

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

亞洲海域聲學實驗中三維水聲模組分析研究

Three-Dimensional Acoustic Modal Analysis in Asian Seas International Acoustic Experiment(ASIAEX)

計畫編號：NSC 89-2611-E-002-044

執行期限：89 年 8 月 1 日至 90 年 7 月 31 日

執行單位：國立臺灣大學 造船及海洋工程學系

主持人：陳琪芳

參與研究人員：林穎聰、謝力文

一、中文摘要

自 1995 年，由美國與亞洲國家籌備在南海進行海洋聲學實驗。本計畫為我國參與南海國際合作海洋聲學實驗(ASIAEX)的聲學部份研究。本計畫目的為參與此實驗並藉由國際合作計畫實驗數據交換取得實驗數據與三維模組分析模式比對，因而確立模式之建立。同時希望藉由國際合作的模式，來建立國內海洋聲學實測的能量，並配合海洋物理提供的背景資料，進行大陸棚坡界聲學數據分析，以進一步提供相關聲學模式建立的基礎。目前實驗已完滿結束，我國總共派出海研一號、水試一號、海研三號及二號參予實驗。本文為數值模擬部份。數值模擬以三維模組分析模式(Modal Spectrum of 3D PE Field, MOS3DPEF)進行模組分析計算，以南海國際合作海洋聲學實驗(ASIAEX)的海域為算例，首先以 FOR3D 做三維聲場計算，再利用模組分析程式求得模組模態及振幅。結果顯示此海域為一方位角效應緩和但模組耦合效應強烈的海洋環境。

Abstract

The three-dimensional modal analysis uses the

three-dimensional acoustic field produced by the three-dimensional PE code (FOR3D of NUWC, USA) in the modal analysis. The modal analysis decomposes the acoustic field into modal space. The acoustic field is computed by Parabolic Equation Method (PE method). The mode functions and mode wave numbers are computed by solving the local modal equation for the range dependent environment. Results of modal analysis are the mode coupling coefficients and modal travel time of each individual mode. Mode coupling coefficients are a measure of complexity of the ocean environment. The ASIAEX (Asian Sea International Acoustic Experiment) project has planned the acoustic experiment around the shelf-break region in the South China Sea. The 3D modal analysis of the experimental site is performed using the ocean data collected in 1999 as a preliminary study for the experiment site. The 3D effect is mainly caused by the topographic variations in azimuth, while the mode-coupling effect is due to the variability in the water column and the topographic variations.

二、研究背景

自 1995 年，由美國與亞洲國家籌備在

南海進行海洋與聲學實驗。本計畫為我國參與南海國際合作海洋聲學實驗(ASIAEX)的聲學部份研究。

(一) 亞洲海域國際聲學實驗(ASIAEX)

由美國 ONR(Office of Naval Research)策劃並推動的「亞洲海域國際聲學實驗」(Asian Seas International Acoustics Experiment, 簡稱 ASIAEX)[1]參與的國家包括美國、中國大陸、台灣、韓國、新加坡等環太平洋國家,於2001年5月至6月,在中國東海與中國南海進行聲波傳播、散射、混響、地聲反算(geoacoustic inversion)等實驗,規模之大,前所未有。南海之實驗區域及地形請見圖1。國科會於八十八年度及八十九年度支持一兩年期之特約研究計劃(亞洲國際海域聲學實驗研究計劃(1/2)(2/2)),由台大海洋所唐存勇教授擔任主持人,2001年五月之海上實驗已圓滿完成。國科會工程處支持本計劃參與此國際實驗研究,進行聲學模式建立之研究。

(二) 三維模組分析模式(Modal Spectrum of 3D PE Field, MOS3DPEF)

本文在處理拋物線方程式方面,採用三維 PE 程式(FOR3D 程式)[2],計算聲場。在局部模組方程式方面,採用 FEMODE 程式[3],以計算局部模組方程式之解。另外,使用 MOS3DPEF 法,完成聲場與局部模組方程式之解作積分得到模組耦合。本文研究方法的流程如該流程包括海洋模式、音傳模式、模組耦合以及傳播時間,皆已在88年度成果報告中詳述(見圖2)[4]。本年度之主要結果為使用此三維模組分析模式(Modal Spectrum of 3D PE Field, MOS3DPEF)分析南海水域之聲學環境。

三、研究動機與目的

海洋音測所利用的音傳理論主要分模組傳播(Normal Mode)及聲線傳播(Ray)兩

大類,前者計算單一模組在已知海洋環境(即已知聲速分佈)中固定兩點之旅行時間,後者則是計算不同聲線在固定兩點之旅行時間。應用在海洋音測時則以實際測量之傳播時間(Travel Time)來反算海洋之聲速分佈,再由聲速與溫度(或鹽度)之關係式,來得到海洋中溫度之分佈藉以了解特定海洋現象(如冷、暖渦、或鋒面)。本文以模組的觀點來分析南海海域水中聲音的傳播情形。

四、研究方法

所謂模組分析,乃是將音場轉換至模組空間,求得個別模組之能量分布。其中音場由拋物線方程式計算而得。模組及模組波數,則用局部模組方程式而得。模組偶合係數可成為海洋音響環境的評估值,代表其複雜度。在水平方向無變化的海洋環境中,模組偶合係數為零,若在複雜的環境中,如冷渦或峽谷、斜坡上、地形變化,將造成模組耦合,則其耦合係數不為零。模組傳播時間代表海洋之聲速變化。

五、南海海域算例分析

5.1 海洋環境

(a) 地形特徵

經由圖1可清楚看出,ASIAEX 南海實驗海域位於南海陸棚邊緣,海水深度約一百至四百公尺;然而在實驗區中間地形上有一南北向之海谷,水深陡降一百公尺;在地形上具有相當劇烈的變化。

(b) 水文環境

南海陸棚-陸坡海域主要受黑潮入侵及南海水團海流影響,內波現象十分明顯,形成此區域複雜水文環境。本文使用的水文資料是海研一號 609-611 航次於2000年4月所採集的測站資料[5]。

5.2 數值計算

南海陸棚-陸坡海域的海洋環境,如同前一節所示,不論水文、地形皆相當複雜。今以實驗聲源頻率為224Hz,400Hz的聲音作數值模擬計算。聲源分別放置在深(SD)、

淺(SS)二位置(SD:117.127° E, 21.562° N,水深 308 公尺) (SS:117.396° E, 21.9976° N,水深 68 公尺)的點位上，接收點位於 117.02° E, 21.91° N。總計算角度為 60°(SS)及 20°(SD)，總計算距離皆為 40 公里，所分析計算的區域之海洋地形係根據 OR3-651, OR1-609~611 之地形資料架構而成。水文只用 OR1-611 的一個測站的資料，因此水文並不因方位及距離的改變而改變。本文用以計算的參數，水文及底層資料如表 1 所示。圖 3 為計算區域示意圖，圖 4 為水中及底床之聲速分布。

算例	聲源位置	頻率	聲源深度	計算區間	Δr
SS	E117.4 N22.0	300	68.10	60°	1.25
		400	67.10		0.8
SD	E117.13 N21.56	224	308.89	20°	1.25
		400	307.39		0.8
Δθ=1deg; ΔZ=1m; 接收位置: E117.02 N21.91					

表 1 ASIAEX-SCS 海域之輸入條件

在這個地形變化劇烈及水文複雜的環境中，三維效應與模組耦合效應是否存在及其強弱程度為何？不同的模組作為初始激發聲場所導致的結果是否不同？以下分別針對模態變化情形以及 NX2D 與 3D 模式所計算的模組振幅及模組傳播時間計算結果來討論。

5.3 數值計算結果

(a)模態(Mode Shape)

由於水文(聲速分布)不因位置而變，因此模態變化只在地形變化劇烈的 SD 算例看到。圖 5 和圖 6 為頻率在 224Hz 模組函數 1, 10 隨距離及深度變化。

由這些圖我們發現當地形發生變化時，模態亦隨之而變化。模態隨距離而有變化意味著在模組場中各個模組的模組振幅相互間有能量的傳遞，模組有重組的現象。下節我們將就各個模組振幅的變化來做討論以驗證此一論點。

圖 7-24 為 SS 及 SD 算例中不同頻率，

不同維度(3D 或 Nx2D)，及不同初始模組聲場之模組振幅及模組傳播時間之計算結果

(b)模組振幅(Modal Amplitude)

底下我們就 SD 及 SS 算例所計算的結果，來討論各個模組振幅隨距離變化的情形。

圖 7-14 為 SD 及 SS 算例中 224Hz, 300Hz, 400Hz，以模組 1 與模組 10 為激發聲場，模組 1-10 之振幅隨距離之變化。由圖中可見高頻及高模組之模組耦合現象十分明顯。圖 15-17 為以模組 1 作激發聲場，三維與二維之計算差異。由圖中可見低頻 224Hz SD 算例之三維效應十分弱，高頻 400Hz SS 算例之三維效應大。圖 18 為 224Hz SD 算例在 $r=40\text{KM}$ 之模組耦合矩陣，可見模組耦合在高模組時十分劇烈。

算例	頻率	模組振幅 (Start mode # 1, 10)	模組振幅差 (Start mode#1)	模組耦合矩陣 (R=40KM)	模組傳播時間差	
					3D-NX2D	3D-Adiabatic
SD	224	圖 7, 8	圖 15	圖 18	圖 19	圖 22
	400	圖 9, 10	圖 16	——	圖 20	圖 23
SS	300	圖 11, 12	——	——	——	——
	400	圖 13, 14	圖 17	——	圖 21	圖 24

表 2 計算結果圖示列表

(c)模組傳播時間(Model Travel Time)

圖 19-24 為 SD 224Hz 及 400Hz SS 及 SD 算例中分別以 3D, Nx2D 及非耦合模組(Adiabatic)方法計算之模組傳播時間差。

SD 算例之三維效應十分小，其耦合效應大，SS 算例之三維效應與耦合效應差不多大。在 SD 算例中，高頻(400Hz)之耦合效應較低頻(224Hz)大。

六、結論

ASIAEX 南海實驗海域之聲場模組分析結果為：

- (1) 算例包括深水區、淺水區二聲源位置，頻率為 224 及 400Hz，接收位置在淺水區(陸棚)。
- (2) 模組計算結果為模態函數、模組振幅、模組耦合矩陣及傳播時間。

- (3) 深水區之聲源傳至淺水區之路徑(SD 算例)，其模組偶合效應及三維效應較弱。
- (4) 聲源及接收皆在淺水區(SS 算例)其模組偶合效應大。

七、計畫成果自評

本計畫目的在模擬南海 ASIAEX 實驗區域水聲模組分析，本報告包括二個算例，對此區水域有初步了解，90 年度正在執行 ASIAEX 整合計劃並接續此計畫之研究。個人認為本年度計劃已達成原目標。總括而言，本計畫成果佳，足以為未來反算海洋參數之基礎。

八、參考文獻

- [1] 陳琪芳，”亞洲海域國際聲學實驗研討會會議報告”，美國夏威夷州大島的 Kona, 2000 年六月二十一日至二十三日
- [2] Botseas, D. Lee and D. King, "For3D: A computer modal for solving the LSS three dimensional, wide angle wave equation", NUSC Tech. Rep. 7943, 1987.
- [3] M.D. Collins, "FEMODE 程式", NRL tech report.
- [4] 陳琪芳，陳屏先，林志銘，，"海洋三維音傳模組分析(II)"，國科會專題計畫成果報告，1999。
- [5] 唐存勇，王霄，" ASIAEX2000 航次水文報告"，2000

圖 1 ASIAEX-南海地形圖

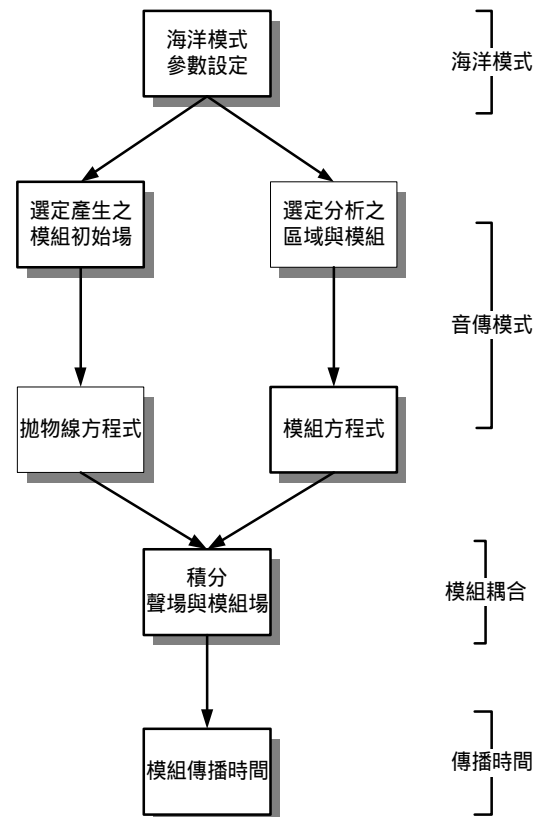


圖 2 模組分析法流程圖

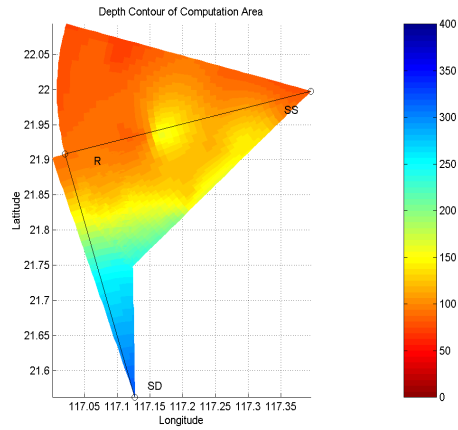


圖 3 計算區域示意圖

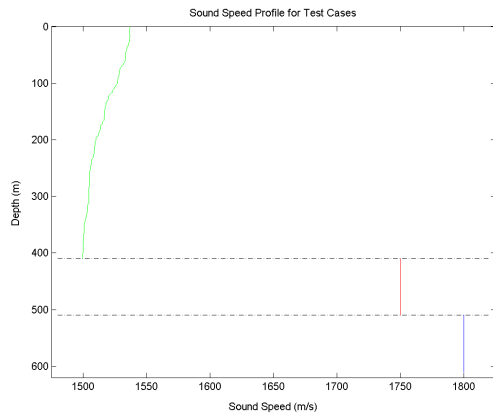


圖 4 計算所採用之聲速剖面

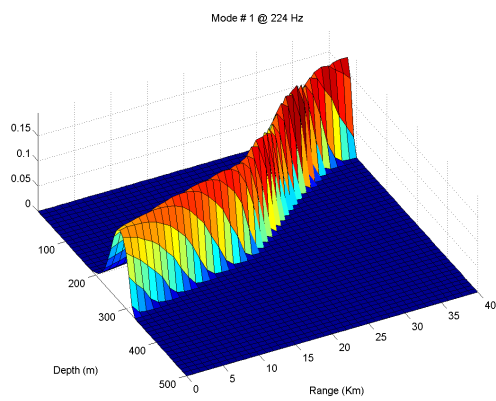


圖 5 模組 1 模態隨距離的變化情形 (SD@224Hz)

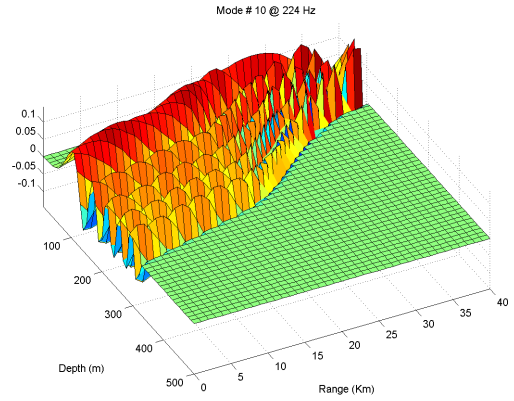


圖 6 模組 10 模態隨距離的變化情形 (SD@224Hz)

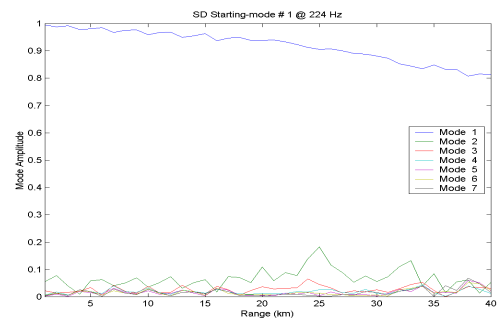


圖 7 3D 模組 1 當初始激發聲場，各模組振幅與距離關係(SD@224Hz)

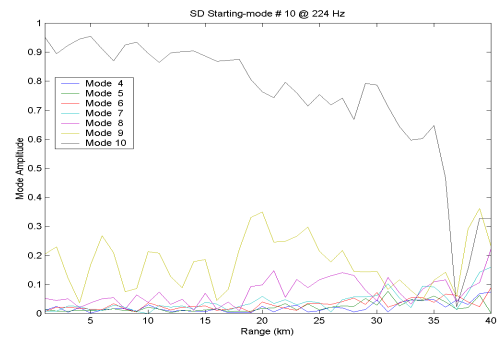


圖 8 3D 模組 10 當初始激發聲場，各模組振幅與距離關係(SD@224Hz)

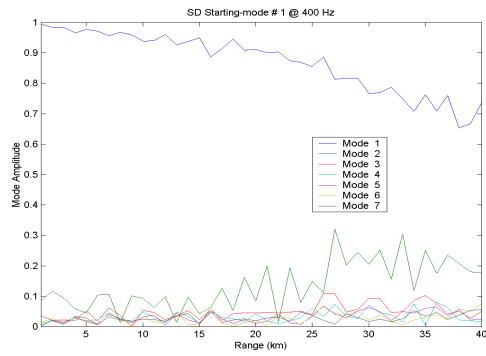


圖 9 3D 模組 1 當初始激發聲場，各模組振幅與距離關係(SD@400Hz)

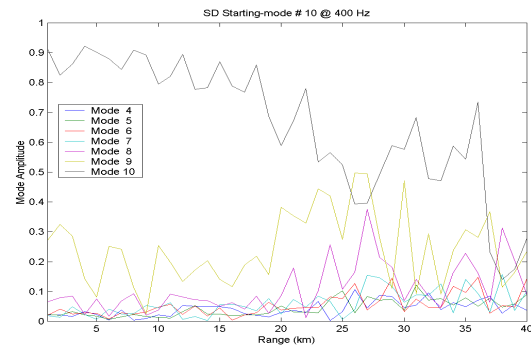


圖 10 3D 模組 10 當初始激發聲場，各模組振幅與距離關係(SD@400Hz)

圖 11 3D 模組 1 當初始激發聲場，各模組振幅與距離關係(SS@300Hz)

圖 12 3D 模組 10 當初始激發聲場，各模組振幅與距離關係(SS@300Hz)

圖 13 3D 模組 1 當初始激發聲場，各模組振幅與距離關係(SS@400Hz)

圖 14 3D 模組 10 當初始激發聲場，各模組振幅與距離關係(SS@400Hz)

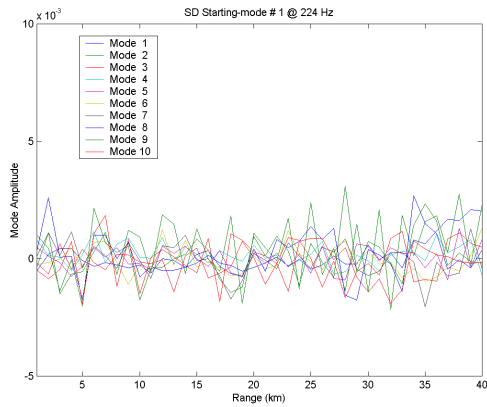


圖 15 模組 1 當初始激發聲場，不同維度計算結果的差異性(SD@224Hz)

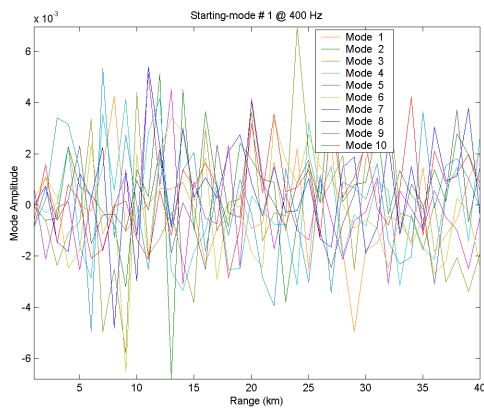


圖 16 模組 1 當初始激發聲場，不同維度計算結果的差異性(SD@400Hz)

圖 17 模組 1 當初始激發聲場，不同維度計算結果的差異性(SS@400Hz)

圖 18 Modal Amplitude (Mode 1~10) at Receiver (r=40km) f=224 Hz, SD case

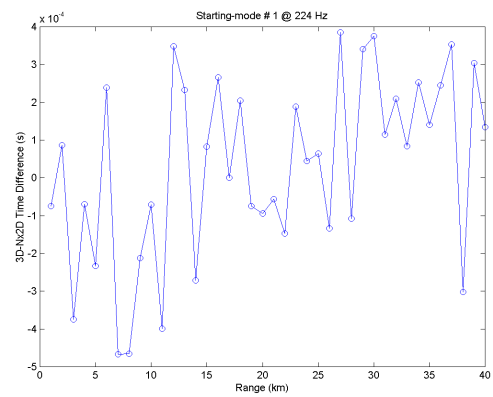


圖 19 Modal Travel Time Difference vs. Range (3D – Nx2D) f=224 Hz, SD case

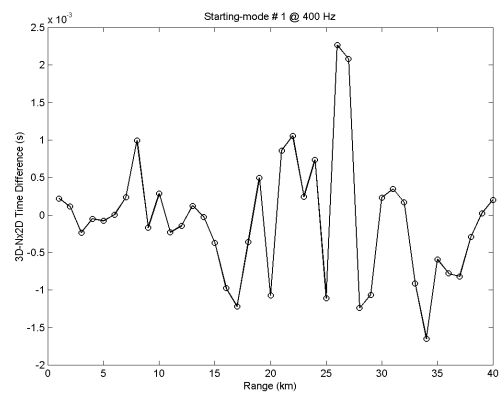


圖 20 Modal Travel Time Difference vs. Range (3D – Nx2D) f=400 Hz, SD case

(3D – Adiabatic) $f=400$ Hz, SD case

圖 21 Modal Travel Time Difference vs. Range
(3D – Nx2D) $f=400$ Hz, SS case

圖 24 Modal Travel Time Difference vs. Range
(3D – Adiabatic) $f=400$ Hz, SS case

圖 22 Modal Travel Time Difference vs. Range
(3D – Adiabatic) $f=224$ Hz, SD case

圖 23 Modal Travel Time Difference vs. Range