

## 時變性海洋環境對峽谷區水下偵測效能之研究

方銀營<sup>1\*</sup> 劉家毓<sup>2</sup> 何俊華<sup>3</sup> 林文仁<sup>3</sup> 陳琪芳<sup>4</sup>

<sup>1</sup>國立中山科學研究院資訊通信研究所亢龍計畫系統工程組

<sup>2</sup>海軍造船發展中心構型資訊管理科

<sup>3</sup>海軍造船發展中心工程技術科

<sup>4</sup>國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系

### 摘 要

本研究探討在臺灣西南海域枋寮峽谷，時變性音傳損耗對水下偵測效能之影響。假定潛艦從 24 海浬領海外界線往 12 海浬及領海基線方向移動，探討以被動監聽系統偵測潛艦在潛望鏡深度與潛航深度下航行時之偵測距離差異及不同地形與時變性水文環境對聲納偵測效能之影響。模擬可知，底碇式被動監聽系統較水面式更易接收到水層活動中之潛艦音響信號；監聽距離因峽谷內地形限縮而受限、冬季監聽距離大於夏季，晚上比白天更容易偵測到敵方潛艦。

**關鍵詞：**音傳損耗，偵測機率，偵測距離，聲納效能指數

## Study of underwater detection performance in the canyon under time-varying marine environments

Yin-Ying Fang<sup>1\*</sup>, Chia-Yu Liu<sup>2</sup>, Chun-Wei Ho<sup>3</sup>, Wen-Jen Lin<sup>3</sup>, and Chi-Fang Chen<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Systems Engineering Section, Kang-Lung Project Office, Information and Communication Research Division, National Chung-Shan Institution of Science and Technology

<sup>2</sup> Configuration Information Management Section, Naval Shipbuilding Development Center

<sup>3</sup> Engineer and Technology Section, Naval Shipbuilding Development Center

<sup>4</sup> Department of Engineering Science and Ocean Engineering, National Taiwan University

### ABSTRACT

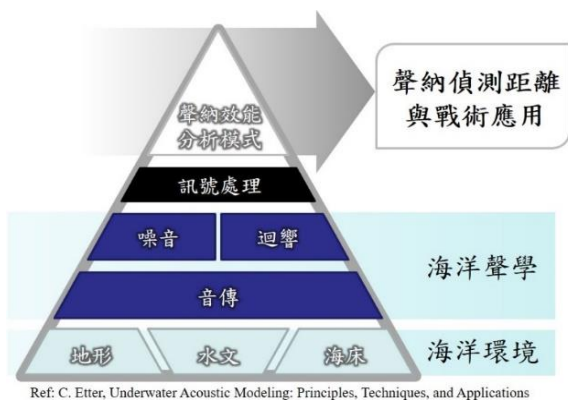
This study investigates the influence of the time-varying transmission loss on underwater detection performance in the Fangliao canyon, southwestern offshore Taiwan. We assume the submarine moves from 24 nautical miles to 12 nautical miles (territorial waters) and then to the baselines. Discuss the detection range differences that utilize the passive acoustic monitoring (PAM) system to detect the submarine at the periscope depth and submerged depth, and the detection performances under different bathymetry and time-varying hydrographic environment. Results show that a bottom-moored PAM system is better at receiving submarine signals than a mooring system, and the canyon's limited bathymetry affects the detection range. The time-varying hydrographic environment results in a more extended detection range in winter than summer, and at night than during the day.

**Keywords:** transmission loss, detection probability, detection range, figure of merit

文稿收件日期 111.07.04; 文稿修正後接受日期 112.00.00; \*通訊作者  
Manuscript received Jul 04, 2022; revised...; \* Corresponding author

## 一、前言

聲波在水中具低衰減及高穿透之特性，相較電磁波在水下傳幾十公尺，聲波更具長距離傳播優勢，若海水分層中出現聲速極小值，產生水下波導，甚可將聲波傳播至數十公里，故聲波廣泛被應用於水下通信等任務。從聲納效能預估金字塔，參考圖 1，可知影響水下聲音傳播距離的關鍵為海洋環境，包括海底地形(水深隨距離變化)、水文環境(聲速隨深度變化)、海床種類(底質吸收率、聲速、密度)；第二層為海洋聲學，包括水下音傳損耗模式、迴響位準或噪音位準，經聲納參數計算後進行效能分析，最後將偵測距離及偵測機率等資訊應用於戰術推演或實海域戰場上。



Ref: C. Etter, Underwater Acoustic Modeling: Principles, Techniques, and Applications

圖 1. 聲納效能預估金字塔(本圖節錄自[1])

## 二、研究目的與背景

南海海盆沿高屏峽谷至台灣海峽一帶為進出巴士海峽之重要水道，亦為潛艦活動海域。本研究選定西南海域之枋寮峽谷，比較從枋寮峽谷沿領海基線向外延伸至 24 海浬領海外界線，在不同地形變化下，探討因水文環境之時空變異，潛艦產生噪音傳遞至底碇式水聽器，所造成的偵測距離差異，以及比較潛艦在不同深度(潛望鏡深度及潛航深度)下航行之差異。

### 2.1 海床底質種類

由圖 2 西南海域之海洋環境沉積物分布圖中可知，枋寮峽谷皆為泥質海床，色調深淺代表不同底質類別，數字越小代表粒徑越大，顏色越深；泥底為白色，岩石為黑色。

### 2.2 海底地形起伏

臺灣南部海域為歐亞板塊隱沒到呂宋島弧下之南北走向海溝、海脊地形，參考圖 3 可觀察小琉球南方除高屏峽谷，有一系列海底火山、貝琢海脊、枋寮峽谷、枋寮海脊等。本研究之場景為枋寮峽谷，相較於高屏峽谷，其河道較寬敞且筆直，水深從大陸斜坡 50 公尺，一路經領海基線，再往外延伸 24 海浬時，已達 1200 公尺深。

### 2.3 水文環境變化

臺灣西南部海域一帶，多為平原、砂洲、淺灘、砂丘、陸棚及峽谷等地形，因地形複雜影響海流運動模式，西南海域受大陸沿岸流、黑潮支流及南海暖流三大水團影響[3]造成此區域的海溫、鹽度、潮流等水文特質相對多樣性，參考圖 4，春季時，黑潮支流在南海東北部發展成高壓型環流；夏季時，西部海域受南海暖流影響，使沿海潮濕且炎熱；冬季時，中國沿岸流南下，黑潮支流受東北季風牽引增強，冷暖水團在澎湖海域相遇，使臺灣海峽南北部表面海溫差異甚達  $5^{\circ}\text{C}$  以上，相較其二者，臺灣西南海域受黑潮支流影響較大。

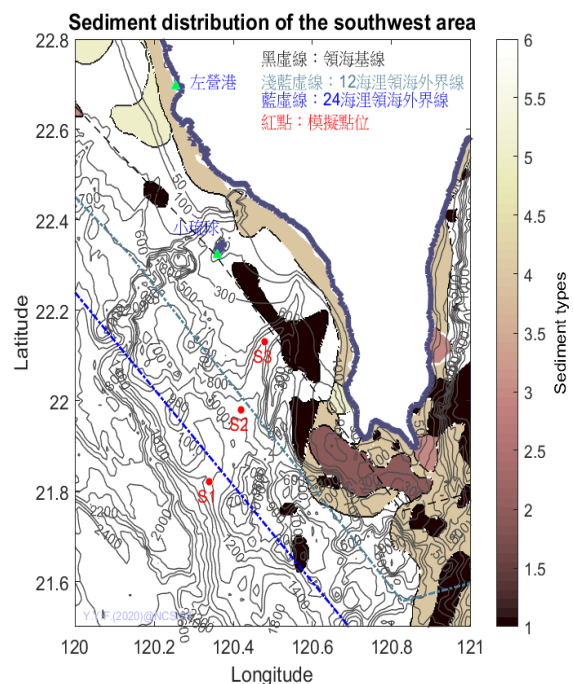


圖 2. 西南海域之模擬點位底質種類分佈圖(數字越小代表粒徑越大。沉積物分布參考[5])

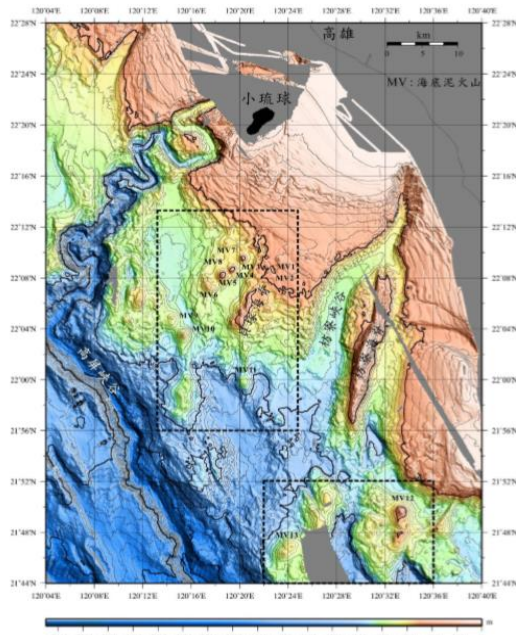


圖 3. 西南海域之水深分布圖 (暗灰色區域為缺乏精密水深區域, 本圖節錄自[2])

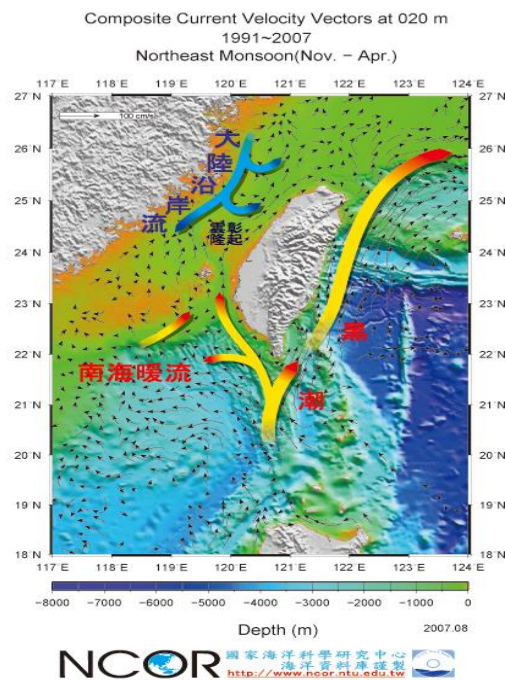


圖 4. 臺灣周邊海域水團運動方向(本圖節錄自[4])

### 三、研究方法

#### 3.1 海洋環境資料庫

本研究所使用之海洋環境資料庫如下：  
地形資料採用科技部海洋學門資料庫 200 公

尺網格間距地形模型, 參考圖 5 及表 1。底質資料來源為臺大陳琪芳教授團隊所建立之地音參數資料庫, 將大氣海洋局民國 68 年 6 月所刊行之「海洋環境沉積物分佈圖」, 經 Hamilton 反算底質吸收率、底質聲速、底質密度, 進而獲得聲學所需之地音參數[6, 7], 參考圖 2。水文資料採用工研院所研製之海域施工環境分析暨自動預測系統臺灣周邊海域海氣象預報模式 OCEANAUT (Offshore Construction Environment Analysis and Auto Forecasting System)[8, 9]資料為平均歷史十年 (2009 年至 2019 年)之模擬值, 擷取西南海域各水深下的海溫及鹽度, 根據 Mackenzie 經驗公式[10]推算海水聲速。

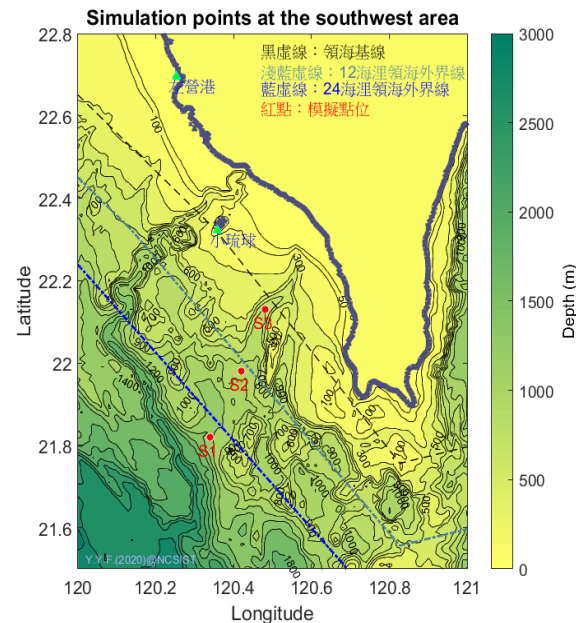


圖 5. 西南海域之模擬點位水深圖

表 1. 模擬點位資訊

| 點位 | 水深     | 鄰近位置       |
|----|--------|------------|
| S1 | 1100 m | 24 海浬領海外界線 |
| S2 | 900 m  | 12 海浬領海外界線 |
| S3 | 500 m  | 領海基線       |

為探討水文環境時變性差異, 挑選水文資料庫中冬夏一日資訊 (1 月 16 日及 7 月 16 日) 比較早中晚三個時段 (早上 7 時、下午 1 時、晚上 7 時), 參考圖 6 至圖 8, 由圖中資訊可知, 夏季聲速變化約在 1482 -1543 (m/s) 間, 冬季聲速變化約在 1482-1538 (m/s) 間。

夏季水文因無聲速負梯度轉折點, 故無



層次深度(LD, layer depth)出現，若聲音在層次深度內傳遞會形成表面聲道，因音傳損耗較低，聲音可以傳遞至較遠距離，由於聲音大都匯聚在層次深度層，在層次深度以下會形成陰影區，代表聲音較不易傳達到的區域，亦即聲音若在層次深度較不易傳遞至海底。圖中冬季的三個點位皆出現層次深度，因水文時變性之故，S1點位之層次深度亦隨之改變，從白天水下 20 公尺(圖 6)，晚上降至水下 30 公尺(圖 8)。

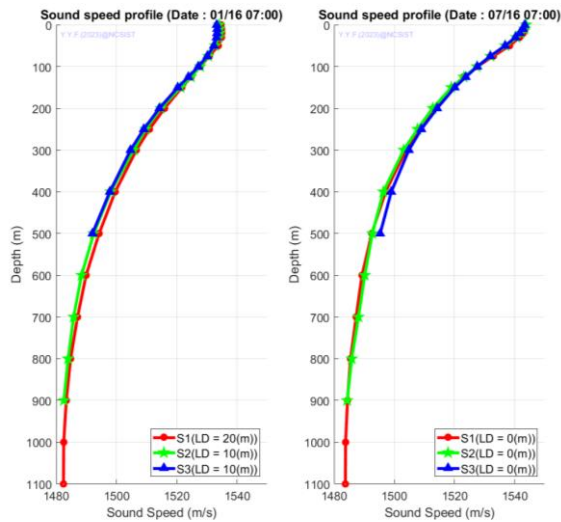


圖 6. 比較 S1 至 S3 點位之海水聲速剖面(模擬時間早上 7 時；模擬日期 1 月與 7 月 16 日)

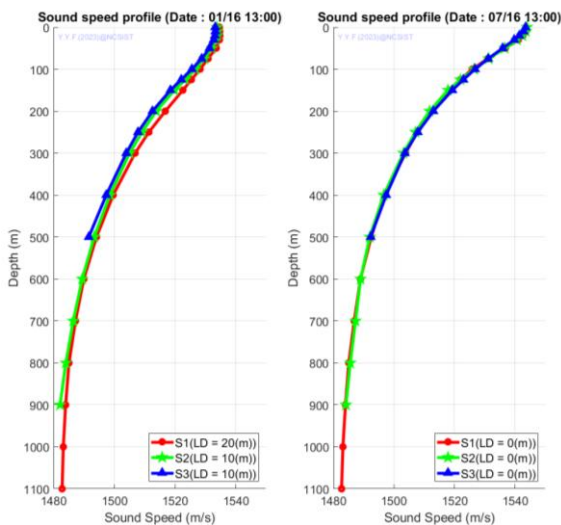


圖 7. 比較 S1 至 S3 點位之海水聲速剖面(模擬時間下午 1 時；模擬日期 1 月與 7 月 16 日)

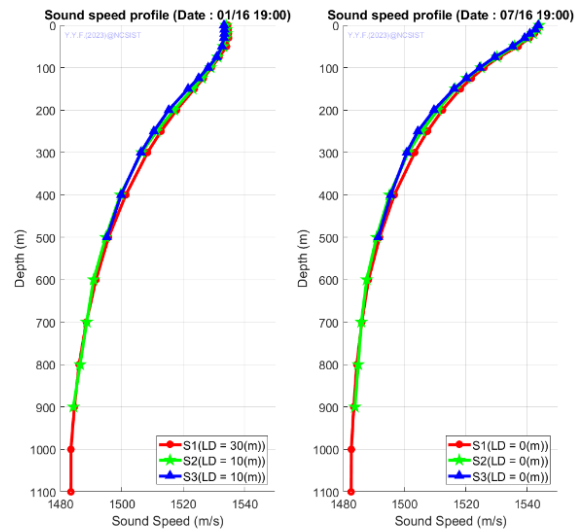


圖 8. 比較 S1 至 S3 點位之海水聲速剖面(模擬時間晚上 7 時；模擬日期 1 月與 7 月 16 日)

### 3.2 聲納方程式

聲納方程式可分主動和被動兩種型式，主動聲納方程式(active sonar equation)又分為噪音遮蔽與混響遮蔽兩種，當聲源拍發時產生的混響迴音超過環境噪音時，就使用混響遮蔽方程式，反之則為噪音遮蔽方程式，參考如下：

$$(SL-2TL+TS)-(NL-DI_T)=DT \quad (1)$$

混響遮蔽：

$$(SL-2TL+TS)-RL=DT \quad (2)$$

被動式聲納方程式(passive sonar equation)如下：

$$(SL_T-TL)-(NL-DI_R)=DT \quad (3)$$

方程式內參數，再區別如下：

(1)跟環境相關：

TL(transmission loss, dB)：音傳損失；  
NL(noise level, dB re.  $1\mu\text{Pa}$ )：環境噪音；  
RL(reverberation level, dB re.  $1\mu\text{Pa}$ )：混響迴音。

(2)跟載台、裝備、人員相關：

SL(source level, dB re.  $1\mu\text{Pa}$ )：聲源強度；  
DI (Directivity Index, dB)：陣列加強指數， $DI_T$  代表 transmit 的陣列加強指數， $DI_R$  代表

receiver 的陣列加強指數；DT (detection threshold, dB)：偵測門檻值。

(3)跟目標相關：

TS(target strength, dB)：目標強度以及  $SL_T$  代表目標的聲源強度(source level, dB re.  $1\mu\text{Pa}$ )。

聲納方程式以 dB 值量化聲音在水下傳遞時之增減，加入聲納效能指數(FOM, Figure of Merit, 單位：dB)能更具體表達聲納設備的偵測效能，改寫如下：

主動式聲納噪音遮蔽之 FOM 值(稱 AFOM 值)：

$$FOM=(SL+TS)-(NL-DI_T)-DT=2TL \quad (4)$$

主動式聲納混響遮蔽之 FOM 值：

$$FOM=(SL+TS)-RL-DT=2TL \quad (5)$$

被動式聲納之 FOM 值(稱 PFOM 值)：

$$FOM=(SL)-(NL-DI_R)-DT=TL \quad (6)$$

主動式 AFOM 值為 2 倍的 TL，被動式 PFOM 值為 1 倍的 TL。將信號餘額(SE, Signal Excess, 單位：dB)導入上述公式能將聲納效能指數與偵測機率連結。以高斯分佈來表示信號餘額與偵測機率的函數關係：

$$P_d(SE) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{\left\{-\frac{(SE-\overline{SE})^2}{2\sigma^2}\right\}} \quad (7)$$

$P_d$  為偵測機率， $\sigma^2$  為變異數， $\sigma$  為標準差， $\overline{SE}$  為信號餘額之平均數。

根據公式(7)，Urlick [11] 將實際海域量測之歷史資料(圖中圓圈點)作統計分析，參考圖 9，其結果顯示不同標準差( $\sigma$ )所產生之交會點皆位於信號餘額為 0，偵測機率為 50%處。故信號餘額(SE, Signal Excess, dB) [12]定義等於 0 時，其偵測機率為 50%，以信號餘額改寫方程式(4)至(6)，表示如下：

主動聲納信號餘額：

$$SE = FOM-2TL \quad (8)$$

被動聲納信號餘額：

$$SE = FOM-TL \quad (9)$$

透過信號餘額，將音傳損耗、偵測機率與偵測距離連結，圖 10 以被動聲納信號餘額為例，上圖藍色三角形區域代表 SE 大於 0，亦即音傳損耗小於 FOM 之值，表示偵測機率大於 50%(下圖紅色區域)。偵測機率大於 50%之距離與音傳損耗和 FOM 相交的距離重疊，此距離亦即聲納偵測距離(DR, detection range)。若為主動式聲納拍發，基於防禦，偵測距離取第一交會點；若為被動式聲納，以監聽為目的，取最遠交會點為偵測距離。由於圖 10 為被動聲納，採最遠偵測距離，FOM 為 70 dB 時，最遠偵測距離為 5.8 公里。

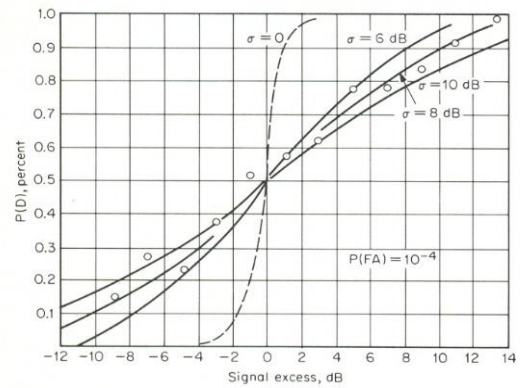


fig. 12.10 Log-normal transition curves for  $\sigma = 0, 6, 8$  and  $10$  dB for  $p(FA) = 10^{-4}$ . The circles are data points averaged from a number of sea-going detection trials.

圖 9. 信號餘額與不同標準差下之偵測機率關係圖 (圓圈點為實測歷史資料，本圖節錄自[11])

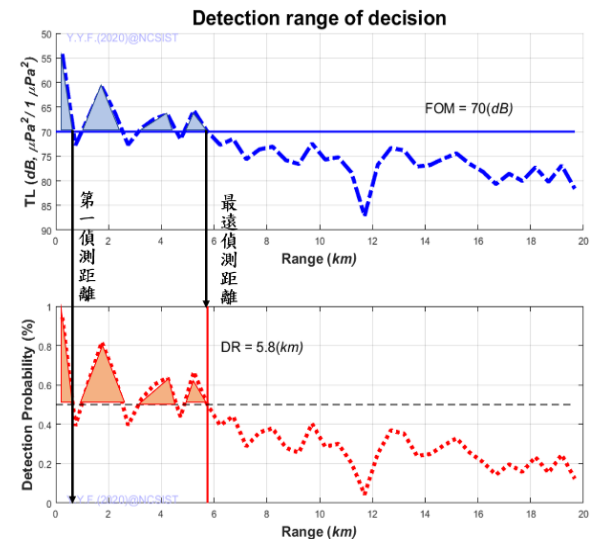


圖 10. (上)音傳損耗與偵測距離關係圖；(下)偵測機率與偵測距離關係圖

### 3.3 聲納效能指數設定

本研究以底碇式被動監聽為例，方程式內各參數設定如下：

(1)跟載台、裝備、人員相關：

接收端之底碇式單一水聽器，陣列加強指數(DI)設定為 0 (dB)。偵測門檻值設定為 10 (dB)。

(2)跟目標相關：

假定聲源為噪音潛艦，發出位於 5 至 200 Hz 間之噪音，聲源強度設定 145 (dB // 1  $\mu$ Pa @ 1 m)，參考表 2 及表 3。

(3)跟環境相關：

音傳損耗模式，使用先進聲納偵測距離預測系統 ASORPS (Advanced Sonar Range Prediction System)[18-19]內之低頻音傳模式，此模式為 RAM (Range-dependent Acoustic Model)[20]，以拋物線方程式為基底解算距離相依(range-dependent)問題，使模擬結果較貼近真實海洋環境。

環境噪音設定，參考 Urick [11]中深水區之環境噪音聲壓頻譜圖(參考圖 11)，選擇蒲福風級 2 (約風速 4 至 6 節)之海況，環境噪音為 65 (dB @ 1  $\mu$ Pa)，故 PFOM 值為 70 (dB)。

表 2. 中共潛艦按噪音位準分類[13-17]

| 按動力方式分類 | 聲源強度 (dB) | 按噪音位準對潛艦分類 |
|---------|-----------|------------|
| 柴電      | 125~140   | 安靜型潛艦      |
| 柴電      | 125~140   | 安靜型潛艦      |
| 核動力     | 145~160   | 噪音潛艦       |
| 核動力     | 120~140   | 安靜型潛艦      |

表 3. 潛艇類型與噪音聲壓位準(dB //1  $\mu$ Pa @ 1 m, 1 Hz) (安靜巡航模式，約 4 節航速) [16-17]

| 潛艇劃分<br>聲壓頻譜值 | 噪音<br>潛艇 | 安靜型<br>潛艇 | 極安靜型<br>潛艇 |
|---------------|----------|-----------|------------|
| 5 -200 Hz     | 140      | 120       | 100        |
| 1k Hz         | 120      | 100       | 80         |
| 5k Hz         | 106      | 86        | 66         |

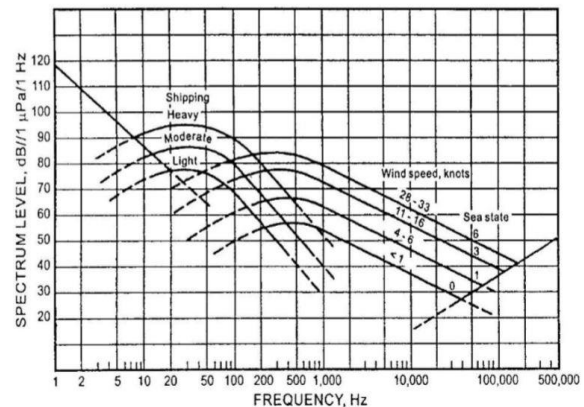


圖 11. 深水區環境噪音聲壓頻譜圖(含不同船舶密度與海況下之風浪噪音，本圖節錄自[11])

## 四、結果與討論

模擬時，假定為底碇式水聽器，故接收深度設為當地水深；聲源深度設在潛望鏡深度(18m)或潛航深度(200m)，探討不同聲源深度、不同季節、時變化、不同地形對偵測距離之差異。透過音傳模擬求得噪音潛艦傳遞至底碇式水聽器之音傳損耗(TL)，再根據前章所述聲納效能參數，求出三點位在八方位下之平均與最遠偵測距離，以冬季 1 月 16 日 19 時為例(表 4)。表 4 中信號餘額小於零之方位角度，偵測機率小於 50%，偵測距離為零，再求得三點之平均偵測距離 2.8 公里與最遠偵測距離 10.8 公里。表 5 為比較同一時段(晚上 7 時)在不同聲源深度與不同季節下之平均與最遠偵測距離差異。圖 12 則是將表 5 各方位偵測距離繪製於科技部海洋學門地形模型上，視覺化比較最遠偵測距離之差距。圖 12 圖 (a)與(c)為冬季，圖 12 (b)與(d)為夏季。參考表 5 與圖 12，潛艦在潛望鏡深度，冬季時之最遠偵測為 10.8 公里，夏天時為 10.2 公里。潛艦在潛航深度，冬季時之最遠偵測為 18.2 公里，夏天時為 8.2 公里。不論潛艦位於潛望鏡深度或是潛航深度，潛艦在冬季時聲音的傳播較夏季遠。由於冬季時表面聲道增厚，使聲音與海底之交互作用減少，降低地形與底質對於聲音傳播的影響，故

能量損耗較少。代表底碇式水聽器在冬季比夏季更容易偵測從峽谷伏擊之潛艦。

由歷史水文聲速(圖 6 至圖 8)，可知冬季層次深度約在 10 至 30 公尺間，亦即潛艦在潛望鏡深度航行會受到層次深度的影響，故底碇式水聽器的偵測距離較短。反之，若潛艦航行於潛航深度，因不受層次深度影響，底碇式水聽器反而更容易偵測到潛艦輻射噪音。

參考圖 12(a)至(d)比較地形差異對偵測距離之影響，中間點位(S2)之偵測距離最大(紅線面積較大)，右上點位(S3)之偵測距離最小，因 S3 位於峽谷內縮處，聲音在峽谷地形傳遞之音傳損耗較大，故傳遞至底碇式水聽器的能量較少，偵測距離剩 3 公里遠。反之，S2 附近地形較平坦，故偵測距離可達 18 公里以上。峽谷內因地形限縮，降低底碇式水聽器偵測到潛艦之距離，若地形越平坦，偵測距離越遠。

表 6 為固定潛艦於潛航深度，比較平均與最遠偵測距離之早中晚三個時段變化，圖 13 為視覺化各方位之最遠偵測距離。由圖(a)及圖(b)可知，左下點位(S1)早上到中午有些微變化；

中間點(S2)在圖(c)中則顯著從 8.8 公里變大至 18.2 公里。雖然潛艦在晚上活動的隱蔽性較高，然而依模擬結果，底碇式水聽器反而在晚上時段更容易偵測到潛艦。

## 五、結論

以被動監聽角度分析時空變異的海洋環境對聲納偵測效能之影響可知，底碇式水下監聽系統反而比水面系統更容易接收到水層中的潛艦輻射噪音。然而，底碇式監聽系統的監聽範圍會受到海底地形影響，在峽谷內監聽距離因地形限縮而受限，反之，在地形越平坦寬闊處，監聽距離越遠；水文的季節性及時變性差異，使得冬季監聽距離大於夏季，晚上比白天更容易偵測到潛艦噪音。

聲納偵測效能精準之關鍵為了解海洋環境中地形、底質及季節與時變性的水文環境、掌握聲納效能指數內各項參數，進而將所估算得之偵測距離及偵測機率應用於實海域測評、戰術推演與戰術決策之用。

表 4. 三處模擬點位在八方位下之各聲納效能指數、偵測機率、偵測距離值(模擬日期 01/16; 模擬時間 19:00; 聲源深度為潛望鏡深度(18m); 接收深度為模擬點位之水深)

| 方位角度                                 |       | 0                     | 45   | 90   | 135  | 180  | 225  | 270  | 315  |
|--------------------------------------|-------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| (SL)-(NL-DI <sub>R</sub> )-DT<br>FOM |       | (145)-(65-0)-10<br>70 |      |      |      |      |      |      |      |
| 點位 S1                                | TL    | 70                    | 70   | 75   | 78   | 70   | 70   | 70   | 70   |
|                                      | SE    | 0                     | 0    | -5   | -8   | 0    | 0    | 0    | 0    |
|                                      | PD(%) | 50.0                  | 51.9 | 29.4 | 22.6 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 50.2 |
|                                      | DR    | 3.7                   | 0.3  | 0    | 0    | 6.0  | 8.2  | 5.8  | 2.4  |
| 點位 S2                                | TL    | 70                    | 70   | 70   | 70   | 70   | 70   | 70   | 70   |
|                                      | SE    | 0                     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
|                                      | PD(%) | 48.6                  | 46.2 | 49.7 | 54.0 | 50.1 | 50.3 | 50.0 | 50.3 |
|                                      | DR    | 0.7                   | 0.6  | 3.5  | 3.8  | 10.8 | 9.3  | 5.0  | 0.9  |
| 點位 S3                                | TL    | 70                    | 70   | 70   | 70   | 70   | 70   | 70   | 70   |
|                                      | SE    | 0                     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
|                                      | PD(%) | 48.7                  | 47.5 | 57.5 | 44.5 | 52.2 | 50.0 | 46.6 | 59.8 |
|                                      | DR    | 0.5                   | 0.6  | 0.9  | 0.6  | 3.4  | 2.5  | 0.6  | 0.4  |
| 平均 DR (km)                           |       | 2.8                   |      |      |      |      |      |      |      |
| 最遠 DR (km)                           |       | 10.8                  |      |      |      |      |      |      |      |

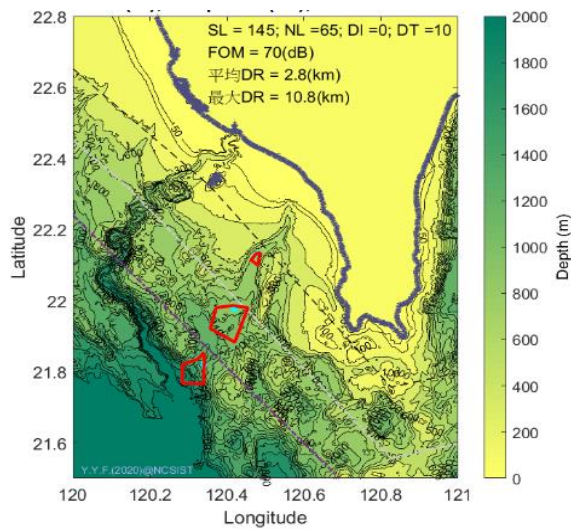


表 5. 比較不同聲源深度與季節之平均偵測距離與最遠偵測距離差異

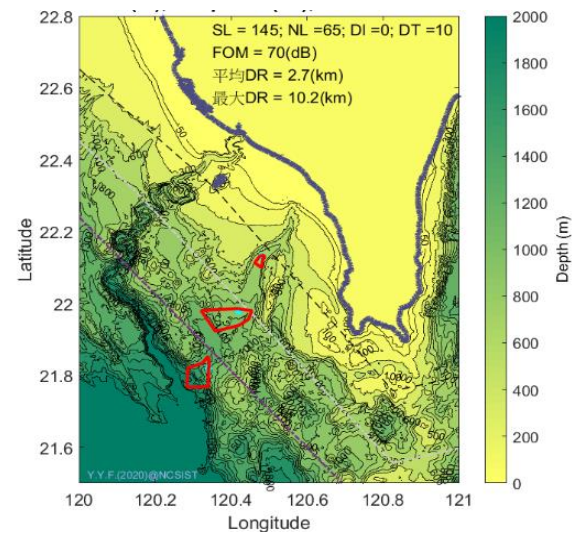
| 模擬日期 | 時間    | 聲源深度(m) | 平均DR(km) | 最遠DR(km) |
|------|-------|---------|----------|----------|
| 1/16 | 19:00 | 18      | 2.8      | 10.8     |
| 7/16 | 19:00 | 18      | 2.7      | 10.2     |
| 1/16 | 19:00 | 200     | 3.0      | 18.2     |
| 7/16 | 19:00 | 200     | 2.8      | 8.2      |

表 6. 固定潛艦於潛航深度，比較平均偵測距離與最遠偵測距離之日變化

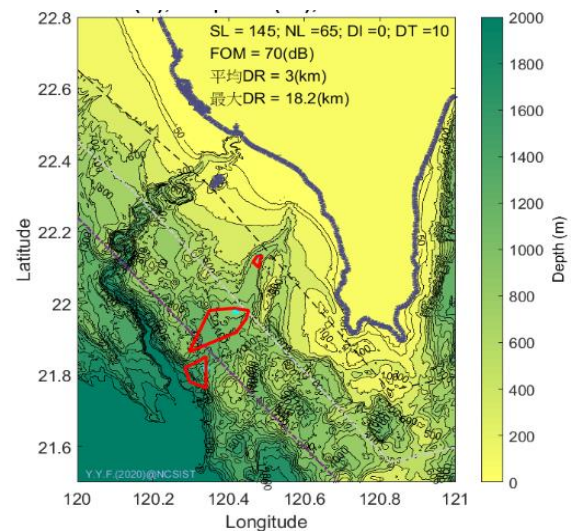
| 模擬日期 | 時間    | 聲源深度(m) | 平均DR(km) | 最遠DR(km) |
|------|-------|---------|----------|----------|
| 1/16 | 7:00  | 200     | 2.6      | 8.8      |
| 1/16 | 13:00 | 200     | 2.7      | 8.8      |
| 1/16 | 19:00 | 200     | 3.0      | 18.2     |



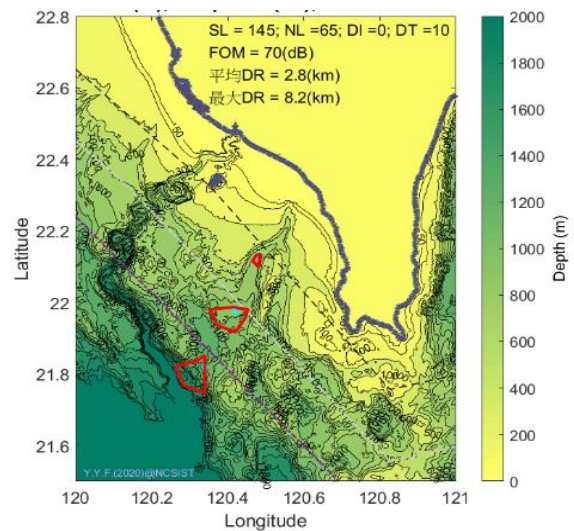
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 12. 潛艦位於不同深度，改變水文季節，比較最遠偵測距離之差異：(A)潛艦位於潛望鏡深度(1月16日19時)；(b)潛艦位於潛望鏡深度(7月16日19時)；(c)潛艦位於潛航深度(1月16日19時)；(d)潛艦位於潛航深度(7月16日19時)



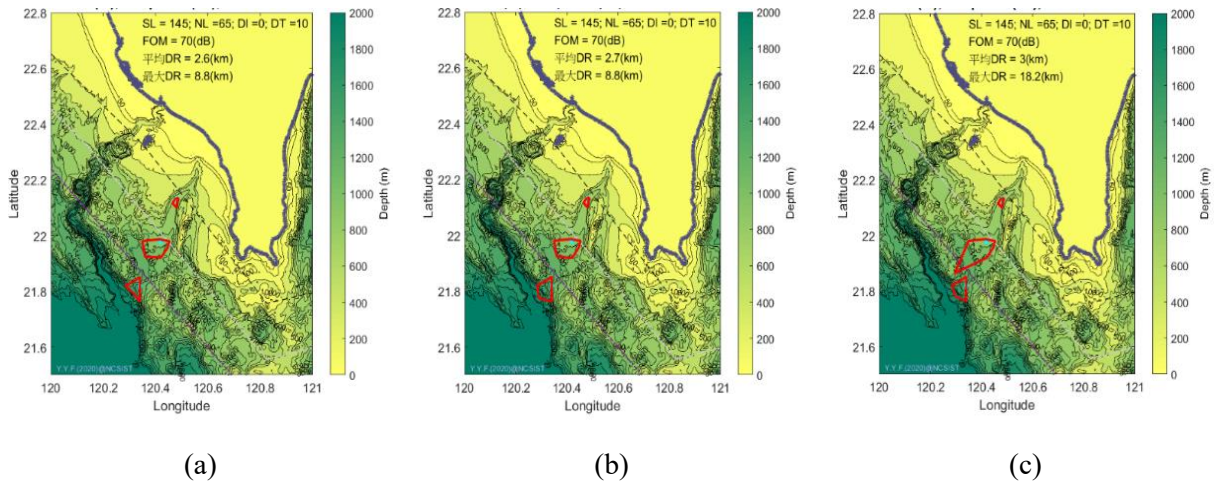


圖 13. 比較潛艦位於潛航深度，改變水文時間對最遠偵測距離之差異：(A) 1 月 16 日 07 時；(b) 1 月 16 日 13 時；(c) 1 月 16 日 19 時

## 參考文獻

- [1] 陳琪芳、王崇武、宋國士、劉家瑄、康仕仲、魏瑞昌 楊穎堅、陳國輝，“臺灣東南海域水下偵測特性分析與 ASORPS 核心效能精進研究”，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，第 11 頁，西元 2012 年 7 月。
- [2] “海底泥火山噴發奇觀”，經濟部中央地質調查所新聞稿，第 4 頁，西元 2019 年 12 月 12 日。
- [3] “臺灣海洋基礎介紹”，行政院農業委員會林務局，[https://kids.coa.gov.tw/view.php?func=knowledge&subfunc=kids\\_knowledge&category=B12&id=37](https://kids.coa.gov.tw/view.php?func=knowledge&subfunc=kids_knowledge&category=B12&id=37)，檢索日期：西元 2021 年 7 月 12 日。
- [4] “Composite current velocity vectors at 020 m 1991~2007 Northeast Monsoon (Nov. - Apr.)”，國家海洋科學研究中心海洋資料庫，<http://www.ncor.ntu.edu.tw>，西元 2020 年 07 月 13 日。
- [5] “海洋環境沉積物分布圖”，海軍大氣海洋局，民國 68 年 6 月刊行刊物第 20 種，西元 1979 年。
- [6] 溫閏植，利用表面聲源與 Biot Theory 於深海海域反算海底底質地音參數之研究，中山大學海下科技暨應用海洋物理研究所碩士學位論文，高雄，第 1~107 頁，西元 2013 年。
- [7] 林育賢，利用基因演算法反算底質參數，臺灣大學工程科學及海洋工程學系碩士學位論文，台北，第 1~57 頁，西元 2011 年。
- [8] 林勝豐、胡哲魁、顏志偉，“臺灣四週上層海域海流能量計算”，第三十二屆海洋工程研討會論文集，基隆臺灣海洋大學，第 803~807 頁，西元 2010 年。
- [9] 林勝豐、湛翔智、方銀營、陳琪芳、戴仁華，“臺灣西部海域的水下音傳特性與背景噪音模擬分析”，第 33 屆海洋工程研討會，國立高雄海洋科技大學，第 787~792 頁，西元 2011 年。
- [10] “Technical Guides—Speed of Sound in Sea Water,” National Physical Laboratory, Crown, p.1, 2000.
- [11] Urick, R.J., Principles of underwater sound, third edition, Westport, Connecticut: Peninsula Publishing, pp.210, 383, 388, 2010.
- [12] Hodges, Richard P., Underwater acoustics: Analysis, design and performance of sonar, John Wiley & Sons, 2011.
- [13] 方銀營、鄭茗徽、任誼錕，“潛艦輻射噪音量測技術”，第二十二屆水下技術研討會暨科技部文化部成果發表會，國立高雄科技大學，第 73~82 頁，西元 2020 年。
- [14] 李豫明，“中共元級 AIP 潛艦成軍影響研析”，海軍學術月刊，第 44 卷，第 3 期，第 50 頁，西元 2010 年 6 月。

- [15] 錢曉南，艦船螺旋槳噪聲，交通大學出版社，上海，第 92 頁，西元 2011 年。
- [16] 王之程，艦船噪聲測量與分析，國防工業出版社，北京，第 36 頁，西元 2004 年。
- [17] 劉俊豪、林倉玉，“水面作戰支隊反潛作戰與拖曳聲納艦應用”，海軍學術月刊，第 52 卷，第 6 期，第 58 頁，西元 2018 年 12 月 1 日。
- [18] Chang, Y.Y., Lin, S.F., Chen, C.F., Lin, Y.T., and Wen, J.C. , “Sonar performance modeling and prediction offshore southeastern Taiwan using ASORPS,” 11th European Conference on Underwater Acoustics 2012, Edinburgh, England, Vol.34, Pt.3, pp.1644~1651, 2012.
- [19] Peng, C.M., Chang, Y.Y., Fang, Y.Y., Wang, C.W., and Chen, C.F., “Analysis of sonar detection performance in South China Sea for ASW using ASORPS,” 2nd UA2014, Greece, 2014.
- [20] Collins, M.D., “User’s Guide for RAM Versions 1.0 and 1.0p,” Naval Research Lab, Washington, DC, pp. 14, 1995.