

行政院國家科學委員會國防科技學術合作協調小組

委託計畫成果報告

高屏海域TOPAS底質資料分析研究

計畫編號: NSC88-2623-D-002-013

執行期限: 87年7月1日至88年6月30日

主持人: 劉家瑄 國立台灣大學海洋研究所

1. 中文摘要

本研究利用海軍達觀艦上的TOPAS低頻聲納系統(1~4千赫)收集海底沈積物迴聲剖面資料,並比對由岩心標本分析所獲得的海床沈積物岩性,建立利用TOPAS海床迴聲剖面資料來推估海床底質聲學特性的能力。由於研究工作內容廣泛,本線上繳交之成果報告僅簡要陳述研究計畫之內容,執行經過及主要結果。計畫主持人將另外提送完整之書面計畫成果報告(包括系統操作手冊,資料處理手冊,資料分析圖例,海床底質特性圖等成果)。

本研究分析了達觀艦在高屏海域兩個航次所收集到約一千一百公里長的TOPAS海床迴聲剖面資料,經整理TOPAS迴聲剖面特徵及比對許多剖面上或接近剖面處曾經採集岩心標本且獲致海床沈積物聲學特性的站址資料,獲致如下結果:

1. TOPAS海床迴聲剖面資料的可用性受海底地形變化以及TOPAS系統收集參數設定的影響。海床坡度較大處,反射能量不易接收到。而TOPAS系統收集參數的正確設定與否更影響到資料解釋的可信度。

2. 海床迴聲影像和海底沈積物岩性有

良好對應關係。岩心標本中含砂量高(超過20%)的地區其海底面的反射係數通常大於0.3,迴聲剖面顯示聲納穿透力弱;而粉砂含量超過70%且泥含量超過20%的地區,海底面反射係數一般小於0.3,其迴聲剖面則顯示出清晰的內部層理。

本研究成功利用達觀艦上的TOPAS系統所收集來的海床迴聲剖面資料區分出砂質海床與泥質海床的分佈情形,進而提供高屏海域聲納音傳損耗計算所需的海床底質聲學特性參數值。

關鍵詞: TOPAS海床迴聲系統,高屏海域,海床沈積物聲學特性。

Abstract

This study establishes the acquisition and processing capabilities of the TOPAS sub-bottom profiling system, and also evaluates the techniques of estimating the acoustic properties of seafloor sediments offshore southwestern Taiwan from TOPAS sub-bottom profiling data. This brief report summarizes the research work carried out for this project and presents the major results. A complete written report with detailed documentation will be submitted separately.

Over 1,100 km of TOPAS profile data have been acquired offshore southwestern Taiwan. These data were processed and analyzed, then correlated with corresponding geo-acoustic properties derived from core sample analyses. Major results of this study are:

1. The quality and reliability of the TOPAS profile are affected by the roughness of the seafloor topography and by the proper selection of system parameters during data acquisition.

2. There is a good correlation between the sedimentary properties and the characteristics of the TOPAS profile images. Sandy sediments usually present images of high seafloor reflection but little penetration, while silty and muddy sediments show good layering structures below seafloor and deep penetration of the sonar energy.

This study demonstrates that a rough estimation of the seafloor sedimentary properties can be achieved using TOPAS profile data.

Key Words: TOPAS sub-bottom profile data, Geoacoustic property, Kaoping shelf and slope sediment.

2. 背景與目的

聲納傳遞效能的模擬計算在反潛作戰中扮演重要的角色。由於海下音傳損耗受到偵測海域的水文、地形、以及海床底質等三大環境因素影響，地音參數與地形以及水文參數同為計算音傳損耗模式中的要件。地音參數，如海床表層沈積物密度、沈積物聲速梯度、音傳衰減值、底層反射係數等等，主要由海床沈積物聲學性質導得。建立台灣週邊海域海床底質聲學性質資料庫將能正確提供台灣週邊海域中音傳損耗模式計算所需的地音參數。

欲獲得海床底質的聲學特性一般可採用三種方法：第一是直接在海床上進行聲學實驗，量取沈積物的現場聲學特性。

Hamilton(1970;1972;1980;1985)在美國海軍的支助下，從1960年代後期到1980年代中期間進行了相當多的此類研究；第二是在實驗室量測由海床上採集來的沈積物岩心標本之物理性質（如Buchman et al., 1967; Richards and Hamilton, 1967; Brunson and Johnson, 1980; Badiy et al., 1988）；第三則為利用低頻聲納穿透海床表層沈積物的迴聲剖面資料來判讀推測（如Tyce, 1976; Baldwin et al., 1985; Jannsen et al., 1985; Schock et al., 1989; Kuhn and Weber, 1993）。

直接在海床上量測沈積物聲學性質參數需要特殊的儀器與水下工作裝備，一般不易進行。在實驗室中量測岩心標本之沈積物物理性質可獲得多項物理性質參數，如：海底沈積物顆粒大小、統體密度、孔隙度、壓縮波傳遞速度與衰減係數等等。但海床岩心標本僅提供了海床底質定點資料，要由點到面，需有大量且廣泛分佈的岩心標本，因此資料取得不易，成本也高。

水面船艦所裝置的低頻(~3.5 kHz)聲納海床迴聲剖面在資料的取得上相當容易，且能經濟有效的測勘大面積的海域。資料剖面能顯示出海床沈積物分佈與沈積型態(Damuth, 1980; Yu and Lee, 1992)，亦可藉由聲波反射型態的變化推導出海床沈積物的岩性（黃偉克，1996）。以數位方式記錄的迴聲剖面資料更可經由頻譜分析或合成震波模擬等技術來估算出海床表層沈積物對聲波傳遞的衰減性質或聲納波反射係數等資料（Jannsen et al., 1985; Tyce, 1976）。但一般而言，海床迴聲剖面資料分析技術並無法提供直接的海床沈積物特性參數，而是從聲納剖面資料所顯示的沈積物類別及沈積型態，依實驗室中

直接量測類似沈積物所獲的參數特性值來推測而得。

國內在海床沈積物聲學特性方面的研究工作並不多，陳民本教授從1980年代開始進行岩心標本沈積物物理性質的量測（Chen, 1981；陳民本, 1983；Chen and Tian, 1982；Chen et al., 1988），並在海洋測量局的委託之下完成了「台灣四周海床底質資料庫」（陳民本, 1992）。由於受限於岩心標本的分佈，這個資料庫僅提供了台灣東北、西北、西中、西南與東南海域的一些底質特性資料。且因取樣點分佈關係，難以完整的代表台灣東北、西南與東南海域多變的底質環境。民國84與85兩個年度，陳教授再度接受海洋測量局委託進行台灣西南海域之海床沈積物聲波特性研究，有計畫的採集了五十一隻岩心標本進行詳細分析，才對西南海域的底質環境有了較完整的認識（陳民本, 1996；陳儀清與陳民本, 1997；陳儀清, 1997）。

至於在船裝低頻聲納海床迴聲剖面的分析研究方面，俞何興與洪奕星等人曾利用海研一號3.5千赫系統所收集到的類比剖面資料描述了台灣西南海域與東北海域的一些海床沈積型態（Yu and Lee, 1992；Hong et al., 1992；Yu and Hong, 1993），但未涉及沈積物聲波特性的研究。任國治（1994）和黃偉克（1996）則利用海研一號所收集來的3.5千赫數位聲納迴聲信號進行海床沈積物聲波衰減係數的分析，展示了利用3.5千赫數位信號推測海床沈積物聲學特性的可行性。然因海研一號上3.5千赫聲納信號頻寬很窄，分析結果並不穩定。

海軍達觀艦上所裝置的TOPAS系統為新一代的海床底質探測剖析儀。該系統能

產生Chirp方式的聲源(頻寬1-5 kHz)，並以數位方式記錄海床聲納迴聲剖面資料，可以快速有效的提供台灣周圍海域高品質的海床聲納迴聲剖面資料。

本研究的目的一方面為建立海軍達觀艦上TOPAS低頻聲納系統收集高品質海床迴聲剖面資料之能力，另一方面並利用台灣西南海域岩心標本分析所獲致的海床沈積物聲學特性，比對不同底質特性沈積物所表現出來TOPAS海床迴聲剖面形態，以建立TOPAS海床迴聲剖面資料與海床底質聲學特性的關係。

3. 資料收集與處理

本研究利用達觀艦 TK87046 與 TK88013 兩個航次在台灣西南海域收集了約1,100公里長的TOPAS迴聲剖面。測線的規劃以通過陳儀清（1997）分析的岩心標本採集位置為原則，並在不同沈積環境地區收集海床迴聲剖面。由於本研究為首度對TOPAS系統做全面測試，在資料收集過程中特別測試各種不同資料收集參數，以期瞭解在不同海域作業時應如何設定最佳系統參數。

收集來的TOPAS原始數位資料需經一連串的資料處理工作，才能獲得探測海域沿測線的海床聲納迴聲剖面。其處理步驟簡述如下：

- (1) 格式轉換：將TOPAS系統原始資料檔轉換為資料處理軟體可以讀取的SEG-Y格式檔。
- (2) 品質檢驗：繪出原始資料剖面，檢查資料記錄參數，剔除無法利用的資料。
- (3) 資料檔分割：品質合格的資料依分

析目的分別切割成容易處理的小型檔，並將各測線定位資料從資料首標中提出，供繪製測線位置用。

(4) 振幅修正與濾波：利用資料處理軟體進行振幅修正、濾波等處理，以消除雜訊，提高剖面之品質。

(5) 繪製剖面與測線位置：依適當比例繪製TOPAS海床迴聲剖面以及各剖面的位置圖，以供資料分析與解釋。

4. 資料分析與迴聲剖面特性

經處理後的TOPAS剖面資料在分析解釋上分為兩步驟進行。首先繪製出沿測線的長剖面圖，以觀察在不同沈積環境的海域中其海床迴聲剖面所表現出的特性為何；其次繪製岩心採集站附近的海床迴聲剖面，以仔細比對海床迴聲剖面特徵與海床沈積物聲學特性之關係。

經觀察不同沈積環境下的TOPAS海床迴聲剖面，可以依海床反射信號的強弱與聲納穿透海床的程度歸納出四種海床迴聲剖面型態（黃偉克，1996）。第一種迴聲剖面型態其海床迴聲影像微弱或呈現拋物線狀的繞射信號，海床以下的沈積構造難以辨識。這類型態的剖面多在海底地形崎嶇或坡度變化大的地區觀測得。第二種迴聲剖面型態其特徵為海床本身反射信號強烈，但海床以下反射信號微弱，亦即聲納波幾乎沒有穿透能力。這類迴聲剖面多在近岸的淺水陸棚上觀測到。第三種迴聲剖面型態其特徵為海床反射信號清晰，其下沈積物雖有迴聲信號，然層理發展並不明顯，受擾動情況也多。這種迴聲剖面多在離岸較遠的大陸棚及上部陸坡地區觀測到。第四種迴聲剖面型態表現出極佳的聲納信號穿透能力，海床以下沈積物層理清

晰分明。這類迴聲剖面分佈範圍最廣，在坡度較緩的下部陸坡及坡間盆地的海床多為這類型的迴聲型態。

事實上低頻聲納波對海底沈積物穿透的能力和TOPAS系統採用的聲納信號選擇參數有關。經過同一岩心標本採樣位置附近的兩段TOPAS剖面資料因為選用不同的聲納信號，其表現出的穿透能力會相差許多（Ricker聲源信號穿透深度淺，Chirp聲源信號穿透深度深）。重要的是不同的聲納信號表現出聲納穿透深度或有不同，但迴聲型態的特徵卻相當一致。

5. 迴聲剖面型態與岩性的比對

在分析比較對應到各岩心標本取樣位置附近的TOPAS海床迴聲剖面方面，由於第一種海床迴聲剖面型態主要受海底地形的影響，其迴聲影像無法反映海底沈積物特性，在此不予討論。

第二種迴聲剖面型態與第三種迴聲剖面型態所對應到的岩心標本多位於陸棚上，也是陳儀清（1997）所稱的陸棚碎屑堆積區及河口陸源碎屑堆積區中。岩心標本分析顯示海床沈積物以粉砂質砂及砂質粉砂為主，其表層沈積物壓縮波波速約為1550到1580 m/s。由於這兩種迴聲型態的區分主要取決於剖面中聲納信號穿透能力的大小，而本研究顯示聲納穿透能力的大小受聲納信號強度（即資料收集參數設定）的影響，且岩心標本分析所量測的一些聲學特性值有相當幅度的變化（陳儀清，1997）。若考慮第二種迴聲型態和第三種迴聲型態所對應到岩心標本聲學特性的變化範圍，此兩種迴聲型態所代表的沈積物聲學特性不易劃分。

第四種迴聲型態具有明顯的層理狀迴

聲特徵，對應的岩心標本分析顯示海底沈積物主要為粉砂及黏土質粉砂，與粉砂質砂或砂質粉砂性沈積物相較，其表層沈積物壓縮波波速較慢（約在1500到1550 m/s之間），對聲波的衰減值也較小（一般介於200到500 dB/m之間）。

6. 討論

綜觀在台灣西南海域所收錄到的TOPAS海床迴聲剖面資料，雖可以依其剖面影像型態及聲納穿透海床沈積物能力之大小歸納出四種迴聲型態，然第一種迴聲型態（海床迴聲影像微弱或充滿繞射信號）主要反應海底地形的崎嶇變化，無法據以推斷海床沈積物性質。第二種迴聲剖面型態（僅見海床強反射信號）與第三種迴聲剖面型態（海床海床強反射信號強且其下可見一些層理不分明的迴聲信號）在辨識上不易明確的區分，尤其是TOPAS系統資料收集參數的設定（如聲納信號的波形及長度）往往影響到剖面所顯示出的聲納穿透能力與層理分明程度。例如用Richer波形其迴聲剖面穿透力較弱，但較能顯示沈積物內部層理（解析度高）；用Chirp波形其聲納穿透力較強，但對層理的解析能力卻較差。再加上和岩心標本分析結果比較，發現這兩種迴聲型態所對應到海床沈積物的聲學性質多有重疊，因此本研究在解釋上，將不對第二種和第三種迴聲型態做區分，而將其歸納成為含砂量較多的粉砂類海床沈積物所表現出來的迴聲型態。相對的第四種迴聲型態較易辨識，且對應到的岩心標本都顯示其海床沈積物為含泥量較多的粉砂，其聲學特性和含砂量較多的粉砂有較明顯的區分。

事實上，陳民本（1996）指出海床沈積物的聲學性質和沈積物的平均粒徑有較

高的對應性。比較對應的岩心標本分析結果亦顯示聲納信號穿透力強，海床沈積物內部層理分明的TOPAS迴聲剖面型態反應出以粉砂及泥質為主的海床沈積物，而穿透力弱，沈積物內部層理不分明的TOPAS迴聲剖面型態則反應出以砂及粗中粉砂為主的海床沈積物。

7. 結論

本研究顯示達觀艦上的TOPAS系統可以有效的收集海床迴聲剖面，而不同型態的海床迴聲剖面影像提供了海底地形的變化以及海底沈積物組成（特別是顆粒大小）特性。

在海底地形變化急遽地區（如台灣西南海域海底峽谷密佈，或大陸斜坡海床坡度陡峭處），TOPAS迴聲剖面顯示海床迴聲影像微弱或充滿繞射信號，無法據以推斷海底沈積物特性。減輕這個問題的辦法在於資料收集作業前的適切規劃。如果測線的規劃能避免橫切過海底坡度變化急遽地區，或在地形起伏較大地區減慢探測船速，則將能收到較多品質較佳的TOPAS海床迴聲剖面資料。

在TOPAS系統參數的設定上，本研究認為Ricker信號或長度很短（ < 1 ms）的Chirp信號較適合在淺水海域（水深小於200 m）作業。隨著探測海域水深的增加，可逐漸增加Chirp信號的長度（2 ms到4 ms），以提供足夠的聲源信號強度。但隨信號長度的增加，海床影像的失真度隨之亦增加，而海床沈積物內部層理的解析度則降低。在利用TOPAS海床迴聲剖面來推導海底沈積物特性方面，本研究發現海底反射面強，海床沈積物內部反射能量微弱且不具層理的迴聲剖面型態分佈於陸

棚及陸坡上部，對應的岩心標本多為含砂量高（超過20%）的砂質粉砂沈積物，其聲波傳遞速度較高（1550到1580 m/s之間），聲波衰減值也較大（500到700 dB/m之間）。而海底沈積物層理分明，聲納波穿透力強的迴聲剖面型態多在下部陸坡及坡間盆地觀測到。對應岩心標本顯示該迴聲型態所代表的海底沈積物應為含泥量高的細粒粉泥及黏土質粉砂。其聲波傳遞速度較慢（1500到1550 m/s之間），聲波衰減值也較小（200到500 dB/m之間）。依據TOPAS海床迴聲剖面型態，我們將可大致瞭解探測海域的沈積物特性分佈，進而訂定該海域最佳的地音參數值。

參考文獻

- 任國治（1994）由3.5仟赫聲納數位化信號探討聲波在海床表層沈積物中的衰減性質。國立台灣大學理學院海洋研究所碩士論文。
- 陳民本（1983）台灣海峽南部大陸斜坡沈積物之物理性質和沈積環境。Acta Oceanographica Taiwanica, 14, 42-63.
- 陳民本（1992）台灣四周海床底質資料庫。國科會國防科技研究報告，計畫編號：NSC81-0210-D002A-03。
- 陳民本（1996）高屏溪外海海床沈積物聲波性質研究。國科會國防科技研究報告，計畫編號：NSC85-2623-D002A-001。
- 陳儀清(1997)台灣西南外海海床表層沈積現象之研究。國立台灣大學海洋研究所博士論文。
- 陳儀清、陳民本（1997）台灣西南海域海床表層沈積構造與聲學特性圖集。國科會國防科技研究報告，計畫編號：NSC86-2623-D002A-001。
- 黃偉克（1996）利用3.5仟赫聲納迴聲信號遙測海床表層沈積物特性可行性之探討。國立台灣大學理學院海洋研究所碩士論文。
- Bachman, R.T. (1985) Acoustic and physical property relationships in marine sediments. J. Acoust. Soc. Am., 78, 616-621.
- Badiey, M., T. Yamamoto, A. Turgut, R. Bennett and C.S. Conner (1988) Laboratory insitu measurements of selected geoacoustic properties of carbonate sediments. J. Acoust. Soc. Am., 84, 689-698.
- Baldwin, K. C., L.R. Leblanc and A. J. Silva (1985) Analysis of 3.5 kHz acoustic reflections and sediment physical properties. Ocean Engng., 12(6), 475-492.
- Brunson, B.A. and R.K. Johnson (1980) Laboratory measurements of shear wave attenuation in saturated sand. J. Acoust. Soc. Am., 68, 1371-1375.
- Chen, M.P. (1981) Geotechnical properties of sediments off coast environment. Acta Oceanographica Taiwanica, 12, 51-53.
- Chen, M.P. and W.M. Tain (1982) Marine geotechnical properties and stability of the continental margin deposits off Hua-Lien, Northeast of Taiwan. Acta Oceanographica Taiwanica, 13, 23-68.
- Chen, M.P., Y.T. Shieh and J.M. Chyan (1988) Acoustic and physical properties of surface sediments in northern Taiwan Strait. Acta Oceanographica Taiwanica, 21, 92-118.
- Damuth, J.E. (1980) Use of high-frequency

- (3.5-12 kHz) echogram in the study of near-bottom sedimentation process in the deep-sea, a review. *Marine Geology*, 38, 51-75.
- Hamilton, E.L. (1970) Prediction of in-situ acoustic and elastic properties of marine sediments. *Geophysics*, 36, 266-285.
- Hamilton, E.L. (1972) Compressional-wave attenuation in marine sediments. *Geophysics*, 37,620-646.
- Hamilton, E.L. (1980) Geoacoustic modeling of the sea floor. *J. Acoust. Soc. Am.*, 68(5), 1313-1340.
- Hamilton, E.L. (1985) Marine sediments acoustics. *J. Acoust. Soc. Am.*, 77, 1789-1799.
- Hong, E., H. S. Yu and I.S. Chen (1992) A preliminary study of the echo characters and sedimentary process along continental margin, northeast of Taiwan. *TAO*, 3, 435-447.
- Jannsen, D., J. Voss and F. Theilen (1985) Comparison of methods to determine Q in shallow marine sediments from vertical reflection seismograms. *Geophysical Prospecting*, 33, 479-497.
- Kuhn, G. and M.E. Weber (1993) Acoustical characterization of sediments by Parasound and 3.5 kHz systems: related processes on the Southeastern Weddell Sea continental slope, Antarctica. *Marine Geology*, 113, 201-217.
- Richards, A.F. and E.L. Hamilton (1967) Investigation of deep-sea sediment scores, III. Consolidation, In: A.F. Richards, Editor, *Marine Geotechnique*. Univ. III. Press, Urbana, III, pp. 93-117.
- Schock, S.G., L.R. Leblanc and L.A. Mayer (1989) Chirp subbottom profiler for quantitative sediment analysis. *Geophysics*, 54, 445-450.
- Tyce, R.C. (1976) Near-bottom observation of 4 kHz acoustic reflectivity and attenuation. *IEEE Ocean*, 75, 669-673.
- Yu, H.S. and J.T. Lee (1992) Echo character of the shelf-upper slope transition off southwestern Taiwan margin and it's relationship to Quaternary sedimentation. *Acta Oceanographica Taiwanica*, 29, 45-58.
- Yu, H.S. and E. Hong (1993) The Huapinghsu channel/canyon system off northeastern Taiwan: morphology. Sediment character and origin. *TAO*, 4, 307-319.