

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 海洋聲學傳播模組分析( )

## Modal Analysis of Underwater Acoustic Propagation in the Ocean( )

計畫編號：NSC 88-2611-E-002-015

執行期限：87年8月1日至88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：陳屏先、林志銘

### 一、中文摘要

本文以模組分析的理論為基礎，建立三維的模組分析模式(Modal Spectrum of 3D PE Field, MOS3DPEF)，進行有關模組分析計算。以台灣東北海域為算例，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。結果顯示台灣東北海域之海洋環境為一方位角效應強烈且模組耦合效應強烈的海洋環境。

### Abstract

The modal spectra of the three-dimensional sound field (abbreviated as MOS3DPEF) are determined by integration of the three-dimensional sound field computed by FOR3D code and the local modal function computed by FEMODE. The case of off Northeastern Taiwan is studied using MOS3DPEF. Results show that ocean environment where off Northeastern Taiwan exists has both 3D effect and strong modal coupling effect.

### 二、研究背景

聲音在水中的重要性如同電磁波在空氣中一般。由於聲波在水中傳遞，能量不易衰減的特性，使其優於電磁波在水中

的傳遞。因此水中聲學在水下技術方面佔有關鍵性的角色。研究聲音在海洋中的傳播現象，為水下聲學的重要課題。

早期水下聲學應用在軍事上如通訊、偵測和辨識，尤其是對於利用聲納系統來偵測敵方水下船艦。隨著冷戰時代的結束，軍事上的應用不再是最重要，水聲應用逐漸也轉至對佔地球 70% 廣的海洋做觀測與研究。水中聲學也與傳統的海洋科學結合，成為一門海洋聲學的科學。利用聲音的傳播現象來觀測海洋，即所謂的海 洋 音 測 學 (Ocean Acoustic Tomography, OAT)[1][2][3]。以往對溫度、鹽度和速度為點的量測，逐步隨著海洋音測理論的被提出，也開始對於大尺度或中尺度的海洋現象，如冷水團，鋒面等做即時觀測，將海洋學由目前的點線量測擴展至面体的全面性觀察與量測，對於大尺度的海洋現象有進一步的了解。

### 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台灣東北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，因限於篇幅，本文未將模組傳播時間之計算結果列入。

本文在處理拋物線方程式方面，採用三維 PE 程式(FOR3D 程式)[4]，計算聲場。在局部模組方程式方面，採用 FEMODE 程式[5]，以計算局部模組方程式之解。另外，使用 MOSPEF 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，皆已在上年度成果報告中詳述(見圖 1)，本年度之主要結果為將音傳模式改用三維音傳模式。

#### 五、台灣東北海域算例分析

##### 5.1 海洋環境

###### (a)地形特徵

經由圖 2 可清楚看出，台灣東北海域位於西菲律賓海盆之西，以琉球海溝為北界，從東海陸棚延伸至沖繩海槽，海水深度可達四千公尺以上；然而從琉球海溝往北到達宜蘭外海時，地形上有一東西向之宜蘭海脊，水深僅約兩百公尺；再往北到達沖繩海槽南端，在地形構造上屬於弧後海盆[8]，水深約兩千公尺；再北遭遇東

北陸棚南端之棚裂處，海水深度約兩百公尺。由前面敘述，可以了解台灣東北海域由南往北大約 150km，海水深度先由四千公尺上升至兩百公尺，再由兩百公尺下降至兩千公尺，最後再由兩千公尺上升至兩百公尺。在地形上具有相當劇烈的變化。

###### (b)水文環境

台灣東北海域主要受黑潮流經過，形成此區域複雜水文環境；黑潮流至菲律賓東北轉向北流，其主流沿台灣東北海域北上，流至宜蘭海脊，部份沿海脊轉向東往太平洋流失，部份越過宜蘭海脊，進入沖繩海槽之後，再受沖繩海槽地形影響，黑潮主流轉向東北。另有部份潮水爬上東海陸棚，以及較下層(一百公尺以下)的黑潮次表層水轉向西流，沿著大陸斜坡的地形等深線形成一個西南向的黑潮回流，此黑潮回流流至棉花峽谷處，部份湧向陸棚，形成一常年性存在的湧升流的起源[9]。上述現象又稱為黑潮的間接性入侵[10]。

到了冬季時，由於東北季風增強 1-2 個月後，沖繩海槽黑潮水直接入侵大陸陸棚，當黑潮水直接入侵後，黑潮回流僅能存在較深層海域。黑潮水直接入侵或間接性入侵，形成東北海域明顯的季節性變化，由海面溫度影像觀察，有兩種較特殊水文現象：黑潮鋒面及冷水團。本文所用以計算的水文資料是海研一號 332B 航次於 1992 年 10 月 17 至 19 日所採集的測站資料[11]，其測站位置的分布情形及模組分析區域如圖 3 所示。

###### 5.2 數值計算

台灣東北外海的海洋環境，如同前一節所示，不論水文、地形皆是一個當複雜的海域。今以頻率為 50Hz 的聲音來對此區域作數值模擬計算。聲源放置在  $(122.22^{\circ} \quad 25.40^{\circ})$  的點位上，並以此點為座標原點而將東北海域劃分為四個象限。今吾人選擇第 4 象限來作為模組分析的區域。總計算角度為 90 度，總計算距離為

40km, 所分析計算的區域之海洋地形係採 GMT 資料庫架構而成的, 而水文資料則是根據海研一號 332b 航次的測站資料來對所計算的區域作線性內差所建構而成的。本文用以計算的參數, 水文及底層資料如表 1 所示。

	聲源點位	聲源 頻率	聲源 深度	接收 深度	計算 區域
		122.22° 25.40°	50 m	100m	100m
計算參數	Rmax=40km , $\Delta\theta=90^\circ$ , dr=10 , dz=1 , d $\theta$ =1°				
海水性質 及 底質性質	$w=1\text{g/cm}^3$ , $w=0\text{ dB/波長}$ , $C_b=1800\text{m/s}$ , $b=1.8\text{g/cm}^3$ , $b=0.078\text{ dB/波長}$				

表 1 台灣東北海域之輸入條件

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? 是我們對於這一區域所感到興趣的問題。底下分別針對聲場的差異性, 模態變化情形以及 NX2D 與 3D 模式所計算的模組振幅以及其差異性來討論。

### 5.3 數值計算結果

#### (a)聲場的變化

今以聲源深度及接收深度皆為 50m, 頻率為 50Hz 無方向性的點聲源來模擬此環境的傳播損耗分布情形。其中  $\theta=45^\circ$  的方位其地形及聲速剖面隨距離的變化情形如圖 4 所示。

藉由聲場的計算, 吾人可了解聲音在此環境中能量的分布情形。我們對此環境分別做 3D 與 NX2D 模式的聲場計算, 此兩種模式的計算結果差異如圖 5 所示。由圖 5 可發現 3D 與 NX2D 聲音傳播損耗在局部區域可差異達正負 5dB 以上。因地形及水文資料的架構均依據實際海洋環境的真實資料來模擬, 故其差異的分布區域並無一定規則性。從聲音能量的角度來看, 在這些傳播損耗差異極大的區域中有

明顯的三維效應( $\theta$ -coupling)存在; 亦即某垂直平面上的能量傳遞至另一垂直面上, 淨聲能並不守恆。但在模組振幅的變化情形如何呢? 底下我們將以模態變化及模組振幅的觀點來討論。

#### (b)模態(Mode Shape)

由之前聲場的計算結果發現, NX2D 與 3D 模式計算結果之差異的分布情形並無一定的規則可言。故底下僅選擇  $\theta=45^\circ$  的方位來探討模態以及模組振幅的變化情形。

我們分別利用 mode#1, mode#2 以及 mode#3 的模態變化來觀察東北海域的特殊水文及地形對其所造成的影響。圖 6, 圖 7, 圖 8 分別代表 mode#1, mode#2, mode#3 隨距離及深度的變化情形。由這些圖我們發現當地形及水文發生變化時, 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。底下我們將就各個模組振幅的變化來做討論以驗證此一論點。

#### (c)模組振幅(Modal Amplitude)

底下我們僅就方位角 45 度的地形及水文狀況以及以不同的維度(3D 與 NX2D)所計算的結果, 來討論各個模組振幅隨距離變化的情形。首先我們以前三個模組(mode#1, mode#2, mode#3)當作初始激發聲場, 透過 NX2D 模式的計算來觀察模組場中模組振幅隨距離變化的情形, 其結果如圖 9, 圖 10 以及圖 11 所示。由圖中可看出東北的海洋環境確實造成模組之間能量的相互轉移, 有明顯的模組耦合效應存在。且此三個模組當初始激發聲場都同樣的有明顯的模組耦合現象。另外, 圖中模組振幅的變化情形有呈現階梯式的變化情形, 乃因地形取樣點的突然躍升所導致的結果。

在前三個激發模組下, 因維度的不同所計算模組振幅的差異性, 結果分別如圖 12, 圖 13 以及圖 14 所示。由圖中我們可得知不同維度模式所計算的模組振幅的確

有所差異。並且由圖 12 及圖 14 的比較，得知模組振幅的差異隨著主導模組的模組數的提高而增加。顯示著當高模組數當初始激發聲場越能顯現出三維效應的存在。因此，除了模組耦合效應存在外，亦可看出三維效應確實存在。此一結果與聲場所計算的結果相互印證。所以台灣東北海域不僅為三維效應強烈的海洋環境，亦是模組耦合效應存在的海域。

## 六、結論

在台灣東北外海的算例中，我們主要是要討論當聲音在此地形變化劇烈及水文複雜的環境中傳播時，是否有三維效應或者模組耦合效應的發生？首先由聲場的計算得知此環境存在著強烈的三維效應( $\theta$ -coupling)。且經由模態的變化與模組振幅的計算得知其模組間能量的轉移亦十分強烈，亦有強烈的模組耦合效應(modal-coupling)的存在。再經由不同維度對模組振幅所作的計算結果比較，其差異性確實存在，與聲場的計算結果相吻合。且伴隨著主導模組數的提高，其三維效應更為明顯，顯示以高模組數當作初使激發聲場時，將使得三維效應更加明顯。故東北外海的海洋環境同時兼具三維效應與模組耦合效應。

## 七、計畫成果自評

本計畫目的在建立水聲模組分析，總共執行兩個年度，並已達成計畫目標，並且已台灣東北海域為其中之算例。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]W.Munk and C.Wunsch,"Ocean acoustic tomography: A scheme for large scale monitoring",*Deep Sea Res.* 26A(1979)123-61.

[2]The Ocean Tomography Group,"A

demonstration of ocean acoustic tomography",*Nature* 299 (1982) 121-161.

[3]T.Georges,R.Jone and J. Riley ,"Simulation ocean acoustic tomography measurements with Hamiltonian ray tracing ",*IEEE OE-11* (1986)58-71.

[4]E.C. Shang and Y.Y. Wang,"Acoustic Travel Time Computation Based on PE Solution",*J. of Computational Acoustics*,1,No,1,pp 91100,1933.

[5]K.G. Budden,"The critical coupling of modes in a tapered earth-ionosphere wave guide",*Math. Proc. Camb. Phil. Soc.* 77(1975) 567-580.

[6]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.

[7]何春蓀,"台灣地體構造的改變-台灣地體構造說明書",*中華民國經濟部*,1992.

[8]陳民本,"台灣東北外海黑潮轉向區表層沈積物及黏土礦物作古海洋之研究",*國科會專題研究計畫成果報告書*,1992.

[9]湯文慈,"台灣東北大陸棚邊緣之流暢",*國立台灣大學海洋研究所碩士論文*,1993.

[10]唐存勇,第五屆黑潮及世界環流大型計畫研討會報告,1994

[11]林育生,龔國慶,劉康克,莊文思,"黑潮大型計畫水文斷面圖集(四)",*國科會海研一號貴重儀器使用中心資料庫報告*,1994

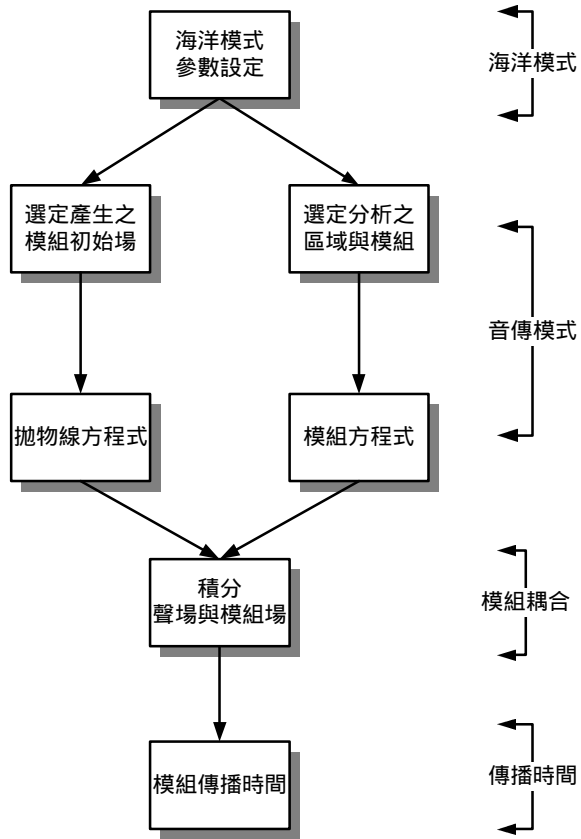


圖 1 模組分析法流程圖

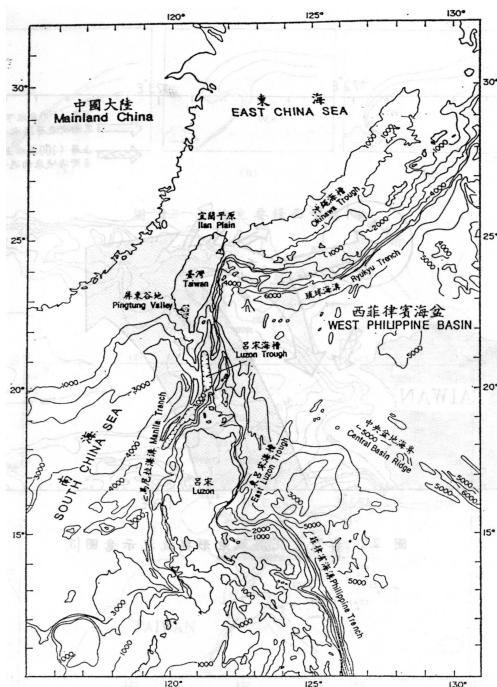


圖 2 台灣地體構造及相關單元[7]

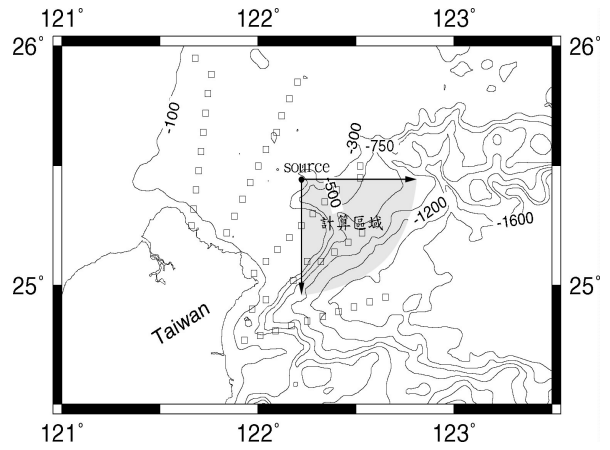


圖 3 海研一號 332b 航次測站位置及計算區域示意圖

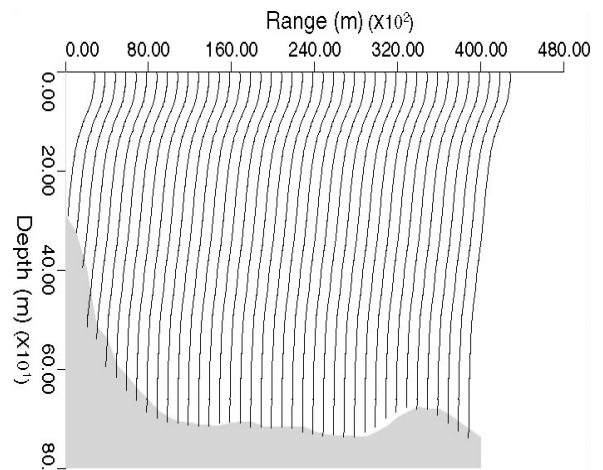


圖 4  $\theta=45^\circ$  的方位其聲速剖面隨深度及距離的變化情形

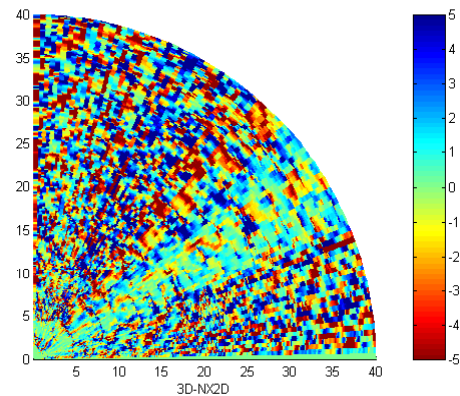


圖 5 3D 與 NX2D 聲場傳播損耗分布的差異情形



圖 6 模組 1 模態隨距離的變化情形

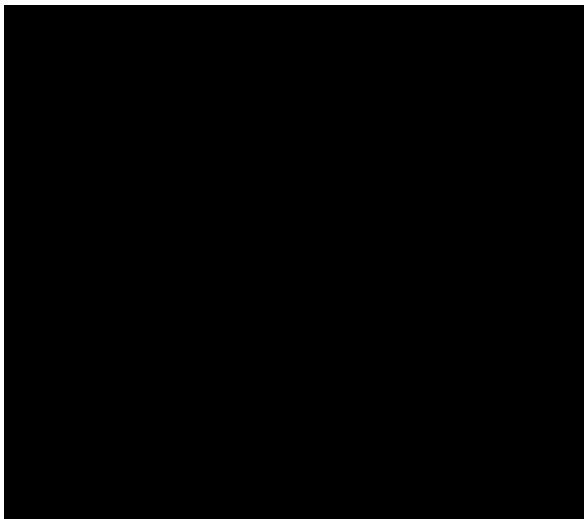


圖 7 模組 2 模態隨距離的變化情形

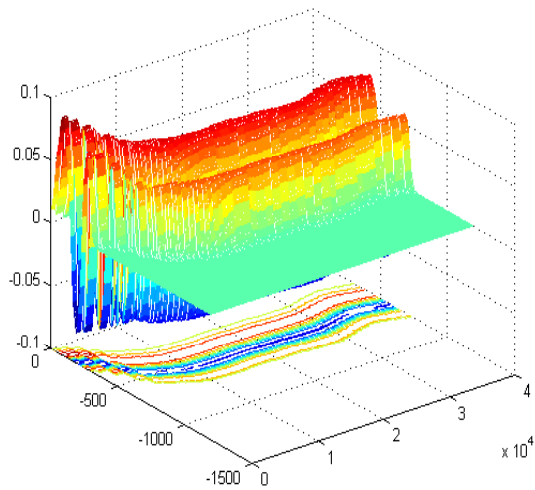


圖 9 模組 3 模態隨距離的變化情形

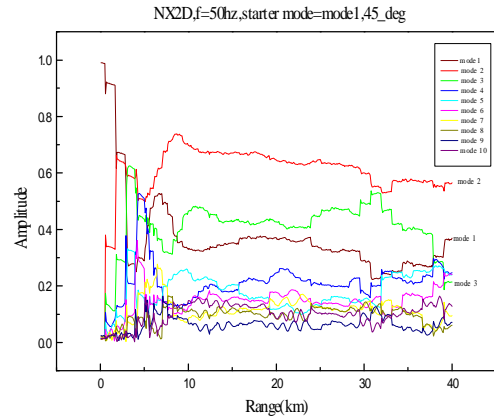


圖 10 NX2D 模組 1 當初始激發聲場，各模組振幅與距離關係

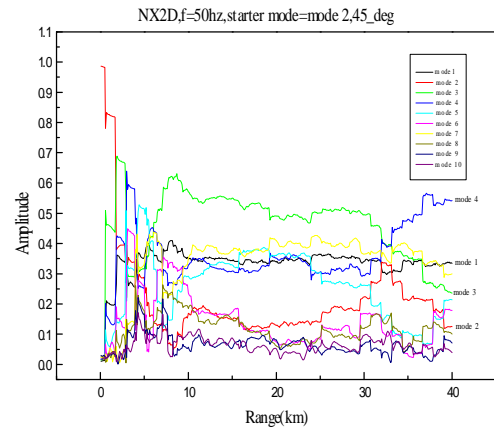


圖 10 NX2D 模組 2 當初始激發聲場，各模組振幅與距離關係

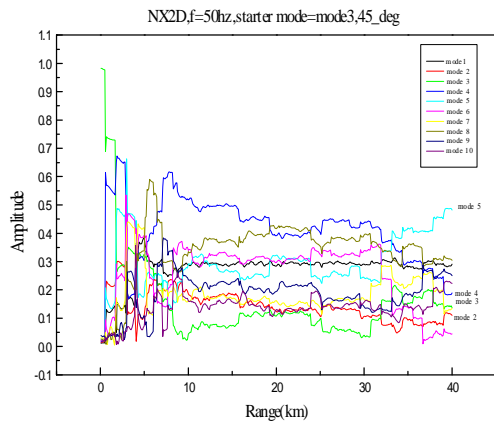


圖 11 NX2D 模組 3 當初始激發聲場，各模組振幅與距離關係

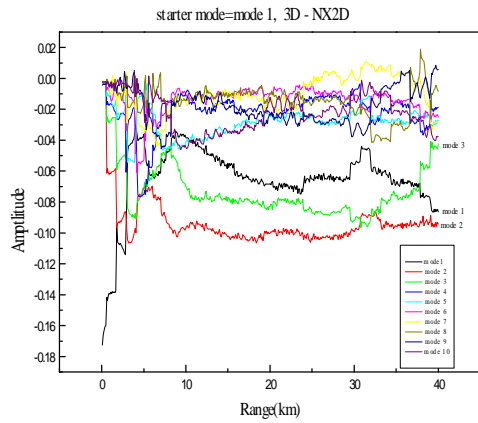


圖 12 模組 1 當初始激發聲場，不同維度計算結果的差異性

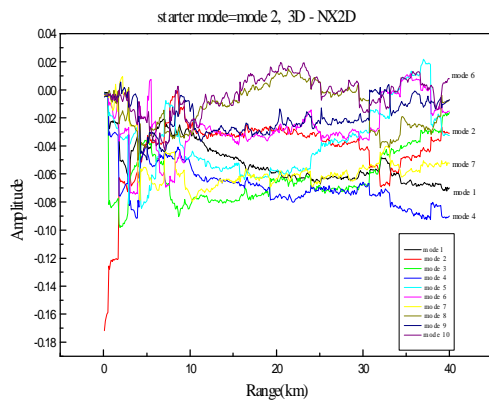


圖 13 模組 2 當初始激發聲場，不同維度計算結果的差異性

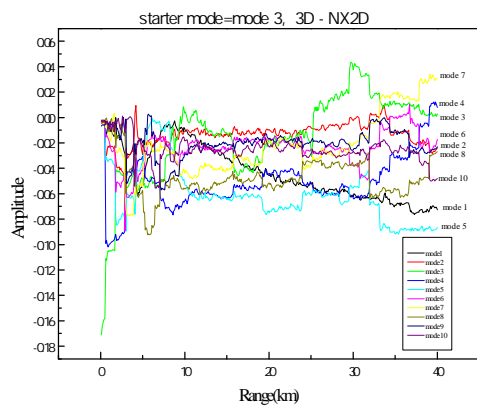


圖 14 模組 3 當初始激發聲場，不同維度計算結果的差異性