

## 大正・昭和に来島海峡で行われた主な潮流観測

福島繁樹\*<sup>1</sup>, 熊谷 武\*<sup>2</sup>

Tidal current observation conducted in the Kurushima Strait in 1920 and 1956

Shigeki FUKUSHIMA\*<sup>1</sup> and Takeshi KUMAGAI\*<sup>2</sup>

### Abstract

For the purpose of the safety navigation at narrow straits, the Japan Coast Guard is planning a large-scale observation of tidal current around the Kurushima strait which located in the middle of Seto inland sea. On this occasion, the methods and the results concerning the major tidal current observations conducted in 1920 and 1956 are introduced in this paper.

Key words : Kurushima strait, tidal current observation.

### 1 はじめに

来島海峡は、古くから、「一に来島，二に鳴門，三と下って馬関の瀬戸」と歌に唄われているように国内屈指の 10 kn を超える激潮流が起こる海峡として有名である。この海峡は、瀬戸内海のほぼ中央部に位置し、安芸灘と燧灘を繋ぐ海上交通の要衝である。

この海峡は、散在する島々により東水道，中水道，西水道及び来島の瀬戸の四つの水道に分けられる。これらの水道は可航幅が狭く，潮流は強く複雑である。Fig. 1 に来島海峡付近の地形を示す。この海峡の流況は，来島海峡潮流図（海上保安庁，2004）の冒頭に詳しく述べられている。

このように強潮流が発生する来島海峡では，通航船舶が輻輳（一日あたり千隻弱）し，さらに交叉することから，船舶の衝突や乗り上げ事故が後を絶たない。このため早くから「順中逆西」と呼ばれる特殊な航法が慣例化し，腕木式潮流信号が



Fig. 1 Map around Kurushima Strait.

中渡島に設置され利用されてきた。昭和 47 年には海上交通安全法が制定され，この特殊航法が規定された。平成 10 年 1 月には，来島海峡海上交通センターが船舶交通の安全性及び効率性を向上させるため運用を開始した。来島海峡で適用され

\*1 海洋研究室 Ocean Research Laboratory

\*2 環境調査課 Environmental and Oceanographic Research Division

ている海上交通安全法に基づく主要航行ルールの概要や当センターの役割については、来島海上交通センター利用の手引きに詳しく記載されている。この「特殊な航法の沿革」や「順中逆西と右側通航の利点と欠点」については、日本海難防止協会（1998）にその詳細が記載されている。また、平成8年から平成18年までに来島海峡の中水道や西水道で発生した海難については、海難審判庁（2006）に分かりやすく説明されている。

平成11年5月には今治と対岸の大島を結ぶ来島海峡大橋（3連吊り橋、全長4,105m）が完成し、通航船舶にとっては昼夜を問わず格好の航海目標となっている。

現在、狭水道での船舶の航行安全を確保するため、来島海峡付近で本格的な潮流観測が計画されている。これを機会に、本稿では、これまでに来島海峡付近でどのような潮流観測が行われ、どのような成果が得られ、どのような情報が提供されてきたのか、大正・昭和に行われた主な観測を例にとって紹介する。

## 2 大正9年（1920年）の観測と成果

三原瀬戸及び来島海峡付近は、明治29年1月から6月まで行われた水路測量の際に、主要な水道及び付近の潮流観測が実施されたが、十分な成果を得ることができなかったことから、大正9年に本格的な潮流観測がこれらの海域で行われた。

大正9年の観測と成果は、小倉（1923）が水路雑俎第十号で詳細に報告しているため、その一部を紹介する。

### (1) 観測の概要

観測期間は、大正9年6月上旬から10月上旬まで。来島海峡については最も多くの測員と観測日数が費やされ、これに続き、三原瀬戸、大下瀬戸、青木瀬戸、布刈瀬戸等が精測され、その他の海域については許される範囲で観測を行った。

来島海峡の西水道及び中水道において、長さ約9m 直径約8cmの竹竿の下端に重錘を付け、上部を少し水上に現して直立させ、かつ小旗を付け

た長さ約1.5mの小竿を竹竿の上部に取付け、これを浮標とした。水道の両岸に各1台の経緯儀を据え付け、測定者は、毎1分乃至3分の間隔で同時に浮標の方向角を測定して、これを図上に記入することにより流速及び流向を決定した。経緯儀を設置した場所は、西水道については四国本島の摺手鼻（指手鼻）及び馬島約88mの山頂、中水道については馬島約80mの山頂及び中渡島北西角にある潮流信号所であった。その他の海域においては、観測員が櫓船に乗船し、浮標の移流に伴いその直近から陸標を三点両角法で測角し、図上に記入して流向、流速を決定した。

観測員は、全測定期間を通して海軍水路中佐新井雄吉及び海軍技手工藤慶策の両氏の外3名であった。漁業用櫓船5隻が測量艇として使用され、各艇には船頭以下5名が乗り込んだ。この外に験潮その他の業務に従事する若干名の傭人を臨時に雇用した。

### (2) 略算法による潮流の調和分解

潮流の調和分解をするには、潮汐の場合と同様に少なくとも2週間にわたる昼夜連続した験流データを必要とする。しかし、本水道に於いては、夏季及び秋季の昼間に限られた験流データを数十日行ったにすぎず、かつ2週間連続した測定がなく、数日の後には天候のために数日間中止することが多かったため、潮流の調和分解を行うことが出来なかった。このため、略算法によって調和分解を試みた。

その方法は「クダコ」水道の場合、小倉（1921）と略同様である。ただし、「クダコ」水道の第一に記載した夏至及び秋分の頃における朔望及び両弦の流速曲線を求めるに際しては朔望、両弦当日のみならず各々を中央とする3日間の平均値を以て調和分解の結果を求めた。

来島海峡西水道中央部における潮流調和定数は、Table 1のとおりである。

◎小倉（1921）に記載された「クダコ」水道の潮流調和分解の略算法

Table 1 Tidal harmonic constants at Kurushima Strait Western Passage.

分潮	M <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	K <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	K <sub>1</sub>	O <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	恒流 <sup>*1</sup>	備考
H (kn)	5.0	1.5	0.4	0.6	0.8	0.5	0.3	-0.2	南流 <sup>*2</sup> +
κ (°)	25	288	288	238	139	125	139		北流 <sup>*3</sup> -

※1 constant current, ※2 south-going current, ※3 north-going current

潮流の調和分解

第一

測定して得た流速曲線から夏至及び秋分の頃の朔望及び両弦における流速曲線を求めるため、6月9日(朔)及び6月24日(望)における流速曲線を取り出して、両日の三津浜における低低潮から一時間毎の流速を読み、対応する時における両日の流速を平均して得た流速曲線をもって夏至(6月22日頃)の当日に朔又は望の場合の流速曲線(時は三津浜の低低潮から起算する)とした。同様にして、6月16日(上弦)及び7月1日(下弦)両日の流速曲線から夏至の当日に上弦又は下弦の頃の流速曲線とし、9月20日(望)及び10月5日(朔)両日の流速曲線から秋分(9月23日頃)の当日に朔又は望の場合の流速曲線とし、9月14日(上弦)及び9月27日(下弦)両日の流速曲線から秋分の当日に上弦又は下弦の場合の流速曲線とした。これら4種の流速曲線は何れも昼間における流速のみを示す。

第二

三津浜における6分潮の調和定数を用いて夏至の当日に朔及び上弦の頃の潮候曲線、並びに秋分の当日に朔及び上弦の頃の潮候曲線を作成する

(時は地方時を使用)。夏至及び秋分前後の朔望及び両弦の頃における潮流の転流時と三津浜の高低潮時との関係は実測によって求めることが出来るため、第一項において求めた流速曲線を本項において計算した潮候曲線と対照し、転流時と高低潮時との関係を出来るだけ実測と一致するように流速曲線の時を定めた。このようにして、第一項に於いて求めた流速曲線の時(三津浜の低低潮時から起算)を地方時に改めることが出来る。

第三

先ず、半日周潮 M<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>, K<sub>2</sub> の3分潮を分解するためは、次に示す2つの方法を用いた。

(イ) 夏季両弦及び秋季朔望においては、一日周期の潮流は甚だ小さいため第二項において求めた夏季両弦及び秋季朔望における流速曲線には一日周期の潮流は含まれないものとして半日周潮流を分解した。今考慮する6分潮の引数は、Table 2に示すとおりである。ここで t は、地方平均太陽時(地方平時)である(小倉, 1914)。

即ち、秋分の朔望においては M<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>, K<sub>2</sub> の引数は全て等しいけれども夏至の両弦においては M<sub>2</sub>, K<sub>2</sub> の引数は等しく S<sub>2</sub> の引数はこれと 180° の差がある。従って各分潮の遅角は、等しくはな

Table 2 Astronomical arguments of 6 harmonic constants in a new or full moon of the summer solstice or of the autumnal equinox.

分潮	M <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>1</sub>	O <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>
夏至朔望 <sup>*1</sup>	2t	2t	2t+180°	t	t	t
夏至両弦 <sup>*2</sup>	2t+180°	2t	2t+180°	t	t+180°	t
秋分朔望 <sup>*3</sup>	2t	2t	2t	t+90°	t-90°	t-90°
秋分両弦 <sup>*4</sup>	2t+180°	2t	2t	t+90°	t+90°	t-90°

※1 new or full moon in the summer solstice

※3 new or full moon in the autumnal equinox

※2 first or last quarter moon in the summer solstice

※4 first or last quarter moon in the autumnal equinox

いが大差がないことから潮流の最強流速は秋分の朔望においては約  $(H_m + H'') + H_s$  であり、また、夏至の両弦においては約  $(H_m + H'') - H_s$  である。ところで実際においては  $M_2$  潮流と  $S_2$  潮流との遅角は等しくはない。 $(K_2$  潮流は  $M_2$  潮流に比べ小さいため両者が等しいとみなしても大差がない) このため、太陰が子午線を経過してから潮流が最強となるまでの時間は秋季の朔望及び夏至の両弦において等しくはない。即ち、前者は7時59分にして後者は7時30分である。即ち両者の間に29分の差があることから潮流に対し  $H_m + H''$ ,  $H_s$ ,  $K_m$ ,  $K_s$  に種々の値を与えて夏至の両弦及び秋季の朔望における最強流速の時及び流速を計算し、以て実測と最も良く一致するときの値を求め、以て  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_2$  の三潮流の最強流速及び遅角を決定した。

(ロ) 前述の方法によって求めた遅角は、甚だ疑わしいことから (イ) において得た  $M_2$ ,  $S_2$  潮流の最強流速 ( $H_m$ ,  $H_s$ ) を用いて遅角を他の方法により決定するためには、三津浜の高低潮時と転流時との差を実測全体 (9月の朔望を中央とする3日間及び6月の両弦を中央とする3日間) について平均値を求め又三津浜の潮汐定数によって平均高潮間隔 (9月の朔望及び6月の両弦における高潮間隔) を求め、これによって転流間隔 (太陰の子午線経過時から転流時までの時間) を実測全体 (9月の朔望及び6月の両弦) について求めた。次に潮流に対し、 $H_s/H_m$ ,  $K_m$ ,  $K_s$  に種々の値を与えて前期の各期日に相当する転流間隔を計算し、以て実測と最も良く一致する値を求め、以て  $M_2$ ,  $S_2$  潮の値とした。(イ) (ロ) によって求めた値は略一致し遅角は約  $3^\circ$  の差を示すにすぎなかったことから、両結果を平均して最後の値とした。

#### 第四

日周潮流  $K_1$ ,  $O_1$ ,  $P_1$  を分解するためには、次に示す2つの方法がある。

(イ) 第三項によって得られた  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_2$  潮流の定数を用いて夏至の朔望及び秋分の両弦に相当する流速曲線を計算し、第一項において求めた夏

至の朔望及び秋分の両弦における流速曲線の値より差し引く。このようにして夏至の朔望及び秋分の両弦における日周潮流の流速曲線を得た。また、両期日における三津浜の日周潮汐の潮候曲線 ( $K_1$ ,  $O_1$ ,  $P_1$  の3分潮の調和定数を用いて) を計算した。Table 2に見られるように夏至の朔望においては  $K_1$ ,  $O_1$ ,  $P_1$  の引数は等しく遅角も大差がないことから潮流の最強流速は  $(H' + H_0) + H_p$  であり、秋分の両弦においては同様にして潮流の最強流速は  $(H' + H_0) - H_p$  である。さて、前記の曲線に見られるように夏至の朔望に於いて日周潮流は最強流速約  $1.1 \text{ kn}$  であり、日周潮汐の低潮時 (昼間) に南流から北流に転流する。また、秋分の両弦において日周潮流は最強流速約  $0.8 \text{ kn}$  であり日周潮汐の低潮時 (昼間) に南流から北流に転流する。故に日周潮汐の調和定数から容易に日周潮流の調和定数を求めることが出来る。

(ロ) 潮流測定期間中で測定日数が最も多かった期間を選定し6月10日から同23日に至る14日間の昼間の毎日の流速曲線を求めた。但し、12日は欠測したため前後から挿入法によって流速曲線を想定して製作した。これらの流速曲線から中央標準時の一時間毎に流速を読み取り同一時刻における流速の平均値を求めて14日間の平均流速曲線 (昼間のみ) を得ることが出来た。このようにして得た流速曲線は短期驗潮の調和分解におけるように主として  $S_2$ ,  $K_2$ ,  $K_1$ ,  $P_1$  の4分潮を合成したものである。故に、第三項において求めた調和定数を用いて  $S_2$ ,  $K_2$  潮流を取り去り、ついに  $K_1$ ,  $P_1$  より成る潮流曲線を得て、これにより  $K_1$ ,  $P_1$  潮流の調和定数を求めた。この際に  $H_p = 1/3 \cdot H'$ ,  $K_p = K'$  と仮定した。本項の方法に依って求めた日周潮流の値は (イ) において求めた値と略一致した。従って、両者を平均することにより最後の値とした。

#### 第五

最後に、太陰の距離の変化によって生ずる潮流  $N_2$  の調和定数を求めるためには、15日を隔て且つ太陰が近地点及び遠地点にある両日の流速曲線を

取出し最強流速の差を以て太陰の距離による差と見なし  $N_2$  潮流の最強流速を求めた。ここで、 $N_2$ 、 $M_2$  両潮流の遅角の差は、 $N_2$ 、 $M_2$  両潮汐の遅角の差と等しいと見なして  $N_2$  潮流の遅角を求めた。

これらの計算方法の一部は、現在、四季の潮流潮汐曲線の計算に適用されている。

(3) 来島海峡及び三原瀬戸附近潮流図 (海軍省水路部, 1922)

この潮流図は、海軍海図第 6038 号として大正 11 年 12 月に刊行された。この潮流図の調製欄には、潮流図の有効性も含め、次のとおり記載されている。

本区域内における高潮時には著しい不等があるが低潮時は規則正しいことから、潮流と潮汐との

関係を求めるために、一般に、波止浜の低い低潮を基準とし、時間はその低潮から起算した。

まず、観測データを夏秋の二季に分けた。夏季には 6 月及び 7 月の観測データを用い、秋季には 8 月、9 月及び 10 月の観測データを用いた。次に、各季における観測データを更に大潮期及び小潮期に分類し、別々に観測データを調査し、潮流状況を推定し、毎 1 時間の潮流図を作成した。

このようにして得た各季節及び各期間の潮流図を比較すると、各所における最強流速及び流続時間は著しく変化するが、転流時を基準としその前後一定時における潮流を比較するときは、各季節及び各期間によって流速は異なるが流向等に関する一般の状況には大差がなく、かつ何れの日においても転流の前後 12 時間を除くほかは潮流の体勢は略一定となることが分かった。

来島海峡西水道南流最強時及び北流最強時の潮

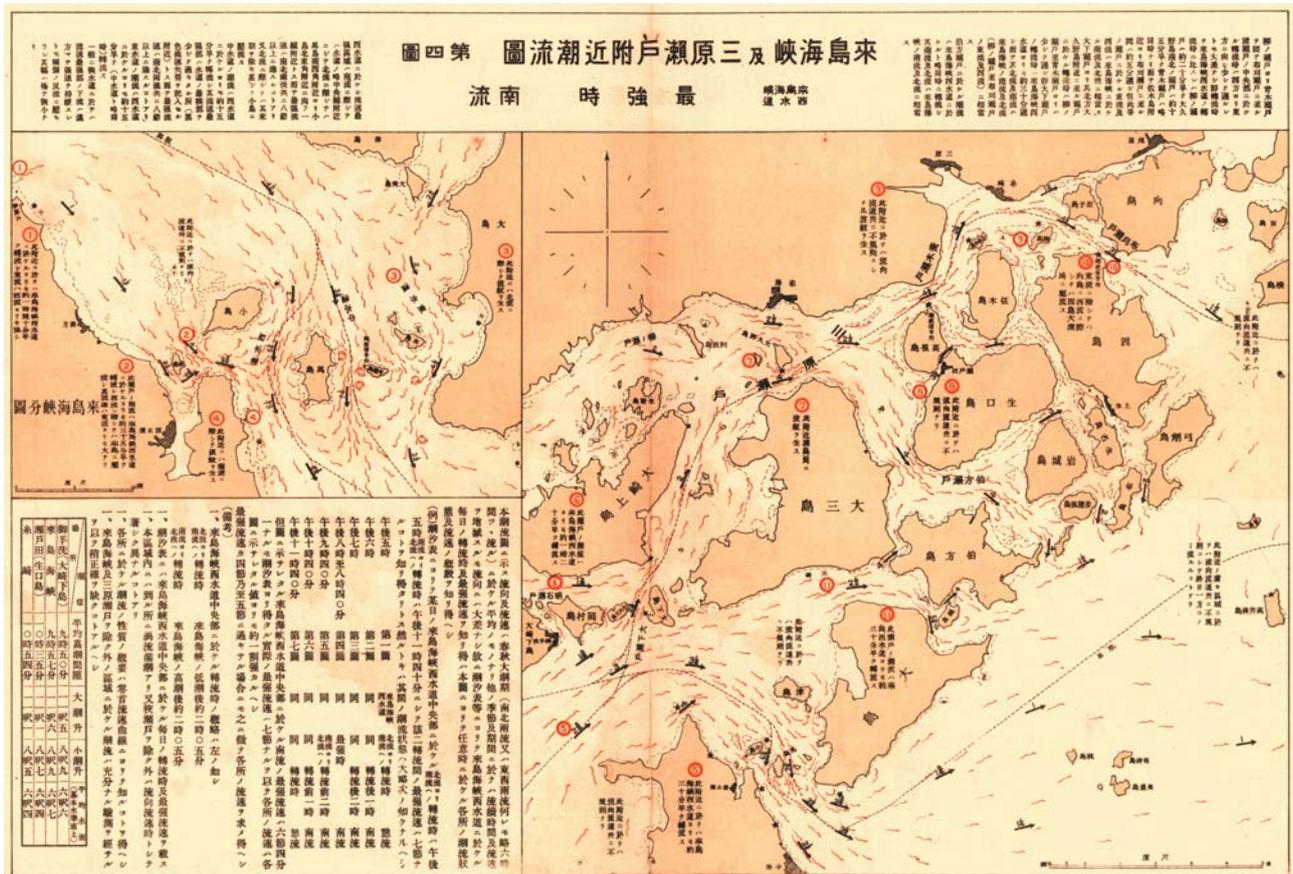


Fig. 2 Tidal current chart around Kurushima Strait to Mihara Strait at the time of south-going maximum at Kurushima Strait Western Passage.

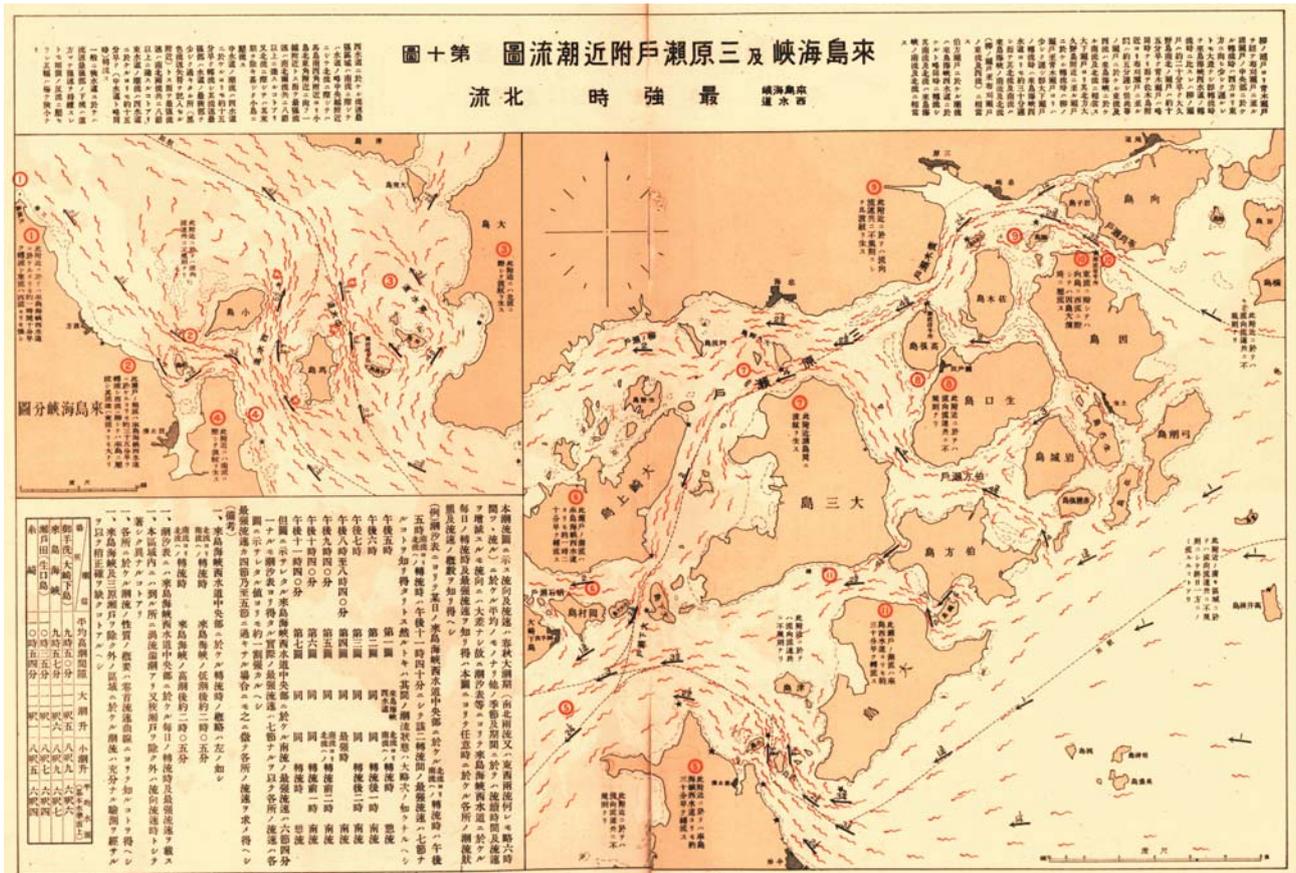


Fig. 3 Tidal current chart around Kurushima Strait to Mihara Strait at the time of north-going maximum at Kurushima Strait Western Passage.

流図を Fig. 2 及び Fig. 3 に示す。

### 3 昭和 31 年（1956 年）の観測と成果

昭和 31 年に行われた観測の概要や成果については、久保田（出版年不明）や山田・蓮池（2006）が書き残しているのでその一部を紹介する。

#### (1) 観測の概要

この海峡での観測は、昭和 31 年 7 月から 8 月にかけて來島海峡中水道で 15 昼夜連続の潮流観測が浮標追跡により行われた。この水道は、強流で大型船舶の通航が多いことから、従来のエクマンメルトツ驗流器や小野式日記驗流器での観測が困難と判断され、浮標追跡による観測が採用された。

浮標追跡による観測は、上流域から 20 分毎に流された驗流浮標が、陸上 2 地点（馬島北山頂の東肩、馬島南山頂の東側）から 30 秒毎に同時に

測角され、交会法により図上に流跡が記入され流向、流速が算出された。驗流浮標には、30 cm角に切り折り曲げられた垂鉛板が受流板として使用され、風船が浮体として軸竿の先端に取付けられた。また、夜間には、上端に取付けられたパラフィン付き麻紐が燃やされ、これが灯火として利用された。浮標は、毎時平均 3 本、予備も含めて 1,200 本準備された。

観測班は、久保田照身技手を班長とする十余名。測量船として、3 隻の木造運搬船（各 50 トン）が使用された。連絡手段として陸上の測点間の連絡には仮設の有線電話が使われ、陸上の測点と測量船との連絡には、形象信号や灯火信号が使われた。

この観測結果から 15 日の短期調和分解により  $K_1, O_1, P_1, M_2, S_2, K_2, \mu_2, M_4, MS_4$  の 9 分潮が算出され、さらに改算により  $Q_1, N_2, L_2, \nu_2$

の4分潮が追加された。この定数による潮流推算値が昭和33年版の潮汐表から掲載され、現在でも来島海峡中水道の潮流の推算根拠として幅広く利用されている。

(2) 来島海峡潮流図 (海上保安庁水路部, 1964)

昭和31年及び32年の観測資料を基に潮流図が作成され、昭和39年12月に刊行された。

この潮流図は、潮汐表第一巻に掲載されている

来島海峡中水道における潮流の潮時を基準にしたものである。図中の矢府は、海面下5m層の潮流の流向及び流速を表わしており、大潮期における平均的な潮流を示している。潮汐表で、来島海峡の毎日の転流時及び最強流速を知られば、この図によって任意時における各所の潮流状況及び流速の概数を知ることができるようになっていいる。来島海峡中水道南流最強時及び北流最強時の潮流図を Fig. 4 及び Fig. 5 に示す。

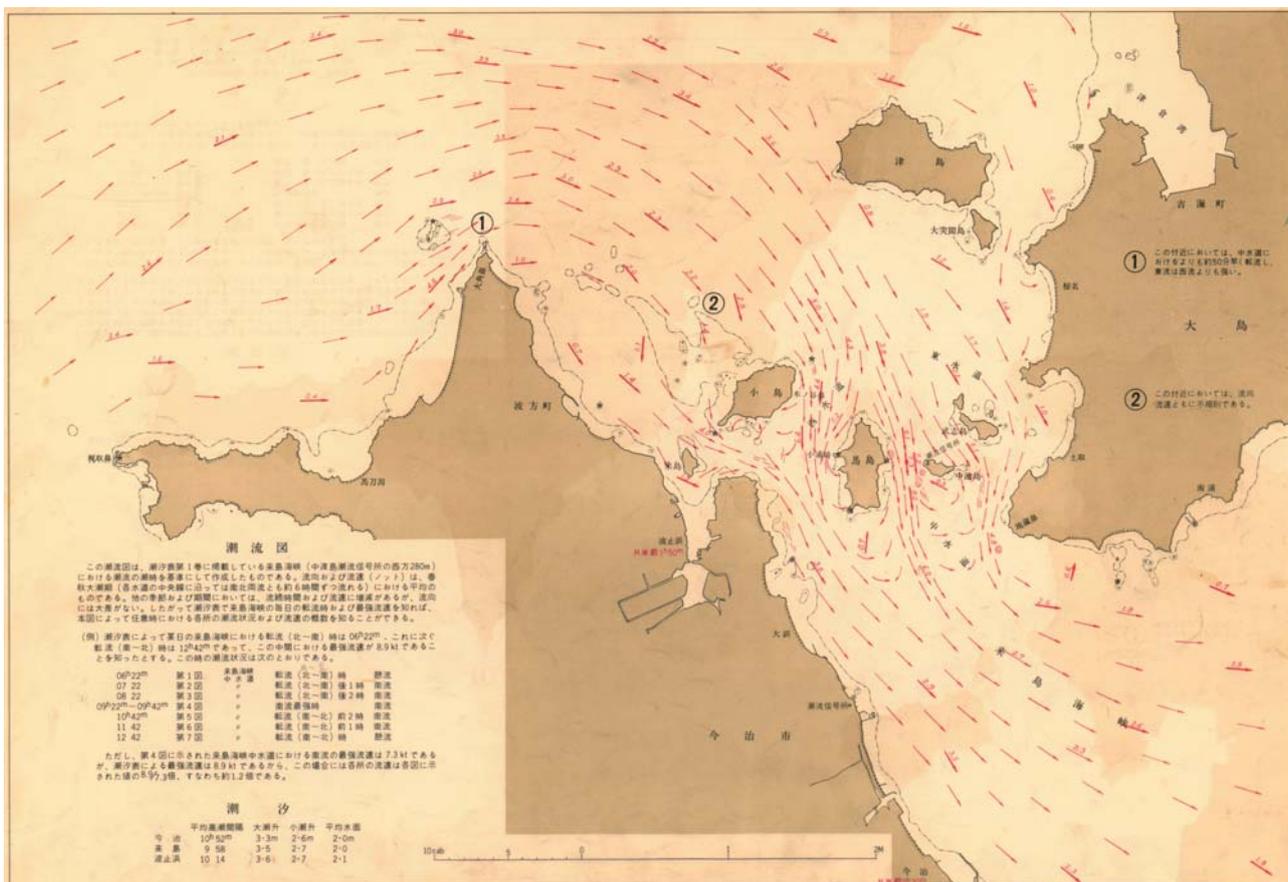


Fig. 4 Tidal current chart around Kurushima Strait at the time of south-going maximum at Kurushima Strait Central Passage.

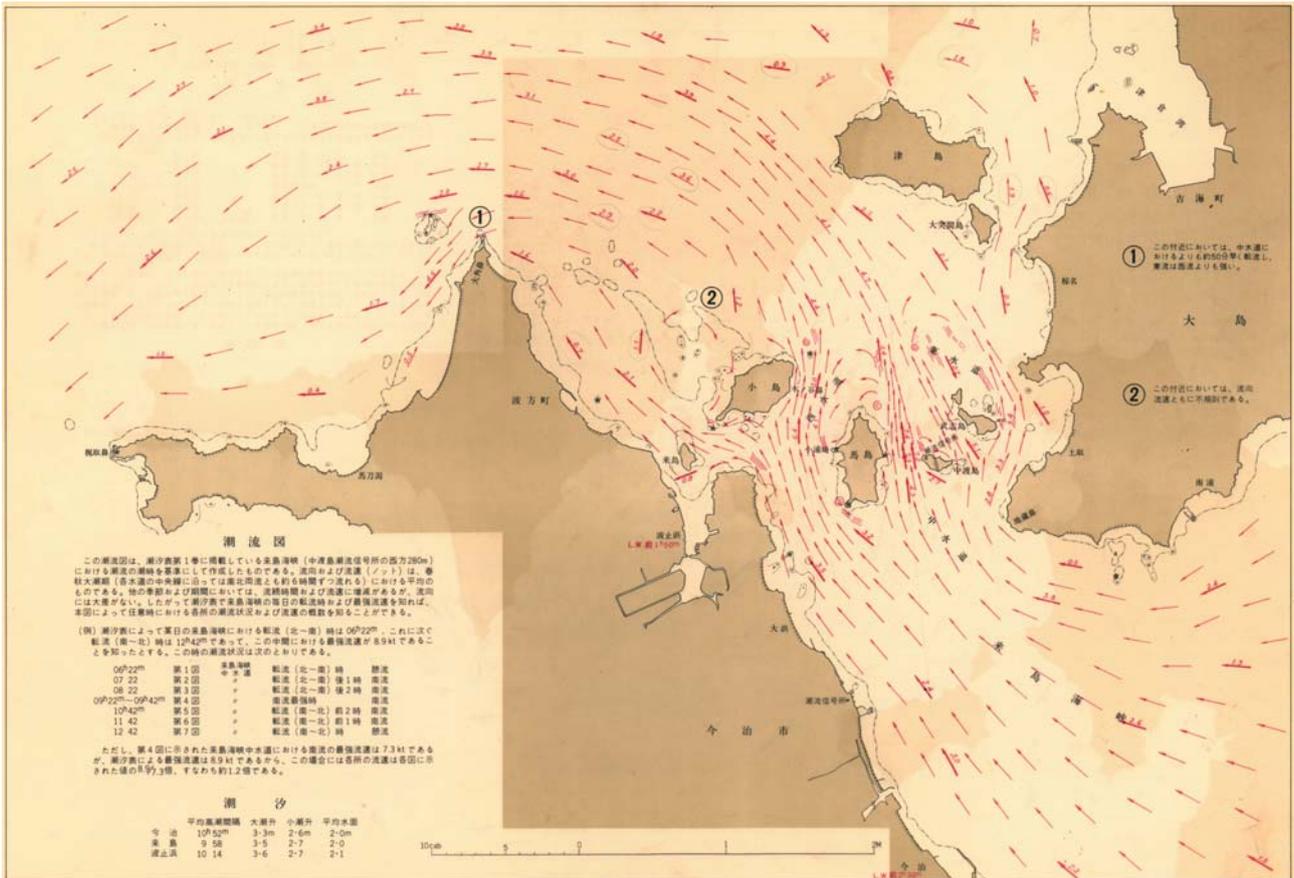


Fig. 5 Tidal current chart around Kurushima Strait at the time of north-going maximum at Kurushima Strait Central Passage.

#### 4 おわりに

大正9年には、明治29年の観測が十分に行われなかったことから、通航船舶の安全な運航に必要な潮流情報を得るため、来島海峡から三原瀬戸に至る広大な海域で浮標追跡による観測が行われた。来島海峡においては西水道及び中水道で陸上の固定点から交会法により浮標追跡が行われ、これ以外の海域では、浮標近傍（海上）からの三点両角法により浮標追跡が行われた。来島海峡西水道の観測は、主に夏至及び秋分の頃の朔望及び両弦を中央とする5日間（昼間のみ）であったことから、特殊な略算法により潮流調和定数がもとめられ、その潮流推算値が潮汐表に掲載されると共に潮流図が刊行された。

昭和31年には、大正年間の観測データが来島海峡から三原瀬戸に至る広大な海域で昼間のみであったことから、来島海峡の中水道で集中的に

15昼夜連続した観測が行われ信頼性の高い観測データが測得された。この時に得られた潮流調和定数による潮流推算値は、今でも潮汐表は元より来島海峡海上交通センターが運用している潮流信号や電光表示に利用されている。

これらの潮流推算は、天文潮のみで計算され、また、潮流図は大潮期平均流況が基本として調製されていることから、潮流が最大となる海域や詳細な流況を正確に現すことが困難であった。

近年、狭水道での流況予測は、気象の影響や海水密度等の海象の影響も加味され、さらに信頼性の高いものになってきた。例えば、日本水路協会（2000）との共同研究で開発された関門海峡潮流予測システムは、気圧の予報値が海峡両端の水面差に換算され、これが海峡内の潮流予測に加味されている。また、ヨーロッパとアジアの境界にあるボスポラス海峡では、この海峡での沈埋トンネ

ル工事のために織田・他(2010)が開発した流況予測システムが稼働している。この予報システムは、オンライン観測システムと、予測システム、流況情報配信システムの3つから構成される。オンライン観測システムは、トルコの作業所に設置され、流況、水位、気圧、風の観測値をサーバーに取り込み蓄積するものである。予測システムは、オンライン観測システムのデータと、トルコの気象サービスから送信される気圧と風の予測値に基づき、予測モデルにより流況を予測し、流況情報配信システムにデータを受け渡す。流況情報配信システムは、インターネットを通じて情報を提供するように設計されている。

今後、来島海峡流況予測システムの構築に際しては、少なくとも1年間の潮流・潮汐及び風の予備調査を行い、その特徴を捉え、システム設計することが肝要である。また、本システムの運用に際しても、現場の潮流、潮汐データのみならず風データも取り込み計算処理され、より一層信頼性の高い流況情報のweb配信が期待される。

なお、大正年間に刊行された水路雑俎や潮流図の解説については、この原文が片仮名書きであったことから、平仮名書きに書き換えた。

最後に、長年ご指導とご教示をいただいた先輩諸氏、また多大なご支援とご協力をいただきました皆様に感謝の意を表します。誠に有り難う御座いました。

#### 参考文献

- 海難審判庁(2006), 来島海峡「中水道」・「西水道」の海難, *マイアニュースレター*, 34 (18-12).
- 久保田照身(出版年不明), 浮標追跡による来島海峡の観測について, 海上保安庁海洋情報部環境調査課, 東京.
- 海軍省水路部(1922), 来島海峡及三原瀬戸附近潮流図, 海軍海図第6038号, 海軍省水路部, 東京.
- 海上保安庁(1964), 来島海峡潮流図, 海図第6208号, 海上保安庁水路部, 東京.

海上保安庁(2004), 来島海峡潮流図, 海図第6208号, 海上保安庁海洋情報部, 東京.

日本水路協会(2000), 狭水道における潮流の高精度予測手法の研究, *調査研究資料*, 95.

日本海難防止協会(1998), 輻輳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.

小倉伸吉(1914), 日本近海ノ潮汐, 16, 海軍省水路部, 東京.

小倉伸吉(1921), *水路雑俎*, 第九号, 書誌第二七三号, 20~24, 海軍省水路部, 東京.

小倉伸吉(1923), *水路雑俎*, 第十号, 書誌第二七四号, 1~46, 海軍省水路部, 東京.

織田幸伸・伊藤一教・本田隆英(2010), ICTを活用した現場支援のための流況予報システムの開発(ボスポラス海峡沈埋トンネルにおける活用事例), *大成建設技術センター報*, 43, 03, 1-4.

山田紀男・蓮池克己(2006), 水路部における潮流観測業務の歩み, *季刊水路*, 138, 35-41.

#### 要 旨

狭水道での船舶の航行安全を確保するため、来島海峡付近で本格的な潮流観測が計画されている。これを機会に、本稿では、これまでに来島海峡付近でどのような潮流観測が行われ、どのような成果が得られ、どのような情報が提供されてきたのか、大正・昭和に行われた主な観測を例にとって紹介する。