

附件二

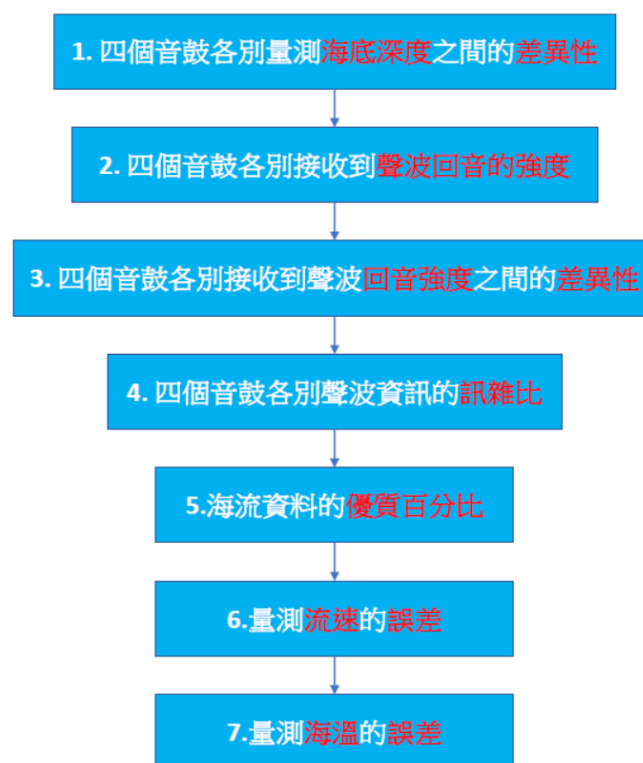
都卜勒流剖儀暨拋棄式溫鹽深儀

簡介

海洋三大物理量—溫度、鹽度和深度是研究海洋非常重要的參數，是其他量測儀器的參考基準，因此溫鹽深儀(CTD and Seacat)是海洋研究船必要設備。研究船單點式下放 CTD 所需的時間，一般需要 1~2 小時，量測至水深大約 1000 公尺。若需要加快量測到海水的溫度或鹽度，可使用拋棄式的溫度探針(以下簡稱 XBT)或溫鹽度探針(以下簡稱 XCTD)，量測所需時間一般不超過 10 分鐘。XBT 和 XCTD 在進行量測時，研究船可以不用停船，因此也可縮短整體航次的時間。

除了溫度、鹽度和深度外，由於海流對研究海洋環境的重要性，船載聲波流頗儀(以下簡稱 Sb-ADCP)也是海洋研究船的基本配備。Sb-ADCP 主要是當研究船航行時，量測海面下的海流頗面(ocean-current section profiles)，相關儀器所量測海流的最大水深一般不超過 500 公尺 m。為了增加量測海流的水深範圍，可使用單點下放式聲波流頗儀(以下簡稱 LADCP)，但是，研究船必須停在某個測站點，且 LADCP 必須與 CTD 搭配，一起下放至海面下同時進行量測。

此報告將主要提供 Sb-ADCP、LADCP、XBT 和 XCTD 的資料品質管理(data quality control)技術，並說明如何利用相關技術，維護現有新海研 2 號儀器從 109 年 8 月至今(109 年 1 月)的情況。



圖一、ADCP 量測海流的基本品質管理流程及要點。

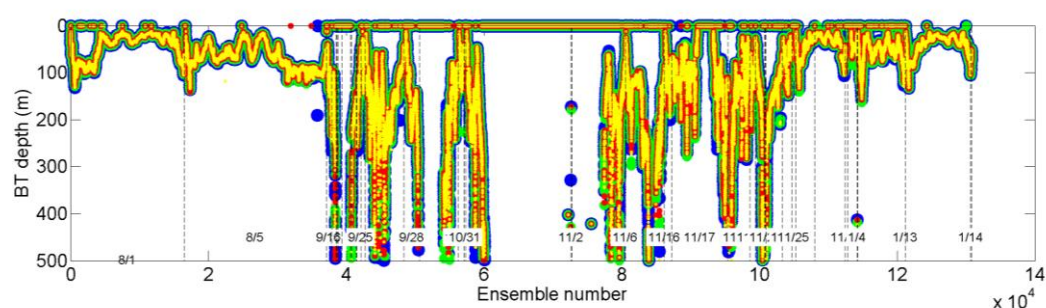
Sb-ADCP 和 LADCP

相關儀器量測海流方式主要是從四個音鼓(transducers)發射特定頻率的聲波，並根據儀器所測得的溫度和接收反射回來的聲波，以都普勒效應(Doppler effect)估算海流的流速(current speed)和流向(current direction)。

圖一顯示相關儀器量測的基本品質管理流程及要點，並綜合各要點(音鼓量測海底深度之差異、回音強度、回音強度之差異、訊雜比、優質資料百分比、量測流速誤差和量測海溫誤差)了解量測海流的品質。以下針對各個要點進行說明，並運用在新海研 2 號 Sb-ADCP 從 109 年 8 月至今(109 年 3 月)的所有航次。LADCP 的資料品質管理與 Sb-ADCP 的類同。

1. 各別音鼓量測海底深度之間的差異性

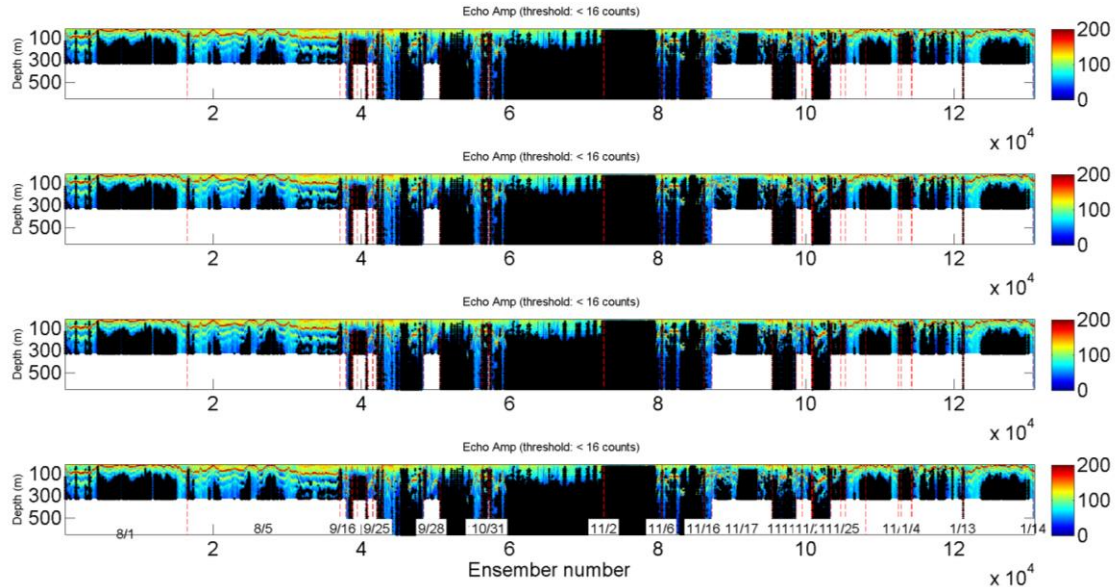
四個音鼓所偵測到的海底深度需要一致，以便提高量測海流準確度。圖二顯示從 109 年 8 月至今(109 年 1 月)新海研 2 號所有航次 Sb-ADCP 四個音鼓偵測到海底深度是一致，



圖二、109 年 8 月至今(109 年 3 月)新海研 2 號 Sb-ADCP 四個音鼓所偵測到的海底深度。紅、黃、藍和綠點表示四個音鼓個別偵測到海底深度。垂直虛黑線區分各別航次的時段，並標上日期“月/日”。

2. 各別音鼓接收聲波的回音強度(echo amplitude)

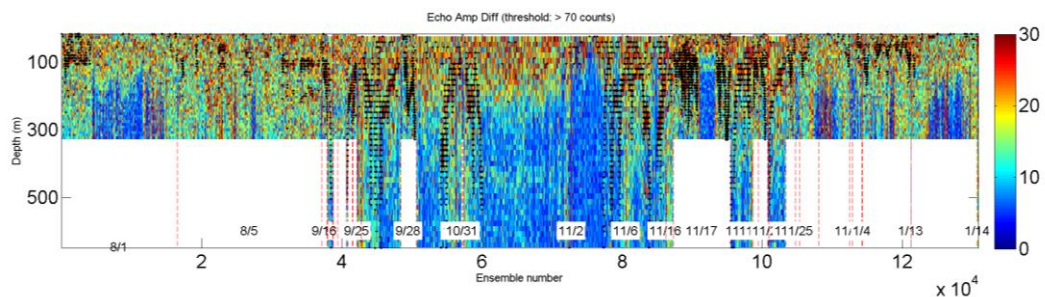
各別音鼓接收的回音強度均需要大於 16 counts，Sb-ADCP 量測海流才有可能有較高的精準度。如圖三所示，109 年 8 月至今(109 年 1 月)新海研 2 號所有航次 Sb-ADCP 四個音鼓接收的回音強度，在海底以上的深度，大多數均大於 16 counts。海床的反射回音強度均可達到 200 counts。



圖三、109 年 8 月至今(109 年 3 月)新海研 2 號 Sb-ADCP 四個音鼓所接收到的回音強度(echo amplitude)。黑點表示回音強度低於 16 counts。垂直虛紅線區分各別航次的時段，並在最下圖標上日期“月/日”。

3. 各別音鼓接收聲波的回音強度之間的差異性

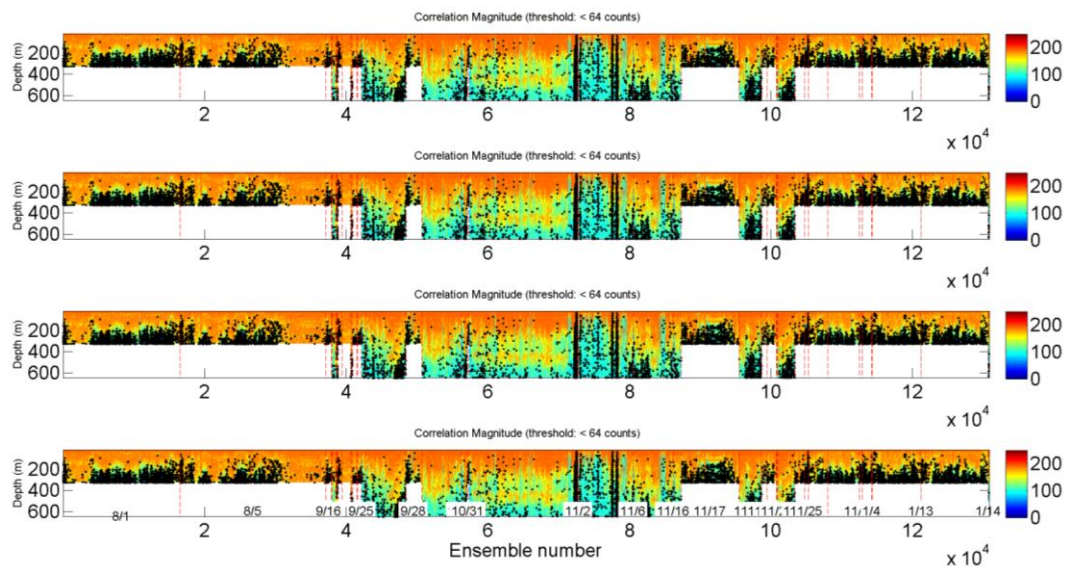
四個音鼓所接收到的回音強度需要一致，方能量測較準的海流。圖四顯示 109 年 8 月至今(109 年 1 月)新海研 2 號所有航次 Sb-ADCP 四個音鼓接收回音強度的差別，大多數均低於 32 counts。



圖四、109 年 8 月至今(109 年 3 月)新海研 2 號 Sb-ADCP 四個音鼓所接收到回音強度的差異(echo amplitude difference)。黑點表示回音強度差異大於 70 counts。垂直虛紅線區分各別航次的時段，並標上日期“月/日”。

4. 各別音鼓聲波資訊的訊雜比(correlation magnitude)

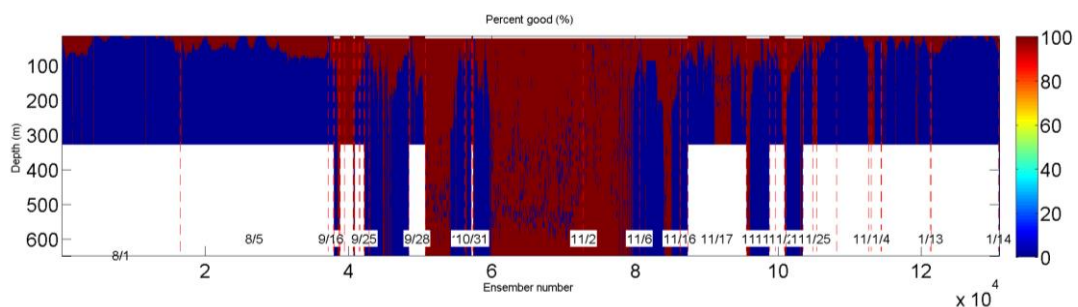
除了回音強度外，高準確度的海流量測海需要較高的訊雜比。如圖五所示，109 年 8 月至今(109 年 3 月)新海研 2 號所有航次 Sb-ADCP 四個音鼓聲波的訊雜比，大多數均大於 64 counts。



圖五、109 年 8 月至今(109 年 3 月)新海研 2 號 Sb-ADCP 四個音鼓的訊雜比 (correlation magnitude)。黑點表示訊雜比小於 64counts。垂直虛紅線區分各別航次的時段，並在最下圖標上日期“月/日”。

5. 量測海流資料的優質百分比(percentage good)

Sb-ADCP 綜合各種資料品質參數，提供量測海流資料的優質百分比 (percentage good)，百分之九十以上的量測結果可以表示資料品質優良。圖六顯示 109 年 8 月至今(109 年 3 月)新海研 2 號所有航次 Sb-ADCP 量測海流的資料品質在海床以上皆超過百分之九十。值得注意的是，量測海流資料的品質不能只根據此單一數據來確定或判斷。



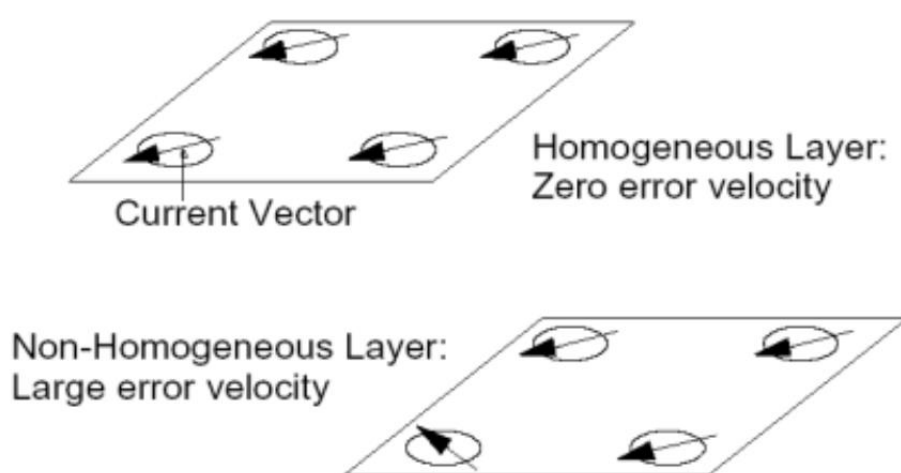
圖六、109 年 8 月至今(109 年 3 月)新海研 2 號 Sb-ADCP 量測海流的資料優質百分比(percentage good)。垂直虛紅線區分各別航次的時段，並在圖標上日期“月/日”。超過海床深度的資料優質百分比皆為 0%。

6. 絕對流速誤差(absolute velocity error)

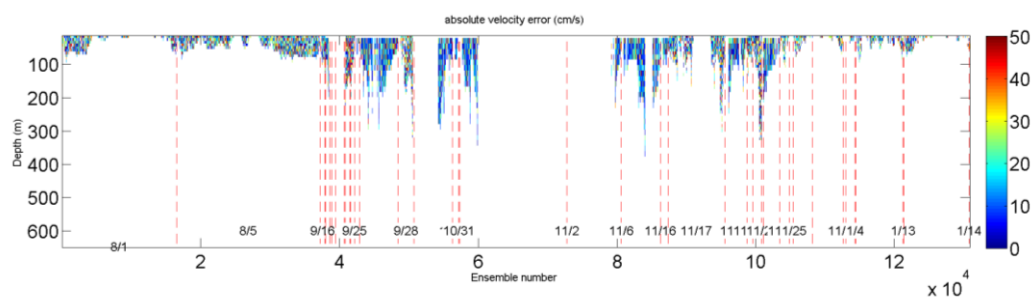
絕對流速誤差表示四個音鼓量到流速的差異，並非量到流速與真實流速的差別。在使用 ADCP 時，必須假設實際的流場是均勻一致(homogeneous)的。如圖七(上)所示，四個音鼓量到的流場是均勻一致的，絕對流速誤差為零，但

是，圖七(下)顯示量到不均一(non-homogeneous)的流場，絕對流速誤差較大。

研究船的航行狀況和海流的均一程度決定了量測海流的絕對流速誤差，船體在海上的搖晃程度越小(也就是海況佳的天候)，且海面下海流較均一的情況下，量測海流的絕對流速誤差越小。圖八顯示 109 年 8 月至今(109 年 3 月)新海研 2 號所有航次 Sb-ADCP 量測海流的絕對流速誤差(absolute velocity error)，根據統計，平均絕對流速誤差大約為 24.2 cm/s，標準差大約為 19.6 cm/s。大約 10%的絕對流速誤差大過 50 cm/s，在剔除掉這些過大的絕對流速誤差資料後，平均絕對流速誤差可降至 19.0 cm/s，標準差大約為 13.1 cm/s，且大約 70%的絕對流速誤差小於 24 cm/s，表示四個音鼓量到的流速差異 70% 小於 24 cm/s。



圖七、(上) 四個音鼓量到均勻一致的流場。(下) 四個音鼓量到不均一的流場。(取自 RDI ADCP 手冊，2011)

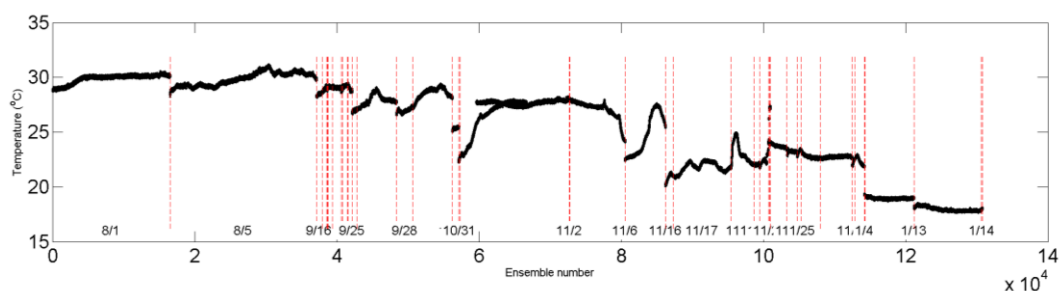


圖八、109 年 8 月至今(109 年 3 月)新海研 2 號 Sb-ADCP 量測海流的絕對流速誤差(absolute velocity error)。垂直虛紅線區分各別航次的時段，並在圖標上日期“月/日”。

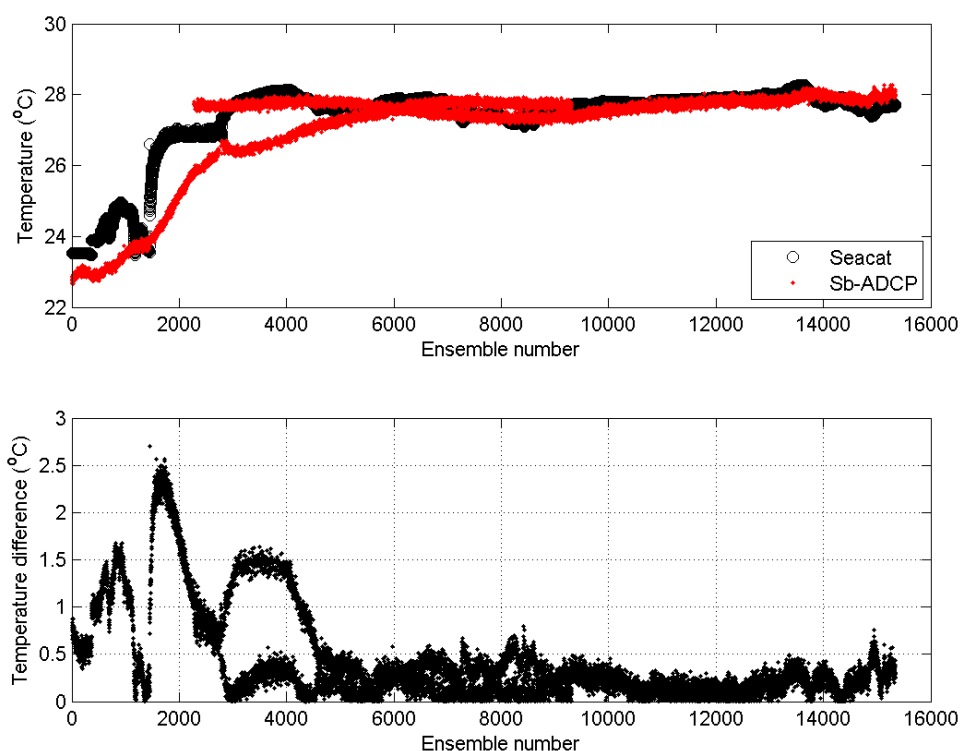
7. 溫度和溫度誤差(temperature error)

Sb-ADCP 根據都普勒效應(Doppler effect)量測海流，聲波的速度在不同的海溫將有所不同，因此，Sb-ADCP 量測海溫的準確度，也會影響到量測海流的準確度。圖九顯示 109 年 8 月至今(109 年 3 月)新海研 2 號 Sb-ADCP 量

測的海溫，皆在合理範圍內。夏天表海溫偏高(大約攝氏 30 度)，而冬天表海溫偏低(接近攝氏 18 度)。但是，從 109 年 10 月 31 日到 11 月 2 日的航次 (CR0017)，Sb-ADCP 所量測到的海溫變化頗大。針對這一航次，圖十比較了 Sb-ADCP 和 Seacat 表海溫，大多數在攝氏 0.5 度以內。僅有百分之二的海溫誤差在攝氏 2 度以上。若海溫誤差達攝氏 5 度，在攝氏 20 度的海溫下，將造成 3% 的海流量測誤差。若 ADCP 海溫誤差長期(整個航次)在 2 度以上的話，將無法準確的量測海流[Mueller et al., 2013]。



圖九、109 年 8 月至今(109 年 3 月)新海研 2 號 Sb-ADCP 量測海溫。垂直虛紅線區分各別航次的時段，並在圖標上日期“月/日”。



圖十、109 年 10 月 31 日至 109 年 11 月 2 日新海研 2 號(航次 CR 0017) Sb-ADCP 和 Seacat 量測的海溫(上圖)和海溫差別(下圖)。以 Seacat 量測的海溫為基準。

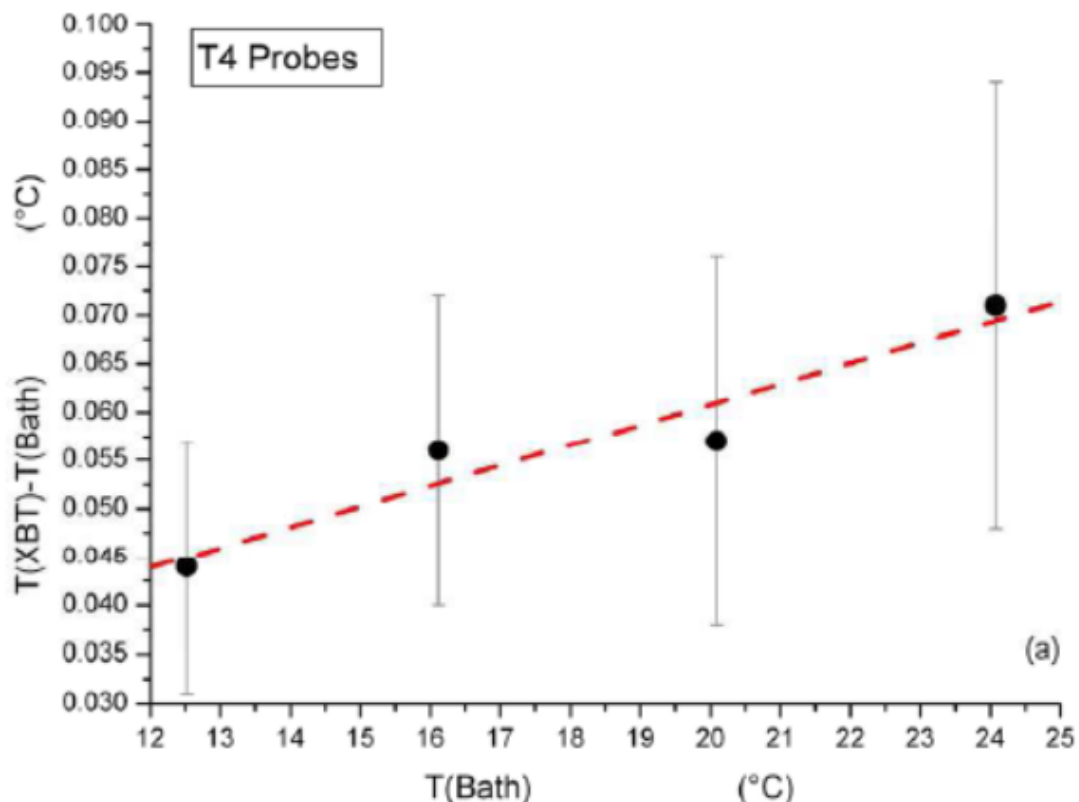
XBT 和 XCTD

相關儀器測量海洋溫度(或鹽度)的方式是讓探針牽著細銅線，自由落體的往海下掉落，同時記錄溫度(或鹽度)，直到銅線用盡並自行斷離，所以探針為拋棄式的耗材品。在量測海洋溫度(或鹽度)的過程當中，並無量測水壓。相關儀器所在到達的海洋深度是根據探針的重量和其在水中的垂降速率(falling speed)來估算。但是，不同海域的浮力不同，將影響探針的垂降速率，進而造成量測海洋溫度(或鹽度)的誤差[Hanawa et al., 1995]。

相關儀器的校正需要以 CTD 的資料為基準。根據前人的研究[Reseghetti et al., 2007]，XBT 通常所量到的海溫會高於 CTD。可以取四個深度的溫度，使用線性回歸的方式校正 XBT 所量到的海溫：

$$T4: \Delta T(T) = (-0.01845 \pm 0.00852)^\circ\text{C} + (-0.00212 \pm 0.00046) * T; \quad \dots (1)$$

式(1)中， T 可為 CTD 所量到的溫度， ΔT 為 XBT 溫度和 CTD 溫度的差別。式(1)中的係數可由圖十一的線性回歸結果得到。



圖十一、XBT 溫度和基準溫度的比較和線性回歸。相關 XBT 探針型號為 T4。
(取自 Reseghetti et al., 2007)

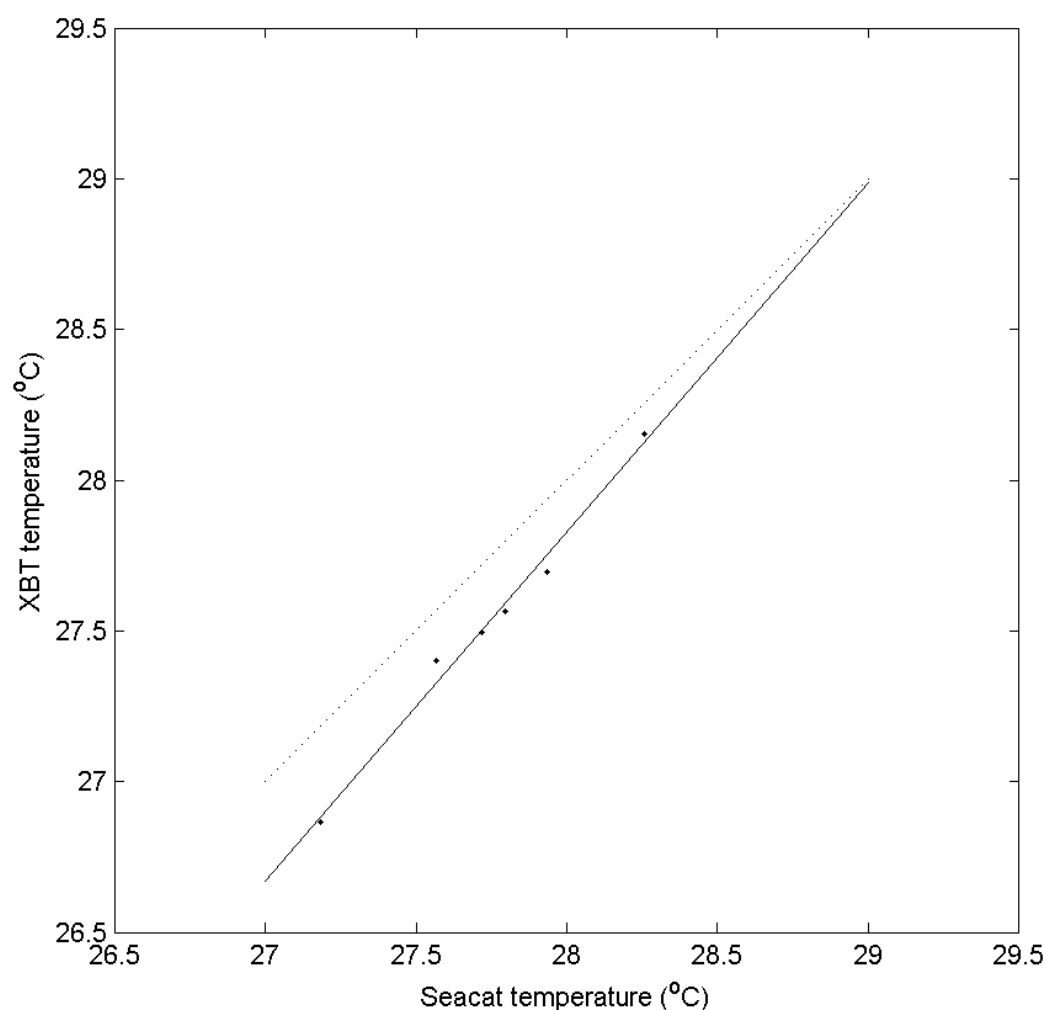
得到了式(1)中的係數後，XBT 每個深度所量到的海溫需進行以下的調整：

$$\Delta T(D) = \Delta T_0 + m * D \dots (2)$$

式(2)中， ΔT_0 可從式(1)求得， m 為 100 米以下 XBT 和 CTD 的溫度差別之平均， D 為水深。

XCTD 的鹽度與上述的溫度校正類同，只需把方程式中的溫度參數改成鹽度即可。參考的鹽度基準可以是 CTD 的鹽度。

109 年 8 月至今(109 年 3 月)，只有 CR0017 航次有投放 XBT 探針，但是，由於風浪不佳，以新海研 2 號當初的狀況，無法下放 CTD。因此無法將上述的技術運用在相關航次的 XBT 溫度數據。雖然如此，此報告進行 XBT 六個測站點混合層海溫與 Seacat 表水溫的比較。若以 Seacat 表水溫為基準，XBT 所量到的混合層海溫之偏差大約為攝氏 -0.21 度(標準差攝氏 0.074 度)，有偏冷的趨勢，雖然與前人的結果不大相同(XBT 通常所量到的海溫會高於 CTD)，但是 XBT 所量到溫度與 Seacat 表水溫的線性關係極好(如圖十二)，其 R^2 係數可達 0.98，且線性關係非常接近誤差為零的標準線，並通過統計 t 檢定(t -test)95%的測試。



圖十二、新海研 2 號 CR0017 航次 XBT 量測的混合層(50 米以淺)海溫與 Seacat 表水溫的線性關係。 R^2 係數可達 0.98。線性關係非常接近誤差為零的標準線(點線)，並通過 t 檢定(t -test)95%的測試。

參考文獻

- Hanawa, K., Rual, P., Bailey, R., Sy, A., and Szabados, M.: A new depth-time equation for Sippican or TSK T7, T6 and T4 expendable bathythermographs (XBT), Deep-Sea Res. Part I, 42(8), 1423–1451, 1995.
- Mueller, D.S., Wagner, C.R., Rehm, M.S., Oberg, K.A., and Rainville, Francois, 2013, Measuring discharge with acoustic Doppler current profilers from a moving boat (ver. 2.0, December 2013): U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 3, chap. A22, 95 p., <http://dx.doi.org/10.3133/tm3A22>.
- Reseghetti F., M. Borghini, G. M. R. Manzella. Factors affecting the quality of XBT data? results of analyses on profiles from the Western Mediterranean Sea. Ocean Science, European Geosciences Union, 2007, 3 (1), pp.59-75.
- RDI, 2011, Acoustic Doppler Current Profiler Principles of Operation A Practical Primer, P/N 951-6069-00, pp 56.