

山陰海岸沖のけるADCP観測結果とこれに適用した潮流分離手法について

磯辺, 篤彦

九州大学大学院総合理工学研究科大気海洋環境システム学専攻

千手, 智晴

水産大学海洋生産管理学科

杉原, 滋彦

水産大学海洋生産管理学科

高柳, 進

水産大学校天鷹丸

他

<https://doi.org/10.15017/17468>

出版情報：九州大学大学院総合理工学報告. 20 (2), pp.175-182, 1998-09-01. 九州大学大学院総合理工学研究科

バージョン：

権利関係：



山陰海岸沖における ADCP 観測結果と これに適用した潮流分離手法について

磯 辺 篤 彦* · 千 手 智 晴** · 杉 原 滋 彦**
高 柳 進*** · 船 戸 健 次*** · 黒 田 拓 幸***
堀 田 俊 孝*** · 小 蘭 宏 文***

(平成10年5月29日 受理)

The results of the ADCP surveys off San-in coast and the detiding procedure

Atsuhiko ISOBE*, Tomoharu SENJYU**, Shigehiko SUGIHARA**,
Susumu TAKAYANAGI***, Kenji FUNATO***, Hiroyuki KURODA***,
Toshitaka HORITA*** and Hirohumi OZONO***

We show the results of the ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) surveys, which were carried out off San-in coast in January 1998. We, then, tried to obtain the harmonic constants of four major tidal current components using the ADCP data. The residual current fields, which were estimated through the detiding procedure, are considered to be reasonable.

1. はじめに

対馬暖流の流量や流速の空間構造は、主に対馬海峡における過去の ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) 観測成果を通して明らかになっていった (Kaneko *et al.*, 1991¹⁾; Katoh, 1993²⁾; 河野, 1993³⁾; Isobe *et al.*, 1994⁴⁾). 最近ではこれらの成果を受けて、対馬海峡を横断するフェリーボートに ADCP を設置した毎日の定線観測 (滝川ら, 1985) や、海峡内の10測点程度に海底面設置型の ADCP を配置した観測網の構築 (Perkins, personal communication) が計画され、実行に移されつつある。このように対馬暖流の流量や流速構造のモニタリングシステムは十分に整備されてきたと言える。

我々は次のステップとして、日本海に流入する熱量や淡水供給量といったフラックスの毎月程度のモニタリングを計画している。これらは、東シナ海や日本海の熱や淡水の収支を明らかにする上で必要不可欠な情報であるにもかかわらず、定量的かつ継続的なモニターは現在のところ行われていない。対馬海峡を通過する熱量や淡水フラックスの見積もりは、山口外海水産試験場の観測船“黒潮丸”が月に一回程度、Fig. 1 に示す定線1-9を片道航行する際に実施している、ADCP と CTD (Conductivity Temperature Depth

probe) による観測データの積として評価できるが、この際に、1日以上 of 長期的なフラックスには関与しない潮流成分を ADCP データから除去する手法の確立が要求される。

定線1-9での ADCP データから潮流成分を分離する手法を確立するべく、我々は同測線で今後数回の観測を計画している。本報では潮流分離の手法を紹介し、1998年1月に実施された1回目の観測結果を報告

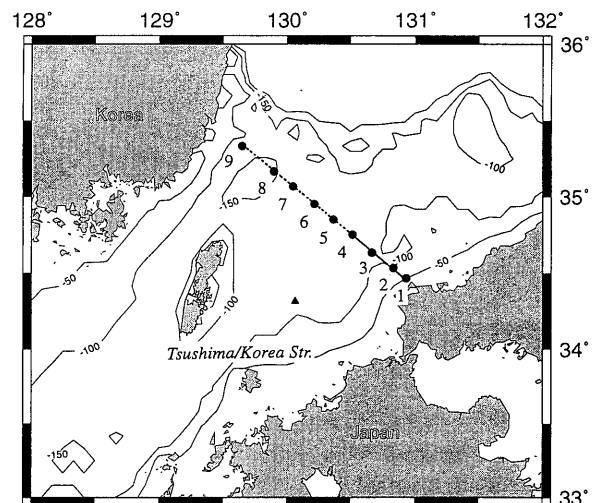


Fig. 1 Observation line in the Tsushima/Korea Straits. Stations 1-9 (dotted line) indicate the observation sites of Kuroshio-maru, Yamaguchi Open-Sea Prefectural Fisheries Station. Stations 1-4 (solid line) indicate observed sites of this study. Also shown is the isobath in meter.

*職員 大気海洋環境システム学専攻
**水産大学校海洋生産管理学科
***水産大学校天鷹丸

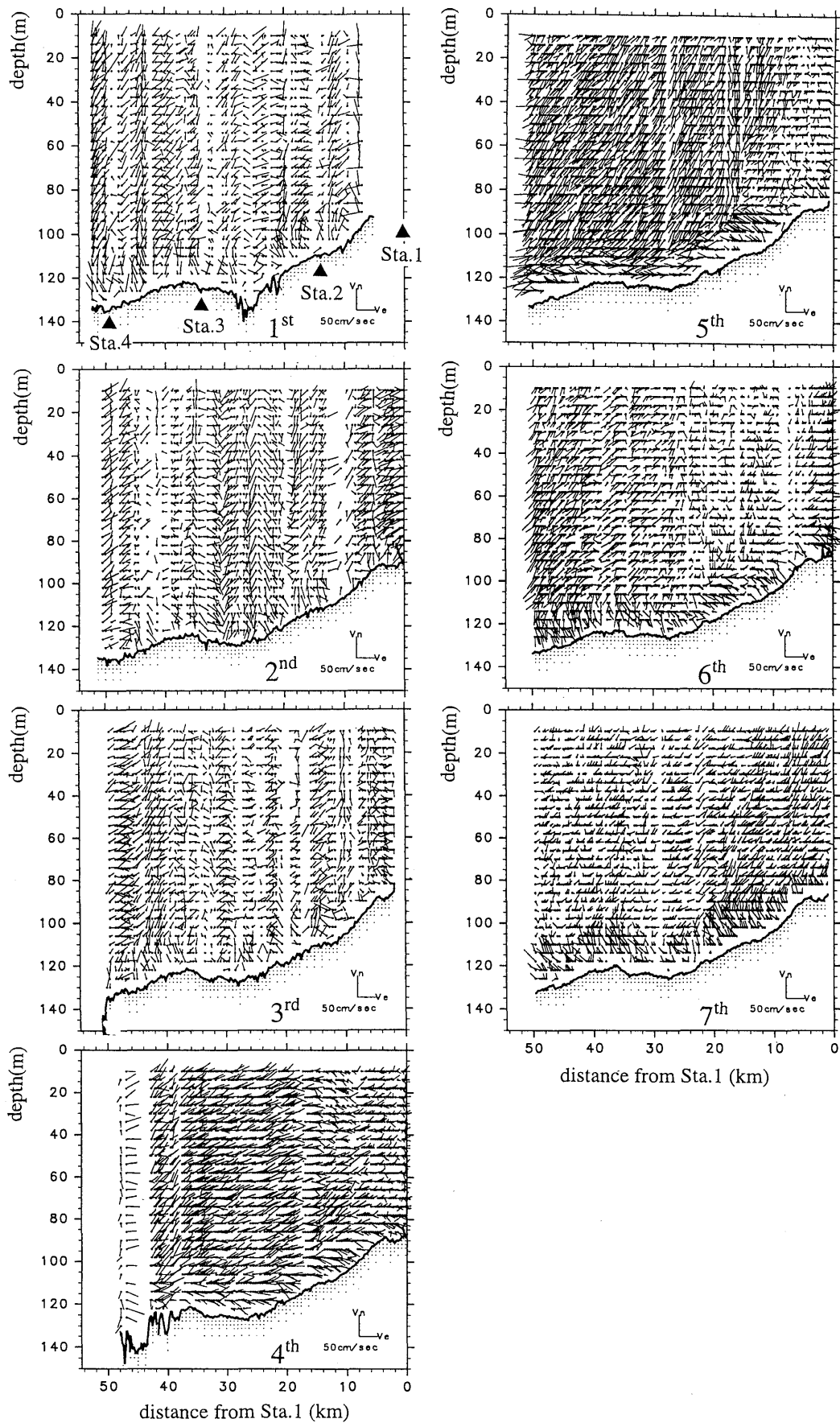


Fig. 2 Vector plots of the current velocity obtained by each ADCP survey. Vector scale and direction are shown in lower right in each panel.

する。

2. ADCP 観測データからの潮流分離手法

最も広く用いられている ADCP データからの潮流分離手法は、以下に示すような ADCP データ自身から潮流を推算し、これを除去するものである (Simpson *et al.*, 1990⁶⁾; Candela *et al.*, 1992⁷⁾). 先ず、1 測線を約24時間で数往復して、同一地点で少なくとも5個以上の流速データを取得し、これらを用いた最小二乗法による調和解析によって測線に沿った潮流調和定数の空間分布を求める。そして、これを用いて推算した潮流成分をもとのデータから差し引くことで残差流成分を求める。しかしこの方法で求めた調和定数は M1 潮、M2 潮のものであり、たとえ同一測線

上の ADCP データであっても他の日の観測データに適用することはできない。我々の目的は、Fig. 1 に示す定線 1-9 を片道航行する ADCP の定期観測データから潮流を分離する手法を確立することであり、このためには少なくとも4大分潮流 (M_2 , S_2 , K_1 , O_1 分潮流) の調和定数を測線に沿ってあらかじめ求めておく必要がある。

そこで、我々は次の方法で測線上の4大分潮流の調和定数を算出することを試みた。まず、測線を24時間以内に3~4往復して ADCP 観測を行い、M1, M2 分潮流の調和定数 (振幅 R_1 , R_2 , 遅角 K_1 , K_2) の測線に沿った空間分布を求める。

また Odamaki (1989)⁸⁾ が Fig. 1 に示す基準点 (▲) で求めている4大分潮流の調和定数 (R'_{M2} , R'_{S2} , R'_{K1} ,

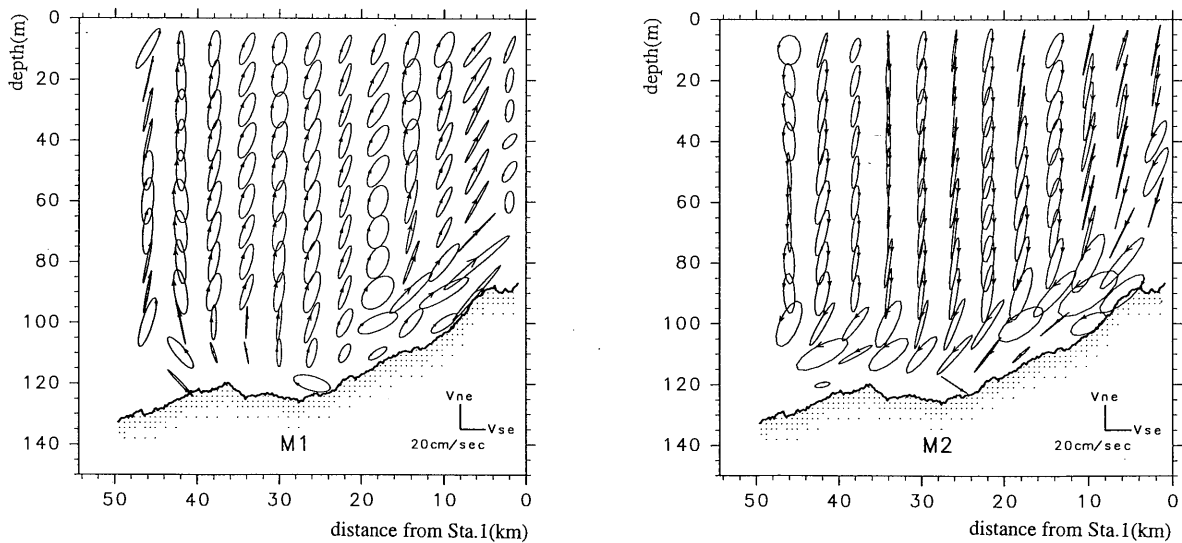


Fig. 3 Tidal ellipses of M1 and M2 tidal current components. Scale and direction are shown in lower right in each panel.

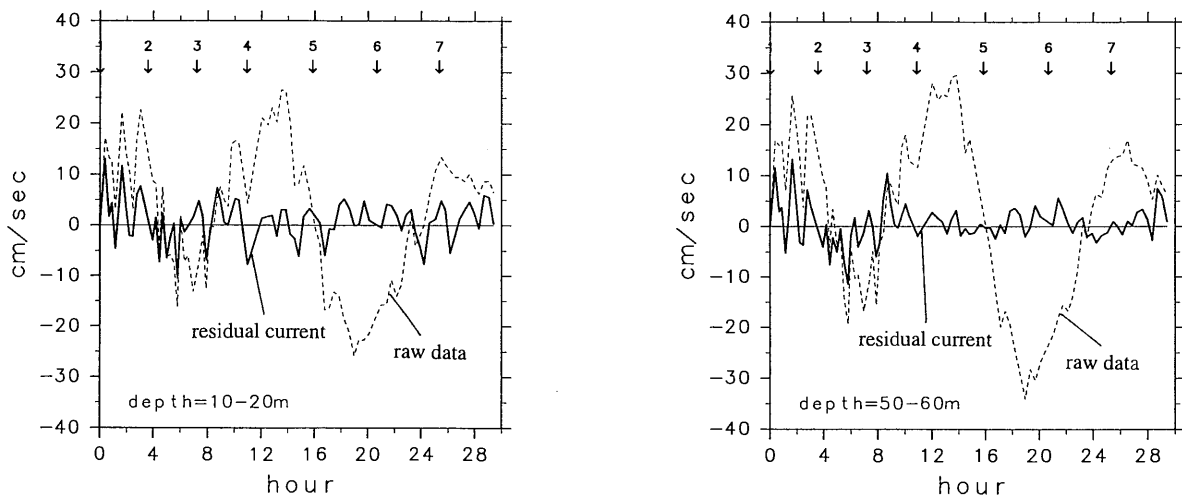


Fig. 4 Temporal variations of the raw ADCP data (dashed line) and the residual current (solid line) at 10~20m depth (left panel) and 50~60m depth (right panel), respectively. Arrows in upper portion of each panel indicate the passing time of each station.

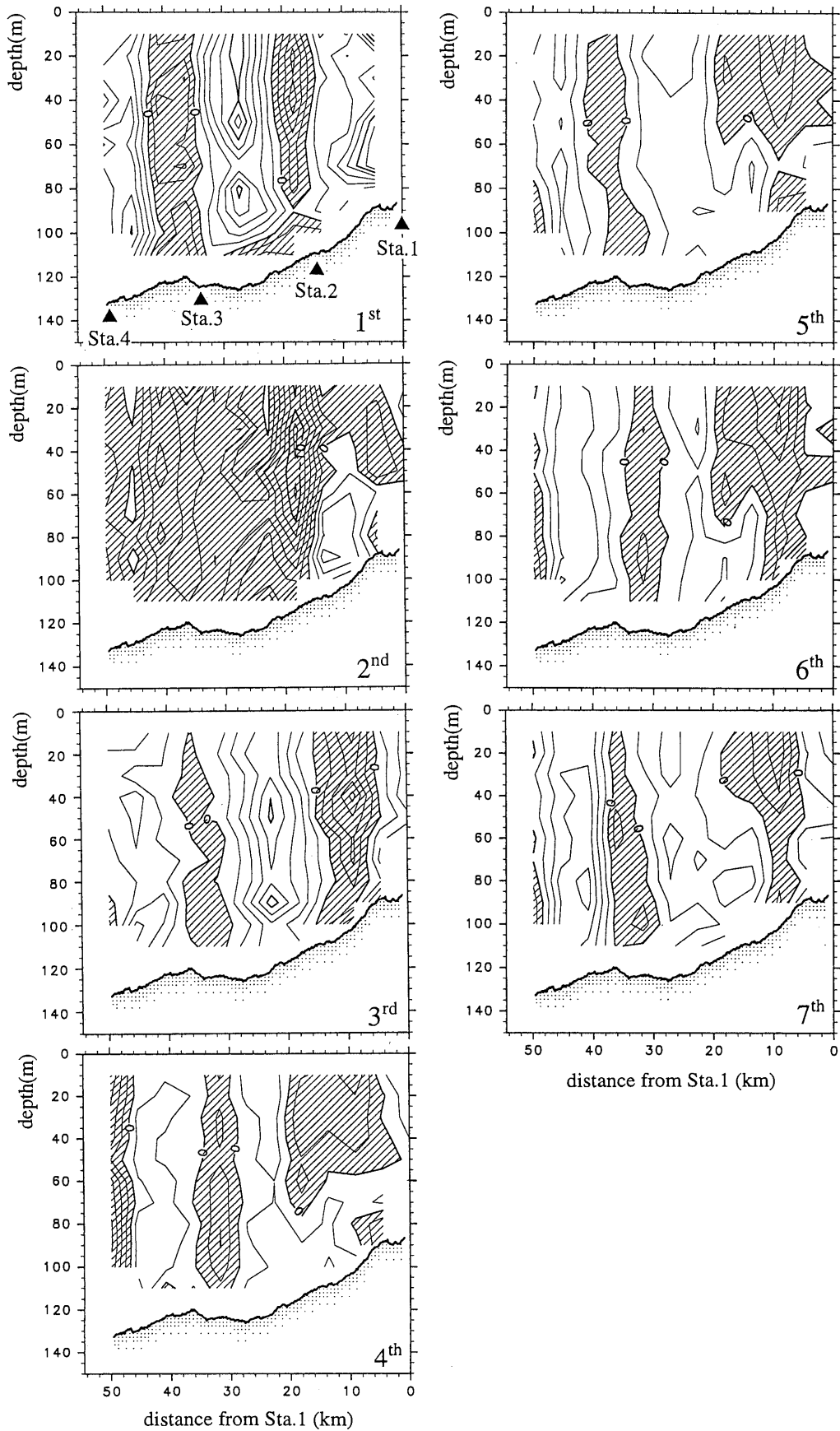


Fig. 5 The residual current field (northeast-southwest component) of each survey, which is obtained by the extraction of the M1 and M2 tidal current components from the raw ADCP data. Positive value indicates the northeastward flow, while the negative value (hatched area) indicates the southwestward flow. The contour interval is 2 cm/sec.

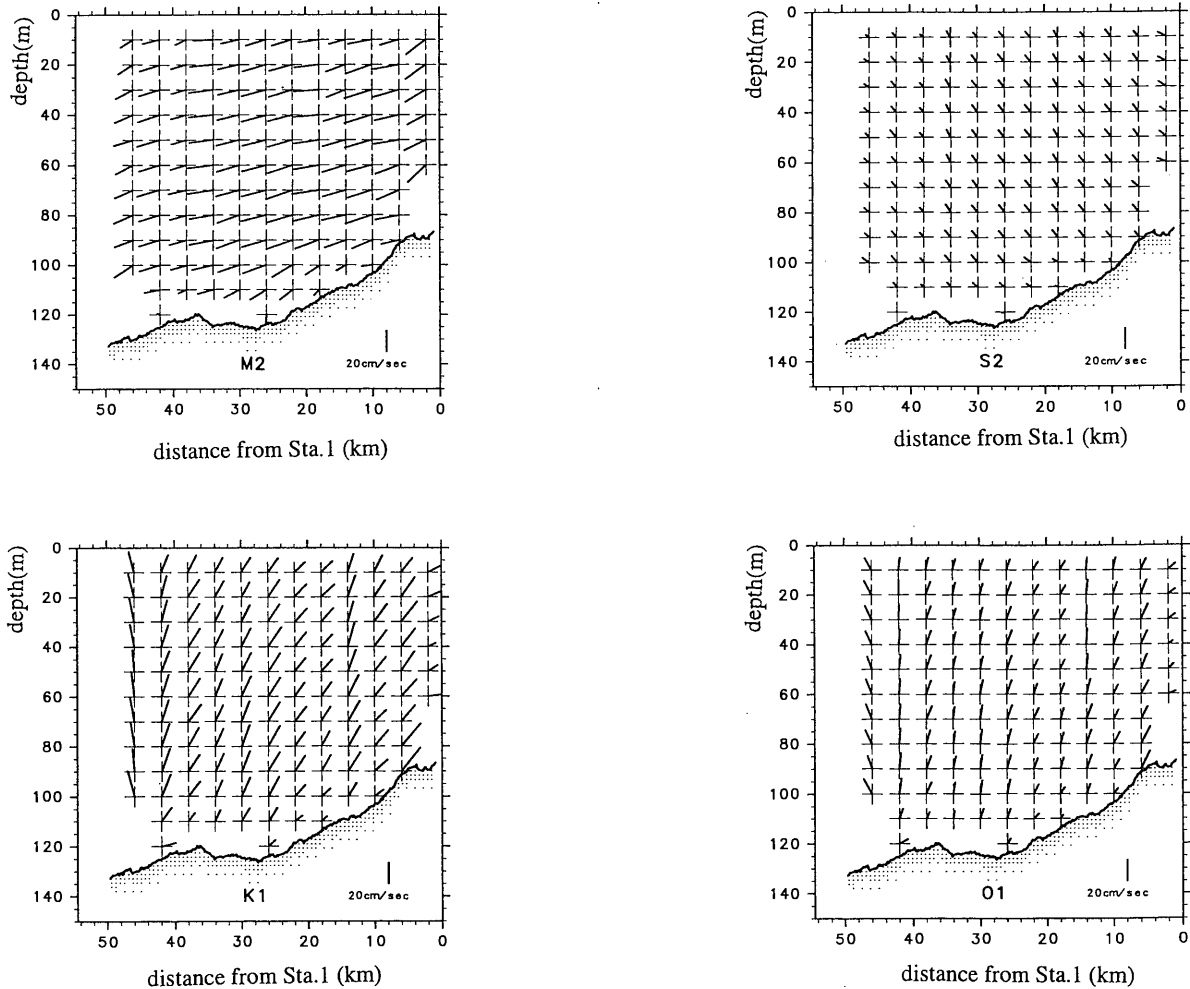


Fig. 6 Harmonic constants of the northeast-southwest component of the four major tidal current components.

R'_{01} , K'_{M2} , K'_{S2} , K'_{K1} , K'_{O1}) を用いて, ADCP 観測を実施した日の潮流を求め, これを調和分解して基準点での $M1$, $M2$ 分潮の調和定数 (R'_1 , R'_2 , K'_1 , K'_2) を算出しておく. さらにこれらの値を使って, 測線上の任意の位置での 4 大分潮流の調和定数 (R_{M2} , R_{S2} , R_{K1} , R_{O1} , K_{M2} , K_{S2} , K_{K1} , K_{O1}) を,

$$\begin{aligned} R_{M2} &= R'_{M2} \times R_2 / R'_2 & K_{M2} &= K'_{M2} + (K_2 - K'_2) \\ R_{S2} &= R'_{S2} \times R_2 / R'_2 & K_{S2} &= K'_{S2} + (K_2 - K'_2) \\ R_{K1} &= R'_{K1} \times R_1 / R'_1 & K_{K1} &= K'_{K1} + (K_1 - K'_1) \\ R_{O1} &= R'_{O1} \times R_1 / R'_1 & K_{O1} &= K'_{O1} + (K_1 - K'_1) \end{aligned}$$

と推算する. 従来この手法は 1 昼夜程度の観測データしかない位置での調和定数を推定する際に用いられてきたものであり, 高い精度を期待することはできない. しかしながら, この観測を複数回実施しその都度求めた調和定数を平均していくことで, これらは真の値に近づいていくことが期待できる.

次節では Fig. 1 の測線上で実施された ADCP 観測

結果を紹介し, 上述の潮流分離手法の有効性を検証する.

3. ADCP 観測結果とこれに適用した潮流分離手法の有効性

観測は 1998 年 1 月 16~17 日に水産大学校練習船“天鷹丸”によって行われた. 浮力体に取り付けた ADCP (RD instrument, 150Hz) を 50m のロープで曳航しながら, Fig. 1 に実線で示す測線 1~4 を時速 6~8 kt で 7 回航行した. 観測に費やした時間は約 28 時間であった. ADCP は 1 分ごとに鉛直解像度 4 m の水平流速プロファイルを得るように設定した.

Fig. 2 にそれぞれの航行時で観測された流速ベクトルの鉛直断面分布を示す. 図中上向き, 右向きがそれぞれ北方, 東方成分を示している. 流れは北東—南西 (等深線に沿った方向, Fig. 1 参照) 成分が最も卓越しているが, 流向, 流速は 7 回の航行時で大きく変化しており, また約 12 時間程度の周期で流速の変動が見られる (Fig. 3 に後述). これはこの海域で潮流が卓

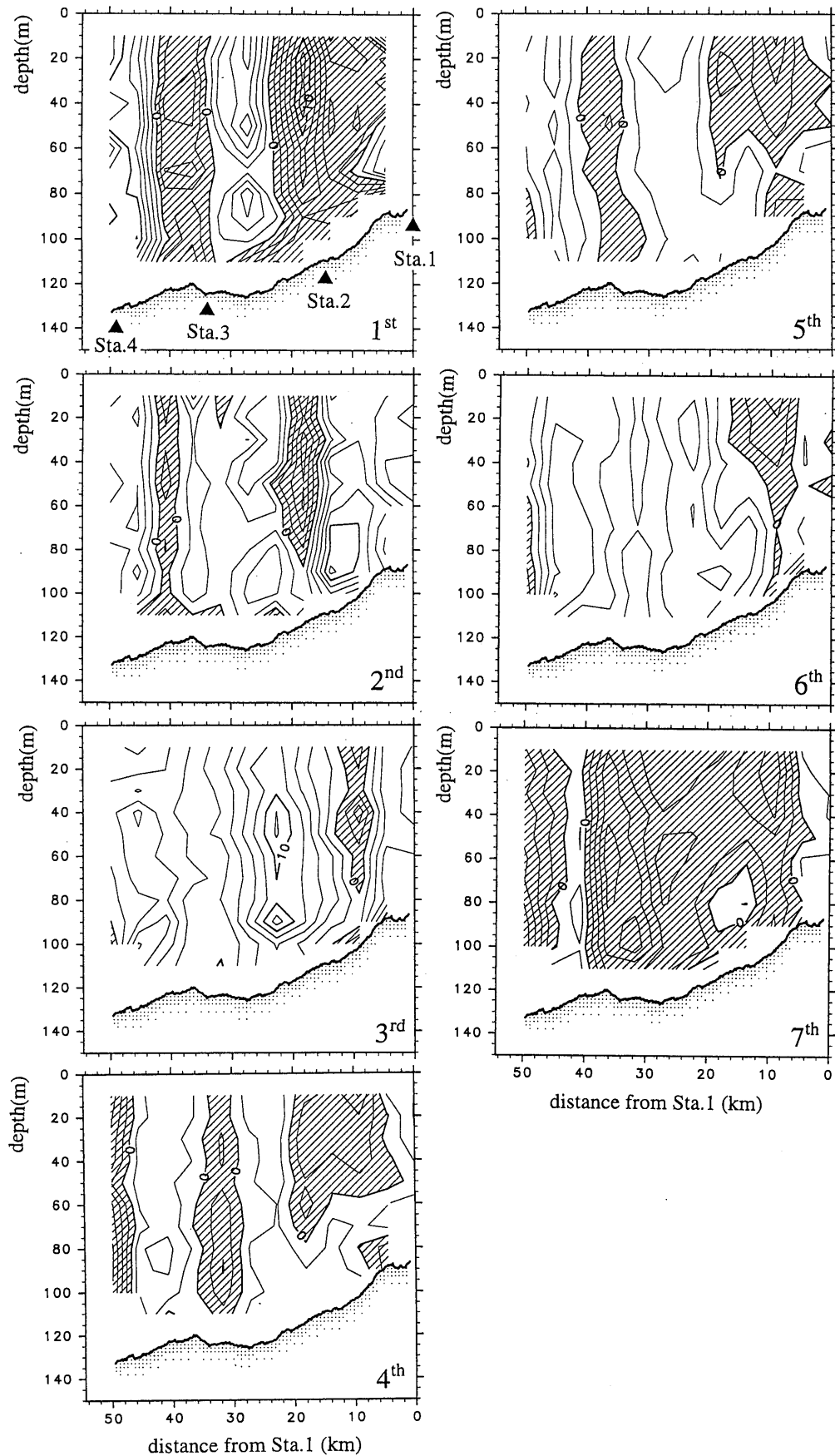


Fig. 7 The residual current fields (northeast-southwest component) of each survey, which are obtained by the extraction of the four major tidal current components from the raw ADCP data. Positive value indicates the northeastward flow, while the negative (hatched) value indicates the southwestward flow. The contour interval is 2cm/sec.

越していたことを示している。また、海底近くでは上層に比べ流向や位相にずれが見られるが、これは海底摩擦の影響による潮流の鉛直構造の変化として理解できる（例えば宇野木，1993⁹⁾）。

Fig. 3 に、同一地点の流速生データを用いて最小二乗法で算出した、M1, M2 分潮流の潮流楕円を示す。図では上向きが北東方向、右向きが南東方向の流速を意味している。楕円長軸上端からそれぞれの楕円に描かれている矢印まで時計回りに計った角度が、観測位置での月の南中時を起時とした遅角を示す。海底付近を除き、どちらの分潮流も北東—南西に主流向があり、また10—20cm/secの振幅を持つことがわかる。

Fig. 4 には、縦軸に流速の北東—南西成分を、横軸には観測開始時からの経過時間をとった10—20m層と50—60m層の時系列をそれぞれ示す。図中で点線は**Fig. 2** で示した生データである。さらに、**Fig. 3** で示した潮流調和定数を用いて潮流を推算し、これを生データから差し引いた残差流成分を実線で示している。生データは12時間程度の周期で変動しており、半日周潮流の影響を強く見ることができる。また日潮不等も見られることより、日周潮流の卓越も示唆される。

これは**Fig. 3** で両方の潮流楕円の振幅がほぼ等しかった結果と矛盾しない。残差流の時系列には10cm/sec 以内の弱い流れしか検出されず、今回の観測では対馬暖流沿岸分枝を捉えることはできなかった。

Fig. 5 はそれぞれの航行時における残差流の北東—南西成分の鉛直断面分布を示す。2回目の航行時を除いて流速分布はかなり似通ったものになっている。観測に要した約28時間内という短期間では残差流の時間変動も少ないと考えれば、この結果は潮流の分離が有効に行われていたことを意味している。

Fig. 6 は前節で述べた手法を用いて推算した、北東—南西成分の4大分潮流の調和定数の鉛直断面分布を示す。図中でベクトルの長さは振幅を、上方から時計回りに計った角度が、それぞれの仮想天体の135°E線通過時を起時とした遅角を表している。M₂, K₁分潮流が20—30cm/secと卓越しており、S₂, O₁分潮流の振幅は10cm/sec程度と小さくなっていた。

Fig. 6 で求めた潮流調和定数を用いて潮流成分を推算し、生データからこれを差し引くことで残差流を算出した。**Fig. 7** にそれぞれの航行時の残差流の空間分布を示す。もし、推算した4大分潮流の値が真の値に近ければ、残差流の空間分布は**Fig. 5** で示したそれらとおおよそ一致するはずである。北東流、南西流の位置や流速は似通っているが、2回目や7目の観測結果のように大きく異なる場合も見受けられる。生データからM1, M2分潮流を差し引いて求めた残差流(**Fig. 5**)と、4大分潮流を差し引いて求めた残差

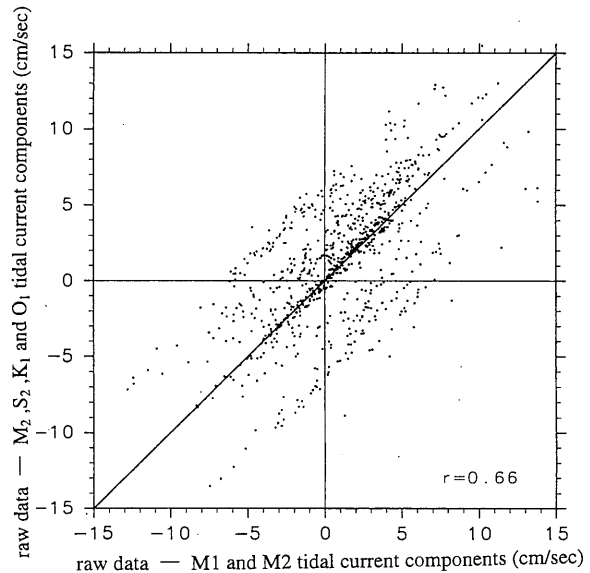


Fig. 8 Scatter diagram which indicates the relationship between two residual current fields. See the text in detail.

流(**Fig. 6**)の相関を**Fig. 8**に示す。相関係数は0.66と比較的良く、4大分潮流の調和定数が現実的な値として推算されたことを示している。しかしながら±5cm/sec程度の値のばらつきが見られ、十分な精度とは言い難い。

4. おわりに

本報で紹介した手法で4大分潮流の調和定数を測線に沿って算出し、ADCP観測結果から残差流を検出することは有効である。しかしながら、今回の観測で得られた調和定数の空間分布は±5cm/sec程度の誤差を含み、十分な精度とは言えない。今回のように複数回の航行で得たADCPデータではなく、定期観測のような片道航行のADCP観測データから潮流を分離するには、より精度の高い調和定数の分布を求めておく必要がある。今後、本報で紹介したような観測を数回行って得た調和定数を平均していくことで、真の値に近い4大分潮流の調和定数を求める必要がある。

観測にご協力いただいた水産大学校練習船天鷹丸の乗組員各氏、水産大学校海洋生産管理学科、九州大学大学院総合理工学研究科の学生各氏に深く感謝する。

参考文献

- 1) Kaneko, A., S.-K. Byun, S.D. Chang and M. Takahashi (1991): An observation of sectional velocity structure and transport of the Tsushima Current across the Korea Strait. In: *Oceanography of Asian Marginal Seas*, ed. By K. Takano, Elsevier, Amsterdam, 179-195.
- 2) Katoh, O. (1993): Detailed current structure in the eastern channel of the Tsushima Strait in summer. *Journal of Oceanography*, 49, 17-30.
- 3) 河野光久(1993): 対馬海峡における流速および流量の経

- 月変動. 水産海洋研究, 57, 219-230.
- 4) Isobe, A., S. Tawara, A. Kaneko and M. Kawano (1994): Seasonal variability of the Tsushima Warm Current, Tsushima-Korea Strait. *Continental Shelf Research*, 14, 23-35.
- 5) 滝川哲太郎, 尹宗煥, 長谷英昭, 曹圭大 (1998): 博多・釜山間における対馬暖流のモニタリング. 1998年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, 32.
- 6) Simpson, J.H., E.G. Mitchelson J. and A. E. Hill (1990): Flow structure in a channel from an acoustic Doppler current profiler, *Continental Shelf Research*, 10, 589-603.
- 7) Candela, J., R.C. Beardsley and R. Limeburner (1992): Separation of tidal currents in ship-mounted acoustic Doppler current profiler observations. *Journal of Geophysical Research*, 97, 769-788.
- 8) Odamaki, M. (1989): Tides and tidal currents in the Tsushima Strait. *Journal of the Oceanographic Society of Japan*, 45, 65-82.
- 9) 宇野木早苗 (1993): 沿岸の海洋物理学. 東海大学出版会, P672.