

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

黒田 芳史^{*1} 曾野 和彦^{*2} 安藤健太郎^{*1}
ポール フライタース^{*3} マイク マックファーデン^{*3}

西太平洋熱帯域に配置されたトライトンブイの目的の一つは、TAOブイ網と協調し太平洋全域のENSOのモニターを行うことにある。そのためには両者のブイデータは良質な精度で互換性が保たれている必要がある。そこで、トライトンブイとTAOブイのデータの互換性について、実海域で確かめるため、1998年3月から1999年11月にかけて、西太平洋熱帯域に設置されていたTAOブイをトライトンブイに置き換えていくときに、いくつかの設置場所で数ヶ月から最長8ヶ月間両者のブイを並べて同時に観測を実施した。TAOブイが標準として搭載している気象センサーの風向、風速、気温、湿度、及び水温データについて比較した結果、風向についてはトライトンブイに器差があることが認められその改善策をとることとした以外、両者のブイデータに互換性のあることを確認した。水温も良く一致し、トライトンの水温データは1年の係留期間中、安定し精度良く得られていることが確かめられた。

キーワード：トライトンブイ、TAOブイ、データ相互比較、海上気象-海洋観測ブイ

In-situ buoy data intercomparison between TRITON and TAO in the western tropical Pacific Ocean

Yoshifumi KURODA^{*4} Kazuhiko SONO^{*5} Kentaro ANDO^{*4}
H. Paul FREITAG^{*6} Michael J. McPHADEN^{*6}

One of the major purposes of TRITON array is to monitor ENSO in the entire tropical Pacific Ocean harmonized with TAO array. For that purpose, the data from both buoy arrays should have compatibility with good quality. To validate the data compatibility between the two buoy systems, the TRITON buoys were deployed close to TAO buoys at several sites to enable the intercomparison from a few months to eight months as longest in March 1998-November 1999 when the TRITON buoys replaced the TAO buoys in the western tropical Pacific Ocean. The compared parameters, which are obtained by the standard TAO buoy (standard ATLAS buoy), are wind direction, wind speed, air temperature, relative humidity, and water temperature. The results show generally good agreement between the meteorological data from the two buoy systems, except the wind direction. The wind directions measured by TRITON buoys deviate more significantly, and pre- and post-calibration will be taken to minimize the difference. The water temperature from both systems shows good agreement and stability of temperature sensors of TRITON buoy is quite stable during one year measurement.

Keywords : TRITON, TAO, data intercomparison, ocean-atmosphere observing buoy

*1 海洋観測研究部

*2 (株)マリン・ワーク・ジャパン

*3 米国海洋大気庁・太平洋海洋環境研究所

*4 Ocean Observation and Research Department

*5 Marine Works Japan, Ltd.

*6 Pacific Marine Environmental Laboratory, National Oceanic and Atmospheric Administration

1. はじめに

地球大気の振る舞いが、恒常的な観測網の整備とともに理解されてきたのに比較して、地球表面の大部分を占める海洋の分野ではそのような観測網の発達は遅れていた。係留ブイ網、表面漂流ブイ網、潮位観測網等による、地球規模の海洋観測網と呼び得るものが、ENSO (El Niño/Southern Oscillation ; エル・ニーニョ/南方振動)の研究を推進するためTOGA計画 (Tropical Ocean and Global Atmosphere)で実現された。特にTAO (Tropical Atmosphere Ocean) ブイ網は、米国大気海洋庁 (NOAA) 太平洋海洋環境研究所 (PMEL) により1984年から展開が開始され^{1), 2)}, 1991-93のエル・ニーニョ³⁾, 及び1997-98エル・ニーニョのモニターに成功するとともに、データは予測モデルの能力向上に貢献してきた^{4), 5)}。この成功により、海洋観測ブイ網の有効性が唱えられ、日本としてもこれに参画することが望まれた。

海洋科学技術センター (JAMSTEC) における技術開発は、平成4年度～6年度に海洋観測ブイに関わる調査、概念設計、浮体運動のシミュレーション等から始まった。そして、平成7年度以降は、試験機を設計・製作し、小笠原父島西方水深約4000mの海域に長期係留して、性能の確認及び技術的問題点の抽出を行い開発を進めてきた。こうして、平成9年度に海洋地球研究船「みらい」により実海域への展開を開始した。

西太平洋熱帯域に配置されたトライトンブイの目的は、TAOブイ網と協調し太平洋全域のENSOのモニターを行うこと、さらに暖水プール内の熱の収支、塩分の収支、太平洋西岸域での水塊変動等を捉えることである (図1)。エル・ニーニョはニューギニアから日付変更線にかけて広い範囲に蓄えられた暖水が南米ペルー沖まで移動することにより

起こるので、両者のブイ網が一体となり広大な太平洋の熱帯全域の観測を行う必要がある。トライトンブイから得られるリアルタイムデータの内、PMELの公開しているものと同等 (水温、風速、気温、湿度の1日平均値)のものについては、翌日 (準リアルタイム) にPMELに送信され、PMELは送信データをTAOデータと統合し共通のグリッド化したデータセットを作成する。そして、JAMSTEC及びPMELの双方のWebから共通のTAO/TRITON Webソフトウェアにより公開されている。また、ブイデータはアルゴスシステムにより陸上に送信された1時間平均データのうち風向、風速、気温、湿度、気圧、水温は、フランスのアルゴスグローバルデータ処理センターから全世界通信システム (GTS) により世界の気象機関に配信され、毎日の天気予報モデル、ENSOのモニターおよび予報モデルに用いられている。データの利用者が両者のブイデータを特段区別しなくとも簡便に利用できるようにするため、さらに各種予報モデルの入力データとしての利用も考えて両者のブイデータは良質な精度で互換性が保たれている必要がある。

トライトンブイに搭載された多くの海洋、気象センサーは、TAOブイやウッズホール海洋研究所の海洋気象観測ブイで用いられており長期係留に実績があり、データの互換性が保てるよう信頼性の高いセンサーが選ばれている。しかし、トライトンブイとTAOブイのデータの互換性について、実海域で確かめる必要があると考えられた。そこで、1998年3月から1999年11月にかけて、西太平洋でTAOブイからトライトンブイに置き換えていくときに、いくつかの場所で数ヶ月から8ヶ月にわたり両者のブイを並べて同時に観測を実施し、TAOブイが標準として搭載している風向、風速、気温、湿度、

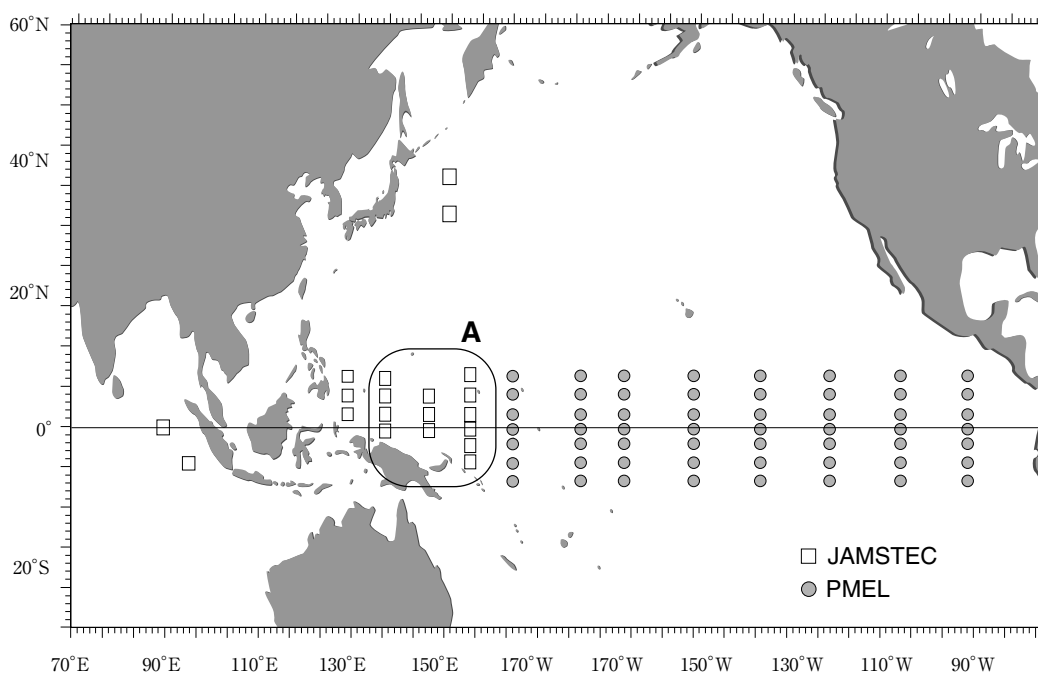


図1 トライトンブイ及びTAOブイの配置。

Fig. 1 TRITON and TAO array.

及び水温データを比較し両者のブイデータに互換性のあることを確認する相互比較試験をおこなった。ここでは、この比較結果について報告する。

2. トライトンブイおよびTAOブイ係留システム

2.1. トライトンブイ係留システムの概要

トライトンブイおよびTAOブイ係留システムの概念を図2、図3に示す。両者とも緊張係留で、設置期間は1年であり、観測データはアルゴス衛星データ通信システムを介して準リアルタイムで陸上に伝送される。

トライトンブイの表面ブイは円筒+半球型(お椀型)で直径2.4mである。海面から深度750mまでの係留には被覆ワイヤーが用いられている。トライトンブイの気象観測センサは、

風向・風速計、温・湿度計、気圧計、雨量計、日射計で、これらのセンサーは、熱帯域の海面での熱、水収支を求めるために必要である。水中センサは、流向流速計(深度10m)、CT(電気伝導度・水温計:深度1.5m, 25m, 75m, 100m, 125m, 150m, 200m, 250m, 500m)、CTD(電気伝導度・水温・深度計:深度300m, 750m)である(表1, 表2)。

トライトンデータは図4aに示す時刻テーブルに従い10分毎に計測され(光学雨量計のみ連続)、1時間平均のデータは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。海上気象センサーからのデータは洋上信号処理装置の内部に記録される。水中部のデータは、電磁誘導データ伝送により洋上の信号処理装置に送信される。つまり、それぞれのセンサーの電磁モデムから発信された信号

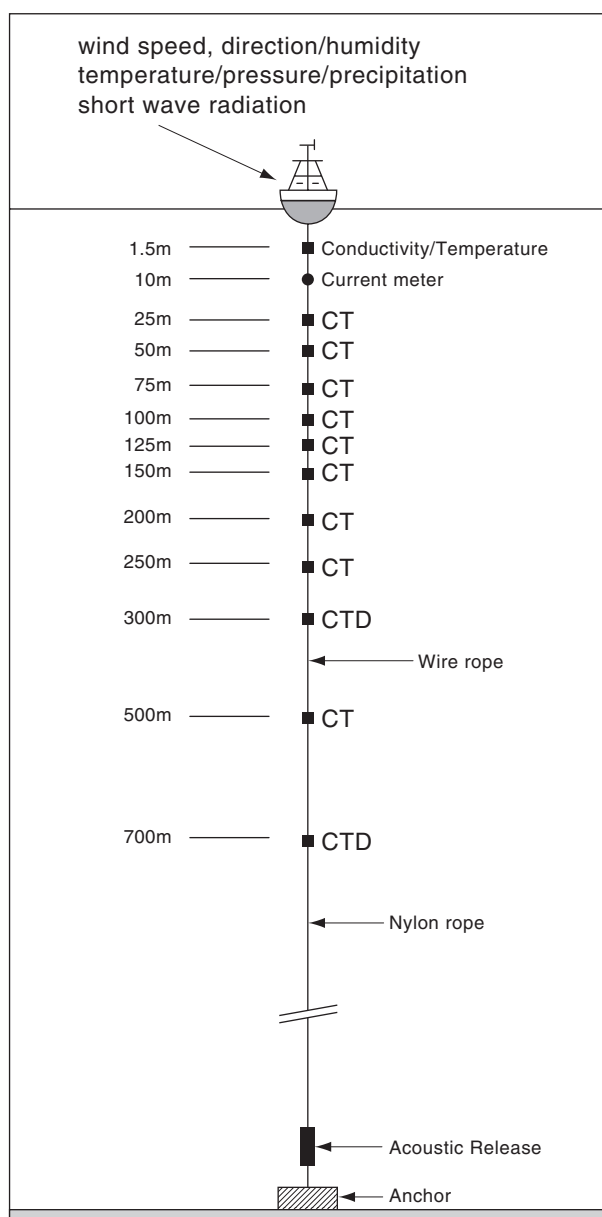


図2 トライトンブイ係留システム概念図。
Fig. 2 Schematic diagram of TRITON buoy.

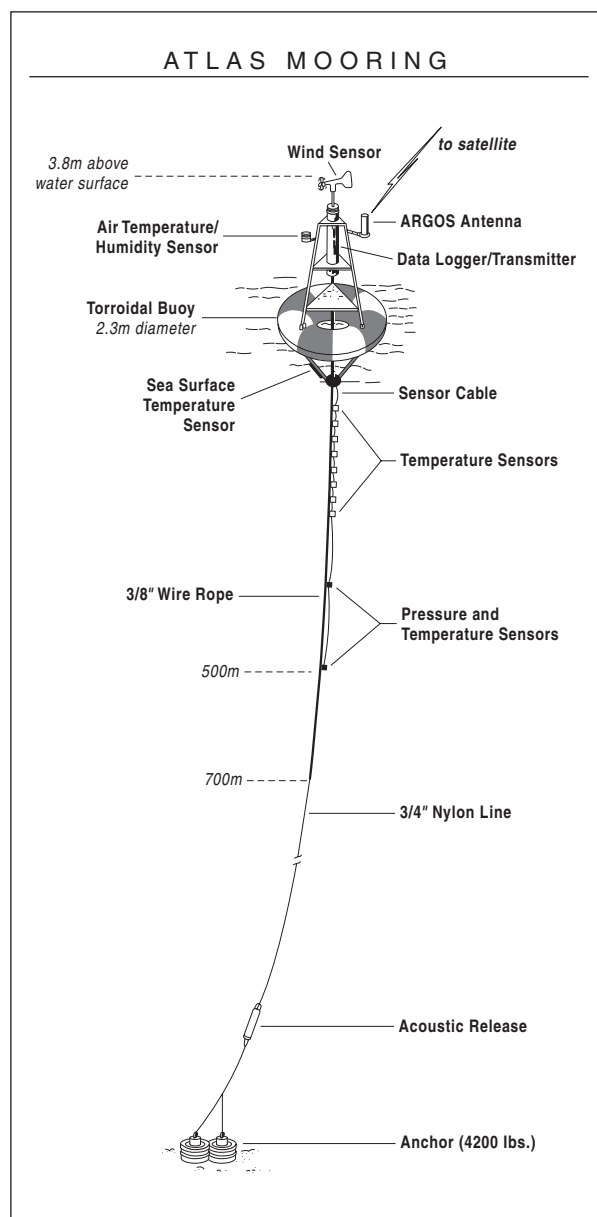


図3 TAOブイ係留システム概念図。
Fig. 3 Schematic diagram of TAO buoy (standard ATLAS)

表1 トライトンセンサーリスト
Table 1 TRITON sensor list

Wind speed and direction	
	AS-IMET wind speed and direction module, 7050-A, WHOI (with R.M. Young, 05103)
Shortwave radiation	
	AS-IMET shortwave radiation module, 7070-A, WHOI (with Epply Precision Spectral Pyranometer)
Relative humidity and air temperature	
	AS-IMET relative humidity module, 7030-A, WHOI (with Rotronic, MP-101A)
Precipitation	
	ORG-115(mini-ORG), Scientific Technology, Inc.
Barometric pressure	
	Digiquartz, MET 1-485, Paroscientific, Inc.
CT/CTD (Conductivity, Temperature and Depth)	
	MicroCAT, SBE 37-IM, Sea Bird Electronics
Current speed and direction	
	Argonaut-MD, Son Tek

表2 トライトンブイセンサー仕様
Table 2 TRITON sensor specifications

Sensor		Range	Resolution	Nominal accuracy	Height and depth of sensor
Wind	Speed	0-60 m/s	0.1 m/s	0.3 m/s	3.5 m above the sea surface
	Direction	0-360 deg	1 deg	2 deg (compass accuracy)	
Shortwave radiation		0-1400 W/m ²	0.1 W/m ²	0.50%	3.0 m above the sea surface
Relative humidity		0-100 %RH	0.1 %RH	2 %RH	2.2 m above the sea surface
Air temperature		-20 - +55 °C	0.01°C	0.1°C	2.2 m above the sea surface
Precipitation		0-500 mm/h	0.001 mm	5%	3.0 m above the sea surface
Barometric pressure		800-1100 hPa	0.0038%	0.01%	2.0 m above the sea surface
CT/CTD	Conductivity	0-70 ms/cm	0.001 ms/cm	0.003 ms/cm	1.5,25,50,75,100,125,150, 200,250,300,500,750 m depth
	Temperature	-3 - 33 °C	0.0006 °C	0.002 °C	
	Depth	0-1000 psia	0.003 % F.S.	0.15 % F.S.	
Current	Speed	0-1000 cm/s	0.1 cm/s	1 %, 0.5 cm/s	10 m depth (where is acoustic beam center with 1.5m width)
	Direction	0-360 deg	0.1 deg	2 deg	

Nominal accuracy: Manufacturer's specifications

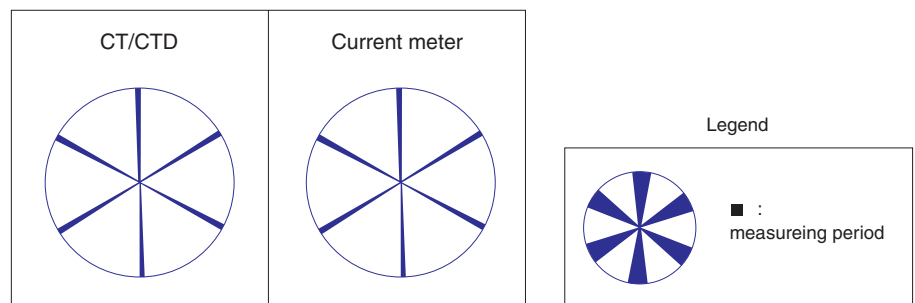
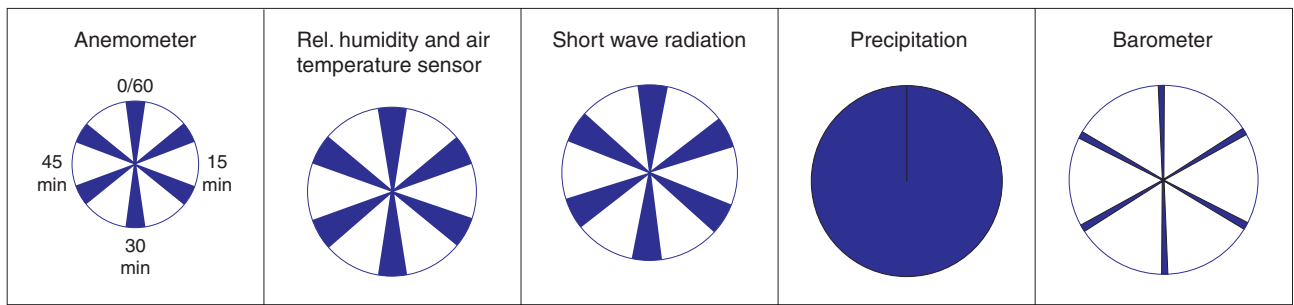
は、被覆絶縁ワイヤー係留索と海水でできる電気回路を通じ洋上の電磁モデムで受信後、洋上信号処理装置に入る。また海中部のデータはそれぞれのセンサー内部に記録される。これらの内蔵データは1年間の係留後ブイとともに回収される。

2.2. TAO-ATLASブイ係留システムの概要

表面ブイは直径2.3mのトロイド型(ドーナツ型)である。海面から深度700mまでは被覆ワイヤーが用いられ、それにサーミスタチェーンが500mまで添って取り付けられている(次世代型のATLASブイは電磁誘導伝送方式を採用しサーミス

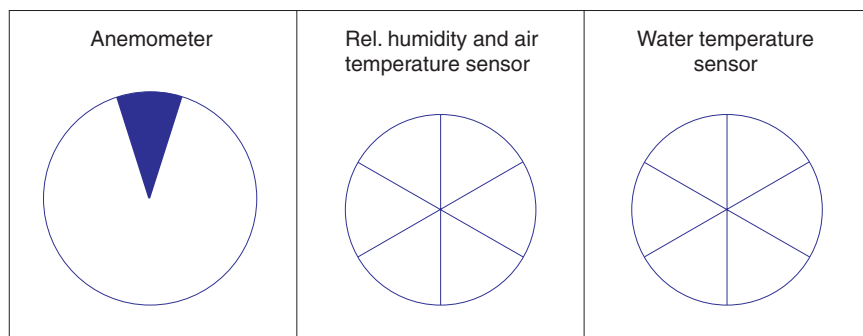
タチェーンは無い)。TAOブイは、海上気象センサーとして、風速計(海面上3.8m)、温度計、湿度計を基本とし、これに日射計、雨量計等がオプションとして取り付けられる。海面温度は、ブイ下部の深度1mのところ、それより下では25m, 50m, 75m, 100m, 125m, 150m, 200m, 250m, 300m, 500m(東太平洋では水温躍層が浅いので、20m, 40m, 60m, 80m, 100m, 120m, 140m, 180m, 300m, 500mに設定される)で、サーミスタチェーンにより計測される。また300m, 500mには深度計がつけられている。水中部のオプションとして、西太平洋では内蔵型CTDが付加されることがある。データのサンプリング(図4b)については、例えば海上風データは、毎時3

TRITON



(a)

TAO standard ATLAS



(b)

図4 データサンプリング時間スケジュール。(a)トライトンブイ, (b)TAOブイ

Fig. 4 Data sampling scheme of (a) TRITON buoy, (b) TAO buoy (standard ATLAS buoy).

分前くらいから3分後にかけて2Hzで計測され、6分間のベクトル平均値が毎時のデータとされる。水温などのスカラー量は通常10分毎で計測される。これらのデータは、ARGOSシステムによりNOAAの極軌道衛星を通じてリアルタイムで送信されるとともにバックアップとしてブイのデータロガーに内蔵される。リアルタイムでは、ARGOSは1日平均2回(1回約4時間)の送信可能な時間枠があり、この送信直前の1時間平均値と、1日平均値が送られる。

トライトンは基本的に10分毎にデータを取得し1時間平均値をリアルタイムで送信としており、これから後処理で1日平均値を作成している。TAOは水温は10分毎のデータ取得であるが、風向、風速、気温、湿度は1時間毎のデータでありこれから1日平均値を出し、直近のデータと併せてリアルタイムで送信している。水温はほぼ同じデータサンプリングであり、これによる差は無いと考えられる。気象データについては、トライトンの方がサンプリング時間は細かく1時間以内で大きく変化するようなスコール等があればデータに差をもたらすものと考えられる。

3. 相互比較試験の時期および方法

TAOブイおよびトライトンブイの設置時期を表3に示す。1998年3月から1999年11月まで、計13回の相互比較を実施した。それぞれのトライトンブイはTAOブイから約7km-27km離して設置した。

4. 結果

得られた結果の中で比較期間が最長であり、比較すべき全センサーが両方のブイとも稼働していたトライトンブイ(観測番号05001:2S156E 1999年3月-11月)を例にとり以下に示す。

4.1. 風速、風向、相対湿度の比較(観測番号05001ブイ)

風速、風向、相対湿度の時間変化の比較を図5に示し、この結果を表4にまとめた。風速の差(TAO-TRITON)の平均は-0.07m/s、差の標準偏差は0.33m/s、風向の差の平均は-11°、差の標準偏差は10°、相対湿度の差の平均は-1.46%、差の標準偏差は0.60%であった。TAOブイの精度は、風速は0.2m/s(公称0.5m/s)、風向は3.0°(公称5°)、相対湿度は4%(公称2%)とされている⁶⁾。また、トライトンブイのセンサーのメーカー公称精度は、風速0.3m/s、風向2°、相対湿度2%とされている。TAO-TRITONの風速差の平均および標準偏差は、トライトンブイのセンサーの公称精度範囲内にある。風向差はTAOブイの精度、またトライトンブイのセンサーの公称精度を大きく越え、風向の差は無視できない。さらに、TAOブイには、設置地点での磁気方位の補正がなされており2S156Eでは磁針方位は7.28°だけ真北から時計回りにずれる。トライトンブイに、この値が加算され補正されると、差は平均が18°と広がる。相対湿度の差の平均および標準偏差はTAOブイの精度、トライトンブイのセンサーの公称精度の範囲にある。この、ブイの相対湿度の1年間の係留の回収後と設置前のセンサー較正の差、つまり年間のドリフト量は-0.89%と小さく良好であった(表5)。

4.2. 気温、水温の比較(観測番号05001ブイ)

気温、水温、深度の時間変化の比較を図6に示した。この結果を表4にまとめ、また図7に平均の水温プロファイルとともに差の標準偏差を示した。トライトン、TAOブイの気温および水温の時系列は重なり、差の時系列をみても両者に大きな系統的な差は見られない。気温の差の平均は0.04℃、差の標準偏差は0.10℃である。TAOブイの気温の精度は、0.17℃(公称0.2℃)とされている⁶⁾。トライトンブイのセンサーのメーカー公称精度は、0.1℃とされている。TAO-TRITONの差の平均および標準偏差は、TAOブイ及びトライトンブイのセンサーのメーカー公称精度範囲内にある。この、ブイの気温の1年間の係留の回収後と設置前のセンサー較正の差、つまり年間のドリフト量は-0.12℃でありトライトンブイの公称精度に近い値であった(表5)。気温はSBE社のCT較正水槽、相対湿度は湿度槽(Thunder Scientific社製, series 2500)で設置前、設置後のデータのドリフト量は計測している。

水温の差の時系列をみると差の大きさは深度に依存し、海面水温から深度100mまでは差は小さく、125mから250mで差の変化が大きく300m、500mでまた差は小さくなる。海洋混合層内で水温が一樣である海面から75m深度までは差の平均は0.02℃以内、差の標準偏差は0.05℃以内にある。差の変化が最も大きい深度200mで差の平均値は-0.02℃、差の標準偏差は0.23℃である。この深度は水温躍層にあり温度勾配が強いところである。

これらの比較からTAOブイの精度は1年間の係留後の較正データから0.09℃とされており⁶⁾、水温は十分この範囲内にある。

係留前、約1年間の係留のあと回収後に行った水温センサーの較正の結果を表5に示す。これをみると、観測番号05001のブイに取り付けた12台のトライトンブイの水温センサーのドリフトによる1年後のドリフト値の平均は-0.0012℃/年(最大-0.0019℃/年)で、TAOブイに比較しても極めて安定性が良く精度が高い。

上で示した2S156E地点のブイ以外のケースも含めて、比較試験の結果を表6に示した。

5. 考察

5.1. 水温

水温についていえばTAOブイとトライトンブイは7kmから27km離れており内部波等による空間的にも時間的にも小さなスケールの現象に対して特に水温の鉛直勾配が強い深度で差が出る。図6(c)に示したように、両者の300m深の深度データをみると数mの差(図では約2mトライトンブイが深い)が常時存在する。また、深度のばらつきも存在する。平均2mの差はこの深度範囲では平均の水温プロファイルから鉛直勾配は表7の300mにおいて(dt/dD) meanに示した値である。この深度差を各深度で比例配分し、同様に深度差による水温差を見積もった結果を表7の Δt として示す。TAOブイとトライトンブイで観測された各深度の水温差を表7のTAO-TRITONに示した。これらの値から、各深度とも、

JAMSTECR, 43 (2001)

number : observation number

TRITON

TAO

TAO replaced by TRITON

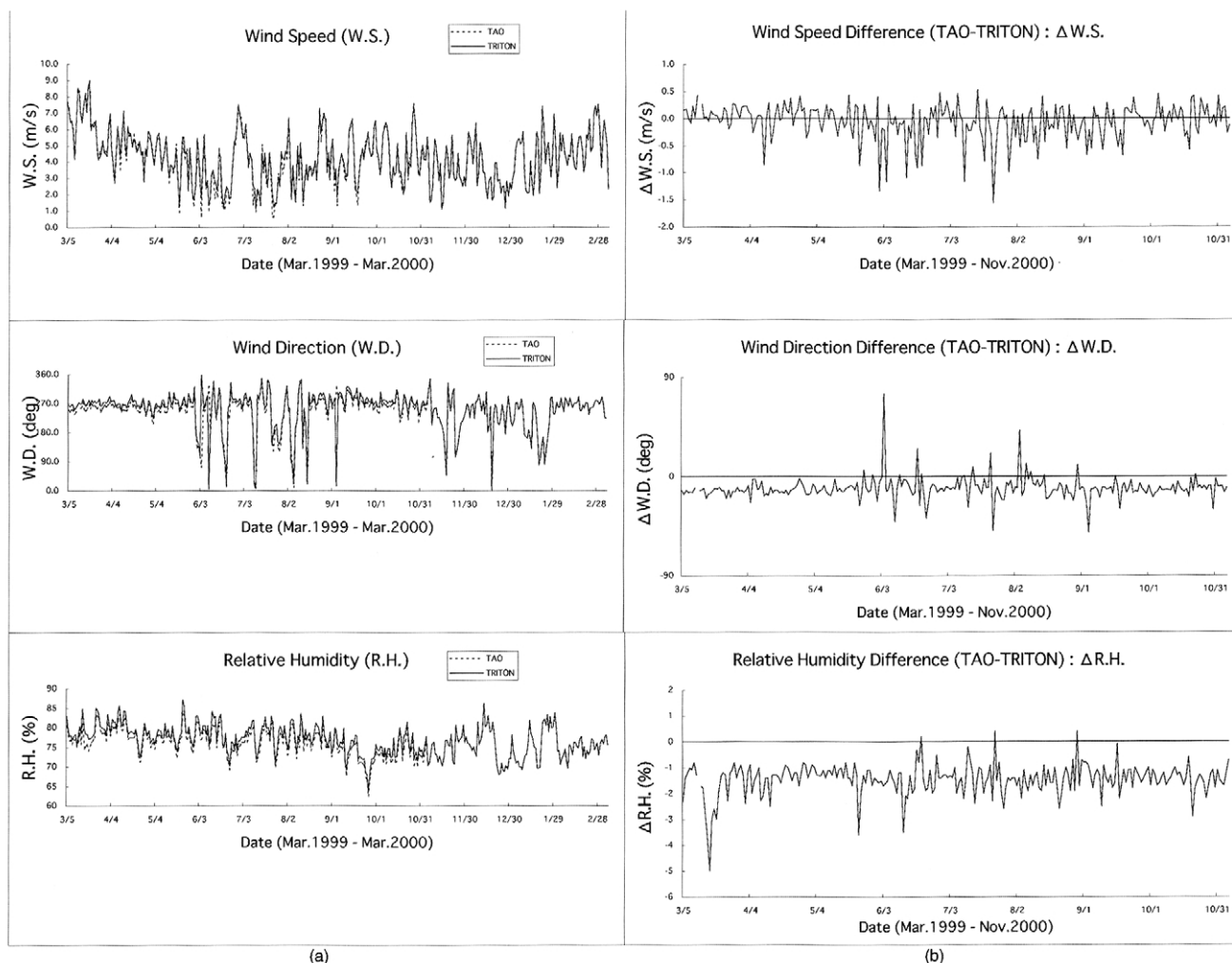


図5 トライトンとTAO ブイの風速, 風向, 相対湿度のデータの比較。係留点は2S156E地点(トライトン位置 $2^{\circ}01'S, 155^{\circ}57'E$, TAO ブイ位置 $2^{\circ}00'S, 156^{\circ}01'E$)。

(a) トライトンとTAO ブイデータの日平均値データの時系列。

(b) TAO ブイデータとトライトン ブイの日平均値の差の時系列。両図とも上から風速, 風向, 相対湿度。

Fig. 5 Comparison of TRITON and TAO daily wind speed/direction and relative humidity at 2S156E where TRITON data obtained during March 1999-March 2000 and TAO data during March-November 1999. (a) time series data, (b) differences, (TAO)-(TRITON).

計算によって求めた Δt の値は観測値(200-300mを除く)と比較的良好一致していることがわかる。

2S156E地点のブイ以外のケースも含めて, 比較試験の結果が表6にまとめられているが, 他のケースも同様な傾向を示し(07001の300m, 500m深のデータはトライトンのワイヤーが500mCT計のところで絡まっていたため浅く係留され水温差が大きくなっていた)2つのブイシステムで水温については十分互換性があることがわかった。

5.2. 風速, 風向

トライトンブイの風向, 風速, 気温, 相対湿度計は, ウェッホール海洋研究所で製作され, 事前較正がされている。センサーでは風向については, 室内で磁気方位の確認を行ってきたが, 今回の比較試験前に方位の厳密な較正は

行っていなかった。風速についてはトルクの検査, プロペラ回転数と風速値の検査を実施してきた。表6を見れば, 比較した13のケースで, 風速については, 差の平均は $-0.34 \sim 0.27\text{m/s}$ にあり, トライトンの公称精度範囲にある。しかし, 風向については, 設置地点での磁気方位の補正後の値と比較すると, $-38^{\circ} \sim 24^{\circ}$ と大きなバラツキを示す。トライトンの風向については, 設置時の「みらい」航海において, トライトンの風速計と同じ型式のセンサーを船首ブームに取り付け, これを標準に, 9基のブイのそれぞれ設置直後に24時間比較した⁷⁾。これによると, ここで比較した2S156Eでの観測番号05001のブイは, 「みらい」の標準風速計に較べて 6.8° 大きく出ている。これに, この地点での磁気補正值 7.28° を加えると, 観測番号05001のブイの風向は 14° 大きな値となる。先に示したTAOに較べてトライトンの風速が

表4 トライトンとTAO ブイの風速, 風向, 相対湿度, 気温及び各深度での水温データの比較。係留点は2S156E地点, 係留期間1999年3月-11月。日平均データ値の差 (TAO-トライトン) の月平均と標準偏差。

Table 4 Monthly mean difference and standard deviation of air temperature, relative humidity, wind direction/speed, and water temperature between TAO and TRITON (TAO-TRITON) at 2S156E (buoy ID number 05001)

	ITEM	UNIT	Mar.99	Apr.99	May.99	Jun.99	Jul.99	Aug.99	Sep.99	Oct.99	Nov-99*)	whole
AT	MEAN	℃	0.05	0.00	0.01	0.02	0.04	0.06	0.03	0.08	0.05	0.04
	S.D.	℃	0.15	0.07	0.08	0.12	0.09	0.12	0.08	0.07	0.04	0.10
RH	MEAN	%	-1.82	-1.42	-1.34	-1.50	-1.43	-1.45	-1.33	-1.47	-1.34	-1.46
	S.D.	%	1.03	0.44	0.50	0.66	0.62	0.55	0.46	0.40	0.40	0.60
WD	MEAN	degree	-13.86	-11.93	-11.20	-8.44	-10.22	-8.40	-13.65	-11.71	-10.74	-11.11
	S.D.	degree	2.82	5.03	5.93	19.86	11.55	12.46	8.98	5.76	2.41	10.39
	magnetic deviation	degree	7.28									
	MEAN(corrected)	degree	-21.14	-19.21	-18.48	-15.72	-17.5	-15.68	-20.93	-18.99	-18.02	-18.39
WS	MEAN	m/s	0.08	0.02	-0.03	-0.22	-0.17	-0.15	-0.10	0.02	-0.02	-0.07
	S.D.	m/s	0.14	0.27	0.27	0.46	0.46	0.29	0.29	0.26	0.21	0.33
SST	MEAN	℃	0.01	0.01	0.00	0.02	-0.02	0.03	0.02	0.04	0.04	0.01
	S.D.	℃	0.04	0.03	0.04	0.06	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02	0.05
T1.5	MEAN	℃	0.01	0.01	0.00	0.02	-0.02	0.03	0.02	0.04	0.04	0.01
	S.D.	℃	0.04	0.03	0.04	0.06	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02	0.05
T25	MEAN	℃	0.00	-0.01	-0.01	0.01	0.01	0.03	0.00	0.04	0.03	0.01
	S.D.	℃	0.04	0.03	0.04	0.04	0.02	0.02	0.03	0.04	0.02	0.04
T50	MEAN	℃	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02	0.00	-0.01	0.03	0.03	0.01
	S.D.	℃	0.03	0.05	0.04	0.04	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02	0.04
T75	MEAN	℃	0.00	0.00	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.04	-0.02	0.02
	S.D.	℃	0.04	0.04	0.06	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.08	0.05
T100	MEAN	℃	-0.01	0.00	0.04	0.02	0.04	0.01	0.01	0.03	0.02	0.02
	S.D.	℃	0.06	0.06	0.09	0.05	0.05	0.06	0.06	0.05	0.02	0.06
T125	MEAN	℃	-0.03	-0.01	-0.01	0.02	0.05	0.10	0.04	0.02	0.07	0.03
	S.D.	℃	0.06	0.04	0.02	0.09	0.09	0.14	0.09	0.08	0.07	0.09
T150	MEAN	℃	0.01	-0.02	0.03	0.06	0.08	0.17	0.12	0.14	0.11	0.08
	S.D.	℃	0.07	0.05	0.07	0.09	0.18	0.13	0.14	0.15	0.09	0.13
T200	MEAN	℃	0.00	-0.02	0.06	-0.03	-0.04	-0.04	-0.03	-0.03	-0.20	-0.02
	S.D.	℃	0.14	0.13	0.23	0.31	0.22	0.28	0.28	0.21	0.21	0.23
T250	MEAN	℃	0.03	0.06	0.06	-0.02	-0.05	0.06	0.06	-0.10	-0.14	0.01
	S.D.	℃	0.13	0.12	0.20	0.13	0.13	0.24	0.13	0.16	0.19	0.17
T300	MEAN	℃	0.00	0.00	0.02	-0.02	-0.02	0.00	-0.01	-0.03	-0.02	-0.01
	S.D.	℃	0.09	0.06	0.06	0.04	0.05	0.06	0.06	0.03	0.03	0.06
T500	MEAN	℃	0.06	0.07	0.04	0.03	0.04	0.00	0.04	0.07	0.04	0.04
	S.D.	℃	0.05	0.07	0.06	0.08	0.05	0.07	0.07	0.08	0.04	0.07

Note : TAO data was replaced by TRITON data on 6 Nov., then statistics was calculated up to 5 Nov.

18°大きいという値と矛盾しない。この「みらい」航海において、9基のブイの比較結果は、-21.3°～12.6° (磁気補正すると、-30.7°～8.4°) 程度のバラツキがトライトンの風向にあることを示している。

6. まとめ

以上みてきたように、トライトンブイデータとTAOブイデータ間で基本的には互換性があることが確認できた。ただ、風向データに差がみられ、これはトラトンブイのセンサーの0補正が十分されていなかったこと、また、その較正設備が無く確認されていなかったためと考えられる。この結果を受け風向較正設備を設け、現在では事前、事後のデータ確認をおこなっている。データの品質を保つには、細心の注意のもとにセンサーの整備、較正が必要であり、これに

多くの労力を費やす。しかし、品質管理は、ブイの運用上最も重要な事項であり、ここで扱ったTAOブイの観測項目のみならず、他のセンサーも含め今後とも品質管理の継続、向上を図る必要がある。

謝辞

ブイの設置、回収作業については、JAMSTECの船舶の船長、乗組員のすぐれた技量に負うところが大きい。ブイの陸上、船上での整備、設置、回収作業については(株)マリンワークジャパンの観測技術員による。特に、CTDセンサー、気象センサーの事前、事後較正は長濱徹哉氏の優れた技量に負っている。

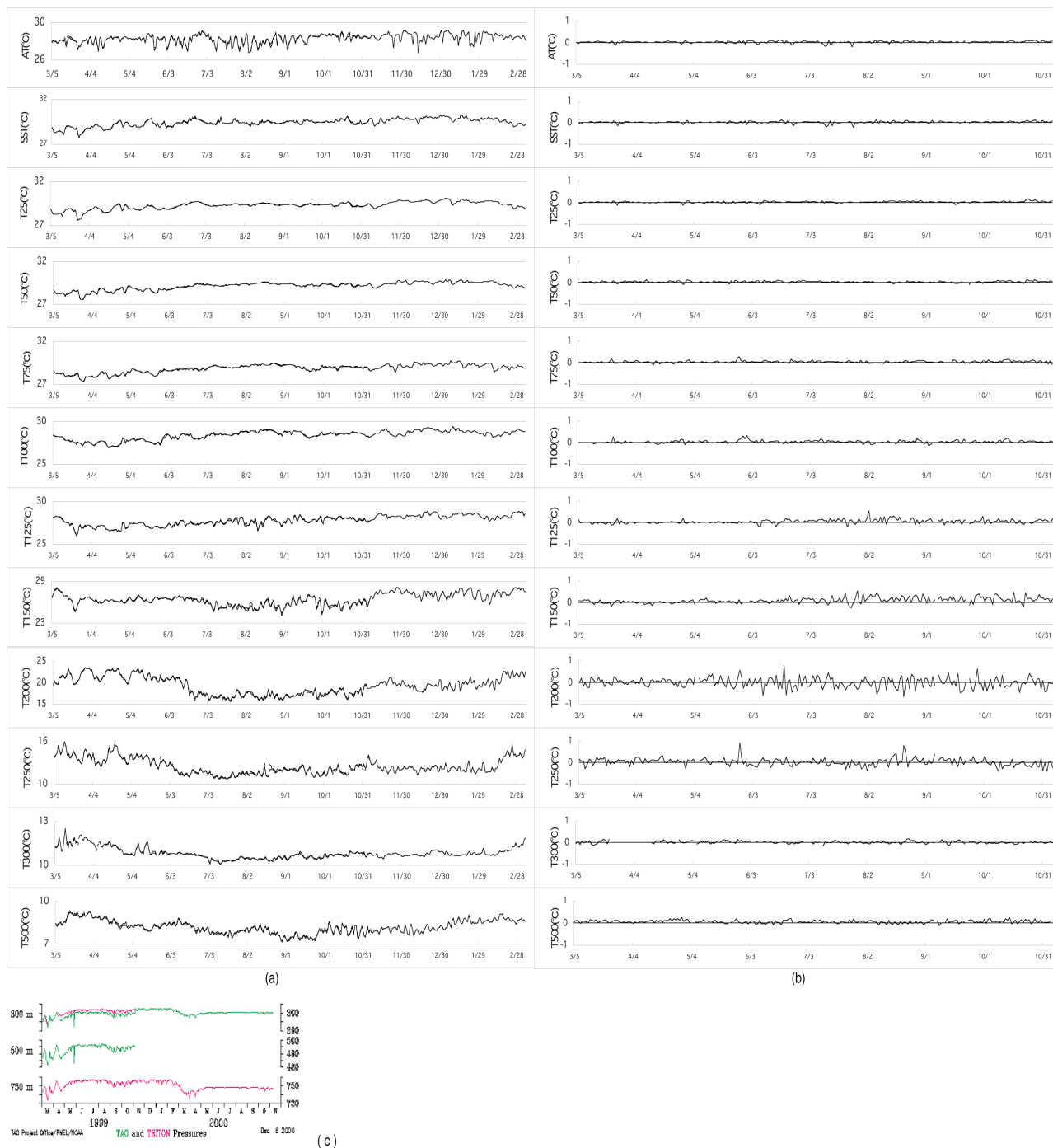


図6 トライトンとTAO プイの気温および各深度での水温データの比較。係留点は2S156E地点(トライトン位置 $2^{\circ}01'S$, $155^{\circ}57'E$, TAO プイ位置 $2^{\circ}00'S$, $156^{\circ}01'E$)。

(a)トライトンプイとTAO プイデータの日平均値の時系列。縦軸目盛りは各深度で異なることに注意。

(b) TAO プイデータとトライトン プイの日平均値データの差の時系列。縦軸目盛りは各深度で同じ。

両図とも、上から気温、海面水温(トライトン1.5m, TAO 1m), 25m, 50m, 75m, 100m, 125m, 150m, 200m, 250m, 300m, 500m, 750m水温。なお、750m水温はトライトンのみ。300m深度(両プイ), 500m(TAOのみ), 750m(トライトンのみ)。

(c) 深度センサーの時系列。300 mは両者とも有り, 500 mはTAO, 750 mはトライトンのみ搭載されている。

Fig. 6 Comparison of TRITON and TAO daily subsurface temperatures at 2S156E, where TRITON data during March 1999-March 2000 and TAO data during March 1999-November 1999. (a) observed data, where AT is air temperature; SST at 1.5m for TRITON and at 1m for TAO, (b) temperature difference, (TAO)-(TRITON), (c) pressure data at 300 m depth sensor from TRITON and TAO, 500 m from TAO, 750 m from TRITON.

表5 トライトンブイセンサーの設置前及び回収後(1年間の係留後)のセンサー較正結果。

Table 5 Drift estimation for the TRITON sensors determined from pre- and post-calibration difference after a year long mooring

Sensor	S/N	Unit	PreCal.	PostCal.	Drift
			(A)	(B)	(C)=(B)-(A)
AT	317	℃	0.06	-0.05	-0.12
RH	317	%	-0.21	-1.10	-0.89
T1.5	537	℃	0.001248	-0.000557	-0.001805
T25	528	℃	0.001085	0.001402	0.000317
T50	521	℃	0.001299	-0.000671	-0.001970
T75	546	℃	0.001415	-0.000012	-0.001427
T100	538	℃	0.001243	-0.000263	-0.001506
T125	508	℃	0.001893	0.001281	-0.000612
T150	550	℃	0.001780	-0.000196	-0.001976
T200	536	℃	0.001083	0.000030	-0.001052
T250	545	℃	0.001516	0.000236	-0.001279
T300	506	℃	0.001359	-0.000071	-0.001430
T500	527	℃	0.001228	0.000309	-0.000920
T750	504	℃	0.001090	0.000121	-0.000968
CT/CTD mean	-	℃	-	-	-0.001219

Buoy ID Number : 05001 (5 Mar. 1999 - 6 Mar. 2000)

Pre Cal. : Jan. 1999

Post Cal. : May and Jun. 2000

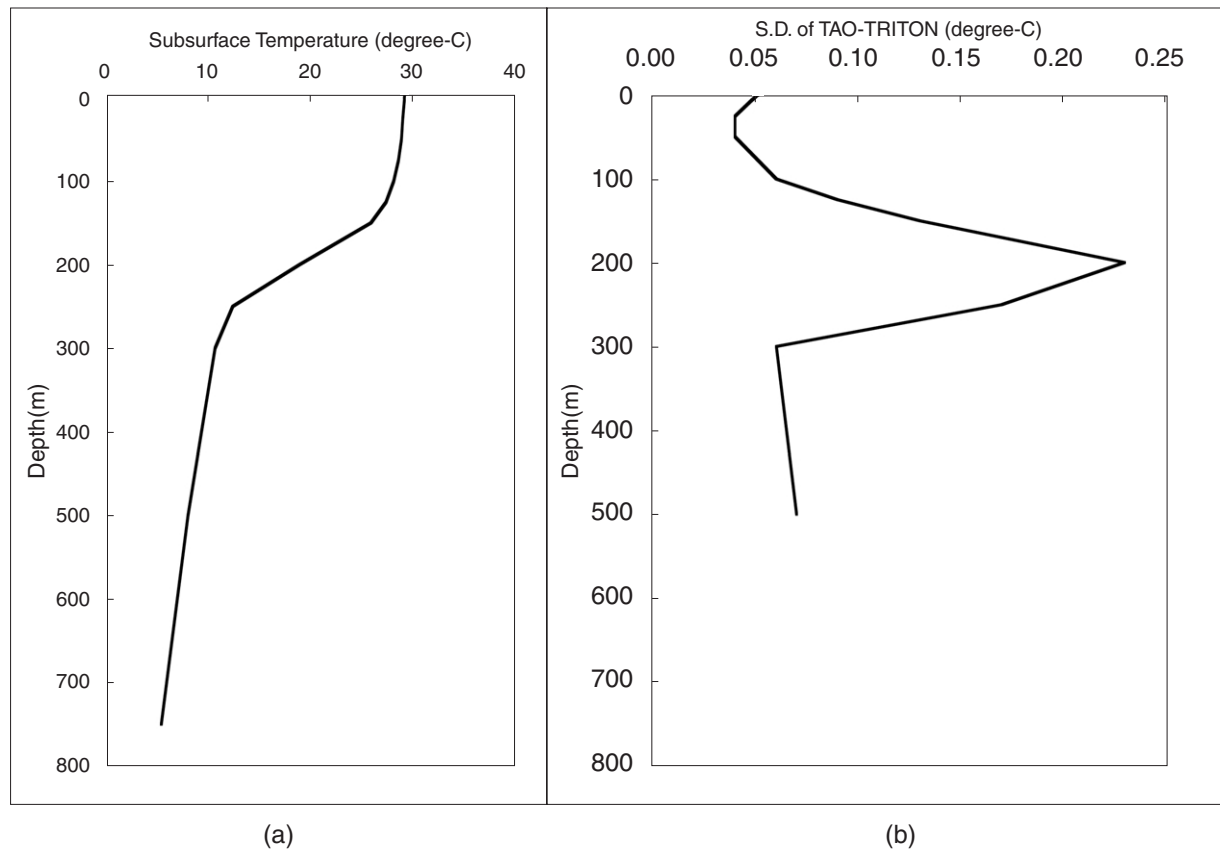


図7 トライトンブイの比較期間中の平均流速の鉛直プロファイル, 及びTAO ブイデータとトライトン ブイの日平均値データの差の標準偏差。

Fig. 7 Vertical profile of subsurface mean temperature at 2S156E observed by TRITON (a), and standard deviation of temperature difference between TAO and TRITON at each depth (b).

表6 トライトンとTAO ブイの風速, 風向, 相対湿度, 気温及び各深度での水温データの相互比較の全ケースの結果。

Table 6 Difference of air temperature, relative humidity, wind direction and speed, and water temperature between TAO and TRITON (TAO-TRITON) for each comparison period.

ITEM		UNIT	Observation Number													
			01001	02001	02002	03001	03002	04001	04002	05001	06001	07001	07002	09001	09002	
			8N156E	5N156E	5N156E	2N156E	2N156E	0156E	0156E	2S156E	5S156E	5N147E	5N147E	0147E	0147E	
AT	MEAN	℃	-0.06	0.42	-0.03	0.10	0.01	-0.27	0.07	0.04	0.10	-0.14	-0.24	0.08	0.48	
	S.D.	℃	0.13	0.07	0.11	0.13	0.13	0.13	0.08	0.10	0.11	0.13	0.09	0.13	0.09	
RH	MEAN	%	4.88	0.50	0.37	0.85	-0.73	3.92	12.52	-1.46	-2.71	-1.36	-0.04	4.17	10.01	
	S.D.	%	1.11	0.46	0.64	0.92	0.96	0.74	0.56	0.60	0.68	0.77	0.60	1.42	0.53	
WD	MEAN	degree	-4.40	-9.73	-31.78	0.60	-	-0.48	30.65	-11.11	-13.88	-17.79	-8.71	-10.09	-	
	S.D.	degree	5.54	4.65	43.63	6.20	-	23.75	8.95	10.39	12.78	18.00	14.36	17.95	-	
	magnetic deviation	degree	5.65	6.21	6.19	6.71	6.71	6.99	6.99	7.28	7.72	4.13	4.09	4.99	5.03	
	MEAN(corrected)	degree	-10.05	-15.94	-37.97	-6.11	-	-3.55	23.66	-18.39	-21.60	-21.92	-12.80	-15.08	-	
WS	MEAN	m/s	-0.23	0.10	0.27	0.19	-	0.03	0.15	-0.07	-0.12	-0.25	-0.34	-0.15	-	
	S.D.	m/s	0.28	0.29	0.90	0.34	-	0.30	0.24	0.33	0.46	0.57	0.51	0.67	-	
SST	MEAN	℃	-0.03	0.01	-	0.03	0.03	-0.05	-0.02	0.01	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	
	S.D.	℃	0.09	0.03	-	0.07	0.06	0.08	0.01	0.05	0.06	0.05	0.04	0.05	0.03	
T1.5	MEAN	℃	-0.03	0.01	-	0.03	0.03	-0.05	-0.02	0.01	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	
	S.D.	℃	0.09	0.03	-	0.07	0.06	0.08	0.01	0.05	0.06	0.05	0.04	0.05	0.03	
T25	MEAN	℃	-0.01	0.00	0.01	0.07	0.00	-0.06	-0.58	0.01	0.00	-0.03	0.01	0.01	0.02	
	S.D.	℃	0.08	0.04	0.03	0.06	0.05	0.09	0.01	0.04	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	
T50	MEAN	℃	-0.03	0.00	0.04	0.14	0.07	0.00	-	0.01	-0.01	-0.07	-	0.02	0.02	
	S.D.	℃	0.12	0.04	0.04	0.12	0.06	0.15	-	0.04	0.06	0.15	-	0.05	0.03	
T75	MEAN	℃	-0.02	0.02	0.10	0.23	0.03	-0.01	-0.02	0.02	-0.01	0.00	0.02	0.04	0.03	
	S.D.	℃	0.23	0.07	0.05	0.16	0.05	0.15	0.02	0.05	0.08	0.09	0.10	0.07	0.07	
T100	MEAN	℃	0.02	0.03	0.11	0.47	0.13	-0.06	-0.02	0.02	-0.02	-0.12	-	0.08	0.06	
	S.D.	℃	0.36	0.11	0.10	0.41	0.14	0.30	0.08	0.06	0.10	0.39	-	0.11	0.05	
T125	MEAN	℃	-0.22	0.17	0.01	0.74	-0.04	-0.08	-0.07	0.03	0.00	-0.08	0.15	0.14	0.10	
	S.D.	℃	0.41	0.22	0.18	0.55	0.17	0.35	0.05	0.09	0.12	0.19	0.14	0.15	0.10	
T150	MEAN	℃	-0.31	0.15	0.11	0.05	0.03	-0.06	0.13	0.08	-0.01	-0.38	-	0.26	0.46	
	S.D.	℃	0.29	0.28	0.21	0.35	0.27	0.32	0.26	0.13	0.15	0.47	-	0.27	0.16	
T200	MEAN	℃	-0.06	0.12	0.02	-0.10	-	0.16	0.01	-0.02	-0.04	0.03	0.31	0.37	0.30	
	S.D.	℃	0.23	0.17	0.13	0.14	-	0.32	0.16	0.23	0.19	0.18	0.11	0.25	0.18	
T250	MEAN	℃	-0.01	0.06	0.06	-0.09	-0.09	-	-0.03	0.01	-0.05	-0.02	-	0.30	0.23	
	S.D.	℃	0.13	0.11	0.06	0.09	0.10	-	0.16	0.17	0.19	0.38	-	0.23	0.13	
T300	MEAN	℃	0.00	-0.23	-0.02	-0.03	-0.06	0.09	0.00	-0.01	0.06	-0.69	-	0.18	0.16	
	S.D.	℃	0.06	0.20	0.05	0.08	0.06	0.10	0.05	0.06	0.12	0.53	-	0.12	0.07	
T500	MEAN	℃	0.00	-	0.01	0.13	-0.01	-	-0.11	0.04	0.04	-0.62	-	0.11	0.11	
	S.D.	℃	0.05	-	0.03	0.07	0.05	-	0.09	0.07	0.05	0.39	-	0.08	0.06	

MEAN and S.D. : Average of monthly statistics, mean value and standard deviation during observation period

表7 トライトンとTAO ブイの各深度の水温センサーの推定深度差による誤差。

Table 7 Estimation of temperature error due to depth difference between the TAO and TRITON buoys at 2S156E during March-November 1999. The sensor at 300 m depth of TRITON was 2m deeper than TAO.

Depth (m)	ΔD (m)	t (℃)	$(dt/dD)_U$ (℃/m)	$(dt/dD)_L$ (℃/m)	$(dt/dD)_{mean}$ (℃/m)	Estimated Δt (℃)	Observed Δt (℃)
1.5	-	29.22	-	-	-	-	0.01
25	-0.2	29.08	-0.006	-0.006	-0.006	0.00	0.01
50	-0.3	28.92	-0.006	-0.012	-0.009	0.00	0.01
75	-0.5	28.63	-0.012	-0.019	-0.015	0.01	0.02
100	-0.7	28.16	-0.019	-0.029	-0.024	0.02	0.02
125	-0.8	27.44	-0.029	-0.060	-0.044	0.04	0.03
150	-1.0	25.95	-0.060	-0.139	-0.100	0.10	0.08
200	-1.3	18.98	-0.139	-0.131	-0.135	0.18	-0.02
250	-1.7	12.43	-0.131	-0.034	-0.083	0.14	0.01
300	-2.0	10.73	-0.034	-0.013	-0.024	0.05	-0.01
500	-3.3	8.09	-0.013	-0.010	-0.012	0.04	0.04
750	-5.0	5.47	-	-	-	-	-

参考文献

- 1) Hayes S. P., L.J. Mangum, J. Picaut, A. Sumi, and K. Takeuchi, "TOGA TAO: A moored array for real-time measurements in the tropical Pacific Ocean", Bull. Amer. Meteor. Soc., 72, 339-347 (1991).
- 2) McPhaden, M.J., A.J. Busalacchi, R. Cheney, J.R. Donguy, K.S. Gage, D. Halpern, M. Ji, P. Julian, G. Meyers, G.T. Mitchum, P.P. Niiler, J. Picaut, R.W. Reynolds, N. Smith, and K. Takeuchi, "The Tropical Ocean-Global Atmosphere (TOGA) observing system: A decade of progress", J. Geophys. Res., 103, 14,169-14,240 (1998).
- 3) McPhaden, M. J., "TOGA-TAO and the 1991-93 El Niño-Southern Oscillation Event", Oceanography, vol. 6, No. 2, 36-44 (1993).
- 4) 北村佳照, 石井正好, 木本昌秀, 轡田邦夫, 黒田芳史, 高野清治, "97/98エル・ニーニョ解剖-“史上最大級”の謎に迫る", 海洋学会シンポジウム報告, 海の研究, 第7巻, 第5号, 323-331 (1998)。
- 5) McPhaden, M. J., T. Delcroix, K. Hanawa, Y. Kuroda, G. Meyers, J. Picaut, and M. Swenson, "The ENSO observing system", Proceedings of OceanObs99, (1999).
- 6) Mangum, L. J., H.P. Freitag, and M. J. McPhaden, "TOGA-TAO sampling schemes and sensor evaluations", Proceedings of the Oceans '94, Vol 2, 402-406, (1994).
- 7) 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」による海上気象観測結果の相互比較(Ⅱ)", 海洋科学技術センター試験研究報告, 第43号, 7-23 (2001)。

(原稿受理: 2001年1月30日)