

トライトンブイ流向流速計の性能評価

長谷 英昭*¹ 黒田 芳史*¹

トライトンブイに取り付けられている超音波式流向流速計 (ADCM) から得られる観測データの品質を確認するため、トライトンブイの設置点近傍の、距離にして約10 km離れた海域に設置していた中層係留型超音波式多層流向流速計 (ADCP) と1998年3月17日から5月17日にかけて流向・流速比較実験を実施した。中層係留ADCPの測定層と同じ層で比較するため、ADCMを深度197 mに特別に取り付けた。その深度には赤道潜流と呼ばれる海流が存在し、表層の流れと比べて時間的・空間的变化が小さく比較実験に適している。比較の結果、ADCMとADCPは良く一致していた。特に25時間以内の短周期変動を除去した場合には、流速では両者の相関が相関係数で0.89、差の標準偏差が3.3 cm/secであり、流向ではそれぞれ相関係数0.99、差の標準偏差3.1°であった。また、それらの差 (ADCM - ADCP) の平均は流速で-0.1cm/sec、流向で-1.4°を示し、ADCMの公称精度以内であることから精度良くデータが得られていることが確認された。

キーワード：トライトンブイ, 流向流速計, 流速データ比較, 中層係留ADCP

Validation of TRITON buoy current meter performance

Hideaki HASE*² Yoshifumi KURODA*²

In order to evaluate the performance of an acoustic Doppler current meter (ADCM) mounted on the TRITON buoy, the ADCM was compared with a separately moored upward looking acoustic Doppler current profiler (ADCP) from March 17 to May 17, 1998 within a distance of approximately 10 km. The ADCM was mounted on the TRITON buoy at 197 m depth, where the Equatorial Undercurrent flows steadily and where spatial differences are expected to be small and the ADCM data were compared with the ADCP data at the same depth. The horizontal current speed and direction show good agreement between the ADCM and ADCP. For 25-hour running mean data, the correlation coefficient and root-mean-square difference for the speed were 0.89 and 3.3 cm/sec, and for direction were 0.99 and 3.1 degree, respectively. The mean differences (ADCM minus ADCP) for speed and direction were small, -0.1 cm/sec and -1.4 degree, respectively. The mean differences are within manufacturer's nominal accuracy for the ADCM, and the ADCM performance is adequate to measure the equatorial currents.

Keywords : TRITON buoy, current meter, current data comparison, subsurface moored ADCP

* 1 海洋観測研究部

* 2 Ocean Observation and Research Department

1. はじめに

海洋科学技術センター (JAMSTEC) では熱帯域における大気-海洋相互作用の研究を通じて、エル・ニーニョに代表される地球規模の気候変動を明らかにし、その予測モデルの能力向上に貢献することを目的として、1998年3月から西部熱帯太平洋海域及び東部インド洋海域に海洋観測ブイ「トライトンブイ」(図1)を展開してきた¹⁾。その観測データは準リアルタイムでGTS (Global Telecommunication System) によって全世界の気象機関に配信され、またインターネットを通じWEB上で公開されている

(<http://www.jamstec.go.jp/jamstec/TRITON/index.html>)。

トライトンブイに搭載されている多くの気象・海洋センサーは長期係留という厳しい観測環境におかれている。この環境の中で良質な観測データを取得すること及びその品質を管理することは研究を進める上で重要な課題となっている。これまで気象センサーのうち気温、相対湿度(比湿)、気圧、風速、風向については海洋地球研究船「みらい」との相互比較観測が実施され、風向を除いて公称精度の2倍程度の範

囲内で一致することが確認された²⁾³⁾。海洋センサーのうち電気伝導度(塩分)・水温センサー(CTD)については、係留前・回収後の校正結果から係留期間中のドリフト値が求められ、その値を水温・塩分の時系列補正に用いる有効性が報告された⁴⁾。また、これらの気温、湿度、風向、風速、水温についてはENSO(エル・ニーニョ/南方振動)モニターのため協調して展開している米国大気海洋庁(NOAA)/太平洋海洋環境研究所(PMEL)のTAO(Tropical Atmosphere Ocean)観測網ATLASブイとのデータ相互比較により、両者のブイデータに互換性があることを確認している(風向についてトライトンブイに器差があり、改善策をとることにした)⁵⁾。

本研究では海洋センサーのうち超音波式流向流速計について、同時期・同海域に設置していた中層係留型多層流向流速計と比較し、その取得データの品質・精度を調べた。ここではその比較結果を報告する。

2. トライトンブイ超音波式流向流速計と中層係留型超音波式多層流向流速計の概要

2.1. トライトンブイ超音波式流向流速計

トライトンブイでは超音波式流向流速計(acoustic Doppler current meter; 以下ADCM)として、ソネット社(SonTek Inc.)のアルゴノーツMDタイプを採用している(図2)。このADCMの測定範囲、分解能、公称精度を表1に示す。

ADCMは海中に音波ビームを発信し、受信した音響散乱信号のドップラーシフト量から、自己遊泳能力のない微小散乱体の移動速度を計測し海流の速度とする。この周波数は1500kHz、ビーム数は3及び鉛直方向からのビーム角は45°である。空間的にはトランスデューサ(送受波器)の直上0.5mから1.5mの範囲を計測し、音波ビームの広がりを示すサンプリング体積は約1.5m³(三角錐形)である。時間的には音響パルスは1秒毎に発信され、サンプリング時間2分間(120回分)のアンサンブル平均を記録する。観測データはトライトンブイ・データサンプリング時刻テーブルに従い10分間隔(平成12年度設置分以降、現在は20分間隔)で計測され、センサーの内部メモリーに保存される。また、1時間平均のデー

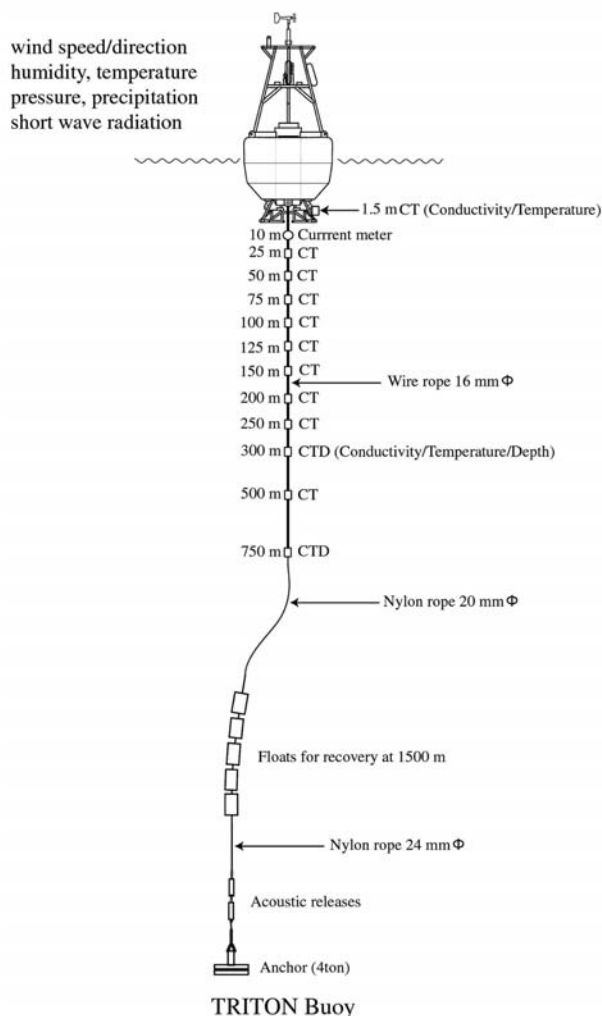


図1 トライトンブイ係留システム概念図。

Fig. 1 Schematic diagram of TRITON buoy system.

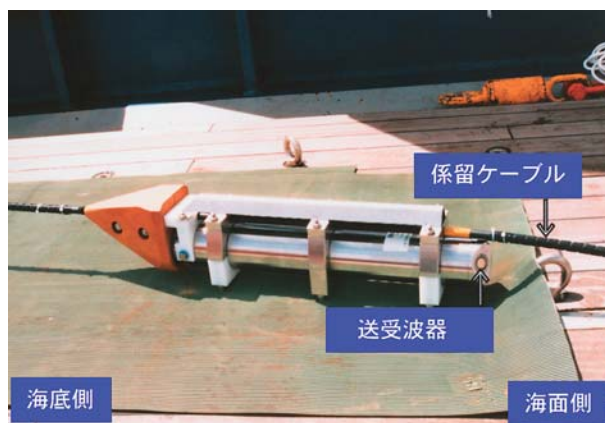


図2 トライトンブイ ADCMの外観。

Fig. 2 Overview of ADCM mounted on the TRITON buoy.

表1 トライトンブイADCM仕様(測定範囲, 分解能, 公称精度)。

Table 1 TRITON buoy ADCM manufacturer's specification (range, resolution and nominal accuracy).

		Range	Resolution	Nominal accuracy
Current	Speed	0 - 1000 cm/sec	0.1 cm/sec	1%, 0.5 cm/sec
	Direction	0 - 360 °	0.1 °	2 °

タがアルゴス衛星通信システムを通じ準リアルタイムで陸上に送信される¹⁾。

陸上における係留前のセンサー較正として、ケーブルに取り付けられた状態で起こる磁界の乱れを補正するため、コンパス・キャリブレーションを実施している。また、観測中はADCMに取り付けられた水温センサーを用いて常時水温を計測し、送・受信音波の音速補正を実施している(この音速計算では塩分値は固定: 34.5 ppt)。

2.2. 中層係留型超音波式多層流向流速計

係留型超音波式多層流向流速計(acoustic Doppler current profiler; 以下ADCP)は、RD Instruments社製のブロード・バンド型、ビーム角20°, 周波数150kHzのものを用いた。ADCPは深度250m付近に上向きに設置され、トランスデューサ上8mから海面まで、8m間隔で流向、流速を計測した⁶⁾。音響パルスの発信は2秒毎、サンプリング時間32秒間(16回分)の平均の流向・流速を記録し、1時間間隔で毎正時に計測を行なった。ADCPの直下には係留型CTDセンサー(SBE-16, Sea-Bird Electronics Inc.)が取り付けられ、その圧力データから係留系の傾きによる流向・流速データの深度補正を、その水温・塩分データから送・受信音波の音速補正を実施した。

3. データ・比較方法

対象となるトライトンブイ(観測番号4001)は1998年3月17日～1998年6月19日まで、また中層係留ADCPは1997年8月9日～1998年8月25日まで設置された。設置位置はトライトンブイが南緯0度5.30分、東経156度1.60分、中層ADCP係留系が北緯0度0.03分、東経156度0.04分であり、距離にして約10km離れていた。

トライトンブイADCMは、通常標準センサーとして深度10mに取り付けられている(図1)。しかしながら、この深度はADCPにとってサイドローブの海面での反射によって流速計測が出来ない範囲(海面～深度約30mまで)にあるため、同じ深度でのデータ比較が出来ない。そのため本実験では同一深度でADCPとデータ比較できるように、深度197mにADCMを特別に取り付けた。その深度には赤道潜流と呼ばれる海流が存在し、表層に比べて時間的・空間的に変化が小さく安定おり、比較実験に適当であると考えた。データ比較期間は両者がともにデータを取得していた1998年3月17日から5月17日までの62日間とした。

トライトンブイADCMデータと比較するため、ADCPデータは深度10m, 20m, 30m…と10m間隔の鉛直グリッドに線形内挿され、さらに深度190mと200mの内挿データの単純平均

から時系列データとした。トライトンブイADCMには圧力センサーがないため、測定層の正確な深度変化はわからない。しかしながら同時にトライトンブイの深度300mに取り付けたCTDセンサーの圧力値が観測期間中299～303 dbarの範囲内を示していたことから、深度197m付近のADCMは3 dbar(約3m)範囲内の深度変化であったと考えられる(この場合トライトンブイの海面ブイは0 dbarで固定)。

トライトンブイADCMデータは内部メモリーに保存されたものを使用し、ADCPデータと対応する毎正時データを取り出してデータ比較を実施した。

4. 結果

流向と流速の時間変化の比較を図3に、その散乱分布を図4に示す。また、この比較結果を表2にまとめた。流向についてトライトンブイADCM及びADCPともに真北と磁北の方位差の補正を実施した。トライトンブイADCMとADCPの流速及び流向の時系列は重なり、差の時系列を見ても大きな系統的な差及び経時変化はない(図3)。流速の差(トライトンブイADCM－ADCP)の平均は－0.1cm/sec、流向の差の平均は－1.1°であり、原点(0, 0)固定の最小二乗フィットによる1次回帰直線の傾きは流速が0.98、流向が1.00であった(図4)。また、トライトンブイADCMとADCPの流速の相関係数は0.55、差の標準偏差は9.7cm/sec、流向の相関係数は0.84、差の標準偏差は11.3°であった。差の標準偏差は流向、流速ともにトライトンブイADCMのメーカー公称精度を超える結果となったが、差の平均はともに公称精度範囲内に入り良好な結果を示した。

5. 考察

(トライトンブイADCM－ADCP)の差の標準偏差が、流向、流速ともにトライトンブイADCMの公称精度を大きく超える結果となった主な原因に、周期が1日以内の短周期変動の不一致が挙げられる。流向、流速の散乱分布(図4)を見ると、その分布が1次回帰直線の周りに楕円形を成している。これはトライトンブイADCMとADCPデータの変動に位相差があること、特に差の時系列(図3)から短周期変動の位相差が大きく影響していることが示唆される。トライトンブイと中層ADCPブイは約10km離れており、内部潮汐波等の空間的にも時間的にも小さなスケールの現象によっては、それらの設置位置での流向、流速変動に位相差があることは充分考えられる。また、トライトンブイADCMの内部クロックは、約1年間の係留で最大50分遅れたことがあり、このADCMとADCPの内部クロックの時間のズレが、短周期変動の不一致に影響を及ぼした可能性もある。

そこで、25時間移動平均により短周期変動を取り除いた

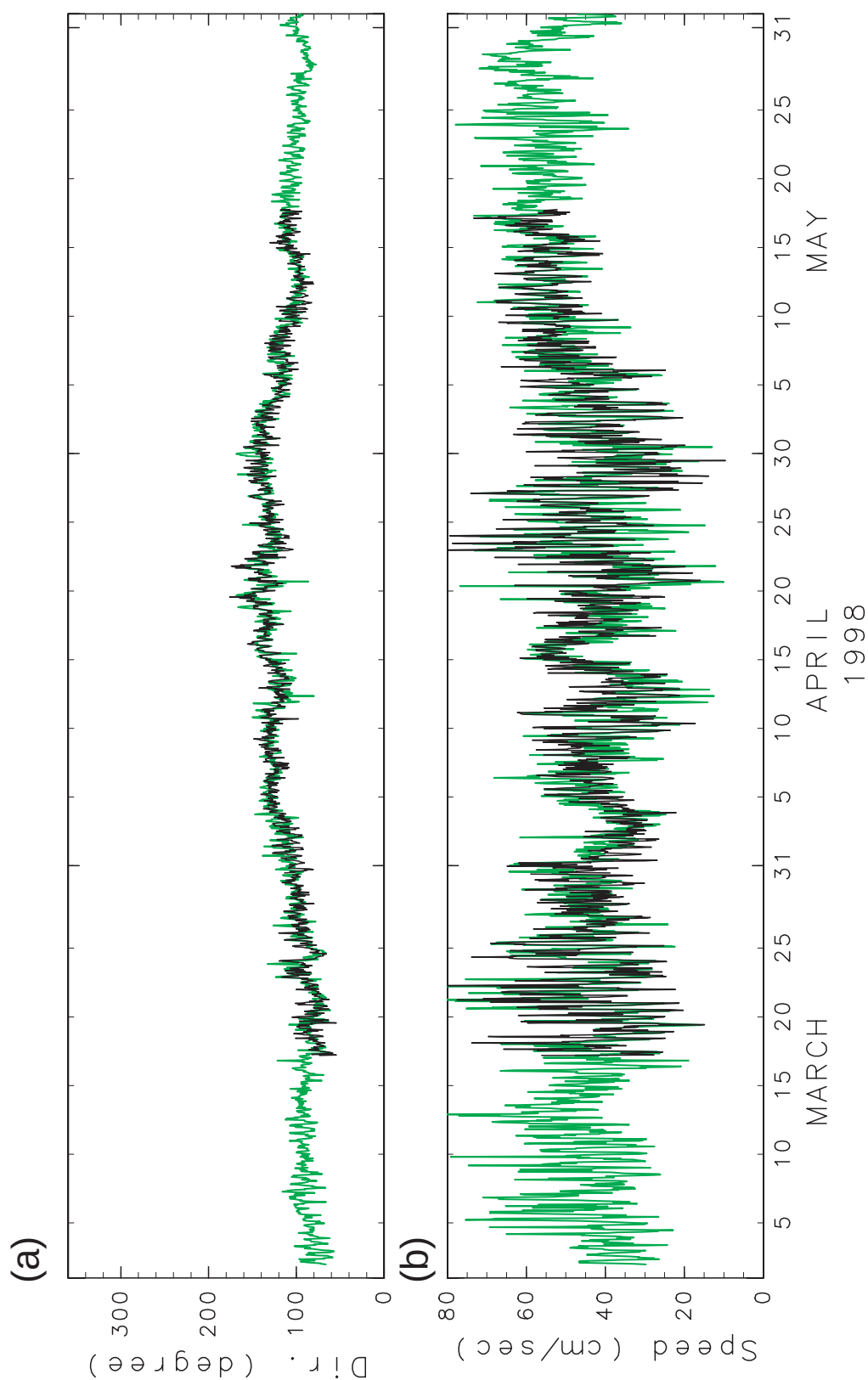


図3 トライトンブイADCMと中層係留ADCPの流向、流速の時間変化の比較。(a) ADCM(黒線)とADCP(緑線)の毎正時の流向データの時系列, (b) ADCM(黒線)とADCP(緑線)の毎正時の流速データの時系列, (c) ADCMとADCPの毎正時流向データの差の時系列, (d) ADCMとADCPの毎正時流速データの差の時系列。

Fig. 3 Comparison of current direction and speed for TRITON buoy ADCM (black line) and subsurface mooring ADCP (green line). (a) time series of hourly current direction, (b) time series of hourly current speed, (c) difference of direction, (d) difference of speed.

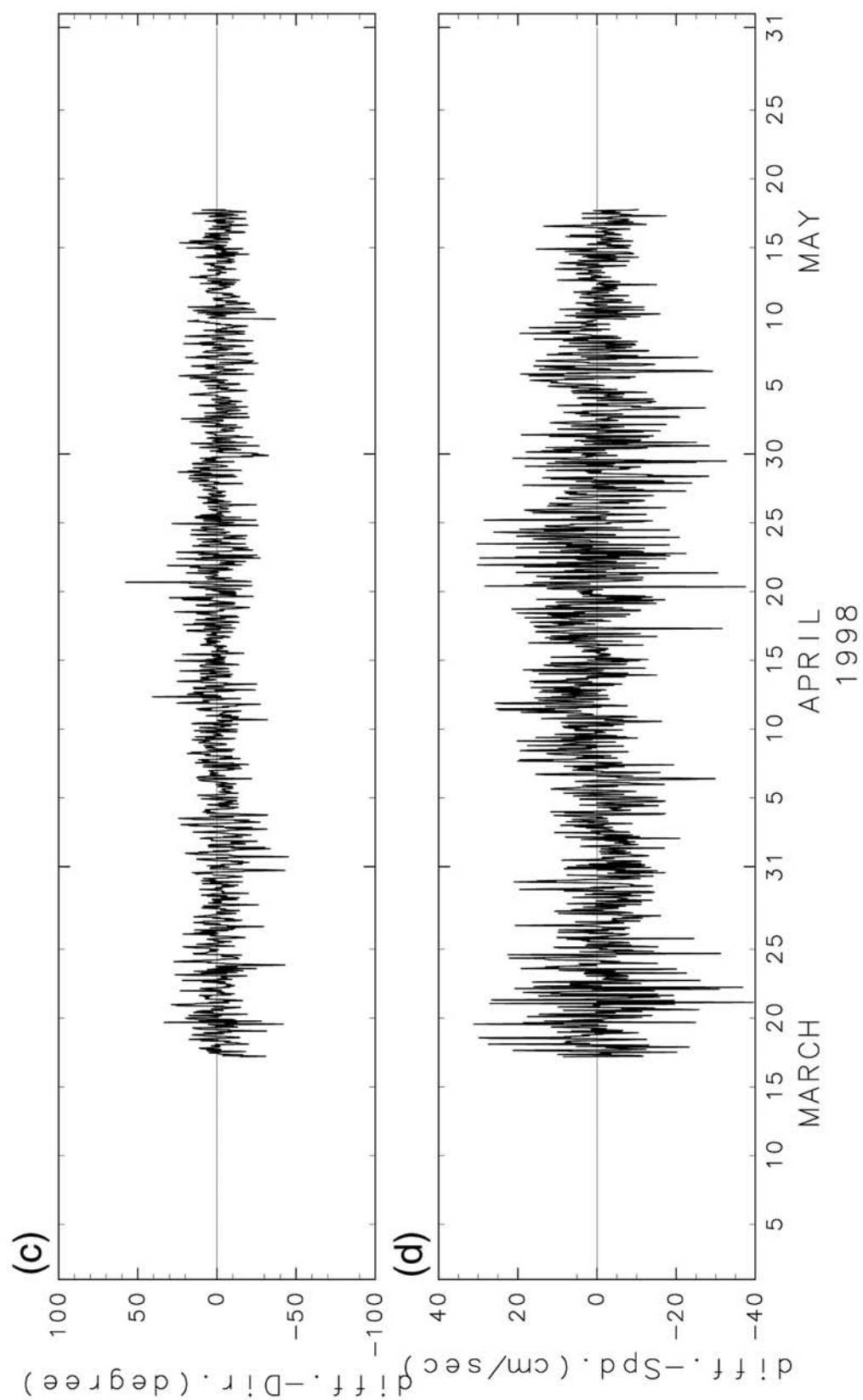


図3 続き
Fig. 3 Continued

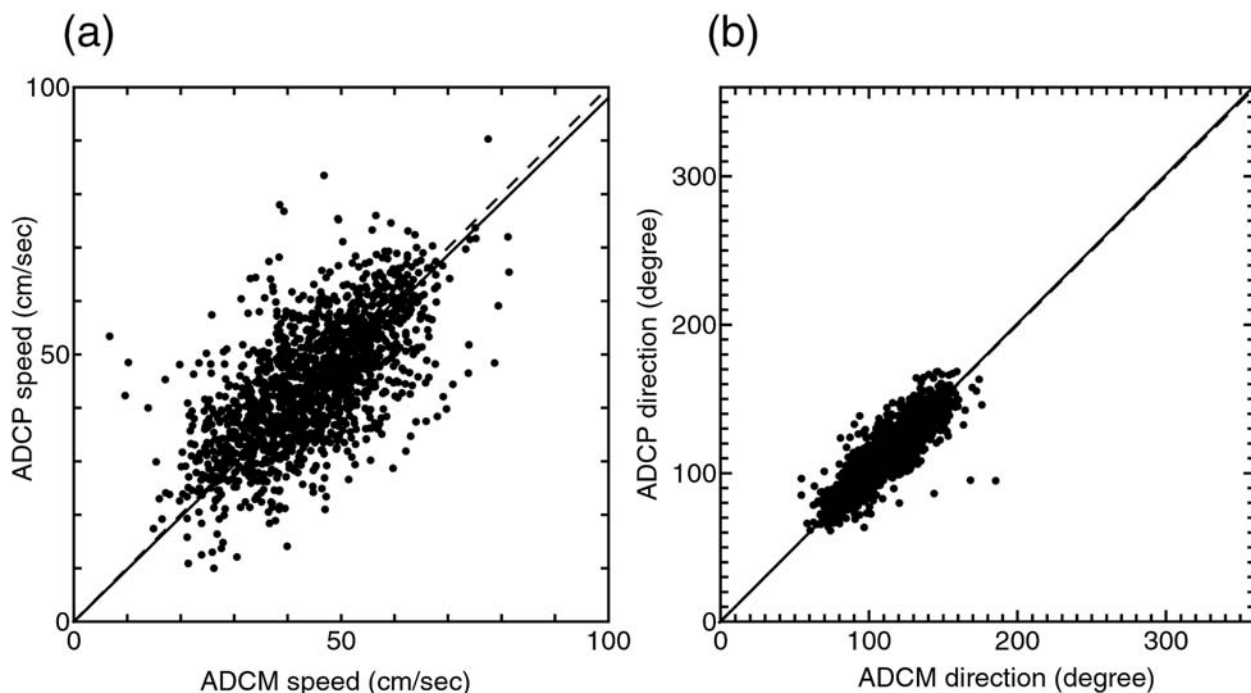


図4 トライトンブイADCMと中層係留ADCPの流速(左図), 流向(右図)の散乱分布図。直線は原点固定の最小二乗フィットによる1次回帰直線を示す。

Fig. 4 Scatter diagrams of current speed (left) and direction (right) between hourly TRITON buoy ADCM and subsurface mooring ADCP data. Lines indicate linear regression lines by least square fitting forced through the origin (0, 0).

表2 トライトンブイADCMと中層係留ADCPの毎正時データの差 (ADCM-ADCP)の平均(MD), 差の標準偏差(RMS), 相関係数(CC)及び1次回帰直線の傾き(FS)。

Table 2 Mean difference (MD; ADCM minus ADCP), root mean square difference (RMS), correlation coefficient (CC) and fitting slope (FS) of linear regression between hourly ADCM (120-second average) and ADCP (32-second average) data.

	MD	RMS	CC	FS
Speed	-0.1 cm/sec	9.7 cm/sec	0.55	0.98
Direction	-1.1 °	11.3 °	0.84	1.00

流向, 流速の散乱分布を図5に示し, その結果を表3にまとめた。(トライトンブイADCM-ADCP)の流速の差の平均は-0.1cm/sec, 流向の差の平均は-1.4°であり, 一次回帰直線の傾きは流速で1.00, 流向で1.01であった。また, 流速と流向の差の標準偏差と相関係数はそれぞれ3.3cm/sec, 3.1°及び0.89, 0.99となり, 25時間以内の短周期変動を取り除く前と比べて, 公称精度範囲内ではないものの大きな改善が見られた。差の標準偏差は流速では公称精度の3倍程度, 流向では2倍の範囲以内になった。以上のことから, トライトンブイADCMは熱帯域におけるMJOやエル・ニーニョのような数十日～数年規模の変動に係る海流変動の研究を進める上で, 充分良質な流向, 流速データを取得していると言える。

その他の不一致の原因に, トライトンブイADCMの深度変化がある。ADCPデータには係留型CTDの圧力計測による

深度補正が実施されているため, トライトンブイADCMの未補正の深度変化は測定層の不一致となる。深度200m付近の赤道潜流には比較実験期間中, 深さ10mあたり平均約10cm/secの流速の鉛直シアがあった(図6)。このため3節で述べた3 dbar(約3m)の深度変化は, 見かけ上の平均約3 cm/secの流速の変化に対応する。さらに定量的に見積もることは困難であるが, トライトンブイADCMとADCPのサンプリング体積の違いも考えられる。例えば, ADCPの場合深度200m付近のサンプリング体積はビーム数4, ビーム角20°, 測定層厚8mであることから, 8m×約25m×約25m=約5000m³である一方, トライトンブイADCMでは約1.5m³であり, 音波ビームの広がり, 計測範囲が大きく異なる。加えてADCPには, 測定層厚やどれだけの音響パルスでアンサンブル平均を施すか等による設定の誤差と機器のバイアス誤差があり,

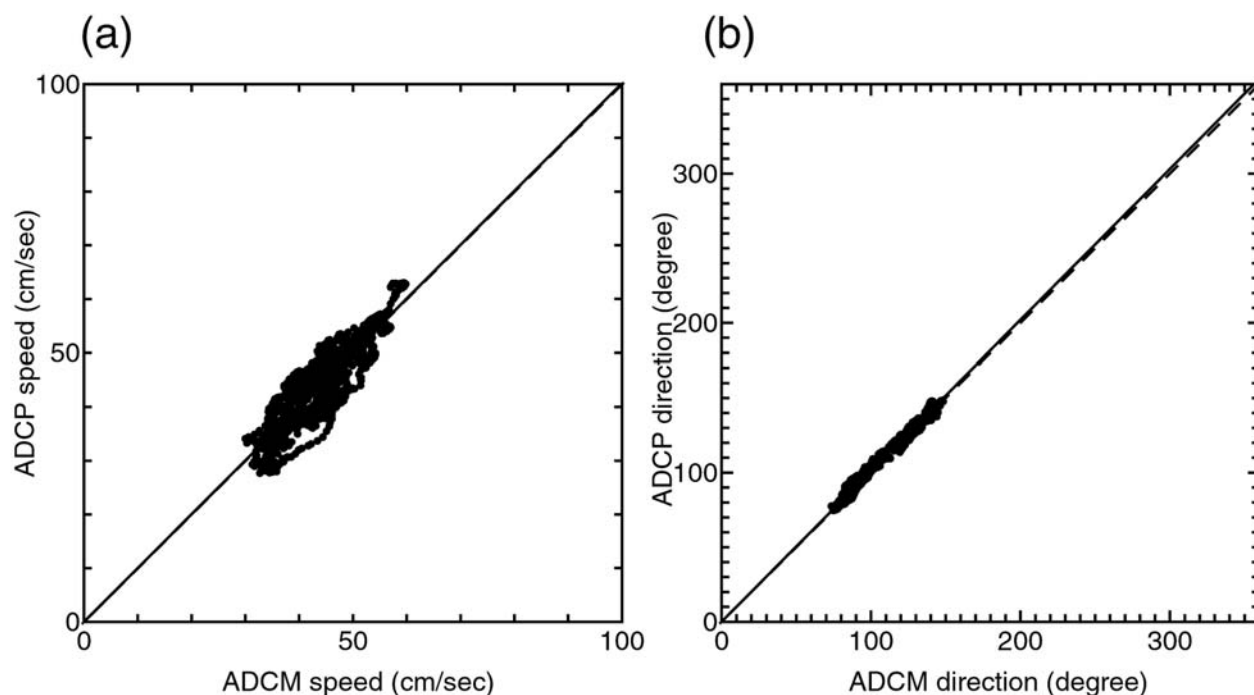


図5 図4と同じ。ただし25時間移動平均を施した。

Fig. 5 Same as Fig. 4, except for 25-hour running mean data.

表3 表2と同じ。ただし25時間移動平均を施した。

Table 3 Same as Table 2, except for 25-hour running mean data.

	MD	RMS	CC	FS
Speed	-0.1 cm/sec	3.3 cm/sec	0.89	1.00
Direction	-1.4 °	3.1 °	0.99	1.01

それらの誤差は合わせて数cm/sec程度を示す⁷⁾。

標準のトライトンブイADCMは深度10mに取り付けられている。本研究で解析した深度200mの環境との違いは、海面ブイの運動が影響する可能性があること、また自己遊泳能力を持つ魚などの生物活動が、盛んなことである。NOAA/PMELから魚など自己遊泳能力を持つ生物活動がADCMやADCPなどの超音波式センサーの流速に対して大きく影響することが報告されている⁸⁾⁹⁾。これらの影響を確認するため、現在トライトンブイ12号機(観測番号12003; 2001年9月30日設置)、13号機(観測番号13003; 2001年10月3日設置)の設置位置で、中層係留ADCPが観測可能な最浅層付近の深度40mにADCMを特別に取り付け、本研究と同様に中層係留ADCPと比較実験を実施している。

6. まとめ

以上みてきたように、トライトンブイADCMと中層係留ADCPの流向、流速を比較した結果、両者の差の標準偏差は流向、流速ともにADCMメーカーの公称精度を超えるものの、差の平均は公称精度内となった。差の標準偏差の公称精度を超

えた主な原因が、短周期変動の不一致に見られたため、25時間以内の短周期変動を取り除いて比較した。この結果、差の標準偏差は流速では公称精度の3倍程度の範囲内に、流向ではその2倍の範囲内になった。トライトンブイADCMの深度変化、ADCPとのサンプリング体積の違い等を考慮すると、トライトンブイADCMは熱帯域の海流変動の研究を進める上で充分良質なデータを取得していることが確認された。今後、現在実施している深度40mでの流向、流速の比較実験の結果を解析し、海面ブイの運動や生物活動の影響を調査することで、深度10mに取り付けられている標準ADCMのデータ精度の調査及びその品質の管理を行なっていく必要がある。

謝辞

この解析を行なうにあたり、情報業務部情報業務課 曾野和彦氏、(株)マリンワークジャパン 山本稔氏及び長濱徹哉氏には多岐にわたりご協力頂いたことをここに感謝致します。また、すぐれた技量を以ってトライトンブイの設置・回収を行なっているJAMSTEC船舶の船長、乗組員及び(株)マリンワークジャパン 観測技術員の方々に謝意を表します。

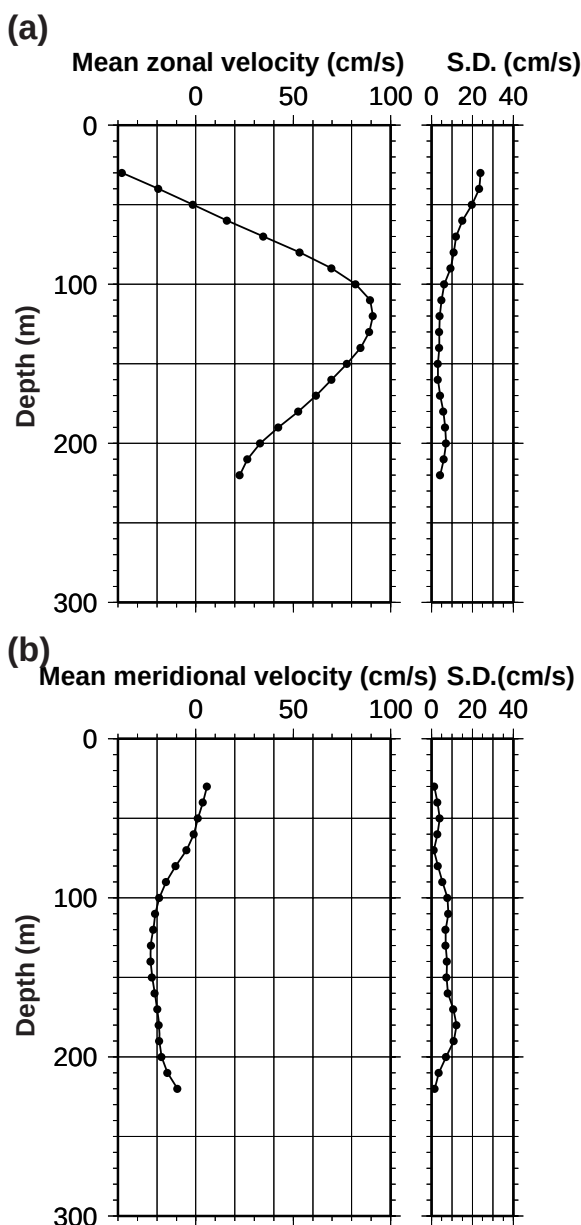


図6 中層係留ADCPによって取得された比較実験期間中の平均流速とその標準偏差の鉛直プロファイル。(a)東西成分(正値は東向き), (b)南北成分(正値は北向き)。ともに左図は平均流速, 右図は標準偏差を示す。

Fig. 6 Vertical profiles of subsurface mean current (left) and standard deviation (right) observed by moored ADCP at 156E on the equator from March 17 to May 17, 1998. (a) zonal component, (b) meridional component.

参考文献

- 1) 黒田芳史, 網谷泰孝, "トライトン: ENSO現象解明を目指す新しい海洋-気象観測ブイネットワーク", 海の研究, 10(2), 157-172 (2001)。
- 2) 川原幹雄, 中村亘, 牛島憲文, 曾野和彦, 安藤健太郎, 黒田芳史, "トライトンブイと「みらい」での海上気象観測の相互比較結果", 海洋科学技術センター試験研究報告, 40, 125-135 (2000)。
- 3) 川原幹雄, 黒田芳史, 牛島憲文, 安藤健太郎, 曾野和彦, 高槻靖, 中村亘, 長濱徹哉, "トライトンブイと「みらい」での海上気象観測の相互比較結果(II)", 海洋科学技術センター試験研究報告, 43, 7-23 (2001)。
- 4) 松本健寛, 長濱徹哉, 安藤健太郎, 植木巖, 黒田芳史, 高槻靖, "トライトンブイの水温・塩分(電気伝導度)センサーの経時変化と補正", 海洋科学技術センター試験研究報告, 44, 139-151 (2001)。
- 5) 黒田芳史, 曾野和彦, 安藤健太郎, ポール フライターグ, マイク マックファーデン, "西太平洋熱帯域に設置されたトライトンおよびTAOブイのデータ相互比較", 海洋科学技術センター試験研究報告, 43, 93-105 (2001)。
- 6) 伊藤淳雄, 高尾宏一, 米山邦夫, 安藤健太郎, 河野健, 黒田芳史, "ADCP用中層係留系の設計及び実海域における挙動", 海洋科学技術センター試験研究報告, 32, 27-38 (1995)。
- 7) RD-Instruments, Direct reading and self-contained broadband acoustic Doppler current profiler technical manual (San Diego, 1995), p. 396.
- 8) P. E. Plimpton, H. P. Freitag, M. J. McPhaden, "Correcting moored ADCP data for fish-bias errors at 0°, 110° W and 0°, 140° W from 1990 to 1993", NOAA Technical Memorandum ERL PMEL, 107, p. 49 (1995).
- 9) P. E. Plimpton, H. P. Freitag, M. J. McPhaden, "Correcting moored ADCP data for fish-bias errors at 0°, 110° W and 0°, 140° W from 1993 to 1995", NOAA Technical Memorandum OAR PMEL, 117, p. 35 (2000).

(原稿受理: 2002年1月17日)