

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

台灣周邊海域(東北)水下偵測整合計畫(Ⅲ)－

子計畫一：海洋環境不確定性對水下聲場之誤差傳遞分析研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫
計畫編號：NSC 99－2623－E－276－001－D
執行期間：99年1月1日至99年12月31日

執行機構及系所：美和科技大學資訊管理系

計畫主持人：苑梅俊
共同主持人：
計畫參與人員：林世豪、顧子姍

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

處理方式：除列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢
 涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

中華民國 100 年 3 月 31 日

中文摘要.....	III
英文摘要.....	IV
壹、緒論.....	1
一、計畫背景.....	1
二、計畫目的.....	2
貳、研究內容.....	3
一、規劃構想.....	3
二、研究方法：.....	4
(一) 海洋數值模式.....	4
(二) 聲學數值模式.....	5
(三) 最佳化快速環境評估技術 AREA.....	5
參、水下偵測效能動態顯示模組.....	9
一、功能規劃.....	9
二、計算模組架構.....	9
三、操作要點：.....	10
肆、計算模擬.....	13
一、水下偵測動態變化.....	13
(一) 東北海域.....	13
(二) 西南海域.....	17
(三) 東部海域.....	20
二、最佳化快速環境評估 AREA 模擬.....	25
伍、討論與結語.....	30
一、討論.....	30
二、結語.....	31
參考文獻.....	32
附錄一：TCONFS 海洋流場模式簡介.....	34
附錄二：「水下偵測動態顯示計算模組」安裝步驟.....	40
附錄三：「水下偵測動態顯示計算模組」簡介.....	43

圖目錄

圖 1 ARAE 作業流程圖.....	8
圖 2 Plot_avi 不確定性動畫顯示模組.....	10
圖 3 「水下偵測動態顯示計算模組」操作畫面.....	11
圖 4 「水下偵測動態顯示計算模組」輸出範例.....	12
圖 5 計算模擬點位示意圖.....	13
圖 6 東北海域點位之聲速剖面圖.....	14
圖 7 東北海域點位不同方位的音傳損耗剖面圖.....	14
圖 8 東北海域點位 180 方位的不同季節的音傳損耗剖面圖	15
圖 9 東北海域點位在不同季節的偵測距離.....	16
圖 10 東北海域點位在 180 方位不同季節的 FOM 及 TL 曲線圖.....	16
圖 11 西南海域點位的聲速剖面圖.....	17
圖 12 西南海域點位不同方位的音傳損耗剖面圖.....	18
圖 13 西南海域點位 000 方位的不同季節的音傳損耗剖面圖	18
圖 14 西南海域點位不同季節在不同方位的偵測距離	19
圖 15 西南海域點位 180 方位不同季節的 FOM 及 TL 曲線圖.....	20
圖 16 東部海域點位的聲速剖面圖.....	21
圖 17 東部海域點位不同方位的音傳損耗剖面圖.....	21
圖 18 東部海域點位 000 方位的不同季節的音傳損耗剖面圖	22
圖 19 東部海域點位不同季節在不同方位的偵測距離	23
圖 20 東部海域點位 180 方位不同季節的 FOM 及 TL 曲線圖.....	23
圖 21 西南點位之冬季資料重新計算（增加最大計算距離為 30 公里） ..	24
圖 22 東部海域匯音區之計算範例.....	25
圖 23 模擬操演區歷史平均值.....	26
圖 24 模擬操演當時的水文狀況.....	26
圖 25 操演區域 24 小時的海水表面溫度標準差變化	27
圖 26 操演區在 20 公尺的音傳損耗圖.....	28
圖 27 操演區海底地形圖	28
圖 28 操演區 24 小時之音傳損耗標準差.....	29

中文摘要

台灣周邊海域海洋環境複雜，水文狀況常隨著時間而不斷變動，在進行水下聲納效能計算時，常產生計算結果極大的不確定性，使得海軍作戰及訓練單位無法掌握水下偵測效能的動態變化，本計畫依據 ASORPS 計算核心，參考作戰計畫與訓練規劃單位之需求，開發簡單操作介面，但具有多樣化輸出結果，且具有動畫顯示之「水下偵測動態顯示計算模組」，提供使用者一方便但實用的計算工具，以滿足海軍對於水下偵測效能動態顯示的需求。

此外，由於作戰支援首重快速正確，故要將現行已發展的海洋與聲學模式研究成果實際應用於作戰支援上，歐盟及美軍已發展出「最佳快速環境評估 (Adaptive Rapid Environmental Assessment, AREA)」的觀念，運用整合現有各種資料來源，並建立海洋模式與聲學模式整合的一貫化數值流程後，可以快速進行操演區或是預想海域的水下偵測效能評估，針對水下偵測效能高度變動區域，利用海洋探測兵力獲得最新環境實測資料後，將其融入海洋數值模式計算條件中，以利海洋模式獲得最接近操演區水文狀況的預測值，降低水下偵測效能預估不確定性，提供反潛兵力最佳的聲納效能計算。本計畫亦已完成 AREA 評估所需的海洋數值模式與聲學模式整合計算的相關流程。

關鍵詞：水下偵測效能、音傳損耗、海洋數值模式、快速環境評估

英文摘要

Complexity of the marine environment waters surrounding Taiwan, hydrology often changing with time, during computation of underwater sonar performance, the results often produce great uncertainty, making the chief of naval operations and training units can not grasp the underwater detection performance. The project base on the calculation core of ASORPS and reference to operational planning and training needs of planning units to develop a simple interface, but the output has diversified, and has animated the "Calculation module of dynamic display in sonar performance detection " to provide users a convenient and practical computational tools. This module meets the Navy' s needing for the dynamic display of underwater detection performance.

In addition, the first priority in combat support is rapid and correct; it has developed to the existing ocean and acoustic model on the practical application of operational support. The EU and the U. S. navy have developed "Adaptive Rapid Environmental Assessment, AREA " concept, integrating the use of various sources of information available, and the establishment of integrated ocean model and the acoustic model. It cans quickly evaluating drill area or desired area of underwater detection performance. For underwater detection performance highly volatile area, the surveying force measures the latest environmental field data. Its integration into the ocean numerical model calculation conditions, to facilitate the near real ocean data that calculated by ocean model. The process reduces the prediction uncertainty of sonar detection performance, to provide the ASW forces application. This project has been completed AREA assessing the need for numerical ocean models and acoustic models are integrated to calculate the relevant processes.

Keyword: underwater detection performance 、 transmission loss 、 ocean numerical model 、 Rapid Environmental Assessment

壹、緒論

一、計畫背景

台灣位於歐亞板塊與菲律賓板塊碰撞的交會處，周邊海域海底地形複雜，加上流經台灣東部的黑潮是北太平洋環流的重要洋流，具有高溫、高鹽、流速大之特性，易形成聲速剖面負梯度，影響聲納偵測效能。加上台灣東北海域受琉球島弧地形影響，黑潮在此轉向，進而引發冷水團出現，加上長期存在的內潮及內波，造成海洋環境變化複雜。97、98 年的子計畫一，配合總計畫的海上實測資料，進行影響水下偵測的音響參數作統計分析研究，發現水文、底質及地形等海洋環境參數的變動，對於水下偵測效能的音響參數變動甚鉅，進而影響海軍水下偵測系統運用，故有必要針對海洋環境的變動（不確定性），經水下偵測效能計算後，對於水下聲場之誤差傳遞狀況做進一步研究，以掌握水下偵測效能的變動性。

國科會自然處海洋學門於 1990-1996 支持之「黑潮與東海陸棚交換過程研究 (KEEP)」大型整合計畫結合國內海洋研究學者針對東北海域黑潮轉向區進行量測，然而此海域之複雜度極端挑戰當時之量測技術（莊等人，民 84 年）。近年來由於國際情勢改變，加上台灣週邊海域環境複雜，促使美國海軍對南海及台灣週邊海域產生高度興趣。自 2001 年開始，美軍連續於南海與台灣南方巴士海峽海域進行海洋聲學實驗（唐，民 90 年），並於 2008 年開始於台灣東北海域進行聲學實驗。此外，東北海域亦為我海軍重要海域，有必要針對其影響水下偵測之環境參數加以研究分析，以掌握關鍵之變動參數（陳與王，民 95 年）。美方有長期量測經驗與技術，由前兩年與美方同步規劃與執行的經驗中得知，美方雖有先進的遙測技術與數值分析方法，但仍有系統地規劃進行海上實地量測，並將實測資料與數值計算結合，以提高水下偵測計算的準確度。

水下偵測效能受海洋環境變化影響甚鉅，在反潛應用中是以聲納方程式做為偵測效能評估的依據，其各項參數分別與聲納系統特性、海洋環境與聲納操作手能力等有關（苑等，民 97 年）。要瞭解水下偵測效能之優劣，就必須運用海洋數值模式，針對各項水下偵測參數進行分析研究，以掌握其影響偵測效能之程度。

二、計畫目的

由過去與美方合作與交流的經驗得知，美海軍為確保其艦艇兵力安全，並有效發揮其作戰效益，針對其預想作戰海域必先以先進與精確的海洋探測裝備掌握海洋環境變化特性，並且進行海洋聲學量測做為聲學模式解算修正之依據，由於海洋環境變化與水下聲場變動兩者關係密切，加上大規模的海上實測，不僅不切實際，且成本高昂，故美方規劃運用數值模式進行海洋環境變動的模擬，並以統計方法計算海洋環境與水下聲場間的誤差傳遞，以正確估算所望海域水下偵測效能，建立其海域之作戰優勢。

基於海洋環境變化與水下聲場變動間之誤差傳遞掌握度的需求，本研究計畫之目的有三：

- 一、依據 98 年研究所獲影響水下偵測之環境變動關鍵參數，配合適當之海洋數值模式，建立水文場變動性之適當表示方法，以作為聲納偵測效能不確定性研究之依據。
- 二、利用海洋環境變動參數計算，尋求適當方法，進行誤差傳遞之研究，以減低 (smoothing) 水下聲場整體之不確定性，建立聲納偵測距離解算之可靠度區間，提供 ASORPS 解算結果之可靠度數值，以利聲納操作人員運用，以提升聲納偵測效能。
- 三、建立海洋環境與水下聲場間整合計算之研究，以降低自海洋環境至聲學場間之誤差傳遞。

本計畫延續原子計畫一之研究成果，由子計畫三提供研究所需之水文資料，底質資料由子計畫二及子計畫四提供，本計畫基於子計畫二~四提供之海洋環境資料進行海洋數值模式的驗證，並以海洋數值模式模擬海洋環境之變化，作為水下偵測的依據，研究重點將針對海洋環境變動對水下聲場間之誤差傳遞進行分析。研究所得之水下偵測不確定性等成果將與子計畫六之背景噪音結合，由總計畫及子計畫七進行偵測效能及偵測策略之研究。

貳、研究內容

一、規劃構想

在海軍多年的支持與台大水下聲學實驗室團隊努力下，我國自力開發的第一套聲納偵測效能計算軟體 ASORPS 已具有準確的計算能力與顯示介面，ASORPS 可以依據不同的水文資料輸入方式，配合內建的海洋環境資料庫，以適當的聲學模式，進行不同方位的聲納效能計算，並以圖形化方式顯示於 GIS 圖資上，可提供聲納操作手，掌握聲納的最佳偵測效能，並可提供現場指揮官清晰的水下偵測圖像（謝，95 年）。ASORPS 多樣化的圖形顯示方式，與方便的操作介面，為艦隊反潛相關人員及海上支隊指揮官不可或缺的工具之一，並且在海軍多年的驗證及研發團隊不斷精進下，深獲海軍及美方大氣海洋評估團隊的肯定。

由於台灣周邊海域的複雜水文環境，對於水下偵測效能影響甚大，ASORPS 雖然具有良好顯示介面，與精確計算模式，但是其設計理念是以滿足聲納操作手為優先考量依據，如果需要大範圍、多點位的計算，或是對於時間動態變化相關的顯示，ASORPS 在操作上就有其限制。所以，在規劃反潛計畫之作戰以及訓練單位，常需要瞭解大範圍的聲納偵測效能變化，或是特定區域，隨時間的聲納偵測動態變化，就有必要利用 ASORPS 的核心模組開發相關計算模組。

由於實測的海洋環境量測資料，需投入大量的金錢與人力，對於取得大範圍實測資料幾乎是不可能的事。近年由於電腦處理速度大幅提昇，加上數學模式模擬的技術日益精進，所以利用海洋數值模擬海洋環境變動的相關技術，已經非常成熟與多元。如果將海洋數值模式與水下偵測計算模組結合，將可有效掌握水下偵測效能的不同變化狀況。

所以，本計畫依據研究目的，利用 ASORPS 的核心程式，開發適當計算模組與顯示介面，以結合數值模式輸出結果，顯示大範圍水下偵測效能的變動情形，以及隨時間變化的水下偵測動態，提供海軍作戰計畫與訓練設計人員，進行戰術規劃、戰法設計及訓練科目運用。

二、研究方法：

(一) 海洋數值模式

海洋觀測是瞭解海洋環境變化最基本、也是最重要的方法，但是海洋觀測的成本高、人力耗費大，大範圍的持續及綿密海洋觀測幾乎是不可能的工作。所以，應用適當的觀測資料及氣候統計值場配合海洋數值模式模擬海洋環境的變動，是研究海洋環境有效且經濟的作法來。此外，模擬的海洋環境結果，可直接與聲學模式結合，進行水下偵測效能的預測。在本年度研究中，採用工研院林勝豐博士的 TCONF5 模式（詳如附錄一說明），整個流場範圍涵蓋 117~125°E，18~27°N。模式之水平網格間距為 $1/24^\circ \times 1/24^\circ$ (約 4.5km)，水平網格數共 41,881 個，其中在水域中的網格為 35,405 個。垂直座標採用 σ 座標軸，共分為 31 層，藉由採用 σ 垂直座標軸系統，維持海床陡劇變化區的垂直網格層數。另外在海表層與海床處均增加層數密度，以適當解析邊界層的作用影響（林，2010 年）。

臺灣周遭海域流場數值模式所使用的水深資料，主要取自於國科會海洋學門水深資料庫(TaiDBMv6)，部分近岸地區的水深資料則根據海軍大氣海洋局近幾年的探測成果而略有編修。模式根據上述兩項水深資料來源進行水深網格化工作，製作出網格 $1/24^\circ \times 1/24^\circ$ 的模式水深網格資料。模式水域網格中最淺的海床水深設定為 5 m，最深水深設定為 5500 m。

流場數值模式所需要的海面大氣條件取自中央氣象局 NFS (Non-hydrostatic Forecast System) 的分析風場與大氣壓力。氣象局 NFS 模式每日於 Universal Time (UT，同格林威治時間 GMT) 0 時、6 時、12 時和 18 時提供每 6 小時的分析風場資料，亦於每日 UT 0 時和 12 時提供接續 72 小時的每小時預報風場資料。NFS MC (網格間距 15km)，範圍涵蓋 109.77~137.73°E，9.28~35.27°N。

流場數值模式的水文初始場，取用自美國海軍 EASNFS (East Asian Sea Nowcast/Forecast System) 大範圍海洋模式(Ko et al., 2009) 2003-2009

年的長期模擬結果平均值。海洋開口邊界條件，亦是使用 EASNFS 2003 年至 2009 年的模擬結果(二維水位、流量，三維溫度、鹽度、流速)。由於 EASNFS 並未包含潮流和潮位的模擬，因此台灣周遭海域流場數值模式為增加模擬潮汐的影響，將於海洋開口邊界條件上線性疊加美國奧瑞岡州立大學(Egbert et al., 1994; Egbert and Erofeeva, 2002)全球潮汐模式(TPX0 7.1 tide model)之 Mm、Mf、Q1、O1、P1、K1、N2、M2、S2、K2、M4 等 11 個分潮調和分析值所合成的正壓潮潮位與潮流。

(二) 聲學數值模式

海洋環境的水下聲波能量傳遞計算一般應用波動方程式或 Helmholtz 方程式，常採用圓柱座標系統(r, θ, z)，並假設海洋環境為軸對稱，因此聲場不隨著 θ 而變化，故可簡化為二維方程式。根據以上的方程式所發展出的聲學模式，可分為 FFP(Fast Field Program)、Normal Mode 以及拋物線方程式(PE)的近似法。在海洋環境中，若海底地形或聲速隨著距聲源的水平距離(r)而變化時，也就是複雜水文環境時，是屬於 Range Dependent 的海洋環境，拋物線方程式近似法(PE Approximation)，即適合這一類的計算程式。

美海軍研究室的 M. D. Collins 將相關作法，撰寫成廣為聲學領域所熟知的 RAM 聲學模式 (Range-dependent Acoustic Model, RAM)，為本研究進行水下聲波傳遞運算所採用的主要運算工具，其特色包括可計算極大的傳播角度、在深度方向允許較大的梯度變化，以適應東北海域複雜的水文環境變化。

(三) 最佳化快速環境評估技術 AREA

在濱海的淺水海域，在時間與空間的尺度變化上均相當大，尤其台灣附近海域，屬中低緯度，海水表面溫度受日照影響普遍較高，使得水層溫度剖面形成負梯度，聲波於水中的路徑以向下折射為主，所以台灣週邊海域影響聲納效能之因素(苑與唐，民 95 年)，除了水文資料變化外，海底地形與底質聲學特性的變動亦是重要因素，對於這些不同的環境變動因素在執行作戰任務之影響程度，有必要予以正確評估，以掌握其誤差傳遞特性。所以快速

環境評估 (Rapid Environmental Assessment, REA) 能力之建立，便是因應濱海海域戰術需求所產生的 (Schmidt, 2002; Wang and Schmidt, 2005; Wang et al., 2006)。REA 之概念是在操演或作戰之前，依據既有的海洋環境資料庫，輔以海洋數值模式輸出，進行操演前現場的海洋環境探測，以掌握最新作戰海域環境變動的關鍵因素，提供指揮官作戰決策之支援。由於海水鹽、溫變化與底質地因特性是影響聲納偵測效能的關鍵因素，故快速環境評估 REA 之探測重點是以海水鹽、溫的量測與底質特性的最新資料為重點，配合既有歷史資料及數值模式預測，解算聲納偵測效能在操演海域之不確定度，以獲得預測數值之可信區間，做為指揮官採取最佳戰術作為之依據 (Schmidt et al., 2005)。

舉例來說，在春夏期間於台灣西南海域舉行反潛操演，依據歷史水文資料，操演海域的海水表面溫度較高，形成海水聲速負梯度剖面，聲納聲波的傳遞路徑以向下折射為主，此時底質地音特性的正確性就成為聲納偵測距離遠近的關鍵因素。若是操演海域有洋流經過或氣象變化使得海水表面溫度降低，形成有利偵測的層次深度，在這種狀況下，聲納聲波的傳遞路徑，以表面聲管的直接路徑做為偵測潛艦的主要方式，此時海水的鹽、溫變化便是影響聲納偵測距離的關鍵因素。雖然完整海洋環境資料庫，可提供聲納偵測距離的預測，但海洋環境的變動性大，依據歷史資料庫解算所得的聲納偵測距離數值，其可信區間對於日益精良的武器與準確的戰術要求已無法滿足，運用快速環境評估 REA 的概念，配合海洋數值模式，獲得最新海洋環境的變動資料，接著以最佳化分析理論，將觀測資料與數值預測資料進行同化，以降低戰場環境預測的不確定度，可大幅提昇聲納偵測距離預測的可信區間 (Wang and Schmidt, 2004; Wang et al., 2006)。

在濱海海域環境中，時間與空間變動性大，在有限海洋探測兵力的限制條件下，對於操演海域的環境評估，面臨了探測格點的密度與探測範圍大小之兩難抉擇，在一定的時間 (例如僅有 2~3 天的作業時間) 與有限探測兵力條件下 (我海軍僅有海洋探測艦乙艘)，增加探測密度勢必無法擴大探測範

圍，反之亦然，「最佳化快速環境評估模式 (Adaptive Rapid Environmental Assessment, AREA)」便是針對此一背景提供良好的解決方案 (Yilmaz et al. , 2006 ; Wang et al. , 2009)。

AREA 之整體作業構想是利用誤差分析與統計機率的方法，來獲得濱海海域最佳化海洋探測格點與作業方式的設定，其作法是將濱海海洋數值預測模式與現場高解析海洋探測資源整合，輔以戰術上之需求，以建立 AREA 之整體架構，其主要目的在掌握操演區內之聲納偵測效能並減低聲納系統的不確定度。

進行環境評估之海洋探測時，探測之格點密度必須考量戰術聲納所使用之波長，兩者必須互相匹配，如果探測之格點密度小於聲納波長尺度，則會佔用過量的海洋探測資源，若是需求較大的探測格點，則由衛星遙測資料獲得即可 (Eickstedt, 2006)。

此外，AREA 之評估重點與聲學環境特性配合亦是十分重要的，聲學模式可依據不同水文狀況計算出聲波於水下傳遞的重要影響因素，舉例來說當有表面聲管存在時，由於聲波能量主要透過上層海水的聲管作用傳遞，與海底交互作用較少，故表面聲管的厚度 (深度) 大小對聲納偵測距離的遠近有關鍵性的影響，若將海洋探測兵力的作業重點 (例如側掃聲納或底質剖面儀) 置於海底底床的地音特性探測，而海洋環境變化重點的上層海水並未掌握其變動特性，以致在兵力運用上便顯得過於浪費。相對地，若是有午後效應或無表面聲管存在時，因為聲波主要向下折射，使得聲波與海底地形的交互作用增加，聲波傳遞主要受海底地音特性影響，此時底質的地音特性便成為影響聲波傳遞的關鍵因素，加強對海床底質特性的探測，便可掌握環境變動的重要特性 (Eickstedt et al. , 2007)。

圖 1 說明 AREA 之整體作業概念，它是利用適當的數值模式、歷史統計資料庫及最新現場觀測資料，進行操演海域水文與地音參數變動的機率分佈函數計算，輔以戰術需求考量，以決定環境變動對聲納偵測效能影響最大的因素與區域，再運用有限的海洋探測兵力，進行這些較大變動因素之關鍵區域

進行探測，以降低聲納偵測效能之不確定性，提升整體作戰效能。

雖然運用海洋數值模式可以產生四度空間海洋環境的預測及相關不確定度分析，然而在濱海變動性大的海域，直接運用數值預測資料進行聲納效能的預估，其準確度仍顯不足，因為大部份海洋數值模式之空間與時間的網格尺度，仍無法與聲學模式之尺度匹配，一般來說，海洋模式的水平網格尺度最小也多在數百公尺左右，但是聲學模式的網格尺度可達數十公尺的準確度。此外聲學模式在計算時，受輸入海洋環境變動的敏感度相當高，且兩者間的變動關係為並非線性的關係，故以數值模式預測海洋環境時，仍需要以實測之資料進行驗證比對。

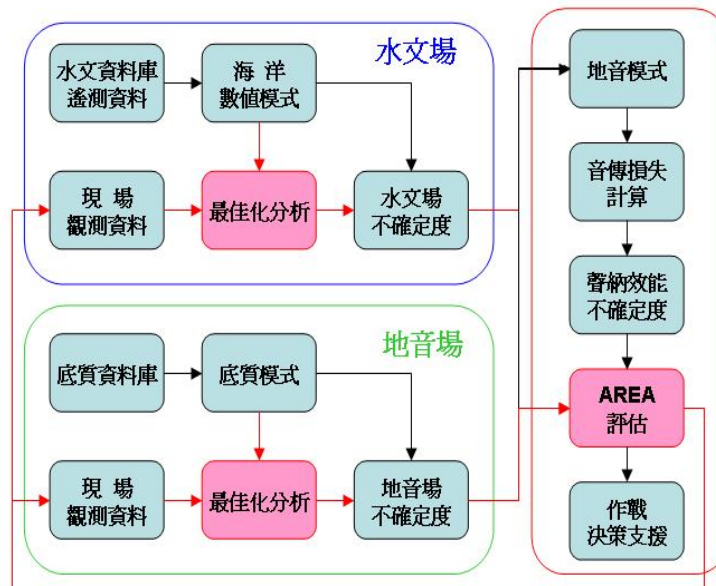


圖 1 ARAE 作業流程圖

簡單地來說，AREA 之概念是依據海洋數值模式的預測結果，配合聲學模式的評估，並考量不同型態的作戰需求及探測兵力狀況，利用不同環境因素的機率分佈函數為評估標準，進行特定海域現場最佳化量測方式的設定，以有效運用海洋探測兵力，掌握聲納在此海域之偵測效能，提供作戰部隊所需戰場環境資訊。

參、水下偵測效能動態顯示模組

由於反潛作戰單位在進行相關操演區規劃時，或是訓練單位要進行戰術戰法評估時，都需要瞭解特定海域隨時間或是隨地點變化時，海洋環境變動對水下偵測變化之影響，如果能開發一計算模組將環境變動影響水下偵測之變化以動畫方式顯示，將有助海軍作戰與訓練人員進行相關的反潛作戰規劃。

一、功能規劃

在功能規劃上，計算模組具有以下特點：

1. 結合海洋數值模式與水下聲學模式，透過計算模組，將海洋環境變化轉換為水下偵測效能的變動，掌握水下偵測動態。
2. 顯示計算點位的聲速剖面，提供使用者瞭解海洋環境特性。
3. 提供 FOM 與 TL 曲線計算圖，以瞭解計算點位的海域特性，並可研判計算點位的偵測距離變化。
4. 不同方位的聲納偵測距離顯示，提供使用者瞭解因不同方位地形影響，產生不同的聲納偵測距離。
5. 聲納在不同方位的音傳損失剖面，以瞭解陰影區所在位置，研判目標潛艦可能藏匿位置，以利戰術、戰法及作戰計畫的運用研判。
6. 整合動畫輸出顯示，在計算模組中將隨不同時間的變化，以動畫方式顯示，提供使用者掌握水下偵測效能的動態變化。

二、計算模組架構

計算模組採用 ASORPS 之核心程式及水深、底質資料庫，結合 GDEM 歷史水文資料或是海洋數值模式的輸出，依據不同的聲納特性，自動選取適當聲學模式，進行水下聲學模式的計算。

在聲學模式選擇上，若聲納操作頻率大於 1000Hz，採用適合高頻計算的高斯波束模式 GBM.EXE，操作頻率低於 1000Hz 則採用適合低頻計算的 RAM.EXE 模式，整體計算架構如圖 2。

三、操作要點：

計算模組在操作上非常容易，設計上雖然以 MATLAB 語言撰寫，但是已將模組編譯為執行檔，配合簡單操作介面，使用者不需購買 MATLAB 軟體即可操作使用，輸出的結果，除了以圖形顯示，亦可以動畫方式顯示隨時間的變化，使用者可以依需求設定計算點位，瞭解水下偵測的動態變化。所以，作戰單位可以依據作戰想定進行模擬，以瞭解預想區域對我方及敵方之水下偵測優劣狀況，俾利採取適當戰術作為在訓練單位運用上，可以針對既有的操演區進行水下偵測效能評估，以瞭解操演區對各式載台操作的限制，以利設定各項操演訓練作為。

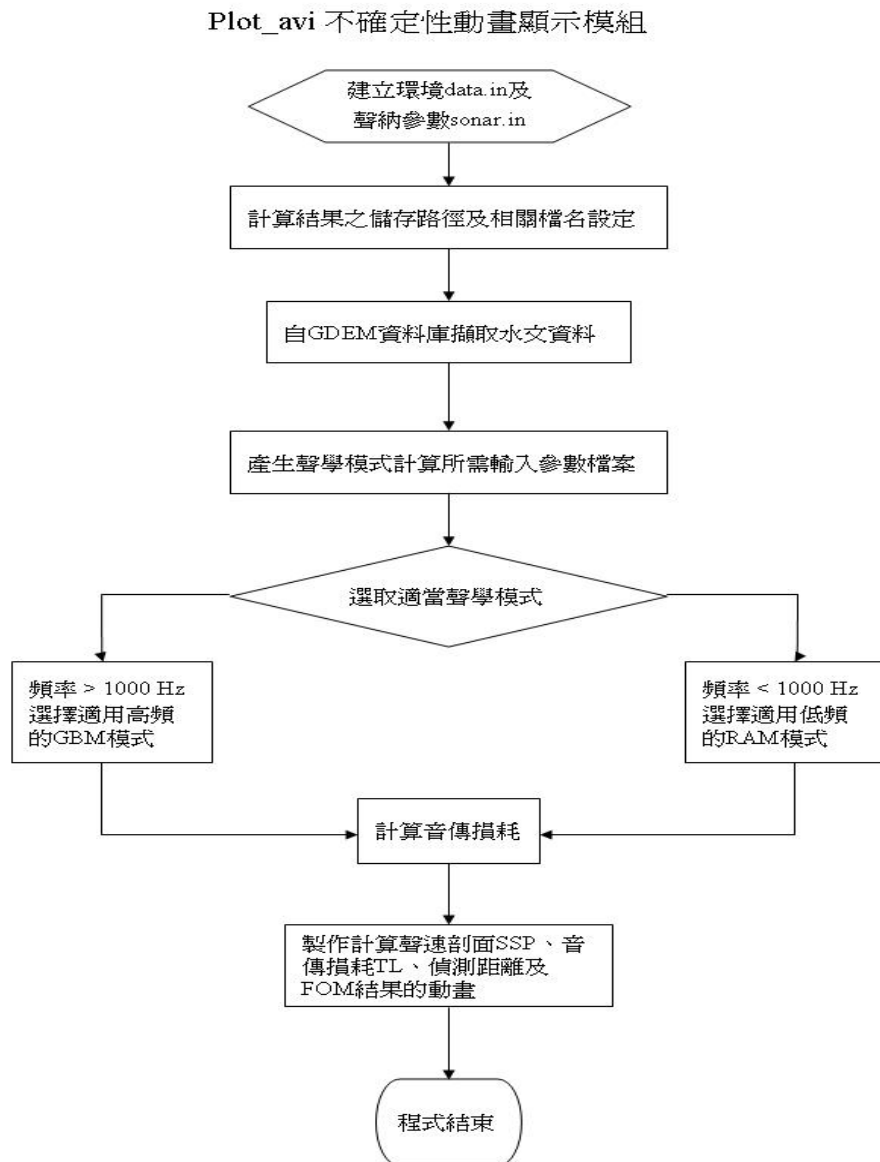


圖 2 Plot_avi 不確定性動畫顯示模組

1. 執行準備：將本模組之 RAR 壓縮檔解壓縮至 “work\990904\” 的目錄下，相關的執行程式、子程式、輸入檔範例、底質資料庫、GDEM 水文資料庫及水深資料庫均已包括在內。
2. 安裝 MCR 程式，已內含在光碟內，安裝步驟如附錄二。
3. 執行 Fom_cal.exe，即出現如圖 3 畫面，依需要填入適當參數，按「存檔」即可完成環境參數 data.in 及聲納參數 sonar.in 的建立。
4. 按「計算」即可產生使用者所需隨時間變化的聲速剖面、偵測距離、傳播損失剖面及 FOM 與 TL 曲線變動等計算結果的動畫。
5. 詳細安裝步驟參閱附錄二，簡介參閱附錄三。

聲納計算效能模組

水下偵測動態顯示計算模組

環境參數(data.in)

緯度： 經度： 計算月份數： 最大計算距離： m

聲納參數(sonar.in)

頻率： Hz 垂直波束寬： 度 計算音線數：

音源深度： m 目標深度： 音源強度： 聲納形式：

聲納尺寸： m 脈波長： FOM： dB

程式設計：美和科技大學資管系苑梅俊
聯絡方式：x00002217@meiho.edu.tw

2 **1**

計算 存檔

圖 3 「水下偵測動態顯示計算模組」操作畫面

計算模組整體操作上相當簡單，只要按圖 3 之畫面輸入參數，按下「存檔」、再按「計算」就可以獲得計算點位的不同方位的水下偵測狀況，並且是以動畫方式呈現，例如圖 4 是在西南海域北緯 22°6'、東經 119°分別是冬季（1 月）及夏季（8 月）的音傳損耗圖，可以清楚看出冬季比夏季有較佳的水下偵測效能，本計算模組除了以圖片顯示，也將一年 12 個月的變化自動製作成動畫檔，方便使用者進一步研判。

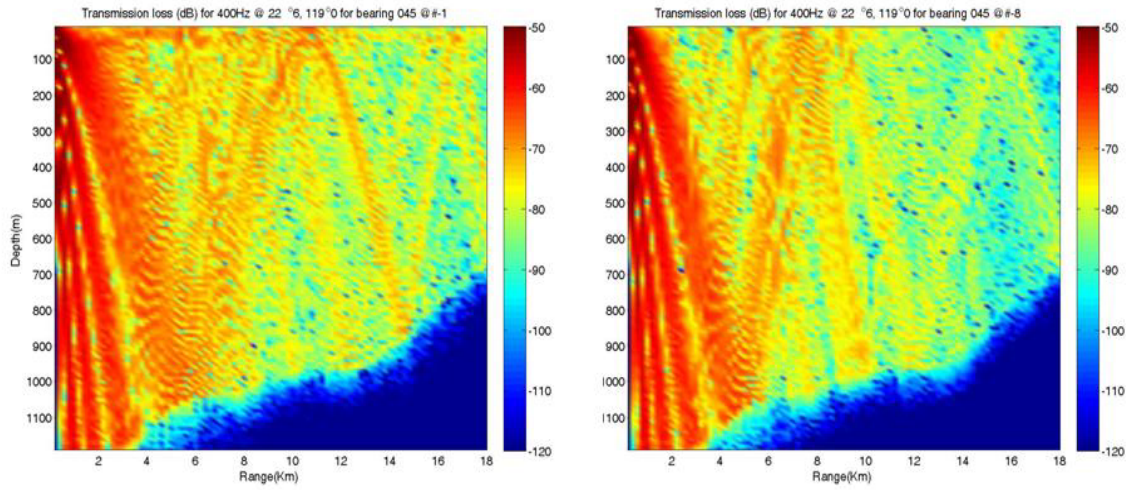


圖 4 「水下偵測動態顯示計算模組」輸出範例

肆、計算模擬

一、水下偵測動態變化

以下就以台灣東北、西南及東部海域為例，利用「水下偵測動態顯示計算模組」展示計算結果。圖 5 為計算點位之位置示意圖。

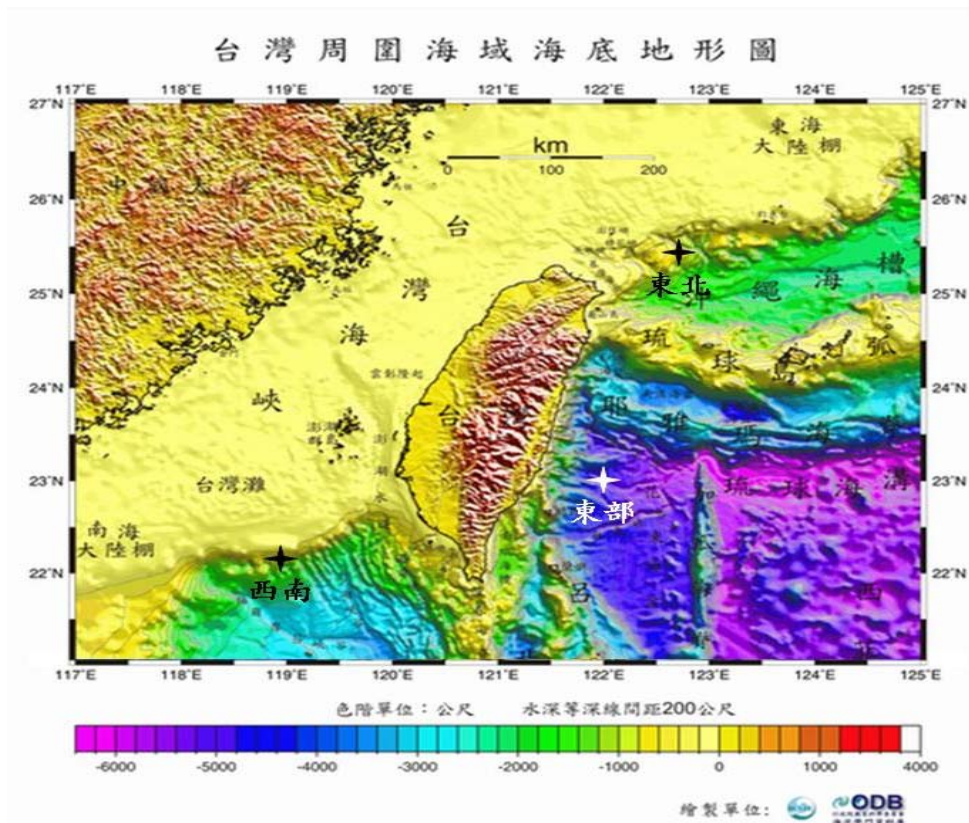


圖 5 計算模擬點位示意圖

(一) 東北海域

圖 6～圖 10 是利用「水下偵測動態顯示計算模組」在東北海域的計算輸出，圖 6 為東北海域點位的聲速剖面圖，分別表示冬季（1 月，左上）、春季（4 月，右上）、夏季（7 月，左下）及秋季（10 月，右下），可以看出秋、冬季有層次深度形成，春、夏季則無層次深度，具有較高表面溫度。同樣地，計算模組可以同步產生動畫結果，可以讓使用者瞭解層次深度的動態變化。

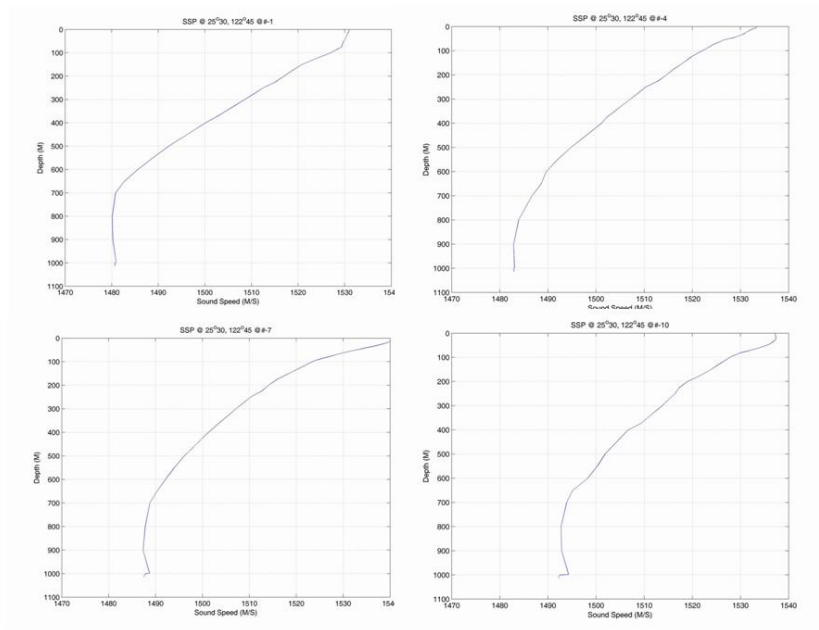


圖 6 東北海域點位之聲速剖面圖

圖 7 為東北海域點位不同方位的音傳損耗剖面圖，分別為 000（北方）、090（東方）、180（南方）及 270（西方），可以清楚呈現不同方位，由於地形變化的影響，產生不同的音傳損耗變化，亦可以提供使用者研判目標潛艦最可能就位及逃脫方向（Hsieh et al.，2007）。圖 7 僅選取 4 個方位。但計算模組實際上輸出 8 方位的計算結果，並同時產生不同方位的動畫結果。

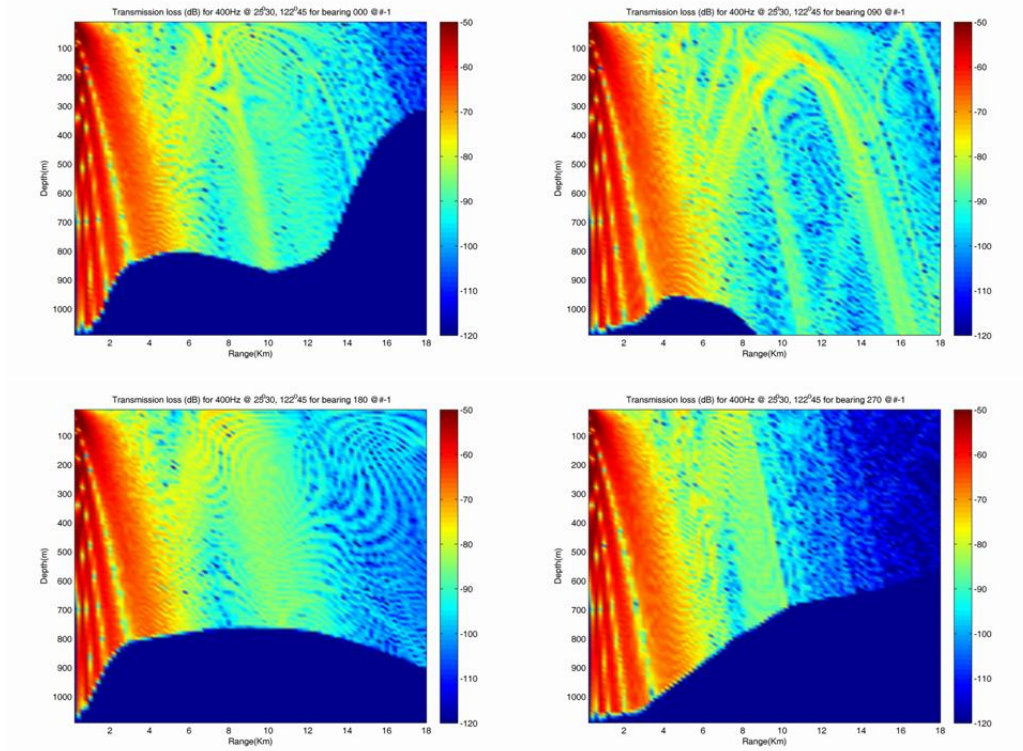


圖 7 東北海域點位不同方位的音傳損耗剖面圖

圖 8 為東北海域點位 180 方位的不同季節的音傳損耗剖面圖，表示方式與圖 6 相同，由圖中清楚呈現，秋（右下）、冬（左上）季的水下聲波可以傳送較遠距離。

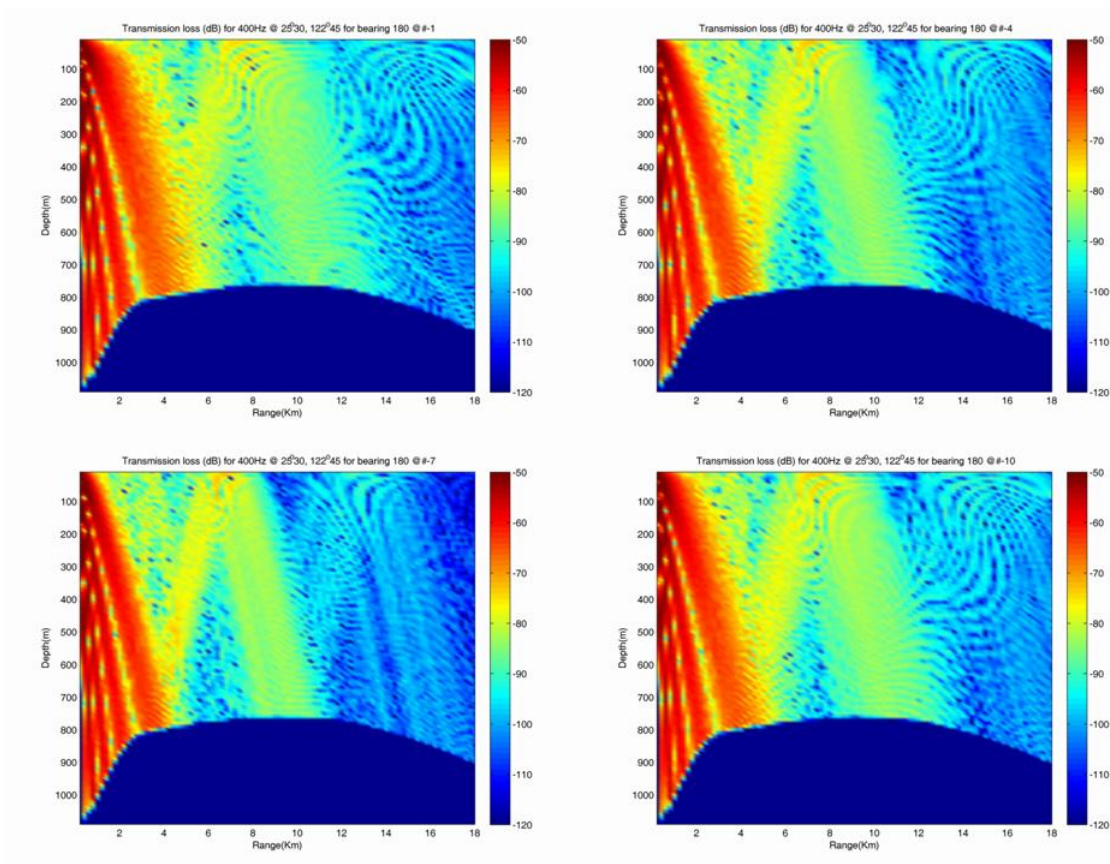


圖 8 東北海域點位 180 方位的不同季節的音傳損耗剖面圖

圖 9 為東北海域點位在不同季節的偵測距離，在不同方位以不同顏色顯示偵測距離的遠近，由圖中清楚顯示，由於水文環境變動的複雜性，聲納在不同方位有不同的偵測距離，可以提供使用者瞭解複雜水文環境下，不同方位的聲納偵測效能，作為作戰與訓練計畫擬定的依據。

圖 10 為東北海域點位在 180 方位不同季節的 FOM 及 TL 曲線圖，由於聲納的偵測距離為 TL 曲線與 FOM 的交會點，但是實際的 TL 曲線變動很大，僅僅以交會點作為偵測距離常會產生誤差，有必要配合 TL 曲線進一步研判（苑等，民 94 年）。（東部點位的計算結果有進一步說明）

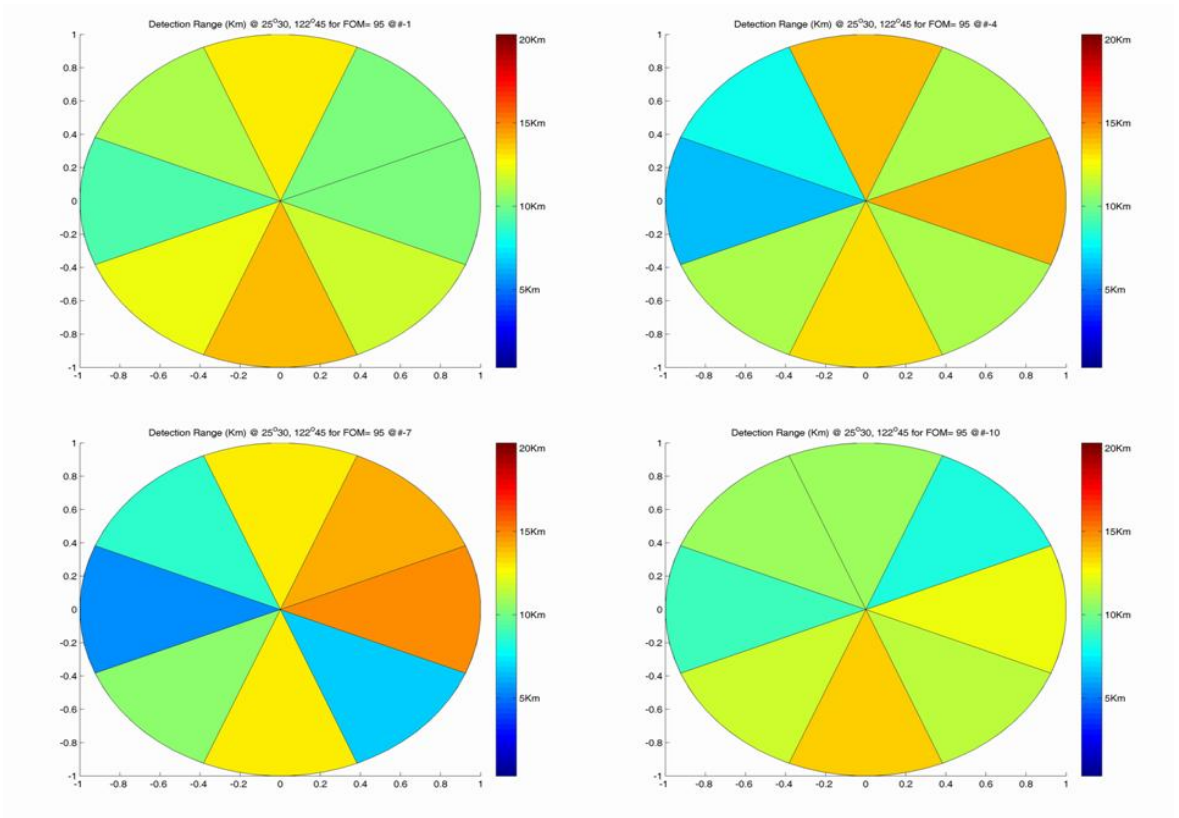


圖 9 東北海域點位在不同季節的偵測距離

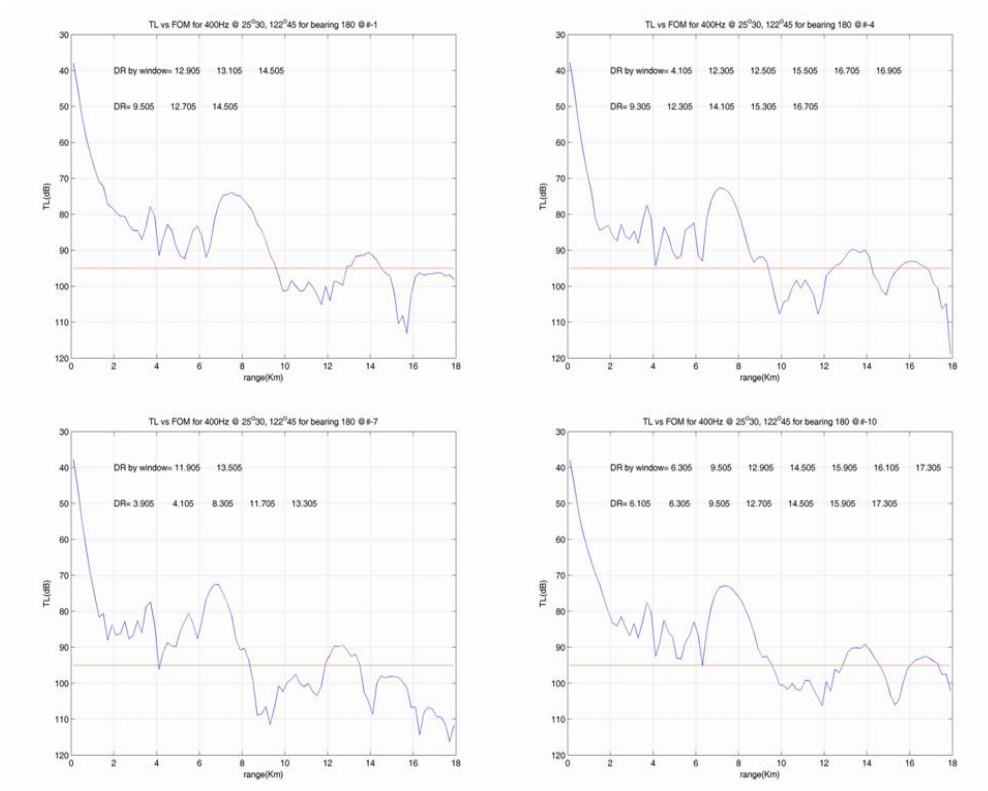


圖 10 東北海域點位在 180 方位不同季節的 FOM 及 TL 曲線圖

(二) 西南海域

如同東北海域之計算範例，圖 11~圖 15 是利用「水下偵測動態顯示計算模組」在西南海域的計算輸出，圖 11 為西南海域點位的聲速剖面圖，分別表示冬季 (1 月，左上)、春季 (4 月，右上)、夏季 (7 月，左下) 及秋季 (10 月，右下)，可以看出只冬季有層次深度形成，其餘季節則無層次深度，並且表面溫度較高，研判應是西南海域秋季時，東北季風效應較弱，不易形成層次深度。同樣地，計算模組可以同步產生動畫結果，可以讓使用者瞭解層次深度的動態變化。

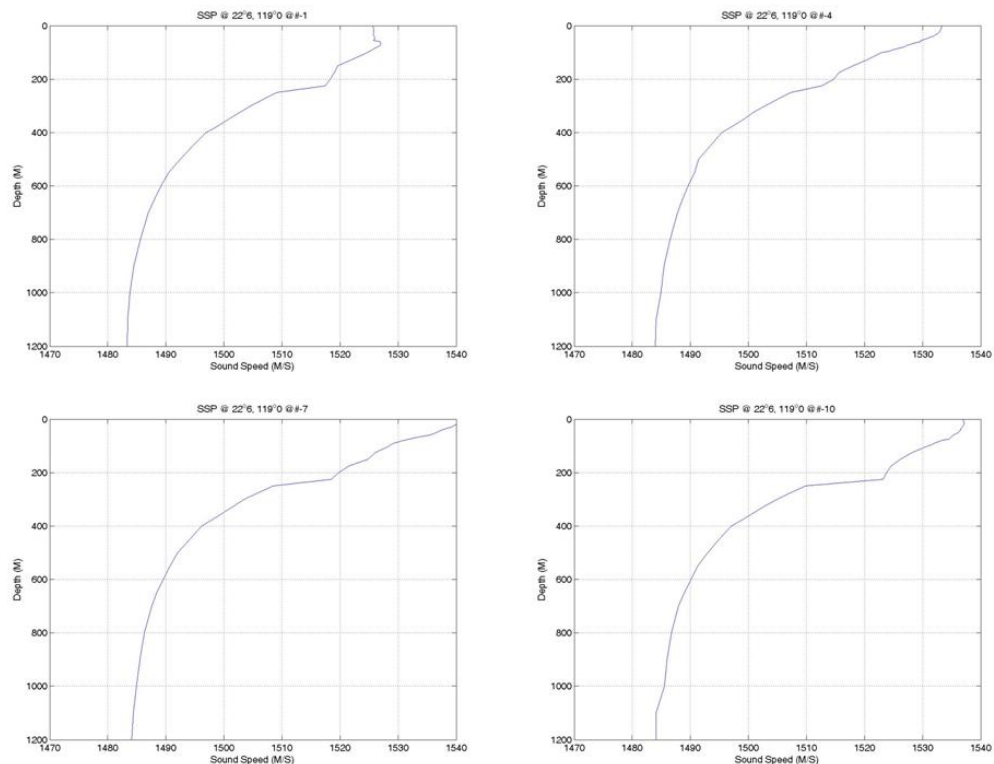


圖 11 西南海域點位的聲速剖面圖

圖 12 為西南海域點位北、東、南、西等不同方位的音傳損耗剖面圖，由於西南海域點位處於大陸棚斜坡附近，可以清楚呈現由於不同方位的地形變化，產生不同的音傳損耗變化，使用者可以輕易研判目標潛艦最可能就位及逃脫方向。

圖 13 為西南海域點位 000 方位 (向北，大陸棚方向) 的不同季節的音傳損耗剖面圖，表示方式與圖 6 相同，由圖中清楚呈現，雖然受地形影響，秋、冬季的水下聲波可以傳送較遠距離。

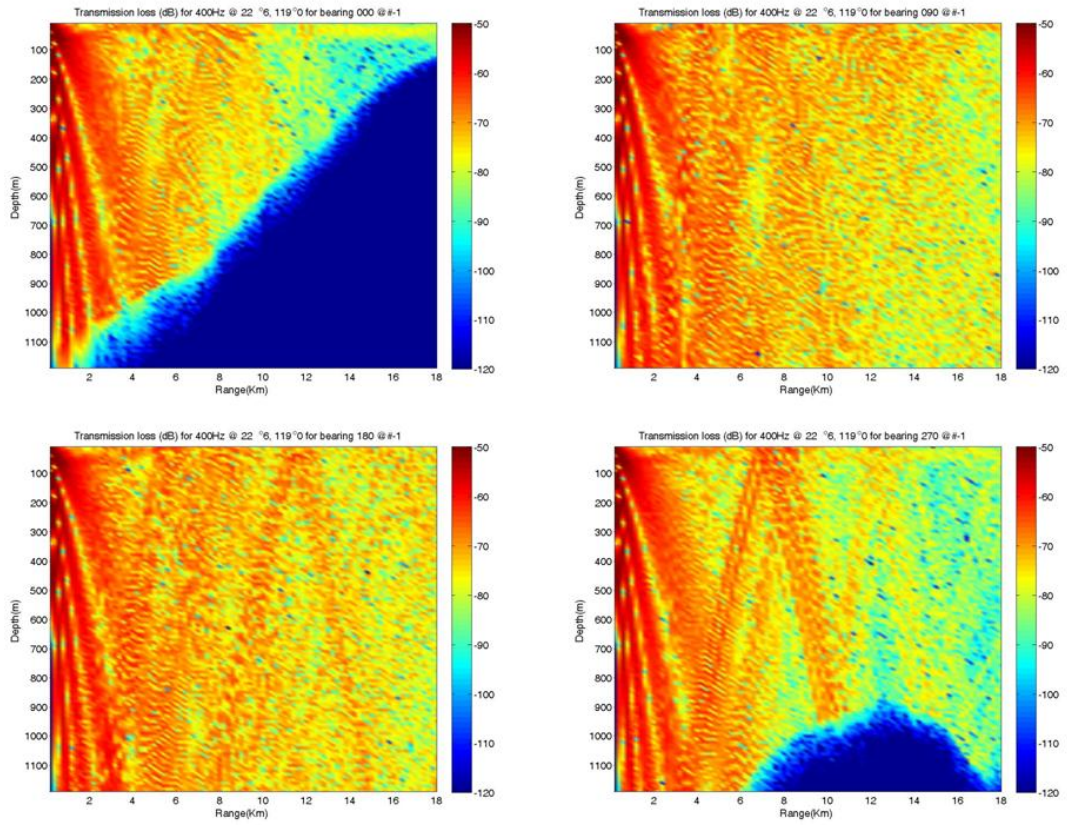


圖 12 西南海域點位不同方位的音傳損耗剖面圖

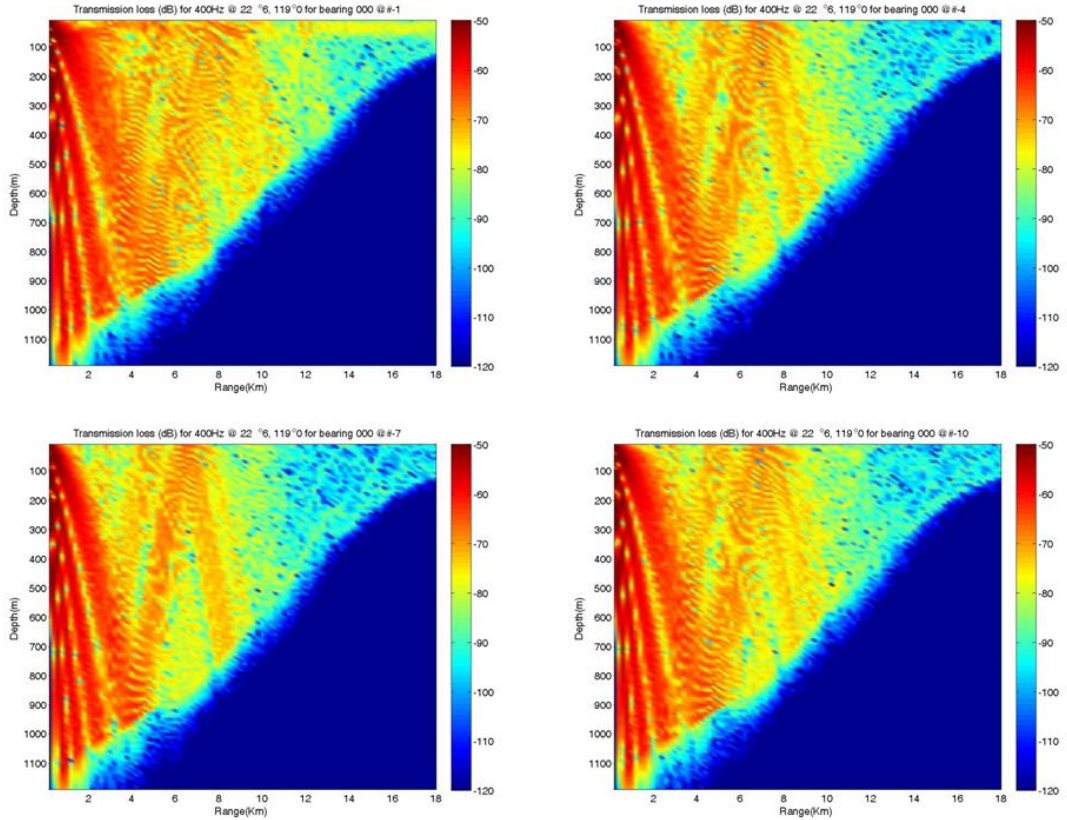


圖 13 西南海域點位 000 方位的不同季節的音傳損耗剖面圖

圖 14 為西南海域點位不同季節在不同方位的偵測距離，以不同顏色顯示偵測距離的遠近，由圖中清楚顯示聲納在不同方位有不同的偵測距離。其中在冬季（左上圖）全部呈現藍色部份，表示偵測距離極低，與常理不符。其實偵測距離的認定是 FOM 與 TL 曲線的交會（兩者值相等），但是在複雜的水文環境下，單以此種方式認定常會發生誤判之情形，必須實際配合 FOM 與 TL 曲線圖研判，由圖 15 為西南海域點位 180 方位不同季節的 FOM 及 TL 曲線圖中可知，在冬季（左上圖）的圖中可以清楚的發現，由於冬季時音傳損耗較低，致使偵測距離計算達到最大計算距離 18 公里時，仍無法與 FOM 交會，造成程式誤判為極近的偵測距離，但是實際上偵測距離是大於 18 公里以上，此時應調整最大計算距離，使 FOM 與 TL 曲線有交會而有偵測距離，此一狀況在東部海域的計算範例時，將進一步討論。

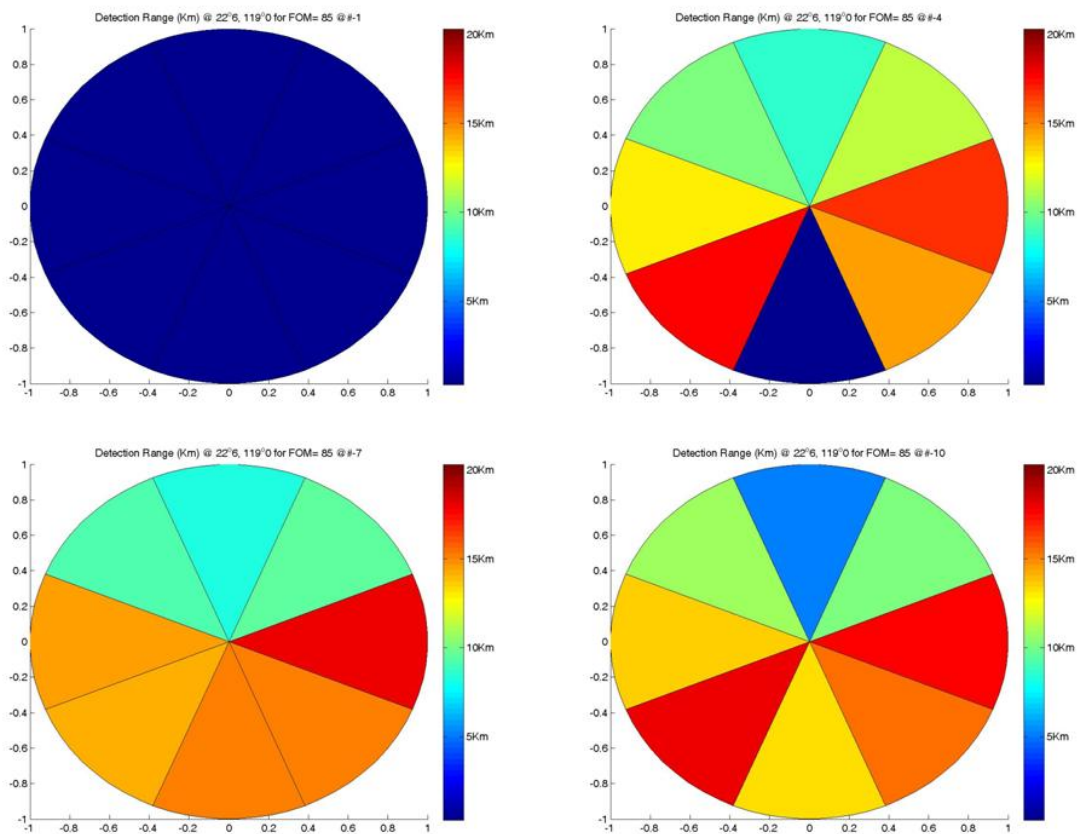


圖 14 西南海域點位不同季節在不同方位的偵測距離

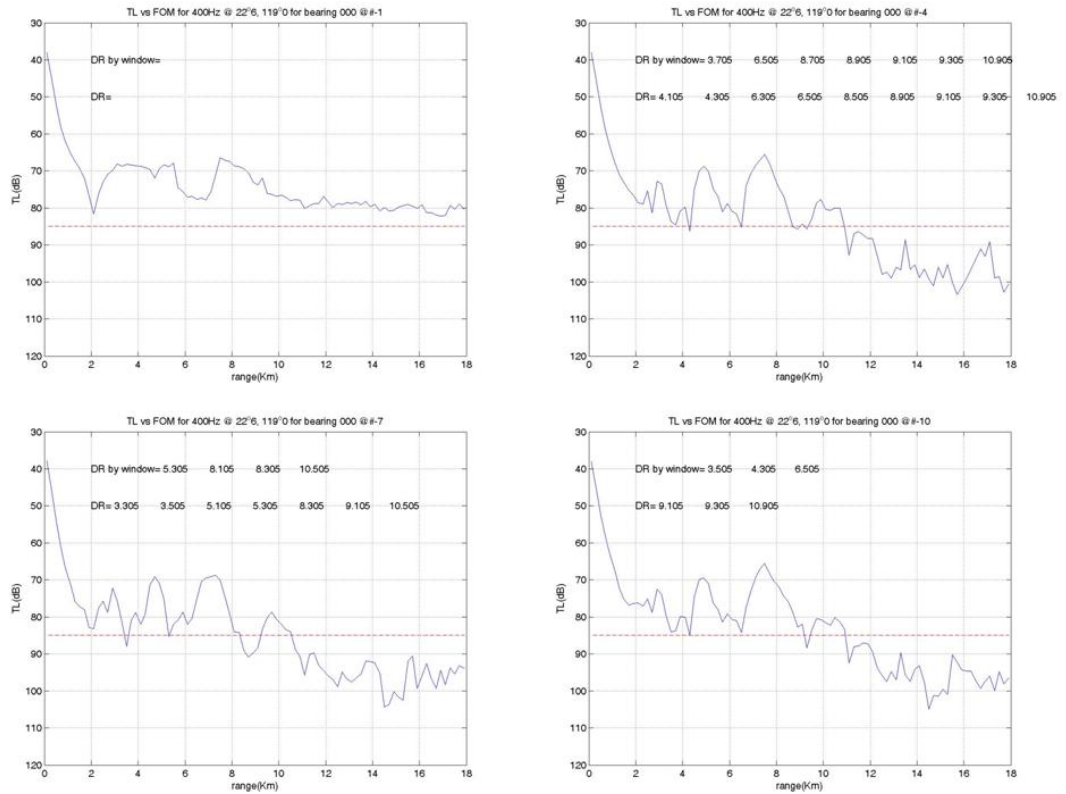


圖 15 西南海域點位 180 方位不同季節的 FOM 及 TL 曲線圖

(三) 東部海域

圖 16 為東部海域點位的聲速剖面圖，分別表示冬季（1 月，左上）、春季（4 月，右上）、夏季（7 月，左下）及秋季（10 月，右下），可以看出秋、冬季有層次深度形成，春、夏季則無層次深度，具有較高表面溫度。

圖 17 為東部海域點位不同方位的音傳損耗剖面圖，可以清楚呈現由於東部海域的水深寬廣，不同方位的地形變化相對不大，產生的音傳損耗變化亦不大。

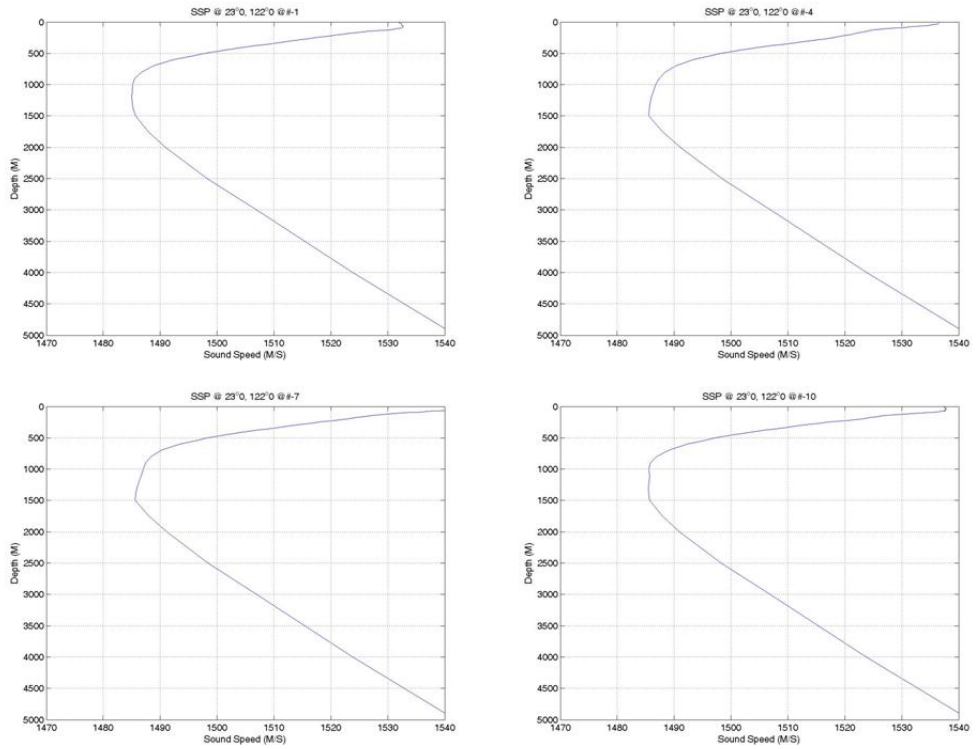


圖 16 東部海域點位的聲速剖面圖

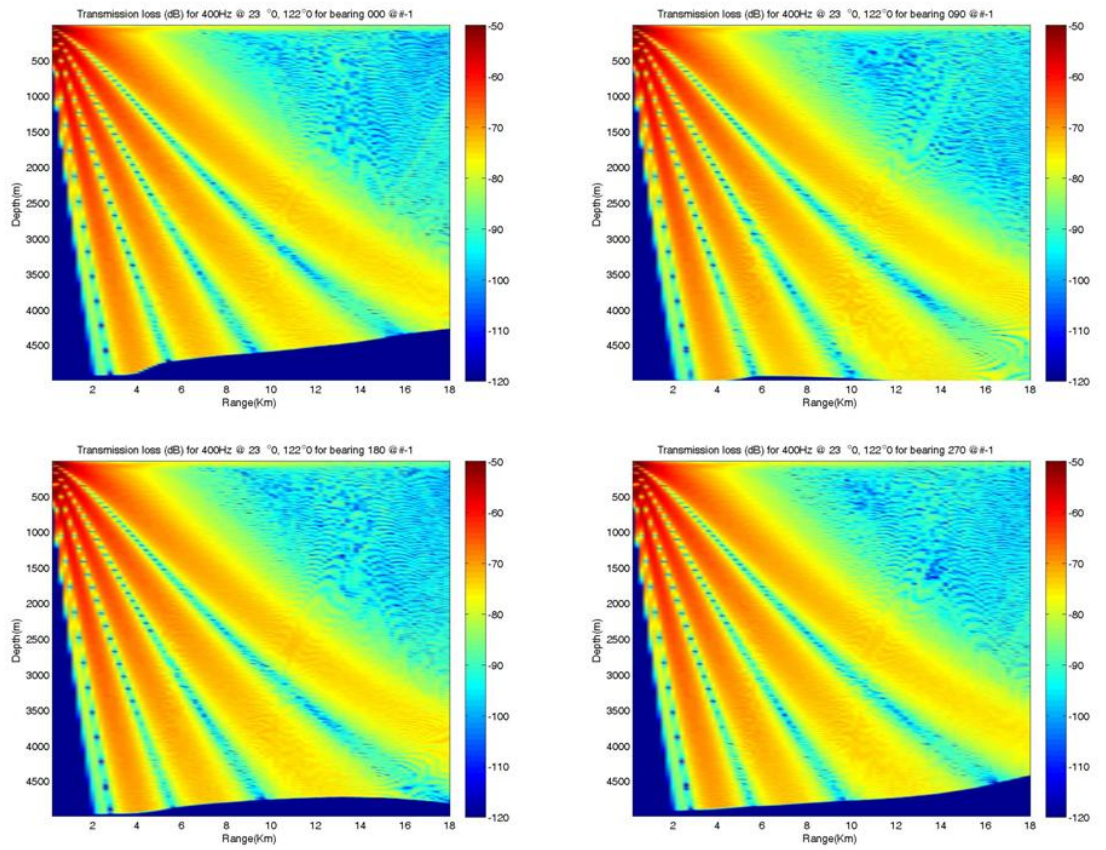


圖 17 東部海域點位不同方位的音傳損耗剖面圖

圖 18 為東部海域點位 000 方位的不同季節的音傳損耗剖面圖，表示方式與圖 6 相同，由圖中清楚呈現，在冬季時，由於有較大的層次深度所形成的表面聲管，水下聲波可以傳送較遠距離，由圖 19 的偵測距離圖可以獲得驗證。

圖 19 為東部海域點位不同季節在不同方位的偵測距離，以不同顏色顯示偵測距離的遠近，由圖中清楚顯示聲納在不同方位有不同的偵測距離，特別在冬季（左上圖），由於表面聲管效應，偵測距離的可接近 20 公里。

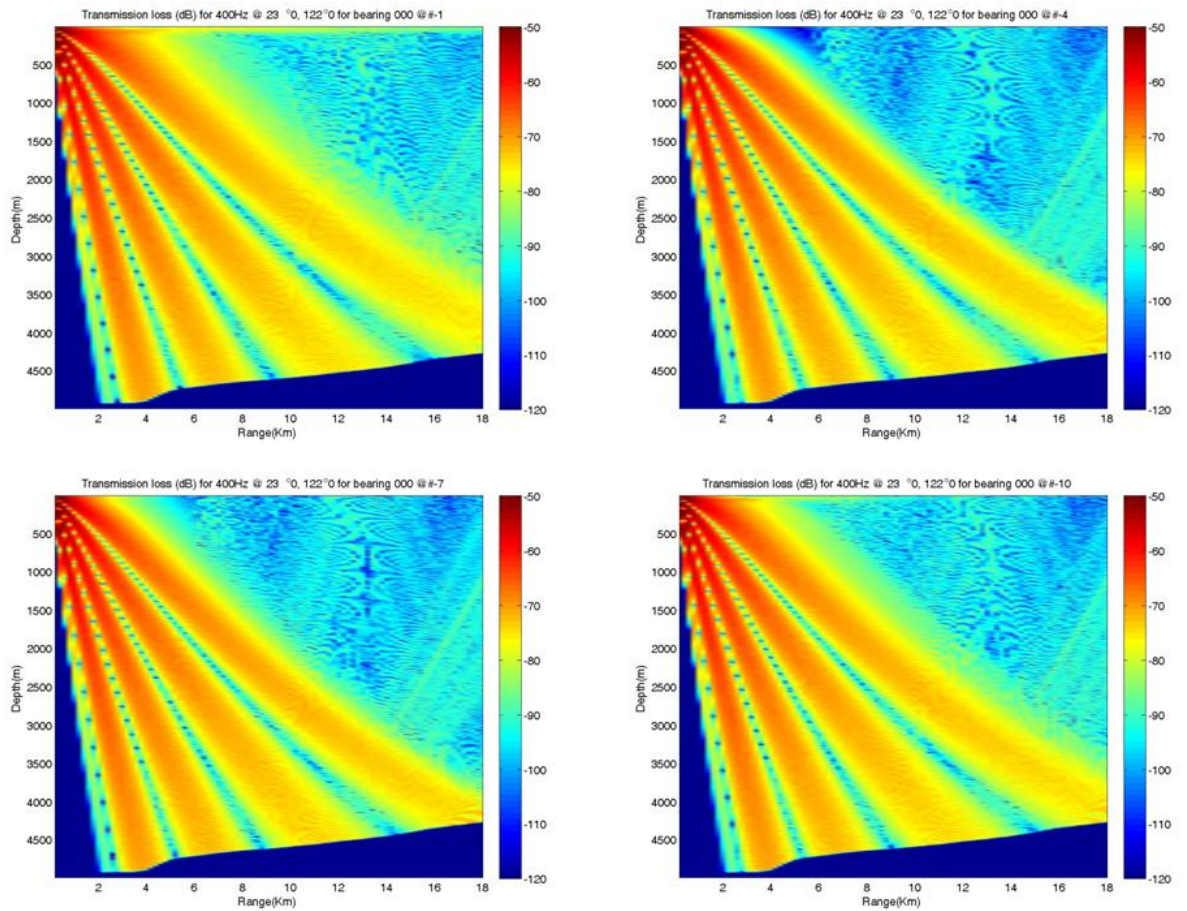


圖 18 東部海域點位 000 方位的不同季節的音傳損耗剖面圖

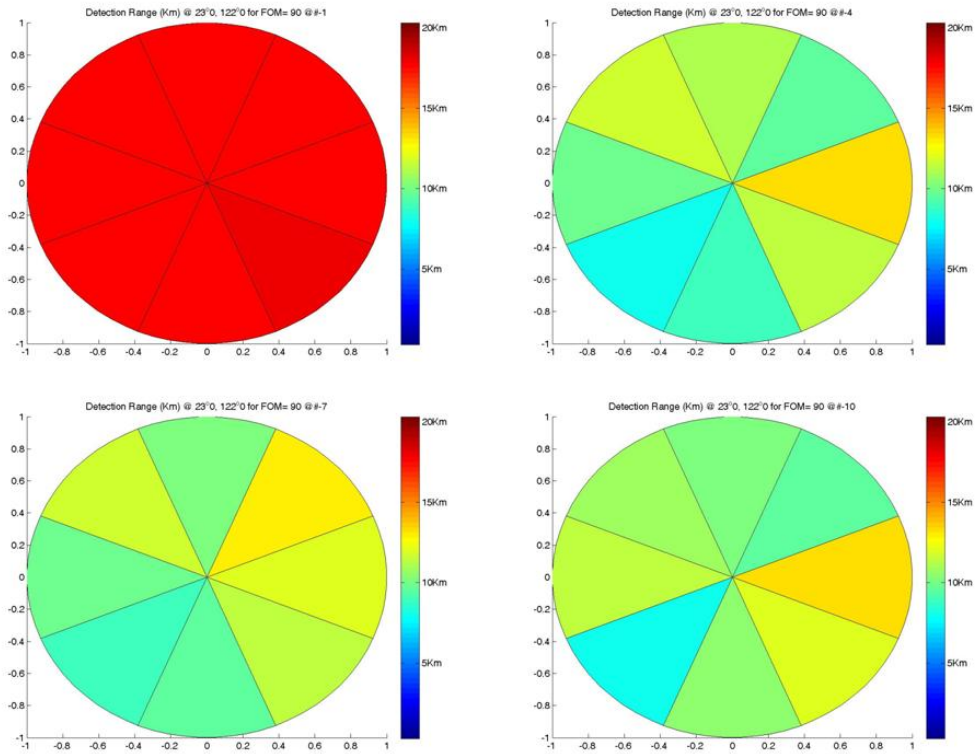


圖 19 東部海域點位不同季節在不同方位的偵測距離

圖 20 為東部海域點位 180 方位不同季節的 FOM 及 TL 曲線圖，如同前面所述，在冬季時（左上圖），由於表面聲管，音傳損耗較低，偵測距離的交會點已接近最大計算距離 18 公里。

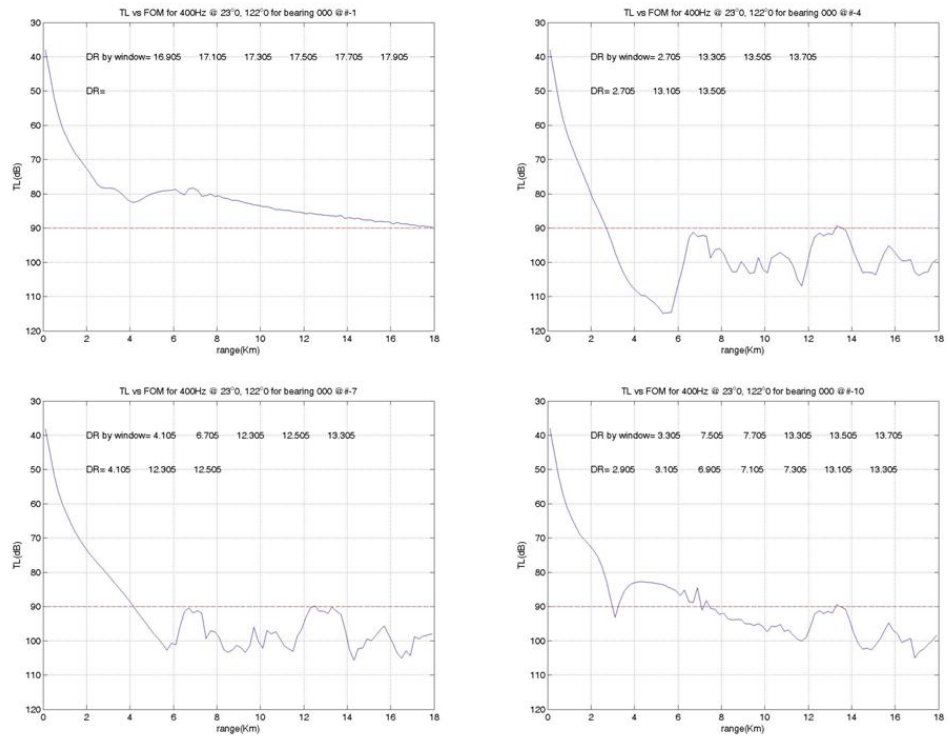


圖 20 東部海域點位 180 方位不同季節的 FOM 及 TL 曲線圖

在前面西南海域計算時，圖 14 偵測距離計算有關冬季的部份，因為層次深度的作用，造成音傳損耗較低，使得 TL 曲線與 FOM 已達最大計算距離仍未交會，也就是偵測距離超過最大計算距離 18 公里，造成程式誤判為偵測距離極近，參考圖 15。經增加最大計算距離為 30 公里，並重新計算後，如圖 21 左圖所示，其偵測距離為 25 公里左右，不同方位之偵測距離如圖 21 右圖所示，均在 25~30 公里間。

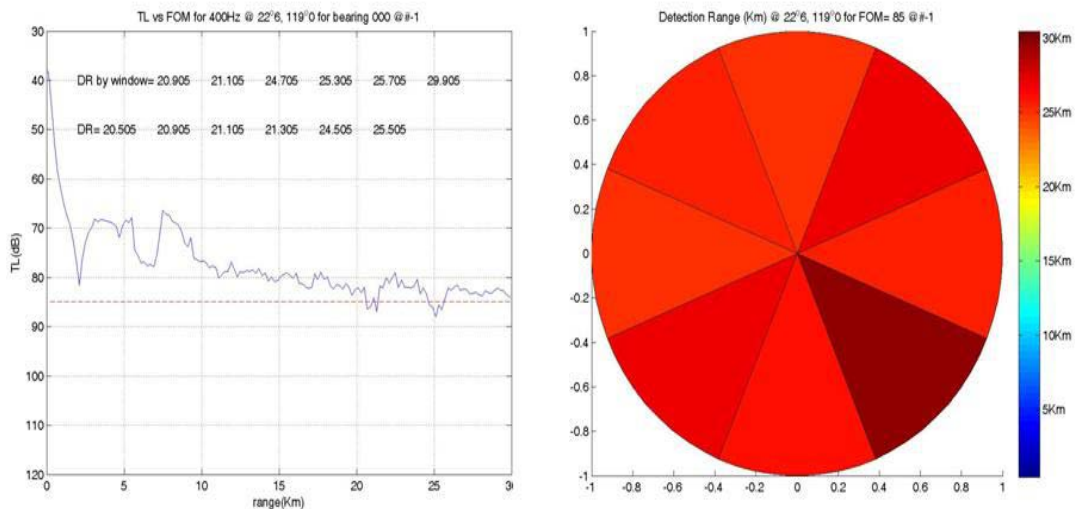


圖 21 西南點位之冬季資料重新計算（增加最大計算距離為 30 公里）

此外，在東部海域由於海域寬廣，在冬季如有適當的水文條件（有共軛深度），將會有匯音區的產生，以下利用「水下偵測動態顯示計算模組」模擬東部海域匯音區的結果。設定計算位置為北緯 $23^{\circ}12'$ ，東經 $124^{\circ}12'$ ，聲速剖面為 GDEM 一月份資料，最大計算距離為 100 公里，如圖 22 所示為方位 090（東方）的計算結果，左圖為 FOM 與 TL 取線圖，可以清楚顯示在 60~70 公里間有匯音區的產生，右圖的音傳損耗剖面圖亦清楚呈現會音區的生成。所以，「水下偵測動態顯示計算模組」在複雜海域的水文狀況下，提供使用者一個方便且操作簡單的計算模組，進行各種水下偵測效能的計算。

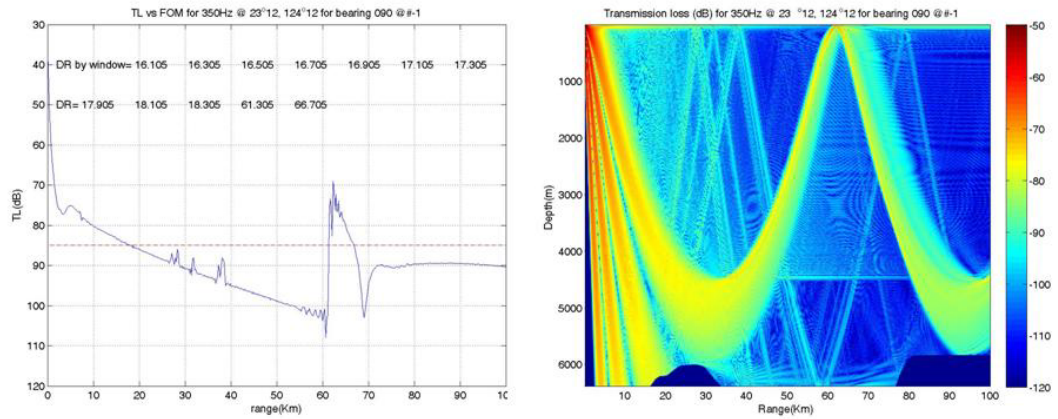


圖 22 東部海域匯音區之計算範例

二、最佳化快速環境評估 AREA 模擬

為瞭解最佳快速環境評估 (Adaptive Rapid Environmental Assessment, AREA) 運作方式，本計畫採用林勝豐博士 TCONF S 模式輸出結果進行模擬，TCONF S 模式可以獲得每一小時的海水溫度變化，本計畫設定範圍在東北海域緯度 25~26 度，經度 122~123.5 度，時間為 2008 年 8 月 30 日至 9 月 1 日(以 GMT 時間為準)，並以此範圍及時間設定為預定的反潛操演區。

依據傳統作法僅能統計該區域所有時段的歷史觀測資料，加以平均後，作為該操演區的水文預報，如圖 23 是 TCONF S 模式 2008 年 8 月 30 日 24 小時變化的平均值，用以模擬操演區歷史平均值的資料。但是一天之內海水溫度變動受各種因素影響，會有不同程度變化，實際在操演時，海水溫度與平均的歷史溫度一定有若干差異，如圖 24 是 TCONF S 模式於 2008 年 8 月 30 日 0800 時的模擬結果，可以視為操演當時的水文狀況。由圖 23 與圖 24 比較可知，在部份區域仍有溫度差異存在，也說明了水文環境是時時變動的。

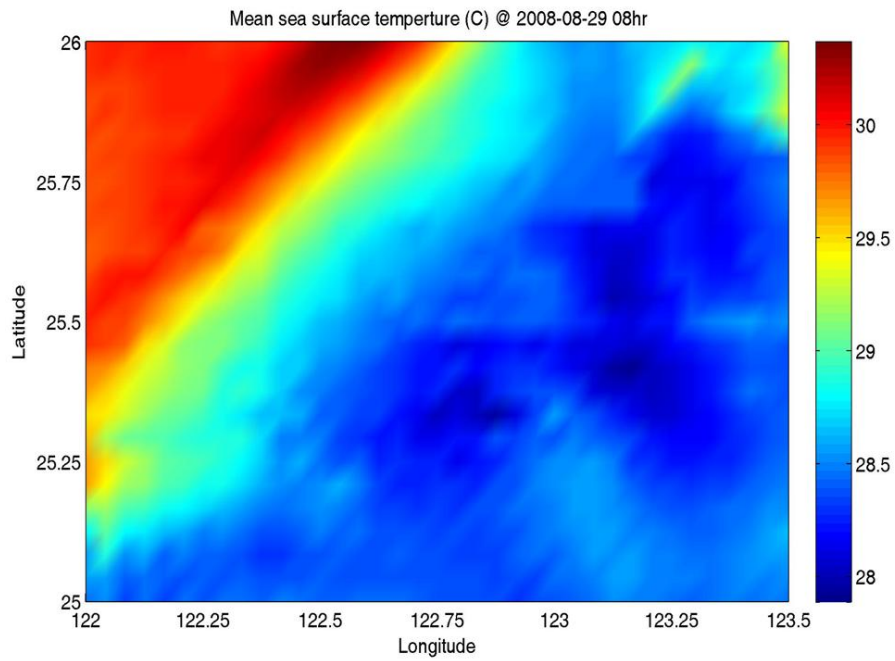


圖 23 模擬操演區歷史平均值

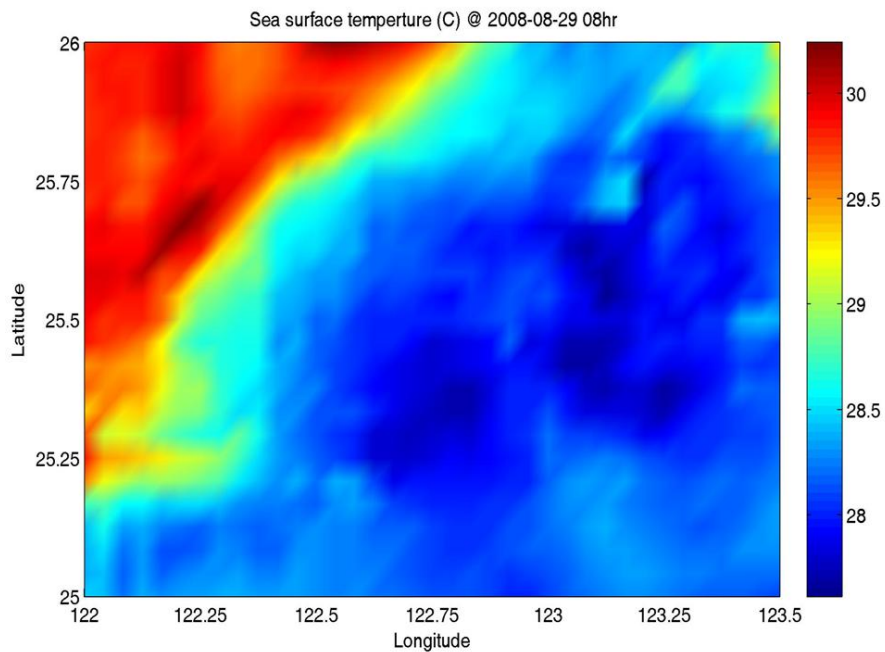


圖 24 模擬操演當時的水文狀況

為了進一步獲得海水溫度變動性資料，圖 25 為上述操演區域 24 小時的海水表面溫度標準差變化，由圖中可知在北棉花峽谷附近海域，受到地形變化影響，有較高的溫度變動，另外在大陸棚斜坡上，也有稍高的溫度變動。

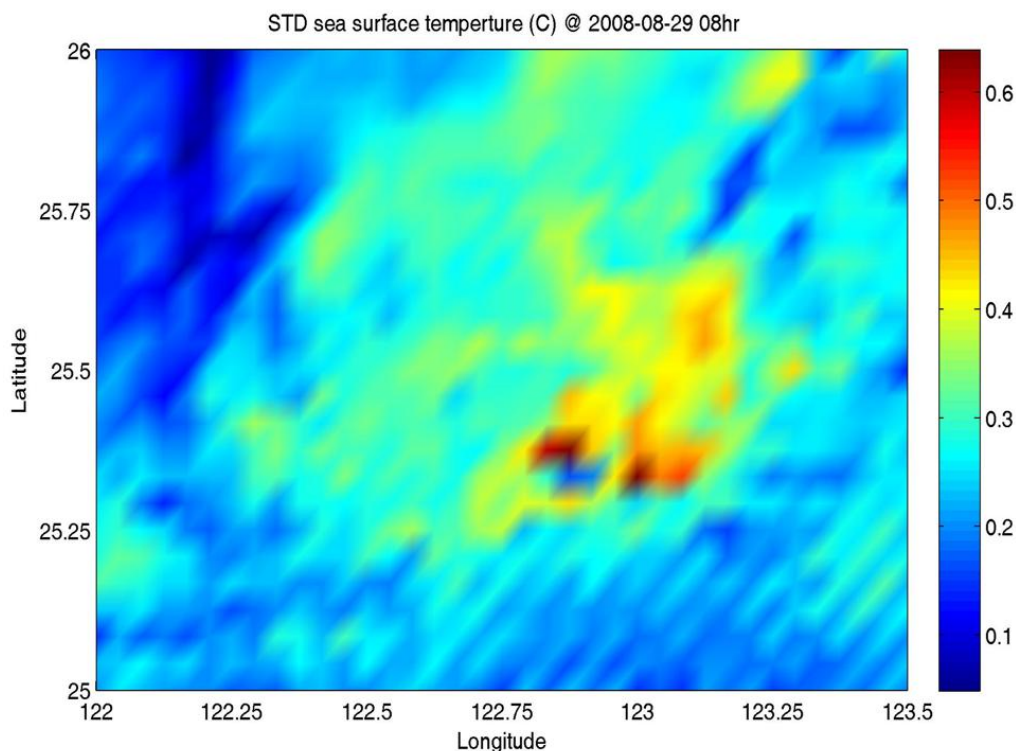


圖 25 操演區域 24 小時的海水表面溫度標準差變化

雖然海水溫度變化會影響水下偵測效能，但是影響程度為何？是否還有其它環境因素影響？

依據 TCONFNS 模式輸出資料，利用本年度所開發的水下偵測效能整合計算模組，進行上述操演區的水下偵測效能計算，圖 26 是依據 TCONFNS 模式 8 月 30 日 0800 時的輸出，經整合模組計算後所獲的操演區在 20 公尺的音傳損耗(以 400Hz 音源、水深 20 公尺處發射，於 000 方位 18000 公尺外之音傳損耗)，配合圖 27 操演區海底地形圖分析可知，大陸棚因水深較淺，音傳損耗較低，操演區右下方因水深較深，音傳損耗較高。值得注意的是，在大陸棚斜坡區域，有更高的音傳損耗。進一步依據 TCONFNS 模式 24 小時結果，計算 24 小時之音傳損耗後，圖 28 為 24 小時之音傳損耗標準差，與圖 25 溫度變動標準差比對後，在溫度變動性最高的區域，並未發現有較高的音傳損耗；再與圖 27 海底地形圖比對後可以發現，在大陸棚斜坡區域，有較高的音傳損耗變動。

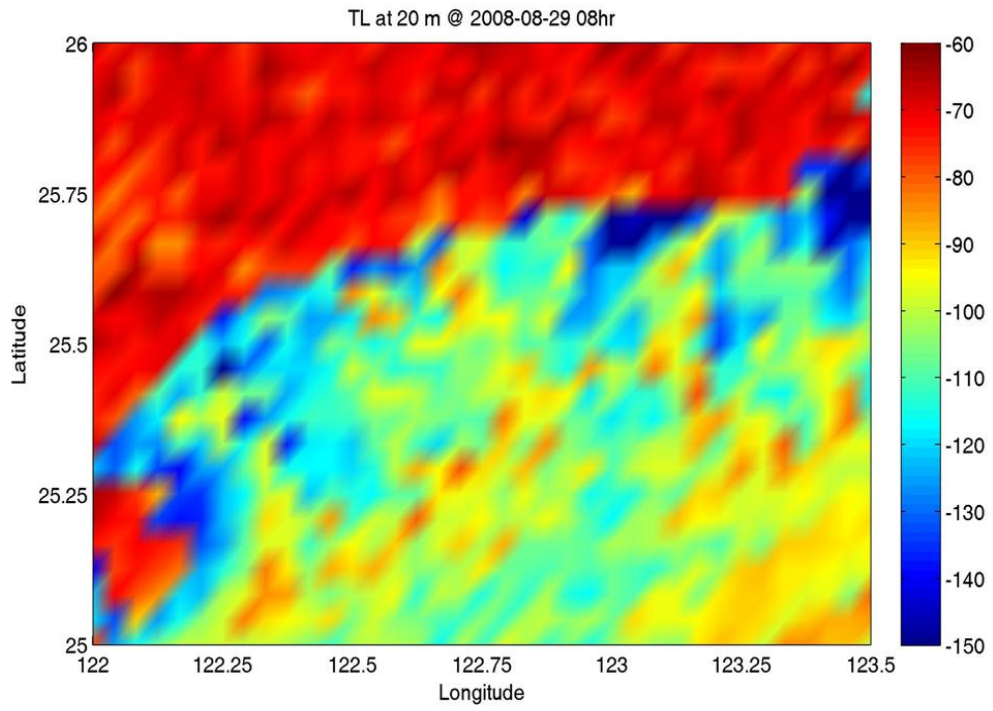


圖 26 操演區在 20 公尺的音傳損耗圖

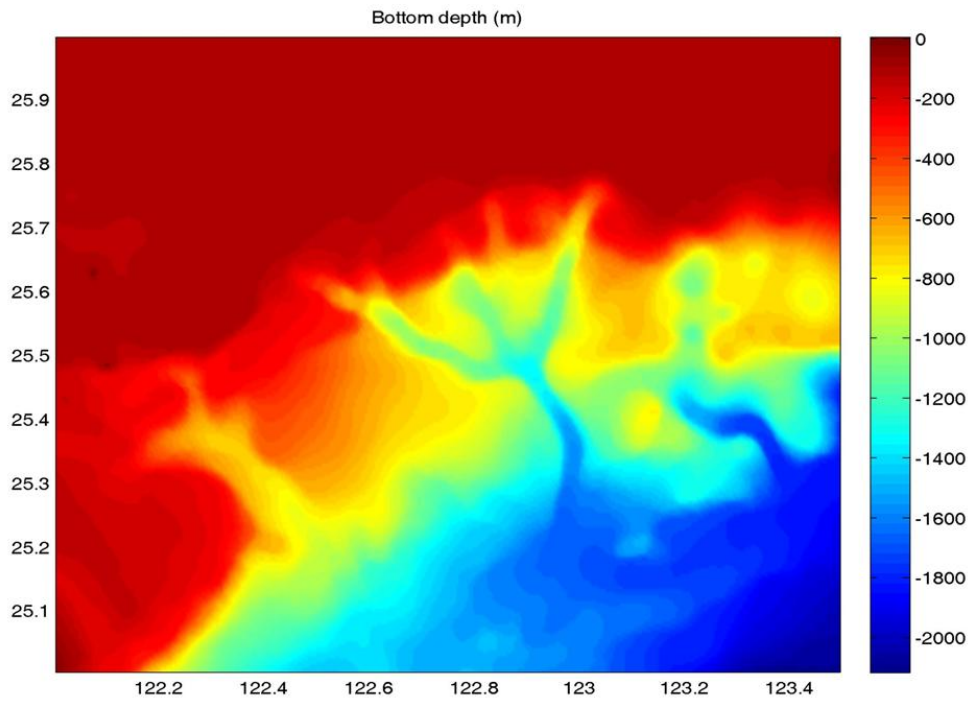


圖 27 操演區海底地形圖

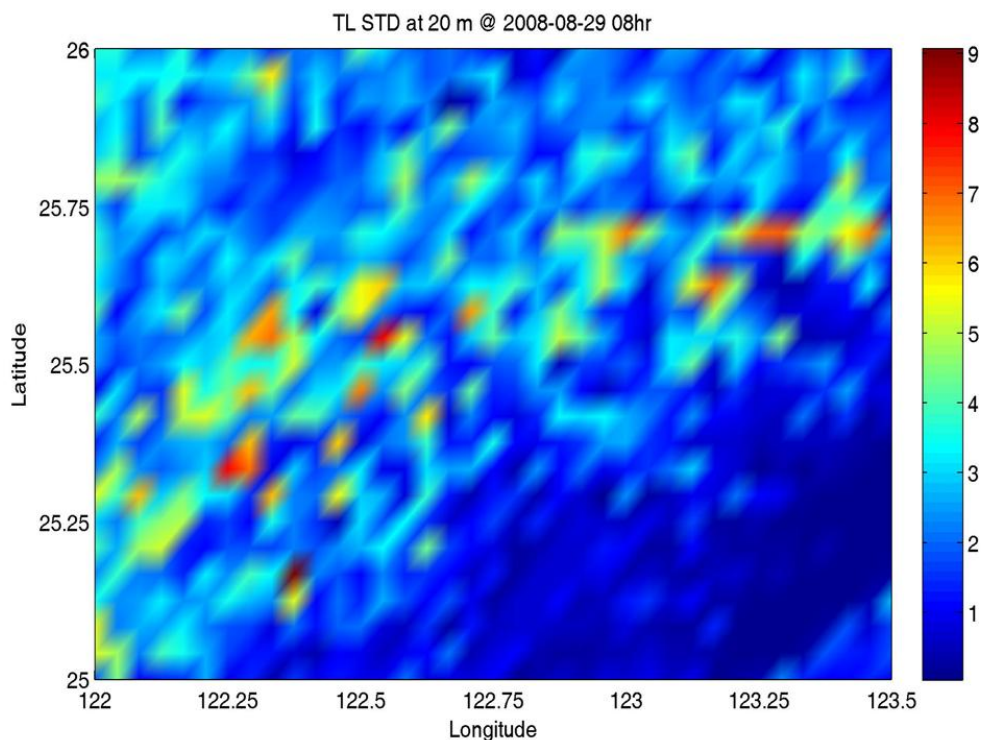


圖 28 操演區 24 小時之音傳損耗標準差

所以利用整合計算模組分析後，可以瞭解海水溫度變化雖然會影響水下的偵測效能，但是它的變動性並不會造成水下偵測效能劇烈變動，反觀海底地形的變化，不僅影響海流運動，造成海水溫度的變動，也會影響水下聲波的傳遞路徑，造成較大的偵測效能變化。

完成上述的整合計算後，在 AREA 運用上，參考圖 1 AREA 運作概念圖，在設定操演區進行反潛操演前，為了掌握操演區水下偵測效能的最新變動狀況，並有效運用寶貴的海洋探測艦資源，應先運用海洋數值模式（例如 TCONFSS 模式）進行操演區海洋環境及水下偵測效能的變動性計算，優先針對水下偵測效能（音傳損耗）變動大的區域，派遣海洋探測艦進行快速的海洋環境實測資料蒐集後，例如上述大陸棚斜坡區，將最新的海洋環境資料回饋至 TCONFSS 模式中，以重新計算操演區最新的海洋環境預測資料，並配合整合計算模組，更新水下偵測效能變動性的資料，以獲得最新且可靠的水下偵測效能值，以及相關可信區間的資料，提供艦隊於反潛操演時，掌握操演區最新的水下偵測效能，以提昇聲納裝備的運用效益，強化反潛偵測的戰力。

伍、討論與結語

一、討論

要掌握聲納的水下偵測效能，必須運用聲學模式進行水下聲波音傳損耗的解算，而聲學模式的輸入則依據解算海域的水文狀況設定正確的海洋環境參數。ASORPS 在海軍多年支持與驗證下，已經提供聲納操作手及反潛部門軍官一個操作方便且精確的聲納效能計算工具。為了發揮進一步 ASORPS 的運用效益，本計畫依據 ASORPS 計算核心，參考作戰計畫與訓練規劃單位之需求，開發簡單操作介面，但具有多樣化輸出結果，且具有動畫顯示之「水下偵測動態顯示計算模組」，提供使用者一方便但實用的計算工具，以滿足海軍對於水下偵測效能動態顯示的需求。

此外，由於即時的海況資料常常無法獲得，故海洋數值模式已被普遍應用在海洋環境動態變化的預測上。惟就實際之作業流程上來看，從蒐集海域現場及遙測資料、運用海洋數值模式預測作戰海域的水文狀況，並將相關參數輸入聲學模式中進行水下聲波路徑的計算，以掌握聲納的偵測距離的流程中，其相關子模式海軍均已建立，但就實際作業而言，作戰支援首重快速正確，從上述流程的資料蒐集經不同模式計算，到設定相關作戰參數，其間不同的計算模式涉及了氣象、海洋及聲學等相關專業領域，在各個模式的操作上仍必須掌握各個環境參數之統計特性始能進行正確設定。故要將現行已發展的海洋與聲學模式研究成果實際應用於作戰支援上，歐盟及美軍已發展出「最佳快速環境評估 (Adaptive Rapid Environmental Assessment, AREA)」的觀念，運用整合現有各種資料來源，並建立海洋模式與聲學模式整合的一貫化數值流程後，可以快速進行操演區或是預想海域的水下偵測效能評估，針對水下偵測效能高度變動區域，利用海洋探測兵力獲得最新環境實測資料後，將其融入海洋數值模式計算條件中，以利海洋模式獲得最接近操演區水文狀況的預測值，降低水下偵測效能預估不確定性，提供反潛兵力最佳的聲納效能計算。本計畫亦已完成 AREA 評估所需的海洋數值模式與聲學模式整合計算的相關流程。

二、結語

在複雜的水文環境下，如何掌握水下偵測效能動態的變化特性，是海軍反潛作戰與訓練單位在進行作戰計畫擬定及作戰準則時制訂時，非常重要的參考依據。本計畫延續 ASORPS 的良好成果，開發「水下偵測動態顯示計算模組」，並引進歐盟及美軍新的「最佳快速環境評估 (Adaptive Rapid Environmental Assessment, AREA)」的觀念，以實際計算範例，說明相關運用觀念。簡單來說，本計畫已達成原規劃的預期目標，相關的具體成果如下：

- 一、完成適用複雜海域環境之水下偵測的計算模組，可以提供聲速剖面音傳損耗聲納偵測距離等圖形化計算結果，並因應複雜海域變動性大的特性，可同步輸出隨時間變化的動畫顯示，提供水下偵測在誤差傳遞模式之研究與可靠度分析運用。
- 二、建立海洋數值模式與聲學模式間之整合計算模組，將水文變化與水下偵測效能關連，提昇海軍單位進行水下偵測效能之評估效率。
- 三、透過本案研究引進之「最佳快速環境評估 (Adaptive Rapid Environmental Assessment, AREA)」的觀念，建立操演海域水下偵測效能之誤差變動觀念，協助海軍在反潛作戰運用時，以利用有限之兵力，針對誤差變動較大區域加強進行偵測，有效提升海軍用兵效益。

參考文獻

- 林勝豐，TCONFS 模式，<http://140.96.175.53/OceanWeb/index.aspx>
- 苑梅俊，張元櫻，陳琪芳（民94年），「南海海域海洋環境與聲納偵測距離特性分析」，*海軍軍官季刊*，第24卷第4期，頁22-28。
- 苑梅俊，唐德誠（民95年），「台灣周邊海洋作戰環境分析」，*海軍學術月刊*，第四十卷第五期，頁69-80。
- 苑梅俊，陳琪芳，王崇武及海洋聲學研究團隊（民97年），「海洋音響參數之量測、分析及應用」，*海洋及水下科技（季刊）*，第18卷第2期，頁17-26
- 唐存勇（民90年），「簡介亞洲海域國際水中聲學實驗」，*自然科學簡訊*，第13卷第1期，頁18-20.
- 莊文思、劉康克和陳佩芬（民84年），「黑潮大型計畫—整合性海洋科學研究的開端」，*科學發展月刊*，第23卷第9期，頁845-850。
- 陳琪芳，王崇武（民95年），「海洋聲學整合計畫—海洋音響參數之量測分析及應用(I)」，*國科會國防科技研究計畫成果報告*，NSC95-2623-7-002-020。
- 謝力文，（民95年），「先進聲納偵測距離預測系統（Advanced Sonar Range Prediction System, ASORPS）使用手冊」，台灣大學水下聲學實驗室。
- Eickstedt, D.P., (2006) "Adaptive Sampling in Autonomous Marine Sensor Networks", *Ph.D. dissertation, Massachusetts Institute of Technology*.
- Eickstedt, D.P., Benjamin, M.R., Wang, D., Curcio, J., Schmidt, H., (April 2007) "Behavior Based Adaptive Control for Autonomous Oceanographic Sampling", in *Proc. 2007 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, Rome, Italy, pp. 4245-4250.
- Hsieh, L.W., Chen, C.F., Yuan, M.C. and Ling, Y.T. (2007), "Azimuthal Limitation in 3D PE Approximation for Underwater Acoustic Propagation", *Journal of Computational Acoustics(SCI)*
- Schmidt, H. (2002) "AREA: Adaptive Rapid Environment Assessment (Invited paper)". Impact of Littoral Environmental Variability on Acoustic Predictions and Sonar Performance, *Kluwer Academic Publishers*, pp.587-594..
- Schmidt, H. and Edwards, J. Eickstedt, D., Liu, T.C. and Montinari, M. (, September 2005) "Integrated, Autonomous Sonar Concept for Concurrent Detection, Classification and Localization in Littoral MCM," *Boundary Influences in High Frequency, Shallow Water Acoustics*, Bath, UK.
- Wang, C. W., Yuan, M. C., Yang, C. R., Chang, Y. Y., and Chen, C. F. (2006), "Statistical Analysis of Sonar Performance Prediction in Littoral Environments," *Journal of Mechanics*.

Wang, D., Schmidt, H., (Sep 2004) "Adaptive Sampling in Ocean Environment for Sonar Performance Prediction", *Dynamic positioning & Marine Technology Society Symposium*.

Wang, D., Schmidt, H. (May 2005), "Adaptive Rapid Environmental Assessment and Simulation Framework", *149th Meeting Acoustical Society of America*, Vancouver, Canada,.

Wang, D., Lermusiaux, P. F. J., Haley, P. J., Leslie, W. G. and Schmidt H. (September 18-21, 2006), "Adaptive Acoustical-Environmental Assessment for the Focused Acoustic Field-05 At-sea Exercise", *Proceedings of IEEE/MTS Oceans' 06 Conference*, Boston, MA,.

Wang, D., P.F.J. Lermusiaux, P.J. Haley, D.P. Eickstedt, W.G. Leslie, and H. Schmidt, 2009, "Acoustically Focused Adaptive Sampling and On-board Routing for Marine Rapid Environmental Assessment", *J. Marine Systems*, 78(S1), S393-S407

Yilmaz, N. K., Evangelinos, C., Patrikalakis, N. M., Lermusiaux, P. F. J., Haley, P. J., Leslie, W. G., Robinson, A. R., Wang, D. and Schmidt H, (September 18-21, 2006) " Path Planning Methods for Adaptive Sampling of Environmental and Acoustical Ocean Fields", *Proceedings of IEEE/MTS Oceans' 06 Conference*, Boston, MA,

附錄一：TCONFS 海洋流場模式簡介

工研院林勝豐博士提供

一、TCONFS 流場模式理論

1. 模式特性

本海流數值模式是使用美國普林斯頓大學(Blumberg and Mellor, 1987)所發展的三維海洋模式(Princeton Ocean Model, 以下簡稱POM)。POM模式控制方程式在Hydrostatic Approximation與Boussinesq Approximation假設下，包含為連續方程式；三維動量方程式；狀態方程式；溫度、鹽度、動能、動能運動尺度等守恆方程式。可解出3個流速分量(u, v, w)、溫度(T)、鹽度(S)、水面高度(η)、密度(ρ)、Turbulence之動能(q^2)與其運度尺度(Macroscale)(l)等變數。POM模式以Turbulent Closure Submodel (Mellor and Yamada, 1982)提供較合理的Ekman垂直邊界層。

對於求解動量方程式之方法使用模組切割方法(mode-splitting method)包含了兩個部分，第一部分為採用顯式(explicit)法求解海面水位變化及深度平均物理量之外部模式(external mode)；另一部分則以隱式(implicit)法求解三維速度場之內部模式(internal mode)。

2. 控制方程式

POM的控制方程式可分為執行三維流場模擬的三維控制方程式和二維深度平均之流場模擬的二維控制方程式，其控制方程式分別如下：

(1) 三維控制方程式

$$\frac{\partial DU}{\partial x} + \frac{\partial DV}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial U D}{\partial t} + \frac{\partial U^2 D}{\partial x} + \frac{\partial U V D}{\partial y} + \frac{\partial U \omega}{\partial \sigma} - f V D + g D \frac{\partial \eta}{\partial x} \\ & + \frac{g D^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^0 \left[\frac{\partial \rho'}{\partial x} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right] + F_x \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial V D}{\partial t} + \frac{\partial U V D}{\partial x} + \frac{\partial V^2 D}{\partial y} + \frac{\partial V \omega}{\partial \sigma} + f U D + g D \frac{\partial \eta}{\partial y}$$

$$+\frac{gD^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^0 \left[\frac{\partial \rho'}{\partial y} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial y} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right] + F_y \quad (3)$$

$$W = \omega + U \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial x} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) + V \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) + \sigma \frac{\partial D}{\partial t} + \frac{\partial \eta}{\partial t} \quad (4)$$

$$\frac{\partial TD}{\partial t} + \frac{\partial TUD}{\partial x} + \frac{\partial TVD}{\partial y} + \frac{\partial T\omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial T}{\partial \sigma} \right] + F_T - \frac{\partial R}{\partial \sigma} \quad (5)$$

$$\frac{\partial SD}{\partial t} + \frac{\partial SUD}{\partial x} + \frac{\partial SVD}{\partial y} + \frac{\partial S\omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right] + F_S \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2 D}{\partial t} + \frac{\partial Uq^2 D}{\partial x} + \frac{\partial Vq^2 D}{\partial y} + \frac{\partial \omega q^2}{\partial \sigma} &= \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_q}{D} \frac{\partial q^2}{\partial \sigma} \right] \\ + \frac{2K_M}{D} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)^2 \right] + \frac{2g}{\rho_0} K_H \frac{\partial \tilde{\rho}}{\partial \sigma} - \frac{2Dq^3}{B_1 l} + F_q & \quad (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2 l D}{\partial t} + \frac{\partial Uq^2 l D}{\partial x} + \frac{\partial Vq^2 l D}{\partial y} + \frac{\partial \omega q^2 l}{\partial \sigma} &= \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_q}{D} \frac{\partial q^2 l}{\partial \sigma} \right] \\ + E_1 l \left(\frac{K_M}{D} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)^2 \right] + E_3 \frac{g}{\rho_0} K_H \frac{\partial \tilde{\rho}}{\partial \sigma} \right) \tilde{W} - \frac{Dq^3}{B_1} + F_l & \quad (8) \end{aligned}$$

其中

$$F_x \equiv \frac{\partial}{\partial x} (H\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (H\tau_{xy}), \quad F_y \equiv \frac{\partial}{\partial x} (H\tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y} (H\tau_{yy})$$

$$\tau_{xx} = 2A_M \frac{\partial U}{\partial x}, \quad \tau_{xy} = \tau_{yx} = A_M \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right), \quad \tau_{yy} = 2A_M \frac{\partial V}{\partial y}$$

$$F_\phi \equiv \frac{\partial}{\partial x} (Hq_x) + \frac{\partial}{\partial y} (Hq_y)$$

$$q_x \equiv A_H \frac{\partial \phi}{\partial x}, \quad q_y \equiv A_H \frac{\partial \phi}{\partial y}, \quad \phi = T, S, q^2, q^2 l$$

$$\tilde{W} = 1 + E_2 \left(\frac{l}{kL} \right), \quad L^{-1} = (\eta - z)^{-1} + (H - z)^{-1}$$

$$\frac{\partial \tilde{\rho}}{\partial \sigma} \equiv \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} - C_s^{-2} \frac{\partial p}{\partial \sigma}$$

(2) 二維模式控制方程式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U} D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{V} D}{\partial y} = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial \bar{U}D}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}^2 D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{U}V D}{\partial y} - f \bar{V} D = -gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + A_M D \left(\frac{\partial^2 \bar{U}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{U}}{\partial y^2} \right) + \tau_{sx} - \tau_{bx}$$

(10)

$$\frac{\partial \bar{V}D}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}V D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{V}^2 D}{\partial y} - f \bar{U} D = -gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + A_M D \left(\frac{\partial^2 \bar{V}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{V}}{\partial y^2} \right) + \tau_{sy} - \tau_{by}$$

(11)

其中

$$\bar{U} \equiv \frac{1}{D} \int_{-H}^{\eta} U dz, \quad \bar{V} \equiv \frac{1}{D} \int_{-H}^{\eta} V dz, \quad \text{為深度平均之水平方向流速分量；}$$

(τ_{sx}, τ_{sy}) 為海面風應力；

$(\tau_{bx}, \tau_{by}) = C_z (U^2 + V^2)^{1/2} (U, V)$ 為海床摩擦應力， $C_z = \text{Max} \{ \kappa^2 / [\ln((1 + \sigma \kappa b - 1)H/z_0)]^2, 0.0025 \}$ 為摩擦係數， $\kappa = 0.4$ ， $(1 + \sigma \kappa b - 1)H$ 為海床垂直向上一層的模式深度；

$A_M = C \Delta x \Delta y [(\partial u / \partial x)^2 + (\partial v / \partial x + \partial u / \partial y)^2 / 2 + (\partial v / \partial y)^2]^{1/2}$ 水平方向的渦流黏滯係數 (AM) 採 Smagorinsky Formula 和 Prandtl Number 決定以速度水平梯度推算；垂直方向的渦流黏滯係數 (KM) 由 Mellor and Yamada (1982) 之 Turbulence Closure Submodel 提供。

二、流場模式建置

1. 網格配置

台灣周遭海域流場數值模式範圍涵蓋 117~125°E，18~27°N (如圖 1-1)。模式之水平網格間距為 $1/24^\circ \times 1/24^\circ$ (約 4.5km)，水平網格數共 41,881 個，其中在水域中的網格為 35,405 個。垂直座標採用 σ 座標軸， $\sigma = (z - \eta) / (H + \eta)$ ，共分為 31 層 (如圖 1-2)，其中 η 為自由海面高度， H 為海床深度。當 $\sigma = 0$ 為自由海面，而 $\sigma = -1$ 則為海床。藉由採用 σ 垂直座標軸系統，維持海床陡劇變化區的垂直網格層數。另外在海表層與海床處均增加層數密度，以適當解析邊界層的作用影響。

2. 模式水深

臺灣周遭海域流場數值模式所使用的水深資料，主要取自於國科會海洋學

門水深資料庫(TaiDBMv6)，部分近岸地區的水深資料則根據海軍大氣海洋局近幾年的探測成果而略有編修。本研究根據上述兩項水深資料來源進行水深網格化工作，製作出網格 $1/24^\circ \times 1/24^\circ$ 的模式水深網格資料。模式水域網格中最淺的海床水深設定為5 m，最深水深設定為5500 m。

3. 穩定條件

在二維水深積分模式(外部模式)中的計算時距是根據Courant-Friedrichs-Levy (CFL)計算穩定條件而定，

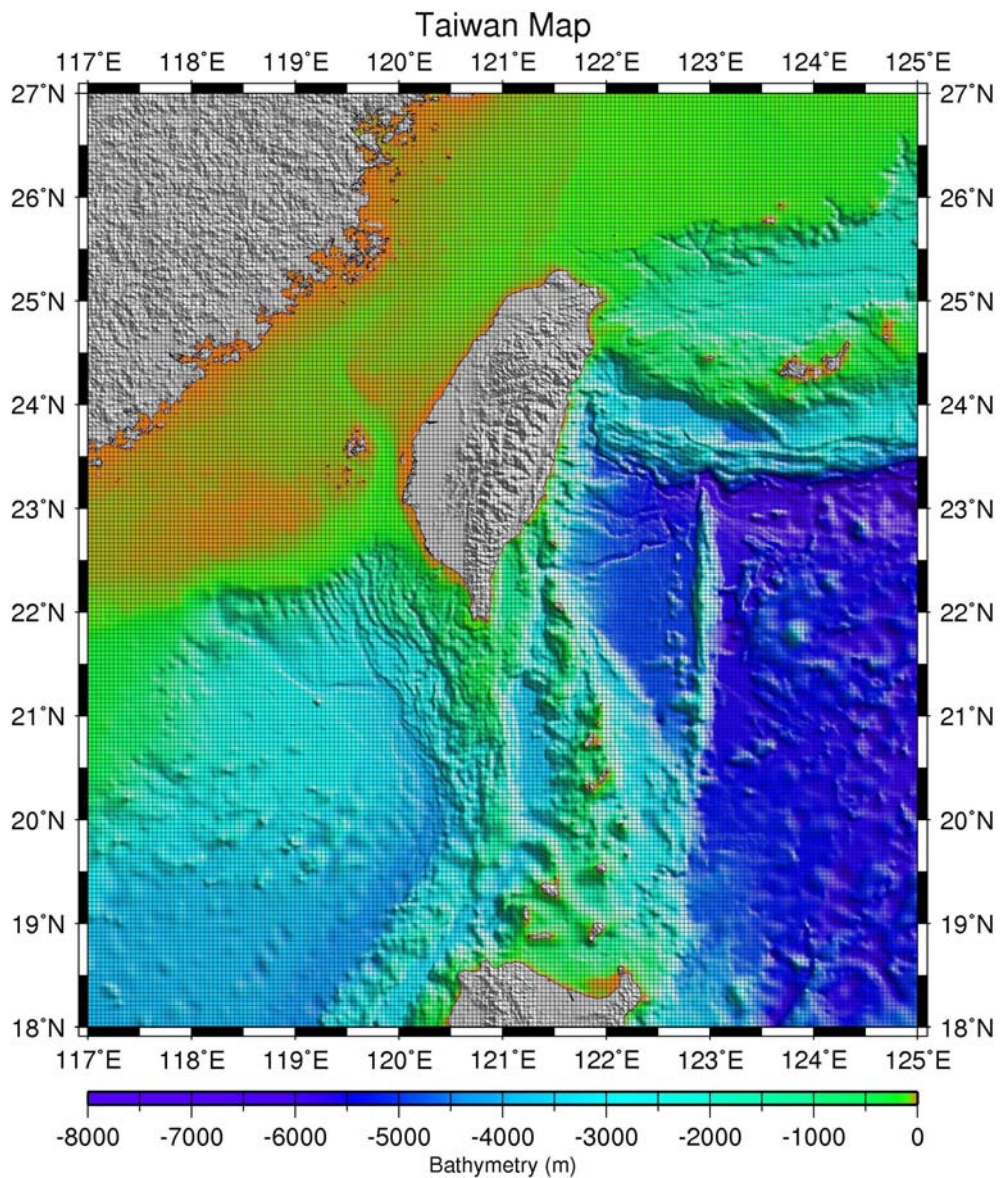


圖 1-1 台灣周遭海域流場數值模式範圍

$$\Delta t_E \leq \frac{1}{C_i} \left| \frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right|^{-1/2} \quad (12)$$

$$C_i = 2(gH)^{1/2} + U_{\max} \quad (13)$$

其中Umax是可預期之最大流速。在三維計算模式(內部模式)中的計算時距則採類似的穩定條件，

$$\Delta t_i \leq \frac{1}{C_T} \left| \frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right|^{-1/2} \quad (14)$$

$$C_T = 2c + U_{\max} \quad (15)$$

CT為最大內部重力波速，c表波速，Umax為最大傳導速度。在一般的情況下， $\Delta t_i / \Delta t_E$ 的比率約為30至80之間。

另外根據柯氏力項所需的穩定條件為(16)，其中 Ω 為地球旋轉角速度， ϕ 為模式網格所在的緯度。

$$\Delta t_c \leq \frac{1}{2\Omega \sin \phi} \quad (16)$$

根據上述條件與網格間距大小與水深資料，臺灣周遭海域流場數值模式的外部與內部模式之計算時間時距分別為3秒與1.5分鐘。

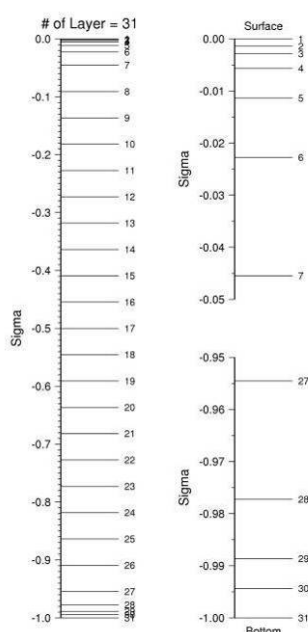


圖 1-2 流場數值模式之垂直分層示意圖

(左側為全部31層之垂直分佈，右上為上層分層之放大圖示，右下為底層分層之放大圖示。)

4. 大氣條件

流場數值模式所需要的海面大氣條件取自中央氣象局NFS (Non-hydrostatic Forecast System)的分析風場與大氣壓力。氣象局NFS模式每日於Universal Time (UT, 同格林威治時間GMT) 0時、6時、12時和18時提供每6小時的分析風場資料, 亦於每日UT 0時和12時提供接續72小時的每小時預報風場資料。NFS MC (網格間距15km), 範圍涵蓋109.77~137.73°E, 9.28~35.27°N。

5. 海洋條件

流場數值模式的水文初始場, 取用自美國海軍EASNFS (East Asian Sea Nowcast/Forecast System)大範圍海洋模式(Ko et al., 2009) 2003-2009年的長期模擬結果平均值。海洋開口邊界條件, 亦是使用EASNFS 2003年至2009年的模擬結果(二維水位、流量, 三維溫度、鹽度、流速)。由於EASNFS並未包含潮流和潮位的模擬, 因此台灣周遭海域流場數值模式為增加模擬潮汐的影響, 將於海洋開口邊界條件上線性疊加美國奧瑞岡州立大學(Egbert et al., 1994; Egbert and Erofeeva, 2002)全球潮汐模式(TPXO 7.1 tide model)之Mm、Mf、Q1、O1、P1、K1、N2、M2、S2、K2、M4等11個分潮調和分析值所合成的正壓潮潮位與潮流。

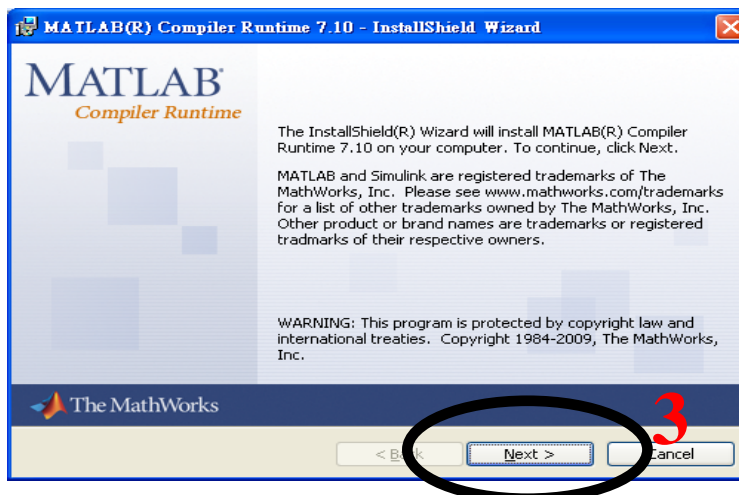
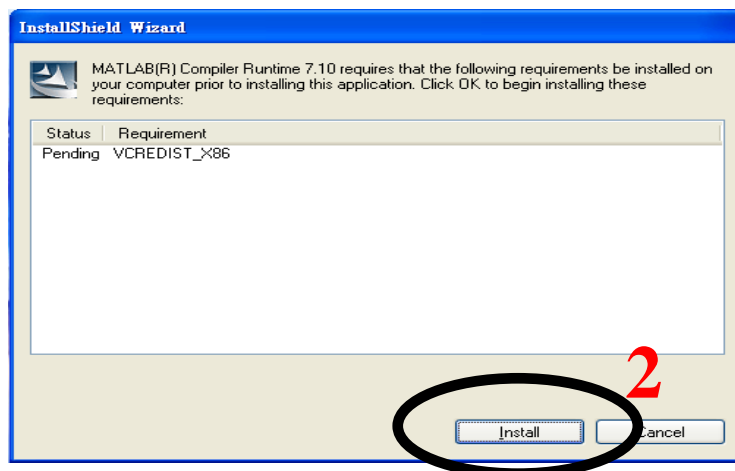
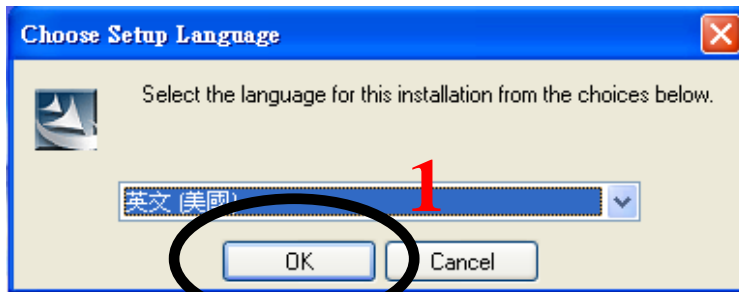
附錄二：「水下偵測動態顯示計算模組」安裝步驟

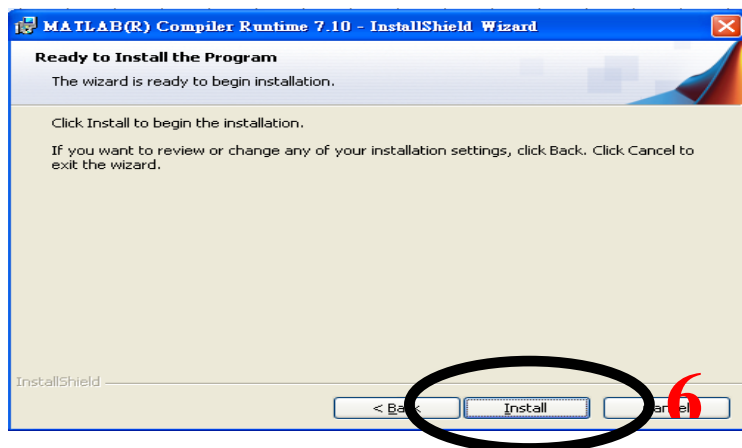
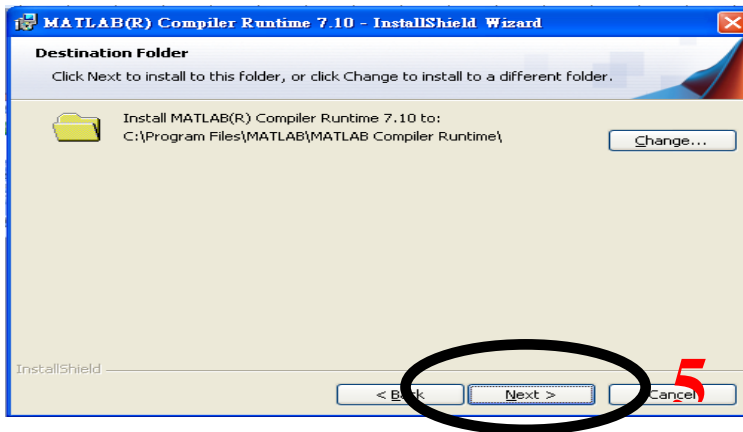
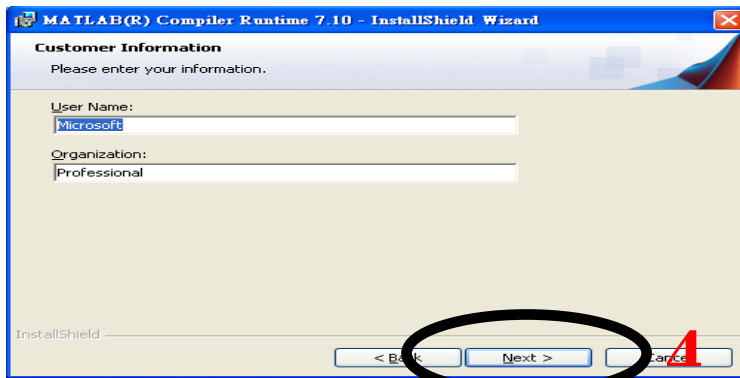
一、檔案確認

在「水下偵測動態顯示計算模組」目錄下會有『win32 目錄』及『990904.rar』壓縮檔等兩個檔案。

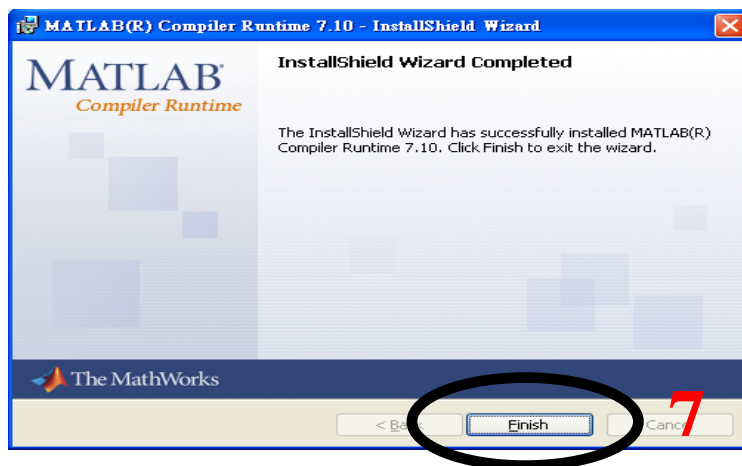
二、安裝 MATLAB 編譯模組

1. 開啟 win32 的檔案資料夾。
2. 點選 win32 檔案資料夾裡面的 MCRInstaller.exe 應用程式，去執行 MCRInstaller.exe。





此一步驟需要複製一些檔案，大約需要數分鐘的時間，請耐心稍候。



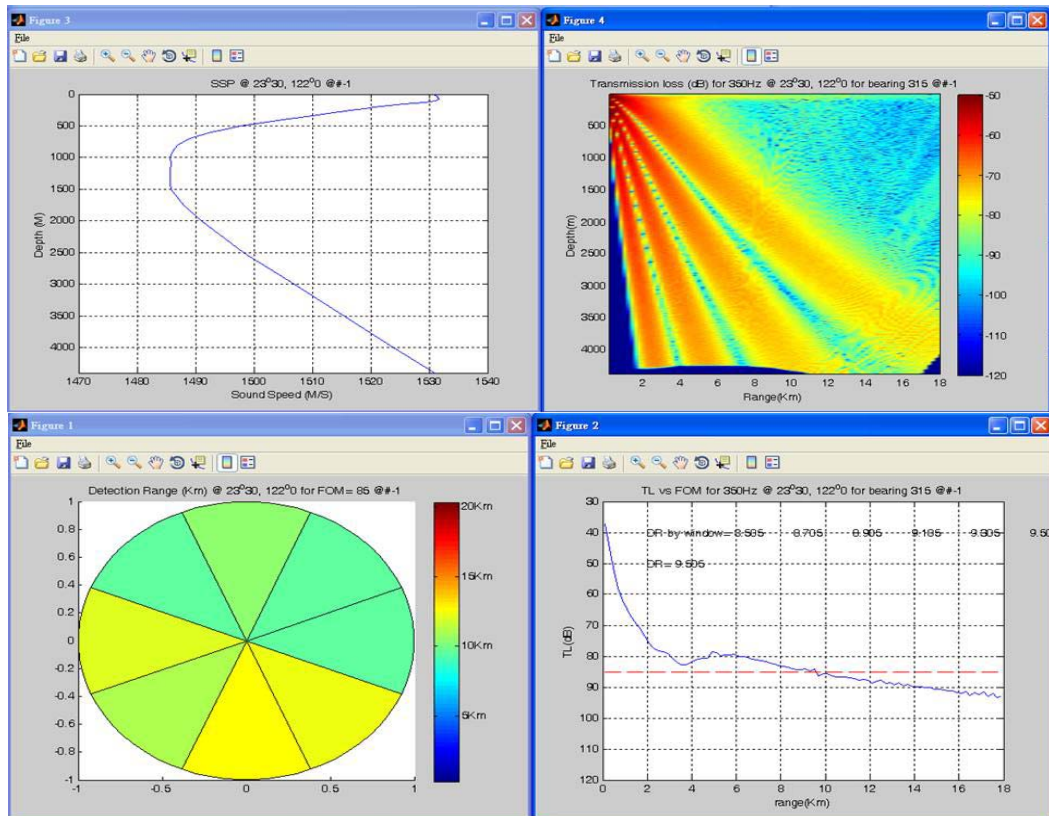
「水下偵測動態顯示計算模組」，安裝完成。

三、設定工作路徑（一定要設定在\work\990904下）

1. 在工作本機磁碟(例如：D 碟)新增目錄，檔案名稱為 work。
2. 將 990904.rar 解壓縮在\work\990904 的目錄下。

四、測試執行主程式 plot_avi

1. 在\work\990904 的目錄下，直接點選執行 plot_avi。
2. 檢視執行過程是否正常，將會依序出現 4 個圖形顯示視窗（如下圖）。因為採取 8 方位計算，其中 Figure4 及 Figure2 等兩個視窗將會計算 8 次：



6. 當出現 Elapsed time is xxx.xxx seconds. 時，就表示 plot_avi 主程式執行結果結束，測試結果正確，檔案安裝無誤，所有的輸出檔案也完成建檔，才可關閉圖形顯示。如下圖：

```
命令提示字元 - plot_avi
RAM1_5_3.exe      0041111C  Unknown          Unknown          Unknown
RAM1_5_3.exe      004087CE  Unknown          Unknown          Unknown
RAM1_5_3.exe      004010A5  Unknown          Unknown          Unknown
RAM1_5_3.exe      00454765  Unknown          Unknown          Unknown
RAM1_5_3.exe      00448425  Unknown          Unknown          Unknown
kernel32.dll      7C816FE7  Unknown          Unknown          Unknown
??? Error using ==> load
Unable to read file tl.ctr: No such file or directory.

Error in ==> plot_avi at 160

MATLAB: load:couldNotReadFile

D:\work\990904>plot_avi
Calculating month No.= 1
Elapsed time is 66.352395 seconds.
```

附錄三：「水下偵測動態顯示計算模組」簡介

一、前言：

由於濱海海域海洋環境複雜，水文環境多變，使得利用聲波為傳播介質的聲納，進行水下目標偵測時，常常受到多變的海洋環境影響，造成水下聲波的傳播路徑變化莫測，進而影響聲納的偵測效能。為提供使用者能快速瞭解海洋環境變動，對水下聲波路徑及聲納偵測距離變動的影響，特別開發本模組，期能透過操作簡單的視窗設定介面，快速掌握海洋環境及水下聲波路徑變動情形，以提供訓練規劃及作戰運用參考。

二、模組特點：

1. 僅需設定環境設定 (data.in) 及聲納參數 (sonar.in) 資料，即可自動自資料庫中截適當環境資料，產生海洋環境及水下聲波偵測效能圖形檔，以及變動的動畫檔。
2. 因應濱海地形複雜海洋環境的特性，每一計算點位，均進行 8 個不同方位的計算，以掌握不同方位的變化狀況。
3. 採用與 ASORPS 共通之環境資料庫，並使用開放格式，可自行更換更精準的環境資料庫。
4. 操作簡單，利用單一視窗介面 (Fom_cal.exe) 設定相關參數，即可產生聲速剖面音傳損失剖面及聲納偵測距離等隨時間變化的動畫檔。
5. 如果有大範圍之連續性計算，亦可利用命令提示字元的視窗下 (傳統 DOS 畫面)，直接執行本模組 (plot_avi.exe)。

三、操作要點：

1. 執行準備：將本模組 990904.rar 壓縮檔解壓縮至 “\work\990904\” 的目錄下，相關的執行程式、子程式、輸入檔範例、底質資料庫、GDEM 水文資料庫及水深資料庫均已包括在內。

2. 自 win32 目錄下安裝 MCRInstall.exe 程式，已內含在光碟內，操作步驟如附錄二。
3. 本模組的內部程式計算流程，如附件，以瞭解相關檔案關係。
4. 直接執行 Fom_cal.exe 即可開啟參數輸入視窗，輸入完成後按「存檔」、再按「計算」即可依所輸入的參數進行計算。
5. 如果不使用操作視窗，亦可以直接建立環境參數 data.in 及聲納參數 sonar.in 輸入檔，相關說明如下：
 - (1) 環境參數 data.in (只有一行，4 個參數，以逗號或是空格隔開)
緯度，經度，計算月份數，最大計算距離
例 25.25 122.25 8 18000，表示計算位置為 25°15' N 122°15' E，
計算 1 至 8 月份資料，最大計算距離 18 公里。
 - (2) 聲納參數 sonar.in (一行，9 個參數，以受號或是空格隔開)
例 400 7 7 10 20 220 2 6 0.040 95
表示聲納頻率 400Hz，垂直波束寬 $\pm 7^\circ$ ，以 7 條音線計算音傳路徑，音源深度 10 公尺，目標深度 20 公尺，音源強度 220dB，被動聲納型式 (1 為主動，2 為被動)，聲納直徑 6 公尺，脈波長度 0.040 秒，FOM 為 95dB。
 - (3) 開啟命令提示字元 (傳統 DOS 畫面) 的視窗下，到程式存放的磁碟 \work\990904 的子目錄下，執行本模組主程式 plot.avi 即可產生所需的聲速剖面、偵測距離、音傳損失剖面及 FOM 與 TL 曲線變動的動畫。

四、輸出檔案儲存路徑說明：

- (1) 聲速剖面 SSP 檔儲存於：\work\990904\jpgi\xxxxxxxxx_ssp.jpg
例如：jpg1\119002210.jpg 表示利用 1 月份 GDEM 資料，在點位東經 119.00 度、北緯 22.10 度的聲速剖面圖。
- (2) 偵測距離 DR 檔儲存於：\work\990904\jpgi\xxxxxxxxx.jpg

例如：jpg1\119002210.jpg 表示利用 1 月份 GDEM 資料，在點位東經 119.00 度、北緯 22.10 度，以不同顏色顯示的不同方位偵測距離圖。

(3) 音傳損耗 TL 剖面檔儲存於：

\work\990904\rami\xxxxxxxx\yyyt1.jpg

例如：ram1\119002210\090t1.jpg 表示利用 1 月份 GDEM 資料，配合 ram 聲學模式在點位東經 119.00 度、北緯 22.10 度 090 方位的音傳損耗剖面圖。

註：ram 為低頻適用模式，計算模組會自動判斷，1000Hz 以下採用低頻模式，1000Hz 以上採用 gbm 高頻適用模式，目錄名則為 gbml。

(4) 偵測距離計算之 FOM 與 TL 曲線檔儲存於：

\work\990904\rami\xxxxxxxx\yyy.jpg

例如：jpg1\119002210\090.jpg 表示利用 1 月份 GDEM 資料，在點位東經 119.00 度、北緯 22.10 度方位 090 的 FOM 與 TL 曲線交會圖，在複雜水文環境下，本檔案用以研判偵測距離及 FOM 設定是否正確。

五、動畫檔說明（儲存於\work\990904 目錄下）：

1. DR_12225_2525.avi 表示 東經 122°15' 北緯 25°15' N 點位，不同方位偵測距離隨時間的動態變化。
2. TL_12225_2525_xxx.avi 表示在同樣點位，不同方位的音傳損耗剖面隨時間的動態變化，xxx 表示方位，共有 000、045、090、135、180、225、270、315 等 8 個方位。
3. SSP_12225_2525.avi 表示在同樣點位的聲速剖面圖隨時間的動態變化。
4. FOM_12225_2525_xxx.avi 表示在同樣點位，不同方位的 FOM 與 TL 曲線圖交會隨時間的動態變化，xxx 表示方位，共有 000、045、090、135、180、225、270、315 等 8 個方位。

Plot_avi 不確定性動畫顯示模組

