

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23540506

研究課題名(和文)自由落下型センサーの数値モデル開発とその検証

研究課題名(英文) Numerical modelling of the fall-rate behaviour of a free-fall ocean sensor and its validation

研究代表者

花輪 公雄 (Hanawa, Kimio)

東北大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40142921

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、過去半世紀にわたり海水温観測の主力であったXBT(投棄式水温深度計)の水中降下速度に与えるプローブ重量の影響を、海上比較試験に基づいて定量化し、同測器の降下運動をモデル化することを通して、歴史的な水温観測資料の質的向上に資することを目的とした。本研究の結果、10gの重量差の降下速度への影響は、最も頻用されてきたT7型について約1%であった。これは空中でのプローブ重量の変化率とほぼ比例し、合理的である。この結論をメーカーの品質管理基準に当てはめると、降下速度に与える重量誤差の影響は限定的で、本研究の成果は、近年問題となっているXBTの測器バイアスのサイズに対して一定の上限を与える。

研究成果の概要(英文)：This study attempted to quantify and model the impact of variance in probe weight on the fall-rate of XBT (expendable bathythermograph), which has been a major tool for ocean temperature profiling over the last half a century. Based on a series of direct comparisons, the change of fall-rate of T-7, the most popularly-used probe type, caused by a change of 10g in its probe weight is estimated to be about 1%. This is almost equal to the relative weight change. When this is applied to the manufacturers' weight tolerance in their QC, the influence of weight change on the fall-rate is reasonably confined, and the results of this study give some upper limit on the XBT fall-rate bias, which has been a matter of debate over the last decade for the improvement of the historical ocean temperature data archive.

研究分野：地球惑星科学

科研費の分科・細目：気象・海洋物理・陸水学

キーワード：XBT 降下速度 水温計測 水温 海洋貯熱量 海洋温暖化

### 1. 研究開始当初の背景

海水温の観測は、海洋環境のモニタリングにとって最も基本的なものであり、これまで様々な測器を用いて行われてきた。1960年代初めに開発された XBT (投下式水温深度計) はそのような測器の一つで、特別な観測設備を持たない商船等においても簡易に観測を実現できることから、過去半世紀にわたり海洋上層の水温分布を計測するための主力機器として世界中で重用されてきた。しかし、この測器は構造上、圧力計を持たず、水中を自由降下して着水後の経過時間から深度を推算する仕組みであるため、この水中降下速度の確度がそのデータの信頼性にとって致命的に重要である。近年、この水中降下速度を与える実験式 (時間-深度変換式) に無視できない誤差があり、これが過去数十年の海洋温暖化の傾向に関する見方を一変させるほど大きな深度バイアスを生んでいることが明らかとなってきた。この深度バイアスについては、大規模データベースの解析等を通して多くの研究者が今も定量的評価を進めているが、肝心のバイアスの原因についてはほとんど何も分かっていない。これまで各国で取得されてきた歴史的な水温観測資料の信頼性を向上させ、「気候研究品質」のデータセットを再構築するためには、科学的根拠に基づくバイアスの補正が極めて重要で、そのために XBT のような自由落下型センサの降下運動を精度よく表現できるモデルの構築が待たれていた。

### 2. 研究の目的

本研究では、前述のような背景を踏まえて、自由落下型センサの降下運動にとって重要な因子を特定し、それらの効果を可能な限り定量化することを目的とした。予想される影響因子としては、測器そのものの重量と、これが船上から水中へ突入する際の初速度、測器形状に由来する抵抗、水の粘性などである。

### 3. 研究の方法

本研究では、プローブ重量の影響を最も重要と考え、重量変化に対する降下速度の依存度を定量化することをまず狙った。対象としたのは、世界中で最も多く用いられてきた T7 型と呼ばれる種類のプローブ (図 1) で、これの通常の市販品と、それより 10g あるいは 20g 空中重量を減じた特注品のプローブを各々数ダース程度用意し、それらを海上で同時に投下することにより、重量変化による降下速度への影響を定量的に評価した。軽量化の際には、プローブ頭部の金属製の錘の内部を削る方法 (図 2) と、プローブ内の巻線量を減らす方法の 2 通りを試し、前後の重量バランスの違いがもたらす影響も調べた。次に、日本ほか数カ国で用いられている鶴見精機製 (日本) のプローブと、欧米や豪州などで用いられている米国 Sippican 社製のプローブとの比較も実施し、それらの詳細な分解調

査も並行して行うことにより、プローブの構造的要因が XBT の降下運動に与える影響を考察した。すべての比較実験は、定期的に校正が行われている CTD (電導度水温深度計) の観測中に実施し、深度の絶対校正を保証した。さらに、水温の鉛直構造が大きく異なる数カ所でも実験を繰り返し、水温の違いが降下速度に与える影響も調査した。

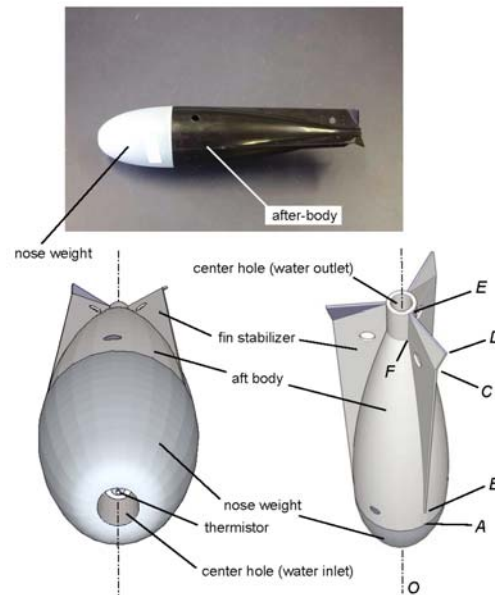


図 1 T7 型 XBT の外観 (上) とその構造 (下)。



図 2 軽量化の方法。左が通常の製品、右が錘の内部を削り抜いて軽量化したもの。

### 4. 研究成果

一連の実験の結果、10g の重量差が降下速度に及ぼす影響は約 1% であることがわかった (図 3)。T7 型 XBT の空中重量は約 740g であるので、この降下速度の変化はプローブ重量の相対変化率とほぼ一致する。このことは、海水の抵抗を受けつつほぼ一定の速さで水中を降下するこれらの測器の運動を考えると、極めて合理的である。また、前述の 2 通りの軽量化の方法による違いは有意には認められず、この型の XBT において 1~2% 程度の質量変化がプローブ内の前後どちらで起こっても降下速度には同程度の影響が現れることが分かった。

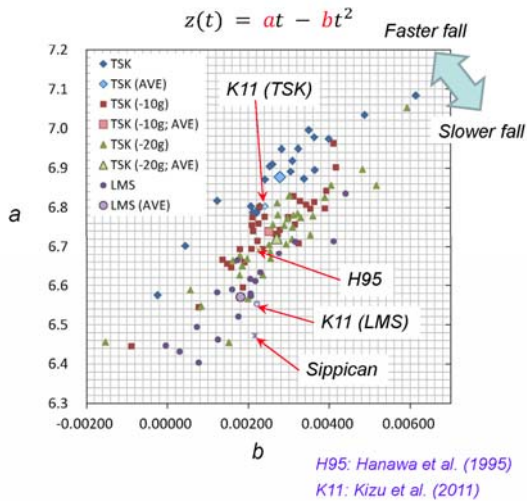


図3 通常の T7 と軽量化した T7 の降下特性の違い。各点が個々のプローブに対応し、図の左上ほど速く、右下ほど落ちたことを表す。

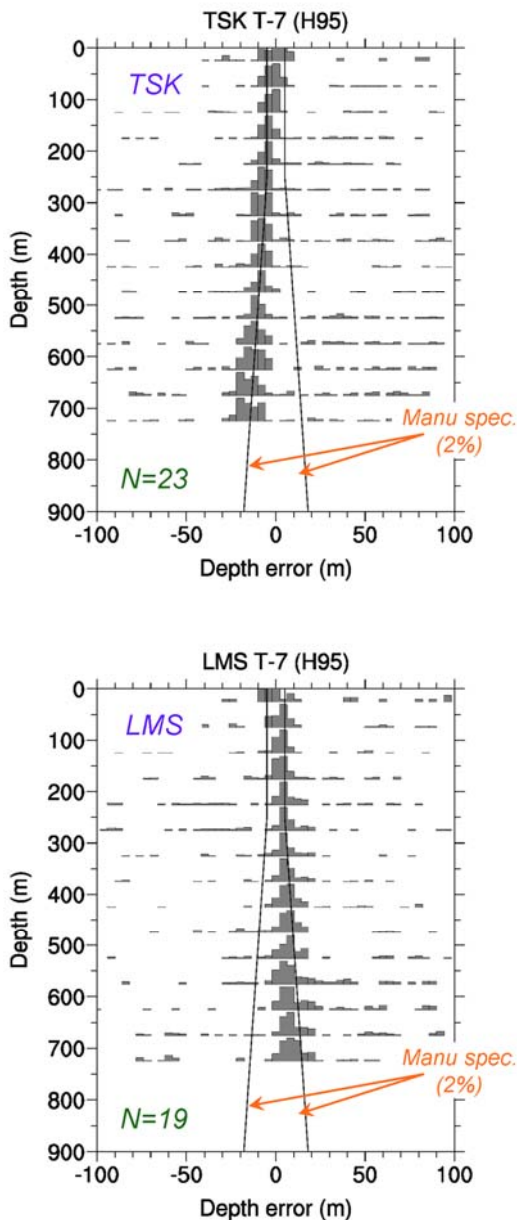


図4 鶴見精機（日本）製（上）と Sippican（米国）製の T7 の降下速度の違い。縦軸が

深度、横軸が深度誤差を表し、各図の右によるほど遅く落下したことを示している。図中の実線はメーカーの公称深度誤差。

一方、日米のメーカーの製品の降下速度の差は、重量差が 4g 程度しかなかったにも関わらず、3~4%近くあった(図4)。このことは、2つのメーカーの製品の降下速度に、重量の違いでは説明できない、おそらくは構造由来の影響が現れていることを示している。詳しい分解調査の結果、日米の製品には同じモデル名のプローブであっても様々な構造的差異があることが分かっており、それらが水の抵抗を介して XBT の降下速度に無視できない違いを生んでいることが確かめられた。さらにこのことは、これまで無いとされてきたメーカーによる差異が少なくとも近年のプローブには存在することを表している。以上は、観測時やデータ管理に際して、プローブ種だけでなく、メーカーの区別や製品の製造番号などを併せて記録・補完することが非常に重要であることを示唆する。

また、それぞれのメーカーの製造工程における品質管理基準に照らすと、10g の重量変化はかなり大きいので、最近の幾つかの論文が示しているような±2%を越えるような大きな降下速度の変動は、製造年代による製品の重量変化だけでは説明できそうにないことが示唆される。

最後に、観測地点の水温が T7 型 XBT の降下速度に与える影響は、水温変化 10 度あたり約 1%であることが分かった。このことは、データの利用目的次第では、寒冷な海域と温暖な海域とで時間-深度変換式の係数を使い分ける必要があることを意味している。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Kizu, S., C. Sukigara, and K. Hanawa (2011): Comparison of the fall rate and structure of recent T-7 XBT manufactured by Sippican and TSK. *Ocean Science*, 査読有, vol.7, pp.231-244, doi:10.5194/os-7-231-2011

[学会発表] (計 4 件)

- ① Kizu, S. and K. Hanawa (2013): Impact of difference in probe weight on the fall-rate of XBT. The Seventh Session of the JCOMM Ship Observations Team (SOT), 22-26 April 2013, Victoria, Canada.
- ② 木津昭一・花輪公雄 (2012): XBT の降下速度の水温依存性と製造年代による違い. 2012 年度日本海洋学会春季大会, 平成 24 年 3 月, 筑波.
- ③ Kizu, S., and K. Hanawa (2011): An

assessment of the effect of variance in probe weight on the fall-rate of expendable bathythermograph and pure temperature bias. First XBT Science Workshop, 7-8 July 2011, Bureau of Meteorology, Melbourne, Australia.

- ④ Hanawa, K., and S. Kizu (2011): Trial to check XBT fall rate and to develop simple numerical model. First XBT Science Workshop, 7-8 July 2011, Bureau of Meteorology, Melbourne, Australia.

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

[http://www.aoml.noaa.gov/phod/goos/xbts\\_cience/](http://www.aoml.noaa.gov/phod/goos/xbts_cience/)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

花輪 公雄 (HANAWA, Kimio)  
東北大学・大学院理学研究科・教授  
研究者番号： 4 0 1 4 2 9 2 1

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし