

船舶の輻輳する強潮流域での観測手法の検討 (2)<sup>†</sup>

—明石海峡航路中央第三号灯浮標における潮流計の取得データとメンテナンス—

古河泰典\*, 難波 徹\*, 田中一英\*, 中村幸之介\*

Examination of observation method for strong tidal current in heavy marine traffic area (2)<sup>†</sup>

— Observation of the tidal current by ADCP attached to the No.3 light buoy in Akashi Strait and maintenance of the current observation system —

Yasunori FURUKAWA\*, Toru NANBA\*, Kazuhide TANAKA\*, and Kounosuke NAKAMURA\*

Abstract

Real-time tidal current data using an Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) installed on the No.3 light buoy in the Akashi Strait have been available since December, 2012. In this report, we describe how we coped with the troubles within the present system, including maintenance of the ADCP transducers. We will install a similar system on the No.2 light buoy in the Akashi Strait.

1 はじめに

明石海峡は、大阪湾と播磨灘を結ぶ船舶交通の要衝であると同時に、強流時には 7 kn (3.6 m/s) を超える潮流が発生する海の難所としても知られる海域であり、この海峡を通航する航海者からはリアルタイムの正確な潮流情報が求められている (Fig. 1).

第五管区海上保安本部 (以下「五本部」) 海洋情報部ではこのニーズに応えるため、五本部交通部と協力し灯浮標を利用した新たな手法による潮流観測を試行している (Fig. 2, Table 1).

古河・他 (2013) では、明石海峡航路中央第三号灯浮標の既存の貫通穴に設置した超音波流速計 (以下「ADCP」) による長期連続観測とリアルタイム潮流データ提供について、取り組み内容と手法について紹介した。本報告では試験観測の結果

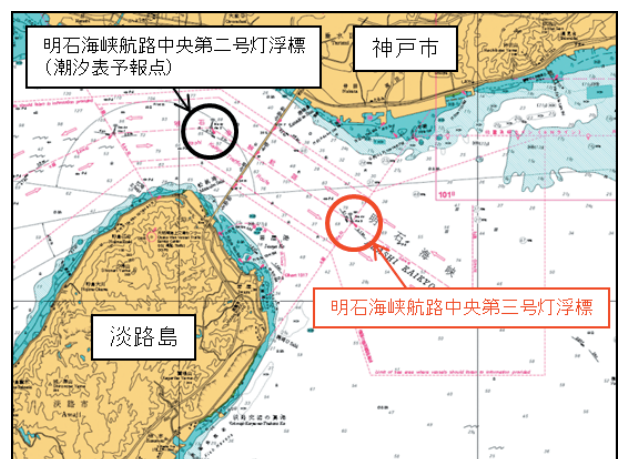


Fig. 1. Map of the investigation area.

図 1. 調査海域図.

とその後の連続観測の実施状況及び明石海峡航路中央第二号灯浮標への展開について紹介する。

<sup>†</sup> Received October 15, 2013 ; Accepted January 7, 2014

\* 第五管区海上保安本部海洋情報部 Hydrographic and Oceanographic Department, 5<sup>th</sup> R.C.G.Hqs.



Fig. 2. Schematic image of current observation using an ADCP installed to the floating light.  
 図 2. 流速計設置状況図.

Table 1. Basic information of the current observation in this report.  
 表 1. 流速観測概要.

資料番号	300632 (調和解の番号)
緯度 (N)	34° 36. 1' N
経度 (E)	135° 02. 9' E
水深	約69 m
観測期間	2012. 12. 26設置
最浅観測層	海面下 5m
観測層間隔	3m
最深観測層	海面下26m
観測機器	WorkhorseADCP (600kHz、300kHz)
水温計	内蔵水温計 (1m層)
測定間隔	10分
測定時間	1分
調和解	2013. 3. 8~2013. 4. 9 (32昼夜)

## 2 試験観測の状況

試験観測開始当初は、標体底部から発生する気泡による音響遮断，内蔵磁気コンパスの鋼製標体からの影響，長期連続観測に耐えうる電源，標体への固定方式，浅水域の音響ノイズ，電力不足，方位データのエラー，システムの異常停止等の問題に直面した。これらの問題の解決策を，古河・他 (2013) に記載したが，「電力不足」と「システムの異常停止」の2問題が未解決の課題として残っていた。

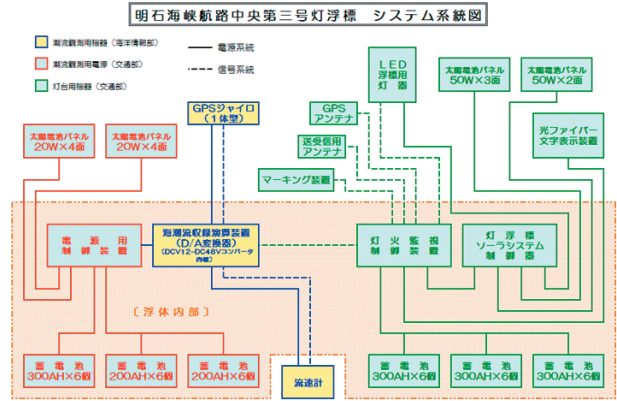


Fig. 3. System diagram of current observation.  
 図 3. 流速計測システム系統図.

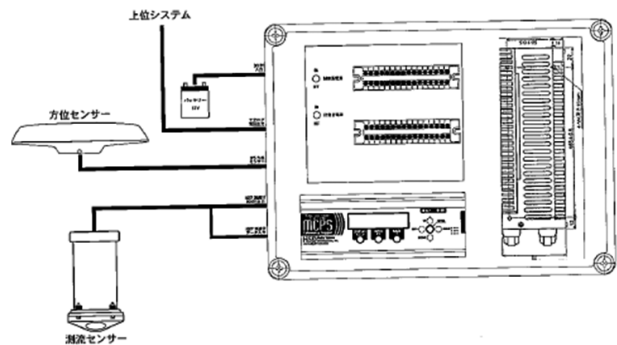


Fig. 4. Connection diagram of the current recording system.  
 図 4. 海潮流収録演算装置の接続図.

残った2つの問題も海潮流収録演算装置の導入と同装置と灯火監視装置とを接続することにより解決した。

### 2.1 海潮流収録演算装置のシステム概要

この2つの問題を解決した海潮流収録演算装置のシステム概要を説明する (Figs. 3 and 4).

海潮流収録演算装置は (1) 測流センサー， (2) 方位センサー， (3) データ処理変換装置から構成され，データ処理変換装置は①データ処理装置，②D/A変換装置から構成されている。それぞれの仕様を以下に示す。

(1) 測流センサー

ADCP: WorkHorse Sentinel 300 kHz または 600 kHz

(2) 方位センサー

GPS ジャイロ: Hemisphere V 103

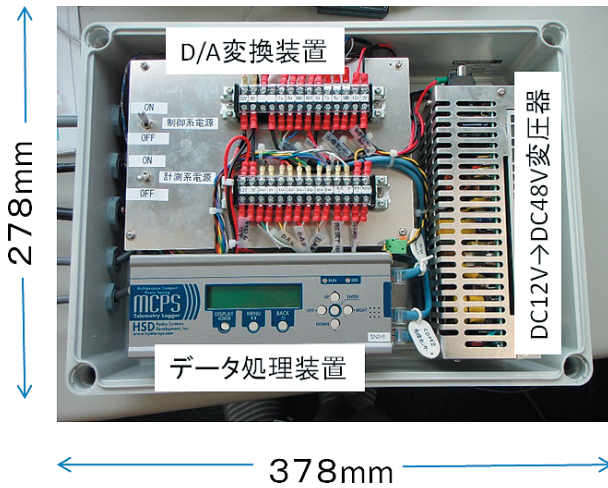


Photo 1. New current observation system.  
写真1. 新しい流速データ処理装置.

(3) データ処理変換装置 (Photo 1)

測流センサー及び方位センサーのデータを経緯度、時間、流向、流速の値に変換し保存したのち、任意の2層について流向と流速をアナログ出力させるための装置で、データ処理装置とD/A変換装置から構成される。

①データ処理装置：DC 12 Vで動作し、測流センサーと方位センサーの制御とデータの取得を行う。0.5 W程度の消費電力で動作し、MicroSDによるデータ保存が可能である。また、外部からの信号により海潮流演算装置全体のリセット機能と測流センサーへ電源を供給するための変圧機能(12 Vを42 V以上に変換)を有している。

②D/A変換装置：データ処理装置から出力された任意の2層の流向、流速値を0~5 Vの電圧信号(アナログ信号)に変換して出力する装置である。流速に異常値がある場合は異常を示す信号(0.5 V)を出力することができる。DC 12 Vで動作し、消費電力は0.1 W以下と極めて少ない。

海潮流記録演算装置は任意の間隔(現在の設定は10分)で潮流を観測し、観測した全層の潮流データを内蔵のMicroSDに記録すると同時に、あらかじめ指定した2層の潮流データをD/A変換してアナログデータとして灯火監視装置に送信する。灯火監視装置は、灯浮標内の機器の状態を示すアナログデータを一定間隔で、遠隔のモニ

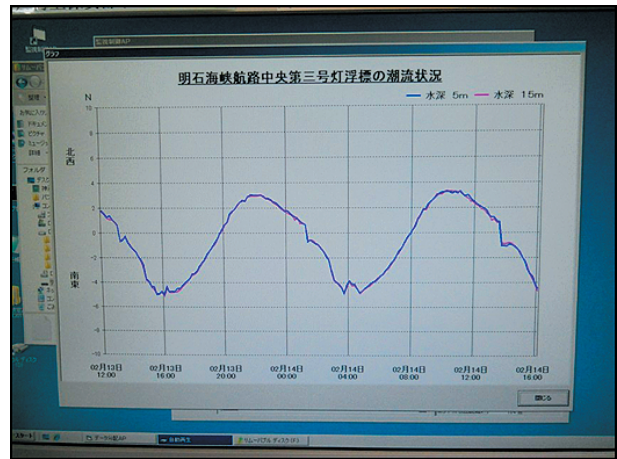


Photo 2. Display of tidal current monitoring.  
写真2. 灯火監視装置の潮流モニター表示.

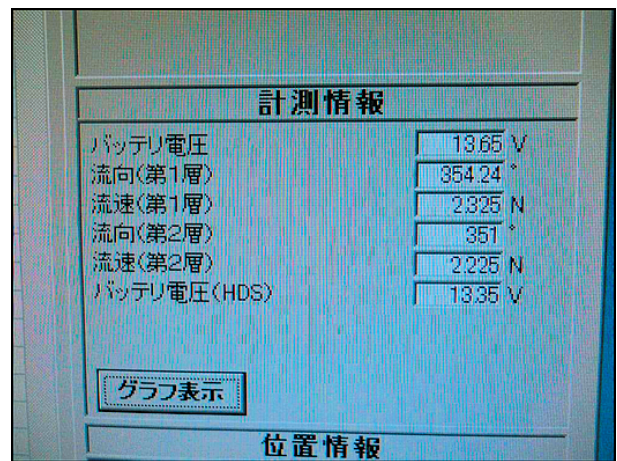


Photo 3. Information of current observation system.  
写真3. 灯火監視装置の計測情報.

ター装置に伝送する装置であり、潮流データをこの装置に送信することで、陸上で準リアルタイムに潮流データをモニターすることが可能となった(Photos 2 and 3).

2.2 電力不足の解決

ADCP 試験観測開始当初のパソコンをデータ処理装置として用いた場合の電力使用量約17.1 W/h(灯浮標に設置の制御盤の数値から算出:28日平均)に比べ、「データ処理変換装置」を使用したシステム構成では電力使用量約4.7 W/h(197日平均)とこれまでの3分の1以下となった(Photo 4).

従来のパソコンベースの自作のシステムでは



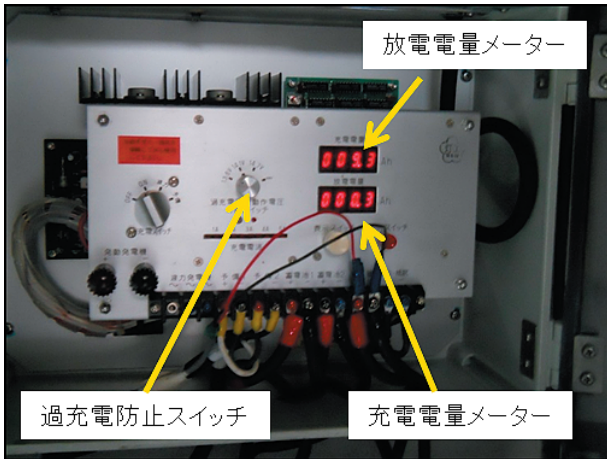


Photo 4. Control panel in the floating light. Quantities of electric charge and discharge are precisely displayed on the panel.

写真 4. 灯浮標内にある制御盤。正確な充電量と放電量が表示されている。

データ処理装置であるパソコンのみで 50 W/h (規格) を消費していたが、データ処理変換装置では、約 0.5 W という極めて低消費電力となったためである。

年間で最も充電率が低くなる期間の充電量と消費電力の関係を導くため、兵庫県のホームページに掲載されている神戸市の月別平均日射量を調べ、以下の結論を得た。

神戸市では 8 月の平均日射量は 1 年間で最も多く 4,350 kcal/m<sup>2</sup> となっている。一方、最も少ない月は 1 月で、その平均日射量は 1,940 kcal/m<sup>2</sup> となっており、8 月の平均日射量に対する 1 月の平均日射量の比は約 45% であった。今回の計測では 2013 年 8 月 8 日～8 月 21 日の 13 日間の充電量を計測しており、この期間内での日平均充電量は約 12 W/h であった。兵庫県のホームページに記載されている数値から神戸市では日射量が最も少ない 1 月の平均日射量は 8 月の平均日射量の約 45% となるので、 $12 \text{ W/h} \times 0.45 = 5.4 \text{ W/h}$  となる。これは本システムの 1 日の使用電力量である 4.7 W/h を上回る充電量となっており、年間で最も日照時間の短い冬期期間についても電力不足とはならない計算結果となった。

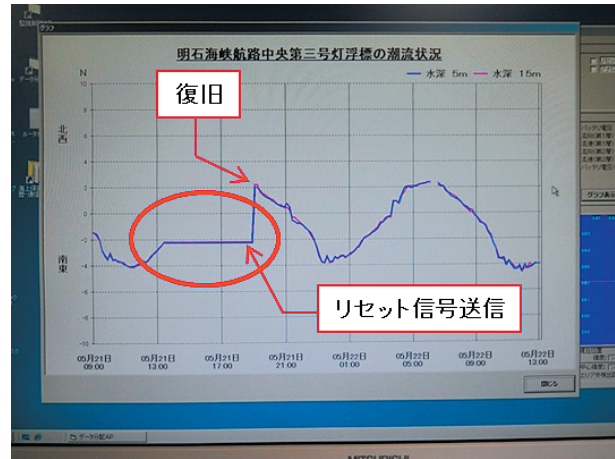


Photo 5. Monitor display of the tidal current when an abnormal signal was happened.

写真 5. 異常信号が表示されたモニター画面。

### 2.3 システムの異常停止の解決

灯火監視装置と海潮流収録演算装置を接続し、データをモニタリングすることで不具合に対し迅速な対応が可能となった。さらに、灯火監視装置を用いてリセット信号を陸上側から送信することで、海潮流収録演算装置をリセットすることが可能となった。

2013 年 3 月 6 日に灯火監視装置のモニター上の潮流データの異常が確認され、3 月 4 日 14 時頃からデータが一定値を表示したままとなっていた。エラーの原因は不明であるが、復旧のため灯火監視装置から海潮流収録演算装置への遠隔操作によるリセット信号送信を試みた結果、海潮流収録演算装置は復旧した。さらに、5 月 21 日も同様の症状となったが、リセット信号の発信により回復している (Photo 5)。

無人の環境で運用する本システムにおいて、遠隔監視機能とリセット機能は、観測の継続において非常に大きな発展を実現した機能である。

### 3 トランスデューサのメンテナンス

2011 年度より灯浮標へ流速計を設置して試験観測を行っているが、毎回 ADCP には大量の海洋生物が付着している。特にフジツボやカキ等が付着した場合に、それらを取り除くために多大な



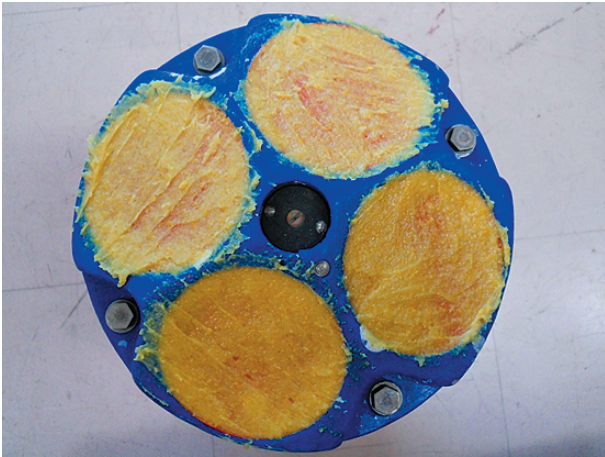


Photo 6. ADCP transducers coated with mixture of silicon grease and Japanese mustard.

写真 6. 和がらしを混ぜたシリコングリースを塗ったトランスデューサ.

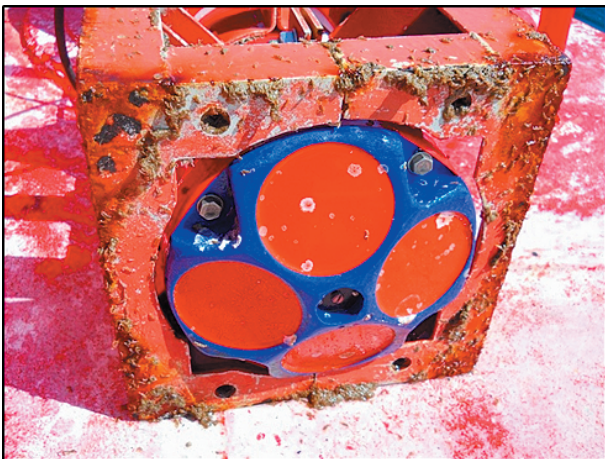


Photo 7. ADCP transducers cleaned after observation for 24 days.

写真 7. 24 日間使用しその清掃後の ADCP トランスデューサ.

労力を要した。特に ADCP のトランスデューサにフジツボ等が付着した場合、トランスデューサ表面の樹脂へフジツボが固着してしまい、完全に取り除くことができなくなることがある。

そのため、設置した ADCP の点検整備を、月 1 回以上の頻度で実施し海洋生物の除去を行っている。しかしながら、夏季になると 2 週間程度でフジツボが付着し始める。

灯浮標への移乗や灯浮標上での作業は危険を伴うため、点検整備作業は極力少なくしたいことか

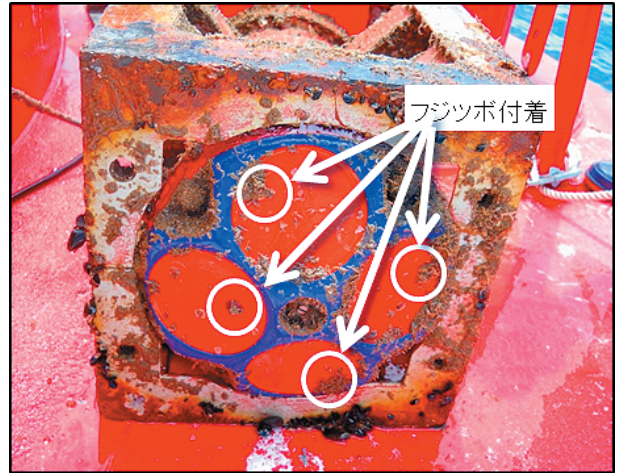


Photo 8. ADCP transducers cleaned after observation for 35 days.

写真 8. 35 日間使用しその清掃後の ADCP トランスデューサ.

ら、ADCP のマニュアルに記載されている「チリパウダー」をトランスデューサ面に塗布し、生物の付着を防ぐ手法を試行した。

ADCP のメーカーのマニュアルにはチリパウダーと記載しているが、和がらしの方が有効との情報を得、観測時に和がらしを塗布して使用した (Photo 6)。

最初の試行期間が 1 月～5 月の海洋生物の付着の少ない期間であったこともあるが、24 日間ではトランスデューサ面への海洋生物付着は少なかった (Photo 7)。

5～7 月の 35 日間ではフジツボの付着が見られた (Photo 8)。

次にチリパウダーの有効性も確認するため、和がらし 2 面とチリパウダー 2 面を塗布して、有効性の確認を実施した (Photo 9)。

15 日後に確認したところ、和がらし、チリパウダーともにトランスデューサ面に残っていた。清掃を行ったところ、和がらしを塗布していた 2 面は黒く変色していた (Photos 10 and 11)。

トランスデューサ面が黒くなったことについて、メーカーに確認したところ、硫化水素の発生する箇所において過去に同様の症状が発生した経験はあるが、海中での発生は経験がなく、トランスデューサ面のウレタン樹脂への影響は未知であ

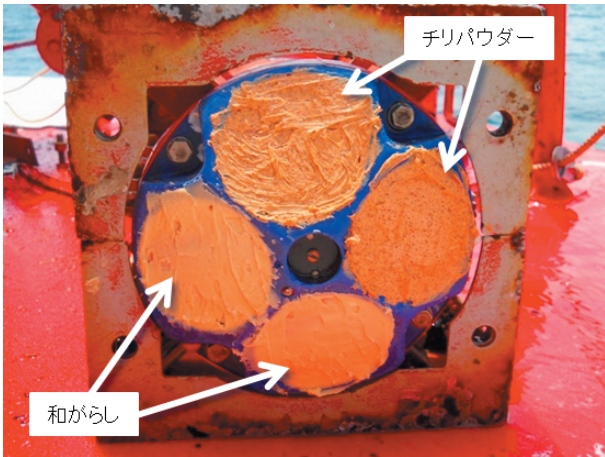


Photo 9. ADCP transducers coated with chili powder grease or Japanese mustard grease.

写真 9. 和がらしを 2 面に塗布及びチリパウダーを 2 面に塗布した ADCP トランスデューサ.

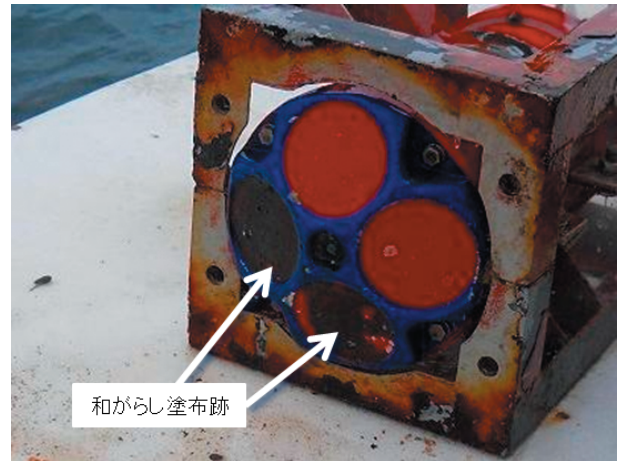


Photo 11. The transducer which changed color in black.

写真 11. 黒色に変色したトランスデューサ.

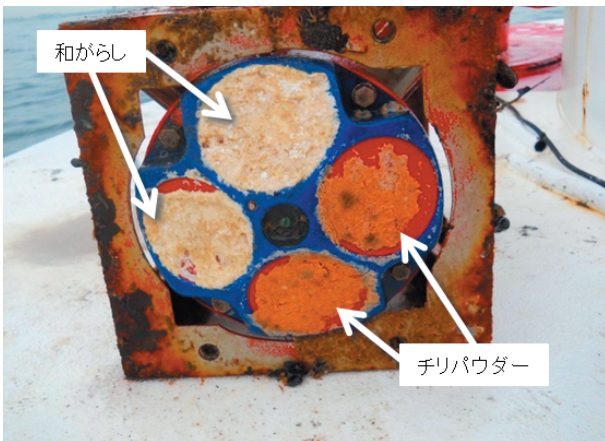


Photo 10. ADCP transducers cleaned after observation for 15 days. Two of the four transducers were coated with chili powder grease and other two with Japanese mustard grease.

写真 10. 和がらしとチリパウダーを塗布し 15 日間観測した後の ADCP トランスデューサ.

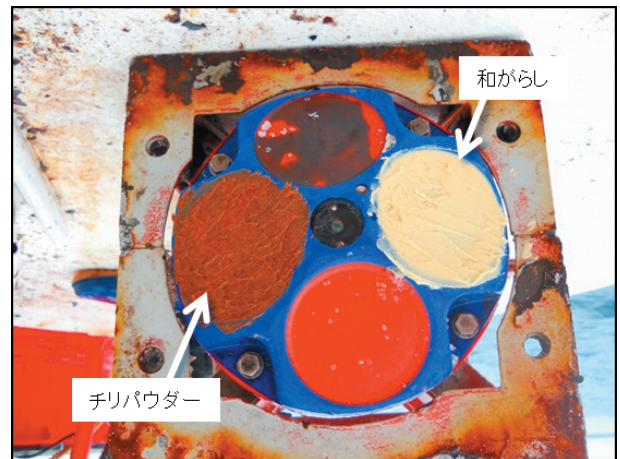


Photo 12. The ADCP transducers before observation. One transducer was coated with chili powder grease, one was with Japanese mustard grease, and other two were without grease.

写真 12. 和がらしを 1 面に塗布及びチリパウダーを 1 面に塗布したトランスデューサ.

るとのことであった。

トランスデューサ面が黒くなったことについては、原因不明のままであるが、和がらし、チリパウダーともに 2 面に塗布していた箇所を 1 面のみとし残りの 2 面には塗布しないこととして試験を継続することとした (Photo 12)。

23 日後に確認したところ、和がらし等を塗布していない箇所にはフジツボが付着していたが、和がらし及びチリパウダーを塗布していた箇所に

はフジツボの付着は見られなかった (Photo 13)。

また、清掃後に確認したところ、和がらしを塗っていた箇所の黒ずみはあまり変化がなかったが、和がらしを塗っていなかった箇所の黒ずみは無くなっており、チリパウダーを塗布していた箇所に若干の黒ずみが見られた (Photo 14)。

これまでの試験の結果、和がらし、チリパウダーともにトランスデューサ面に塗布することで、フジツボの付着を抑制することができると分



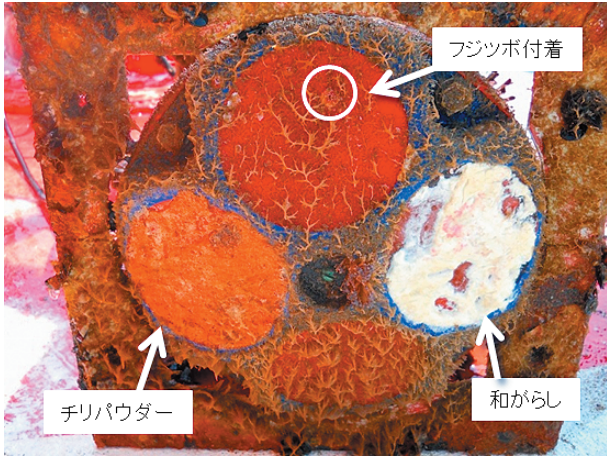


Photo 13. The ADCP transducers after observation for 23 days.

写真 13. 23 日間使用した清掃前のトランスデューサ。

かった。しかしながら、和がらし等を塗布することでトランスデューサ面に黒ずみが発生するため観測データにどのような影響を与えているのか注視しておく必要がある。

このトランスデューサ面への生物付着を防止するための和がらし等の塗布試験は、ADCP を使用した長期連続観測を成功させるための非常に大きな課題を解決できる可能性があり、今後も継続して試験を実施していくこととしている。最終的には海中生物の付着量は季節（水温）により変化することから、年間の水温傾向から和がらし等の塗布間隔を決定したい。

#### 4 明石海峡航路中央第三号灯浮標での観測データ

##### 4.1 観測結果

海面下 5 m 層から 3 m 毎に海底上までの観測データ（資料番号 300632（2013.3.8~4.9））では、海面下 29 m 層以深についてデータに異常が見られた。3 月 8~9 日の海面下 5 m~38 m 層までの流速値を Fig.5 に示す。また、パーセントグッド（流速計データの各アンサンブルの中での有効データの割合を示し、ADCP のデータの質の検討に使用する。100% に近いほど良質なデータとなる。流速計データ処理ソフトに付属する機能）を Fig.6 に示す。海面下 29 m 層以深については流速値が海面下 26 m 以浅に比べてバラツキが大き

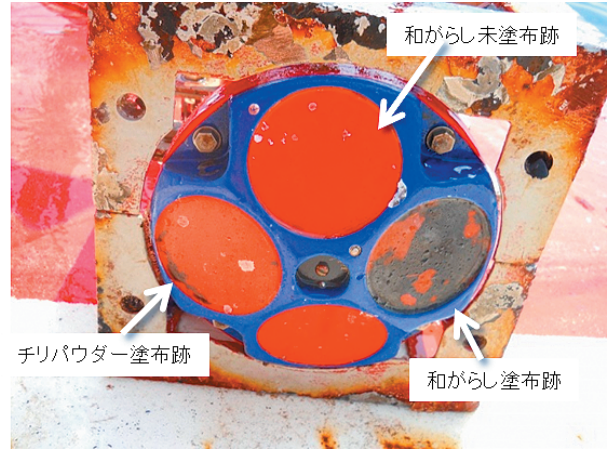


Photo 14. The cleaned ADCP transducers after 23 days observation.

写真 14. 23 日間使用した清掃後のトランスデューサ。

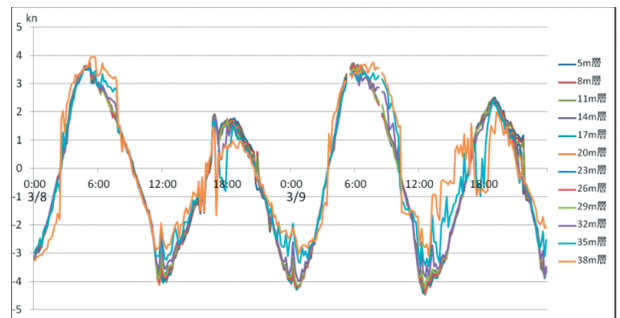


Fig. 5. Raw current speeds at depths of every 3 m from 5 m to 38 m below the sea surface in file No. 300632 (2013.3.8-4.9).

図 5. 海面下 5 m から 38 m の範囲で 3 m 毎の深度における流速値。

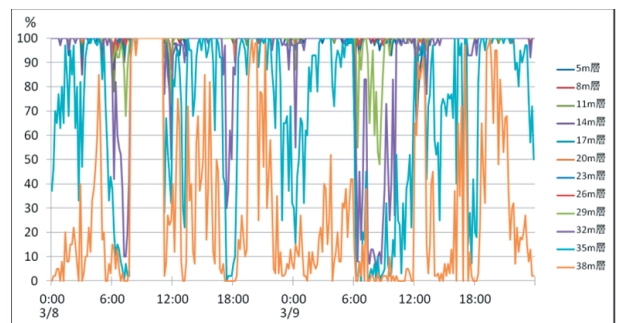


Fig. 6. Time variation of current data quality. The parameter of “percentage good” corresponds to proportion of good data.

図 6. 有効なデータの割合を示すパーセントグッド値の時間変化。



く、パーセントグッドが極端に低くなる頻度が高く、データの信頼性は低いと判断し、今回は資料整理に使用していない。

また、設置期間中において、データが一定値を示し正常値を示さない現象が発生したため、異常が継続していた期間のデータは資料整理には採用していない。資料整理に採用した期間においてもデータの異常値が多くあったため、異常箇所については補間して資料整理を実施した。

### 4.2 調和分解結果

2013年3月8日から4月9日の間の各層について32昼夜調和分解を実施した。主方向成分を用いて算出した非調和定数をTable 2に示す。

主要4分潮の和は海面下3m層から最下層の17m層まで5.0~5.2knとなっている。潮型は、全層において混合潮型である。主方向は、全層において北西となっている。平均高潮間隔は、全層において8.25~8.27時間となっている。

Table 2. Non-harmonic constants obtained from the data file No.300632.

表2. 資料番号300632のデータから算出された非調和定数。

層 (m)	主要4分潮の和 $V_m+V_s+V'+V_o$ (kn)	潮型 $(V_o+V') / (V_m+V_s)$	主方向 (deg)	平均高潮間隔 km/29 (h)
5	5.082	0.31	311.0	8.27
8	5.076	0.31	311.0	8.27
11	5.118	0.32	310.0	8.27
14	5.141	0.32	310.0	8.26
17	5.152	0.32	309.0	8.26
20	5.110	0.32	309.0	8.26
23	5.051	0.32	309.0	8.26
26	5.013	0.33	308.0	8.25

### 4.3 調和定数の比較

過去にほぼ同位置において灯浮標係留によるプロペラ式流速計設置で32昼夜観測した資料番号300565(1995年6月13日~7月14日)と非調和定数を比較するため、Table 3に比較表を示す。

潮型、主方向、平均高潮間隔のいずれも両資料に大きな差はないが、資料番号300565に比べて資料番号300632の主要4分潮の和は約0.6knも小さい値であった。

Table 3. Non-harmonic constants estimated from the files No.300565 and No.300632.

表3. 資料番号300632と300565のデータからそれぞれ算出された非調和定数の比較。

資料番号	層 (m)	主要4分潮の和 (kn)	潮型	主方向 (deg)	平均高潮間隔 (h)
300632	5	5.08	0.31	311.0	8.27
300565	5	5.67	0.33	321.1	8.48

### 4.4 推算値との比較

プロペラ式流速計による過去の観測値である資料番号300565から算出した調和定数を用いて流速を計算し、ADCPによる観測値(2013年3月8日から4月9日)と比較した。大潮期と小潮期の各3日間を抽出して、大潮期をFig.7及びFig.8に、小潮期をFig.9及びFig.10に示す。

大潮期においては、Fig.7では北北西流で観測

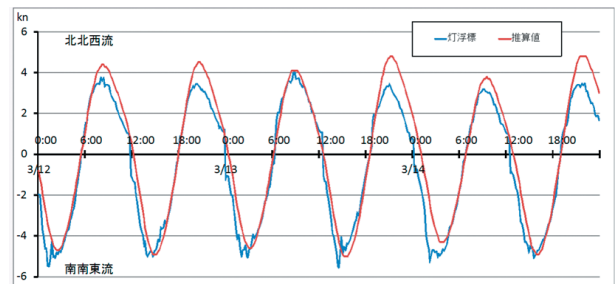


Fig. 7. Comparison of observed ADCP data with estimated data for the spring tide period of 3 days from March 12, 2013.

図7. ADCPで観測された流速と推算値との比較(大潮期2013年3月12日から3日間)。

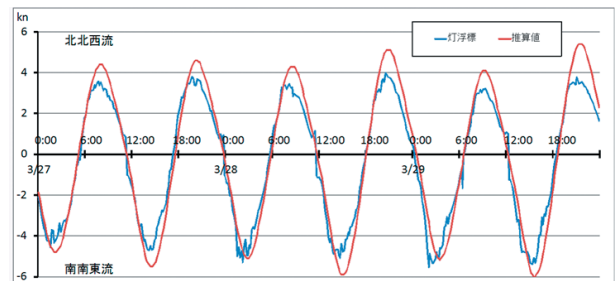


Fig. 8. Comparison of observed ADCP data with estimated data for the spring tide period of 3 days from March 27, 2013.

図8. ADCPで観測された流速と推算値との比較(大潮期2013年3月27日から3日間)。

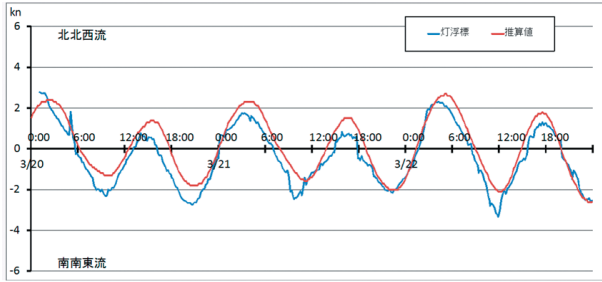


Fig. 9. Comparison of observed ADCP data with estimated data for the neap tide period of 3 days from March 20, 2013.

図 9. ADCP で観測された流速と推算値との比較 (小潮期 2013 年 3 月 20 日から 3 日間).

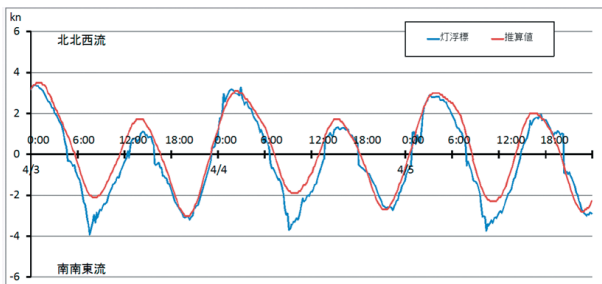


Fig. 10. Comparison of observed ADCP data with estimated data for the neap tide period of 3 days from April 4, 2013.

図 10. ADCP で観測された流速と推算値との比較 (小潮期 2013 年 4 月 4 日から 3 日間).

値より推算値の方が最強時の流速が大きく、南南東流では推算値より観測値の方が最強時の流速が大きい傾向が見られたが、Fig. 8 では北北西流、南南東流ともに観測値より推算値の方が最強時の流速が大きい傾向が見られた。

小潮期においては、Fig. 9, Fig. 10 とともに同様の傾向で、北北西流で観測値より推算値の方が最強時の流速が大きく、南南東流では推算値より観測値の方が最強時の流速が大きかった。転流時刻にズレが見られるが、原因は究明中である。

なお、北北西流の観測値と推算値との差の平均は 0.51 kn、標準偏差は 0.55 kn、南南東流の差の平均は 0.35 kn、標準偏差は 0.66 kn となり、北北西流、南南東流ともに全体的に観測値より推算値の方が大きい傾向であった。

#### 4.5 比較観測

明石海峡航路中央第三号灯浮標への ADCP 設置期間中、見回り点検時において、測量船「うずしお」搭載の ADCP データと灯浮標設置の ADCP データとの比較観測をこれまで通算で 24 回実施している。(以下「うずしお」による観測値を「うずしおデータ」、灯浮標設置の ADCP の観測値を「灯浮標データ」)。2013 年 3 月 11 日及び 25 日に実施した比較観測結果を以下に紹介する。

「うずしお」は明石海峡の潮流が流れ来る方向に向かい、船位を維持しつつデータを取得するという手法にて観測を実施した (Fig. 11)。

3 月 11 日、25 日に実施した比較観測により取得した「うずしおデータ」と「灯浮標データ」それぞれの観測値の差の平均、標準偏差及び相関係数を Table 4 に、比較観測により取得した流向を Fig. 12 及び Fig. 13 に、流速を Fig. 14 及び Fig. 15 にそれぞれ示す。

流向については、灯浮標データがうずしおデー

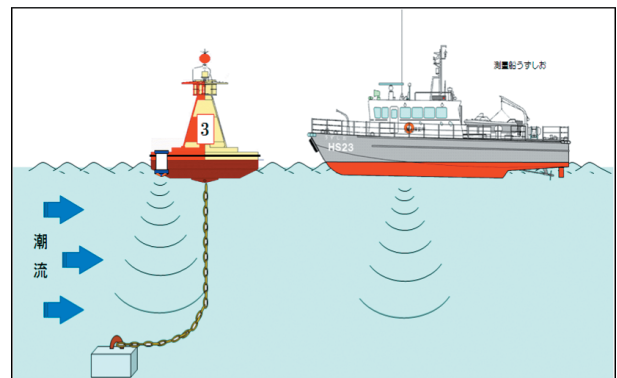


Fig. 11. Schematic image of the comparison observation using the survey vessel.

図 11. 測量船を使用した比較観測の概念図。

Table 4. Differences in observed current data between the light buoy and survey vessel.

表 4. 灯浮標と測量船によってそれぞれ観測された流向および流速データの比較。

	流向(°)	流速(kn)
差(平均)	8.04	0.65
標準偏差	3.46	0.63
相関係数	0.65	0.70

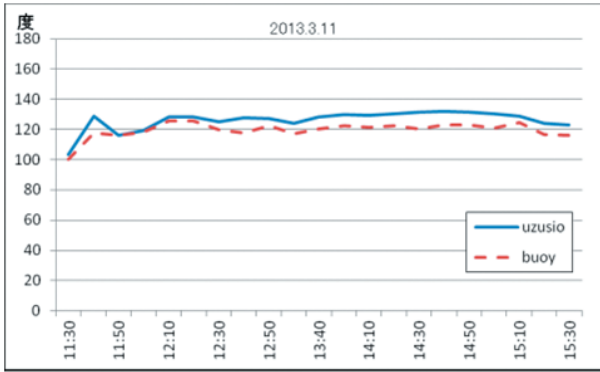


Fig. 12. Comparison of the current direction observed by the light buoy and by the survey vessel on March 11, 2013.

図 12. 2013 年 3 月 11 日に灯浮標と測量船によってそれぞれ観測された流向データの比較。

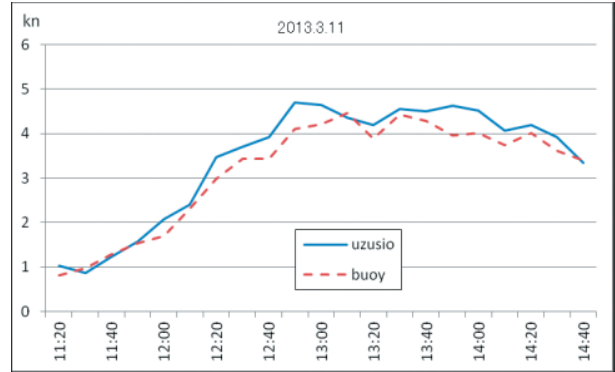


Fig. 14. Comparison of the current speed observed by the light buoy and by the survey vessel on March 11, 2013.

図 14. 2013 年 3 月 11 日に灯浮標と測量船によってそれぞれ観測された流速データの比較。

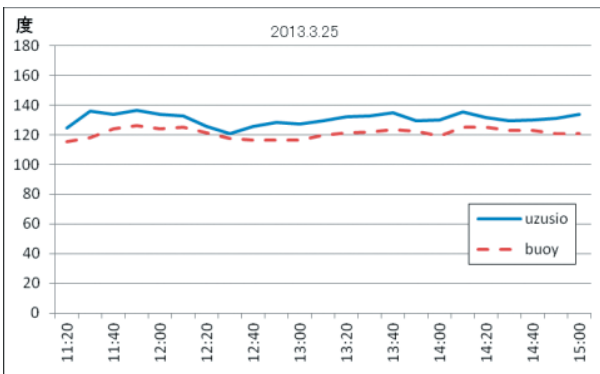


Fig. 13. Comparison of the current direction observed by the light buoy and by the survey vessel on March 25, 2013.

図 13. 2013 年 3 月 25 日に灯浮標と測量船によってそれぞれ観測された流向データの比較。

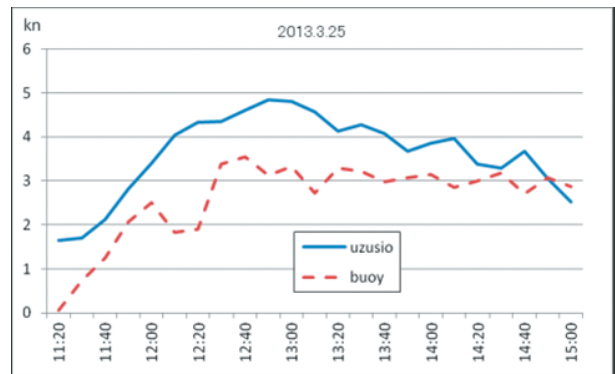


Fig. 15. Comparison of the current speed observed by the light buoy and by the survey vessel on March 25, 2013.

図 15. 2013 年 3 月 25 日に灯浮標と測量船によってそれぞれ観測された流速データの比較。

タよりも小さく、差の平均は  $8^\circ$  あることから、灯浮標に取り付けた ADCP と GPS ジャイロの取り付け角度のズレが原因の 1 つであると考えられるが、標準偏差が  $3.46^\circ$ 、相関係数は 0.65 とバラつきがあり、相関もそれほど高くないことから、結論付けるのは早計である。船での ADCP 観測は船首方向の「ふらつき」があることから、精度のよい流向値が取得できなかった可能性もあり、さらなる検証が必要である。

流速については、灯浮標データがうずしおデータよりも小さかった。差の平均が 0.65 kn も見られ、標準偏差が 0.63 kn と安定しており、相関係

数は 0.70 となっている。

観測データの精度について課題はあるが、比較観測結果を見る限り、データが大きく異なることはないことから、ある程度の信頼性はあることがわかる。

## 5 明石海峡航路中央第二号灯浮標への展開

現在は明石海峡航路中央第三号灯浮標の 1 点での長期連続観測であるが、今後、必要とされる明石海峡全体の潮流状況を把握するため、さらには、当庁が刊行している潮汐表の精度向上を図るため、潮汐表の予報点である明石海峡航路中央第



二号灯浮標への同システムの展開の準備を進めている。システムとしてはほぼ同様であるが、パケット通信での全層データの伝送を試みるための装置を組み込む予定である。

## 6 今後の課題

明石海峡は大阪湾と播磨灘を結ぶ海上交通の要衝であり、強い潮流で知られる日本有数の船舶交通の難所である。また、古河・他（2013）はユーザーに聞き取り調査を行った結果、「海峡全体の潮流情報」の提供が望まれるとのことであった。今後も、必要とされる明石海峡全体の潮流状況を把握するため、明石海峡航路中央二号灯浮標への展開を含め、「情報提供手法（観測値の精度向上、提供媒体、提供間隔など）の検討」を引き続き行う必要がある。

## 7 最後に

潮流観測の実施にあたり、五本部交通部、本庁海洋情報部環境調査課をはじめ、多くの方々からのご支援を頂いた。関係者の皆様に感謝の意を表します。

## 文 献

古河泰典・難波 徹・田中一英・中山浩一郎  
（2013）船舶の輻輳する強潮流域での観測手法の検討，海洋情報部研究報告，50，104-114.

## 要 旨

2012年12月から開始した明石海峡航路中央第三号灯浮標における超音波流速計のリアルタイムデータ転送結果と取得データを示す。また、トラブル発生時の対処方策，トランスデューサのメンテナンスの考察等を記載した。本観測システムは、今後、明石海峡航路中央二号灯浮標へも設置する予定である。