

2017年の駿河湾奥の流況 － 駿河湾フェリー定期航路における流動観測より －

勝間田 高明¹⁾*・仁木 将人²⁾・田中 昭彦¹⁾・丹 佑之¹⁾・高嶋 恭子³⁾・高橋 大介⁴⁾・
福田 巖⁵⁾

The Current of the Inner Part of Suruga Bay in 2017 － The Current Observation by Using Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) Mounted on the Suruga-wan Ferry －

Takaaki Katsumata¹⁾, Masato Niki²⁾, Akihiko Tanaka¹⁾, Hiroyuki Tan¹⁾,
Kyoko Takashima³⁾, Daisuke Takahashi⁴⁾, Gen Fukuda⁵⁾

Abstract

The measurement with an Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) mounted on the Suruga-wan ferry was performed in the inner part of the Suruga Bay to monitor current variations. We analyzed the current data on the crossing line, i.e., the cruise path of Suruga-wan ferry from the

-
- 1) 東海大学 清水教養教育センター 〒424-8610 静岡県静岡市清水区折戸 3-20-1
Liberal Arts Education Center, Shimizu Campus, Tokai University. 3-20-1 Orido, Shimizu-ward, Shizuoka 424-8610, Japan
 - 2) 東海大学 海洋学部 環境社会学科 〒424-8610 静岡県静岡市清水区折戸 3-20-1
Department of Environmental and Societal Affairs, School of Marine Science and Technology, Tokai University. 3-20-1 Orido, Shimizu-ward, Shizuoka 424-8610, Japan
 - 3) 東海大学 海洋学部 航海工学科 航海学専攻 〒424-8610 静岡県静岡市清水区折戸 3-20-1
Department of Navigation and Ocean Engineering, School of Marine Science and Technology, Tokai University. 3-20-1 Orido, Shimizu-ward, Shizuoka 424-8610, Japan
 - 4) 東海大学 海洋学部 海洋地球科学科 〒424-8610 静岡県静岡市清水区折戸 3-20-1
Department of Marine and Earth Science, School of Marine Science and Technology, Tokai University. 3-20-1 Orido, Shimizu-ward, Shizuoka 424-8610, Japan
 - 5) 東京海洋大学 海洋工学部 海事システム工学科 〒135-8533 東京都江東区越中島 2-1-6
Department of Maritime Systems Engineering, Faculty of Marine Technology, Tokyo University of Marine Science and Technology, 2-1-6 Etchujima, Koto-ku, Tokyo, 135-8533, Japan
e-mail: umigaeru@tsc.u-tokai.ac.jp (勝間田高明 / Corresponding author: Takaaki Katsumata)
- (2019年7月13日受付)

Shimizu Port to the Toi Port, at the head of the Suruga Bay in 2017. The boundary conditions at the Bay head and the middle of the Suruga Bay, in a layer less than a depth of 100 m was clarified by the annual mean and the monthly mean of the measured current data. The sea water flux which crosses the observed-line was -0.508 cm/sec, i.e., outward from the bay head, in 8 m to 100 m layer, for 7 months from the May to the November 2017. The inflow was predominant in the eastern part, but the outflow was predominant in the western part of the Suruga Bay.

1. 序 論

駿河湾は本州南岸に位置する開放性海湾で、その沖合には黒潮が東向きに流れている。北大西洋の湾流とは異なり黒潮は大蛇行流路を持つことも知られており、流路変動が空間的に大きい。とくに駿河湾の沖合海域を含む紀伊半島沖から房総半島沖合にかけて空間振幅が大きいことが知られている(増沢, 1965)。そのため、黒潮流路が同海域のシラス漁業やサクラエビ漁業に大なり小なり影響を与えていることが知られ、湾奥での黒潮系外洋水流入の監視が求められている(杉本ほか, 2009; Tanaka et al., 2011; Katsumata, 2016)。さらに駿河湾奥から湾口西部沿岸にかけては狩野川、富士川、安倍川、そして大井川といった大河川が注いでおり大量の淡水の供給がなされている。これらの河川水の挙動も漁業や海況に大きな影響を与えている(仁木ほか, 2011; Tanaka et al., 2009)。そこで東海大学海洋研究所と東海大学海洋学部は、株式会社エスパルスドリームフェリーの協力の下に駿河湾フェリーの航路において多層音響ドップラー流速計(Acoustic Doppler Current Profiler 以下 ADCP と省略する)を用いた流動観測を2008年から開始し、現在も継続実施中である(たとえば、仁木ほか, 2009; 仁木ほか, 2014; 勝間田ほか, 2018; 勝間田ほか, 2019)。水深の深い駿河湾において流動観測の実施は困難を伴うため、継続的に行われた観測の結果は、非常に貴重であり、駿河湾において行われている物理学的研究のみならず生物学的、化学的な観測においても参考資料となりえると考えられるため、本研究報告の場を借りて例年と同様に年間の湾奥海象状況を報告する。

2. データ

2.1 フェリーの運航及び設置機器と設定

駿河湾フェリーは清水土肥間を1日4往復する。片道1時間5分であり、始発は清水港発8時、最終便の到着時刻は清水港着18時25分である。駿河湾フェリー「富士」の船底に取り付けた ADCP は Teledyne RD Instruments 社製のワークホース ADCP (300 kHz 仕様) である。また船上部にはベクター社製の GPS アンテナ (Crescent V100-DGPS) を測位および船速把握の目的で取り付け、流動の計測および記録は、はフェリーに設置した ADCP の音響開口部から約 100 m 深 (条件によっては最大で約 150 m 深) までを、層厚 4 m 間隔で連続的に行った。ただし ADCP のトランスデューサーから最初の観測層までは約 8 m のブランクがある。すなわち観測の第 1 層は船の喫水に依存するがおよそ 8 m から 10 m 深である。

2.2 データ処理

2017年5月から11月までに得られた駿河湾フェリーの定期航路(清水-土肥)のデータを使用した、なお1月から4月までおよび12月は機器不良のため欠測である。測定されたデータは、取り付け誤差および偏角の補正(ミスアライメント 1.65)を行い、4ビームで計測した場合の有効データの割合が60%以上のものを使用し、時間間隔60秒にて前処理を行った。東経138度30分0秒から東経138度47分0秒を30秒間隔(34区間)で区切り、南北方向(北向き正)および東西方向(東向き正)の流速について、平均値を算出した。本報告で使用したのは年平均として2017年の全観測データ、月平均として各月の全観測データ、および日平均として確実に取得された全データをそれぞれ平均した。従って、欠航日の日平均流は算出しなかった。潮流、すなわち流動の潮汐周期変

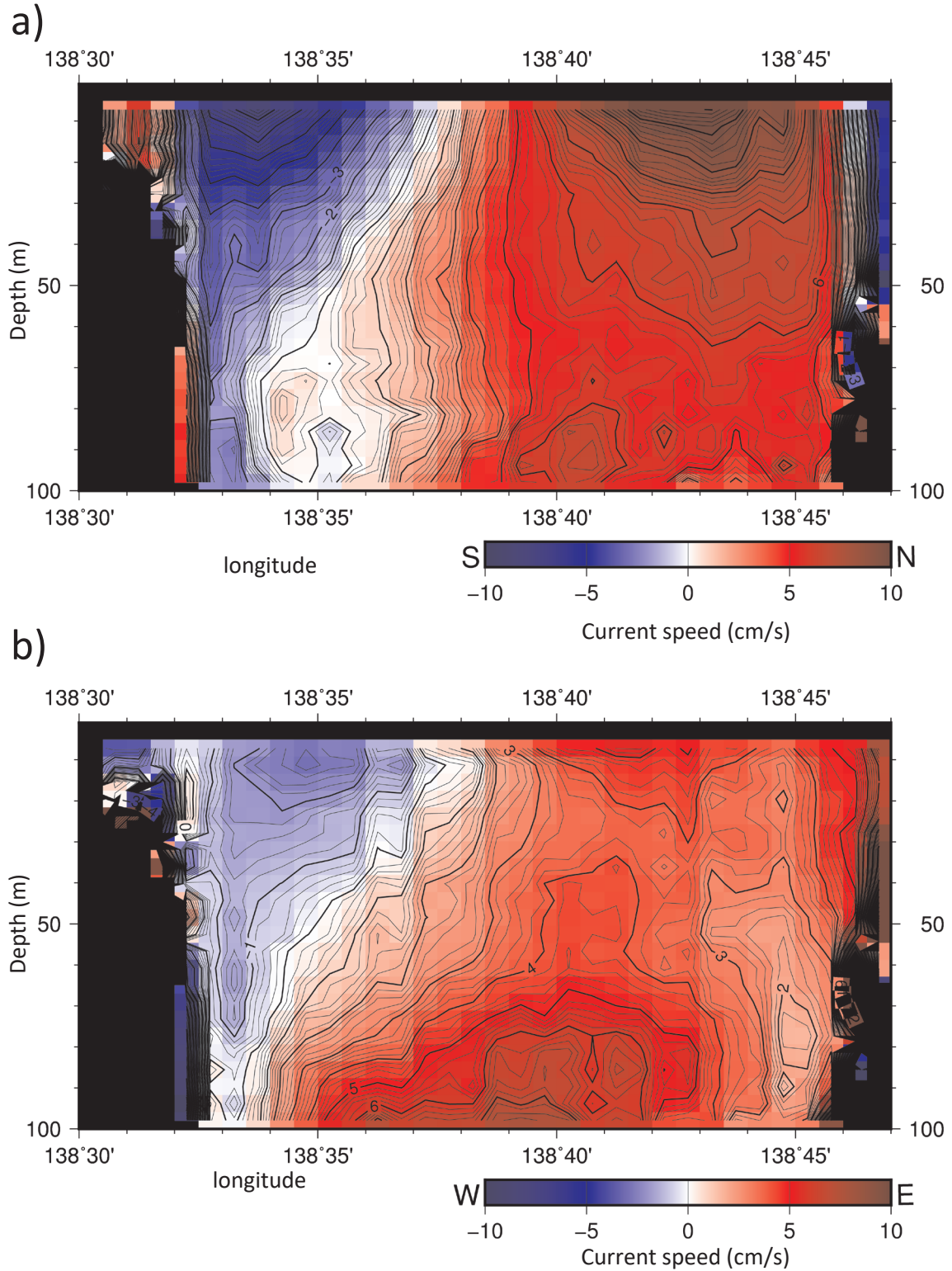


Fig. 1. The cross section of 7 month mean current along the path of Suruga–wan ferry cruise in 2017. The panel a) indicates the meridional current speed, and panel b) indicates the zonal current speed.

動成分はフィルタリングや調和解析など特別な手法による除去はせず単純に当日の全データの平均値を日平均流とした。

3. 観測結果

3.1 流動の年平均

駿河湾フェリーを用いて観測した2017年5月から11月までの全期間(約7ヶ月)平均流動の断面をFig. 1a)およびb)に示す。各図の縦軸は水深[m]を表し、横軸は航路上での経度[°]で、流動の深度-航路断面となっている。Fig. 1a)は南北成分流速でFig. 1b)は東西成分流速の図である。また各カラーバーは赤がそれぞれ北向き流(Fig. 1a))と東向き流(Fig. 1b)), 青は南向き流(Fig. 1a))および西向き流(Fig. 1b))である。

年平均流の南北成分(Fig. 1a))に注目すると、

138°37'あたりを境にして大きな節が見られ東側海域では湾奥への流入傾向を示す北向き流が卓越し西側海域では流出傾向を示す南向き流が卓越する。流出入のコアは20m以浅に存在するが最下層の100m層付近でも表層と同様の方向を持つ順圧的な構造である。一方で、フェリー航路の両岸付近では流向が反転している。清水港寄りの138°31'付近は最上層から水深20m層付近まで鉛直方向に一樣に北向きの流れがみられる。これは清水港が北東方向に湾口を開いていることを考えると清水港からの流出を示している。土肥寄りの138°46'付近は南向きに流向が代わっており、土肥周辺に反流が形成されている。

年平均流の東西成分(Fig. 1b))に注目すると、表層から40m層までは138°37'付近を境として東側海域は東向流が卓越し、西側海域は西向流が卓越する。また40m以深に関しては東向流と西

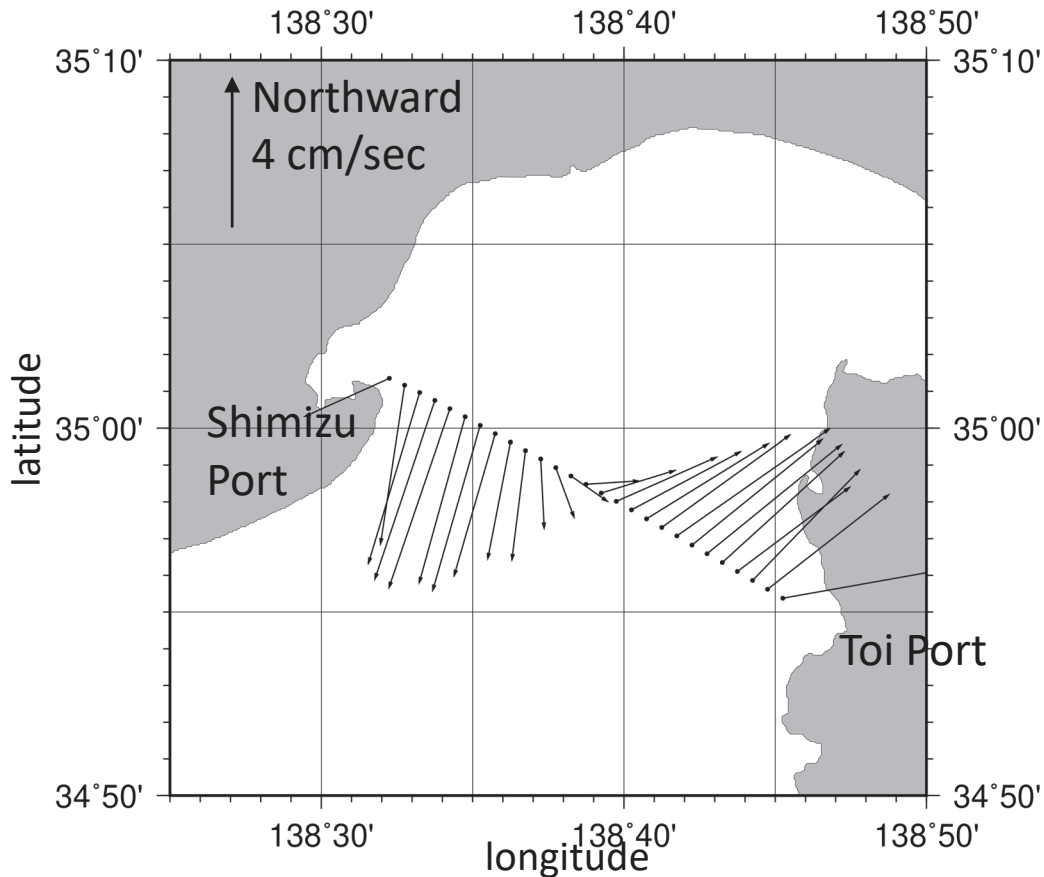


Fig. 2. The Stick diagram of the whole layer and 7 month measuring period mean current in 2017. An arrow indicates a magnitude and a direction of the averaged current in each area.

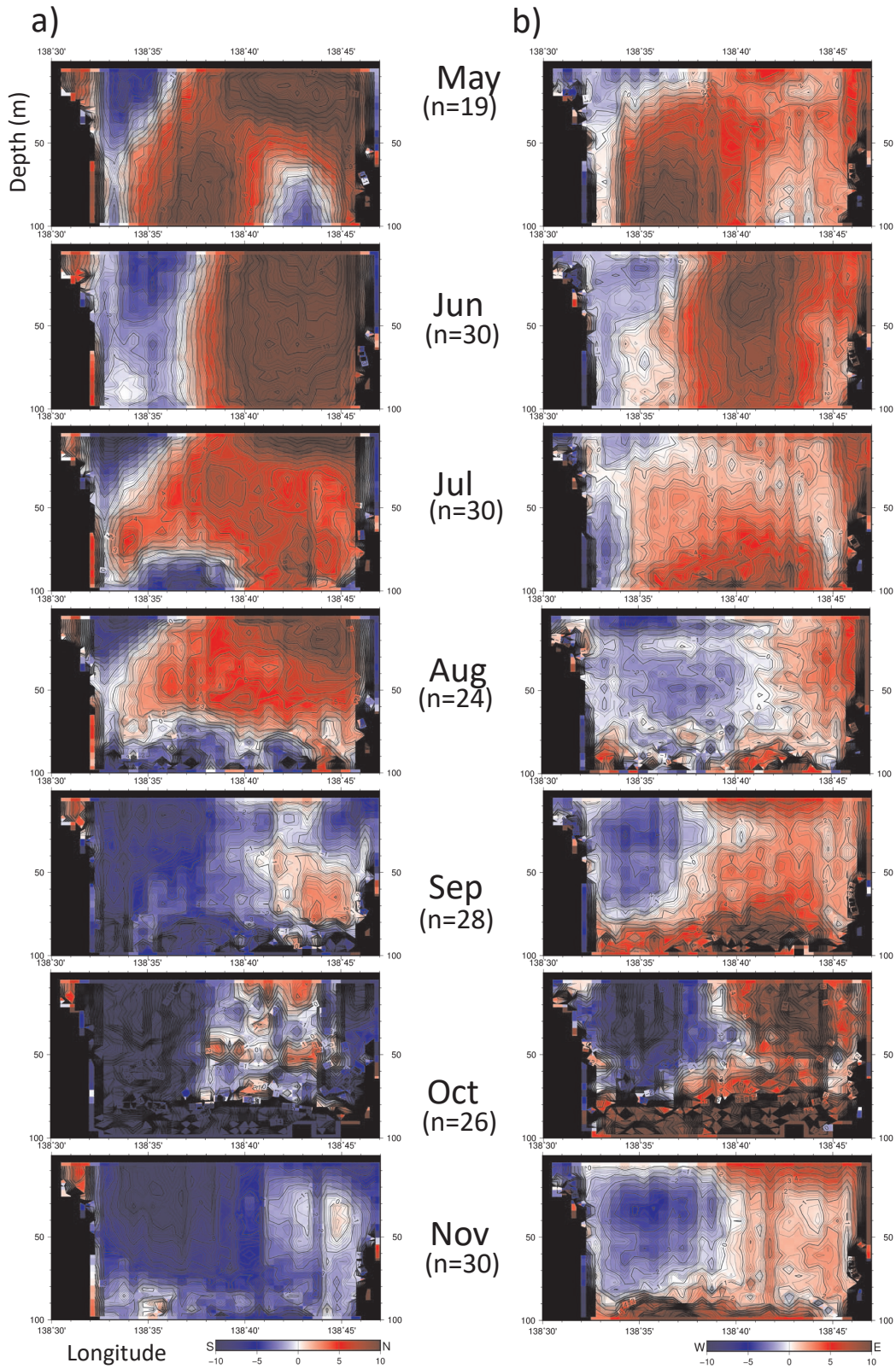


Fig. 3. The cross section of monthly mean current along the path of Suruga-wan ferry cruise in 2017. The panels a) indicate the meridional current speed, and panels b) indicate the zonal current speed. unit: cm/sec

Table 1 The meridional current averaged for whole layer and 7-month mean at the 27 areas along the path of the Suruga-wan ferry cruise in 2017.

area	range in longitude	averaged meridional current (cm/sec)	number of data: n
1	138:32'30" - 138:33'00"	-1.026	50507
2	138:33'00" - 138:33'30"	-4.240	67330
3	138:33'30" - 138:34'00"	-4.551	63810
4	138:34'00" - 138:34'30"	-4.758	64162
5	138:34'30" - 138:35'00"	-4.768	62335
6	138:35'00" - 138:35'30"	-4.428	63689
7	138:35'30" - 138:36'00"	-4.405	63790
8	138:36'00" - 138:36'30"	-3.790	62299
9	138:36'30" - 138:37'00"	-3.125	63397
10	138:37'00" - 138:37'30"	-2.933	62346
11	138:37'30" - 138:38'00"	-1.879	63109
12	138:38'00" - 138:38'30"	-1.355	62267
13	138:38'30" - 138:39'00"	-0.699	62278
14	138:39'00" - 138:39'30"	0.092	63453
15	138:39'30" - 138:40'00"	0.612	62375
16	138:40'00" - 138:40'30"	1.186	61802
17	138:40'30" - 138:41'00"	1.557	64260
18	138:41'00" - 138:41'30"	2.014	63008
19	138:41'30" - 138:42'00"	2.464	62438
20	138:42'00" - 138:42'30"	2.847	63602
21	138:42'30" - 138:43'00"	2.814	63277
22	138:43'00" - 138:43'30"	2.907	63713
23	138:43'30" - 138:44'00"	2.949	64300
24	138:44'00" - 138:44'30"	2.252	65491
25	138:44'30" - 138:45'00"	2.951	68165
26	138:45'00" - 138:45'30"	2.526	71253
27	138:45'30" - 138:46'00"	1.057	74852
Whole	138:32'30" - 138:46'00"	-0.508	1723308

向き流の反転する地点が深度を増すごとに西に移動し最下層の100 mでは138° 34'となる。以上のことから138° 34'から138° 37'にかけての東西流に関しては上層と下層では流向が反対の構造を持つ事がわかる。

清水港沿岸や土肥港沿岸を除いたフェリー航路(138° 32' 00"から経度30"間隔で138° 45' 30"まで)を27区間に分割し、先の年平均結果から、全観測層を平均した区間平均を算出した(Table 1)。Fig. 2は区間ごとに算出した全期間(約7ヶ月)全層平均流動をベクトルで示したスティックダイアグラムである。図中の上向きの矢印は北向きの流れを示し、矢印の長さは流速の大きさを示す。清水寄りから数えて12番目の区間と13番目の区間

の間(138° 38'あたり)で湾奥への流入が分かれており、土肥寄りの航路区間(13番目以降)では流入が見られ、清水寄りの航路区間(12番目以前)では湾奥からの流出が現れている。

フェリー航路断面の2017年5月から11月の7ヶ月間、全層を単純に全平均すると-0.508 cm/secの流出となり湾奥とその外との海水フラックスは流出が支配的である(Table 1)。湾奥への河川水の流入などや湾口を經由しての黒潮系外洋水の出入りを考える上で、湾奥での実測の海水フラックスは非常に重要である。本流動観測では、表層の100 m以浅に限られるが2017年の観測のある全期間の平均海水フラックスを得ることができた。フェリー航路の水位は、大きな経年変化は

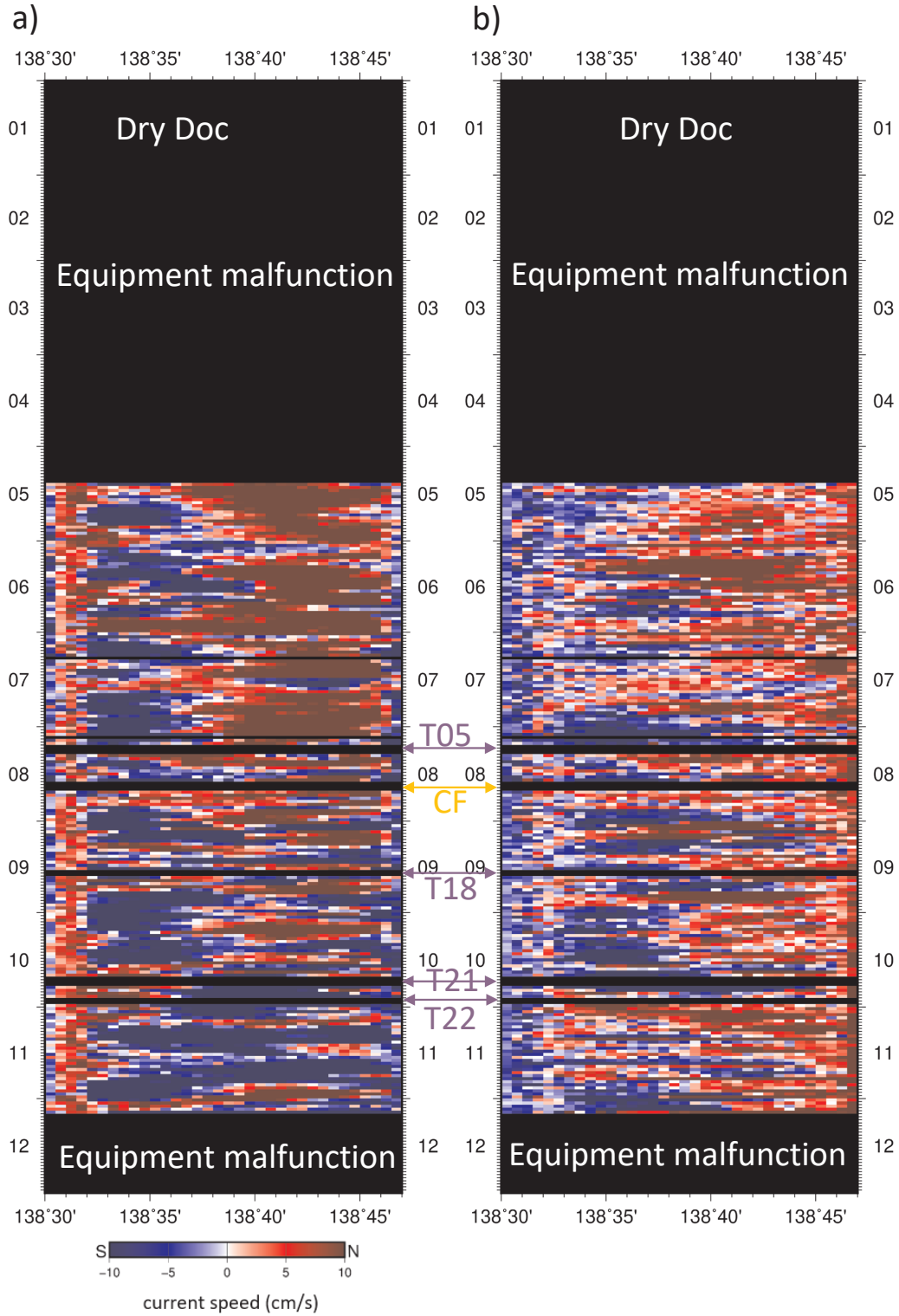


Fig. 4. Time series of daily mean current along the path of Suruga-wan ferry cruise in 2017. The panel a) indicates the meridional current speed, and panel b) indicates the zonal current speed.

持たないと考えられ、湾奥向きの海水のフラックスと湾口もしくは湾外向きの海水フラックスは、ほぼ平衡を保っているはずであることから、この7ヶ月間においてフェリーを用いた流動の観測層よりも下層もしくは表面の8 m以浅では負のフラックスすなわち流入傾向となっていることが推測される。

3.2 流動の月平均

2017年5月から11月までの各月平均を行った南北成分流動および東西成分流動の深度-航路断面図をFig. 3に示す。軸やカラーバーはFig. 1と同様に左側(Fig. 3a)が南北成分である。各月のラベルすなわちMay, Jun, …の下にはその月の平均を計算する上で使用した日平均の数をnで示している。たとえば5月(May)の下にはn=19とあり、5月の平均流は19日分の日平均流から算出されたということがわかる。ドック入りや機器トラブルのために欠測がちとなってしまった5月(n=19)には注意が必要である。また同様に機器トラブルのため欠測がほとんどの12月(n=5)は月平均流としては不適なため議論から外す。南北成分の各月平均は全体的に年平均の深度-航路断面図と同様な傾向を持っており清水港寄りの西部で南向きの流れ(流出)となり土肥港寄りの東部で流入を示す。5月から8月にかけての約4ヶ月間は流入が強くなり湾全域を覆い、流出は西部沿岸のごく表層に限られている。逆に9月から11月にかけては湾東部の流入が弱まって全域で流出傾向となる。

東西成分においては、各月平均は全体的に年平均の深度-航路断面図と同様な傾向を持ち、湾の東部で東向き、湾の西部で西向きの成分が卓越する(Fig. 3b)。

3.1 日平均流を用いた航路-時間断面

2017年1月から12月まで(1月から4月、12月は欠測が多い)の日平均流動の南北成分および東西成分の最上層流動時系列を航路-時間断面図としてFig. 4a)およびb)に示す。1月はドック期間、2月から4月は機器不良のため欠測が続いた。図中に台風の接近や気象擾乱の発生を時間軸に対して矢印で示す。ラベルには例えば「T05」の様な略記号を用いた。CFはCold Front: 寒冷前線、

T05は2017年の台風5号を表している。8月から10月にかけては台風5号、18号、21号および22号(T05, T18, T21, T22)の接近や上陸があった(Fig. 4)。その他の短い欠測期間は、台風など低気圧の通過に伴う海況依存の欠航である。台風通過などの強風および大量降雨のイベント発生後には湾奥の西岸に強い南向きの流出が発生するのが分かる(Fig. 4左図中の青い領域)。

4. 考察および結論

4.1 2015年や2016年の流況との比較

2017年の年平均流(7ヶ月平均)の南北成分の空間構造は2015年および2016年の結果(勝間田ほか, 2018; 勝間田ほか, 2019)とほぼ同じであった。年変動の東西成分の空間構造は2015年や2016年に比べて東向流と西向流の反転地点もほとんど変わらない。また全期間(約7ヶ月間)全層平均流動のスティックダイアグラム図の流入流出の変換点も2015年や2016年と同程度の位置である。また2016年は2015年に比べて各点での流量の振幅が増大していたが2017年は再び振幅が減少していた。全期間全測点全層平均の南北平均流は-0.508 cm/secと2015年の0.458 cm/secや2016年の0.929 cm/secに比べて向きが逆転している。以上のような若干の空間構造の差異は認められるが全体的には2015年や2016年と似た空間構造であったが、海水のフラックスが逆で流出方向であった。

過去の研究(Inaba 1981)では湾奥海域に関しては本報告と同様に反時計回りの環流の卓越を10 m層の15日平均流から見いだしている。また稲葉(1988)は、黒潮流軸位置により湾口海域の流動パターンが支配される一方で、湾奥では常に反時計回りの環流が卓越していると考察した。これに対し、本報告では同様な反時計回りの循環流を観測するとともにその鉛直構造が少なくとも100 mの厚みを持つことが判明した。さらに反時計回りの循環流は季節内変動を持っていた。

本報告の主要な結論を以下に示す。

- (1) 駿河湾フェリー航路に沿った海域における表層100 m以浅の南北方向の海水フラックスは年平均で南向きに0.508 cm/secの流

出である。

- (2) 年平均流の南北成分の鉛直構造はほぼ一様であるが、水平構造は湾の中央部に節を持ち東側で流入、西側で流出が見られ反時計回りの循環を示唆する。
- (3) 月平均流からは、年平均と同様な少なくとも100 mの厚みを持った反時計回りの循環がみられるが季節内変動も見られて循環が季節により強弱する様子が見られた。
- (4) 日平均流の時系列からは、台風などの気象擾乱後に湾西部沿岸に岸に沿う南西向きの強流が発生することがわかった。

謝 辞

本観測は、株式会社エスパルスドリームフェリー様、一般社団法人ふじさん駿河湾フェリー様の協力のもと実施しています。また、東海大学海洋研究所が中心となり、海洋研コアプロジェクト(2006～2008年度)、文部科学省科学研究費(2006～2008年度)により観測システムを設置しました。その後、東海大学連合後援会助成(2009～2010年度)や文部科学省教育GP(2008～2010年度)、海洋研究所予算(2015年度以降)等のサポートにより継続しています。協力していただいた皆様へ心から感謝の気持ちと御礼を申し上げたく、謝辞にかえさせていただきます。

引用文献

- Inaba, H. (1981) : Circulation pattern and current variations with respect to tidal frequency in the sea near the head of Suruga Bay. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 37, 149-159.
- 稲葉栄生 (1988) : 駿河湾の海洋環境, 水産海洋研究会報, 52, 236-240.
- Katsumata, T. (2016) : Generation of periodic intrusions at Suruga Bay when the Kuroshio follows a large meandering path, *Continental Shelf Research*, 123, 9-17, doi:10.1016/j.csr.2016.04.005.
- 勝間田高明・仁木将人・田中昭彦・丹佑之・高嶋恭子・福田巖 (2019) : 2016年の駿河湾奥の流況 ―駿河湾フェリー定期航路における流動観測より―, 東海大学海洋研究所研究報告, 40, 32-41.
- 勝間田高明・田中昭彦・丹佑之・仁木将人 (2018) : 2015年の駿河湾奥の流況 ―駿河湾フェリー定期航路における流動観測より―, 東海大学海洋研究所研究報告, 39, 27-35.
- 増沢譲太郎 (1965) : 黒潮流速の季節変化の一資料, *海洋学会誌*, 21 (3), 117-118.
- 仁木将人・勝間田高明・杉本隆成・萩原直樹・古島靖夫 (2009) : 夏季における急潮の進入にともなう大振幅内部波の発生, *海岸工学論文集* B2, 56, 431-436.

- 仁木将人・杉本隆成・勝間田高明・坂口央 (2011) : 富士川河川系水の沿岸域での挙動に関する現地観測-河川水の広がりに対する残差流の影響, *土木学会論文集* B2, 67, 2, 346-350.
- 仁木将人・勝間田高明・杉本隆成 (2014) : 定期船 ADCP データの調和解析による潮流推定に関する一考察, *土木学会論文集* B2, 70, 2, 486-490.
- 杉本隆成・澤本彰三・仁木将人・三澤宣彦 (2009) : サクラエビの加入量変動機構の研究について, *月刊海洋*, 41, 115-121.
- Tanaka, K., Y. Michida, T. Komatsu, and K. Ishigami (2009) : Spreading of river water in Suruga Bay, *Journal Oceanography*, 65, 165-177, <https://doi.org/10.1007/s10872-009-0016-x>.
- Tanaka, K., T. Komatsu, Y. Michida, and S. Saitoh (2011) : A numerical study on the transport of eggs and larvae of *Sergia lucens* in Suruga Bay, Japan. *Fisheries Oceanography*, 20: 206-218, doi:10.1111/j.1365-2419.2011.00580.x.