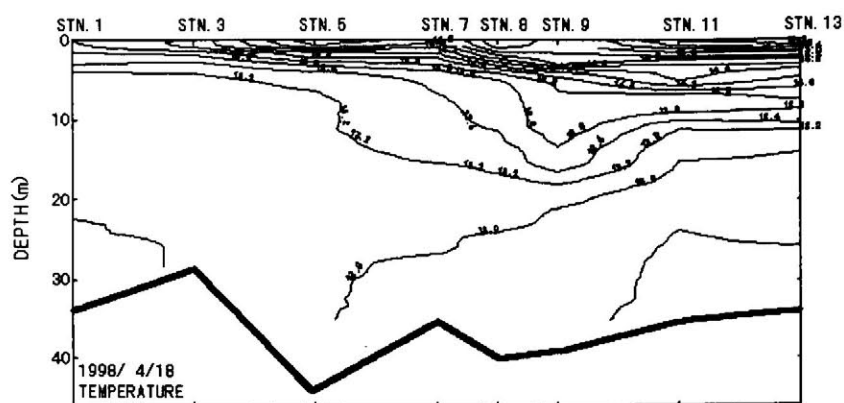


図 7 - 8 4 月 1 8 日 第 1 回 C T D 観測時の水温コンター

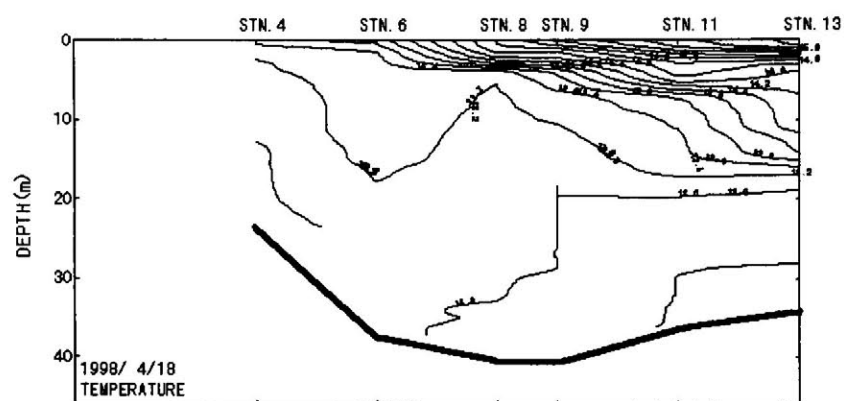


図 7 - 9 4 月 1 8 日 第 2 回 C T D 観測時の水温コンター

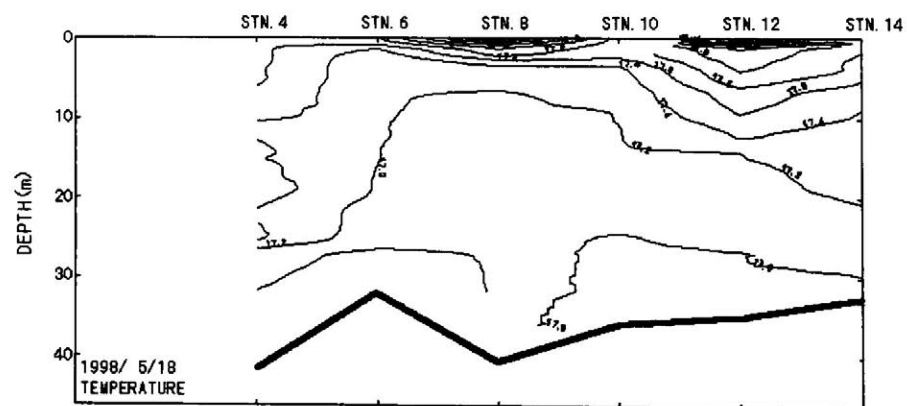


図 7 - 1 0 5 月 1 8 日 第 3 回 C T D 観測時の水温コンター

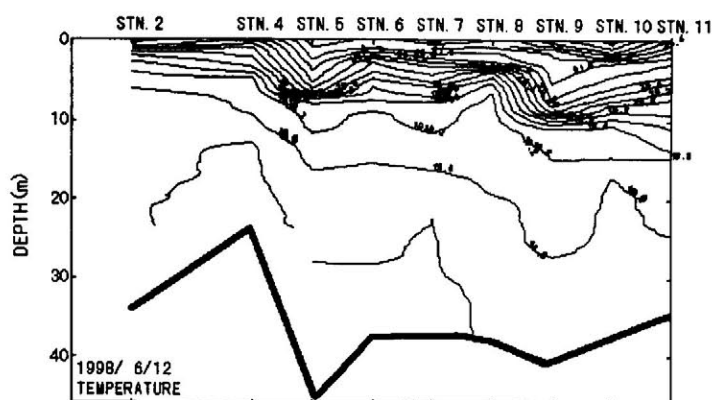


図 7 - 1 1 6 月 1 2 日 第 6 回 C T D 観 測 時 の 水 温 コ ン タ ー

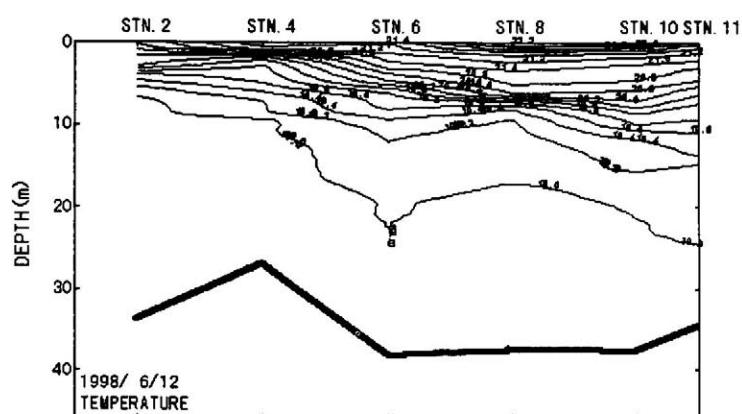


図 7 - 1 2 6 月 1 2 日 第 7 回 C T D 観 測 時 の 水 温 コ ン タ ー

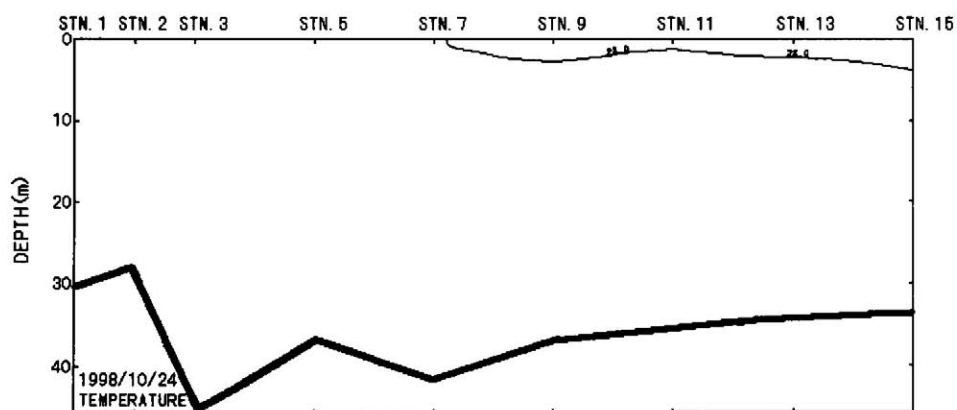


図 7 - 1 3 1 0 月 2 4 日 第 1 2 回 C T D 観 測 時 の 水 温 コ ン タ ー

図 7-13 に 10 月 24 日の第 12 回 CTD 観測時の水温コンター図を示す。

図 7-13 の観測は 10 月下旬の上げ潮流末期から転流期にかけて行ったものである。既に海水冷却期に入っており、冷却混合のため来島海峡水と燧灘水の区別がほとんどできなくなり、潮汐フロントも消滅している。

#### 7.4 ADCP 観測の解析結果

表 7-3 に示したとおり、ADCP 観測は CTD 観測と並行して 6 月 1 日に合計 5 回行った。また、図 7-14 には、6 月 1 日の来島海峡の潮時と ADCP 観測時間帯を CTD 観測時間帯と併記して示す。

図 7-15 には、6 月 1 日第 4 回 CTD 観測時の水温コンターを示す。

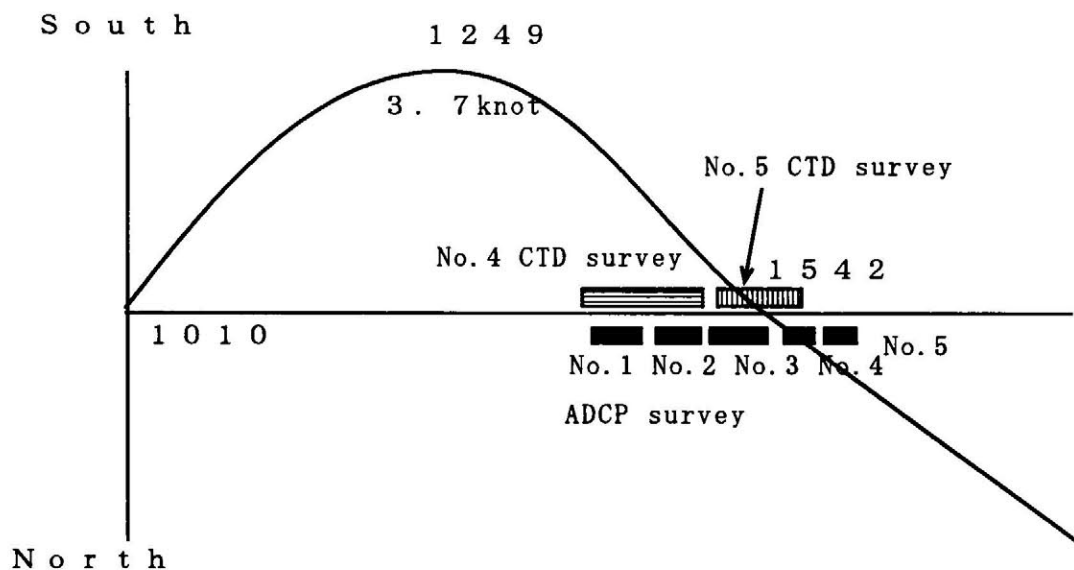


図 7-14 6 月 1 日の来島海峡潮時と ADCP 観測時間帯

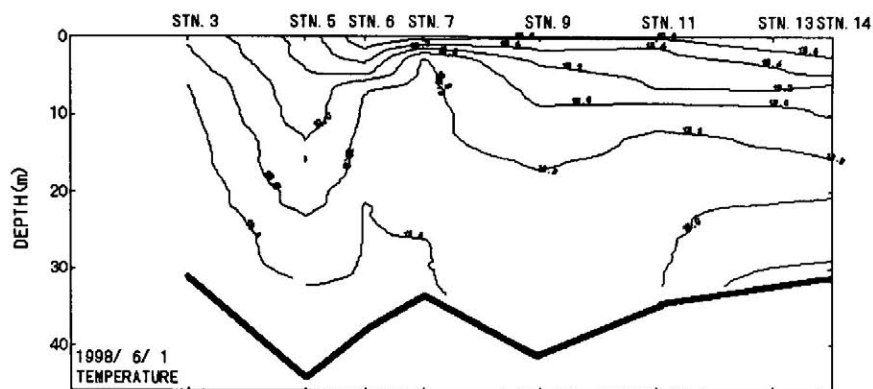


図 7 - 1 5 6 月 1 日 第 4 回 C T D 観測時の水温コンター

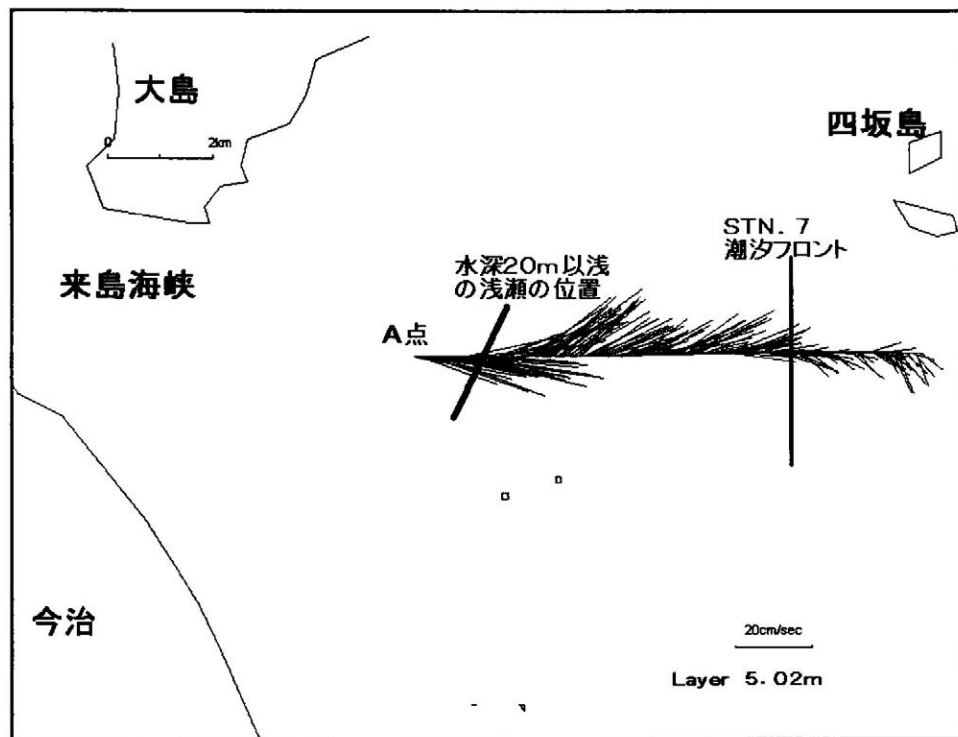


図 7 - 1 6 6 月 1 日 第 2 回 A D C P 観測の潮流ベクトル図

図 7 - 1 5 に上げ潮流末期の水温コンターを示す。S T N . 7 付近の表層部には明瞭なコンター密度の高い部分が見られる。同時に、S T N . 3 から S T N . 6 付近の水温コンターが海底方向に凸状に大きく歪んでいることが判る。

これを同時期の A D C P 観測結果と比較して見ることにする。図 7 - 1 6 に、6 月 1 日 第 2 回 A D C P 観測時の水深 5 m 層の潮流ベクトル図を示す。潮流ベ

クトルの始点は船の航跡上となるように描画してある。

この図より、上げ潮流末期では全体に東流が卓越していることが判る。STN. 7 付近を境にして、流向が北東から南東へ急激に変化し、流速も燧灘側で弱くなっている。また、海底地形図などを参照すると、STN. 2～STN. 3 付近にかけて設定観測線に直交するような形で衝立状に水深20m以浅の浅瀬が存在しているが、この浅瀬の下流域に相当する燧灘側で流れが大きく変化している。

図7-17は、6月1日第2回ADCP観測時の潮流ベクトルを2m間隔で表示した多層表示図である。

図7-18には、6月1日第2回ADCP観測時の潮流ベクトルの南北方向成分を2m間隔で多層表示した図を示す。

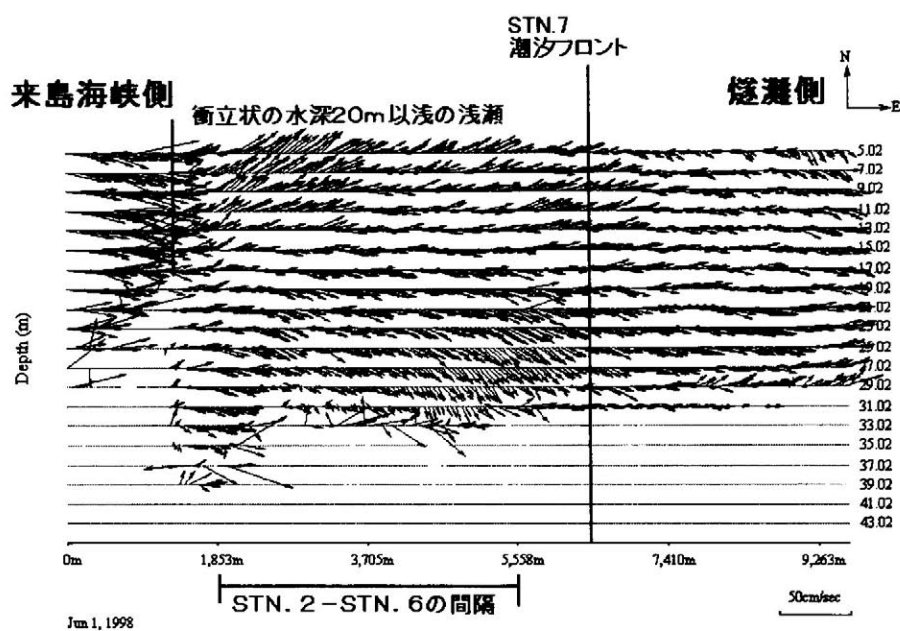


図7-17 6月1日第2回ADCP観測時の多層表示図

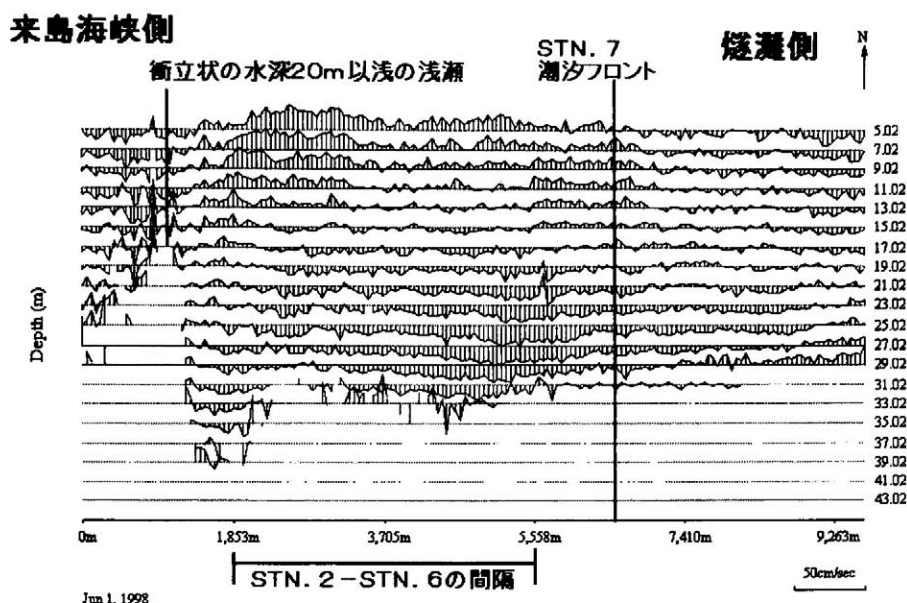


図 7 - 1 8 6 月 1 日 第 2 回 A D C P 観 測 時 の 南 北 方 向 成 分

海底地形図を見てみると、設定観測線 S T N . 2 ~ S T N . 3 付近には上げ潮流の卓越流向に対してちょうど直角に近い角度で水深 2 0 m 以浅の浅瀬が衝立のように存在していることが判っている（図 7 - 1 6 参照）。これは、例えば図 7 - 1 7 等の海底線形状からも確認することができる。

図 7 - 1 7 及び図 7 - 1 8 に見られるように、衝立状の浅瀬の下流域に相当する S T N . 3 ~ S T N . 5 付近の上層の流れと S T N . 5 ~ S T N . 7 付近の下層の流れの傾向が大きく異なっており、特に図 7 - 1 8 の南北方向成分の着目してみると、上層と下層で逆の流れが形成されている。

図 7 - 1 5 で見られた S T N . 3 ~ S T N . 6 付近の水温コンターの歪み部分と図 7 - 1 7 や図 7 - 1 8 の浅瀬下流域での上層及び下層の流動分布は重ね合わせてみるとよく一致している。

このような水温コンターの歪みや流動場の乱れは、衝立状の浅瀬の下流部に生じた地形性渦流による擾乱の影響と考えられる。

今回の観測で、上げ潮流末期頃、S T N . 6 ~ S T N . 8 付近の海面上に潮



汐フロントが観測できた。この結果は解析結果とよく一致している。

## 7. 5 まとめ

以下に今回の観測・解析結果をまとめる。

(1) 計12回のCTD観測で上げ潮流初期、中期、末期、転流期及び下げ潮流初期、中期の観測線付近の潮汐フロントの形成状況と来島海峡混合水塊の燧灘成層水塊への貫入状況を時系列的に観測した結果、設定観測線付近の潮汐フロント構造の時間変化が明らかになった。

すなわち、上げ潮流初期から中期にかけて、表層には明瞭な潮汐フロントが見られない。一方、中層部から下層部では、来島海峡水の成層域側への楔状貫入が見られた。また、上げ潮流末期から転流期にかけて、表層に明瞭な潮汐フロントが現れた。さらに、楔状貫入がより明瞭に見られた。下げ潮流初期から中期には、表層部が来島海峡側に引っ張られるために、潮汐フロントが鈍る傾向にある。

(2) 潮汐フロントは上げ潮流末期から転流期にかけて発達し、設定観測線上ではSTN. 6～STN. 8付近（来島海峡航路東口から5～6マイル東）に形成される。

(3) 計5回のADCP観測の結果より、混合水域は相対的に流速が早く、成層水域では遅いことが確認された。設定観測線付近では、潮汐フロントを挟んで、混合水域では北東流、成層水域では南東流の傾向が現れる。

(4) CTDとADCPの同時観測によって流動分布を確認し、燧灘側に観測線上に存在する浅瀬の影響と思われる地形性渦流が認められた。

## 7. 6 おわりに

今回の観測により設定観測線付近での潮汐フロントの形成場所や時系列変動

の状況が明らかになった。これらの観測は信頼性や再現性を高めるため、複数年にわたり実施してきており、今後も継続して行くつもりである。

一般に潮汐フロント周辺は好漁場として漁船や遊漁船が密集していることが多く、潮汐フロントの移動は漁船などの動静と関係が深いと考えられるので、今後潮汐フロントの空間分布状況にも着目しながら観測を継続していきたい。また、観測線付近の潮汐フロント水面下の鉛直構造については、来島海峡の混合水が燧灘の成層水に楔状に貫入していることが判った。来島海峡海域で流出した汚染物質の拡散挙動を見ていくためには、もう少し広範囲な観測を続け3次元鉛直構造図などの作成を行うつもりである。

つけ加えて、4月から10月までの加熱期における今回の観測から、来島海峡付近の混合域と燧灘の成層域では海水の水温が2－3度異なっていることも知見できた。来島海峡特有の濃霧との関連は気温、湿度、海水温度及び風という4つの要素が大きく関連している。今回の観測からすぐに来島海峡の霧との関連は言及することはできないが、潮汐フロントを境界として来島海峡側と燧灘側で大きく水温がことなっていることは着目しておく必要がある。

## 第 8 章 結 論

本論文では、来島海峡の潮流等の航行環境への影響について、主にフィールド観測によって集めた様々なデータを解析によって明らかにすることを試みた。

その結果、以下の知見を得た。

1) これまで不明確であった来島海峡航路東側出入口付近での上げ潮流及び下げ潮流時における航行船舶の動き（流れ）と「交差」箇所を明らかにした。併せて、海上交通に「交差」が発生する上げ潮流（南流）時の圧流の影響と操船者の心理的側面にも言及した。

2) 新しく開発した 3D 開発ツールの有効性と実用性を示すとともに、今回の観測に使用した観測機器の性能・精度を明示した。

3) 来島海峡のような船舶の輻輳海域を ADCP を用いて移動観測する場合、安全の確保のため、できる限り短時間で観測しなければならない。同時に、観測精度の向上という相反する課題がある。両者を同時に満足させるためには、効率的、かつ、効果的な観測手法を確立させなければならなかった。そこで、予備観測として、弓削島・浜都湾では設定観測線を単純な直線とし、かつ、必要最低限の本数で隔時観測を行った。これを解析によって同時観測を行ったのと同様な効果を持たせ、湾内の流況の概要を明確にした。

4) 来島海峡南東部の浅瀬である沖ノ瀬至近の大島側には反流域の存在が経験的には知られており、また、航空機を用いた写真撮影やフロート追跡による観測などでは確認されていた。しかし、その変動状況についてはこれまでよく判っておらず、また、観測方法についても船舶の輻輳海域であることなどの制約があって具体的な観測がこれまでなされていなかった。そこで、2 隻の調査船と同型の 2 台の ADCP を用いた同時観測を行うことで、ダイナミックな潮流渦の潮時変動を時系列観測することにはじめて成功した。さらに、その形成と周辺海底地形との関係を明らかにした。

5) 来島海峡水道部において潮流と船体運動の同時観測を行い、潮流の船体

に与える影響の空間的な変動状況を明確にした。併せて、A D C Pを用いて鉛直多層潮流観測を行った。その結果、船舶に影響を及ぼす潮流は、通常航行船舶の喫水を考慮した水深30 m程度の範囲内であればほとんど上層・下層で変化がなく、表層の2次元的な潮流で代表させることが可能であることを明らかにした。しかし、湧昇流・沈降流の影響についてはまだ判然としない。

6) 来島海峡南東部には夏季に明確な潮汐フロントが出現する。潮汐フロント周辺海域は良好な漁場でもあり、漁船は潮汐フロントの移動に併せて動く。また、潮汐フロントは夏季にだけ出現するので、来島海峡での海難に起因する水溶性汚染物質などの流出・拡散挙動は、近傍の海水の密度構造とも関係が深い。したがって、潮汐フロントの変動状況の把握は来島海峡の航行環境と密接に関係しているといえる。しかし、これまで潮汐フロントの興味は水産面の重点が置かれていた。本章では、C T D観測によって潮汐フロントの密度(物理)構造を明らかにし、併せてA D C P観測によりその流動構造も明らかにした。また、潮時による潮汐フロントの形成場所とその空間変動の状況も明らかにした。潮流の側面のみならず、これまでほとんど触れられなかった来島海峡潮流起源の潮汐フロントの航行環境に与える影響についてもはじめて論究した。

7) 来島海峡で採用されている世界でも特異な「順中逆西の航法」の萌芽、成長、成熟の状況を時系列的に根拠を示しながら明確にし、かつ、これまで慣習起源と思われていた当該航法について政策起源の可能性についても論述した。

本研究に残された課題は以下のとおりである。

1) 来島海峡水道部での複雑な海底地形によって引き起こされる湧昇流・沈降流が航行船舶に与えている具体的な影響を把握すること。

2) 来島海峡南東部の潮汐フロントの空間的な広がりとその時系列変動状況を包括的に把握すること。

3) 来島海峡北西部は水道部が多く明確な潮汐フロントはできないと推察されている。具体的な観測により、これを実証すること。

4) 来島海峡の潮流と霧の関係を明確にすること。

5) 潮流の運航者に与える心理的影響についての検討を行うこと。

海難事故の防止は、船舶の性能・装備や航路標識などの整備のようなハード

的な側面と運航者の経験・知識・技術あるいは関係官庁の積極的な行政指導などのソフト的な面に加え、地形、潮流、霧といった自然環境を抜きにしては達成することができない。一方では、航行権と漁業権といった権益の調整や大型船、小型船などの種々雑多な船舶が入り交じった混在交通の問題も当然に検討対象とされなければならない。

来島海峡の海上交通を考える場合、その2大海難事由である「衝突」と「乗り揚げ」が解消されるだけで、その安全性は70%以上改善されることになる。「衝突」の誘因となっているのはいうまでもなく「順中逆西の航法」である。来島海峡の航法を単純な「右側通航」に統一すれば、危険な「交差」や転流時の水道部での「行き会い」は完全に解消されることになる。櫓櫓船、帆船、汽船時代を経て、高信頼度・高出力・高馬力・高速度の機船時代となっている現在、数ノットの潮流に逆らって航走することはほとんど操船上は問題ない。したがって、「中水道」を逆潮時に通航することは難しいことではない。ただ、「西水道」を順潮で通航する場合はその地形的制約のため数回大幅な転舵を余儀なくされる。小型船はさほど気にする必要はないが、長さ200mを超えるような大型船の「順流時の西水道航行」が安全に実現可能かをシミュレーション等を行って評価することが課題として考えられる。

また、「乗り揚げ」を減少させるために、例えば「中渡島」の除去や「馬島」周辺の浅瀬の除去が考えられる。可航水域が広がり、島や海岸部の側壁が単純化されれば、流れが乱される要因が減少し、流速もある程度の低下が期待できる。

昭和40年代中期、備讃瀬戸海域に「備讃瀬戸南航路」という人工水路が誕生した。幅700m、水深15m、長さ十数マイルというものである。水深5～10m程度の浅瀬や岩礁が散在していた海域に巨大船が通行可能な「一方通航」の航路ができたわけである。それまでは、現在の「備讃瀬戸北航路」に相当する狭い水路を東西両方向への航行船が供用していたのであるから、上記のような来島海峡での土木工事も不可能ではないと考えられる。しかし、このような土木工事には事前の十分な環境影響評価を行う必要があり、この点についてもシミュレーションに期待されるところが大きいわけだが、精度のよいシミュレーションを行うためには実観測に基づいた細かなデータが必要である。そ

の意味では本研究は必要不可欠な部分を分担していることになる。

海難事故の多くは人為災害であるといわれる。海難事故の誘因となる事象をできる限り遠ざけ、フェールセーフな航行環境の実現と単純で判りやすい航法の確立を目指して、今後も研究を続けていきたい。

## 付録A 来島海峡の通航方法の史的考察

### A-1 はじめに

来島海峡の独特の通航方法である「順中逆西の航法」については、南流時に発生する航路出入口付近での「交差」及び転流時前後の狭い水道内での「行会い」という二点が、その航法そのものの持つ潜在危険性として、従来から指摘されている<sup>4)</sup>。

また、外国船の通航や事故の増加に伴い、その通航方法の難解さがあらためて再認識されるようになってきている<sup>46)</sup>。

それでは、何故この来島海峡でこのような特異な通航方法が取られるようになったのか。この点について近年入手した資料等も紹介しながら、あらためて振り返ってみることとした。

### A-2 分離通航方式の利点と推薦航路の意義

I M O (International Maritime Organization、国際海事機関)の「航路指定」や日本の「海上交通安全法」の中で用いられ、いまでは船舶の輻輳海域の交通整理の一般的手法となっている「分離通航方式」は次のような利点を持っている。

- 1) 「行会い」という最も危険な見合い関係の排除。
- 2) 船舶輻輳海域の交通流の整頓と単純化。

狭い海域での分離通航の考え方は、例えば明治25(1892)年の海上衝突予防法(明治25年法律第5号)の中の「狭い水道における右側通航原則」などからもくみ取ることができるが、日本で明確に分離通航を特定海域で一般航行船を対象に規制した規則は、昭和4(1929)年の「内海水道航行規則」であるといえる。以後、船舶交通の膨張とともに、分離通航に期待される目的として、単なる行会い関係の解消だけでなく、船舶が集中する海域の船舶交通の流れを単

純にし、能率的にすることや漁業海域との分離、乗揚げの危険性の少ない安全通航水域の確保といった別の要求も入れられるようになり、いっそうその規制海域の拡大・強化が図られ、昭和47(1972)年には「海上交通安全法」が制定された<sup>47)</sup>。

また、このような規制対象海域以外の場所でも、一般航行船の間で自然に分離通航原則は取り入れられている。

例えば、海図に記載されている推薦航路の本来の意義<sup>48)</sup>は、「大多数の通航船舶の可航幅を省略して、1本の標準的な航路線で代表し、地形、潮流その他の自然条件のみを考慮の上、主として船首尾線上及び変針点に好目標があるように選ばれたものであり、海上保安庁の水路誌発行者により、航海の安全の為に推薦されている航路線で、そして、島嶼が点在するため航路が複雑であるか又は誤解のおそれある地域の海図に特に記入されるのを例とするが、船舶間の衝突予防には特別な意味を持たない。」ということで、別に分離通航的な目的は持っていないが、現実には推薦航路の右側通航という流れが形成され、特に水路の中央部に航路標識が設置されているところではこの傾向が強く、実質的な意味で推薦航路が分離通航の機能を果たしているといえる。

### A-3 明治時代の来島海峡の通航方法

海軍水路局が明治18(1885)年6月に刊行した水路誌<sup>49)</sup>から、来島海峡の航法関連部分を以下に紹介する。

「東方ヨリ来島海峡ニ近邇スル法程

小島ト馬島トノ間ノ水道(=西水道)ハ最モ佳ナリ然レトモ来島水道(=小島・波止浜間の水道)ト称スル者ハ好水道ニアラス馬島ヲ回航スル後ハコノ瀬ヲ避クルノ注意ヲナサザル可カラス・・・(以下省略)・・・

西方ヨリ来島海峡ニ近邇スル法程

・・・(途中省略)・・・然ル後馬島ノ西(=西水道)ヲ経過スヘク様



針路ヲ取り大陸ヨリハ其島ニ稍、近ク沿フテ進ミ以テアマ瀬ヲ避ケ得ヘ  
キナリ・・・(途中省略)・・・馬島ト中渡島トノ間(＝中水道)ヲ経  
過スルカ為ニ中渡島ニ密運シテ示導スルノ航道ヲ行クモ亦可ナリ此他ノ  
水道ハ必ス採用スル勿レ」

また、来島海峡がいかに航行の難所であったかを伺うことができるものとし  
て、明治27(1894)年に宮脇通赫が著した「伊豫温故録」<sup>50)</sup>(今治市立図書館  
蔵)より関係部分を引用してみる。

イ) 宮崎岬(現在の梶取鼻)

「宮崎村の岬角をいう。波方村の北の尾崎を大隅岬という。その西に当  
たりて海中に出てたる尾崎を宮崎岬とする。この辺り総て宮崎灘と称  
し、船路の難所なり。」

ロ) 大隅岬(現在の犬角鼻)

「波方村の西北海上に斗出するを二十九町。舟行険悪の処なり。」

ハ) 来島瀬戸(現在の来島の瀬戸＝小島・波止浜間の水道)

「来島と波止浜との海峡をいう。二名集に云、満潮干潮には風なけれど  
も、浪逆立ち、大なる渦巻上げて鳴音百千の雷の如し。如何なる大船  
にても、この時通らんとすれば、必ず渦に振り回されて破損する。(以  
下省略)」

ニ) 長鳴門(現在の来島海峡いまだ磯付近)

「宮崎村より波方村に至る海上をいう。即ちいわゆる宮崎灘是なり。二  
名集(注記 文化年間に新居郡新須賀村の岡田通載が撰した「伊豫二  
名集」という地誌研究資料)に云、宮崎のはなは海手へ出たる所なり。  
この所ごうごうと鳴り、音高し。故に俗にこの所をこうこうという。  
即ちその海手を長鳴門という。日本国中に鳴門と称する所三ツあり。  
阿波鳴門(＝鳴門海峡)、周防鳴門(＝大島瀬戸あるいは上関海峡と  
考えられる)、伊豫鳴門(＝来島海峡)なり。海上無双の難所なり。  
(以下省略)」

明治33(1900)年の吉田東吾著「大日本地名辞書(上巻)」<sup>51)</sup>の中にはこの頃の来島海峡に関連する水路誌の記事が引用されている。

「越智郡の陸岸を南側とし、能島を北側とする要隘也。水路誌云、・・・(途中省略)・・・来島の北角より半鏈の間、浅水地拡張す、然れども小島との間の水道、中央は無碍なり。この海峡の進路法は小島と馬島の間なる西水道を最良とす、然れどもあるいは中渡水道の比較的直條なるを以て、之を擇むものあり。馬島はすべて距離二鏈にて廻り得べし。その他の水道は決して試むべからず。」

明治37(1904)年に海軍水路部から刊行された水路誌<sup>52)</sup>には以下のような記述がある。

「此海峡(=来島海峡)ヲ取ルモノハ・・・潮勢ニ注意シテ好機ニ投シ中水道又ハ西水道ヲ撰ムヘシ(以下省略)・・・」

以上の資料から、当時の来島海峡の通航方法としては、明治33(1900)年頃までは「西水道」が最良の通航路として、東航船・西航船にかかわらず利用するのが一般的であったと考えられる。「中水道」は補助的な位置づけと解釈できる。ところが、明治37年の水路誌には微妙な変化が見受けられ、潮流を見ながら「西水道」・「中水道」の適当な水道を利用しなさいと、両者の差を読み取ることができなくなった。

当時、来島海峡の通航方法に対する法的規制は、明治25(1892)年「海上衝突予防法」の狭い水道に関する以下の規定だけと考えられる。

#### 第25条

「汽船狭隘ノ水道ニ於テ無難ニ通航シ得ルトキハ其中流ノ右側即チ本船ノ右側ニ当ル方ヲ航行スベシ」

In narrow channels every steam vessel shall, when it is safe and practicable, keep to that side of the fairway or mid-channel which lies on the starboard side of such vessel.

来島海峡西水道が一般的に利用されていた一例として、大正 2 (1913) 年 12 月 20 日に発生した「汽船千鳥丸・汽船漢城丸衝突事件」を高等海員審判所裁決録から紹介する。

(要旨)

「汽船千鳥丸は総トン数 1408 トンの貨物船（米 940 俵と多少の雑貨を積載）で大阪から若松に向け航行中、来島海峡東口に達し、これより西水道を航行する見込みで進行し、馬島の南端ウズ鼻が右舷船首約 4 点、距離約 3.8 ケーブルになったとき、船首からおよそ 2 点半、距離約 1.1 マイルの所に漢城丸の白・紅の 2 灯を認めたが、狭隘な水路を夜間航行しているので、危険を考慮してなるべくその中流を航行する目的で、徐々に右転した。また、汽船漢城丸は、総トン数 1125 トンの貨物船（米と糖 900 トン余り積載）で朝鮮群山から門司を経由して横浜に向け航行中、西水道に入り、コノ瀬挂灯立標の南東 2 ケーブル程の所を通過して、船首を鷲ノ頂に向け進行しているとき、左舷船首約 4 点に千鳥丸の白・緑 2 灯を認めたが、船首を大浜燈台に向け中流を航行する見込みで左転を行い、互いにほとんど真向かいの状態で接近し、ウズ鼻のほぼ西、距離約 2 ケーブルのところで衝突した。当時の天候は、晴、西の軽風で、潮候は南流の最盛期に属し流速は約 4 ノットであった。」

航路標識の整備状況<sup>39)</sup>としては、明治 33 (1900) 年中渡島灯台が設置された。その後、明治 35 (1902) 年にコノ瀬立標が乗揚げ防止と航路示導の目的で設置された。

明治 37 (1904) 年から 38 (1905) 年の日露戦争の影響で、全国的に船舶通航量が増加し、来島海峡でも同様の傾向となり、潮流が強い時期にまで行会い船が多く重なるようになり、衝突・乗揚げの危険性が著しくなったため、この危険性を緩和し潮流の方向と緩急の程度を航行船に知らせるために、明治 42 (1909) 年には中渡島灯台が潮流信号所に変体し、後に来島海峡の独特の通航方法を規制する機能を受け持つこととなるのである。

ちなみに、明治 45 (1912) 年における日本の航路標識基数は 236 基<sup>38)</sup>であった。

#### A-4 「順中逆西の航法」の慣習化と慣習法としての成立時期

潮流の流れる方向によって通航する水道を変えて、分離通航を実現する、いわゆる「順中逆西の航法」に関する比較的古い記述として、大正 8 (1919) 年の藤尾らの「海上衝突予防法之研究」<sup>39)</sup>が挙げられる。

この本の中には、大正 5 (1916) 年 5 月に発生した「汽船近江丸・汽船立神丸衝突事件」を契機として、来島海峡の分離通航方法の研究が学識経験者の間で現実に研究され始め、また、一部にはすでに「順中逆西」の分離通航の実施が慣習化されていたことが記載されている。

以下に「汽船近江丸・汽船立神丸衝突事件」の概要を紹介しておく。

この事故は、大正 5 年 5 月 9 日に来島海峡西水道のコノ瀬挂灯立標南東 1.2 ケーブルの地点において南流初期に発生した。東行船近江丸 (3384 トン) は、潮流に乗って西水道を航行しようとし、また、西行船立神丸 (2480 トン) は潮流に逆らって西水道を通過しようとしていたが、もう一隻の船が中水道を北上し、立神丸と衝突しそうになったという、複雑な見合い関係でおこった。

これに対する審判は、大正 5 年 12 月 28 日に東京海員審判所でなされた。以下に関係部分を裁決録から引用して紹介しておく。

(要旨)

「近江丸カ漲潮 (= 南流) ノ初期二当テ、殊ニ狹隘テ船舶運用上最至難テアル来島海峡ヲ西口ヨリ通過セントセシ際恰モ中、西両水道ヨリ進行ノ二汽船同時ニ接近シ来リ、三船交々衝突ノ虞アルニモ拘ラス、海上衝突予防法 (明治 25 年法) 第二十七条ノ趣旨ニ違反シ、強テ之ヲ通過セント企テタル職務上ノ過失ニ起因シ・・・ (以下省略)」

そして、上記著書の中で、

「最近近江丸と立神丸とが来島海峡西水道内に於て衝突してより、来島海峡通航に就き識者の間に研究さるるに至りたるは、我が海運界の為に慶賀す可き也。」

と述べ、また「順中逆西の航法」が習慣化されていたことについては、

「瀬戸内海にて営業する水先人の間には、不文律として来島海峡にて逆潮を受くる船は西水道を、又順潮に乗る船は中央水道（＝中水道）を通航す可き規約ありと謂ふ。」

と述べている。

そして、これからの来島海峡の通航方法について次のように考察を加えている。

「吾が当局者が信号所（＝船舶通航信号所及び潮流信号所のこと）を瀬戸内海各所に設け、潮流及び通航船に関する信号を為し、航海者の便宜を図れるは、伊勢湾口神島の暗礁を夜間探照灯を以て指示する新しき方法と共に、世界に類似希なる信号として吾人は大いに歓迎するに躊躇せずと雖右衝突事件の根本問題は、瀬戸内海の如く潮流激甚を極め通航汽船の外に帆船、漁船の群走する、狹隘にして而も險悪なる水路に於て、衝突予防法の規程の外に何等の特別法の約束なきに起因するものに非ずや疑念なき能わず。」

として、瀬戸内海に対して、その実態に即した特別法の制定を求めているとともに、具体的提案として、来島海峡には航洋船の通航に適する中、西の両水道があるので、これを利用して各一隻宛航行させたらどうかというような内容等を挙げている。

大正12(1923)年頃には、明確な規定は存在しないが、「順中逆西の航法」という通航方法が事実上一般的な常用航法として定着していたことが、大正12年1月11日に発生した「汽船第二富美丸・汽船南都丸衝突事件」の裁決文

より推測することができる。

事件の概要は次のとおりである。

「第二富美丸（総トン数 687 トン）は東京月島から山口県宇部に向かう途中、潮流に逆航し来島海峡西水道を通過する目的で進行し、一方、南都丸（総トン数 959 トン）は山口県宇部から東京に向かう途中、来島海峡西水道を通航しようと思い、その目的で進行し、来島海峡西水道コノ瀬挂灯立標から南 1/4 西、5.75 ケーブルの地点で接触した。当時の天候は、晴天にして北東の微風吹き、潮候は南流の末期に属していた。」

この事件に対し、大正 12 年 4 月 30 日に大阪地方海難審判所は裁決の中で、「順中逆西の航法」に関し次の如く述べている。

「・・・（途中省略）・・・（南都丸）カ航海者一般ノ常用航法ニ反シ順潮ニ乗シテ来島海峡水道（＝西水道）ヲ通航セントシタル・・・（以下省略）・・・」

また、大正 12 年 6 月 29 日の高等海員審判所の裁決の中でも同様に以下の如く述べている。

「之ヲ審按スルニ本件衝突ハ潮流ノ為メ南都丸カ船首ヲ変転シタルニ依ルモノニシテ・・・（途中省略）・・・（南都丸）カ順潮ニ乗シテ来島海峡ヲ通航セントスルニ当リ西水道ヲ北航シ来ル他船（第二富美丸）ヲ認メタルニ拘ハラス一般ノ航法ニ留意セス同水道ニ進航シタル職務上ノ過失ニ基因シ・・・（以下省略）・・・」

以上のことから考えてみると、明治時代の後期には既に一部で「順中逆西の航法」が事実上採用され始め、大正 5（1916）年の「汽船近江丸・汽船立神丸衝突事件」を契機に本格的な研究がなされるとともに、知識人を通じて一般に普及・啓蒙されていき、大正 12（1923）年頃には、審判裁決に指摘されるほどに

一般的な常用航法として認識されていたといえることができる。

海軍水路部が、当時発行していた水路図誌や告示などの脱落を補い、かつ、水路航海に参考となる学理、実験などを一般に公表することを目的に、大正 11 (1922) 年 6 月から月刊で発行し始めた「水路要報」の中にも来島海峡の通航方法に関連した記述がみられる。

1) 水路要報第 5 年第 3 号 (大正 15 年 3 月) <sup>55)</sup>

「来島海峡は潮流強勢なるを以て下関海峡と共に最難所と称せられて居るが水道短く且帆船漁船等の障害も少き為大多数の汽船の常用航路となっている。此の海峡は東中西の三水道に分れて居るが航行水道としては西水道と中水道のみに限られて居る。・・・(途中省略)・・・両水道の内何れに依るべきか又之か航法は如何にすべきかに就ては衝突予防上の見地よりせば西行船は中水道を、東行船は西水道に依るべきであるが潮流急なる為順流には中水道を逆潮には西水道を通航するを可とする為特別な航法を要することとなる。・・・(以下省略)・・・」

2) 水路要報第 7 年第 10 号 (昭和 3 年 10 月) <sup>56)</sup>

「来島海峡は、・・・(途中省略)・・・水路狹隘潮流激甚なる為操船上の見地からは順流に中水道、逆流に西水道を通航する方が安全容易である。従来内海水先人は順流に中水道、逆流に西水道を不文律としていたが、大正 12 年 6 月第二富美丸及南都丸衝突事件審判に依って殆んど一般航法と認められるようになった。・・・(途中省略)・・・即ち本海峡では潮時に依りて水道を異にし行逢船は時に左舷を相対し時に右舷を相対して航過する必要があるので(次のような)特別な航法を適當とする。順流には中水道逆流には西水道を通過し水道の南北海面に於ては東行西行の航路を明瞭に区別し交叉を防ぐ。・・・(途中省略)・・・然し乍ら上記航法は・・・

(途中省略)・・・一般航法と異なる点もあるから、通航船舶全般の実行を期待する為、速に内海航行規則の様な特別法規の制定発布せられんことと、容易に本航法を実施し得る様航路標識の設置されんことを希う次第である。・・・(以下省略)・・・」

これを見ると、「順中逆西の航法」の具体的な運航上の注意やその問題点の提示、あるいは法制化への期待やそれに伴う航路標識の整備などが盛り込まれ、その定着がほぼ完全に固まっていたといえる。

#### A-5 「順中逆西の航法」の法制化とその潜在危険性の顕在

来島海峡の「順中逆西の航法」が、初めて法令に登場したのは、昭和4(1929)年2月に公布された「内海水道航行規則」(昭和4年逓信省令第3号)によるものである。この規則は、瀬戸内海の中で特に狭隘でしかも地形が複雑な、いわゆる難所といわれる備讃瀬戸、来島海峡及び下関海峡を航行する船舶に適用するものであって、これらの瀬戸、海峡に於ける航法を詳細に規定している。

「順中逆西の航法」は来島海峡の海上交通事故を減少させようという努力から形成されてきたものであることは否定できないが、皮肉なことに、その航法そのものの持つ内的な危険性(潜在危険性)を露呈するような事故が施行のわずか2年後に発生した。それが、おそらく来島海峡海難史上最も悲惨であった「貨物船関西丸・旅客船八重山丸衝突事件」(昭和6年12月24日発生)である。

事件の概要は次のとおりである。

「関西丸(総トン数 8617 トン、貨物船、貨物 1491 トン積載)は中華民國の太沽から神戸に向かう航行の途中、順潮に乗って1時間に18マイルの速力で中水道を通航し、馬島サザイ鼻に並航した時、大島の南岸に接する付近に八重山丸の白・白・緑の3灯を初認したので、汽笛を二短声吹鳴しながらゆっくり左転し続けたが、同船の緑灯が正船首よりやや右舷に変わろうとする状態になったので、自他両船は互いに右舷を対して無難に航過するものと信じ、総員部署を開き、かつ、機関用意を解除しようとした時、突然八重山丸が両舷灯を表示し、ついで紅灯のみとなり船首を右転してくる様子なので、機関停止、全速後進を令し、舵は左のまま左転を続けたが衝突



した。一方、八重山丸（総トン数 969 トン、旅客船、旅客 56 名と貨物約 470 トン積載）は、大阪から神戸を経由して愛媛県高浜港に向かう航行の途中、ひうち灘梶島の頂上を 1.7 マイル程に並航し、そのまま針路 235 度（磁針方位を 360 度法に換算、以下同じ）に保持して、今治防波堤燈台を船首少し左舷に望みつつ進行中、大島タケノ鼻より 124 度 1800 メートルの地点にさしかかったとき、大島の南岸と竜神島燈台との中間見通し線上に関西丸の白・白・紅 3 灯を認めたが、その後同船の白・白 2 灯の間隔は次第に狭くなったが、同船は高速力のまま南下していたので、竜神島燈台を遠く離して続行するものと思い、関西丸は互いに左舷を相対して航過しようとして、竜神島燈台より 112 度、1800 メートル付近にさしかかったとき、汽笛短声 1 回を吹鳴して船首を一点余り右転し、南流に逆航して 1 時間に 9 マイル余りの速力で続行したが、関西丸は緑灯をも表示してきたので、さらに船首の右転を命じたが、船首少し左舷よりの近距離に船首を左転しつつ接近してくる関西丸に対して、激右転したが効果なく衝突した。」

以後、昭和 28 (1953) 年の「特定水域航行令」(昭和 28 年政令第 392 号) 及び昭和 47 (1972) 年の「海上交通安全法」(昭和 47 年法律第 115 号) へと、この独特の航法は基本的な部分を維持しながら引き継がれてきている。

それでは、この「順中逆西の航法」を「内海水道航行規則」の中に制度化する骨子はいつ頃から生まれてきたものであろうか。

これについて、興味深い報告がある<sup>79)</sup>。この中で、紹介されている「瀬戸内海航行規程制定一件」は外務省外交史料館所蔵の一件書類で、明治 36 (1903) 年 9 月と付記された「瀬戸内海航海規程草案」と明治 42 (1909) 年 5 月に、逓信次官から外務次官宛に照会された「内海航行規則」関係の文書よりなっている。

両文書の中で「順中逆西の航法」に触れられている部分は次の通りである。

「瀬戸内海航海規定草案」(明治 36 年 9 月)

第 20 条「来島海峡ヲ通航セントスル汽船ハ左ニ掲クル水道ニ 由ルヘシ

1. 西水道 (コノ瀬瀬戸)

逆潮ニ向フ場合

西方ヨリ来リテ憩潮時ニ会スル場合

2. 中水道（八幡瀬戸）

順潮ニ追ハルル場合

東方ヨリ来リテ憩潮時ニ会スル場合」

第 23 条「二艘ノ汽船カ行達ヒテ互ニ認メ得ル距離マテ近寄り来タル場合ニ於テ其ノ出会スヘキ場所特ニ狹隘ニシテ安全ニ替リ行キ難キ虞アルトキハ逆潮ニ向フ汽船ハ順潮ニ追ハルル汽船ノ行過クルヲ待ツ為メ速力ヲ緩メ又ハ停止シ且直ニ長声ヲニ発シテ其ノ旨ヲ他船ニ信号スヘシ此ノ場合ニ於テハ安全ニ替リ得ルコトヲ見定メタル上ニアラサレハ出会セントスル場所ヘ二分一海里以内近寄ルヘカラス

前項ノ場合ニ於テ順潮ニ追ハルル汽船ハ進航ヲ継続シ且他船ノ信号ヲ受ケタルトキハ同一ノ信号ヲ以テ之ニ答報スヘシ」

「内海航行規則（案）」（明治 42 年 5 月）

第 20 条「汽船カ来島海峡西水道（コノ瀬瀬戸）又ハ中水道（八幡瀬戸）ヲ航行セントスルトキハ逆潮ノ場合ニハ西水道、順潮ノ場合ニハ中水道ニ由ルヘシ」

第 22 条「二艘ノ汽船カ行達ヒテ互ニ認メ得ル距離マテ近寄り来タル場合ニ於テ其ノ出会スヘキ場所カ狹隘ナル為メ安全ニ替リ行キ難キ虞アルトキハ逆潮ニ向フ汽船ハ順潮ニ追ハルル汽船ノ行過クルヲ待ツ為メ速力ヲ緩メ又ハ停止シ且直ニ長声ヲニ発シテ其ノ旨ヲ他船ニ信号スヘシ此ノ場合ニ於テ逆潮ニ向フ汽船ハ安全ニ替リ得ルコトヲ見定メタル上ニ非サレハ出会スヘキ場所ニ近寄ルヘカラス

前項ノ場合ニ於テ順潮ニ追ハルル汽船ハ航行ヲ継続シ且他船ノ信号ヲ受ケタルトキハ同一ノ信号ヲ以テ之ニ答報スヘシ」

第 23 条「第 20 条及前条ノ適用上潮流ノ順逆ヲ認ムルニハ信号所ニ於テ潮流信号ヲ為ス場所ニ在リテハ其ノ信号ニ依ルヘシ」

これを見る限り「順中逆西の航法」の基本的骨子は網羅されているのがよく判る。このことから判断すると、「順中逆西の航法」は明治後期に経験的に取られていた航法が、慣習化し、大正末には一般の常用航法にまで高まったから規則化したというより、既に基本的な骨子が存在し、一般に普及するのを待って、そのタイミングで制度化したという方がより現実的であるような気がする。

## A-6 流れのある海域における航法慣習に対する考察

流れのある海域（主として河川）における日本の定則は、以下に示すように「順流船が逆流船を避けるのが原則」であったと考えられる。

「海路諸法度」（天正20（1592）年）

「川の内にて上り船、下り船の時は、下り船よりよけ候て、上り船にかまわざるようにつかまつるべき事。但し、上り船に下り船あたり、上り船損ない候は、下り船のもの越度になるべき事。」

「船法（＝廻船式目）」（江戸時代（＝貞応2（1223）年）

「川船上り船下り船行き合いがしらに船きしろいの時は、下り船より船口をあらけべき事、無其儀上り船に付きあたりたる時は下り船より其損じたる所を造作の一札述て船も可渡事。」

汽船の出現と共に、早くから海事法制の発達していたイギリスの規定を見ると、「右側通航の原則」と共に、汽船に限られているとはいえ、日本の場合とは逆に「逆流船が順流船を避けるのが原則」であったと考えられる。

参考として、大正9（1920）年出版の永嶺忠宜著「船舶の衝突と其責任」<sup>58)</sup>の中に掲載されているテームズ川規程の抜粋を示す。

テームズ川規程

第 47 条「潮流ニ逆航スル汽船左記箇所（箇所は省略）ヲ廻航スル時ハ順  
潮船ノ通過ヲ待ツベシ」

また、1890 年に発生した「ツリーブシック号」対「タラボット号」事件において、両汽船がイギリス国内のシェルド川の甚だ屈曲している部分でお互いに接近し、ほぼ直角に出会うような場合、適当な運用方法に基づき、逆潮船は順潮船が屈曲部を通過するのを待たなければならないとして、以下のように裁決している。

（要旨）

「テームズ川規程には右のような場合において、逆潮船は速力を緩めて順潮船の通過を待つべき積極的規定が設けられている。シェルド川にはこのような規定はないけれども、水先人の陳述によれば、テームズ川規程に準拠して、順潮船の通過を待つのが習慣となっている。それならば、ツリーブシック号はこの習慣を無視した事が明白であるが、もし、シェルド川にこのような習慣がなかったとしても、かような場合には逆潮船が順潮船を待つことなしに、其の屈曲部を進航するようなことは不当な運用方法といわざるを得ない。」

明治維新以後の日本の海事法制の特徴は、塚原周造が「日本に於ける船舶行政の由来」に、「海上行政法を調査するにも適当な参考書が乏しかったから、私は英国の商船条例（1854 年及び 1862 年公布）の翻訳を企て、必要な条項を抄訳してこれを実際に施行し、結局右の手で翻訳して左の手で実行するというような有様で、正院（内閣）の詮議を請う節には其度毎に正院に赴いて立法の理由を説明したりして、兎も角海上行政諸法規の実施を見たのであった」と述べているように、イギリスの海事法制を手本にしたものが多かったものと考えられる<sup>59)</sup>。

明治中期に規定された各種水路取締規則の航行原則はいずれも例にもれず「右側通航の原則」と「逆潮船が順潮船を避ける原則」が採用されている。

以下にいくつかの例を示す。

## 大阪府水路取締規則

第 6 条「船舶ノ航法ハ左ノ規定ニ遵フベシ

1. 航路及滞筋ニ於テハ其右側ヲ航行スベシ
2. 航路及滞筋ニ於テハ他船ト並航スベカラズ
3. 航路及滞筋ニ於テ行達フトキハ互ニ右方ニ避クベシ若之ニ  
依リ難キ場合ハ上リ船ニ於テ避讓スベシ（以下省略）」

## 利根川運河航通規則

第 7 条「互ニ反対ノ方向ニ進航シテ運河内或ハ部分殊ニ狭部近傍ニ於テ遭遇スルトキハ上航ノモノハ下航ノモノニ讓ルベシ若シ運河内水流ナキ場合ニ於テハ江戸川ニ向ヒテ進航スルモノ先通過スベシ」

## 愛知県名古屋港取締規則

第 18 条「・・・(途中省略)・・・港内ニ於テ船舶互ニ行達フトキハ其逆潮ノモノヨリ・・・(途中省略)・・・其航路ヲ讓ルベシ」

以上のことから、「順中逆西の航法」の基本的考え方はイギリスの河川における航法原則が骨子になっているものと考えられる。

## A-7 おわりに

本章では、来島海峡の通航方法の変遷をたどりながら、いわゆる「順中逆西の航法」制定までの過程に対して考察を加えてみた。

来島海峡の独特の通航方法である「順中逆西の航法」は、長い間の経験・慣行の積み重ねから生まれてきたものと考えていたが、本文で示した「瀬戸内海航海規定草案」の存在から、幾分その考え方を修正せざるを得なくなった。同草案の作成経緯等に関してはまだよく判らない部分も多いが、既に来島海峡の通航方法に対する基本骨子が存在し、啓蒙・普及を待って規則化がなされたと

いう考え方もできる。

「順中逆西の航法」が規則化されて、既に半世紀以上が過ぎ、来島海峡の通航方法としては定着しているといっても過言ではない。しかし、単純で判りやすい通航方法かという点必ずしもそうではない。平成10(1998)年1月1日には来島海峡海上交通センターが運用を開始し、また平成11(1999)年5月1日には「しまなみ海道(西瀬戸自動車道、尾道・今治ルート)」が開通した。このような時期に、あらためて来島海峡の通航方法について考えてみるのも時期を得たものではないだろうか。

## 付録 B 主な用語の解説

### B－1 「順中逆西の航法」

来島海峡で採用されている船舶の通航方法の一種。

「海上交通安全法（昭和47年法律第115号）」には次のように規定されている。

#### 第20条

船舶は、来島海峡航路をこれに沿って航行する時は、次の各号に掲げる航法によらなければならない。この場合において、これらの航法によって航行している船舶については、海上衝突予防法第9条第1項の規定は、適用しない。

（1）順潮の場合は来島海峡中水道（以下「中水道という。」）を、逆潮の場合は来島海峡西水道（以下「西水道」という。）を航行すること。ただし、これらの水道を航行している間に転流があった場合は、引き続き当該水道を航行することができることとし、また、西水道を航行して小島と波止浜との間の水道へ出ようとする船舶は、順潮の場合であっても、西水道を航行することができることとする。

（2）中水道を経由して航行する場合は、できる限り大島及び大下島側に近寄って航行すること。

（3）西水道を経由して航行する場合は、できる限り四国側に近寄って航行すること。この場合において、西水道を航行して小島と波止浜との間の水道へ出ようとする船舶又は同水道から来島海峡航路に入って西水道を航行しようとする船舶は、その他の船舶の四国側を航行しなければならない。

### B－2 「右側通航」

海上交通における狭水道や航路筋などでの基本的な通航方法。

「海上衝突予防法（昭和52年法律第62号）」には次のように規定されて

いる。

#### 第9条（狭い水道等）

（１）狭い水道又は航路筋（以下「狭い水道等」という。）をこれに沿って航行する船舶は、安全であり、かつ、実行に適する限り、狭い水道等の右側端に寄って航行しなければならない。ただし、次条第2項（分離通行帯を航行する場合）の規定の適用がある場合は、この限りでない。

（第2項以下省略）

「1972年の海上における衝突予防のための国際規則（Convention on the international regulation for preventing collisions at sea, 1972）」には次のように規定されている。

#### Rule 9 (Narrow channels)

*(a) A vessel proceeding along the course of a narrow channel or fairway shall keep as near to the outer limit of the channel or fairway which lies on her starboard side as is safe and practicable.*

#### B-3 ADCP

超音波ドップラー流速計 (Acoustic Doppler Current Profiler) のこと。

#### B-4 CTD

塩分水温深度計 (Conductivity-Temperature-Depth Meter) のこと。

#### B-5 ケーブル (Cable)

海上で用いられる距離の単位。1マイル (=1852m) の 1/10 で、0.1マイルのことを1ケーブルという。

#### B-6 ノット (Knot)

海上で用いられる速力の単位。1ノットは1時間に1マイル航行する速力。

1ノット = 1マイル / 時間



## B-7 ロランC

Long Range Navigation の略。船舶の位置を求める電波測器の一つ。主局と複数の従局とがペアとなり、主局信号と従局信号との時間差を測定して、ロランテーブル（ロラン用の等時間差表）あるいはロランチャート（ロラン用の等時間差線記入済海図）から、船位を決定する。位置精度は数十mのオーダー。ロランCで用いられる基本周波数は100KHzである。国内の局の管理は海上保安庁が管轄している。

## B-8 GPS

Global Positioning System の略。アメリカ国防総省が管理し民生利用に供している。船舶ばかりでなく、航空機、車、その他測量などで広く利用されている位置を求める電波測器。2000年5月2日にSA(Selective availability)が解除され、民生用GPS機器で取得できる位置精度が大幅に向上したといわれる。位置精度は数cm～数mのオーダー。

## B-9 船体運動収録装置

ワークステーション及び船内LANを基軸として、船内の様々な測器からの任意データをサンプリングタイム1秒～任意時間の範囲でデジタル情報として取り込むことができるシステムで、関連ソフトウェアは三井造船（株）と弓削商船高専で共同開発したもの。

## B-10 潮汐フロント

潮目（Tidal front）とも言われる。強潮流域でよく掻き混ぜられた混合水塊（上層・下層で水温、塩分、密度がほぼ均質な水塊）と流れが弱い海域で形成される成層水塊（上層から下層にかけて、温度、塩分、密度が層を形成している水塊）との海面上の境界のこと。

## 付録 C 3D解析ツールのプログラム ( Visual Basic 使用 )

```

Private Type POINTS
    Index As Integer
    x As Double
    y As Double
    z As Double
End Type
Dim pnts(500) As POINTS, np%
Dim axespnts(5) As POINTS
Dim gz0!, gy0!, sc0!, sc!, t#, delt#
Dim eye0#(2), dist0#, eye#(2), yaw#, pitch#, roll#, dist#, clip#
Dim gaze#(2)
Dim x1#(2), x2#(2)
Dim axes%, pause%
Dim curdp!(800, 100), curew!(800, 100), curns!(800, 100), curud!(800, 100), curgd%(800, 100)
Dim curdir!(800, 100), curpitch!(800, 100)
Dim ncur%, lat!(800), lon!(800), curx!(800, 100), cury!(800, 100), curz!(800, 100)
Dim hhh%(800), mmm%(800), sss%(800)
Dim lat0!, lon0!, sclat#, sclon#, PI#, KNOT#
Dim realrudder!(800), rudder!(800), head!(800)
Dim vx!(800), vy!(800), ux!(800), uy!(800), V1!(800), V2!(800), setv#
Dim deltaux!(800), deltauy!(800), dv!(800), alpha1!(800), alpha2!(800)
Dim handlex!(800), handley!(800), handlexy!(800), headx!(800), heady!(800)
Dim omega!(800), curxx!(800, 100), curx2!(800, 100)
Dim pindex%, fcur$, chk%, chk1%, increment%, Dat$, dgrthreshold

Private Function Atn2(ssn#, ccs#)
    Dim atn22#
    If ccs# = 0 Then Atn2 = 3.14159265358979 / 2#: Exit Function
    atn22# = Atn(ssn# / ccs#)
    If ccs# < 0 Then atn22# = atn22# + 3.14159265358979
    If atn22# < 0 Then atn22# = atn22# + 2 * 3.14159265358979
    Atn2 = atn22#
End Function

Private Function Atn3(ssn#, ccs#)
    Dim atn22#
    If ccs# = 0 Then Atn3 = 3.14159265358979 / 2#: Exit Function
    atn22# = Atn(ssn# / ccs#)
    If ccs# < 0 Then atn22# = atn22# + 3.14159265358979
    If atn22# > 3.14159265358979 Then atn22# = atn22# - 2 * 3.14159265358979
    Atn3 = atn22#
End Function

Private Sub ShowCurrent()
    List1.Clear
    List1.AddItem Str$(pindex%) + Format$(hhh%(pindex%), "#00:") + Format$(mmm%(pindex%), "#00:") + Format$(sss%(pindex%), "#00"), 0
    List1.AddItem Format$(lat!(pindex%), "#00.000"), 1
    List1.AddItem Format$(lon!(pindex%), "#000.000"), 2

```

```

List1.AddItem "depth    speed    direction    vertical", 3
List1.AddItem "    m        cm/sec        deg        deg", 4
For i% = 0 To 17
    curabs! = Sqr(curew!(pindex%, i%) ^ 2 + curns!(pindex%, i%) ^ 2 + curud!(pindex%, i%) ^ 2)
    If curns!(pindex%, i%) > -1000 And curgd%(pindex%, i%) >= dgrthreshold Then
        List1.AddItem Format$(curz!(pindex%, i%) / 10, "#00.0    ") + Format$(curabs!, "#000.0    ") + Format$(curdir!(pindex%, i%), "#000.0    ") + Format$(curpitch!(pindex%, i%), "#000.0    "), i% + 5
    Else
        List1.AddItem "- - - - -", i% + 5
    End If
Next
End Sub

Private Sub Command1_Click()
    axes% = 1 - axes%
    If axes% = 1 Then
        Command1.Caption = "Hide AXES"
    Else
        Command1.Caption = "Show AXES"
    End If
End Sub

Private Sub Command2_Click()
    Form1.PrintForm
End Sub

Private Sub Command3_Click()
    Read
End Sub

Private Sub Command4_Click()
    If HScroll2.Value = HScroll2.Max Then Exit Sub
    increment% = 1
    Timer1.Enabled = True
End Sub

Private Sub Command5_Click()
    Timer1.Enabled = False
End Sub

Private Sub Command6_Click()
    If HScroll2.Value = HScroll2.Min Then Exit Sub
    increment% = -1
    Timer1.Enabled = True
End Sub

Private Sub Command7_Click()
    Open "kaiseki1.csv" For Output As #1
    For c% = 0 To ncur% - 1
        'Write #1, c%, curx2!(c%, 1) / 100, headx!(c%), realrudder!(c%), omega!(c%)
        '4 番目の深さの潮流を計算
        Write #1, c%, realrudder!(c%), 1# / KNOT# * Sqr(curew!(c%, 6) ^ 2 + curns!(c%, 6) ^ 2 + curud!(c%, 6) ^ 2) / 100#, 1# / KNOT# * headx!(c%), omega!(c%)
        'Sqr(curew!(c%, 1) ^ 2 + curns!(c%, 1) ^ 2 + curud!(c%, 1) ^ 2) / 100
    Next
    Close #1

```

End Sub

Private Sub Form\_Load()

Form1.Left = 0

Form1.Top = 100

Form1.Height = 10000

Form1.Width = 13000

fcur\$ = ""

SetParameters

Read

End Sub

Private Sub SetEye(gz#(), ey#(), dst#, yaw#, pt#, rl#)

ey#(0) = gz#(0) - dst# \* Cos(yaw#) \* Cos(pt#)

ey#(1) = gz#(1) - dst# \* Sin(yaw#) \* Cos(pt#)

ey#(2) = gz#(2) + dst# \* Sin(pt#)

End Sub

Private Sub SetAxes()

axespnts(0).x# = 0

axespnts(0).y# = gaze#(1)

axespnts(0).z# = gaze#(2)

axespnts(1).x# = 20000

axespnts(1).y# = gaze#(1)

axespnts(1).z# = gaze#(2)

axespnts(2).x# = gaze#(0)

axespnts(2).y# = 0

axespnts(2).z# = gaze#(2)

axespnts(3).x# = gaze#(0)

axespnts(3).y# = 30000

axespnts(3).z# = gaze#(2)

axespnts(4).x# = gaze#(0)

axespnts(4).y# = gaze#(1)

axespnts(4).z# = -5000

axespnts(5).x# = gaze#(0)

axespnts(5).y# = gaze#(1)

axespnts(5).z# = 5000

axes% = 1

End Sub

Private Sub SetParameters()

PI# = 3.14159265358979

KNOT# = 1852 / 3600 'ノットを m/s に変換

setv# = 10# \* KNOT# '設定船速

Dat\$ = InputBox\$("input DATA path", "DATA path SETTING", "")

gz0! = Form1.Height / 2

gy0! = Form1.Width / 2

sc0! = 10000

dist0# = 7500 \* CDBl(VScroll3.Value)

sc! = sc0! \* VScroll3.Value

Text5.Text = "Perspect: " + Str\$(VScroll3.Value)

gaze#(0) = 8000: gaze#(1) = 15000: gaze#(2) = 0

pitch# = -45 \* PI# / 180: roll# = 0

Text2.Text = "Pitch: " + Str\$(VScroll1.Value)

yaw# = HScroll1.Value / 180 \* PI#

Text1.Text = "Yaw: " + Str\$(HScroll1.Value)

SetEye gaze#(), eye#(), dist0#, yaw#, pitch#, roll#

dist# = 0.4 \* 2 ^ (VScroll2.Value)

Text3.Text = "Zoom: " + Str\$(2 ^ VScroll2.Value)

```

clip# = 400
pindex% = HScroll2.Value
Text4.Text = "Point#: " + Str$(HScroll2.Value)
SetAxes
lat0! = 34 + 2 / 60 + 15 / 3600
lon0! = 132 + 52 / 60
lon0! = 132 + 52 / 60
sclat# = (4429530 - 3320110) / 10
sclon# = 111319 * Cos(lat0! * PI# / 180)
Open Dat$ + "kurushima.csv" For Input As #1
Input #1, np%
For i% = 0 To np% - 1
    Input #1, j%, x#, y#
    pnts(i%).Index = j%
    pnts(i%).x# = x#
    pnts(i%).y# = y#
    pnts(i%).z# = 0
Next
Close #1
pause% = 1
Text8.Text = Str$(HScroll3.Value)
End Sub

Private Sub line3d(p1#(), p2#(), pl)
Dim pp1#(2), pp2#(2), x#, y#, z#, cs#, sn#, c1#, c2#
    pp1#(0) = p1#(0) - eye#(0)
    pp1#(1) = p1#(1) - eye#(1)
    pp1#(2) = p1#(2) - eye#(2)
    pp2#(0) = p2#(0) - eye#(0)
    pp2#(1) = p2#(1) - eye#(1)
    pp2#(2) = p2#(2) - eye#(2)
' yaw
    cs# = Cos(yaw#): sn# = Sin(yaw#)
    x# = cs# * pp1#(0) + sn# * pp1#(1)
    y# = -sn# * pp1#(0) + cs# * pp1#(1)
    pp1#(0) = x#: pp1#(1) = y#
    x# = cs# * pp2#(0) + sn# * pp2#(1)
    y# = -sn# * pp2#(0) + cs# * pp2#(1)
    pp2#(0) = x#: pp2#(1) = y#
' pitch
    cs# = Cos(pitch#): sn# = Sin(pitch#)
    z# = cs# * pp1#(2) + sn# * pp1#(0)
    x# = -sn# * pp1#(2) + cs# * pp1#(0)
    pp1#(2) = z#: pp1#(0) = x#
    z# = cs# * pp2#(2) + sn# * pp2#(0)
    x# = -sn# * pp2#(2) + cs# * pp2#(0)
    pp2#(2) = z#: pp2#(0) = x#
' roll
    cs# = Cos(roll#): sn# = Sin(roll#)
    y# = cs# * pp1#(1) + sn# * pp1#(2)
    z# = -sn# * pp1#(1) + cs# * pp1#(2)
    pp1#(1) = y#: pp1#(2) = z#
    y# = cs# * pp2#(1) + sn# * pp2#(2)
    z# = -sn# * pp2#(1) + cs# * pp2#(2)
    pp2#(1) = y#: pp2#(2) = z#
' put on the screen
    If pp1#(0) < clip# And pp2#(0) < clip# Then Exit Sub
    If pp1#(0) >= clip# Then
        If pp2#(0) < clip# Then

```

```

        c1# = (clip# - pp2#(0)) / (pp1#(0) - pp2#(0))
        c2# = (pp1#(0) - clip#) / (pp1#(0) - pp2#(0))
        pp2#(1) = c1# * pp1#(1) + c2# * pp2#(1)
        pp2#(2) = c1# * pp1#(2) + c2# * pp2#(2)
        pp2#(0) = clip#
    End If
Else
    c2# = (clip# - pp1#(0)) / (pp2#(0) - pp1#(0))
    c1# = (pp2#(0) - clip#) / (pp2#(0) - pp1#(0))
    pp1#(1) = c1# * pp1#(1) + c2# * pp2#(1)
    pp1#(2) = c1# * pp1#(2) + c2# * pp2#(2)
    pp1#(0) = clip#
End If
pp1#(1) = pp1#(1) * dist# / pp1#(0)
pp1#(2) = pp1#(2) * dist# / pp1#(0)
pp2#(1) = pp2#(1) * dist# / pp2#(0)
pp2#(2) = pp2#(2) * dist# / pp2#(0)
'draw line
Form1.Line (gy0! + pp1#(1) * sc!, gz0! + pp1#(2) * sc!)-(gy0! + pp2#(1) * sc!,
gz0! + pp2#(2) * sc!), pl
End Sub

Private Sub HScroll1_Change()
yaw# = HScroll1.Value / 180 * PI#
Text1.Text = "Yaw: " + Str$(HScroll1.Value)
SetEye gaze#(), eye#(), dist0#, yaw#, pitch#, roll#
Form1.Cls
'DrawObject
'DrawObject2
DrawMap
DrawAxes
DrawCurrent pindex%
End Sub

Private Sub ConnectPoints(p1 As POINTS, p2 As POINTS, pl)
x1#(0) = p1.x#: x1#(1) = p1.y#: x1#(2) = p1.z#
x2#(0) = p2.x#: x2#(1) = p2.y#: x2#(2) = p2.z#
line3d x1#, x2#, pl
End Sub

Private Sub DrawMap()
Form1.DrawStyle = 0 '地形を実線に
For i% = 0 To np% - 2
If pnts(i%).Index > 0 And pnts(i% + 1).Index > 0 Then
ConnectPoints pnts(i%), pnts(i% + 1), QBColor(2) '色は緑
End If
Next
Form1.DrawStyle = 0
End Sub

Private Sub DrawAxes()
If axes% = 1 Then
Form1.DrawStyle = 3
ConnectPoints axespnts(0), axespnts(1), QBColor(12)
ConnectPoints axespnts(2), axespnts(3), QBColor(12)
ConnectPoints axespnts(4), axespnts(5), QBColor(12)
Form1.DrawStyle = 0
End If
End Sub

```

```

Private Sub HScroll2_Change( )
    pindex% = HScroll2.Value
    Text4.Text = "Point#: " + Str$( HScroll2.Value )
    gaze#( 0 ) = curx!( pindex%, 0 ): gaze#( 1 ) = cury!( pindex%, 0 )
    SetEye gaze#( ), eye#( ), dist0#, yaw#, pitch#, roll#
    SetAxes
    Form1.Cls
    DrawMap
    DrawAxes
    DrawCurrent pindex%
End Sub

Private Sub HScroll3_Change( )
    dgrthreshold = HScroll3.Value
    Text8.Text = Str$( dgrthreshold )
End Sub

Private Sub Timer1_Timer( )
    HScroll2.Value = HScroll2.Value + increment%
    If HScroll2.Value >= ncur% - 1 Or HScroll2.Value <= 0 Then Timer1.Enabled = False
End Sub

Private Sub VScroll1_Change( )
    pitch# = VScroll1.Value * PI# / 180
    Text2.Text = "Pitch: " + Str$( VScroll1.Value )
    SetEye gaze#( ), eye#( ), dist0#, yaw#, pitch#, roll#
    Form1.Cls
    DrawMap
    DrawAxes
    DrawCurrent pindex%
End Sub

Private Sub Read( )
    Dim d1#, d2#, d3#, d4#, d5#, d6#, d7#, d8#, d9#, d10#, d11#, d12#, dd9#, dd8#
    fcur$ = InputBox$( "ファイル名を入力してください", "ファイル選択", "082102" )
    If fcur$ = "" Then fcur$ = "082102"
    Open Dat$ + fcur$ + ".cu.csv" For Input As #1
    Open Dat$ + fcur$ + ".csv" For Input As #3
    For i% = 1 To 3
        Line Input #1, a$
    Next
    c% = 0
    While Not EOF( 1 )
        'Line Input #1, a$
        Input #1, yy%, mm%, dd%, hh%, mn%, ss%, d1#, d2#, d3#, d4#, d5#, d6#, d7#
        sec# = ( hh% * 60 + mn% ) * 60# + ss%
        hhh%( c% ) = hh%: mmm%( c% ) = mn%: sss%( c% ) = ss%

        'Cls
        'CurrentX = 0: CurrentY = 0

        fl% = 1
        cc% = 0
        sigmad1# = 0#
        sigmad5# = 0#
        While fl% = 1
            Input #3, hh1%, mn1%, ss1%, s100%, d1#, d2#, d3#, d4#, d5#, d6#, d7#, dd8#, dd9#, d10#, d11#
            If dd8# > 30 And dd8# < 40 Then d8# = dd8#
            If dd9# > 130 And dd9# < 140 Then d9# = dd9#

```

```

sec1# = (hh1% * 60# + mn1%) * 60# + ss1%

sigmad1# = sigmad1# + d1#
sigmad5# = sigmad5# + d5#
cc% = cc% + 1

If sec1# > sec# Then fl% = 0
Wend

d1# = sigmad1# / CDBl(cc%)
d5# = sigmad5# / CDBl(cc%)

d9# = Int(d9#) + (d9# - Int(d9#)) / 0.6
d8# = Int(d8#) + (d8# - Int(d8#)) / 0.6
'Print c%, hh1%, yy%, mm%, dd%, hh%, mn%, ss%, d7#, d8#
lat!(c%) = d8#
lon!(c%) = d9#

'船首の方向(ラジアン)
head!(c%) = d3# * PI# / 180#
'舵
realrudder!(c%) = d1# '度
rudder!(c%) = (-d1# * 5# + 180#) * PI# / 180# + head!(c%) 'ラジアン

omega!(c%) = d5#

'速度ベクトル(m/s)
vx!(c%) = d6# * KNOT#
vy!(c%) = d7# * KNOT#
ux!(c%) = vx!(c%) * Cos(head!(c%)) - vy!(c%) * Sin(head!(c%))
uy!(c%) = vx!(c%) * Sin(head!(c%)) + vy!(c%) * Cos(head!(c%))
'速度そのもの(m/s)
V1!(c%) = Sqr(ux!(c%) ^ 2 + uy!(c%) ^ 2)

alpha1!(c%) = -Atn2(CDBl(vx!(c%)), CDBl(vy!(c%))) + PI# / 2#

deltaux!(c%) = ux!(c%) - setv# * Cos(head!(c%))
deltauy!(c%) = uy!(c%) - setv# * Sin(head!(c%))
dv!(c%) = Sqr(deltaux!(c%) ^ 2 + deltauy!(c%) ^ 2)
alpha2!(c%) = Atn2(CDBl(deltauy!(c%)), CDBl(deltaux!(c%)))

'5行読み飛ばす
For i% = 1 To 5
Line Input #1, a$
Next

For i% = 0 To 46

'082101
'For i% = 0 To 71

'Line Input #1, a$
Input #1, depth!, d1#, d2#, cew!, cns!, cud!, d3#, d4#, d5#, d6#, d7#, gd%, d8#
'Print i%, depth!, cew!, cns!, cud!, gd%
'Print #2, i%, depth!, cew!, cns!, cud!, gd%
'If i% < 5 Then
curdp!(c%, i%) = depth!
curew!(c%, i%) = cew!

```



```

curns!(c%, i%) = cns!
curud!(c%, i%) = cud!
cugd%(c%, i%) = gd%
curx!(c%, i%) = (lat!(c%) - lat0!) * sclat#
cury!(c%, i%) = (lon!(c%) - lon0!) * sclon#
curz!(c%, i%) = depth! * 10
curdir!(c%, i%) = Atn2(CDb1(cew!), CDb1(cns!)) / PI# * 180
curpitch!(c%, i%) = Atn3(CDb1(cud!), Sqr(cew! ^ 2 + cns! ^ 2)) / PI# * 180
'End If
Next

'潮流 2 次元ベクトル
'curxy!(C%) = Sqr(curew!(C%, 1) ^ 2 + curns!(C%, 1) ^ 2)

'漂流から潮流を引く
handlex!(c%) = deltaux!(c%) - curns!(c%, 6) / 100
handley!(c%) = deltauy!(c%) - curew!(c%, 6) / 100
handlexy!(c%) = Sqr(handlex!(c%) ^ 2 + handley!(c%) ^ 2)

'head 座標に変換
headx!(c%) = handlex!(c%) * Cos(head!(c%)) + handley!(c%) * Sin(head!(c%))
heady!(c%) = -handlex!(c%) * Sin(head!(c%)) + handley!(c%) * Cos(head!(c%))

'curxx!(c%, 1) = curns!(c%, 1) * Cos(head!(c%)) + curew(c%, 1) * Sin(head!(c%))
'curx2!(c%, 1) = Sqr(curxx!(c%, 1) ^ 2)

c% = c% + 1
Wend
ncur% = c%
Close #1: Close #3
pindex% = 0
HScroll2.Max = ncur% - 1
HScroll2.Value = 0
gaze#(0) = curx!(pindex%, 0): gaze#(1) = cury!(pindex%, 0)
SetEye gaze#(), eye#(), dist0#, yaw#, pitch#, roll#
SetAxes
Form1.Caption = fcur$
Text7.Text = fcur$
HScroll1_Change
End Sub

Private Sub DrawCurrent(k%)
Dim i%
For i% = 0 To k% - 1
    DrawPoint i%, QBColor(11)
Next
For i% = k% + 1 To ncur% - 1
    DrawPoint i%, QBColor(11)
Next
DrawTrace
DrawHead
DrawShip
DrawRudder
DrawPoint k%, QBColor(0)
ShowCurrent
ShowCurrent2
End Sub

Private Sub DrawPoint(l%, plt)

```

```

Dim pnt1 As POINTS, pnt2 As POINTS, j%
pnt1.x = curx!(l%, 0)
pnt1.y = cury!(l%, 0)
chk% = l%
For j% = 0 To 17 Step 3 'step:何本置きに図示するか
    'If j% < 3 Then '図示する線を水面付近のみにする
        chk1% = j%
        pnt1.z = curz!(l%, j%)
        pnt2.x = pnt1.x + curms!(l%, j%) * 2
        pnt2.y = pnt1.y + curew!(l%, j%) * 2
        pnt2.z = pnt1.z - curud!(l%, j%) * 2
    'End If
    If curms!(l%, j%) > -1000 And curgd%(l%, j%) >= dgrthreshold Then
ConnectPoints pnt1, pnt2, plt
    Next
End Sub

```

```

Private Sub DrawTrace()
Dim pnt1 As POINTS, pnt2 As POINTS, j%
pnt1.z = 0
pnt2.z = 0
For j% = 0 To ncur% - 2
    chk% = j%
    pnt1.x = curx!(j%, 0)
    pnt1.y = cury!(j%, 0)
    pnt2.x = curx!(j% + 1, 0)
    pnt2.y = cury!(j% + 1, 0)
    ConnectPoints pnt1, pnt2, QBColor(10) * 12 / 15
Next
End Sub

```

```

'船の速度ベクトル
Private Sub DrawShip()
Dim pnt1 As POINTS, pnt2 As POINTS
pnt1.z = 0
pnt2.z = 0
pnt1.x = curx!(pindex%, 0)
pnt1.y = cury!(pindex%, 0)
pnt2.x = pnt1.x + ux!(pindex%) * 100#
pnt2.y = pnt1.y + uy!(pindex%) * 100#
ConnectPoints pnt1, pnt2, QBColor(9) * 12 / 15
End Sub

```

```

'船首の方向
Private Sub DrawHead()
Dim pnt1 As POINTS, pnt2 As POINTS
pnt1.z = 0
pnt2.z = 0
pnt1.x = curx!(pindex%, 0) - Cos(head!(pindex%)) * setv# * 100#
pnt1.y = cury!(pindex%, 0) - Sin(head!(pindex%)) * setv# * 100#
pnt2.x = curx!(pindex%, 0) + Cos(head!(pindex%)) * setv# * 100#
pnt2.y = cury!(pindex%, 0) + Sin(head!(pindex%)) * setv# * 100#
ConnectPoints pnt1, pnt2, QBColor(7) * 12 / 15
End Sub

```

```

'舵
Private Sub DrawRudder()
Dim pnt1 As POINTS, pnt2 As POINTS
pnt1.z = 0

```

```

    pnt2.z = 0
    pnt1.x = curx!( pindex%, 0 )
    pnt1.y = cury!( pindex%, 0 )
    pnt2.x = pnt1.x + Cos( rudder!( pindex% ) ) * 500#
    pnt2.y = pnt1.y + Sin( rudder!( pindex% ) ) * 500#
    ConnectPoints pnt1, pnt2, QBColor( 9 ) * 12 / 15
End Sub

Private Sub VScroll2_Change( )
dist# = 0.4 * 2 ^ ( VScroll2.Value )
Text3.Text = "Zoom: " + Str$( 2 ^ VScroll2.Value )
SetEye gaze#( ), eye#( ), dist0#, yaw#, pitch#, roll#
Form1.Cls
DrawMap
DrawAxes
DrawCurrent pindex%
End Sub

Private Sub VScroll3_Change( )
dist0# = 7500 * CDb1( VScroll3.Value )
sc! = sc0! * VScroll3.Value
Text5.Text = "Perspect: " + Str$( VScroll3.Value )
SetEye gaze#( ), eye#( ), dist0#, yaw#, pitch#, roll#
Form1.Cls
DrawMap
DrawAxes
DrawCurrent pindex%
End Sub

```

## プログラムの概説

それぞれ、Private Sub から End Sub までが一つのイベントであり、各イベントにはその内容を表す名称と必要な部分には注記をつけてあるので、それを参照されたい。

## 付録 D 弓削島浜都湾潮流ベクトル表示プログラム ( C 使用 )

```
#include <stdio.h>
#include <graph.h>
#include <math.h>
#include <stdlib.h>
#include <conio.h>
#include <stddef.h>
#include <malloc.h>
#define N 49

int kaigan[ ]={
389,60,373,77,373,77,364,91,364,91,348,101,348,101,342,101,
342,101,325,106,325,106,319,104,319,104,304,112,304,112,269,108,
269,108,240,116,240,116,211,139,211,139,190,168,190,168,167,176,
167,176,145,191,145,191,122,203,122,203,101,222,101,222,93,240,
93,240,85,247,85,247,80,255,80,255,68,251,68,251,60,265,
60,265,60,292,60,292,62,323,62,323,68,348,68,348,74,369,
74,369,85,369,85,369,80,380,80,380,95,408,95,408,112,423,
112,423,138,431,138,431,138,425,138,425,149,421,149,421,159,412,
159,412,163,402,163,402,159,400,159,400,161,394,161,394,167,394,
167,394,176,390,176,390,182,387,182,387,184,400,184,400,186,406,
186,406,201,412,201,412,211,410,211,410,221,404,221,404,221,416,
221,416,223,421,223,421,224,433,224,433,215,441,215,441,201,452,
201,452,192,460};

void disp_kaigan( void );
void position( void );
void line( void );
void point1( void );
void point2( void );
void point3( void );
int D2[ 50 ],D4[ 50 ],D6[ 50 ],N2[ 50 ],N4[ 50 ],N6[ 50 ],E2[ 50 ],E4[ 50 ],E6[ 50 ],PG2[ 50 ],
PG4[ 50 ],PG6[ 50 ];
char ktime[ 50 ][ 10 ];

void main( )
{
int FF,i,pm;
char filename[ 256 ];

FILE *fp;

START:

_setvideomode( _VRES16COLOR );
_clearscreen( _GCLEARSCREEN );

disp_kaigan( );
position( );
line( );
```

```

_setlinestyle( 0xffff);
_ellipse( _GBORDER,60-1,60-1,60+1,60+1 );
_moveto( 90,60 );
_lineto( 60,60 );
_settextposition( 5,9 );
_outtext( "0.1 knot" );

_settextposition( 9,16 );
_outtext( "弓" );
_settextposition( 11,12 );
_outtext( "削" );
_settextposition( 13,9 );
_outtext( "島" );

_settextposition( 1,2 );
_outtext( "DATA NUMBER  ");
scanf( "%d",&FF );
sprintf( filename,"A:SIO%d.DAT",FF );

fp=fopen( filename,"r" );

if( fp==NULL ){
    printf( "NOT OPEN" );
    exit( 0 );
}

for( i=0; i<=50; i++){
    fscanf( fp,"%8s %d %d %d %d %d %d %d %d %d %d %d %d",ktime[i],&D2[i],&D4[i]
,&D6[i],&N2[i],&N4[i],&N6[i],&E2[i],&E4[i],&E6[i],&PG2[i],&PG4[i],&PG6[i]
);
}
_setlinestyle( 0xffff);
point1();
point2();
point3();

scanf( "%d",pm );
goto START;
}

void position( )
{
    _settextposition( 28,4 );
    _outtext( "133 ° 12.5 ' E" );
    _settextposition( 28,51 );
    _outtext( "133 ° 13.9 ' E" );
    _settextposition( 7,68 );
    _outtext( "34 ° 15.8 ' N" );
    _settextposition( 26,68 );
    _outtext( "34 ° 14.8 ' N" );
    _settextposition( 8,47 );
    _outtext( "A" );
    _settextposition( 25,26 );
    _outtext( "B" );
    _settextposition( 23,12 );
    _outtext( "C" );
    _settextposition( 20,78 );
    _outtext( "D" );
    _settextposition( 16,13 );
}

```

```

_outtext( "E" );
_settextposition( 13,79 );
_outtext( "F" );
}
void disp_kaigan( )
{
int i;

for( i=0; i<=49; i++){
    _moveto( kaigan[ i*4 ],kaigan[ i*4+1 ] );
    _lineto( kaigan[ i*4+2 ],kaigan[ i*4+3 ] );
}
}
void line( )
{
unsigned m;

m=0xff00;
_setlinestyle( m );

_moveto( 10,60 );
_lineto( 10,460 );
_moveto( 389,60 );
_lineto( 389,460 );
_moveto( 0,412 );
_lineto( 520,412 );
_moveto( 0,108 );
_lineto( 520,108 );
}

void point1( )
{
int X,Y,X1,Y1,i;
float S,T;

S=( 200-362 )/10;
T=( 372-117 )/10;

X1=362;
Y1=117;
for( i=0; i<=10; i++){
    X=( int ) ( X1+S*i );
    Y=( int ) ( Y1+T*i );
    _ellipse( _GBORDER,X-1,Y-1,X+1,Y+1 );
    _moveto( X,Y );
    _lineto( N2[ i ]/5+X,-E2[ i ]/5+Y );
}
_moveto( X1,Y1 );
_lineto( X,Y );
}

void point2( )
{
int X1,Y1,X,Y,i,j;
float S,T;
S=( 597-105 )/15;
T=( 321-360 )/15;
j=11;

```

```

X1=105;
Y1=360;

for( i=0;i<=15; i++){
    X=(int)(X1+S*i);
    Y=(int)(Y1+T*i);
    _ellipse( _GBORDER,X-1,Y-1,X+1,Y+1);
    _moveto(X,Y);
    _lineto(N2[j]/5+X,-E2[j]/5+Y);
    j=j+1;
}
_moveto(X1,Y1);
_lineto(X,Y);
}
void point3( )
{
    int X,Y,X1,Y1,i,j;
    float S,T;

    S=( 606-116)/15;
    T=( 199-242)/15;
    j=27;
    X1=116;
    Y1=242;

    for( i=0; i<=15; i++){
        X=(int)(X1+S*i);
        Y=(int)(Y1+T*i);
        _ellipse( _GBORDER,X-1,Y-1,X+1,Y+1);
        _moveto(X,Y);
        _lineto(N2[j]/5+X,-E2[j]/5+Y);
        j=j+1;
    }
    _moveto(X1,Y1);
    _lineto(X,Y);
}

```

## プログラムの概説

int kaigan [] は海岸線表示データを表す。

関数の宣言 ( disp\_kaigan, position, line, point1, point2, point3 )

変数の型宣言 ( 観測データなど )

メインプログラムの構成は次のとおり。

- ① 変数の型宣言
- ② disp\_kaigan 関数の呼び出し
- ③ position 関数の呼び出し
- ④ 単位ベクトルの表示

- ⑤ 文字情報の表示
- ⑥ データナンバーの読み込みと出力
- ⑦ line 関数の呼び出し
- ⑧ 潮流データの読み込み
- ⑨ point1 関数、point2 関数、point3 関数の呼び出し

#### 各関数の説明

- ① disp\_kaigan 関数  
海岸線を実線で表示する
- ② position 関数  
観測点の概位を表示する。
- ③ line 関数  
緯線及び経線を破線で表示する。
- ④ point1 関数  
観測線 A B 及び A B 線上での潮流ベクトルを表示する。
- ⑤ point2 関数  
観測線 C D 及び C D 線上での潮流ベクトルを表示する。
- ⑥ point3 関数  
観測線 E F 及び E F 線上での潮流ベクトルを表示する。



## 付録 E 来島海峡南東部潮流ベクトル表示プログラム (BASIC言語使用)

### Current analysis program

```
10 'SAVE "C:\KURU_H.BAS",A
20 '-----CURRENT ANALYSIS PROG.
30 '
40 '
50 CONSOLE0,24,0,0: SCREEN 2: CLS3:COLOR 0,,0
60 INPUT"INPUT FILE NAME (0=END):",FF$
70 IF FF$="0"THEN CONSOLE 0,25: CLS 3: END
80 '
90 OPEN "C:" + FF$ + ".DAT" FOR INPUT AS #1
100 A=10: CLS 1: PAI = 3.1415926#
110 WHILE A>0
120 INPUT #1, A,B,C1,D1,C2,D2,C3,D3
130 DD1=D1/180*PAI: DD2=D2/180*PAI: DD3=D3/180*PAI
140 X=(C1*SIN(DD1)+C2*SIN(DD2)+C3*SIN(DD3))/3
150 Y=(C1*COS(DD1)+C2*COS(DD2)+C3*COS(DD3))/3
160 N=SQR(X^2+Y^2)
170 K=ATN(X/Y)
180 IF X>0 AND Y>0 THEN K=K: GOTO 220
190 IF X>0 AND Y<0 THEN K=K+PAI: GOTO 220
200 IF X<0 AND Y<0 THEN K=K+PAI: GOTO 220
210 IF X<0 AND Y>0 THEN K=K+2*PAI: GOTO 220
220 '----- DATA PLOT
230 X=80+(B-4)*90: Y=380-(A-4)*90
240 LINE(X,Y)-(50*N*SIN(K)+X, -50*N*COS(K)+Y)
250 CIRCLE(X,Y),2
260 WEND
270 CLOSE
280 '----- MAP PLOT
290 LINE(60,20)-(460,20): LINE(60,380)-(460,380)
300 LINE(80,0)-(80,400): LINE(440,0)-(440,400)
310 FOR I=170 TO 350 STEP 90
320 LINE(I,380)-(I,370)
330 NEXT
340 FOR I=110 TO 290 STEP 90
350 LINE(440,I)-(430,I)
360 NEXT
370 '
380 LOCATE 45, 7: PRINT"1 k't"
390 LINE(350,100)-(400,100)
400 CIRCLE(350,100),2
410 LOCATE 60, 7: PRINT FF$+".DAT"
420 LOCATE 58, 3: PRINT"34 ° 08'N"
430 LOCATE 58, 24: PRINT"34 ° 04'N"
440 LOCATE 1, 24: PRINT"133 ° 04'E"; TAB(46);"133 ° 08'E"
450 '
460 RESTORE 600
470 READ XD, YD
480 IF XD=9999 THEN 520
490 PSET(XD, YD)
```

```

500 GOTO 470
510 '
520 LOCATE 15, 0: PRINT"O Sima"
530 LOCATE 60, 10: INPUT"COPY ( Y/N )"; F$
540 IF F$="N" OR F$="n" THEN GOTO 10
550 LOCATE 60,10: PRINT"
560 COPY
570 GOTO 10
580 '
590 '-----ASASE
600 DATA 135,102,135,103,136,104,137,105,138,106,139,107,
140,108,141,109,142,110,143,111,143,112,114,113,145,114,146,
115,147,115,148,116,149,117,150,118,151,119,152,120,152,121,
153,122,154,123,154,124,154,125,155,126,155,127,155,128,155,
129,156,130,157
610 DATA 131,157,132,158,133,158,134,159,135,160,136,160,
137,161,138,161,139,162,140,163,141,164,142,165,142,166,143,
167,143,168,143,169,144,170,143,170,142,171,141,171,140,171,
139,171,138,172,136,170,135,170,134,169,133,168,133,167,132,
166,132
620 DATA 165,132,164,131,163,130,162,129,162,128,162,127,
161,126,161,125,161,124,160,123,160,122,159,121,159,120,159,
119,159,118,159,117,158,116,158,115,158,114,158,113,157,112,
156,111,155,111,154,110,153,109,152,109,151,108,150,107,149,
106,148,106,147
630 DATA 105,146,104,145,103,143,102,142,101,141,101,140,
100,139,100,138,100,137,101,136,101
640 '-----KAIGAN
650 DATA 50,64,51,63,52,62,53,61,54,60,55,59,56,58,56,57,56,
56,57,55,57,54,57,53,57,52,57,51,58,50,57,49,57,48,58,47,58,46,
59,46,59,45,60,45,61,44,62,43,62,42,62,41,62,40,62,39,62,38,63,
37,63,36,64,35,65,34,66,34,66,33,67,32,68,31,69,30,70,30,71,29,
72
660 DATA 28,73,28,74,28,75,27,76,27,77,27,78,27,79,27,80,27,
81,27,82,26,83,26,84,26,85,25,86,25,87,24,87,23,88,22,89,21,90,
20,91,20,92,19,93,19,94,19,95,18,96,18,97,17,98,17,99,17,100,18,
101,17,102,17,103,16,104,16,105,15,105,14,106,13,106,12,106,11,
106
670 DATA 10,106,9,107,9,108,9,109,9,110,9,111,9,112,8,113,8,
113,7,114,6,114,5,114,4,115,3,116,2,116,1,117,0,9999,9999

```

## プログラムの概説

120 : データの読み込み

A (緯度)

B (経度)

C 1、C 2、C 3 (各層の潮流の流速)

D 1、D 2、D 3 (各層の潮流の流向)

130 : 各層の潮流の流向を度からラジアンに変換

140 : 3 層の南北方向成分の平均化

150 : 3 層の東西方向成分の平均化

160 : 3 層の平均流速

170 : 3 層の平均流向

230-250 : 観測各点での潮流ベクトルの描画

#### MAP PLOT 部分

緯線、経線を描画し、関連の文字情報を表示する。

浅瀬及び海岸線を描画する。

#### ASASE 部分

浅瀬の描画データ

#### KAIGAN 部分

海岸線の描画データ

## 謝 辞

本論文をまとめるにあたり、親切なるご指導を賜りました九州工業大学情報工学部緒方純俊教授に、心から感謝しお礼を申し上げます。さらに、有益な御助言や御教示、御討論を賜りました九州工業大学情報工学部平城直治教授、延山英沢教授、田中和博教授、今井洋教授並びに岡山大学医学部住本哲宏教授に厚くお礼を申し上げます。

本研究を遂行していく上で、観測・解析方法の助言、観測の協力など常に身近にあって親身に手助けしてくださった日本海事事業株式会社須佐美智嗣氏、元弓削商船高等専門学校情報工学科助手松下千登勢さん、弓削商船高等専門学校商船学科田中 宏教授、松下邦幸助教授、同じく情報工学科塚本秀史助教授にも記して感謝の意を表したい。

観測に協力していただいた弓削商船高等専門学校練習船「弓削丸」の地本直弘船長をはじめ乗組員の方々、広島商船高等専門学校練習船「広島丸」の世登順三船長をはじめとする乗組員の方々にも併せて厚くお礼を申し上げます。

また、本研究を遂行していく上でのA D C P観測のノウハウやC T D観測・解析の方法についてご指導、ご助言いただいた京都大学農学研究科海洋生物環境学分野藤原建紀助教授、中央水産研究所黒潮研究部秋山秀樹室長、並びに3次元解析ツールの開発にご尽力いただいた独立行政法人海上技術安全研究所システム技術部の沼野正義氏、丹羽康之氏にも記して感謝の意を表したい。

最後に、本研究が一応の成果を結ぶこれまでの間、本当に多くの方々の側面からの温かいご支援・ご声援をいただいた。このことを併せて記して心から感謝したい。

## 参 考 文 献

- 1) 海上保安庁：瀬戸内海水路誌（瀬戸内海・豊後水道）、（1984）
- 2) 愛媛県文化振興財団：村上水軍考、歴史シンポジウムテキスト（1983）
- 3) 第六管区海上保安本部：瀬戸内海・宇和海における海上保安の現況、  
（1990-2000）
- 4) 福井 淡：図説海上交通安全法、海文堂（1986）
- 5) 日本海難防止協会：来島海峡における航法に関する調査研究、（1984）
- 6) 伊吹秀雄：来島海峡南流時に於ける現行航法上の問題点について、日本航海学会論文集第22号（1960）
- 7) 瓜田収治：瀬戸内海における海の交通ルール「海上交通安全法」施行後5ヶ月を経過して、日本航海学会誌「航海」第42号（1974）
- 8) 千原義男：海上交通安全法の施行と实际的諸問題、日本航海学会誌「航海」第44号（1974）
- 9) 阿土拓司・福井 淡：来島海峡の安全通航に関する考察、日本航海学会誌「航海」第43号（1974）
- 10) 大西枕弥：来島海峡航法上の問題点、日本航海学会航海環境シンポジウムテキスト（1982）
- 11) 日本海難防止協会：幅狭海域における海上交通安全制度についての調査研究（完了報告書）、（1998）
- 12) 海難防止研究会編：七周年記念誌、（1957）
- 13) 沓名景義・中泉 勇：来島海峡の潮流信号について、日本航海学会論文集第20号（1959）
- 14) 第六管区海上保安本部：来島海峡の潮流と航路標識について、日本航海学会誌「航海」第19号（1964）
- 15) 第六管区海上保安本部：来島海峡の渦流について（1964）
- 16) 第三港湾建設局神戸調査設計事務所：来島海峡渦流調査（1971）
- 17) 藤原建紀：瀬戸内海における海水交流、海の気象第27巻第2号（1981）

- 18) 本州四国連絡架橋漁業影響調査委員会：本州四国連絡架橋漁業影響調査報告（来島海峡調査資料）、（1988）
- 19) 小瀬邦治・高瀬 悟・飯島康宏：来島海峡における操船に及ぼす潮流影響に関する研究、日本航海学会論文集第 9 9 号、pp.247-254(1998)
- 20) 小瀬邦治・高瀬 悟：キネマティック G P S を利用した船体運動の計測による潮流影響の推定について、日本航海学会論文集第 9 9 号、pp.255-262(1998)
- 21) Tada M. and H. Tanaka : "Characteristics of Marine Traffics on the East area of Kurushima Channel in the Seto Inland Sea, Japan"、日韓学術交流会論文集、pp.6-12(1995)
- 22) Tada M., Y. Niwa, J. Fukuto, Y. Murohara, M. Numano and S. Ogata : "Development of 3D Tool for Tidal Current and Ship Movement Analysis and Its Application to Real Observations", Proceedings of ECM & SP '99, pp.83-87(1999)
- 23) 多田光男・須佐美智嗣・松下千登勢：弓削島・浜都湾の流況調査、日本航海学会論文集第 9 4 号、pp.327-335(1996)
- 24) Tada M., H. Akiyama, K. Matsushita, J. Seto, T. Fujiwara and S. Ogata : "Time Series Observation on Tidal Eddy in the Seto Inland Sea, Japan", Abstract of ICOST'99 in Jakarta, INDONESIA., pp.20(1999)
- 25) 多田光男・須佐美智嗣・豊田利彦・地本直弘・水井真治・世登順三・高杉由夫・藤原建紀：来島海峡南東部付近の潮流の特性について（II）、弓削商船高等専門学校紀要第 1 6 号、pp.27-31(1994)
- 26) 多田光男・村山雄二郎・沼野正義・緒方純俊：来島海峡航路内での流動構造と船体挙動の観察、日本航海学会論文集第 1 0 0 号、pp.113-119(1999)
- 27) 多田光男・塚本秀史・秋山秀樹・緒方純俊：来島海峡南東部の潮汐フロント構造の変化、日本航海学会論文集第 1 0 1 号、pp.181-187(1999)
- 28) 多田光男・塚本秀史・秋山秀樹・緒方純俊：来島海峡南東部の潮汐フロント形成場所と地形影響の検証、日本航海学会論文集第 1 0 4 号、pp.235-241(2001)
- 29) 多田光男：来島海峡の通航方法についての史的考察、日本航海学会誌「航海」第 1 2 2 号、pp.55-62(1994)
- 30) 藤井弥平・巻島 勉・原 潔：海上交通工学、海文堂(1981)

- 31) 多田光男：来島海峡西口付近の船舶交通の現状について、弓削商船高等専門学校紀要第12号、pp.27-33(1990)
- 32) 日本海洋学会編：海洋環境調査法（改訂版）、恒星社厚生閣(1985)
- 33) RD Instruments：ADCP USER'S MANUAL(1993)
- 34) アレック電子株式会社編：アレックメモリーSTDシリーズ取扱説明書(1993)
- 35) 柳 哲雄：海の科学（改訂版）、恒星社厚生閣(1992)
- 36) 多田光男・須佐美智嗣・豊田利彦・地本直弘・藤原建紀・星加 章：来島海峡南東部の潮流の特性について、弓削商船高等専門学校紀要第15号、pp.15-19(1993)
- 37) 多田光男・須佐美智嗣・藤原建紀・秋山秀樹：ADCPによる豊後水道の潮流の流動構造の観測、弓削商船高等専門学校紀要第18号、pp.15-20(1996)
- 38) Fujiwara T., H. Nakata and K. Nakatsuji："Tidal-jet and vortex-pair driving of the residual circulation in a tidal estuary", Continental Shelf Research, Vol.14, No.9, pp.1025-1038(1994)
- 39) 金子 新・伊藤集通：ADCPの普及と海洋学の発展、海の研究第3巻第5号、pp.359-372(1994)
- 40) 海上保安庁水路部：海底地形図（第6385号-4、燧灘西部）、(1985)
- 41) 柳 哲雄・吉川和輝：燧灘・大阪湾の潮汐フロント、水産海洋研究会報第51巻第2号、pp.20-24(1987)
- 42) 柳 哲雄編：潮目の科学、恒星社厚生閣(1990)
- 43) Simpson, J. H. and J. R. Hunter："Fronts in the Irish Sea", Nature,250, pp.404-406(1974)
- 44) 関根義彦：伊勢湾内外の沿岸フロントの季節変動の観測、沿岸海洋研究第37巻第1号、pp.69-76(1999)
- 45) Yanagi T., K. Ishikawa, K. Inoue and S. Susami："Convergence, Divergence and Vertical Velocity at a Tidal Front in Hiuchi-Nada, Japan", Journal of Oceanography, Vol. 51, pp.225-238(1995)
- 46) 海難審判庁：外国船海難の実態、(1998)
- 47) 海上保安庁監修：海上交通安全法の解説、海文堂(1974)

- 48) 藤咲五郎：推せん航路について、日本航海学会論文集第49号(1973)
- 49) 海軍水路局：寰瀛水路誌第一卷上、(1885)
- 50) 宮脇通赫：伊豫温故録（抄）、今治市立図書館蔵、(1894)
- 51) 吉田東吾：大日本地名辞書（上巻）、富山房(1900)
- 52) 海軍水路部：日本水路誌（第三巻）、(1904)
- 53) 海上保安庁燈台部：日本燈台史、燈光会(1969)
- 54) 藤尾正重・浦田格介：海上衝突豫防法之研究、三秀舎(1919)
- 55) 海軍水路部：水路要報第5年第3号、(1926)
- 56) 海軍水路部：水路要報第7年第10号、(1928)
- 57) 村上 貢：史料紹介瀬戸内海航行規程制定一件、弓削商船高等専門学校紀要第13号(1991)
- 58) 永嶺忠宜：船舶の衝突と其責任、海文堂(1920)
- 59) 高等海難審判庁：改訂版海難審判史、海難審判協会(1983)