

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

運用 GEM 方法分析台灣周邊海域聲速剖面結構 研究成果報告(完整版)

計畫類別：個別型

計畫編號：NSC 95-2623-7-002-011-D

執行期間：95 年 01 月 01 日至 96 年 01 月 31 日

執行單位：國立臺灣大學海洋研究所

計畫主持人：唐存勇

共同主持人：莊文思

計畫參與人員：博士班研究生：戴仁華、張雅婷

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 96 年 03 月 30 日

運用GEM方法分析台灣周邊海域聲速剖面結構

張雅婷¹ 戴仁華¹ 唐存勇² 莊文思²

¹國立台灣大學海洋研究所博士班研究生

²國立台灣大學海洋研究所教授

(計畫主持人：唐存勇 協同主持人：莊文思)

國科會計畫編號：95-2623-7-002-011-D

摘 要

國家海洋中心海洋資料庫歷年以溫鹽深儀(Conductivity-Temperature-Depth, CTD)測量的水文資料，範圍涵蓋台灣周圍海域，因資料在空間與時間上分佈不均勻，故加入美國海軍實驗室(Naval Research Laboratory, NRL)發展計算全球混合層深度模式GDEM(Generalized Digital Environmental Model)的氣候平均值填補。利用海科中心資料庫校正過之水文資料，增加一道品質管理程序，可有效濾除異常資料，再用以計算台灣周圍海域的混合層深度及聲速場的氣候平均場。

為提高可分析之水文資料量，可加入 XBT (expendable Bathythermograph)測量的水溫資料，其缺少的鹽度資料將由氣候平均值填補，以便 GEM (Gravest Empirical Mode) 場及聲速場計算，期望提供台灣周圍海域混合層厚度以及聲速場在時間與空間上的分布情形。

關鍵字：混合層、聲速場、GEM

ABSTRACT

Ocean Data Bank (ODB) of National Center for Ocean Research collects the hydrographic data measured by CTD (Conductivity-Temperature-Depth) during past 20 years. The data set doesn't distribute temporally and spatially uniform around Taiwan. To keep the analyzed climatology continuous, the output of Generalized Digital Environment Model (GDEM), which is developed by Naval Research Laboratory (NRL), is blended in. Extra quality control (QC) applies with the calibrated hydrographic data from ODB could filter out the unusual data efficiently. The QC result could be used to calculate the climatological fields of the mixed layer depth and sound speed around Taiwan.

For expanding the raw data set, the depth and temperature data from XBT (expendable Bathythermograph) with salinity data from GEM calculated climatology are included as combined hydrography. The combined hydrographic data are useful for calculating GEM climatology and sound speed. The mixed layer depth and sound speed field around Taiwan could be provided.

Key Words: mixed layer, sound speed field, GEM.

一、前言

海水中聲音的傳播速度與許多因子有關，其中最主要的因子為海水的溫度與鹽度。由於受到太陽輻射能量、大氣狀態及海洋各種運動等因子的影響，海水的溫度以及鹽度的分布呈現在時間以及空間上分布的差異，其中最明顯的特徵是海水混合層厚度的季節性變化。於夏季，由於日照強但大氣狀態相對穩定，因此混合層厚度相對較薄，僅約表層數十米厚；然而，冬季大氣狀態不佳，使得海水上下混合劇烈，因此，混合層的厚度增加。Chern and Wang[1]指出海洋混合層厚度對於流場的變化、聲速場的分布以及聲納的回聲反射緊密相關。因此，在了解海洋中聲速場的分布狀況之前，先對台灣周圍海域的溫度及鹽度場的分布進行了解實屬必要。尤其於水中聲學，聲音隨水文性質（如溫度、鹽度）變化的特性，在混合層下方的斜溫層附近其聲速為最小值，根據司乃爾定律聲波傳遞會偏向聲速較小值，故於此處形成聲音通道（SOFAR channel），聲音在此深度傳播能量消耗最小，將可傳至最遠。但若音源入射角度大於聲音可以反（折）射角度時，則聲音將向海表面或深海偏折，致使聲波無法反射回來，這樣的性質對於我軍潛艦航行及反潛作戰至為重要；利用此一性質，潛艦航行時可以隱藏於聲波無法反射的陰影地帶，躲避敵軍聲納搜索；另一方面，在獵捕敵軍潛艦時，由於已知背景聲速場分布，故可過濾雜音，進而追蹤敵軍潛艦。

本計畫為為期兩年的的延續性計畫，第一年計畫執行係蒐集並整理台灣四周海域以溫鹽深儀(Conductivity-Temperature-Depth, CTD)船測的歷史溫度以及鹽度資料；同時，引進且初步建立由美國羅德島大學發展的最佳經驗模式(Gravest Empirical Model, GEM)用以計算海水混合層厚度的氣候平均場。經由整理歷史水文資料顯示，由我國國家海洋中心之海洋資料庫所提供的歷史水文資料，其品質相對於由國外海洋資料中心如美國國家海洋暨大氣總署之國家海洋資料中心(National Oceanic and Atmospheric Administration/National Oceanic Data Center, NOAA/NODC)等較佳；雖然如此，於其所提供的資料中亦有異常值存在需要進一步的濾定，故吾等發展一以溫鹽圖(T-S Diagram)濾定異常值的方法，做更進一步的資料品質管程序，結果顯示其能有效的將異常水文測站濾除，同時，可運用於台灣四周海域（河口或近岸地區除外）。此外，經由初步引進並建立 GEM 模式於計算台灣周圍混合層厚度，結果顯示此一模式適用於台灣周圍海域的計算，將運用其計算方法於本年度計

畫的執行中。

海洋科學中心資料庫所提供的歷史水文資料[2][3]，雖然測站點多且分布於台灣四周海域；然而其資料點在空間的分布上並不均勻，測站點多集中於台灣東北及西南海域，遠離台灣（如北南海陸棚、菲律賓附近海域）則相對測站點較少。為納入由海軍以可拋式溫深儀(eXpendable BathyThermograph, XBT)所量測的溫度剖面資料，發展與 Chu et al.[4]相似的方法，以氣候平均的鹽度值填補缺少的鹽度值，並整合現有的水文資料，以計算聲速場的氣候平均值在空間以及時間上的分布。此外，對於資料稀少甚或資料空白區域，則將使用由美國海軍實驗室（Naval Research Laboratory, NRL）發展之計算全球混合層深度模式 (Generalized Digital Environment Model, GDEM)溫度及鹽度的輸出結果予以填補；由於 GDEM 模式的原始程式碼為美國軍方所列管，故無法取得，但因計畫主持人與美國 NRL 有良好合作的記錄，經 NRL 的計畫主持人 Mr. Teague 的協助已經取得該資料，將運用於計畫中。

因此，本年度的計畫執行將發展可納入海軍提供之 XBT 量測資料並將其缺少之鹽度值以氣候平均值填補之套裝程式；經過校正/填補的水文資料將套用已經建立之 GEM 模式，計算台灣周圍海域混合層厚度；同時運用水文資料計算聲速場，以期了解台灣周圍海域混合層厚度以及聲速場在空間以及氣候平均場上的分布情形。本文針對第二年工作進度報告，將於第二章介紹已建構完成之台灣周圍海洋氣候平均場，第三章陳述研究方法與結果，並於第四章做討論與結論。

二、已建構完成之台灣周圍海洋氣候平均場

建構台灣周圍海洋氣候平均場，主要利用國家海洋科學中心資料庫所蒐集之歷年研究船 CTD 資料，其點位分佈（全年）如圖一所示，資料在空間分佈上十分不均勻。為建構解析度高之氣候平均值，納入美國海軍實驗室（NRL）發展之計算全球混合層深度模式海洋氣候平均值 GDEM 溫度及鹽度的輸出結果，其在空間解析度為 $\frac{1}{4}^{\circ} \times \frac{1}{4}^{\circ}$ ，時間則為每個月一筆，將其每一點位之 profile 視為一筆 CTD 量測資料納入待分析之水文資料中，在資料

缺乏之時間、空間網格點內可有足夠資料以供分析；在量測點充足處，亦不致偏向 GDEM 輸出結果。

使用 GEM 方法，建構台灣周圍海洋氣候平均值[5]，其範圍由 112°E~130°E，10°N~32°N，水平網格為 $\frac{1}{4}^{\circ} \times \frac{1}{4}^{\circ}$ ，垂直由 10m~1000m 分為 33 層標準深度，時間解析為一個月一筆，輸出值為溫度與鹽度。圖二為 GEM 計算之 100 公尺等深處溫度場，上半部為十二月、一月、二月，代表東北季風時期；下半部為六月、七月、八月，為西南季風時期。在加入 GDEM 資料後，每月一筆的氣候平均場可保持資料連續性，除季節性的增溫之外，亦可觀察到南海內部的溫度分佈情形亦有季節性變動：南海東北部、靠近呂宋島西方之冷心（cold core）結構僅在東北季風時期出現，西南季風時期則以南海西南部出現溫度較低的現象，此與 Shaw *et al.*[6]，Chu and Li[7]結果一致。

圖三則為沿 20.25°N 橫切之東北季風、西南季風時期鹽度剖面，其涵蓋範圍如圖三中地形圖之紅線部分，橫越呂宋海峽。在 120°E 以東，300 公尺以上，不分季節皆存在一鹽度最大值（>34.8 psu），此鹽度值與範圍皆與過去對黑潮的研究[8][9]結果符合，亦可從圖三上、下兩部分發現此鹽度最大值之範圍有季節性變動，然而此變動為黑潮主軸位置改變或黑潮入侵所引起，則無法由此判別。

三、研究方法與結果

3.1 以氣候平均值填補 XBT 鹽度資料：

已完成之台灣周圍氣候平均場雖僅有溫度場與鹽度場，卻為最基本之海洋物理參數，建構氣候平均場最重要為其資料量，分析之資料量越大，氣候平均值越具代表性，以美國海軍所使用之氣候平均值 MODAS（Modular Ocean Data Assimilation System）為例，其構成之全球資料量為 270 萬筆（包含 CTD、XBT、AXBT 等），與海科中心資料庫在台灣周圍蒐集之 2 萬多筆水文資料相較之下，十分龐大。若能納入 XBT 之資料，定可增加分析之資料量，XBT 僅含深度與溫度資料，缺乏鹽度資料無法加入 GEM 的計算，仿照 Chu *et al.*

[4]的方法以氣候平均鹽度值予以填補。Chu *et al.* [4]分析於南海以 AXBT (Airborne eXpendable BathyThermograph) 量測之溫度，欲探討南海之水文場以及流場分布，由於缺乏鹽度資料，故其運用由 NOAA 所計算全球氣候平均鹽度資料以填補鹽度。圖四為節錄自其文章中，實測(左)與以氣候平均鹽度資料填補(右)的 T-S Diagram，顯示兩者之間差異並不大，且溫鹽分佈仍維持靜力平衡。用鹽度的氣候平均值填補海軍以 XBT 量測得的溫度剖面，探討氣候平均場的分布狀況為可行方法。然而，由去年度的成果報告中顯示 NOAA 所提供的資料品質較差，故將以第二章介紹以 GEM 建構之台灣周圍海域氣候平均值作為鹽度以及空白區域的氣候平均資料填補來源。其方法係將由網格化的 GEM 氣候平均鹽度資料以線性內差的方式，將資料內差到 XBT 所在的測站點。

以 119.5°E、21.75°N 網格內資料為例，將其 CTD 資料之溫度與深度部分取出，作為 XBT 資料，並加入計算完成之 GEM 鹽度值，完成合成水文資料，圖五為其溫鹽圖比較，等值線為密度，黑色圓點為原始之 CTD 資料分佈，綠色三角形為 XBT 之合成水文資料，紅色星號則為 GDEM 在此網格點之輸出資料，由 XBT 合成水文資料在溫鹽圖上分佈，可知其仍維持靜力平衡，且與原始資料偏差不大。利用此合成水文資料所計算重力位高度 (geopotential height) 與原始 CTD 計算之方均根誤差比值如表一所示，除二月以外，積分計算至 1000 公尺之所有誤差比值均小於 1%，且積分越深，其誤差比值越小，顯示此合成水文資料之可用性。

3.2 混合層深度的計算：

混合層厚度的計算一般可分為兩類：第一類係以溫度的垂直變化推算等溫層厚度，此方法係選定一個溫度差值 ΔT ，定義等溫層為(海表溫-當層水溫) $< \Delta T$ 的範圍內(如 Monterey and Levitus[10]所選取的 $\Delta T=0.5^{\circ}\text{C}$)，又稱為等溫層厚度 (Isothermal Layer Depth, ILD)；而第二類則以密度的垂直變化推算，又稱為 Mixed Layer Depth (MLD)，此方法為選取一參考密度(如於 10 米的 σ_t)，定義混合層厚度為該深度密度與參考水層密度之差小於 r 倍的參考水層密度 (i.e. $\Delta\sigma_t < r\sigma_t$ ，如 Levitus [11]選取 $r=0.125$)。然而，Kara *et al.* [12]指出上述兩種方法所計算的混合層厚度，其誤差可達 100 米。因此，其發展定義混合層的方法可有

效改善此誤差。其方法為：

- 1.選取一水層為參考密度層，通常為水下 10 米，此乃因此水層所受到大氣環境影響相對於表面要小。
- 2.相鄰兩水層之間的溫度差不大於所設定溫度差或密度差檢驗值（ ΔT 或 $\Delta\sigma_t$ ）的十分之一，其中 $\Delta\sigma_t$ 的設定與 ΔT 相關：

$$\Delta\sigma_t = \sigma_t(T + \Delta T, S, P) - \sigma_t(T, S, P)$$

- 3.若相鄰兩層的溫度差或密度差小於檢驗值則設定較淺水層為新的參考水層，而後接續向下層比較兩相鄰水層間的溫度差或密度差，直至其差值大於所設定的檢驗值。
- 4.當相鄰兩層的溫度/密度差大於設定的檢驗值時，即可由內差求出混合層的厚度。

經由 Kara *et al.* [12]將由 NOAA 出版的 WOA94 溫鹽度資料計算東北太平洋區混合層厚度，並與實測的錨碇資料比較，結果顯示當將溫度差檢驗值 ΔT 設定為 0.8°C 時，其推算的混合層厚度與實測錨碇資料之誤差可降至 25 米。同時，其亦指出以密度差作為計算混合層厚度較為適宜。因此，接續計算台灣周圍海域混合層厚度將以校正後的水文資料以聯合國國際教課文組織發表的狀態方程式(equation of state)計算密度，並採用 Kara *et al.* [12]所發展的方法來計算。

同樣以 119.5°E 、 21.75°N 網格內一月份資料為例，定 $\Delta T=1.0^{\circ}\text{C}$ ，所求得之ILD為 77.16 公尺（圖六），其相對應之 $\Delta\sigma_t$ 為 0.29kg/m^3 ，而MLD則為 43.67 公尺，兩者相差 33.5 公尺，此差值與 ΔT 之設定相關，若 ΔT 設定越小，則可預期MLD與ILD相差越小。圖七則為此網格點內一年之MLD與ILD變化情形，兩者變化趨勢相近，在西北季風時期皆有變淺的現象，而在九月份兩者突然驟降，可能與資料在某一年蒐集的密集度有關。MLD終年較ILD淺，MLD變化幅度亦不若ILD，且隨著季節由西南季風時期轉換至東北季風時期，MLD與ILD的差值變大。

3.3 聲速場之計算：

經由品管後的 CTD 資料及以氣候平均鹽度資料填補的 XBT 資料，將以國際標準法（UNESCO）計算，其主要參考 Chen and Millero[13]，Fofonoff and Millard [14]將原使用之深度改為壓力變數，而 Wong and Zhu [15]則根據國際溫度標準（international temperature scale）重新計算參數，其公式如下：

$$\begin{aligned} c(S,T,P) &= C_w(T,P) + A(T,P)S + B(T,P)S^{3/2} + D(T,P)S^2 \\ C_w(T,P) &= (C_{00} + C_{01}T + C_{02}T^2 + C_{03}T^3 + C_{04}T^4 + C_{05}T^5) + \\ &\quad (C_{10} + C_{11}T + C_{12}T^2 + C_{13}T^3 + C_{14}T^4)P + \\ &\quad (C_{20} + C_{21}T + C_{22}T^2 + C_{23}T^3 + C_{24}T^4)P^2 + \\ &\quad (C_{30} + C_{31}T + C_{32}T^2)P^3 \\ A(T,P) &= (A_{00} + A_{01}T + A_{02}T^2 + A_{03}T^3 + A_{04}T^4) + \\ &\quad (A_{10} + A_{11}T + A_{12}T^2 + A_{13}T^3 + A_{14}T^4)P + \\ &\quad (A_{20} + A_{21}T + A_{22}T^2 + A_{23}T^3)P^2 + \\ &\quad (A_{30} + A_{31}T + A_{32}T^2)P^3 \\ B(T,P) &= B_{00} + B_{01}T + (B_{10} + B_{11}T)P \\ D(T,P) &= D_{00} + D_{10}P \end{aligned}$$

T = temperature in degrees Celsius
S = salinity in Practical Salinity Units (parts per thousand)
P = pressure in bar

Range of validity: temperature 0 to 40 °C, salinity 0 to 40 parts per thousand, pressure 0 to 1000 bar (Wong and Zhu, 1995).

Table of Coefficients

Coefficients	Numerical values	Coefficients	Numerical values
C ₀₀	1402.388	A ₀₂	7.166E-5
C ₀₁	5.03830	A ₀₃	2.008E-6
C ₀₂	-5.81090E-2	A ₀₄	-3.21E-8
C ₀₃	3.3432E-4	A ₁₀	9.4742E-5
C ₀₄	-1.47797E-6	A ₁₁	-1.2583E-5
C ₀₅	3.1419E-9	A ₁₂	-6.4928E-8
C ₁₀	0.153563	A ₁₃	1.0515E-8
C ₁₁	6.8999E-4	A ₁₄	-2.0142E-10
C ₁₂	-8.1829E-6	A ₂₀	-3.9064E-7
C ₁₃	1.3632E-7	A ₂₁	9.1061E-9
C ₁₄	-6.1260E-10	A ₂₂	-1.6009E-10
C ₂₀	3.1260E-5	A ₂₃	7.994E-12
C ₂₁	-1.7111E-6	A ₃₀	1.100E-10
C ₂₂	2.5986E-8	A ₃₁	6.651E-12
C ₂₃	-2.5353E-10	A ₃₂	-3.391E-13
C ₂₄	1.0415E-12	B ₀₀	-1.922E-2
C ₃₀	-9.7729E-9	B ₀₁	-4.42E-5
C ₃₁	3.8513E-10	B ₁₀	7.3637E-5
C ₃₂	-2.3654E-12	B ₁₁	1.7950E-7
A ₀₀	1.389	D ₀₀	1.727E-3
A ₀₁	-1.262E-2	D ₁₀	-7.9836E-6

圖八為沿 20.5°N 之聲速剖面，可發現 122°E 處存在聲速梯度，以東為太平洋，以西為南海，兩者的聲速結構差異很大，在南海內部，上層海水（400 公尺以上）聲速驟降，相較之下太平洋部分變化較為緩慢；然而至中、下層之後，兩者變化情形相反，以聲速 <1430cm/s 的區域為例，在太平洋部分約 800 公尺以下皆是，在南海內部則為 900 公尺。

四、討論與結論

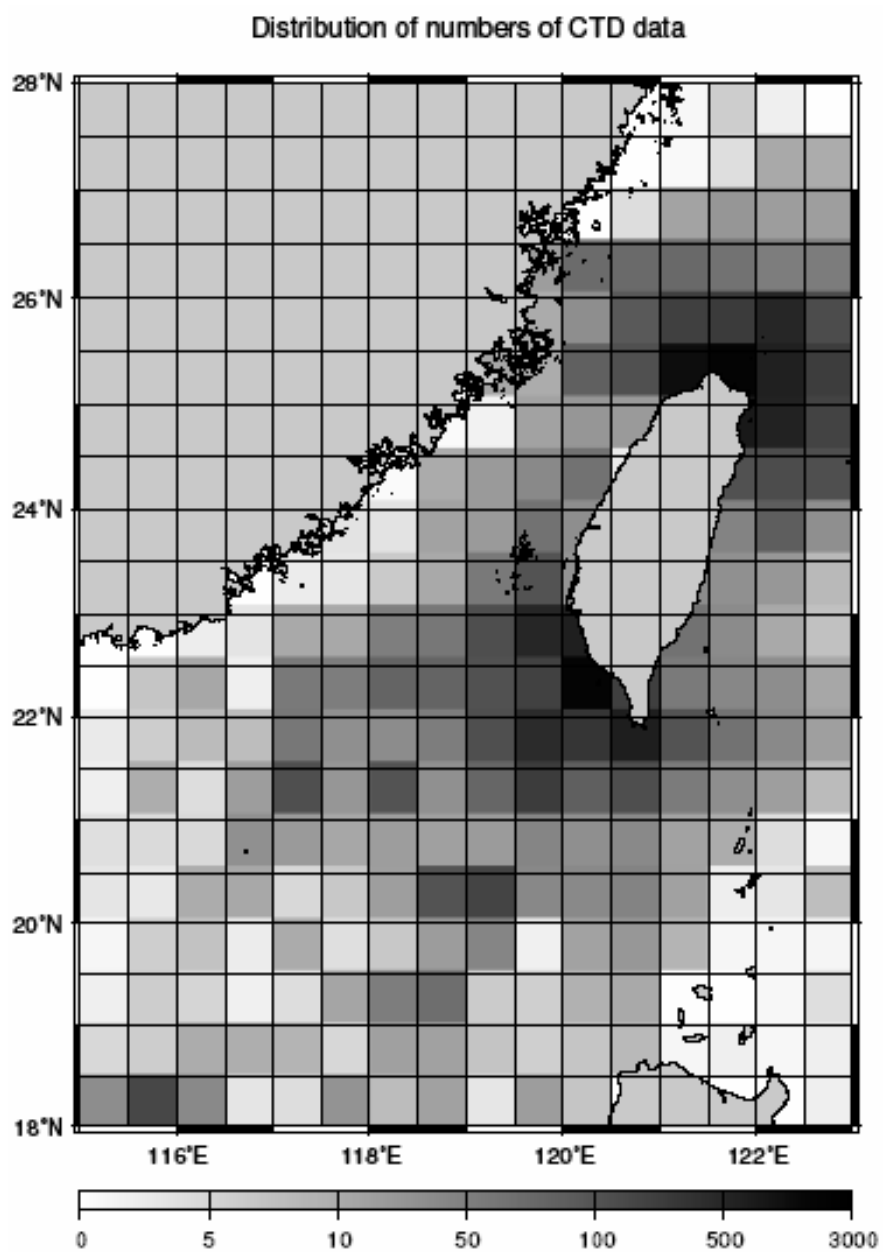
利用鹽度氣候平均值與 XBT 資料合成水文資料，加入待分析之資料庫中，將可有效提升資料量，資料品質與原始 CTD 資料差異不大，合成水文資料所計算之 geopotential height 方均根誤差與原始 CTD 計算之比值最大僅為 1%，在計算氣候平均值或海水聲傳速度皆大有助益。傳統計算混合層深度，多以溫度垂直梯度為參考標準，然而計算梯度需要資料在垂直座標上分佈較密，才具可信度，垂直使用標準深度之氣候平均值，改以 Kara *et al.* [12]所發展的方法來計算，可更精確估算混合層深度（MLD），其可加入模式初始場，影響模擬結果。將計算完成之氣候平均值用以計算海水中聲傳速度的分佈情形，可得到每個月一筆之聲速氣候平均值。

未來完成技術轉移，海軍可加入自行量測之 XBT 資料，擴充原始資料庫，並進行氣候平均值的更新，利用計算所得之聲速場，有效預測潛艦航行區域與探測敵軍藏匿。

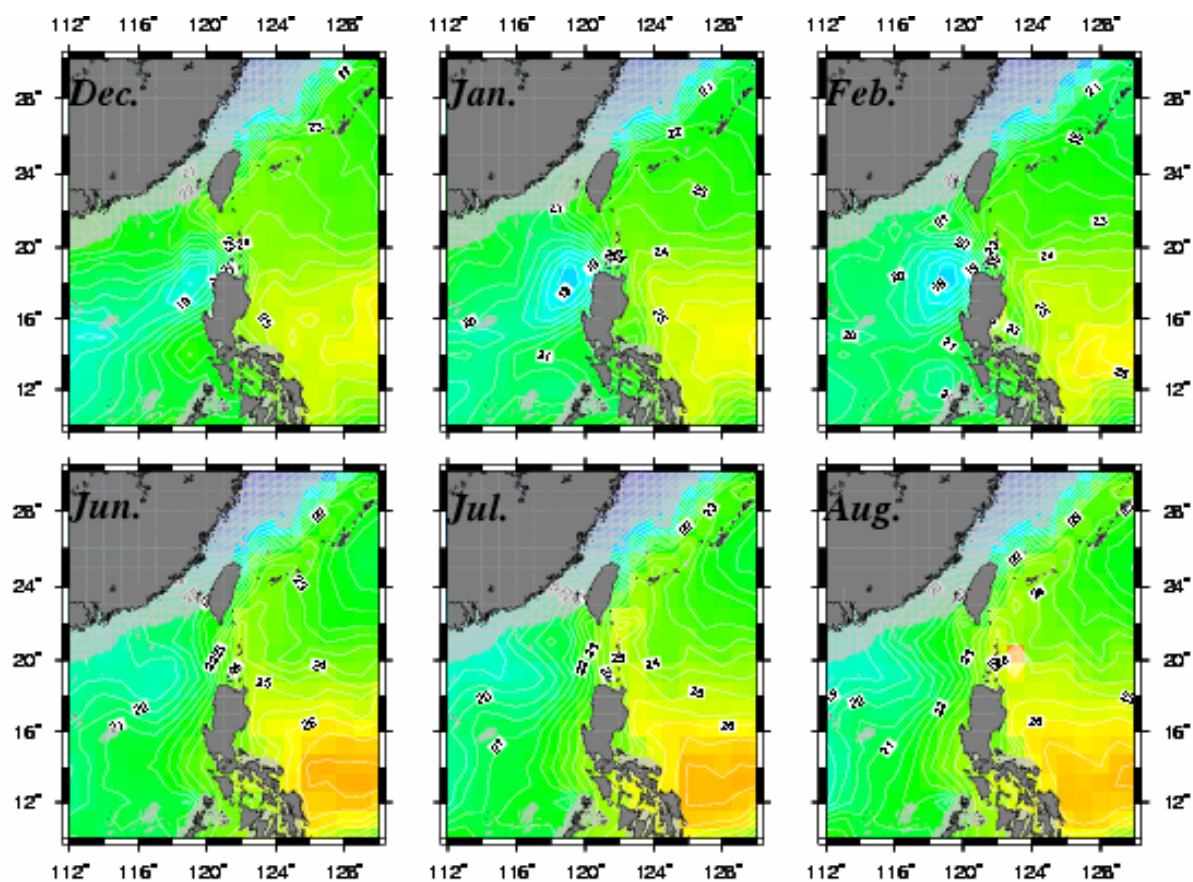
參考文獻

- [1] Chern, C.-S. and J. Wang, Influence of Seasonal Thermocline on the Intrusion of Kuroshio across the Continental Shelf Northeast of Taiwan. *J. Oceanogr.*, **50(6)**, 691-712, 1994.
- [2] 黃淑真, 陳忠義, 唐存勇, 建構中之海洋資料庫. 第 18 屆海洋工程研討會, 889-897, 1996.
- [3] 劉家瑄, 黃淑真, 劉紹勇, 開啟海洋資料視訊之窗. 二十一世紀海洋台灣, 98-107, 2002.
- [4] Chu, P. C., C. Fan, C. J. Lozano, and J. L. Kerling, An airborne expendable bathythermograph survey of the South China Sea, May 1995. *J. Geophys. Res.*, **103**, 21637-21652, 1998.
- [5] 戴仁華, 張雅婷, 唐存勇, 莊文思, 台灣周邊海域混合層厚度之計算. 國科會 94 年度國防科技學術合作小組成果發表會, 51-63, 2005.
- [6] Shaw, P.-T., S.-Y. Chao, K.-K. Liu, S.-C. Pai, and C.-T. Liu, Winter upwelling off Luzon in the northeastern South China Sea. *J. Geophys. Res.*, **101(C7)**, 16435-16448, 1996.
- [7] Chu, P. C. and R. Li, South China Sea isopycnal-surface circulation. *J. Phys. Oceanogr.*, **30**, 2419-2438, 1999.
- [8] Wyrtki, K., Scientific results of marine investigations of the South China Sea and Gulf of Thailand 1959–1961. *Naga Rep. 2, Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego*, 195 pp, 1961.

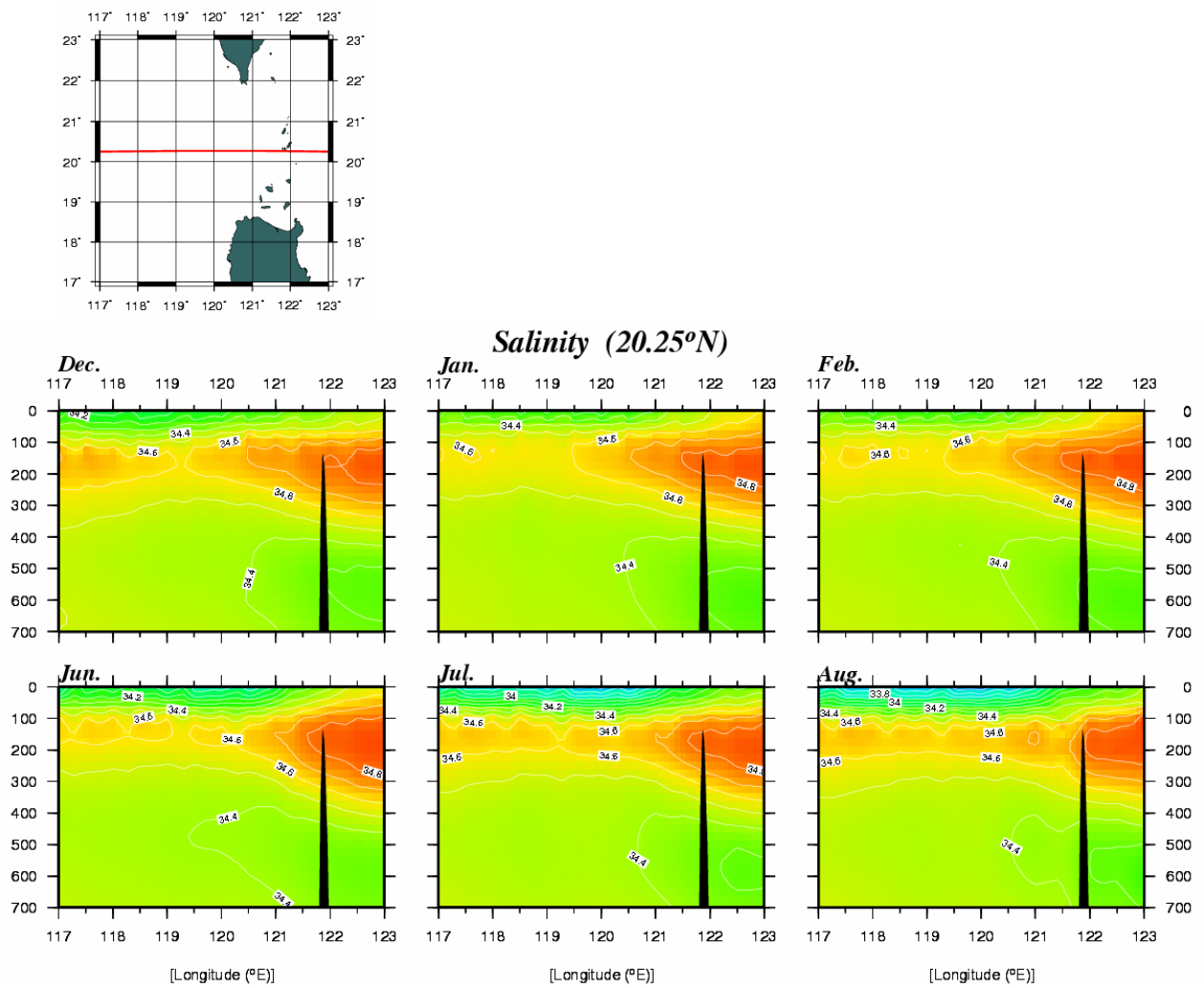
- [9] Qu, T., H. Motsudera, and T. Yamagata, The intrusion of the North Pacific waters into the South China Sea. *J. Geophys. Res.*, **105**, 6415-6424, 2000.
- [10] Monterey, G. I., and S. Levitus, Climatological cycle of mixed layer depth in the world ocean. *U.S. Gov. Printing Office, NOAA NESDIS*, 5pp, 1997.
- [11] Levitus, S., Climatological atlas of the world ocean. *NOAA Prof. Pap.*, 13 173 pp, 1982.
- [12] Kara, A. B., P. A. Rochford, and H. E. Hurlburt, An optimal definition for ocean mixed layer depth, *J. Geophys. Res.*, **105**, 16803-16821, 2000.
- [13] Chen, C-T. and F.J. Millero, Speed of sound in seawater at high pressures. *J. Acoust. Soc. Am.*, **62(5)**, 1129-1135, 1977.
- [14] Fofonoff, N.P. and R.C. Millard Jr., Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. *UNESCO technical papers in marine science. No. 44, Division of Marine Sciences. UNESCO, Place de Fontenoy, 75700 Paris*, 1983.
- [15] Wong, G.S.K. and S Zhu, Speed of sound in seawater as a function of salinity, temperature and pressure. *J. Acoust. Soc. Am.*, **97(3)**, 1732-1736, 1995.



圖一、品管後水文資料分佈圖



圖二、100 公尺等深處溫度場，上三圖由左至右分別為十二月、一月、二月，為東北季風時期；下三圖分別為六月、七月、八月，為西南季風時期。



圖三、沿 20.25°N 之鹽度剖面圖，時間排列同圖二。

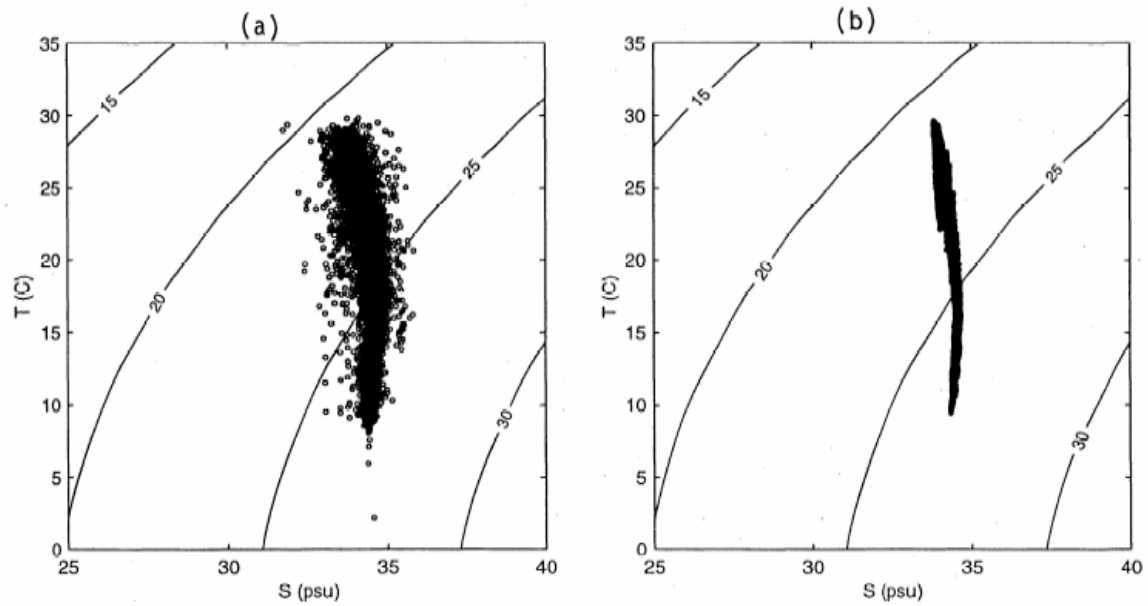
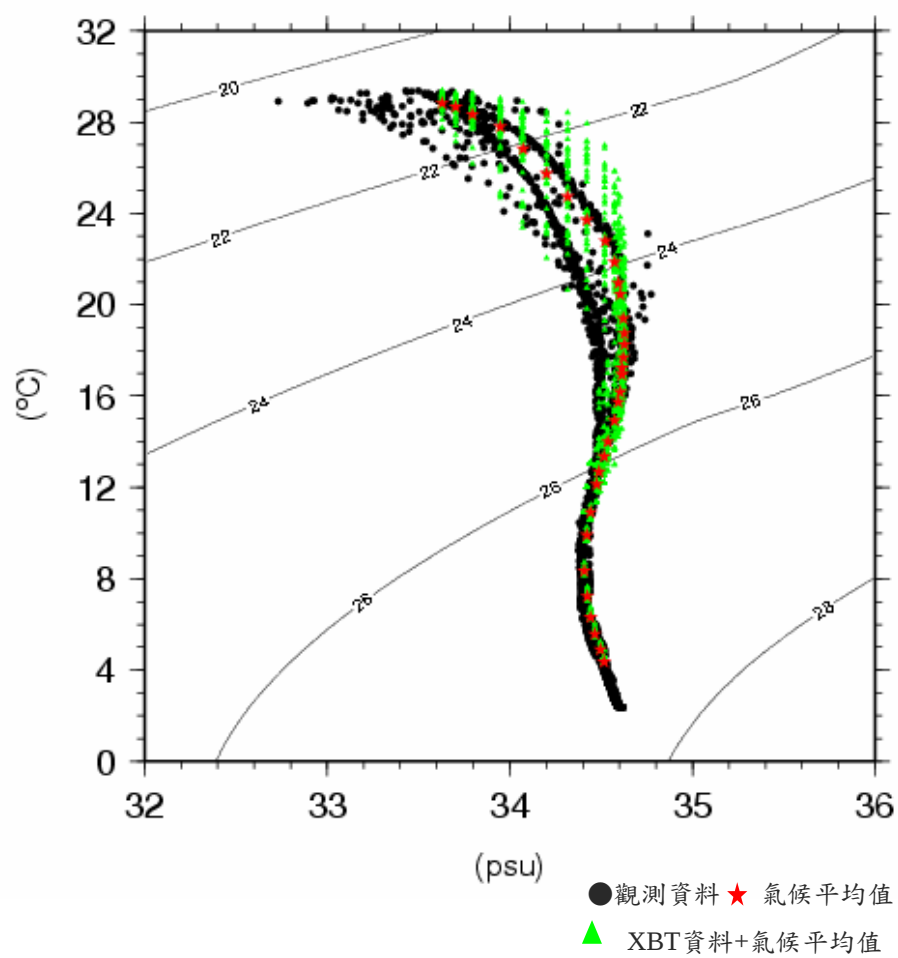


Figure 9. T-S diagrams for (a) the Navy's MOODS data set in May between 1933-1986 and (b) the AXBT temperature and May climatological salinity.

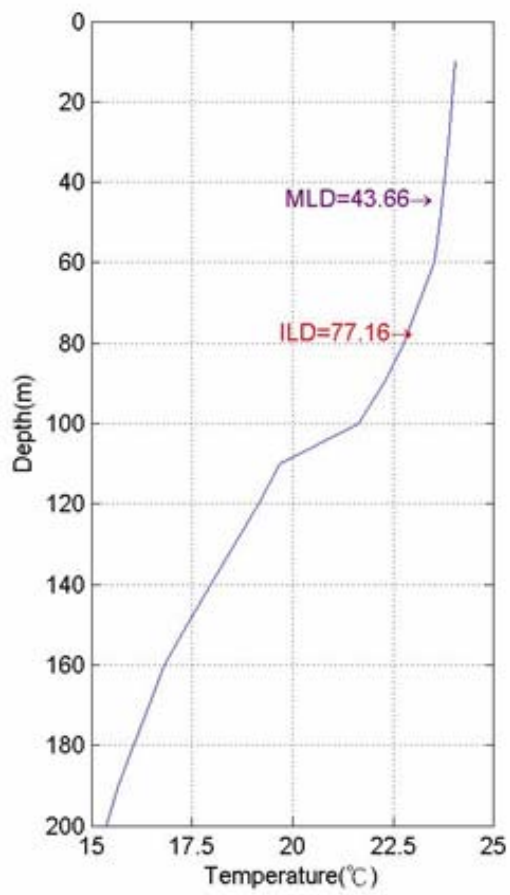
圖四、節自 Chu *et al.* (1998)，實測（左）與以氣候平均鹽度資料填補(右)的 T-S Diagram。



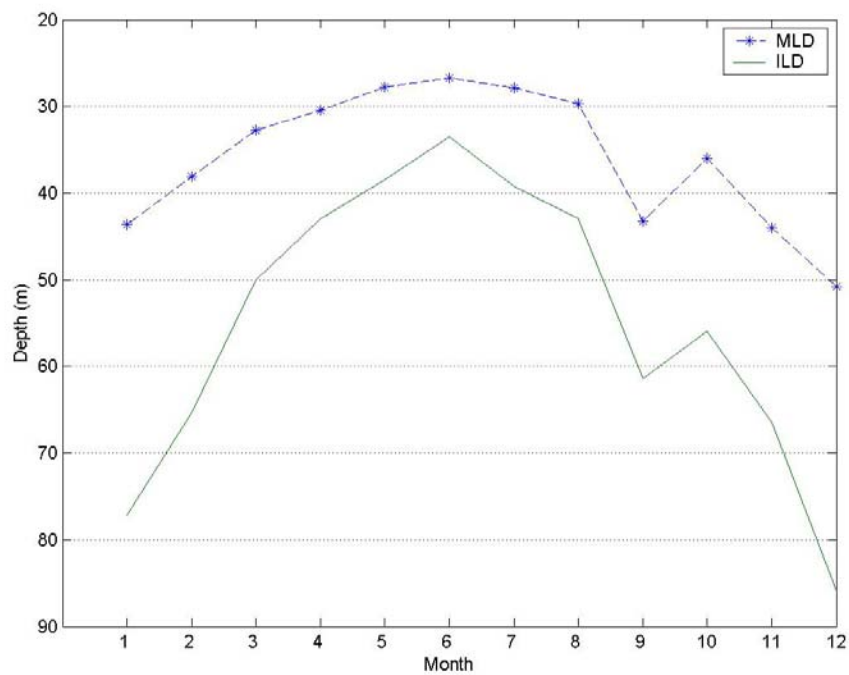
圖五、XBT 合成水文資料與原始 CTD 資料溫鹽分佈圖。

表一、119.5°E、21.75°N 網格內每月觀測資料筆數，與 XBT 合成水文資料所計算之重力位高度方均根誤差百分比，重力位高度分別積分至 200dbar、700dbar 及 1000dbar。

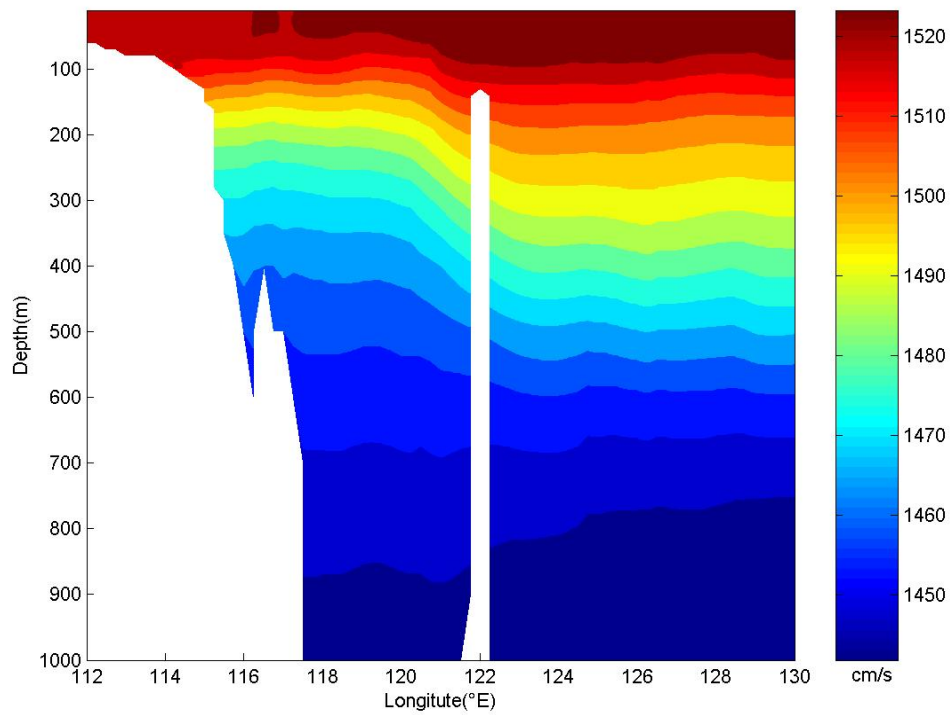
Month	No. of Obs.	RMS error percentage (%)		
		200 dbar	700 dbar	1000 dbar
Jan.	41	0.56235	0.96885	0.82954
Feb.	6	1.4024	1.2124	1.128
Mar.	69	0.89392	0.65788	0.45936
Apr.	27	2.3551	0.80677	0.73879
May	23	0.93893	0.67512	0.60632
Jun.	59	3.7791	0.58818	0.67731
Jul.	46	1.6589	0.90244	0.87191
Aug.	34	1.6342	0.26897	0.50901
Sep.	18	1.1408	0.766	0.671
Oct.	22	0.69493	0.55982	0.47747
Nov.	22	0.96398	0.91336	0.51212
Dec.	8	1.3862	0.26717	0.36123



圖六、119.5°E、21.75°N 溫度分佈情形，此處以 Kara et al. (2000)方法，定 $\Delta T=1.0^{\circ}\text{C}$ 計算出之 MLD 與 ILD 之差異。



圖七、119.5°E、21.75°N 之 MLD（藍色）與 ILD（綠色）之年變化情形。



圖八、沿 20.5°N 之聲速剖面。