

## XBT (T-5) の新しい深度換算式の適用結果

社 泰裕, 石井春雄, 藤田雅之: 航法測地室

加藤弘紀: 測量船海洋

### Application of the new depth conversion formula of XBT (T-5)

Yasuhiro Koso, Haruo Ishii, Masayuki Fujita : Geodesy and Geophysics Office

Hiroki Kato : Hydrographic survey vessel Kaiyo

#### 1 はじめに

海洋情報部では, KGPSによる測量船の測位と, 船と海底基準局(トランスポンダー)との間の海中音響測距を組み合わせる手法により, 海底基準局の位置を精密に決定し, 海底地殻変動を検出するための観測を実施している。

海底基準局の位置決定に誤差を与える一因として, 海中の音速構造の測定誤差がある。海中の音速構造は, 音波の伝播時間から船上局と海底局との距離を求めるのに必要不可欠であり, 精密に海底局の位置を決定するためには, 高精度に把握する必要がある(佐藤・藤田, 2004)。

現在, 1日の音響測距観測の前後に1度ずつCTD(Sea-Bird社製のSBE-19)観測を行うことにより音速度構造を求めているが, この間約1時間毎にXBT観測を行うことによりその時間変化の把握に努めている。音速度を求めるためには, 深度, 水温, 塩分のデータが必要だが, XBTは, 深度と水温しか測ることができない。XBTの塩分については, 観測前後のCTDから得られた塩分を線形補間したものを使っている。またXBTは, 鶴見精機社製(T-5)で, 深度約1800mまで測ることができる。

CTDは, 水圧を変換することによって深度を決めているが, XBTは圧力センサーを持たず, プロープが海中を落下する経過時間から深度を求めている。XBTの精度検証のため, 1海域に1度CTD・XBTのほぼ同時の比較観測を行っている。

比較観測の結果を見ると, XBTによる水温プロファイルの形状はCTDのそれとほぼ同様であるが, 水温の極値が現れる深度に相違が見られることが多い。その原因として, XBTの落下時間を深度に変換する際の係数の誤差が考えられる。これを解消するため, XBT(T-5)の公称の深度換算式は, Kizu et al. (2005)によって最近見直された。

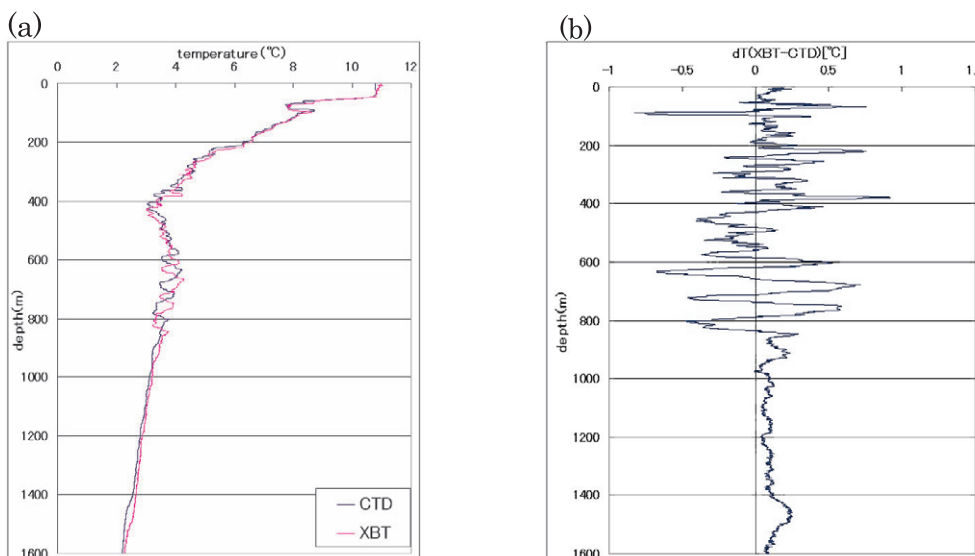
本稿では, 海中音響測距観測で取得したXBTデータに対して新しい深度換算式を適用し, 同時観測したCTDデータと比較した結果を報告する。

#### 2 XBTデータについて

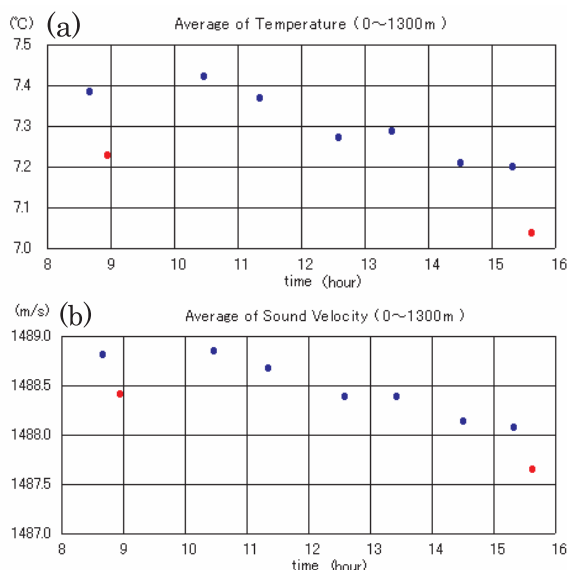
第1図(a)は, CTD・XBT比較観測の水温の鉛直プロファイルの例である。互いのプロファイルの形状は似ているものの, この例では深度800m付近では, XBTプロファイルの方が約40m深く位置することが分かる。

つまり, XBTプローブの落下経過時間を深度に変換する式で, 実際のプローブの深度よりも深く計算されていることが示唆される。第1図(b)は, XBTの水温値からCTDの水温値を引いた差の鉛直プロファイルである。全体的に大きくばらつくが, プラスの場合が多い。つまり, XBT水温の方が高い傾向にある。

第2図(a), (b)は, 音響測距観測を行った半日間の0~1300mの平均水温および平均音速度の変化を表した図である。CTDと比較してみると, XBT(青丸)はCTD(赤丸)より平均水温で0.1~0.2℃



第1図 CTD・XBTの比較観測 (2004年4月26日,宮城沖).  
 (a) : 水温プロファイル (b) : (a) の水温差のプロファイル  
 Fig.1 CTD-XBT simultaneous observation (April 26, 2004, off Miyagi).  
 (a) : Vertical profiles of water temperature (b) : Water temperature difference in (a)



第2図 (a) 平均水温の時間変化 (b) 平均音速度の時間変化 (2004年1月, 相模湾).  
 赤 : CTD 青 : XBT  
 Fig. 2 (a) Time change of average water temperature. (b) Time change of average sound velocity (January 2004, Sagami Bay).  
 Red : CTD Blue : XBT.

高く、これは、約20~50cm/sの音速度に相当する。つまり、平均音速度に20~50cm/sのバイアスが含まれている。海底基準局の位置推定は、音速度の平均値に依存するため、このようなバイアスは、結果に有意な誤差を与える (佐藤・藤田, 2004)。

より高精度の基準局位置の決定を目指すためには、音速度構造を正確に捉えなければならない。そこでXBTの深度換算式を変更することによって、水温プロファイルや平均水温・平均音速度がどの程度変わるのかを検証した。

### 3 方法

XBT (T- 5) の深度換算式は、

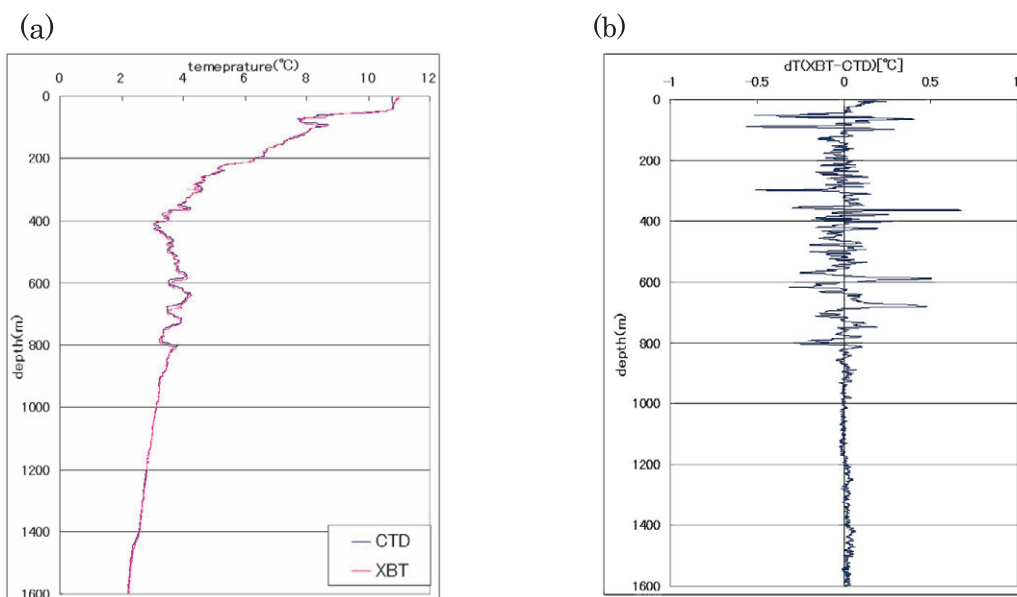
$$D_x = At - Bt^2 \dots\dots\dots [1]$$

で表現される。

ここで、 $D_x$ はXBTの深度 (m)、 $t$ は着水からの経過時間 (秒) で、現在の鶴見精機社製の公称の係数は、 $A=6.828$ 、 $B=0.00182$ が使用されている。

これに対してKizu et al. (2005) によって提案された新しい係数は、 $A=6.54071$ 、 $B=0.0018691$ である。

既に得られているXBTの深度データを新しい深



第3図 CTD・XBTの比較観測（2004年4月26日,宮城沖）. XBTには新しい深度換算式を適用.  
 (a)：水温プロファイル (b)：(a) の水温差のプロファイル  
 Fig. 3 CTD-XBT simultaneous observation (April 26, 2004, off Miyagi) . The new depth conversion formula is applied to XBT.  
 (a) :Vertical profiles of water temperature (b) :Water temperature difference in (a)

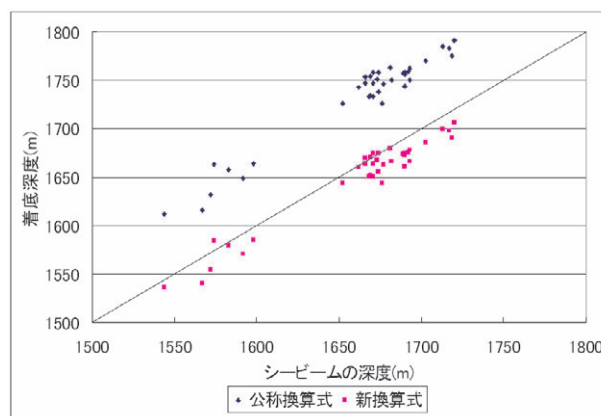
度換算式による深度に変えるには、時間の情報が必要である。上式 [1] のtに関する2次式を解いてtを求め、これを新しい深度換算式に当てはめて、深度を再計算した。

4 結果

第3図 (a), (b) は、第1図 (a), (b) に示したXBTデータについて新しい深度換算式を適用したものである。第3図 (a) のXBTプロファイルは、第1図 (a) と比べ、かなりCTDプロファイルに近づいたことが分かる。第3図 (b) のXBTからCTDの水温値を引いた差のプロファイルも、800m以浅ではらつきが見られるが、第1図 (b) に比べて小さい。また、800m以深での差は非常に小さい。

第4図は、シービームの深度とXBTの着底深度の関係を示したものである。青点が公称の換算式、赤点が新換算式の点である。この図からシービームの深度を真値とした場合、公称換算式による着底深度は70~90m深くなっていることが分かるが、新換算式による着底深度は公称換算式より、約80m浅く、系統的なバイアスがほぼなくなっている。

第5図 (a), (b) は、第2図 (a), (b) に示した

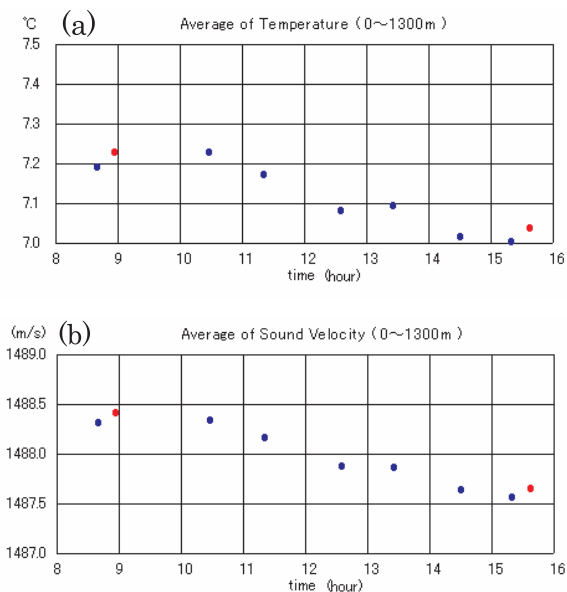


第4図 シービームの深度と2つの深度換算式による着底深度の関係.  
 Fig. 4 Relation of arrival bottom depth by depth of Sea Beam and two conversion types.

XBTデータについて新換算式を適用した時のXBT（青丸）とCTD（赤丸）の半日間の平均水温と平均音速度の変化を表した図である。

第2図と比較すると、平均水温で、0.1~0.2℃、平均音速度で、約50cm/sあったCTDとの差がほぼなくなっていることが分かる。

第6図は、CTDとXBTの同時観測（25回）における平均音速度の差を、公称換算式（赤）と新換算式

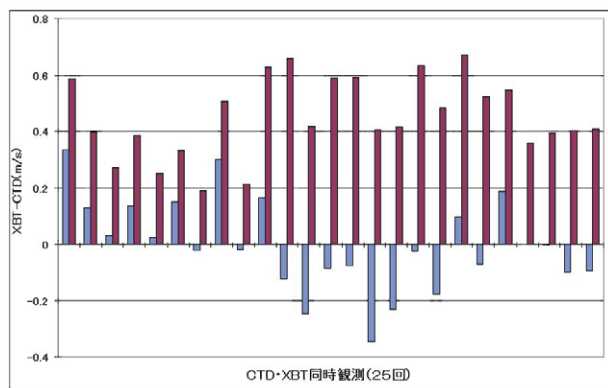


第 5 図 (a) 平均水温の時間変化 (b) 平均音速度の時間変化 (2004年 1 月, 相模湾). XBTには新しい深度換算式を適用.

赤: CTD 青: XBT

Fig. 5 (a) Time change of average water temperature. (b) Time change of average sound velocity (January 2004, Sagami Bay). The new depth conversion formula is applied to XBT.

Red: CTD Blue: XBT.



第 6 図 CTD, XBT同時観測時の平均音速度の差ただし, XBTは青:新換算式, 赤:公称換算式

Fig. 6 Difference of average sound velocity at the time of CTD and XBT simultaneous observation.

Blue : new XBT conversion formula  
Red : nominal XBT conversion formula

(青)についてそれぞれ示したものである. 図から, 公称換算式によるXBTの平均音速度は, CTDの平均音速度に比べ, 系統的に20cm/s~60cm/s大きいことが分かる.

それに比べて, CTDと新換算式によるXBTの平均音速度の差は, バイアスがなくなり約35cm/s以内に収まっている.

### 5 まとめ

本稿では, 海底地殻変動観測における音速度構造の精度向上のため, XBTの新しい深度換算式の適用結果を報告した. その結果, 新換算式によるXBT (T-5) のプローブ降下率は, 公称換算式のそれより小さく, 例えば深度800m付近で, 新換算式の方が約40m浅くなる.

XBTはCTDと比較すると, 平均水温が0.1~0.2°C, 平均音速度も20cm/s~60cm/s高かったが, 新換算式を適用すると系統的なバイアスはなくなった.

新しい深度換算式によるXBTデータを使うことによって, 海底基準局の位置決定するための音速度の精度が向上したといえる.

### 謝辞

XBTの深度換算式を検討し, 新たな係数を算出し, 提供して頂いた東北大学大学院理学研究科地球環境物理学講座の木津昭一氏に感謝の意を表します.

### 参 考 文 献

Kizu S., H. Yoritaka and K. Hanawa : A New Fall-Rate Equation for T-5 Expendable Bathythermograph (XBT) by TSK. *J. Oceanogr.*, **61**, No1, 115-121 (2005)  
佐藤まりこ, 藤田雅之: 海底地殻変動観測における海中音速誤差の局位置への影響について, 海洋情報部技報, **22**, 42-49, (2004)