

# 駿河湾深層水の取水海域における流動特性

Characteristics of Current Variations in the Intake Sea Area  
of the Suruga Bay Deep Seawater

黒山 順二<sup>1</sup>・筒井 浩之<sup>2, 1</sup>・三森 智裕<sup>3, 1</sup>・安川 岳志<sup>1</sup>・豊田 孝義<sup>1</sup>・中島 敏光<sup>1</sup>  
Junji KUROYAMA, Hiroyuki TSUTSUI, Tomohiro MITSUMORI,  
Takeshi YASUKAWA, Takayoshi TOYOTA, and Toshimitsu NAKASHIMA

## Abstract

Shizuoka Prefecture has been promoted the project for effective usage of deep seawater in Suruga Bay. The intake pipes of the deep seawater at depths 397m and 687m were laid in Senoumi Basin off Yaizu in August 2000. In order to contribute the promoting of the project, JAMSTEC carried out the mooring observation to grasp the characteristics of current variations in the deep seawater intake sea area off Yaizu for about 3 months from November 1999 to February 2000, when the construction laying of deep seawater had not started yet.

We analyzed the time series data obtained on the flow direction and velocity, and water temperature and salinity in the wide range of depths. The results indicated that strong tide variations occurred in the periods of half a day and one day and other variations occurred in the periods of order several or ten days in even the depths down to several hundred meters. Being averaged each velocity components over the whole period of the mooring observation, strong southwestward current was predominant in the surface layer of the depths up to about 250m, while weak northward counter current existed in the middle and deep layers. Being used mean and standard deviation of absolute velocity, it was suggested that periodic current variations in the deep layer were bigger than we had expected.

**Key Words:** Deep seawater, Suruga bay, Senoumi basin, mooring system, current variation

## 要　旨

静岡県は、駿河湾における海洋深層水の有効利用事業として2000年8月に取水管の敷設を行い、焼津沖の石花海（せのうみ）海盆における深度397mおよび深度687mに海洋深層水取水口を設置した。海洋科学技術センターは当事業計画の効率的な推進に資するため、取水管工事着工以前の1999年11月8日から約3ヶ月間、焼津沖の深層水取水予定海域において、流動特性を把握する調査を実施した。

調査結果として、多層深度で得られた流速等の解析から、半日周期および1日周期の潮汐変動の他に、数日～10日程度の周期的な流動変動が存在し、これらの変動が数百メートルの深部にまで及ぶことが分かった。また、各流速成分の鉛直分布から、約250m以浅の表層では南西向きの流れが、それ以深では北向きの弱い逆流が存在し、さらに絶対流速に対する時間平均値および標準偏差の鉛直分布から、700mを超す深部でも予想以上に大きな周期的流動変動が存在することが示唆された。

**キーワード：**海洋深層水、駿河湾、石花海海盆、係留系、流動変動

<sup>1</sup>海洋科学技術センター（〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町2番地15）

Japan Marine Science and Technology Center (2-15 Natsushima-cho, Yokosuka, 237-0061 Japan)

<sup>2</sup>株式会社エコニクス（〒004-0015 北海道札幌市厚別区下野幌テクノパーク1-2-14）

Econixe (1-2-14 Technopark, Shimonopporo, Atsubetsu-ku, Sapporo, 004-0015 Japan)

<sup>3</sup>科学技術振興事業団（〒332-0012 埼玉県川口市本町4-1-8）

Japan Marine Science and Technology Center (4-1-8 Honmachi, Kawaguchi, 332-0012 Japan)

## 1. はじめに

静岡県では駿河湾における「海洋深層水」の有効利用事業が推進されており、2000年8月までに取水管の敷設工事を終了し、焼津（やいづ）沖の石花海（せのうみ）海盆における深度397mおよび深度687mに深層水取水口が設置された。深層水取水管の設計・敷設および深層水有効利用のためには、取水立地環境として取水海域の流動変動特性を事前に把握しておく必要である。

駿河湾全体の表層流動については、これまでに巨視的な環流パターン等がかなり明らかとなっている（中村，1972, 1982；Inaba, 1981；稲葉, 1982など）。また、深部の流動については、湾中央部の駿河トラフ（Matsuyama et al., 1993など）等において係留系を使った観測によって、深部の流動特性が解明されつつある。しかしながら、駿河湾の西部に位置する深層水取水海域である石花海海盆においては、これまで長期にわたる係留観測はほとんど行われておらず、特に深部の流動変動特性は未だよ

く分かっていない。

そこで、海洋科学技術センターは、静岡県による当事業計画の効率的な推進に資するため、1999年11月8日から2000年2月1日までの約3カ月間、取水管工事着工以前の焼津沖深層水取水予定海域において、流動特性を把握することを目的として係留系による調査を実施した。係留系には、超音波多層流速計（ADCP），超音波1点流速計（RCM-9），および係留用水温塩分計（SBE16）を取り付け、表層から深層にわたる多層深度の流向・流速、水温、塩分の時系列データを計測した。本稿では、調査に使用した係留系の構成を説明するとともに、係留系によって取得した流向・流速データ等の解析結果に基づき、主に駿河湾深層水の取水海域における流動特性について考察する。

なお本稿では、「海洋深層水（略して深層水）」という用語は、資源利用の立場で、補償深度（大体200m程度）以深の海水の意味で用いている（中島, 1989；高橋, 1999）。

## 2. 係留系の構成

図-1に、本調査に使用した係留系の構成概念図を示す。図-2に、駿河湾の海底地形および係留系

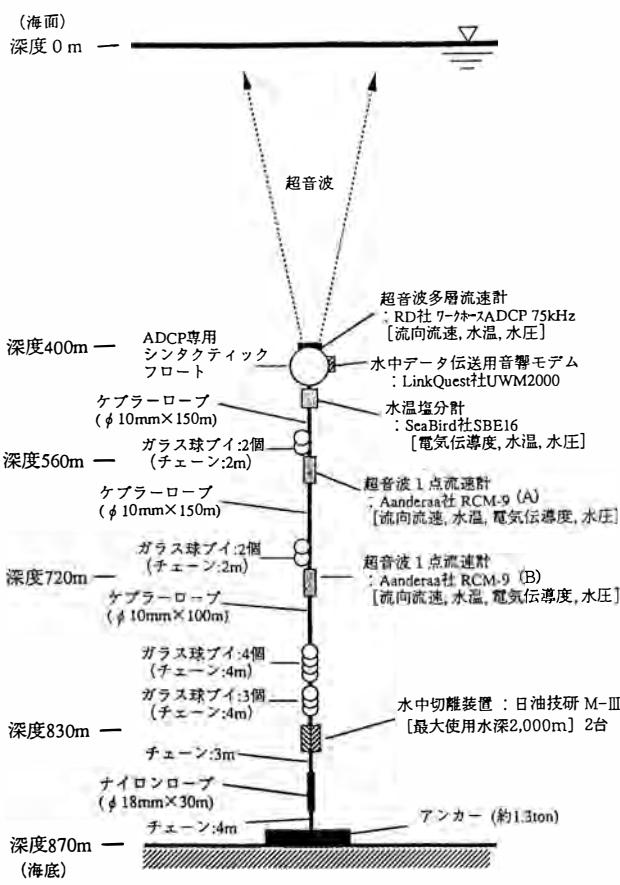


図-1 係留系の構成概念図

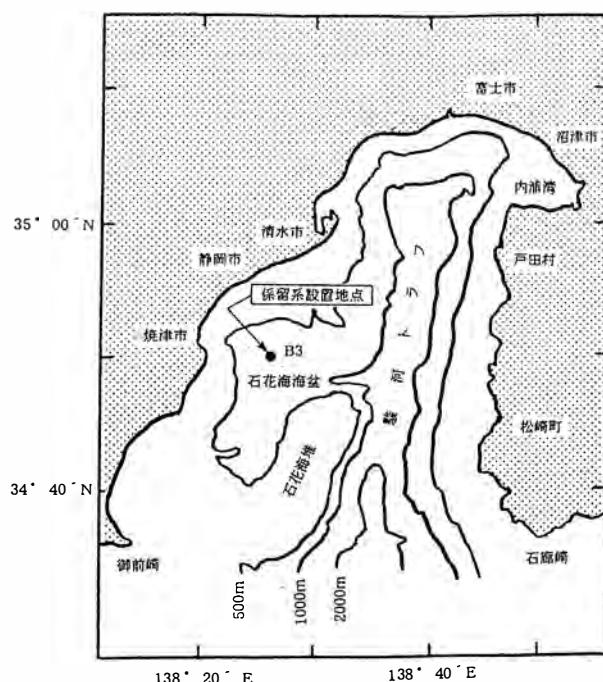


図-2 駿河湾の海底地形および係留系設置地点（係留地点：B3測点）

設置地点を示す。係留系を設置した石花海海盆は特定の漁場にはなっていないものの、湾内の近くには石花海堆など好漁場が多く漁船の通行頻度が多いと予想される。そこで、漁船の通過などに伴う係留系のトラブルを避けるため、また表層における激しい流動変動による係留系の傾斜や振動ノイズなどを極力避けるため、図-1に示す通り、係留系のトップを海面から400 m程度まで深く海中に沈める中層ブイ方式とした。

トップブイにはADCP専用シンタクティックフロート(45インチ・ボールブイ)を使用し、そのトップブイの中に超音波多層流速計(RD社ワークホースADCP 75kHz)1台を上向きに取り付けた。このADCPの上面が、海面下400 m程度の深度に保たれるように係留した。この超音波多層流速計(ADCP)の計測項目は流向・流速、水温、水圧で、30分間隔で鉛直50層の流向・流速を計測するようにパラメータ設定を行った。なお、トップブイには水中データ伝送用音響モジュール(LinkQuest社UWM2000)1台を取り付けている。

トップブイのすぐ下には、係留用水温塩分計(SeaBird社SBE16)1台を取り付けた。この係留用水温塩分計の計測項目は電気伝導度、水温、水圧であり、30分間隔で鉛直50層を計測するようにパラメータ設定を行った。また、超音波1点流速計(Aanderaa社RCM-9)2台を、深度560 m(RCM-9(A))および720 m(RCM-9(B))程度の箇所に1台ずつ取り付けた。この超音波1点流速計の計測項目は流向・流速、水温、電気伝導度、水圧で、30分間隔で計測するようにパラメータ設定を行った。

深度830 m程度の箇所には、水中切離装置(日油技研工業株)2台を並列に接続した。係留系の回収の際には、水中切離装置がうまく作動しないトラブルが少くないと言われている。しかしながら、この並列接続の方法によれば、片方の水中切離装置が仮に作動しない場合でも他方の水中切離装置を作動させることによって、2台の水中切離装置ともに含めて係留系を回収することができる。

以上の計測機器等を基本的には軽量で伸び率の低

いケブラーロープ( $\phi 10\text{ mm}$ )で繋ぎ、途中にチェーンを使ってガラス球ブイを取り付けた。ただし、係留系の最下端におけるアンカー(約1.3 tonの鉄製レールを利用して作った重り)と水中切離装置との間の部分には、アンカー投入時のショックを緩和するためにナイロンロープ( $\phi 18\text{ mm}$ )を使用した。

なお、係留系の構成に関する詳細については、文献を参照されたい(黒山ら, 2000)。

### 3. 調査方法

前節の図2に示した通り、駿河湾深海係留系を石花海海盆のB3測点( $34^{\circ}50.0'N, 138^{\circ}26.0'E$ 、水深870 m)に設置して、1999年11月8日から2000年2月1日まで約3カ月にわたる係留観測を実施した。前述のとおり、駿河湾深海係留系には超音波多層流速計(音響ドップラー流速プロファイラー:ADCP)、超音波1点流速計および係留用水温塩分計などを取り付けてあり、表層から深層にわたる多層の流向・流速および水温・塩分の時系列データを取得した。

係留系設置は1999年11月8日14時30分であった。係留系の設置および回収作業の際には日本海洋(株)所属の調査船である第五開洋丸(141トン)を用船し、係留系の設置および回収作業には船尾に装備されたAフレーム(クレーン)を使用した。係留系設置の際には、船を風に向かって微速前進させながら、トップブイから投入して下流へ流しながら係留系構成部品を順次投入して最後にアンカーを投入した。その後、船に装備されたDGPS(Differential Global Positioning System)を利用して正確な係留系設置地点の確認を行った。

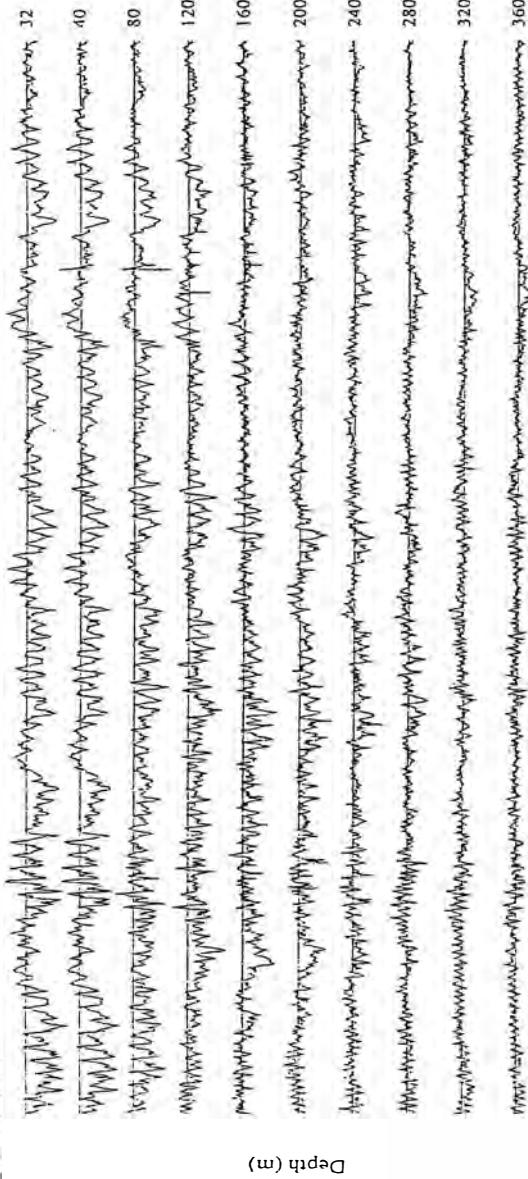
係留系回収は2000年2月1日12時30分であった。係留系回収の際には、設置地点の真上に停船し船上からコマンドを送って水中切離装置を作動させたのち、浮上してきた係留系を下部から甲板上に回収し、最後にトップブイを回収した。

さらに、下船後、焼津市内の海洋科学技術センター海洋深層水分析研究棟において、係留していた各計測機器に記録された各データの解析を行った。

#### 4. 調査結果および考察

図-3に、超音波多層流速計(ADCP)によって計測された各深度層における(a)東向き流速成分 $u$ と(b)北向き流速成分 $v$ の時系列を示す。上向きADCPの場合、海面付近での散乱の影響によるコンタミネーション層の存在により、海面から深度5mには、超音波1点流速計(RCM-9(B))による

(a) East comp.



(b) North comp.

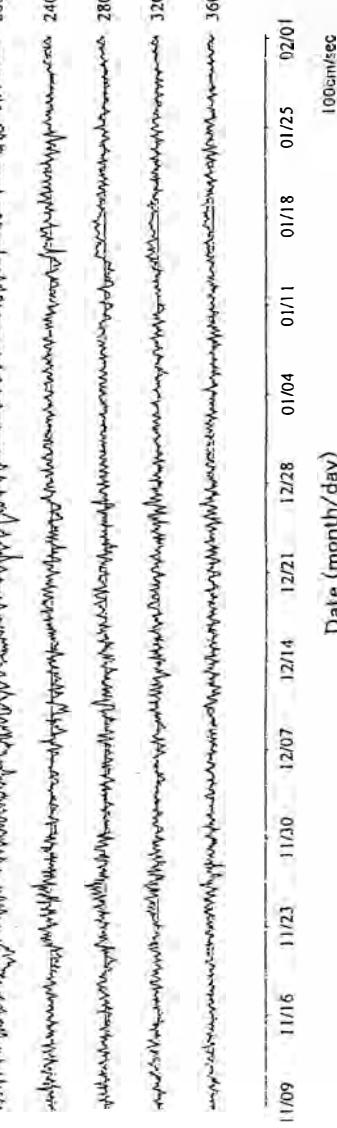
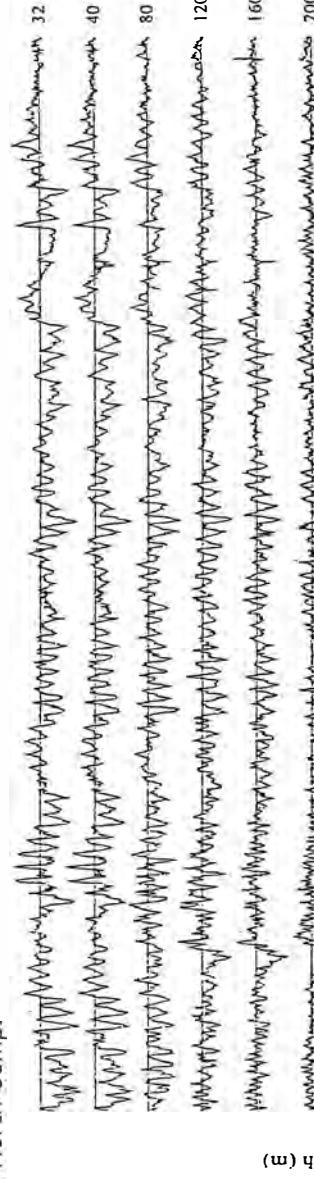


図-3 超音波多層流速計(ADCP)による各深度層における流速の時系列  
(係留観測期間：1999年11月8日～2000年2月1日)  
(a) 東向き流速成分 $u$  (cm/s)  
(b) 北向き流速成分 $v$  (cm/s)

720 m 深度層における (a) 東向き流速  $u$  と (b) 北向き流速  $v$  の時系列を示す。図-3, 図-4 および図-5において、全層の流速に半日周期および 1 日周期の潮汐変動が顕著に見られる。これらの変動は、特に 240 m 層より以浅の表層において顕著であるが、

700 メートルを超す深部にまで及んでいることが分かる。

次に、図-3, 図-4 および図-5について、もっと長周期の変動を調べる目的で、潮汐変動を除去するため 1 日移動平均を取ってみた。その結果と

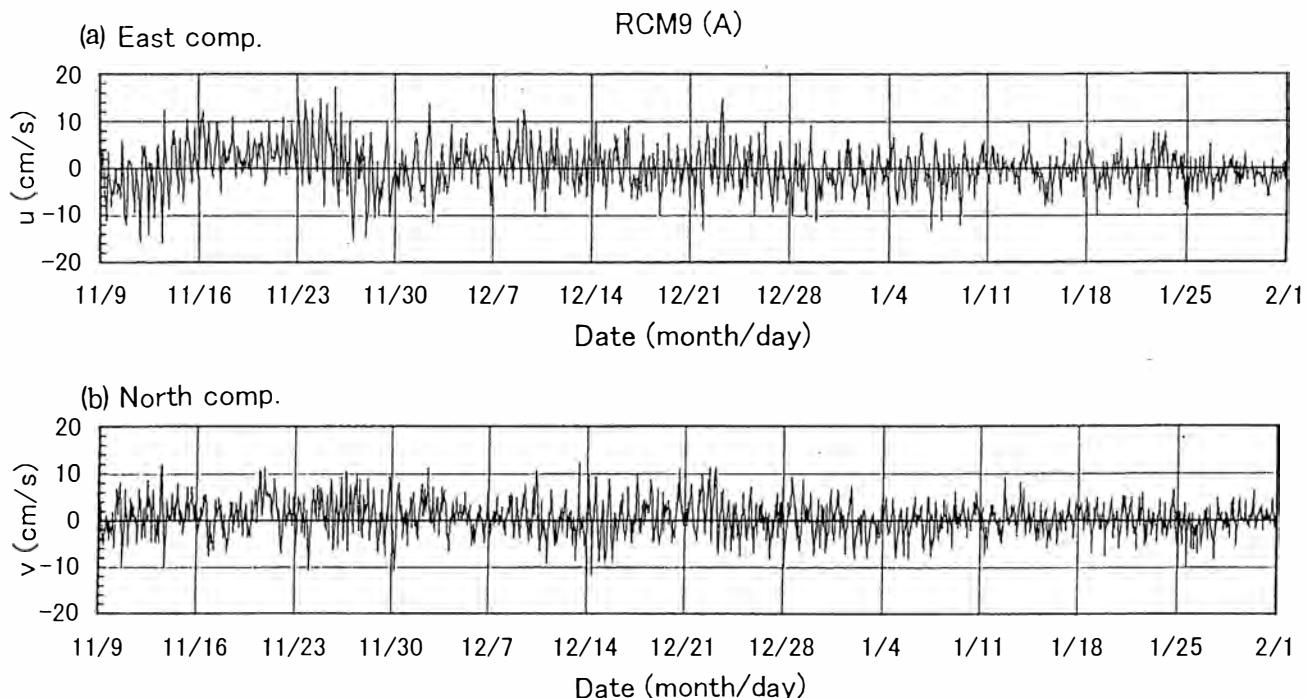


図-4 超音波 1 点流速計 (RCM-9 (A)) による 560 m 層における流速の時系列  
(係留観測期間：1999 年 11 月 8 日～2000 年 2 月 1 日)  
(a) 東向き流速成分  $u$  (cm/s)  
(b) 北向き流速成分  $v$  (cm/s)

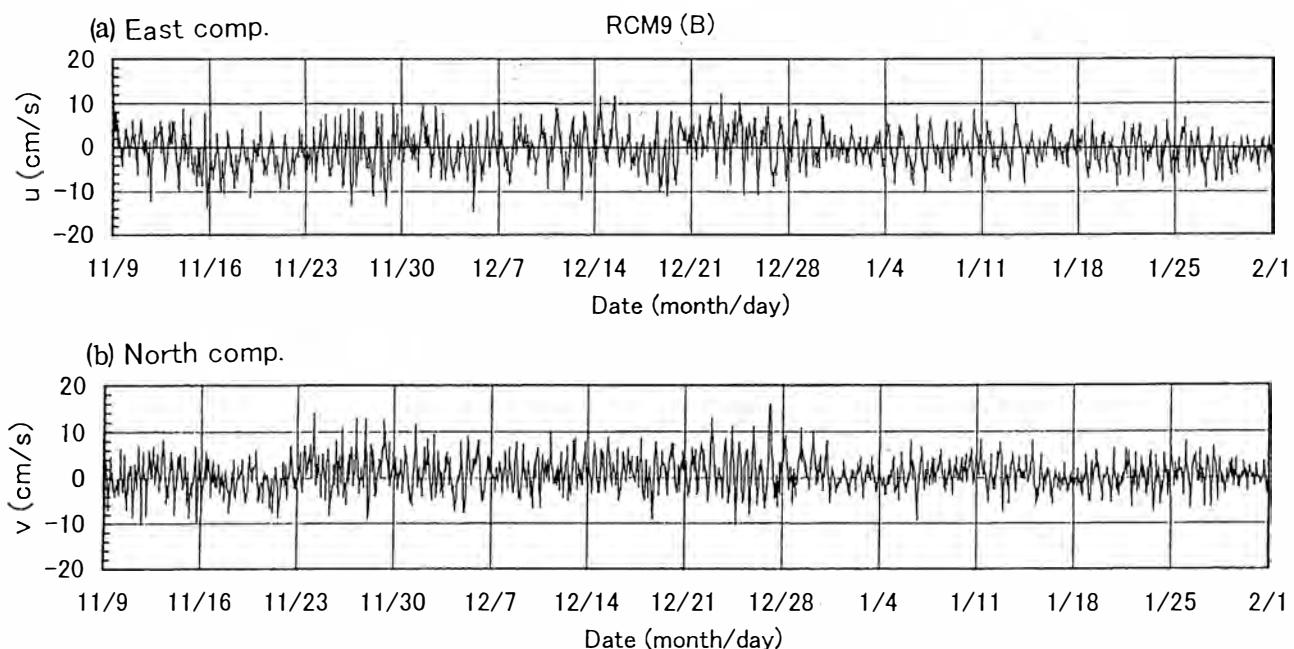


図-5 超音波 1 点流速計 (RCM-9 (B)) による 720 m 層における流速の時系列  
(係留観測期間：1999 年 11 月 8 日～2000 年 2 月 1 日)  
(a) 東向き流速成分  $u$  (cm/s)  
(b) 北向き流速成分  $v$  (cm/s)

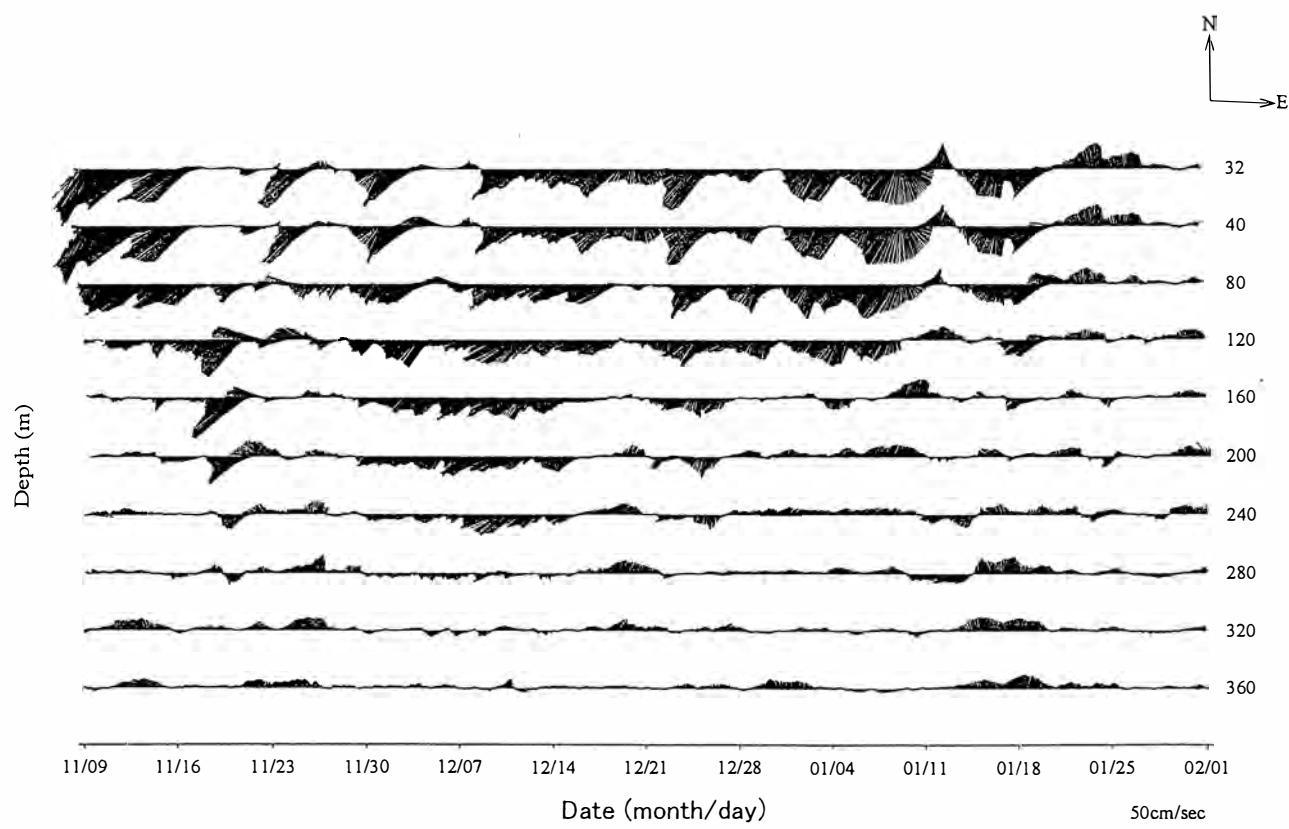


図-6 超音波多層流速計 (ADCP) による各深度層における流動スティックダイアグラム (1日移動平均結果)

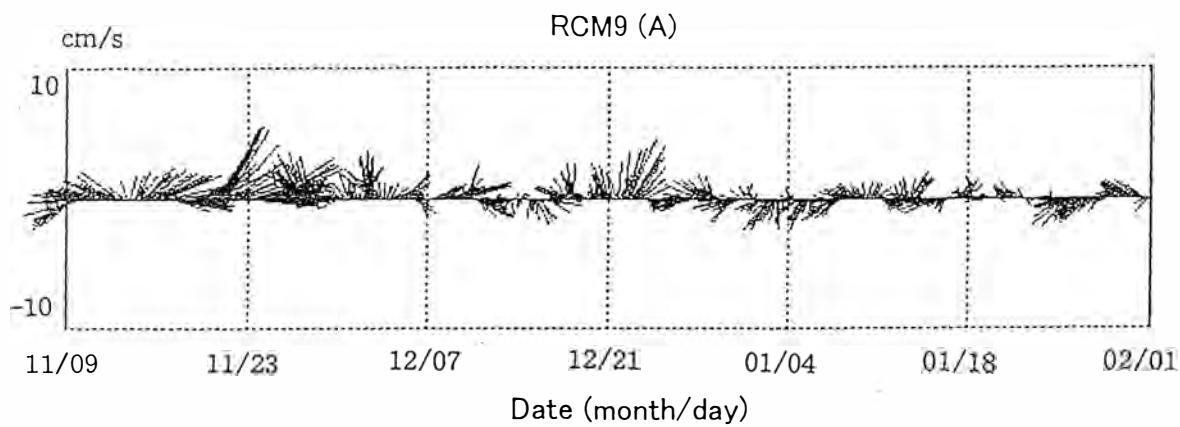


図-7 超音波1点流速計 (RCM-9 (A)) による 560 m 層における流動スティックダイアグラム (1日移動平均結果)

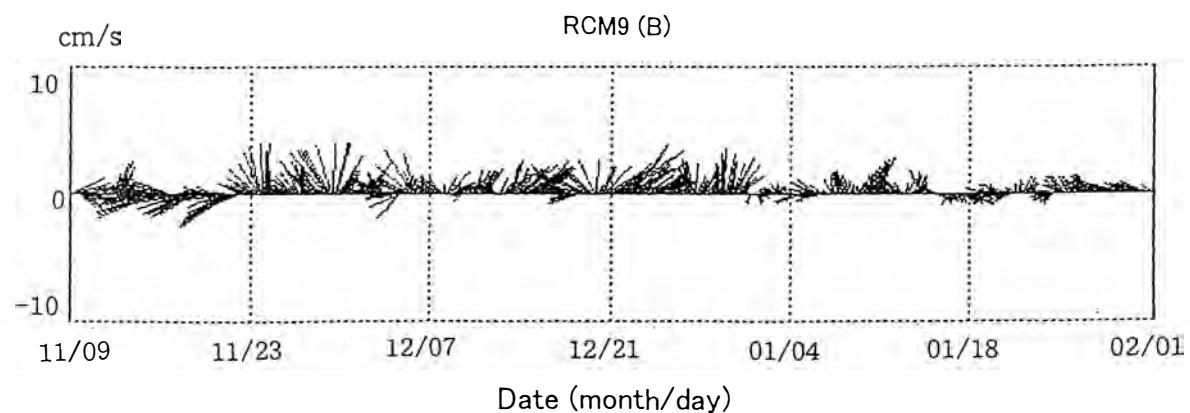


図-8 超音波1点流速計 (RCM-9 (B)) による 720 m 層における流動スティックダイアグラム (1日移動平均結果)

して、各深度層における流動スティックダイアグラム（流速ベクトルの時系列）を、それぞれ図-6、図-7 および図-8 に示す（いずれの図も、右方向を東、上方向を北として、流速ベクトルを描いている）。1 日移動平均流の時間的変化を見ると、240 m 層以浅の表層において流速変動が大きく、数日から 10 日程度の周期で変動している。また表層では南西向きの強い流れが支配的であり、32 m 層および 40 m 層では最大流速が約 50 cm/s を超える時もある。一方、280 m 層以深には北方向きの弱い流れが存在している。

さらに、上記の ADCP, RCM-9 (A), および RCM-9 (B) による流速データについて、約 3 カ月の全期間にわたる時間平均を取った。まず図-9 は、全期間にわたる各流速成分の時間平均値の鉛直分布である。各流速成分別に深度による変化を見ると、まず東向き流速成分は、約 300 m 以浅で負値（つまり西向き流れで、深度 60 m で極小値は -8.8 cm/s）を示し、それ以深でわずかに正値（つまり東向き流れで、深度 330 m で極大値は 0.5 cm/s）

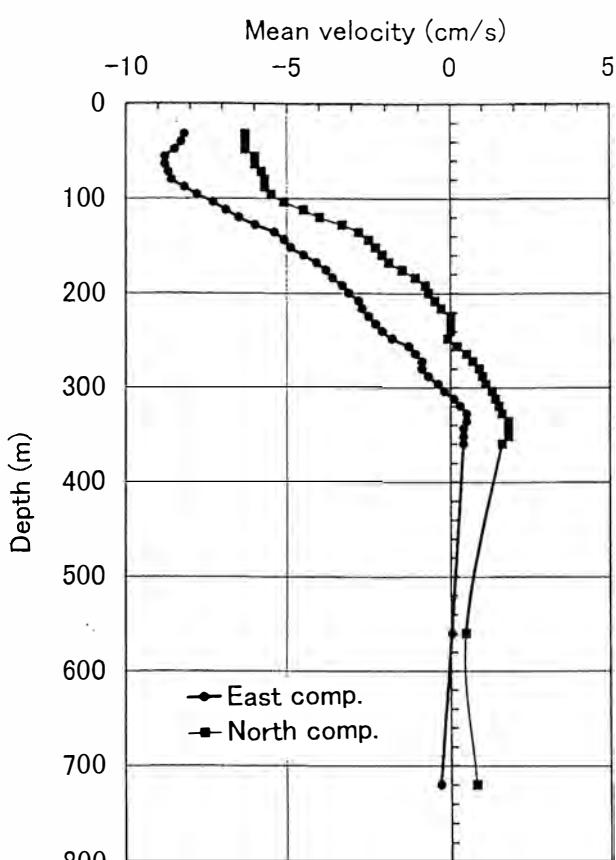


図-9 各流速成分に対する全期間にわたる時間平均値の鉛直分布

を示した後、さらに約 500 m 以深では流速値はほぼ 0 になる。一方、北向き流速成分は、約 240 m 以浅で負値（つまり南向き流れで、深度 40 m で極小値は -6.3 cm/s）を示し、それ以深で正值（深度 340 m で極大値 1.8 cm/s, 深度 560 m で極小値 0.5 cm/s）を示す。したがって、全期間にわたる時間平均流については、約 250 m 以浅の表層においては南西向きの強い流れがあるのに対して、それ以深ではほぼ北向きの弱い逆流が存在することが分かった。

次に各深度の流動の状況を比較するために、40, 200, 360, 560, 720 m 層を選び出し、これら 5 層における絶対流速に関する統計量、すなわち全期間にわたる時間平均値、最大値、最小値、標準偏差、および変動係数（相対標準偏差）を計算した。図-10 は、絶対流速に対する時間平均値、最大値、最小値の鉛直分布である。まず各層の時間平均値を見ると、深度とともに減少し、40 m 層では 16.5 cm/s, 720 m 層では 4.5 cm/s である。図-10 の絶対流速に対する時間平均値は、図-9 の各流速成分に対する時間平均値に比べて、各深度層において値が大きい（約 2 倍程度）。これは、先述したように全深度にわたって潮汐変動などの周期的流動変動が存在するため、図-9 では流速を東西成分と南北成分に分けて時間平均を取った際に周期的成分が消去されてたためである。次に各層の最大値を見ると、表層で大きくて 40 m 層において 57.0 cm/s, 200 m 層において 40.3 cm/s である。さらに、深度とともに減少するが、約 350 m 以深の深部では 0 に近づくのではなくて、ほぼ一定値に漸近する傾向を示し、最深の 720 m 層で 17.1 cm/s である。図示はしないが、絶対流速に対する標準偏差の鉛直分布も、時間平均値の鉛直分布と同様の傾向を示し、深度とともに減少するが、400 m 程度以深の深部では 0 に近づくのではなく、ある一定値に漸近する傾向を示している。駿河湾深層水の取水深度（687 m）に近い 720 m 層では、平均値は 4.5 cm/s、標準偏差は 2.1 cm/s、最大値は 17.1 cm/s、最小値は 0 であった。図-11 に、絶対流速に対する変動係数（相対標準偏差）C.V. の鉛直分布を示す。こ

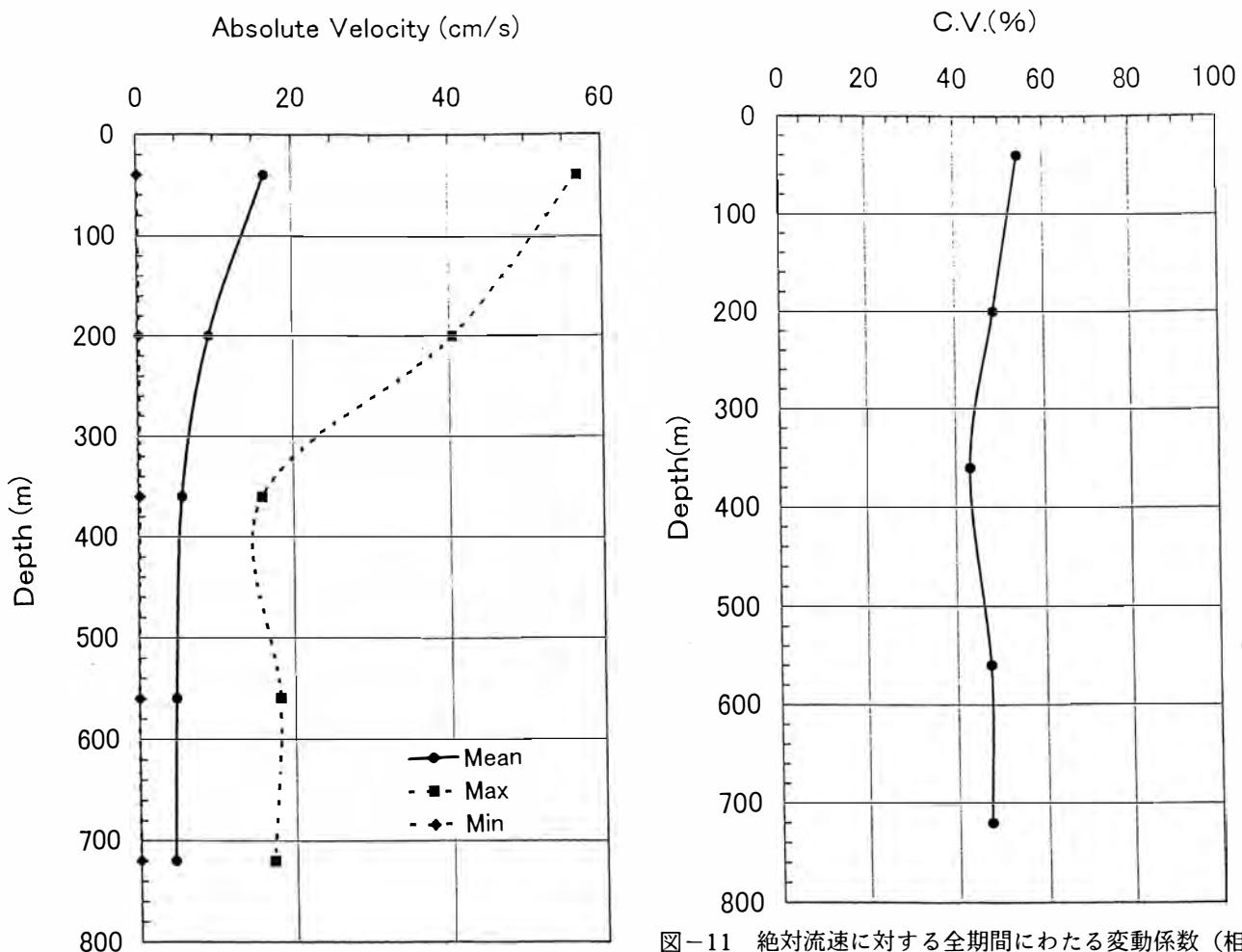


図-10 絶対流速に対する全期間にわたる時間平均値、最大値、最小値の鉛直分布

れば、標準偏差を平均値で割り、百分率で表した値として定義される。変動係数は各深度層による違いがあまりなく、50 %程度の値である。40 m 層で 54.1 %の最大値をとり、深度とともに減少し、360 m 層で 43.1 %の極小値をとった後、それ以深でまた高くなって 360 m 層で 47.1 %となっている。これらの結果は、湾内深部において予想以上に（意外と）大きな周期的流動変動が存在することを示唆している。

以上の通り、係留系を設置した石花海海盆における流動特性がかなり明確になった。表層における南西向き流れの卓越は、駿河湾に関するこれまでの研究によって明らかにされている反時計回りの環流の存在とほぼ整合していると思われる（中村, 1972, 1982; Inaba, 1981; 稲葉, 1982 など）。表層における流動変動の要因としては、係留観測期間中に卓越していた北方系の風による影響がまず考えられる。

図-11 絶対流速に対する全期間にわたる変動係数（相対標準偏差）の鉛直分布

一方、中・深層にまで及ぶ流動変動の要因については、先述の深部における流動の周期的変動を考えると、半日および 1 日の潮汐周期およびその他の周期を持つ内部波の存在が予想される。駿河湾の急峻な海底地形の影響によって、深部でも内部波による大きな流動変動が存在している可能性がある。今後、スペクトル解析などによって卓越周期を明確にするとともに、この変動要因について詳しく検証する必要があると思われる。

## 5. おわりに

駿河湾深層水の取水海域である石花海海盆に、超音波多層流速計 (ADCP) などを取り付けた係留系を設置し、平成 11 年 11 月から平成 12 年 2 月まで約 3 カ月間にわたる係留観測を実施した。表層から深層にわたる多層深度で得られた流向・流速などの時系列データ解析から、半日周期および 1 日周期の潮汐変動の他に数日～10 日程度の周期的な

流動変動が存在し、これらの変動が 700 メートルを超す深部にまで及ぶことが明らかになった。また、係留系による調査期間の全平均を取って流速の鉛直分布を調べると、約 250 m 以浅の表層では南西向きの強い流れが支配的であったが、それ以深の深部には北向きの弱い逆流が存在することが分かった。また、駿河湾深層水の取水深度（687 m）に近い 720 m 層においても絶対流速の時間平均値は約 5 cm/s あるとともに、内部波などの影響によって深部でも予想以上に大きな流動変動が存在することが示唆された。

なお、我々が同時期に実施した別の海域調査によつて、石花海海盆の深部において濁度および懸濁粒子濃度がやや高い傾向が明らかとなった。その原因としては、大きな河川から流れ込む土泥や海底急斜面の地滑り等による海中懸濁が考えられるが、さらに上述の深部における流動変動に伴う海底堆積物の巻き上げによる再懸濁も懸念される（坂本ら、1989；柳ら、1999）。今後、駿河湾深層水の取水口近くの海底境界層を中心に、濁りの分布状況を精査するとともに、その原因の究明を行う必要があると思われる。

#### 参考文献

- 1) 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
- 2) Matsuyama, M., S. Ohta, T. Hibiya and H. Yamada (1993): Strong Tidal Currents Observed near the Bottom in the Suruga Trough, Central Japan, *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 49, 683-696.
- 3) 稲葉栄生（1982）：駿河湾海況と黒潮流軸位置との関係、沿岸海洋研究ノート、19 (2), 94-102.
- 4) 黒山順二・畠山 清・高尾宏一・筒井浩之・豊田孝義・中島敏光（2000）：駿河湾深海係留系を使った石花海海盆における流動変動の観測、海洋科学技術センター試験研究報告、42, 127-137.
- 5) 坂本 亘・川名吉一郎（1989）：海底高濁度層の季節変化、水産海洋研究、53 (1), 6-12.
- 6) 高橋正征（1999）：用語解説（第 1 回）海洋深層水、海洋深層水利用研究会ニュース、3 (1), 14.
- 7) 中島敏光（1989）：用語解説・海洋深層水、JAMSTEC, 1 (1), 68
- 8) 中村保昭（1972）：駿河湾の海況学的研究Ⅱ－湾奥部表層における流動－、沿岸海洋研究ノート、9 (2), 44-53.
- 9) 中村保昭（1982）：水産海洋学的見地からの駿河湾の海洋構造について、静岡県水産試験場研究報告、17, 1-153.
- 10) 柳 哲雄（1999）：東京湾海底峡谷における濁度の季節変動、8 (3), 192-195.

(2001. 2. 5 受付, 2001. 4. 19 受理)