

2018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 2018 – 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

This report is a newly added one for observation in 2018 to the related communication reports, “The Current of the Inner Part of Suruga Bay” in 2015, 2016, and 2017 (Katsumata et. al., 2018; 2019a and b). To monitor fluctuation of the current in the Suruga Bay, we used Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) mounted on the Suruga-wan ferry. The obtained current data in 2018 were

-
- 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)

(2020年8月10日受付 / 2020年10月23日受理)

analyzed on the crossing line, that is, the cruise path of Suruga-wan ferry from the Shimizu Port to the Toi Port located at the head of the Suruga Bay. The boundary between the Bay head and the middle of the Suruga Bay in a layer less than a depth of 100 m were clarified by the comparison of means of the annual and monthly measured current data. The averaged sea water flux crossing the survey-line obtained from the data in 8 m to 100 m layers throughout every cruise in 2018 was +0.346 cm/sec, which indicates inflow to the bay head. The similar positive sea water flux was pointed out in the 2015 and 2016 reports, but not in the 2017 one. The horizontal distribution of the averaged current crossing the survey-line indicates predominant inflow and outflow in the eastern and western parts of the Suruga Bay, respectively. The past three reports also noticed the similar cyclonic circulation at inner part of the Suruga Bay.

1. 序論

本報告は、「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—」から続く一連のもの(勝間田ほか, 2018; 勝間田ほか, 2019a; 勝間田ほか, 2019b)の続編で2018年に関するものである。駿河湾フェリーは駿河湾の北部を横断する定期航路を持つために、駿河湾奥における水の出入りを長期にわたってモニタリングするのに大変適した船舶である。駿河湾奥海域にはシラスやサクラエビの漁場が存在し、海洋物理学的な興味以外でも注目される海域である(杉本ほか, 2009; Tanaka et al., 2009; Tanaka et al., 2011; 仁木ほか, 2011; Katsumata, 2016)。

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(注釈1)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, 2019a; 勝間田ほか, 2019b)。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2018年の湾奥海象状況を報告する。

注釈1: 2019年6月1日に一般社団法人 ふじさん

駿河湾フェリーに船体は移管されたが運航は引き続き株式会社エスパルスドリームフェリーが行った。さらに、鈴与内での組織改編により2020年7月1日には運行会社が鈴与コンストラクションホールディングス100%出資子会社の富士山清水港クルーズ株式会社となった。

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 の音響周波数 300 kHz タイプである。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た。流動の計測および記録は、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

2018年1月から12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、なお年初から1月26日までは機器不良および定期的な乾ドック入りしてのフェリー「富士」のメンテナンスのため欠測である。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 2018 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動成分はフィルタリングや調和解析（仁木ほか、2014）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 2018 年 1 月から 12 月まで欠測を除く全期間（約 11 ヶ月）平均流動の断面を Fig. 1a および 1b に示す。各図の縦軸は水深を表し、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。また各図の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、 $138^{\circ} 37'$ 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が、最下層の反転位置は若干西にシフトしており $138^{\circ} 35'$ 付近である。流出入のコアは 20 m 以浅に存在するが最下層の 100 m 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 $138^{\circ} 32'$ 付近以西は最上層から水深 20 m 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 $138^{\circ} 46'$ 付近以东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、全層的に観ると $138^{\circ} 37'$ 付近を境として東側海域は東向流が卓越し、西側海域は西向き流が卓越する。しかしながら観測の最上層と最下層においては転向地点が西側に延びており、最上層に関しては東向流と西向き流の反転する地点が $138^{\circ} 36'$ 付近で最下層では $138^{\circ} 34'$ 付近となる。以上のことから $138^{\circ} 34'$ から $138^{\circ} 37'$ にかけての東西流に関しては上層と下層では流向が中層とは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（ $138^{\circ} 32' 00''$ から経度 $30''$ 間隔で $138^{\circ} 45' 30''$ まで）を 27 区間に分割し、先の年平均結果から、南北成分流動の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 11 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 10 番目の区間と 11 番目の区間の間（ $138^{\circ} 37'$ ）付近で湾奥への流入出が分かれており、土肥寄りの航路区間（11 番目以降）では流入が見られ、清水寄りの航路区間（10 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 2018 年 1 月から 12 月の欠測を除く約 11 ヶ月間、全層を単純に全平均すると $+0.346 \text{ cm/sec}$ の流入となり湾奥とその外との海水フラックスは流入が支配的である（Table 1）。湾奥への河川水の流入などや湾口を経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 2018 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、この約 11 ヶ月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出傾向となっていることが推測される。

3.2 流動の月平均

2018 年 1 月から 12 月までの各月平均を行った

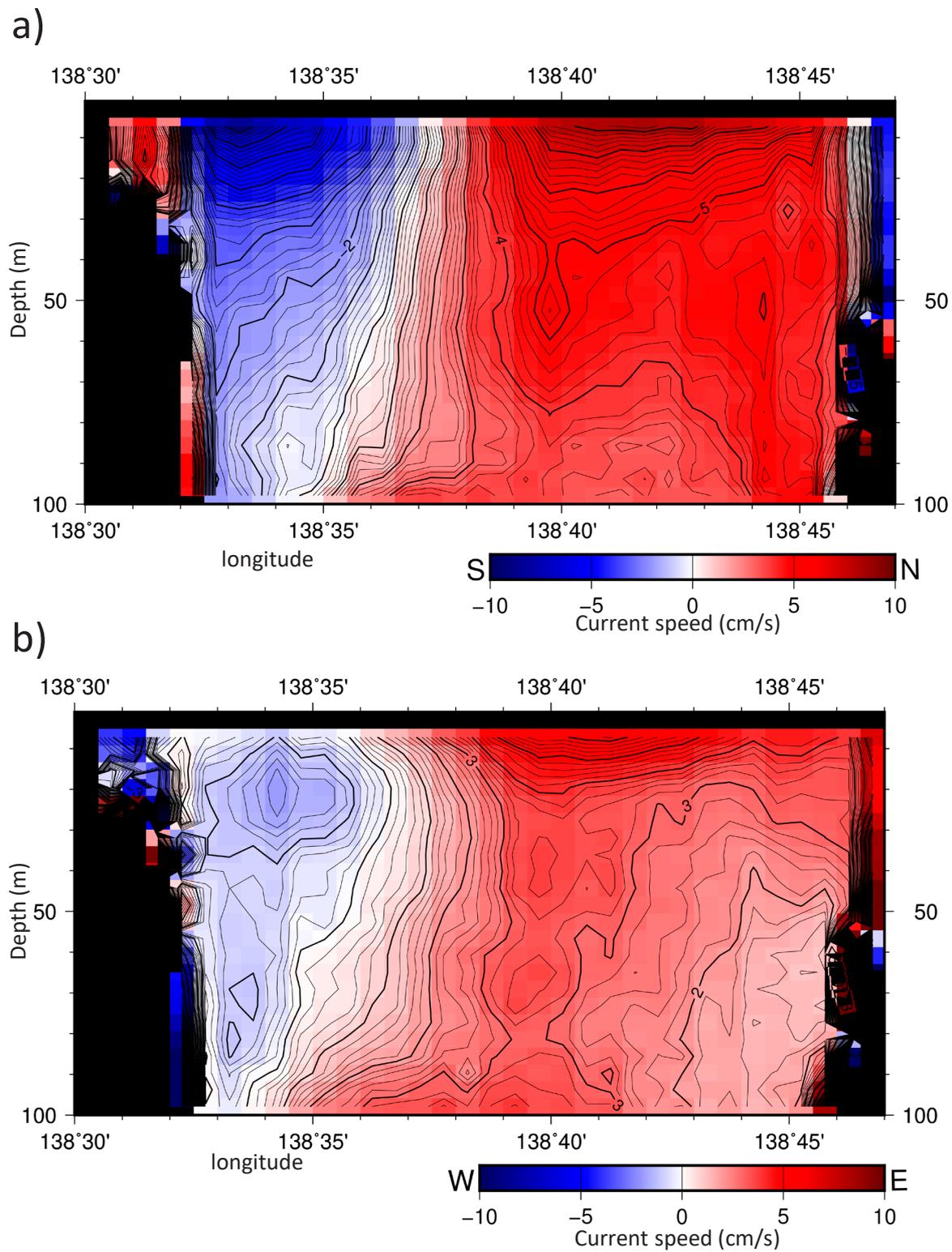


Fig. 1. The cross section of annual mean current in 2018 along the path of Suruga-wan ferry cruise. The panel a) indicates the meridional current speed, and panel b) does the zonal current speed.

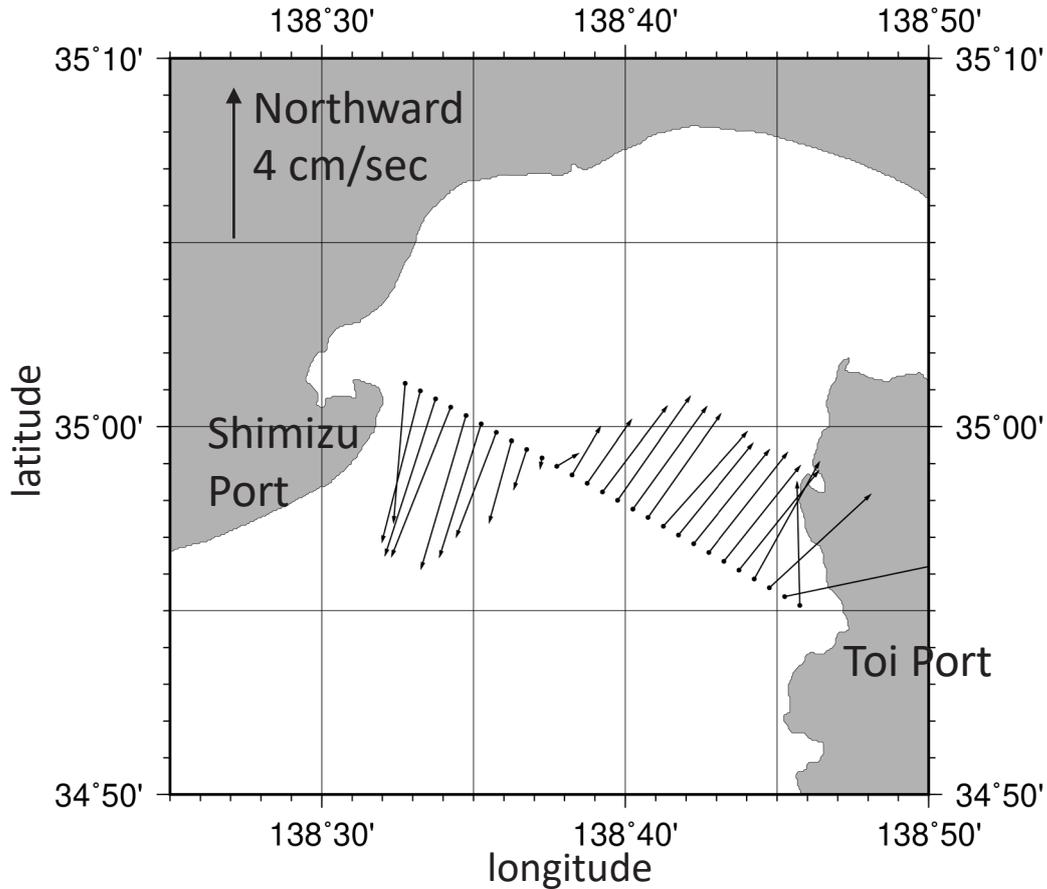


Fig. 2. The stick diagram of the annual mean current in 2018 for the whole layer every section on the survey-line.

An arrow indicates a magnitude and a direction of the averaged current in each area.

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 と同様で左側 (Fig. 3a) が南北成分である。各月のラベルすなわち Jan, Feb, …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1月 (Jan) の下には $n=5$ days とあり、1月の平均流は5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ほとんどが欠測日となってしまった1月 ($n=5$) には注意が必要である。したがって1月の値は月平均流としては不適なため議論では参考値として扱う。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北向きの流れ (流入) を

示す。1月から3月、9月および12月はこれと同様な空間構造が現れる。その一方で4月から8月にかけての約5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。また10月と11月にかけては湾東部の流入が弱まって湾全体が流出傾向となる。

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)。

3.3 日平均流を用いた航路-時間断面

2018年1月から12月まで (1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

Table 1 The meridional component of the annual mean current, and number of raw data in 2018 for the whole layer in the 27 columns along the survey-line.

area	range in longitude	averaged meridional current (cm/sec)	number of data: n
1	138:32'30" - 138:33'00"	-3.700	97915
2	138:33'00" - 138:33'30"	-4.012	89639
3	138:33'30" - 138:34'00"	-4.151	89574
4	138:34'00" - 138:34'30"	-3.958	89603
5	138:34'30" - 138:35'00"	-4.063	88606
6	138:35'00" - 138:35'30"	-3.534	89500
7	138:35'30" - 138:36'00"	-2.779	88484
8	138:36'00" - 138:36'30"	-2.181	88783
9	138:36'30" - 138:37'00"	-1.075	88934
10	138:37'00" - 138:37'30"	-0.305	89750
11	138:37'30" - 138:38'00"	0.354	89340
12	138:38'00" - 138:38'30"	1.290	88420
13	138:38'30" - 138:39'00"	1.699	90188
14	138:39'00" - 138:39'30"	2.275	90441
15	138:39'30" - 138:40'00"	2.760	89089
16	138:40'00" - 138:40'30"	2.720	89465
17	138:40'30" - 138:41'00"	2.750	91035
18	138:41'00" - 138:41'30"	2.510	91266
19	138:41'30" - 138:42'00"	2.442	90282
20	138:42'00" - 138:42'30"	2.504	91348
21	138:42'30" - 138:43'00"	2.662	91127
22	138:43'00" - 138:43'30"	2.544	91316
23	138:43'30" - 138:44'00"	2.639	92075
24	138:44'00" - 138:44'30"	3.114	97288
25	138:44'30" - 138:45'00"	2.479	103634
26	138:45'00" - 138:45'30"	1.076	104465
27	138:45'30" - 138:46'00"	3.290	100602
Whole	138:32'30" - 138:46'00"	0.346	2482169

び b に示す。1 月は機器の不調および定期ドック期間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(気象庁, 2020)。ラベルには例えば「T05」の様な略記号を用いた。NW は North Wind: 強い冬型気圧配置, NTG は Nangan Teikiatsu Gata, LP は Low Pressure: 低気圧の通過, CF は Cold Front: 寒冷前線, T05 は 2018 年の台風 5 号を表している。6 月から 10 月にかけては台風 5 号, 7 号, 12 号, 13 号, 19 号, 20 号, 21 号, 24 号および 26 号 (T05, T07, T12, T13, T19, T20, T21, T24, T26) 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

2018 年の年平均流 (約 11 ヶ月平均) の南北成分の空間構造は 2015 年, 2016 年および 2017 年の結果 (勝間田ほか, 2018; 勝間田ほか, 2019a; 勝間田ほか, 2019b) とほぼ同じであった。年変動の東西成分の空間構造は 2015 年から 2017 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 11 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

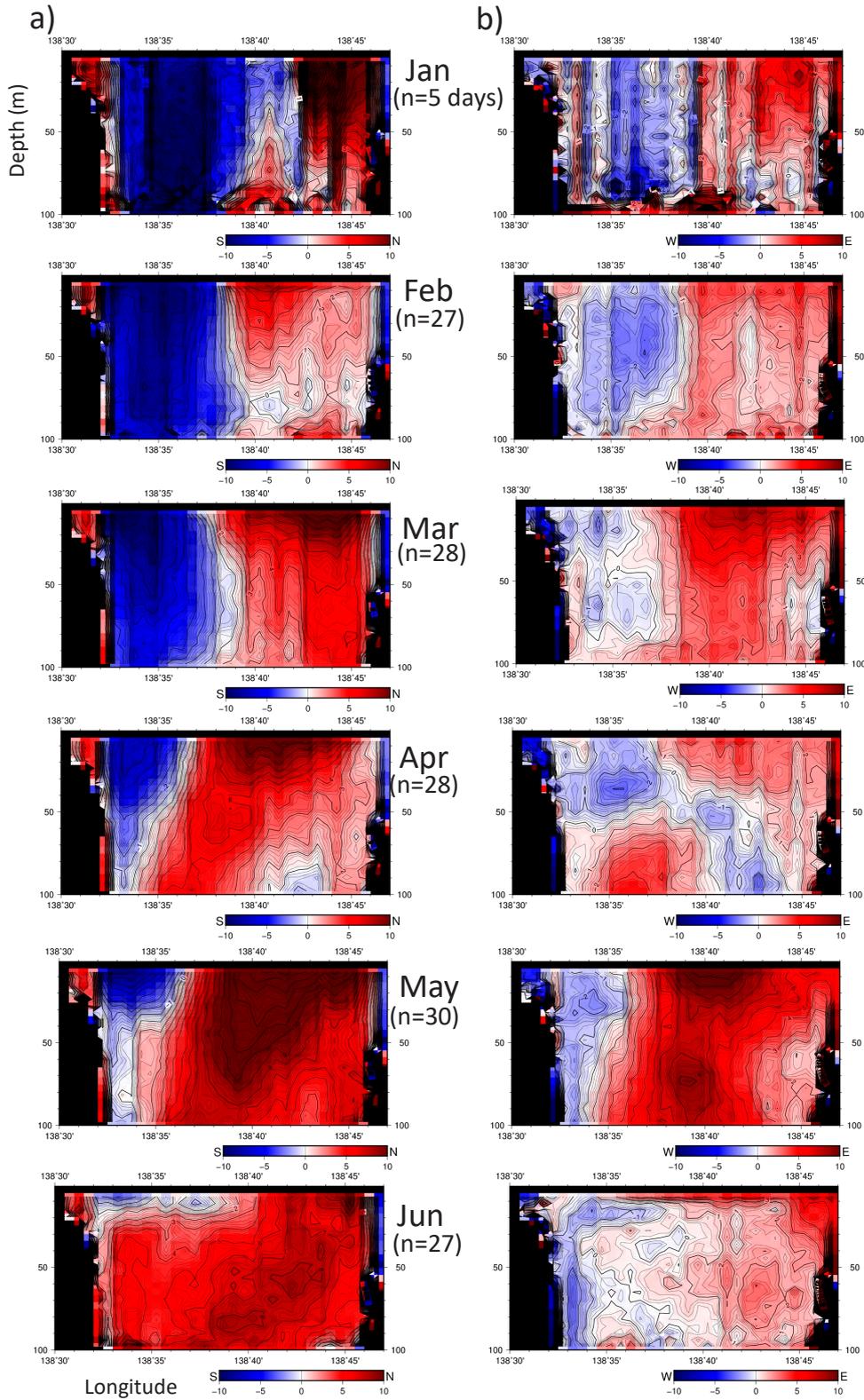


Fig. 3. The cross section of monthly mean current in 2018 along the path of Suruga-wan ferry cruise. The panel a) indicates the meridional current speed, and panels b) does the zonal current speed. unit: cm/sec

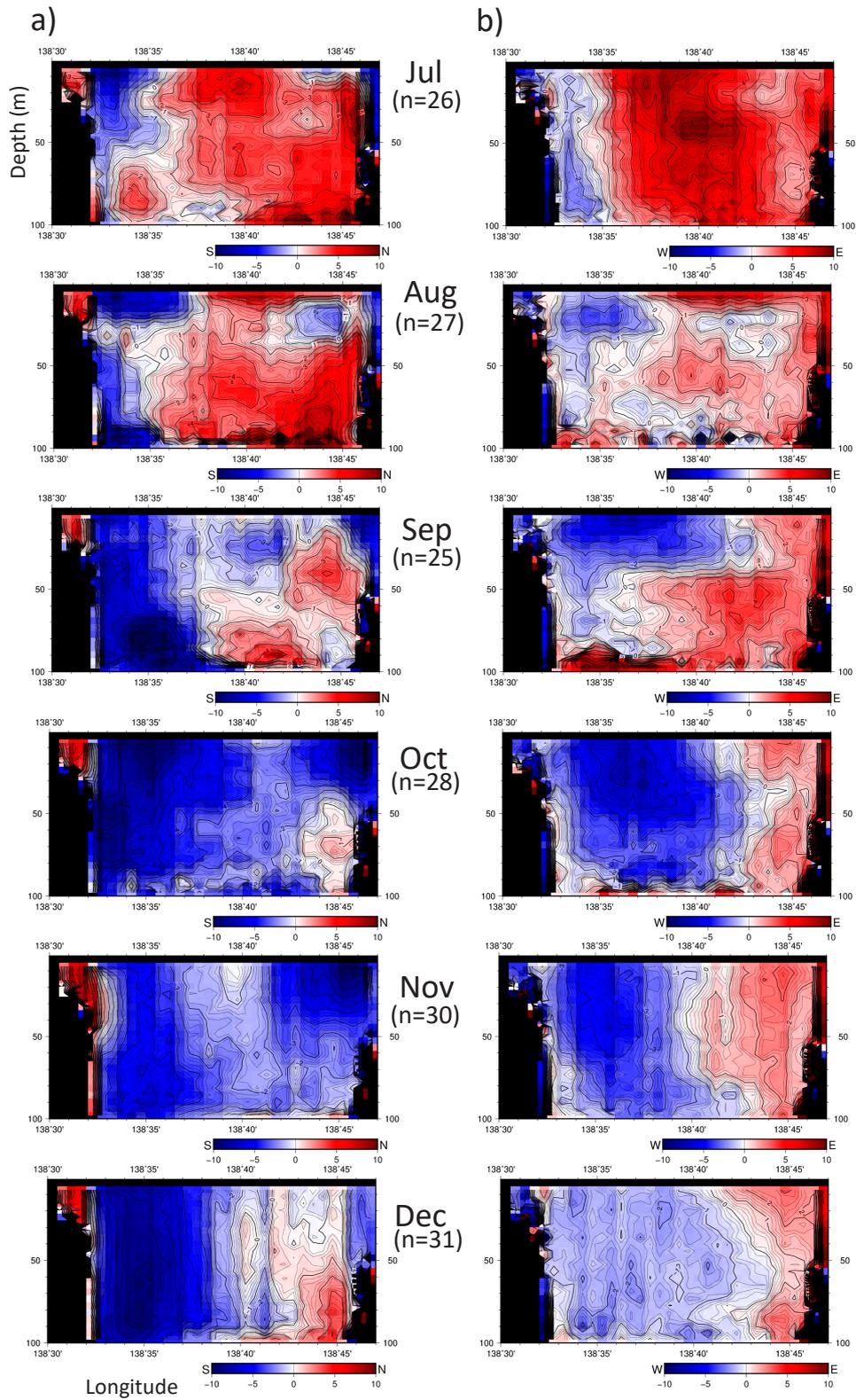


Fig. 3. continue.

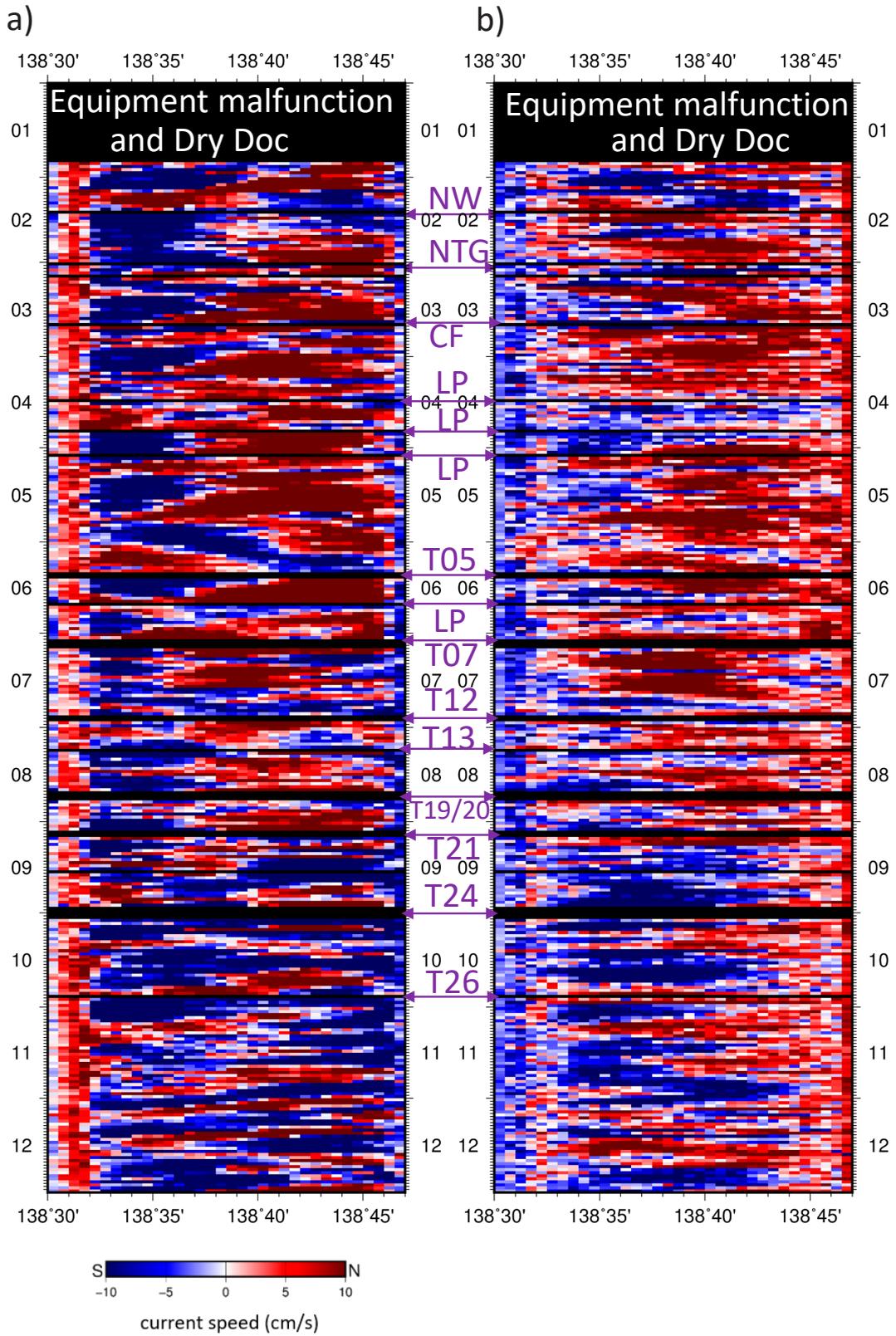


Fig. 4. Time series of daily mean current in 2018 along the path of Suruga-wan ferry cruise. The panel a) indicates the meridional current speed, and panel b) does the zonal current speed.

2015年から2017年と同程度の位置である。全期間全測点全層平均の南北平均流は0.346 cm/secで2017年の-0.508 cm/sec, 2016年の0.929 cm/secおよび2015年の0.458 cm/secと比較すると流入過多すなわち正の海水フラックスで平常並みといえる。なお流出過多を示した2017年は機器の不調などが多く、全体でも約7ヶ月分のみ観測データの平均で観測期間は降水の多い時期が中心となっていたことが考えられる例外的な年である。

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北向きに0.346 cm/secの流入である。これは観測期間が短かった2017年を除く過去の結果と同様の流入傾向である。
- (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。これは2015年からの過去の報告と同様の結果である。
- (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。降水の多い時期と少ない時期で環流のパターンが大別できる。これはInaba (1981) や稲葉 (1988) が恒常的な反時計回りの環流を報告したことに對して、あらたに鉛直構造が100 m以上の規模を持つこと、さらに季節変動があり決して恒常的ではないことを新たな知見として示す。
- (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。これも過去の一連の本報告と同様の結果である。

謝 辞

本観測は、株式会社エスパルスドリームフェリー様（現在は富士山清水港クルーズ株式会社様）、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・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.
- 勝間田高明・仁木将人・田中昭彦・丹佑之・高嶋恭子・福田巖 (2019a): 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・仁木将人・田中昭彦・丹佑之・高嶋恭子・福田巖 (2019b): 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—, 東海大学海洋研究所研究報告, 41, 45-53.
- 気象庁(2020): 日々の天気図, No 192 - No 203, <https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/>.
- 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.