国際気象通報式「BATHY」の改正 — XBT の新しい落下率の採用 — *

安藤 正†

Amendments to WMO BATHY Code — Implementation of New XBT Fall-rate Equation —

Tadashi Ando‡

1. はじめに

WMO (世界気象機関) が定める国際気象通報式「BATHY」(表層水温通報式) が 1995 年 11 月 8 日をもって一部改正されることになった。

「BATHY」は海洋の表層水温をリアルタイムに通報する国際気象通報式で 1970 年代初めから IGOSS (全世界海洋情報サービスシステム) の一環として主として XBT の観測データの通報に用いられてきた。この通報式は表層水温の鉛直プロファイルを近似する深度/水温の特異点を選んで通報するものであり(特異点ではなく基準層の通報も可能)、通報されたデータは気象データの国際交換ネットワークである WMO の GTS (全球気象通信システム) により国際交換されている。交換された表層水温データは海洋表層の熱的構造に関する貴重なデータとして、各国の IGOSS データ処理担当機関(日本では気象庁)において処理・解析され種々の現業的なプロダクトが作成され、海況の監視に役立てられているとともに、海洋データセンターに収集され、海洋・気候変動研究に利用されている。

今回の改正は、現在まで使用されてきた XBT プローブの水深算出式に系統的な誤差があることが明らかになったことから、新しい算出式の使用を促進し、通報される

データが新旧どちらの算出式を用いたかを区別できるようにすることがその主目的である。ここではこれまでの経緯と改正の概要を報告する。

2. XBT の深度誤差と新しい深度時間換算式の提案

1960 年代に開発された XBT (Expendable Bathythermograph, 投棄式自記水深水温計) は、船舶が航走したまま海面から深さ数 100m までの表層水温を観測できる測器である。この測器の大きな特長は、プローブと呼ばれる水温センサー部とランチャー(投下装置)にセットされたキャニスタ(プローブを収めた筒)の両方にワイヤが巻き込まれており、プローブの落下の際にはプローブとキャニスタの双方からワイヤが繰り出されることである。このため船舶が航走中でもワイヤに張力が働かず、プローブは投下された場所で自由落下する。プローブには深度のセンサーはついておらず、深度はあらかじめ設定された落下率にもとづいた式で着水後の経過時間から計算する。深度 z (m) は、プローブが着水してからの経過時間 t (秒) の 2 次式、

$$z = at + 10^{-3}bt^2 \quad (1)$$

で与えられるとするもので、メーカー(シッピカン社及び(株)鶴見精機)によれば一般に広く普及しているプローブ T-4/T-6 (460m 用) 及び T-7 (760m 用) とともに定数 a, b は、

* 1995 年 7 月 10 日受領; 1995 年 7 月 20 日受理

† 気象庁海洋気象部海洋課; 〒100 東京都千代田区大手町 1-3-4

‡ Marine Department, Japan Meteorological Agency, 1-3-4 Otemachi, Chiyoda-ku, Tokyo, 100 Japan

$$a = 6.472, \quad b = -2.16$$

であり、その精度は、

$$\pm 5m \text{ または水深の } \pm 2\% \quad (2)$$

であるとされてきた。

ところが、XBT の深度に誤差がある可能性が 1970 年代後半から指摘され始め、CTD (電気伝導度水温水深計) と XBT による観測が同じ観測ラインで交互に実施されると水温鉛直断面に等温線の波打ち現象 (XBT 波動) が生じることなどから、XBT の深度時間換算式に問題があることが明らかになり、多くの研究者によりそれぞれ異なった方法で修正した XBT の深度時間換算式が提案された。これらの結果、メーカーの式による深度は、実際の深度に比べて数%浅く、深度を過小評価していることが明らかになった。この誤差は、メーカーの提唱している精度 (2) より大きく、許容できない系統的なものである。

この XBT の落下率の問題は国際的にも広く認識され、IGOSS で共通に使用する新しい「ユニバーサル」な深度時間換算式を確定するために、自動化システムの品質管理のためのタスクチーム (Task Team on Quality Control for Automated System: TT/QCAS) を設置して検討を行うこととし、1991 年 6 月に第 1 回の会合が開かれた。このチームには日本から東北大学の花輪氏がメンバーとして参加している。この会合では、CTD と XBT の比較観測データをさらに収集するとともに、花輪氏が中心になって統一した方法で総合的にデータの検討を行うことになった。

検討には、水温値の誤差の影響をなくすため水温の絶対値ではなく鉛直勾配の極値を比較して水深誤差を検出する方法や深度時間換算式 (1) の定数 a と b の関係を使った統計処理等、花輪氏のグループが開発した方法 (Hanawa and Yasuda (1992)) が採用された。当面の検討対象は広く普及しているシッピーカン社及び (株) 鶴見精機の T-4/T-6 及び T-7 の各プローブに限定された。チームのメンバーが収集した複数の海域の CTD/XBT 比較データセットを用いて検討が行われ、T-4/T-6 及び T-7 の各プローブに共通な新しい定数 a と b として、

$$a = 6.691, \quad b = -2.25$$

が決定された。

また、プローブ毎のばらつき誤差についても検討され、

標準偏差の 2 倍 (全データの 95.5% がそれ以内に入る) 及び 3 倍 (同じく 99.7%) に相当する深度の「誤差」はそれぞれ、

$$\pm (6m + \text{水深の } 1.5\%) \quad (\text{標準偏差の } 2 \text{ 倍}) \quad (3)$$

$$\pm (9m + \text{水深の } 2\%) \quad (\text{標準偏差の } 3 \text{ 倍}) \quad (4)$$

と見積もられた。これらは、従来メーカーが提唱していた「誤差」(2) とは異なっており、仮に (3) を「誤差」として (2) と比較すると、海面から T-7 の最大深度である 760m まで (3) の方が大きな値をとる。

さらに、従来の式で計算した深度から新しい式の深度への換算は近似的に 3.36% だけ深くすればよいことも示された。これらの成果の詳細は IOC (ユネスコ政府間海洋学委員会) の技術報告 (UNESCO (1994)) としてまとめられるとともに、論文として Deep-Sea Research に投稿された (Hanawa *et al.* (1995))。

3. 国際気象通報式「BATHY」の改正

IGOSS は 1991 年 11 月の第 6 回 IGOS 委員会から TT/QCAS から XBT の深度時間換算式について報告を受け、「BATHY」の改正を検討することとした。その後 1993 年 9 月の WMO 基礎組織委員会データ管理作業部会/データ表示・通報式副部会の第 1 回会合において、TT/QCAS と WMO 事務局は、従来の「BATHY」には含まれていない (1) XBT の深度時間換算式、(2) XBT プローブの種類及び (3) XBT の記録計の種類を追加する改正案を提案した。この改正案は 1994 年 2 月の WMO 基礎組織委員会データ管理作業部会第 2 回会合で一部修正されて了承された。さらに 1994 年 8 月の WMO 基礎組織委員会臨時会議において、この「BATHY」を含めた国際気象通報式の一部を改正し、1995 年 11 月 8 日から実施することが勧告され、1995 年 6 月の WMO 執理事務会で承認された。これにより新しい「BATHY」による通報が 1995 年 11 月 8 日から正式に実施されることになった。

気象庁では今回の改正を受け、国内版の「国際気象通報式第 8 版」の改正を行うとともに、「BATHY」による表層水温通報の方法をわかりやすく解説した「BATHY 通報の手引き」を改訂し、近日中に国内関係機関に配布

を予定している。改正の具体的な内容はこの「手引き」を参照していただくこととするが、改正の概要について簡単に解説する。

今回の改正点は新たな通報義務群 $I_X I_X I_X X_R X_R$ が追加されることである。このうち $I_X I_X I_X$ は XBT プローブのメーカー、種類及び使用した落下率の係数 (a と b) を示し、別表から選択する。別表では、シッピカン社、(株) 鶴見精機及びスパルトン社の各プローブ毎に新旧の落下率の係数が選択できるようになっている。ただし上記のように新しい定数が確定したのはシッピカン社と(株) 鶴見精機の T-4/T-6 及び T-7 だけであり、それ以外のプローブ(スパルトン社のものはすべて)は従前からの値のみ掲載されている。もちろん新しい式が確定したプローブについても従前の値を選択することができる。また、例えば CTD 等の XBT 以外の測器による観測の場合には落下率の定数とは関係なく測器の種類を示す $I_X I_X I_X$ が別途用意されている。

新しい(正しい)落下率の定数が明らかになったのは上述のように一部のプローブに限られており、その他のプローブについても新しい定数が決定され次第、 $I_X I_X I_X$ の表は改訂される予定である。

$X_R X_R$ は各メーカーの記録計を別表から選択する。記録計の種類の通報が導入された一つの理由は、特定の記録計(Bathy Systems Inc. 810 XBT controller)に「bowing」と呼ばれる深度とともに水温が上昇してしまう症状がでることが問題にされたためである。

その他の内容は現行の通報式と同じであるが、1995 年 11 月 8 日以降も当分の間新旧の通報式による通報の混在は避けられないことが予想されることから、新しい通報式の冒頭の識別符を現行の「JJXX」に替えて「JJYY」とし、もし新旧の通報式による通報が混在しても両者を区別できるよう配慮されている。

4. おわりに

XBT 落下率の問題は、XBT を用いた観測を行っている海洋関係機関、研究者及びそれらのデータを利用してすべての機関、研究者にとって極めて重要な問題である。これまで使用してきた落下率に系統的な誤差があることが明らかになったことから、早急に新しい、正確な深度時間換算式を使用すべきであることは自明である

が、海洋データセンターに収集され広く流通する XBT データに 2 種類の落下率を用いたデータが区別できない形で混在することは避けるべきである。

今回の改正により「BATHY」で通報される XBT データについては区別が可能になったが、「BATHY」以外の形式で海洋データセンターに送られるデータについても区別することが必要である。日本海洋データセンター(JODC)によれば、「BATHY」以外の形式で JODC が収集する XBT データについて、使用した深度時間換算式が新・旧どちらのものであるのか明記したものを収集する意向である。

最後に従前より BATHY 通報に御協力いただいている国内関係機関に感謝するとともに、今回の改正の趣旨を御理解いただき、今後も引き続き御協力をお願いする。さらに、現在まで通報いただいていたなかった機関、研究者の方々にも、今回の改正を機に、「BATHY」による表層水温通報を改めてお願いする。なお、BATHY 通報は船舶気象報通報と同じく海岸無線局あるいはインマルサット経由で受け付けており、原則として通信料は無料(気象庁あるいは各国の気象機関が負担)である。本件に関しては下記までお問合せ願いたい。

記

BATHY 通報に関する問合せ先：

〒100 東京都千代田区大手町1-3-4

気象庁海洋気象部海洋課

TEL 03-3212-8341 内線 5128

FAX 03-3211-3047

E-mail t_ando@hq.kishou.go.jp

引用文献

Hanawa, K. and T. Yasuda (1992): New detection method for XBT depth error and relationship between the depth error and coefficients in the depth-time equation, J. Oceanogr., **48**, 2, 221-230.

Hanawa, K., P. Rual, R. Bailey, A. Sy and M. Szabados (1995): A new depth-time equation for Sippican or TSK T-7, T-6 and T-4, Deep-Sea Res., in press.

気象庁 (1990): 国際気象通報式 第 8 版.

気象庁海洋気象部 (1984): BATHY 通報の手引き.

UNESCO (1994): Calculation of new depth equations for Expendable Bathy-thermographs using a temperature-error-free method (application to Sippican/TSK T-7, T-6 and T-4 XBTs), Intergovernmental Oceanographic Commission technical series, **42**, 46pp.