

# 第十一屆旺宏科學獎

## 成果報告書

參賽編號：SA11-282

作品名稱：收音機收訊源干涉相關研究

姓名：黃建勛

關鍵字：電磁波、干涉、收音機

# 收音機收訊源干涉相關研究

## 摘要

收音機在室內空間會存在一些收訊不佳的位置，有些位置收訊則會增強，因此推測空間中的電磁波有干涉的現象。實驗證實，在金屬空間中有些位置收音機會有收訊，有些位置收音機則沒有廣播訊號，是為干涉效應的結果。

利用平面或直線金屬材料導入電磁波訊號，收音機天線碰觸金屬不同位置會有明顯的訊號強度差異，但就同一頻段的電台在金屬同一個位置會有穩定的收訊效果，顯示金屬板上有穩定的干涉現象。金屬板的干涉形式非常複雜，利用平面鏡像虛擬波源，部分模擬結果可以得到和實驗接近的結果。

為了固定入射波源，若我們使用 FM 廣播發射器在金屬平面的中央發出廣播訊號，實驗結果與模擬結果完全相符。

## 壹、 研究動機

我們在教室收聽廣播的時候，發現收音機的位置不同，收訊品質也有所差異，偶然間把收音機碰觸到金屬的課桌椅後，發現訊號增強很多，於是在教室空間中碰觸更多的金屬材料，發現黑板面各個位置讓收音機的收訊效果並沒有一致，於是開始我們深入探討收音機原理的動機。由參考資料中得知，收音機主要接收廣播電台的電磁波，將其訊號放大後得以收聽電台節目內容，但是電磁波通過物體強度會有衰減及繞射效應，因此在室內空間常有收訊強度不足的情況。利用教室中既有的黑板當做天線增強收訊效果，並找到黑板中收訊強度最佳的點，為了瞭解原因，於是開始探討其中的物理原理。

## 貳、 研究目的

- 一、探討不同金屬板做為天線增強收訊的模式
- 二、找到金屬板中干涉的腹點，藉此在微弱訊號的空間中，可以接收廣播訊號
- 三、若固定單一 FM 廣播發射訊號位置，試著由模擬結果找到其收訊較佳的位置

## 參、 實驗原理

### 一、 電磁波探討

一般收音機使用的電磁波頻段，調頻(FM)電台 88MHz~108MHz，調幅(AM)電台 550kHz~1600kHz，電磁波以光速前進，而光速  $C = f \times \lambda$ ，其中  $f$  為電台頻率， $\lambda$  為電磁波波長，因此由廣播電台的頻道(即為電磁波頻率)可以得知該頻道對應的波長。

### 二、 波的干涉

#### (一)、 兩同調點波源的干涉

不論是橫波或是縱波，若兩同調波源  $S_1$  與  $S_2$  振幅  $A$  發出的波在空間中一點  $P$  相遇，波程差  $d = |S_1P - S_2P|$ ，波程差就決定在  $P$  點產生的最大振幅，

若兩波在  $P$  點的相位差  $\delta = \frac{d}{\lambda}$ ，則可定義相角差  $\Delta\theta = 2\pi \times \delta$ ，

利用此概念可以解得該點的振幅

$$A'(\Delta\theta) = \sqrt{(A + A \cos \Delta\theta)^2 + (A \sin \Delta\theta)^2}$$

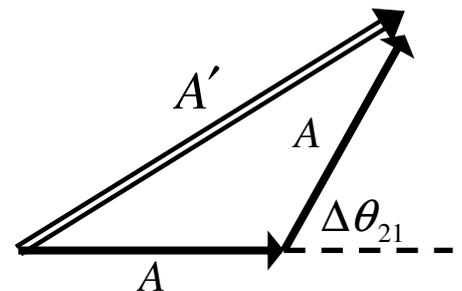


圖 1，兩個點波源的干涉

#### (二)、 多個點波源的干涉

若有三個點波源  $S_1$ 、 $S_2$  與  $S_3$ ，發出的波在  $P$  點相遇， $S_2$  與  $S_1$  相角差  $\Delta\theta_{21}$ ， $S_3$  與  $S_1$  相角差  $\Delta\theta_{31}$ ，合成的振幅為

$$A'(\Delta\theta) = \sqrt{(A + A \cos \Delta\theta_{21} + A \cos \Delta\theta_{31})^2 + (A \sin \Delta\theta_{21} + A \sin \Delta\theta_{31})^2}$$

以此類推，若有  $n$  個點波源

$S_1$ 、 $S_2$ ... $S_n$ ， $S_n$  與  $S_1$  相位角差  $\Delta\theta_{k1}$  合成振幅

$$A'(\Delta\theta) = \sqrt{\left(\sum_{k=1}^n A \cos \Delta\theta_{k1}\right)^2 + \left(\sum_{k=2}^n A \sin \Delta\theta_{k1}\right)^2}$$

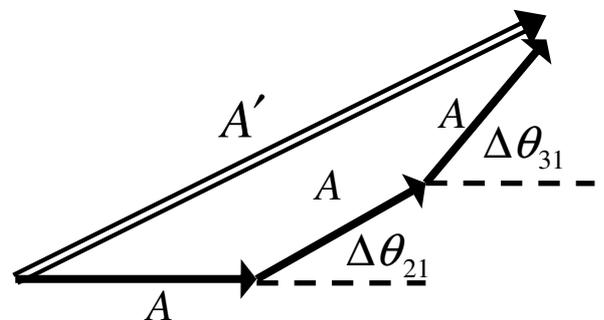
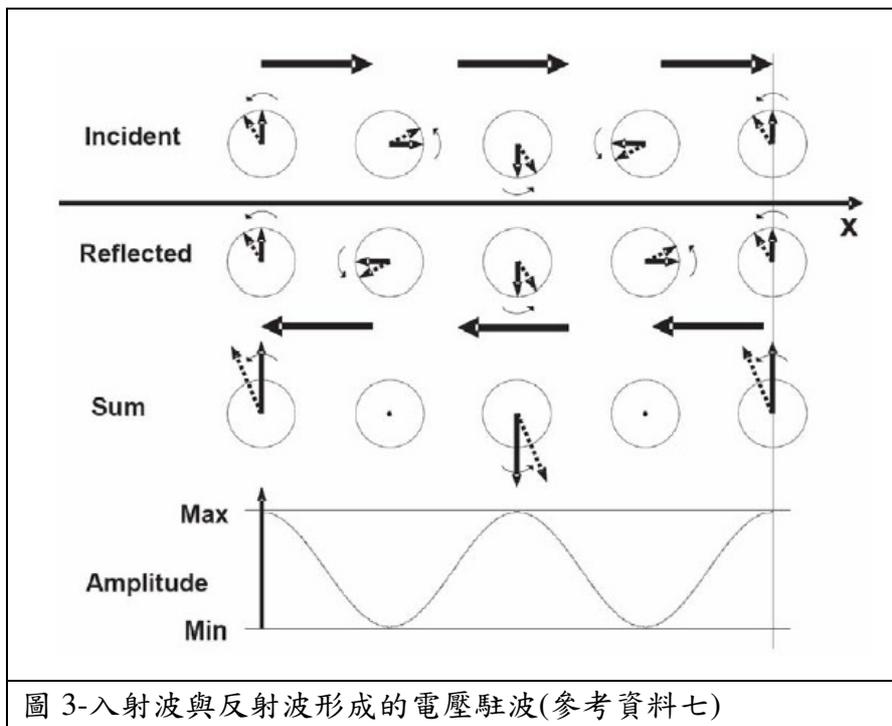


圖 2，三個點波源的干涉

#### (三)、 電壓駐波

由參考資料七得知，傳輸線上的電壓會是入射波與反射波的總合，而無法區兩者。這兩個波會在某些位置形成加強性干涉，有些位置則會互相抵消，形成各點電壓的壓異，如圖 3 所示，可以用多個點波源干涉的方法計算電磁波的干涉。



#### (四)、收音機接收原理

由參考資料一可知，收音機主要是靠接收天線感測電磁場的變化，電場驅動導體內的電子運動，產生電壓，此時設定電容或電感讓線路的振盪頻率與信號頻率相同，便可將接收到的訊號加強後，驅動喇叭而產生聲音。

### 肆、 研究設備及器材

- 一、聲寶掌上型收音機
- 二、各種尺寸黑板、白板
- 三、鋁箔紙
- 四、捕鼠器
- 五、各式金屬容器
- 六、各種長度金屬條、鐵絲
- 七、mathematica 程式
- 八、FM 廣播發射器

### 伍、 研究過程與討論

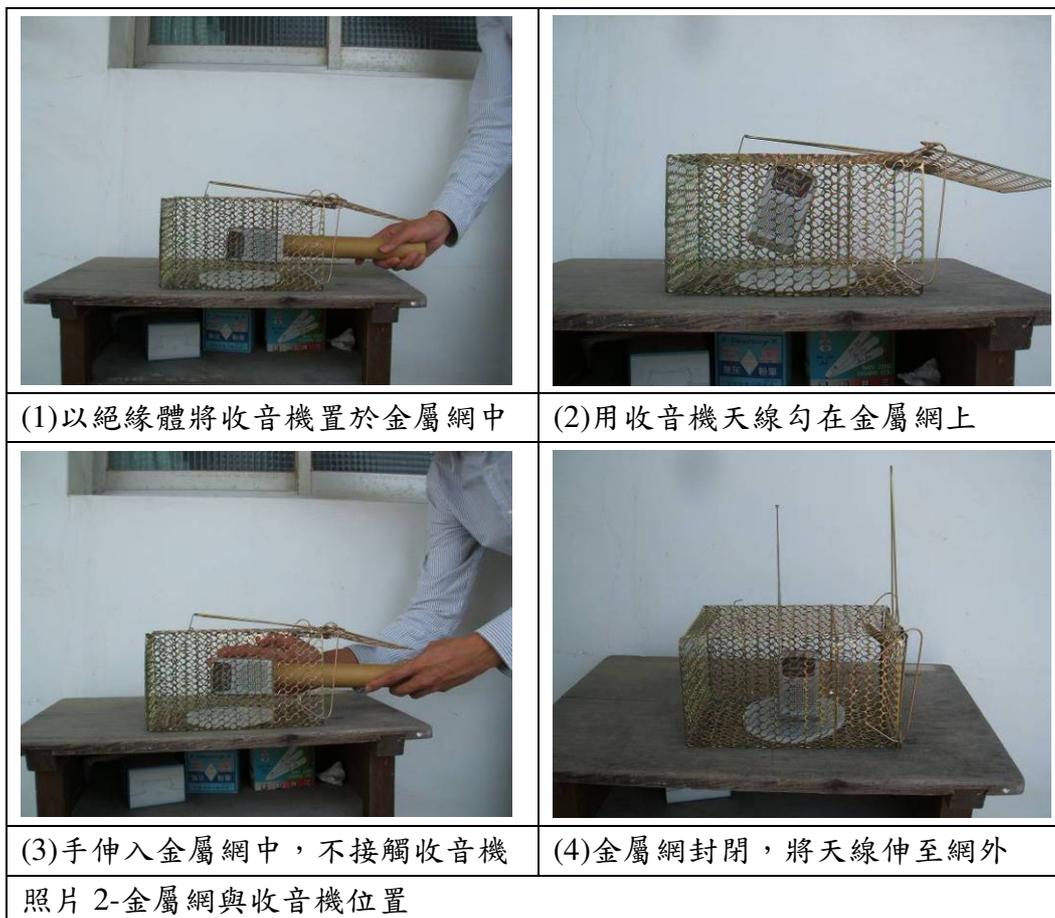
- 一、收音機電磁波的屏蔽

#### (一)、金屬網對收音機的屏蔽

實驗中我們使用聲寶掌上型收音機，如照片 1，本次作品的實驗皆以 FM 調頻電台作為實驗接收的頻道，實驗頻率範圍在 88-96MHz 之間，讓收音機的波長約 315~340 公分左右。

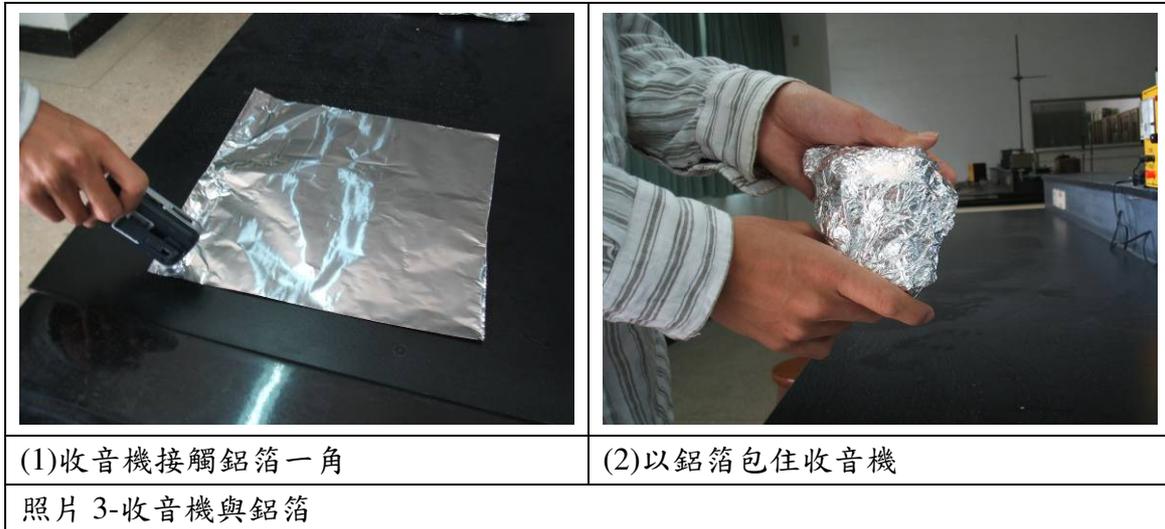


金屬網的孔洞比廣播電台的波長小的許多，我們在室外訊號極強處，以照片 2-(1)、照片 2-(2)的方式將收音機置於金屬網中，收音機完全沒有收訊，但是，若以照片 2-(3)、照片 2-(4)的方式擺設，則收音機又有訊號產生，以照片 2-(3)的實驗推測人體有導入電磁波的能力，照片 2-(4)的實驗結果我們推測收音機的天線接收空間中的電磁波後在天線中產生電場，讓外部天線中的電子受電場影響而流動，電流訊號導入收音機，因而不受金屬網隔離電磁波的影響。



## (二)、鋁箔天線與屏蔽

我們在室內選擇了訊號較弱的電台，並切割一張 30cm 正方的鋁箔，收音機接觸鋁箔附有訊號放大的效果，照片 3-(1)。接著以鋁箔包住收音機後，天線雖然有碰觸到鋁箔，可是收音機的訊號完全消失，照片 3-(2)。



鋁箔可以做收音機的天線使用，但是完全包住收音機則產生屏蔽的效果。

## 二、板狀金屬天線實驗

### (一)、小白板做為收音機天線實驗

由照片 3-(1)似乎發現，鋁箔作為收音機的天線並不是整個鋁箔面皆可讓訊號強度增強相同的效果，因此我們找到小白板(照片 4)作為較大的金屬板天線來做實驗後發現，我們改變不同的頻道做測試，每個頻道似乎都會在白板的一角無法增強收音機訊號，另一角則是增強明顯。實驗中也發現，對同位置的白板，有些電台主要是照片 4 中右下角訊號增強效果不好，另一些電台主要是左下角的訊號增強效果不好，因此可知電台的位置會影響實驗的結果。



我們推測白板表面的電子有著穩定的干涉結果，參考資料六可得知金屬表面電子產生的原因為電磁波的電場在金屬表面驅動電子的結果，因此試著以波的干涉去探討其中的結果。

根據干涉的觀念，我們假設電磁波在金屬板中若有一主要入射點波源，則會在邊界產生類似鏡子的效應，而有四個鏡像點波源，如圖 4。並設定鏡像波源發出波的相位與主波源同相位。

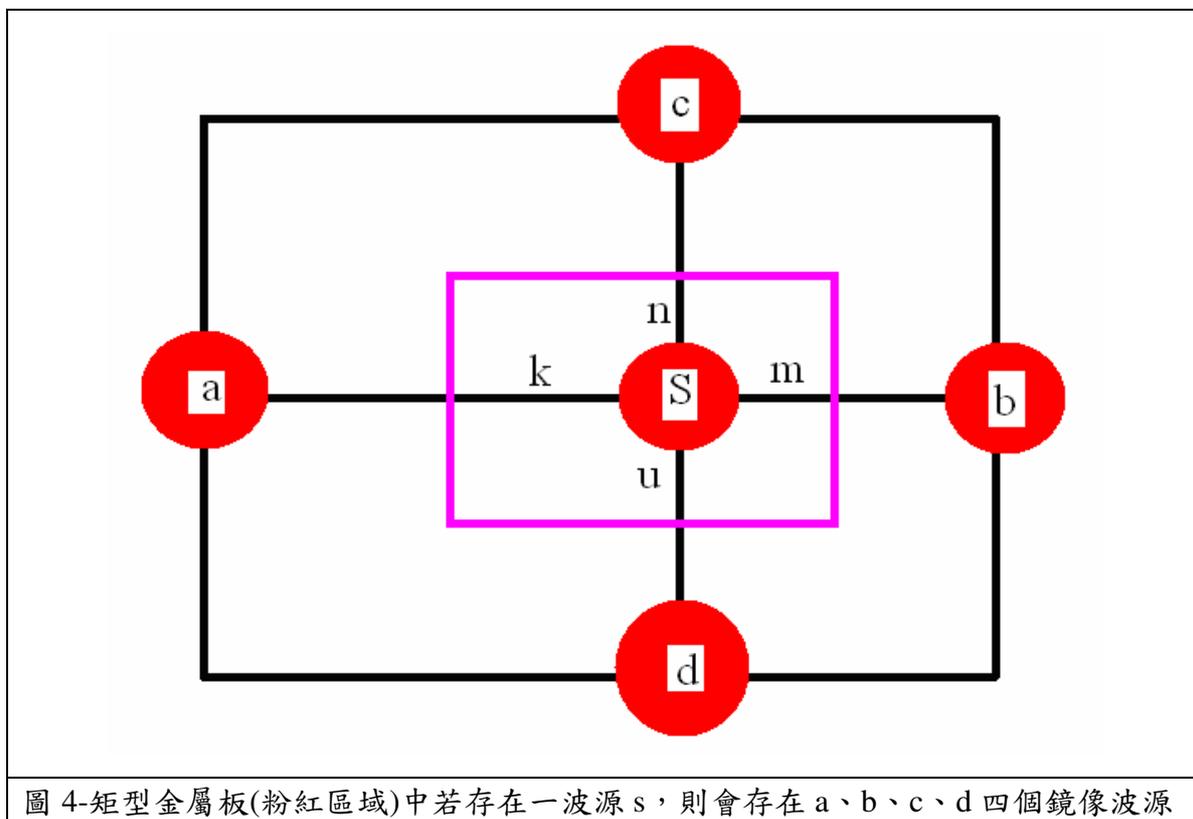


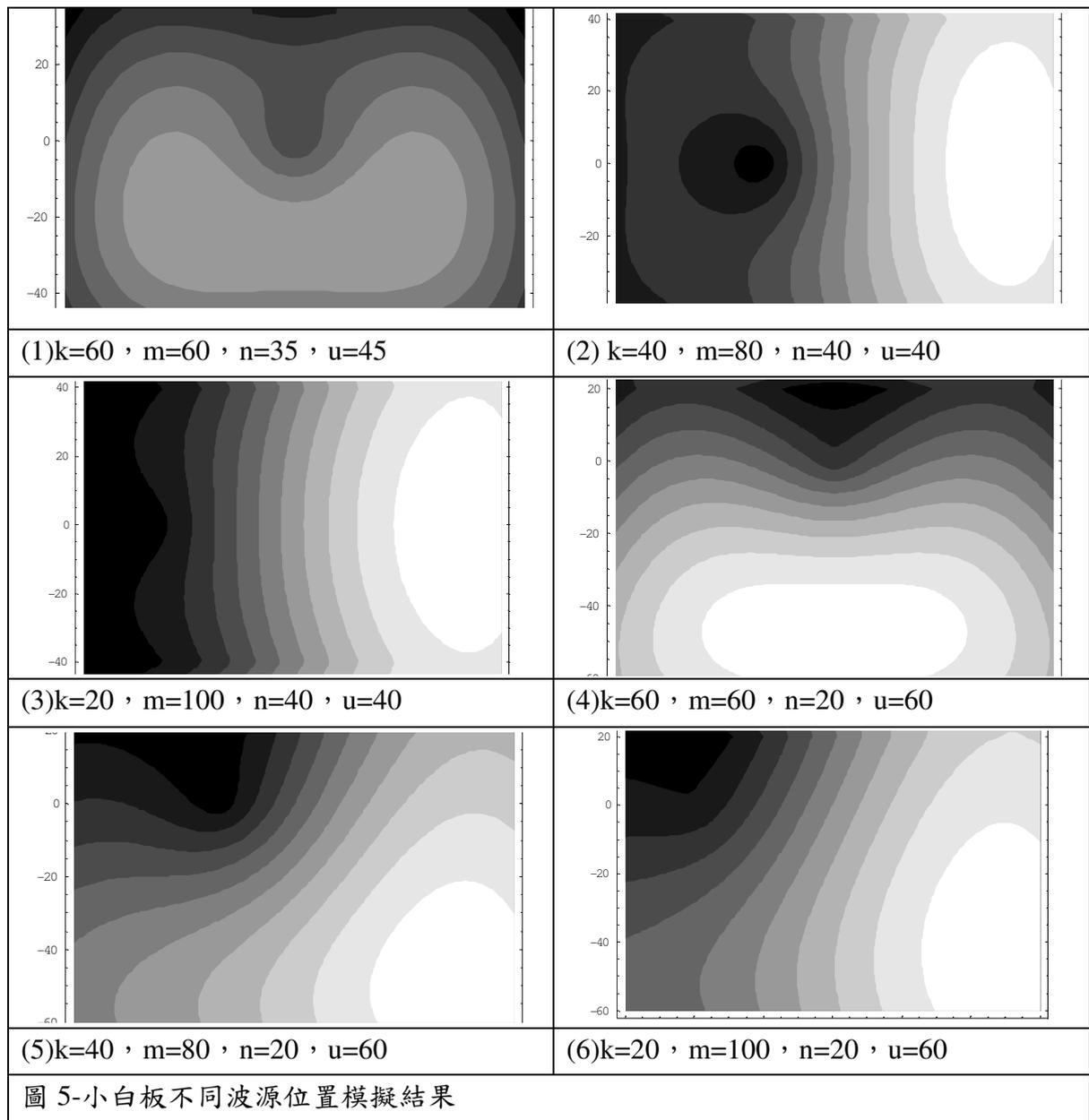
圖 4 的 a、b、c、d 為對應波源的編號，k、m、n、u 則為波源 s 各自對應到金屬邊界的直線距離，因此 a、b、c、d 到 s 的距離分別為  $2k$ 、 $2m$ 、 $2n$ 、 $2u$ 。

有鏡像概念後，試圖以 mathematica 模擬不同波源位置可能造成的結果，如圖 5 所示。

註 1：在本報告書中，我們定義模擬結果的方式：  
振幅較小的點為節點(圖片較暗處)，振幅較強的點為腹點(圖片較亮處)。

註 2：電流速度接近光速，參考資料九知，我們可以把電流類比成聲波(縱波)去想像，因此由實驗原理可以得知，已知電子振盪的頻率(即電磁波頻率)，即可以得到電流的波長與電磁波相同，藉由這個假設，在模擬金屬板實驗代入的波長即為廣播電台電磁波波長。

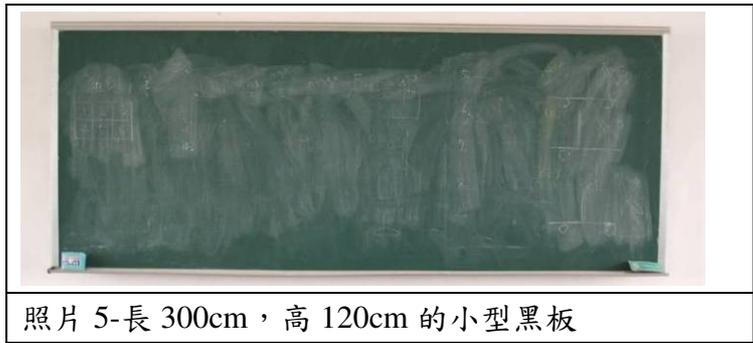
註 3：就我們的假設，一個平面入射一個點波源，即對應四個鏡像點波源，真實的情鏡中若有 n 個入射點波源，則有  $4n$  個鏡像點波源，整個平面的干涉結果即為這  $5n$  個點波源疊加的總合成。



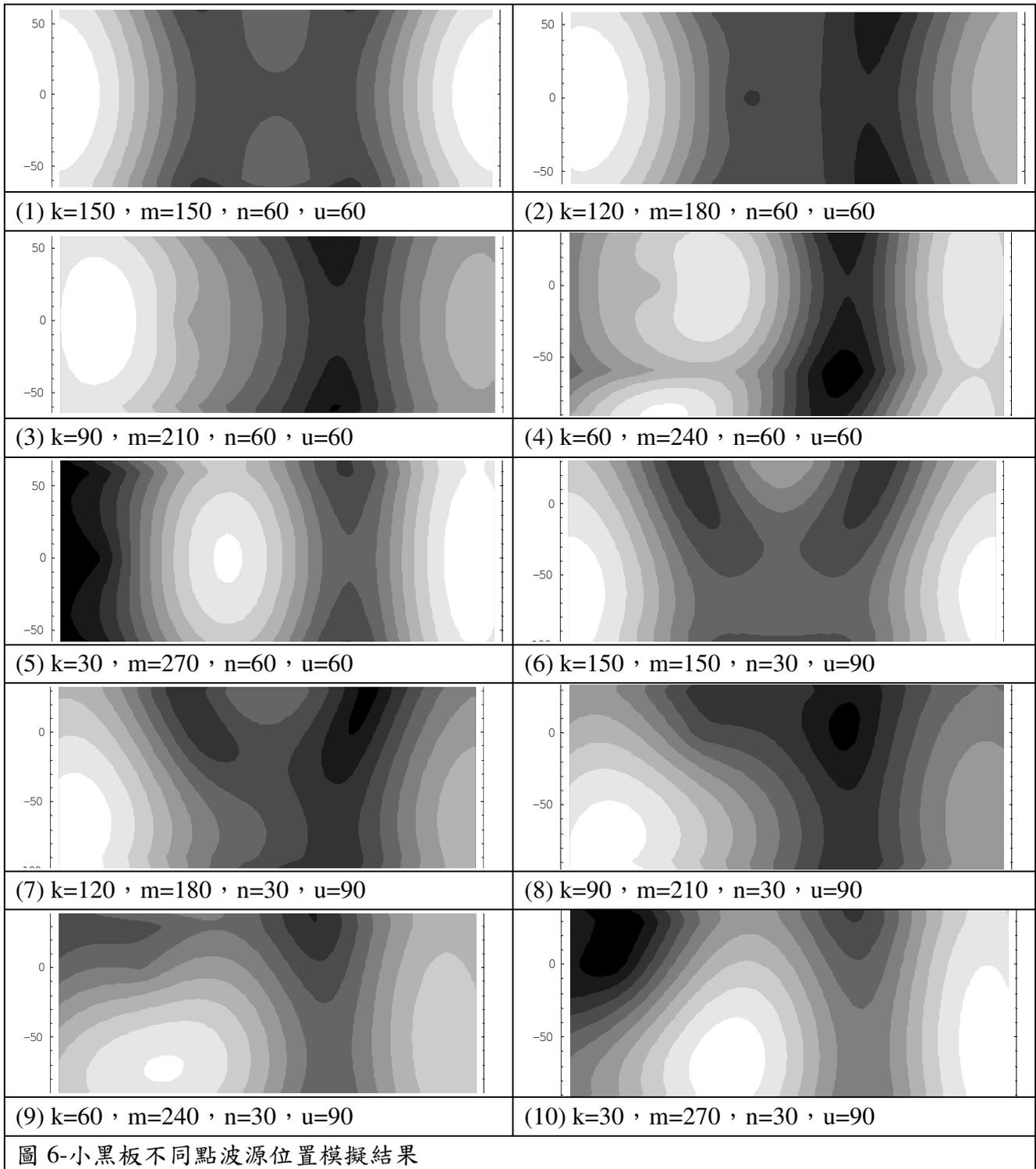
我們以中間為基準，每隔 20cm 模擬出金屬板的 6 個代表入射波源，6 入射波源的平面干涉結果，皆發現左上角都是波節的位置，因而推測廣播電台的電磁波在金屬板面的區域導入電場後，在角落收訊沒有增強效果，是因為每個主波源與對應其四個鏡像波源彼此干涉的結果。

## (二)、小黑板做為天線實驗

我們試著找較大的金屬板做為另一個天線使用，我們想到實驗室的小黑板似乎也可以當做金屬板使用。把小黑板做為天線使用時，在黑板的正中心幾乎沒有增強的效果，偶爾有幾個頻道在一個角落處訊號會沒有增強的效果外，四個角落增強的效果都非常的良好。



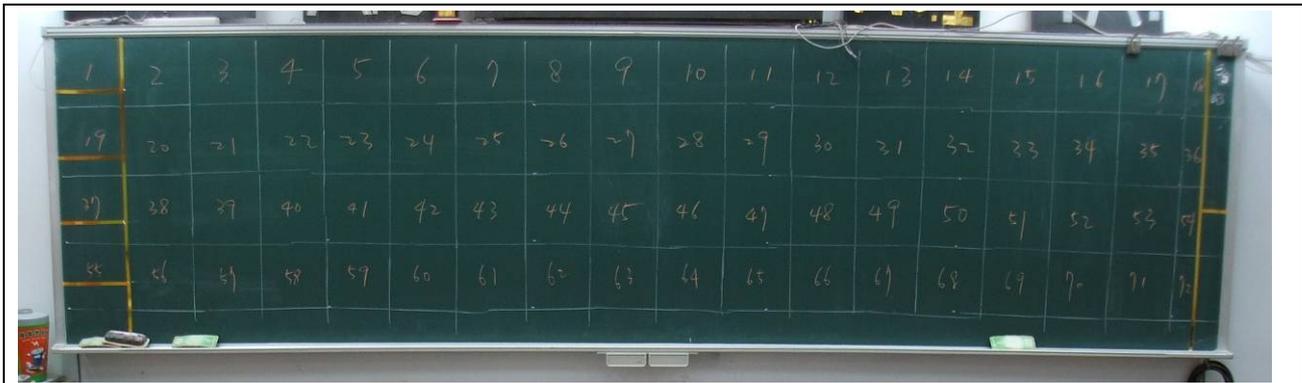
照片 5-長 300cm，高 120cm 的小型黑板



我們改變圖 4 的參數輸入 mathematica 去配合小黑板，發現大多數的節點都在中間，只有部分數據的節點在角落，大致符合我們的實驗結果。

### (三)、教室大黑板做為天線實驗

不同頻道、不同教室的大黑板實驗的結果差異很大，因此我們把黑板每 25cm 正方為一個區塊，並從左至右，依序編號來描述在黑板不同位置的實驗結果。



照片 7-長，高 110 的大黑板

大黑板的實驗沒有規律性，多次實驗大致出現四種結果，如表格 1。

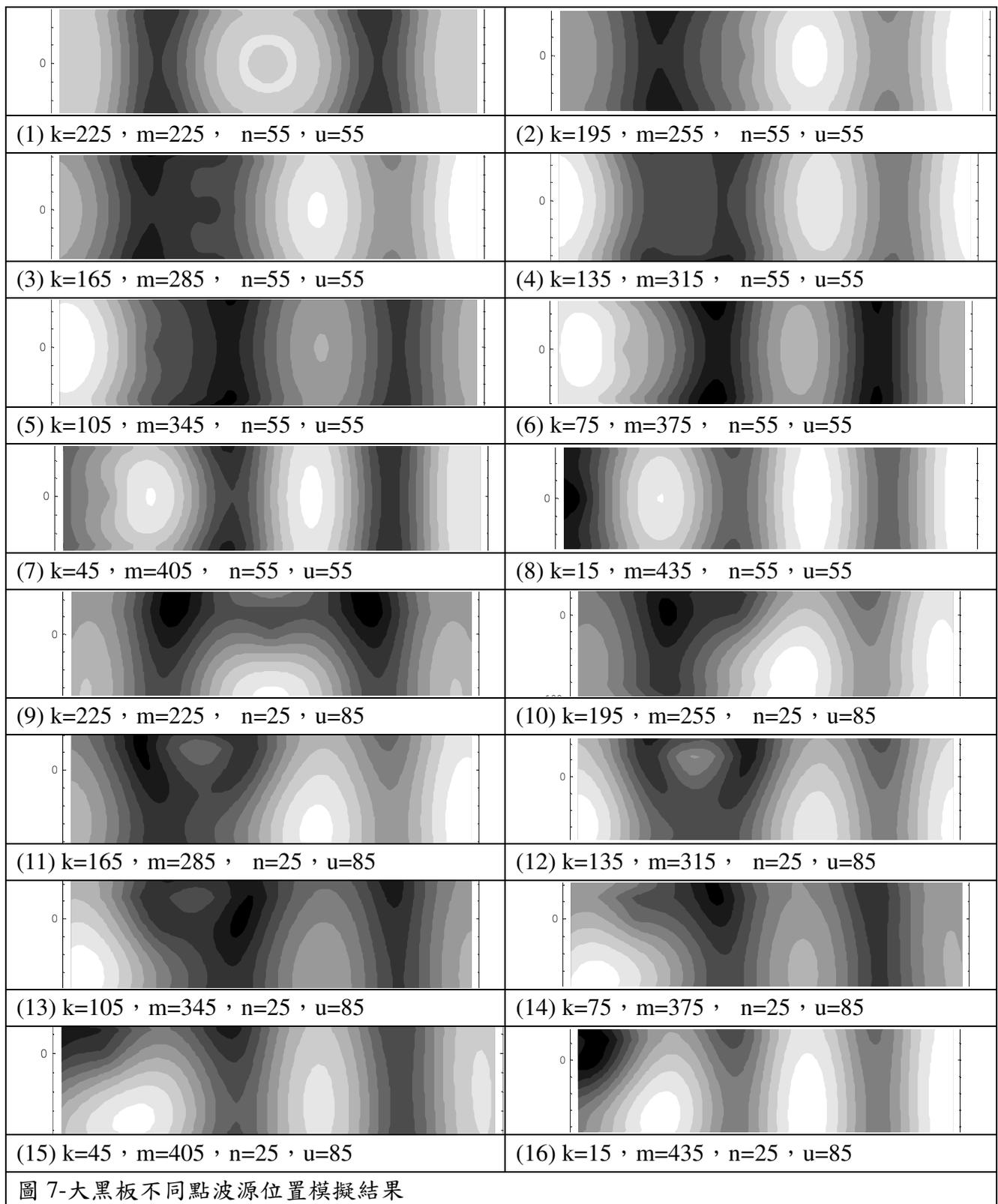
實驗結果一(經常出現)	節點在編號 43、48
實驗結果二	節點在編號 26、28、45、46
實驗結果三	腹點在編號 1、13、59、72
實驗結果四	腹點在編號 1、26、27、28、44、45、46、72
表格 1-大黑板常見的實驗結果整理	

我們嘗試模擬黑板可能的點波源產生的干涉結果，整理如圖 7 所示，發現模擬的幾個結果沒有一致性。實驗大致整理出四種結果，最常出現實驗結果一，大致符合圖 7-(9)，實驗結果二收訊不良的點在黑板的中間，實驗結果三在對角收訊明顯的增強，而實驗結果四的大致在對角角落與中央有明顯的增強效果，實驗結果三與實驗結果四在我們的模擬結果並沒有找到相似的對應圖示，因此我們推論，較大金屬板干涉的結果可以用模擬的各種數據做疊加。

若我們把圖 7-(1)設定成一組圖形函數 $|1\rangle$ ，再設定函數 $|1\rangle$ 的相位為 $\phi_1$ ，振幅 $A_1$ ，同理把圖 7-(2)設定成一組圖形函數 $|2\rangle$ ，相位為 $\phi_2$ ，振幅為 $A_2$ ，以此類推可以得到我們的實驗結果對應的圖形 $A$ ， $A$ 可以用下式表示疊加結果。

$$A = A_1\phi_1 |1\rangle + A_2\phi_2 |2\rangle + A_3\phi_3 |3\rangle + \dots + A_{15}\phi_{15} |15\rangle + A_{16}\phi_{16} |16\rangle$$

因此可以得知，較大的金屬板干涉的形式較為複雜，所以才會得到多種不同的實驗結果。



由圖 7 的模擬結果發現不同的波源產生的干涉結果不一樣，但是可以發現模擬的結果有類似直線上點波源彼此干涉的效果。

### 三、條狀金屬天線實驗

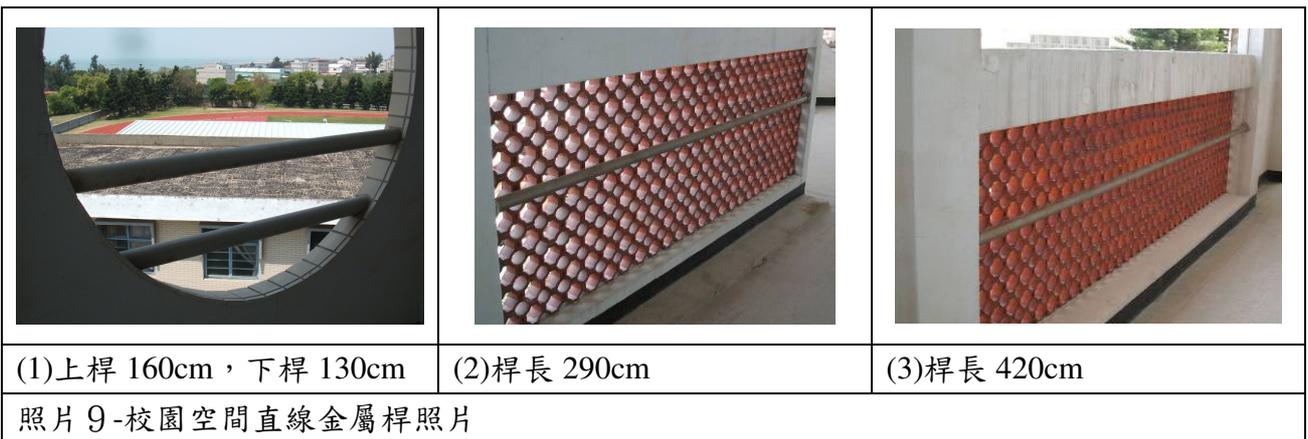
#### (一)直線金屬

在實驗的過程中，明顯的發現長 120cm 的金屬導線，收音機天線愈往下收到的訊號有漸弱的趨勢，60cm 的金屬收訊線效果則是均勻沒有差異，此實驗要在室內效果才明顯。



照片 8-塑膠底座，不同長度金屬棒

我們試著以實驗室外走廊的一些金屬桿作為天線材料，如照片 9，在建築物一側(電台方向)的金屬管收訊效果都非常的良好，於是我們到另一側實驗，發現金屬管中一樣可以發現收音機訊號增強與較弱的點，針對同一電台，不同長度金屬桿實驗的結果如表格 2。

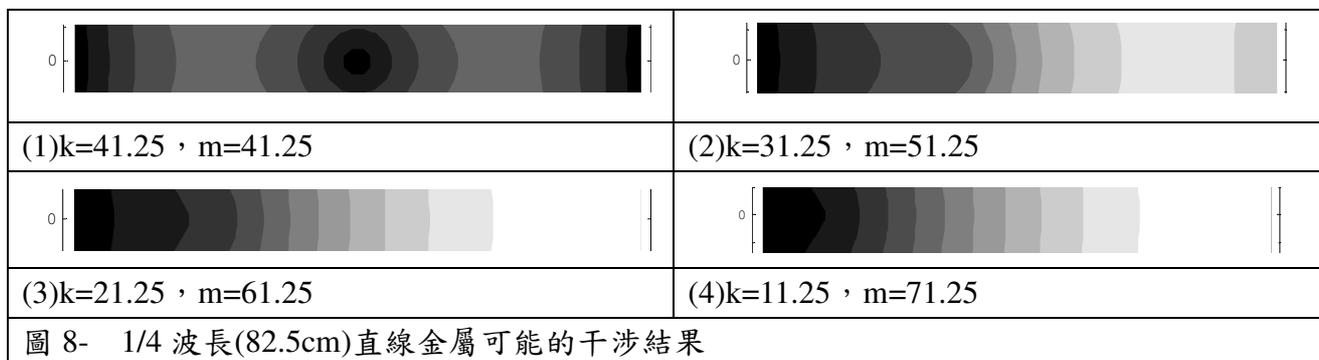


長度	130cm	160cm	290cm	420cm
節點坐標	漸弱(不明顯)	漸弱	20cm，200cm	100cm，220cm，340cm

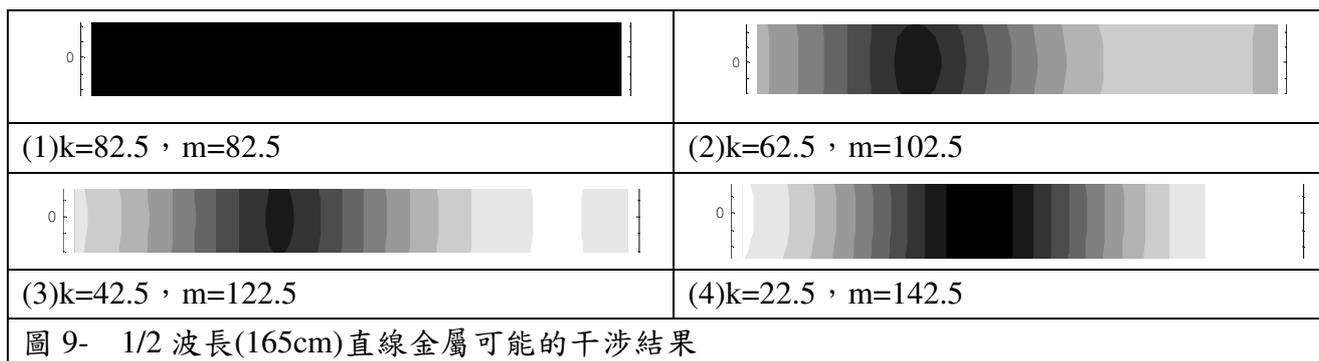
表格 2-校園空間直線金屬桿實驗結果

我們發現，較短的金屬桿似乎沒有明顯的節點腹點，而較長的金屬桿可以找到收訊較差的節點，但是並沒有發現半波長整數的規律性，故可以推論為直線上多個入射點波源干涉疊加的結果。

參考資料一有說明，若天線的長度大於  $1/4$  波長收訊的品質會較佳，於是我們試著以我們的理論去模擬  $1/4$  波長可能的干涉結果。發現在端點的地方都是節點，如圖 8 所示。



我們再試著模擬半波長與波長長度直線金屬可能的干涉結果，如圖 9、10 所示。



半波長的干涉結果除了圖 9-(1)，不同波源都有一個節點。

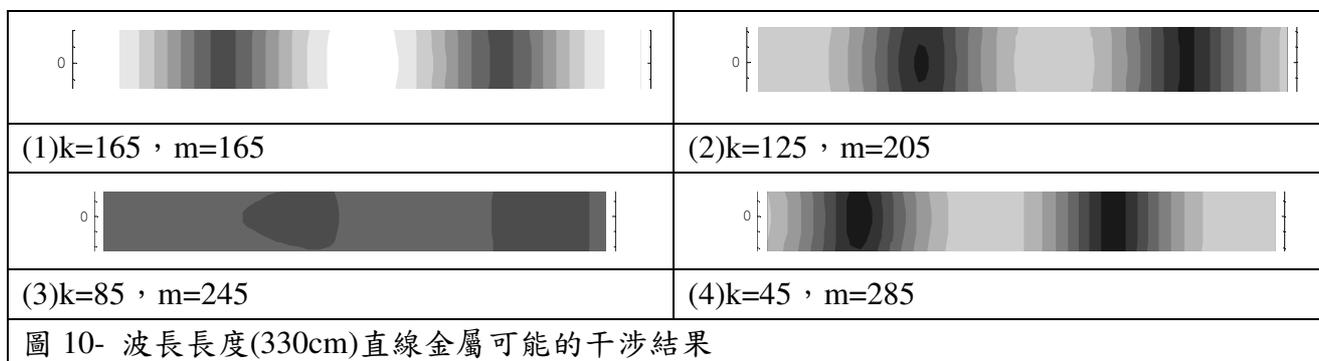
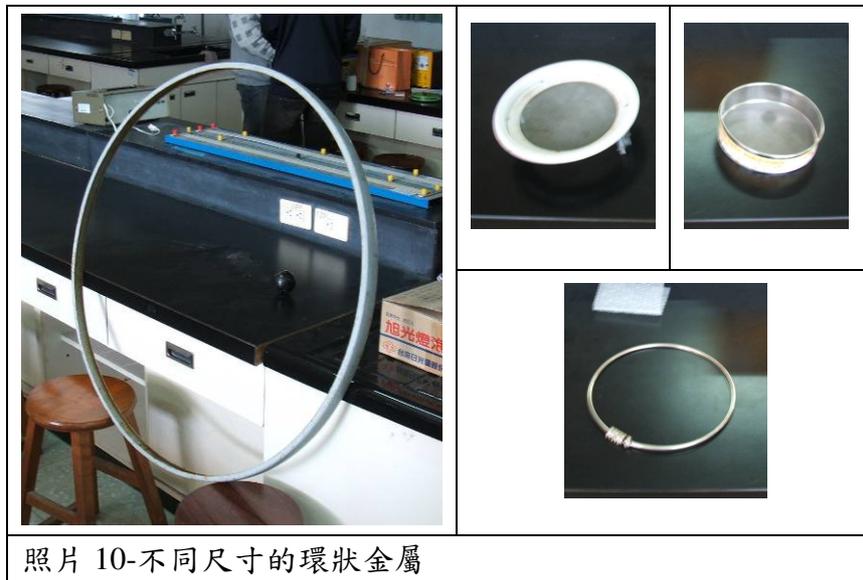


圖 10 為波長長度金屬的干涉可能，不論入射的波源為何，都有兩個節點在直線上。

我們所設定的波長 330cm 來看，我們模擬的結果則是要到一定的長度後，干涉的節點腹點才會在直線上明顯的呈現。而且我們實驗的直線金屬長度在 120cm 到 160cm 收訊強度都是漸弱的情況，類似節點在端點處的情況，而 290cm 長度的實驗結果有兩個節點與波長模擬結果相似，420cm 長度金屬的實驗結果則有三個節點。

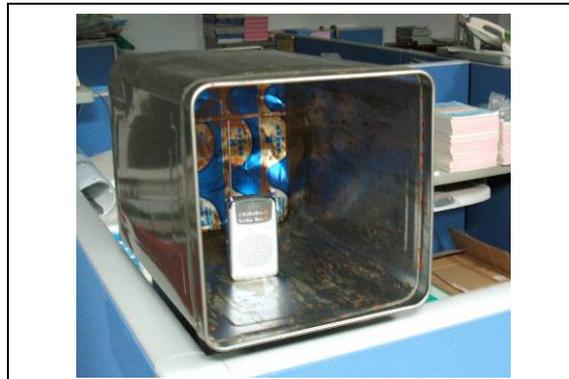
## (二)環狀金屬



我們嘗試以環狀的金屬來做實驗，經過多次的試驗結果整個環的各處(不含網狀)，收訊的效果差異不大，由參考資料七可以得知，圓環面積與位置似乎就決定了收訊的要素。

#### 四、空間中電磁波干涉實驗

在參考資料二的文獻中，我們發現電磁波在空間中也會有干涉效應產生，於是我們把收音機放置到金屬的箱子中，如照片 11，發現就算有一邊開口，收音機也是沒有訊號，於是推測，可能是廣播電台的電磁波波長較大，在洞口就繞射使強度衰減，廣播電台的電磁波無法導入金屬殼中。



照片 11-收音機放置於小金屬箱

因此我們找到空的金屬貨櫃，希望可以讓電磁波導入金屬空間，進而模擬出空間中的干涉結果。



貨櫃完全封閉的狀態下，收音機是完全沒有訊號，於是我們開啓一邊的門，以紙箱做為放置收音機的底座，並固定天線的方向朝上，試圖量測貨櫃空間中不同位置的收音狀態，並改變高度量測出三種高度的實驗數據。我們把貨櫃空間做等大小的切割，並以把收訊品質區分成三種類型，x 為沒有收訊，v 為有雜訊，o 為收訊良好，並對同一層高度進度整理。圖 11 的紅色區域為貨櫃的開口處。

x	v	x	o	o	o	v	v	x	x	x	x	x	v	上
x	x	x	v	v	o	v	v	v	v	v	o	o	o	
v	v	v	o	o	o	o	o	v	v	o	o	o	o	
x	x	x	x	x	v	o	o	x	x	v	x	v	x	
x	x	x	x	x	o	o	v	v	x	v	v	x	x	

(1)貨櫃上方，高 180cm

x	x	x	v	v	x	x	v	x	x	x	x	x	x	中
x	x	v	v	o	x	x	x	x	x	x	x	x	v	
o	o	o	o	v	v	x	v	x	x	x	x	x	x	
x	x	x	x	x	x	v	x	x	x	v	x	x	x	
x	x	x	x	x	v	v	v	x	v	v	v	x	x	

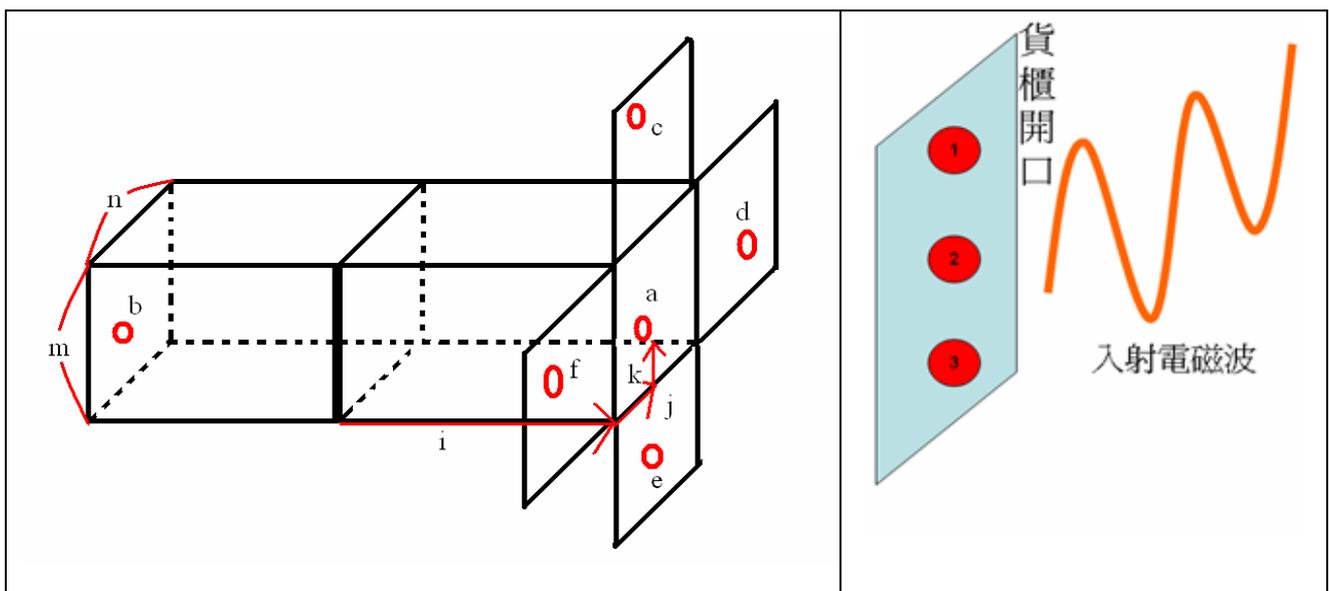
(2)貨櫃中層，高 120cm

x	x	x	v	v	x	x	v	x	x	x	x	x	x	下
x	v	v	o	o	v	x	x	x	x	x	v	v	o	
o	o	v	o	o	v	o	o	o	o	o	o	o	o	
x	x	x	x	x	o	o	o	o	x	x	o	o	v	
x	x	v	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

(3)貨櫃底層，高 60cm

圖 11-貨櫃空間中實驗結果，貨櫃長 540cm、寬 280cm、高 280cm

不同高度干涉的結果都不相同，且沒有規律性質可言，我們也試著在門的開口處，模擬三種點波源，圖 12-(2)，試圖找出空間中電磁波干涉的可能結果。

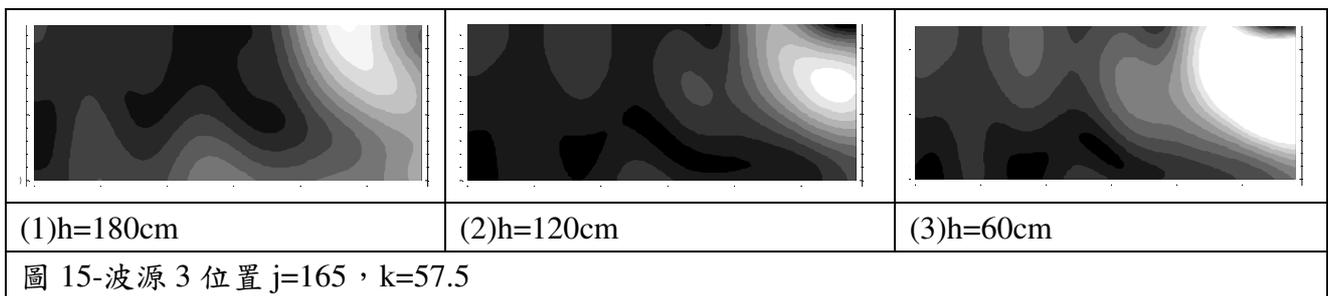
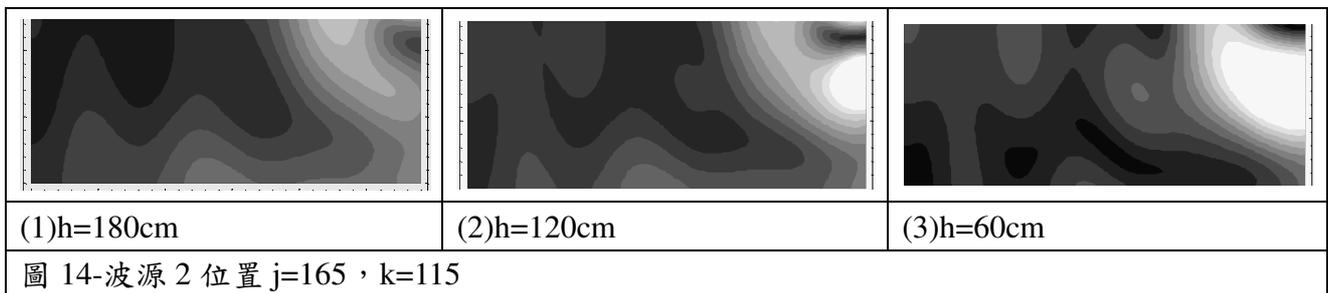
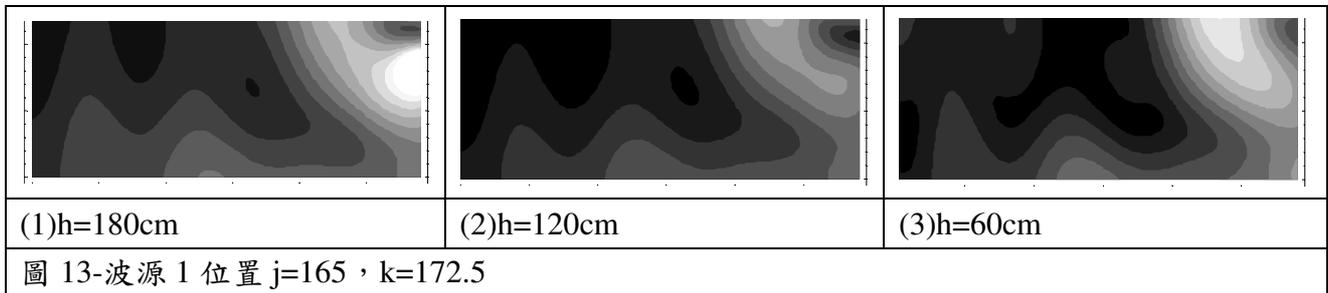


(1)空間中鏡像對應波源示意圖

(2)三個模擬波源

圖 12-空間參數與波源示意圖，波源 1、波源 2、波源 3 可能為不同的相位

我們把圖 12-(1)中對應貨櫃的參數輸入 mathematica 中，模擬對應高度干涉的結果，波源 a 的位置座標為 j、k，參數 i、n、m 則為貨櫃長、寬、高，輸入 i=540cm、n=280cm、m=280cm，並假設各點波源發射強度為 1，強度隨著距離平方反比，得到以下對應的模擬結果。



在 h=120 的實驗結果中，並沒有因為接近貨櫃開口而訊號變強，由模擬的結果都顯示在 h=120 的高度，接近貨櫃開口處應該是收訊良好的地方，因而推測實驗的結果為開口處有多個點波源作用的結果。

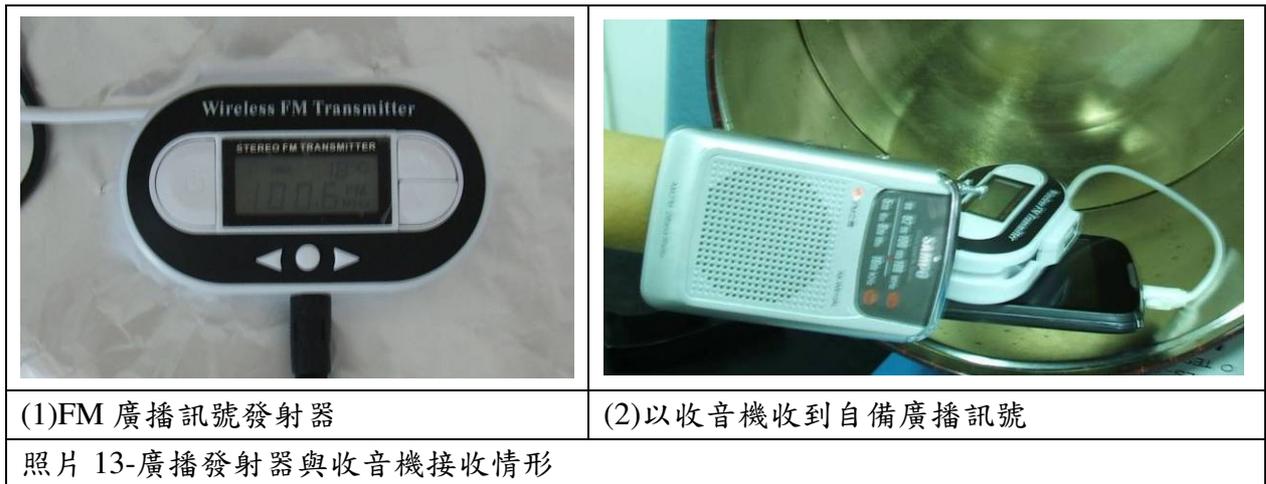
單一波源的模擬和實驗結果不完全對應，但大致上有相似的結果。要得到完全相同的模擬結果，空間中導入的電磁波不可視為一個點波源，應該要配合更多點波源的模擬結果來做疊加，且每個點波源還要考慮相位的因素，因此多個點波源模擬結果的腹點在實驗中不一定會被呈現出來，因為相位差可能讓單一點波源腹點的地方實際上是節點。在中層貨櫃開口處三個點波源模擬結果皆為腹點，但這三個點波源發射時若為不同相位，真實情況就可能為波節的位置。因此，若空間中點 p 干涉後振幅為 A，該層的干涉結果可以設圖 13 波源 1 成一組圖形函數 |1)，相位為  $\phi_1$ ，振幅  $A_1$ ，同理圖 14 波源 2 設定成函數 |2)，相位為  $\phi_2$ ，振幅為  $A_2$ ，圖 15 波源 3 設定成函數 |3)，相位為  $\phi_3$ ，振幅為  $A_3$ ，合成振幅 A 可以用下式表示疊加結果。

$$A = A_1\phi_1 |1) + A_2\phi_2 |2) + A_3\phi_3 |3)$$

## 五、FM 廣播訊號發射器做為平面點波源實驗

在先前的許多實驗中，我們無法確定入射波源的位置，於是必須模擬各種不同的波源的干涉圖案，再進行比對，實驗的結果可能與特定點波源模擬圖類似，或是找不到模擬圖可以對應實驗結果，而推論可能是多點波源干涉再疊加的關係。

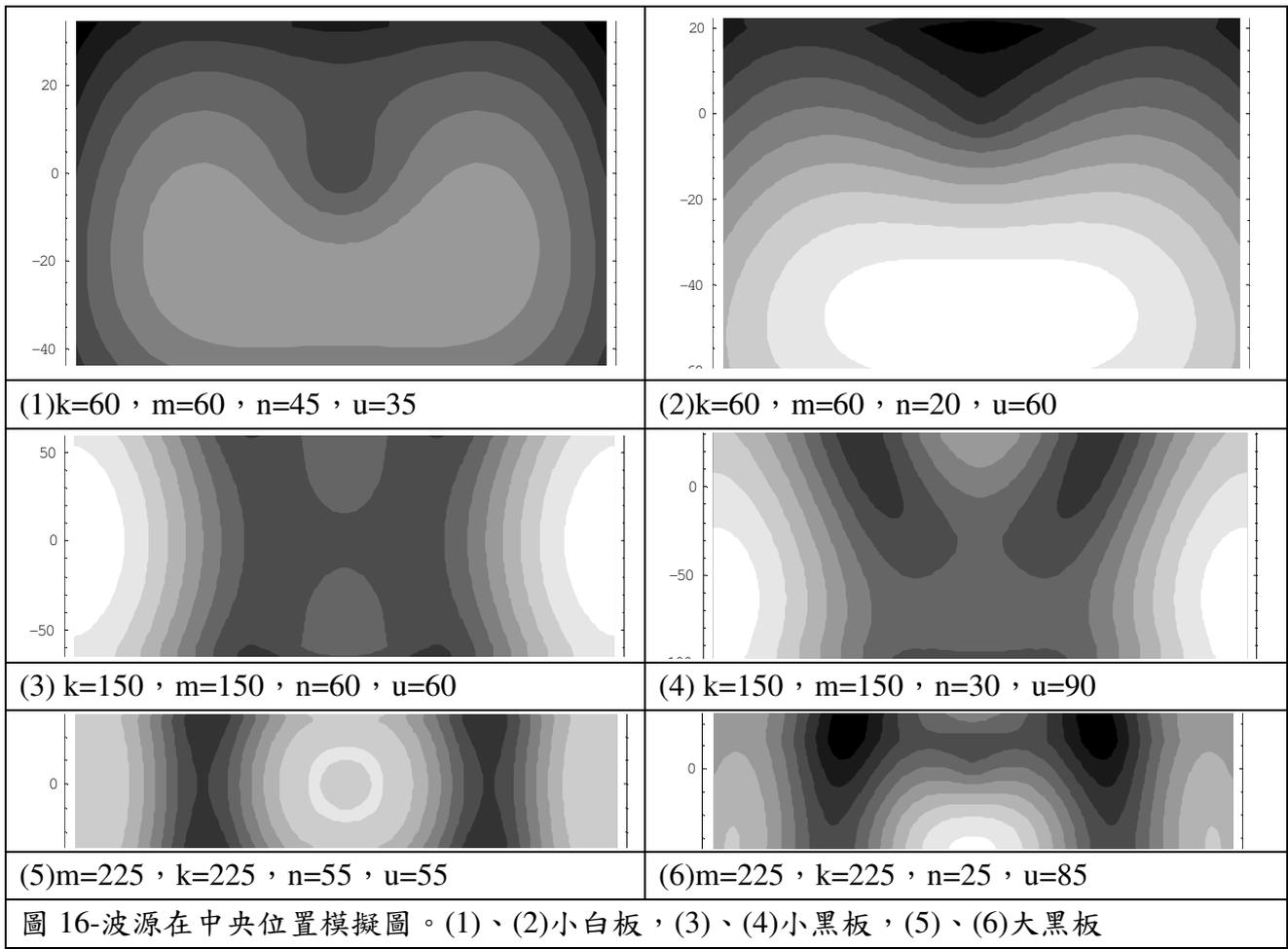
於是我們在網路上找到 FM 廣播發射器，如照片 13。發射範圍可達十公尺，且可以自己調整發射的收音機頻道，有利於我們控制實驗結果為單一點波源所造成。



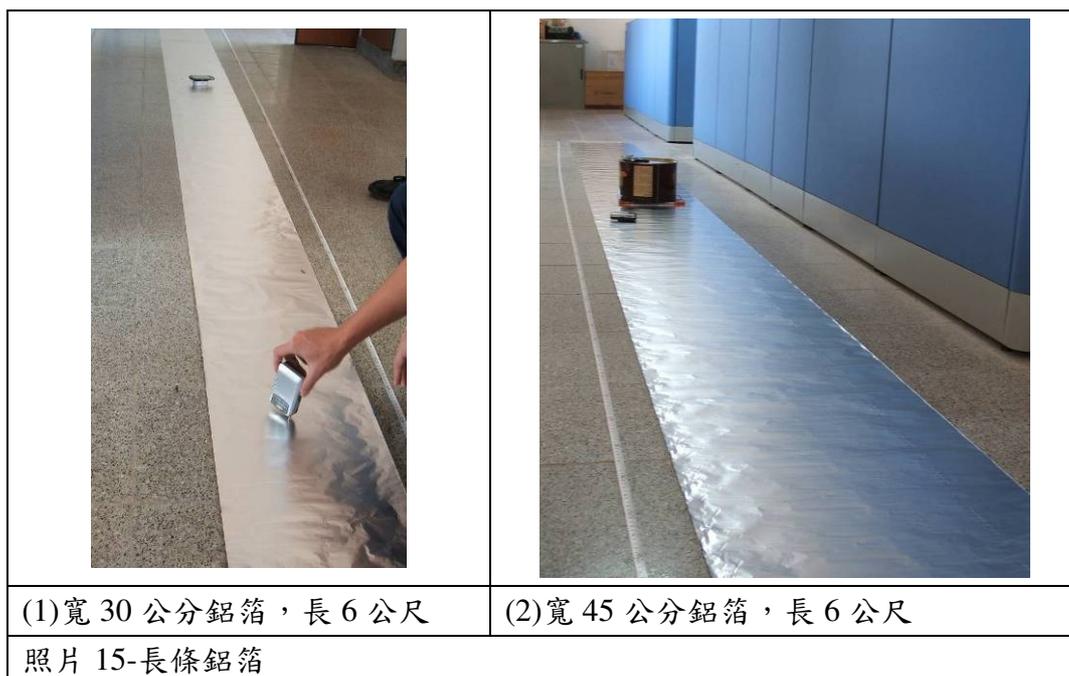
為了避免收音機直接接收到收音機訊號，我們會以金屬箱蓋住 FM 訊號發射器來進行實驗，如照片 14 所示。



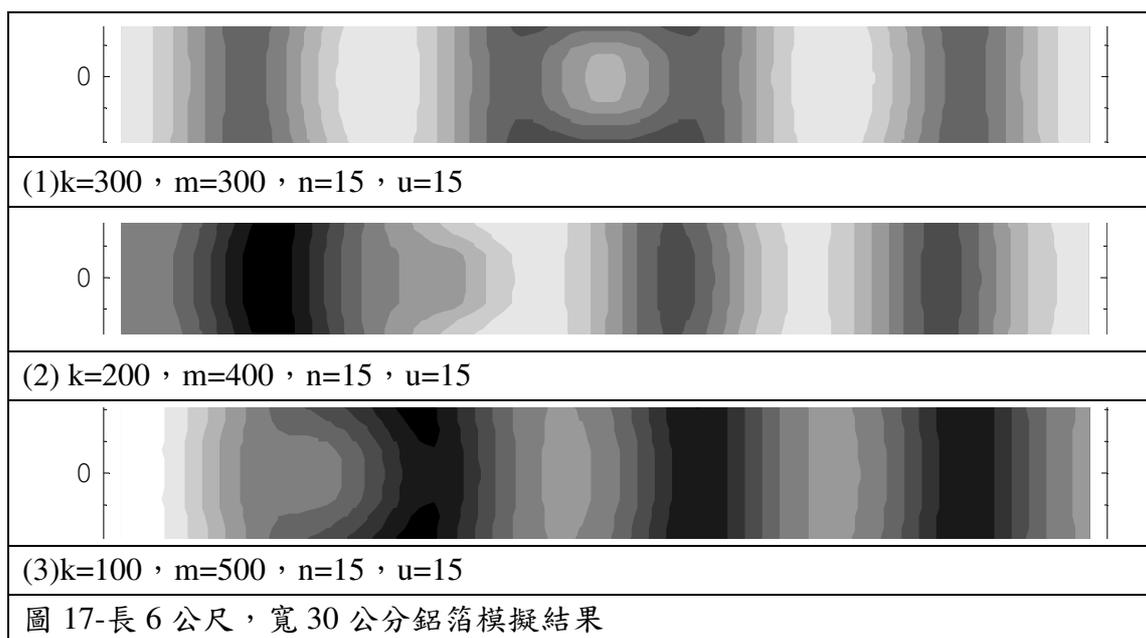
我們分別對白板、小黑板與大黑板做實驗，發現若發射器的波源在金屬板中央，不論我們設定的廣播電台頻道為何(只要不被蓋台)，實驗結果完全符合模擬，如圖 16，也可以確定，我們先前的實驗模擬設定以電磁波波長 330 公分，大致上可以普遍適用於各種不同電台。



爲了確定我們的實驗結果更具有普遍性，我們使用了寬 30 公分與寬 45 公分的鋁箔紙拉長度 6 公尺，以模擬更多不同尺寸的金屬板，如照片 15。



長 6 公尺，寬 30 公分鉛箔不同入射波源的模擬結果，如圖 17。



長 6 公尺，寬 45 公分鉛箔不同入射波源的模擬結果，如圖 18。

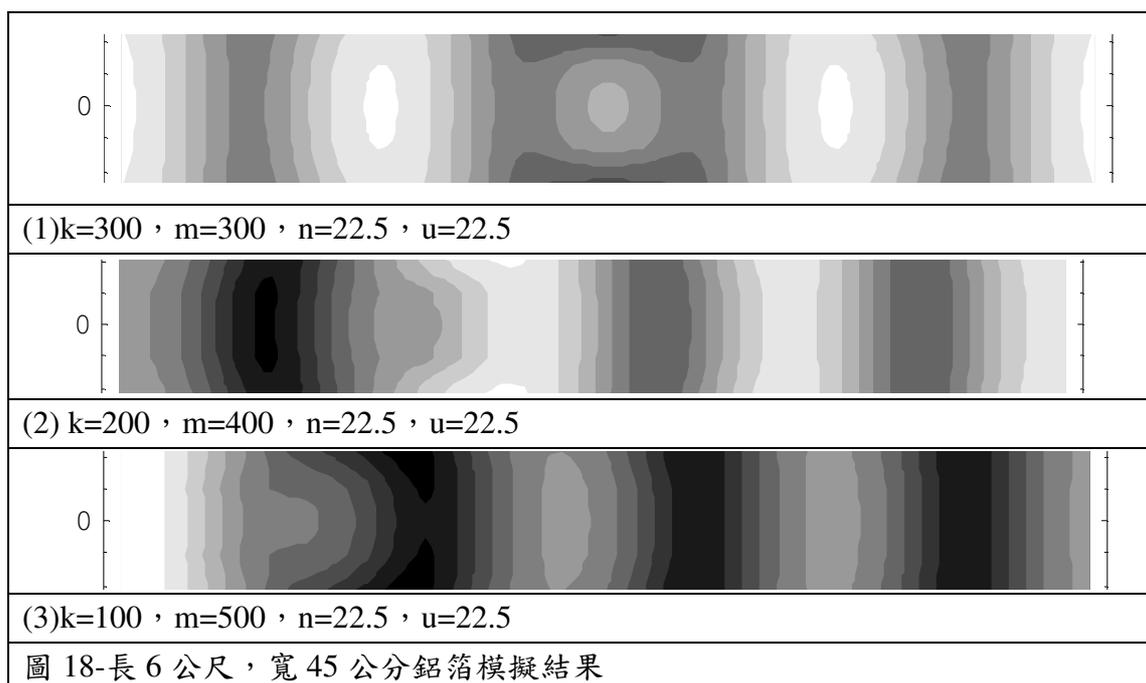
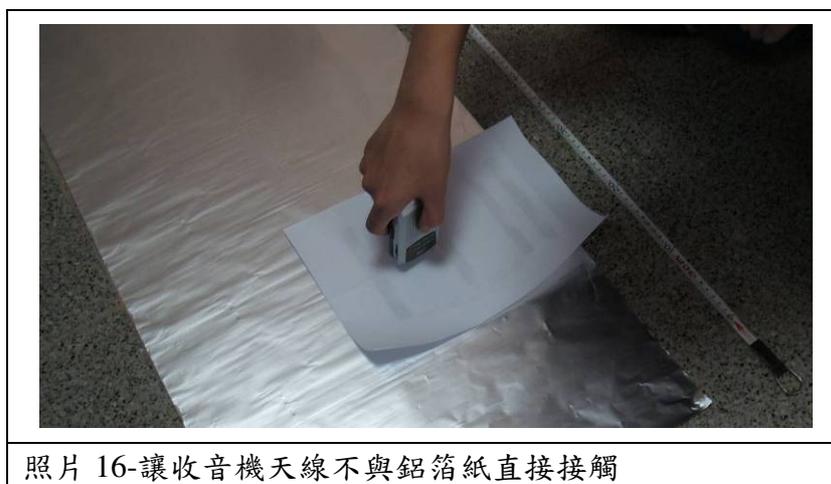


圖 17-(1)與圖 18-(1)的實驗結果與模擬結果相同，至於把波源放在金屬板上非中央的位置時，整片鉛箔收訊皆有增強的效果，實驗結果與模擬結果不符，推論可能是反射波源的對稱性不佳，且波強度會隨著距離衰減導致整個平面波強度分佈不均，原因值得再深入探討。

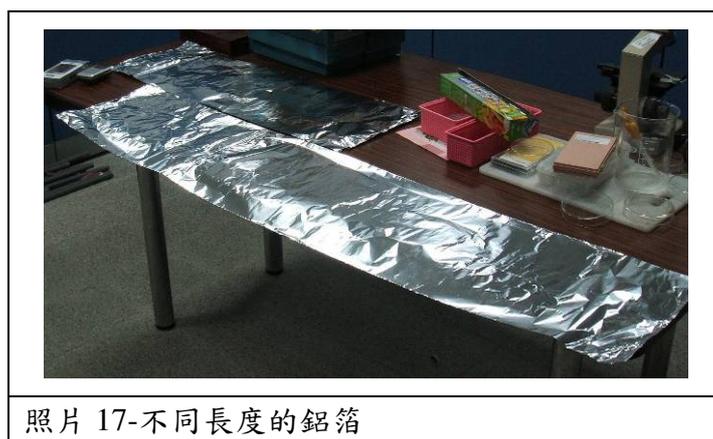
實驗中發現，鋁箔金屬收訊強弱的點不容易判斷，實驗時常要調整很久，於是想到黑板的表面有一層油漆，於是我們試著在後期的鋁箔實驗讓收音機與鋁箔隔一張紙，發現有時候可以讓實驗效果更好，如照片 16。



若以 FM 發射器做直線金屬實驗，發現整條金屬各點都是很好的訊號增強處，甚至用鐵絲去拉 10 公尺長度來實驗也都沒辦法找到自發 FM 訊號在金屬上的強弱點差異。

由先前的金屬線材做為天線的實驗推論為訊號太強的因素，而把 FM 訊號發射器放置遠處後，直線金屬上開始有收訊的強弱點，但主要的入射波源位置已經無法得知，因此 FM 訊號發射器在金屬平面上，才能夠得到穩定的實驗結果。

於是我們再以鋁箔紙去裁剪不同大小的鋁箔片來做測試，我們使用的鋁箔寬 30cm，長度 30cm、60cm、90cm、120cm、150cm 來實驗，尺寸較先前金屬板的實驗都小，如照片 17。



我們由圖 4 平面金屬的概念來模擬不同鋁箔對應的可能干涉結果，如圖 19 所示。

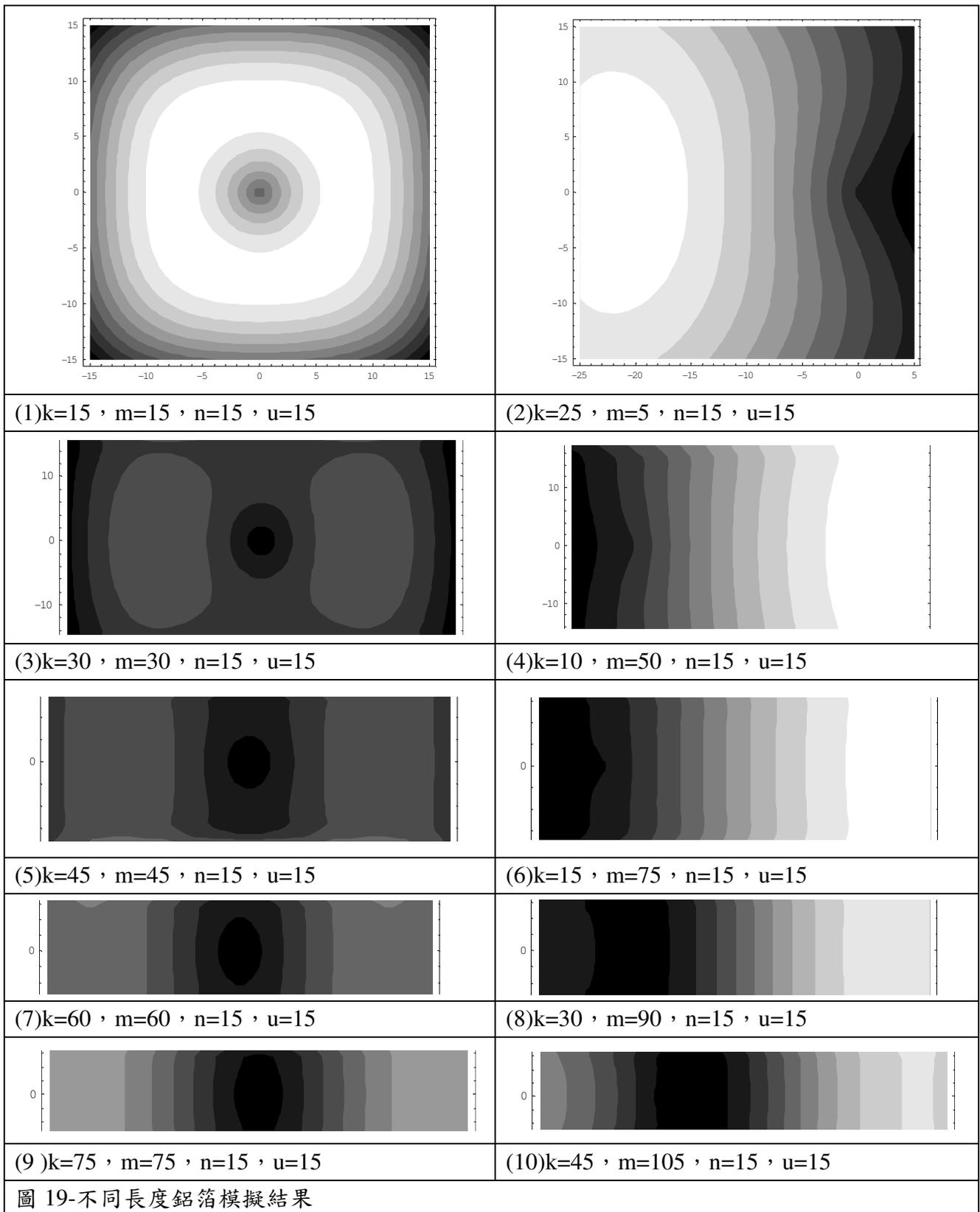
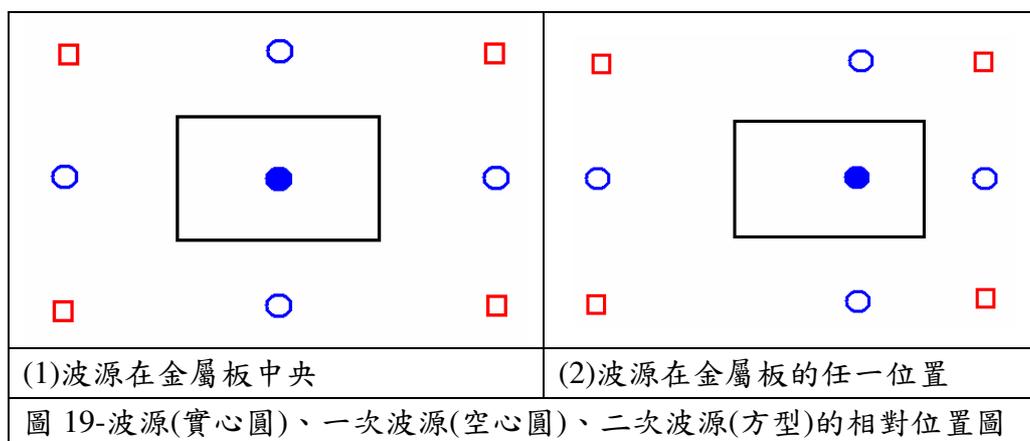


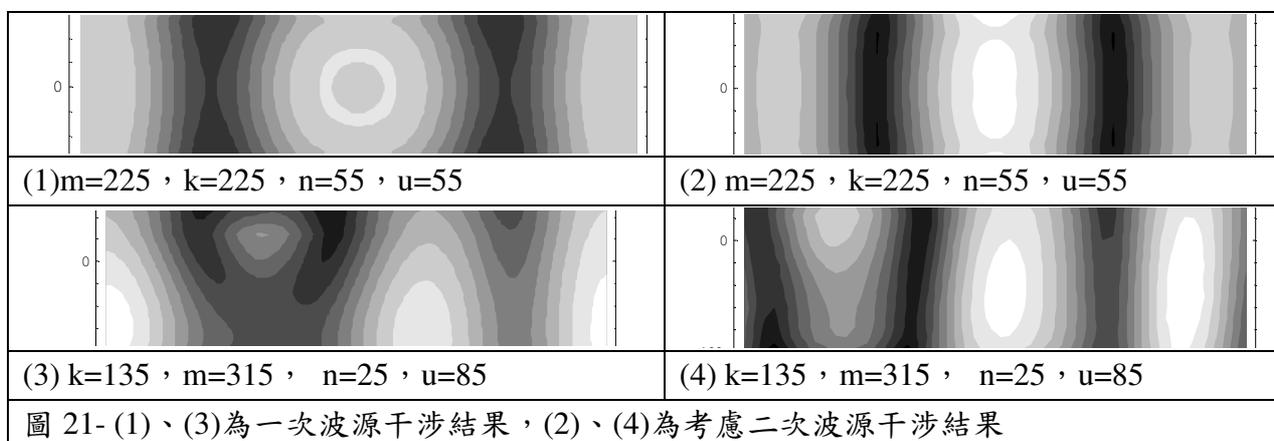
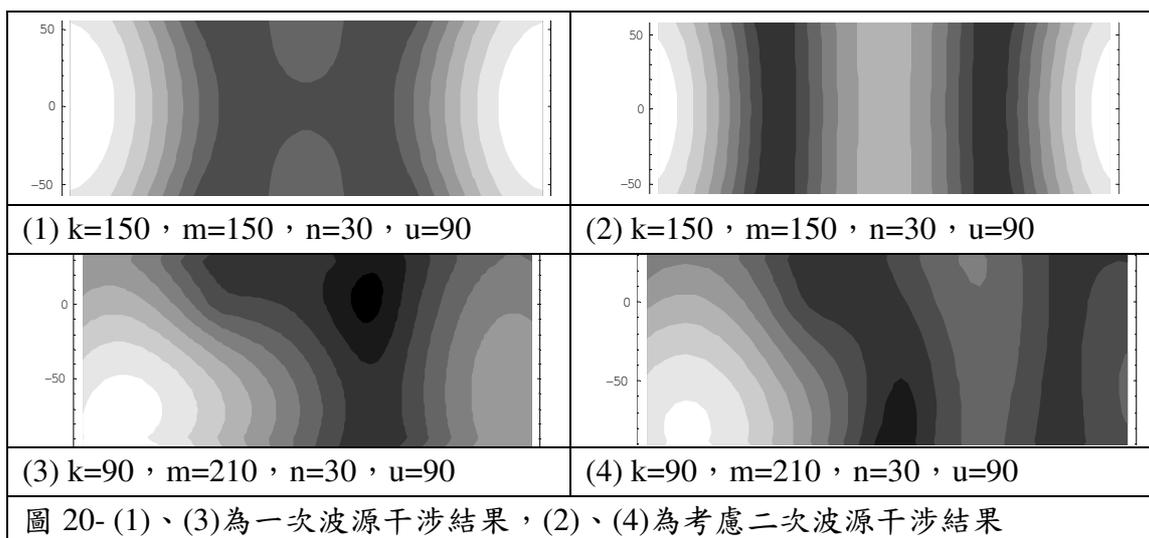
圖 19-不同長度鋁箔模擬結果

不同長度鋁箔面上各點皆有增強收訊的效果，但模擬的結果卻顯示至少有一個節點會讓收訊變弱，我們實驗結果卻只有在角落有些微收訊較差的現象，推論是因為收音機波源太強的原因。

於是我們想到，在模擬的條件下我們只假設一次反射的鏡像波源來干涉，若強度更強的波可能會有二次或三次的反射波源，若波源不在平面在中央，多個不對稱波源的作用下，還有波可能會隨距離衰減等等因素，干涉結果可能就複雜許多，如圖 19 所示。



於是我們針對任一波源與中央波源做一次與兩次波源干涉結果模擬對照，如圖 20、21。



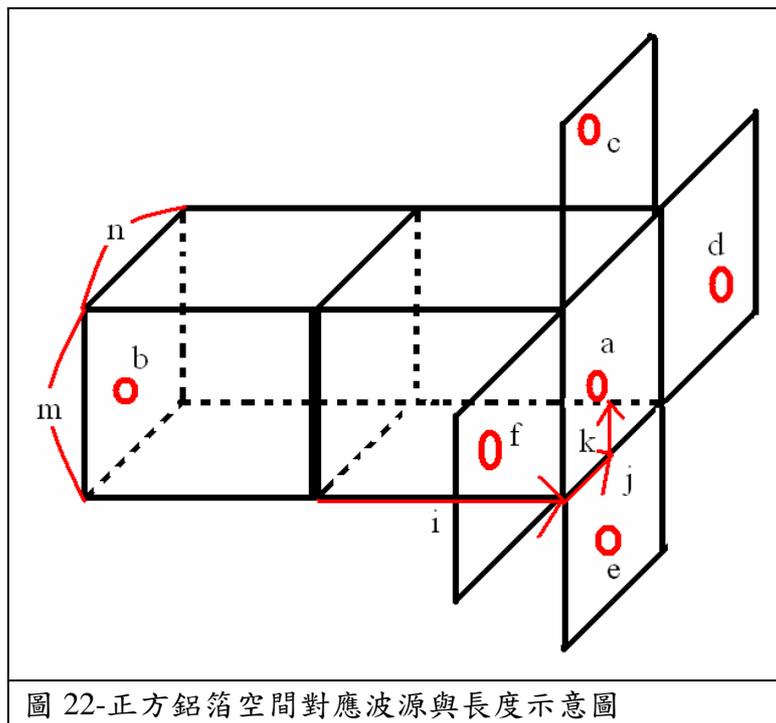
波源在金屬板的中央反射波源形式對稱，為波源在中央實驗結果與模擬相符的原因。

## 六、FM 廣播訊號發射器做為空間點波源實驗

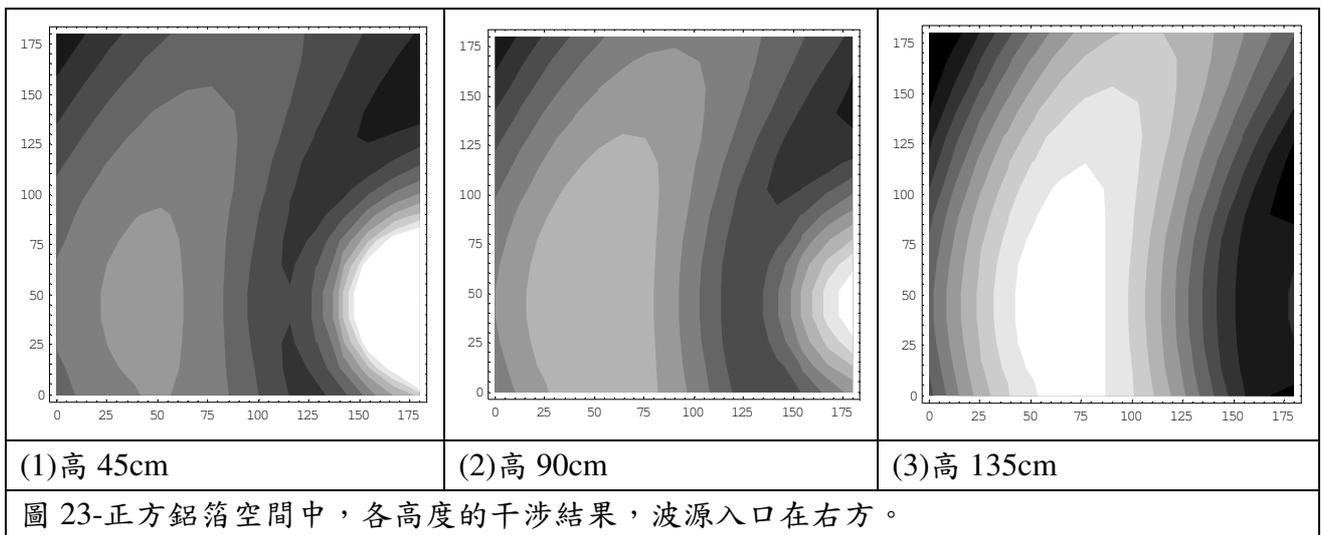
爲了驗證廣播訊號在不同的金屬空間中亦可以用模擬預測收訊強弱的點，於是我們準備 180 公分的木條架出 180 公分立方的空間，並在週邊舖上鋁箔紙，製作出正方型金屬空間。如照片 18。



對應圖 22，a 的坐標我們設定在幾何中心，設定  $m=n=180$ ，波源坐標  $i=180, j=45, k=45$ 。

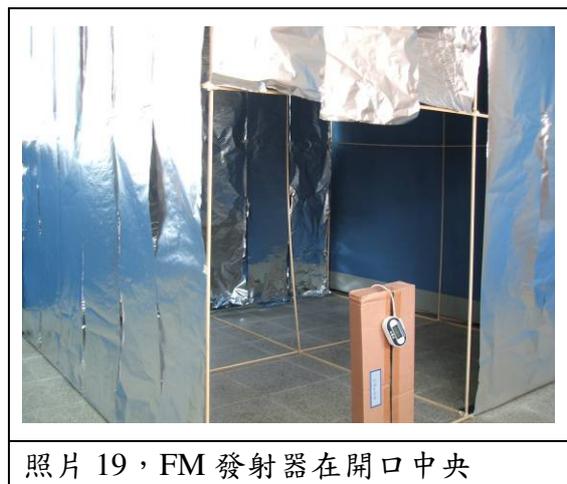


使用之前鏡相波源干涉的概念，模擬出 a、b、c、d、e、f 六個波源分別在  $h=45$ 、 $h=90$ 、 $h=135$  的干涉結果，如圖 23 所示。



在這個空間中，收音機在暗點處附有明顯的雜訊，符合我們的模擬結果，證實若把金屬空間的開口縮小，讓廣播電台的波源只有一個約 90 平方的入口可以進入空間，可以用點波源的方式可以模擬出空間中收訊源干涉的結果。

開口處使用 FM 廣播發射器發射廣播訊號，實驗的結果也與模擬相符，如照片 19 所示。

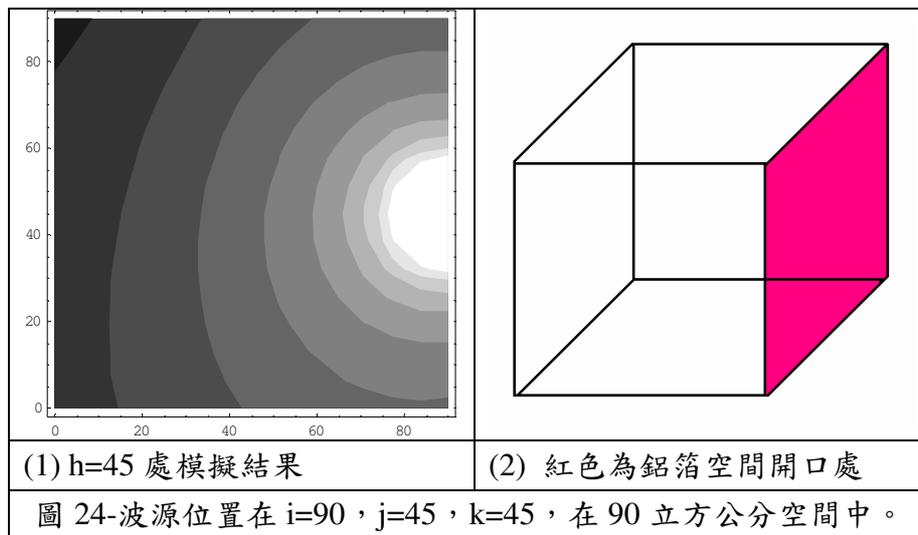


照片 19，FM 發射器在開口中央

我們再把鋁箔製作成 90 立方的空間，一樣留 90 平方的開口，把收音機置入空間中實驗，收訊不佳的位置和把波源假設在開口中央的模擬結果相符，如圖 24-(1)。

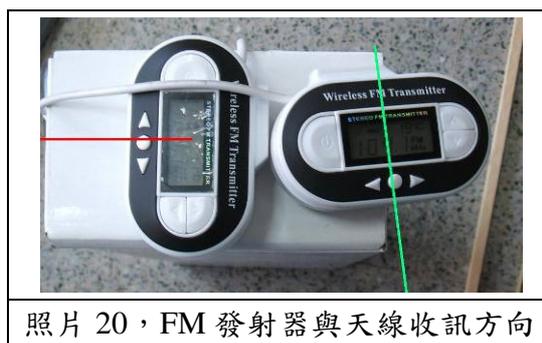
不論我們使用自發 FM 廣播訊號放在圖 24-(2)的開口中央，或是當地的電台訊號，收訊不良的位置皆相同，而我們使用自發 FM 廣播訊號在同樣條件下，於室外空間中，3 公尺外的距離皆有良好的收訊，更能證明收音機的波源在空間中有干涉的結果。

由電台的廣播訊號與自發 FM 廣播訊號的實驗結果相同，可以得知 90 平方公分的開口，對於收音機電磁波會造成繞射效應，以點波源的方式進入空間中。



### 七、FM 發射器方向性實驗結果

由參考資料一已知，收音機天線的方向會影響收訊，而 FM 廣播發射器發出的訊號似乎也有方向性，於是我們使用兩台 FM 廣播發射器找出他收訊的最佳方向如照片 20 所示。

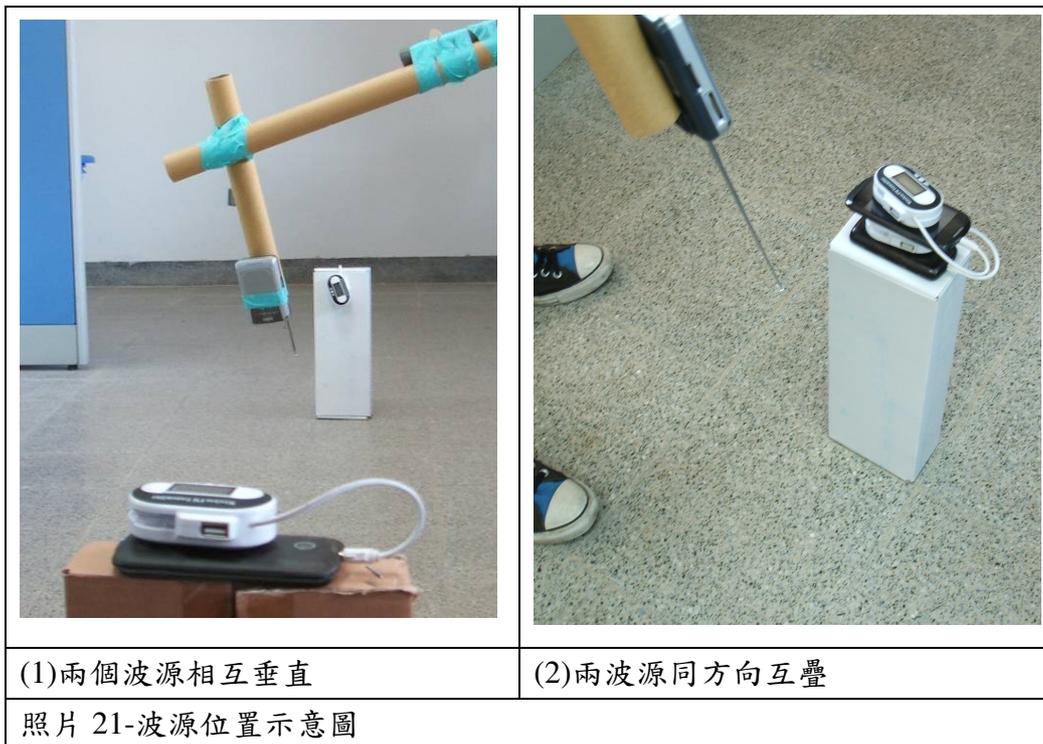


照片 20 中，紅線為左台 FM 發射器天線理想的收訊方向，綠線則為右台 FM 發射器天線理想的收訊方向。

接著我們把兩台 FM 廣播發射器的參數調整一樣，一起發射廣播訊號，收音機並沒有同時收到兩台的廣播內容，而是天線的方向決定了收到那一台的訊號，或是只有雜訊。若天線方向如照片 20 紅線所示，就會收到左台廣播訊號，如照片 20 綠線所示，就會收到右台的廣播訊號。

接著我們將兩台發射器以照片 20 的方式放置在鋁箔空間中開口的中央，如照片 19 所示。實驗的結果亦同圖 23 的模擬，只是會收到那一台廣播訊號則是由天線的方向決定，而模擬的暗點處皆沒有良好的收訊。

我們繼續改變收音機的方向與位置，如照片 21 所示。



照片 21-(1)中收到那一台 FM 廣播訊號由天線方向決定，在兩波源中並沒有發現收訊不良的點(即干涉的節點)，若將發射器以同方向放置，只會收到雜訊，收不到任一台 FM 發射器的訊號，亦沒有找到兩波源干涉的節點，真正的原因值得深入探討。

照片 21-(2)中若發波源的發射方相向一樣，則收音機只收到雜訊，並沒有同時聽到兩台的廣播內容。

## 陸、 結論

- 一、金屬平面會有穩定的干涉結果，造成收音機收訊的差異。
- 二、直線金屬上有穩定的干涉結果，較長金屬線則有固定的節點腹點。
- 三、在金屬空間中，亦有干涉效應，收音機在空間中特定位置收不到廣播訊號。
- 四、不論是金屬表面或是空間中的干涉效應，都是多個點波源與鏡像波源干涉疊加的結果。
- 五、使用 FM 訊號發射器做為點波源放在金屬板中央，有明顯的干涉現象與模擬相符。
- 六、波源在中央，金屬平面一次鏡像反射波源干涉模擬結果與二次模擬結果差異不大。
- 七、電磁波通過 90 平方孔洞可把孔洞中央視為點波源以模擬實驗結果。

## 柒、 應用與未來展望

- 一、在訊號微弱的空間，可以設計不同天線，得到最佳的廣播收音訊號。
- 二、在網狀的屏蔽空間中，收音機沒有訊號，但手機依舊能夠通訊，主要是因為手機能夠自發訊號與外界連結，利用相同的原理，或許可以製造出不受空間或是天線材料限制的收音機，達到最佳的收訊效果。

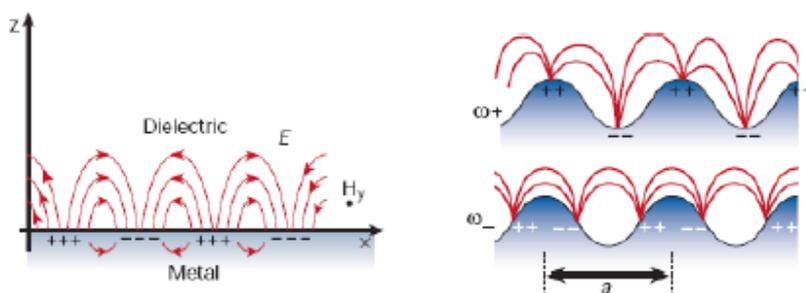
## 捌、 參考資料

- 一、收音機的原理，師大物理系 黃福坤教授  
<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/html.php?html=everydayPhysics/radio>
- 二、微波爐測光速的迷思？-微波干涉的探討  
中華民國第四十八屆中小學科學展覽高中物理科作品
- 三、屏蔽效應，楊士模老師  
<http://physical.tcfsh.tc.edu.tw/physical/physdemo/other/o-9/o-9.htm>
- 四、電磁波干擾與防護，徐氏基金會出版 葉中雄等譯
- 五、選修物理上、下冊，南一 林明瑞等編著
- 六、金屬表面電漿簡介，物理雙月刊 28 卷二期 文：邱國斌、蔡定平
- 七、ISM 頻帶與短距裝置天線基本原理，德州儀器 Matthew Loy 與 Iboun Sylla
- 八、圖解電波的構造，世茂出版 谷腰欣司著，楊鴻儒譯
- 九、超常材料光波吸收體之簡介，陳瑞琳、陳于堂、林家鴻著

## 玖、 附註

### 一、金屬表面電漿示意圖

引用考資料九的文章內容如下：「表面電漿是在導體(通常是金屬)表面傳遞的一種電磁波(或光波)，它來導體內自由電子的集體振動與外界電磁波的耦合。由於其具有雙重性質，波動型式的表面電漿既是橫波(電磁波的本質)，又是縱波(電子波的本質)。」，參考圖示如附圖。



## 二、mathematica 指令碼(平面)

ContourPlot[

$$\sqrt{\left(\left(\cos[2*\pi*1*\sqrt{(\sqrt{(x+2k)^2+y^2}-\sqrt{x^2+y^2})^2+p}]*a+\cos[2*\pi*1*\sqrt{(\sqrt{(x-2m)^2+y^2}-\sqrt{x^2+y^2})^2+p}]*b+\right.\right. \\ \left.\left.\cos[2*\pi*1*\sqrt{(\sqrt{(y-2n)^2+x^2}-\sqrt{x^2+y^2})^2+p}]*c+\cos[2*\pi*1*\sqrt{(\sqrt{(y+2u)^2+x^2}-\sqrt{x^2+y^2})^2+p}]*d+\right.\right. \\ \left.\left.\cos[2*\pi*1*\sqrt{(\sqrt{(x+2k)^2+(y+2u)^2}-\sqrt{x^2+y^2})^2+p}]*e+\cos[2*\pi*1*\sqrt{(\sqrt{(x-2m)^2+(y-2n)^2}-\sqrt{x^2+y^2})^2+p}]*f+\right.\right. \\ \left.\left.\cos[2*\pi*1*\sqrt{(\sqrt{(y-2n)^2+(x+2k)^2}-\sqrt{x^2+y^2})^2+p}]*g+\cos[2*\pi*1*\sqrt{(\sqrt{(y+2u)^2+(x-2m)^2}-\sqrt{x^2+y^2})^2+p}]*h+1\right)^2+ \right. \\ \left. \left(\sin[2*\pi*1*\sqrt{(\sqrt{(x+2k)^2+y^2}-\sqrt{x^2+y^2})^2+p}]*a+\sin[2*\pi*1*\sqrt{(\sqrt{(x-2m)^2+y^2}-\sqrt{x^2+y^2})^2+p}]*b+\right.\right. \\ \left.\left.\sin[2*\pi*1*\sqrt{(\sqrt{(y-2n)^2+x^2}-\sqrt{x^2+y^2})^2+p}]*c+\sin[2*\pi*1*\sqrt{(\sqrt{(y+2u)^2+x^2}-\sqrt{x^2+y^2})^2+p}]*d+\right.\right. \\ \left.\left.\sin[2*\pi*1*\sqrt{(\sqrt{(x+2k)^2+(y+2u)^2}-\sqrt{x^2+y^2})^2+p}]*e+\sin[2*\pi*1*\sqrt{(\sqrt{(x-2m)^2+(y-2n)^2}-\sqrt{x^2+y^2})^2+p}]*f+\right.\right. \\ \left.\left.\sin[2*\pi*1*\sqrt{(\sqrt{(y-2n)^2+(x+2k)^2}-\sqrt{x^2+y^2})^2+p}]*g+\sin[2*\pi*1*\sqrt{(\sqrt{(y+2u)^2+(x-2m)^2}-\sqrt{x^2+y^2})^2+p}]*h\right)^2\right),$$

{x, -150, 150}, {y, -150, 150}, ContourLines -> False, PlotPoints -> 50];

## 三、mathematica 指令碼(空間)

ContourPlot[

$$\sqrt{\left(\left(\cos\left[\left(2*\pi*1*\left(\sqrt{(x+i)^2+(y-j)^2+(h-k)^2}-\sqrt{(x-i)^2+(y-j)^2+(h-k)^2}\right)\right)+p\right]*\frac{b}{\sqrt{(x+i)^2+(y-j)^2+(h-k)^2}}+\right.\right. \\ \left.\left.\cos\left[\left(2*\pi*1*\left(\sqrt{(x+i)^2+(y-j)^2+(h-(2m-k))^2}-\sqrt{(x-i)^2+(y-j)^2+(h-k)^2}\right)\right)+p\right]*\frac{c}{\sqrt{(x+i)^2+(y-j)^2+(h-(2m-k))^2}}+\right.\right. \\ \left.\left.\cos\left[\left(2*\pi*1*\left(\sqrt{(x+i)^2+(y-(2n-j))^2+(h-k)^2}-\sqrt{(x-i)^2+(y-j)^2+(h-k)^2}\right)\right)+p\right]*\frac{d}{\sqrt{(x+i)^2+(y-(2n-j))^2+(h-k)^2}}+\right.\right. \\ \left.\left.\cos\left[\left(2*\pi*1*\left(\sqrt{(x+i)^2+(y-j)^2+(h-(-m-k))^2}-\sqrt{(x-i)^2+(y-j)^2+(h-k)^2}\right)\right)+p\right]*\frac{e}{\sqrt{(x+i)^2+(y-j)^2+(h-(-m-k))^2}}+\right.\right. \\ \left.\left.\cos\left[\left(2*\pi*1*\left(\sqrt{(x+i)^2+(y-(-n-j))^2+(h-k)^2}-\sqrt{(x-i)^2+(y-j)^2+(h-k)^2}\right)\right)+p\right]*\frac{f}{\sqrt{(x+i)^2+(y-(-n-j))^2+(h-k)^2}}+\right.\right. \\ \left.\left.\frac{a}{\sqrt{(x-i)^2+(y-j)^2+(h-k)^2+0.0001}}\right)^2+ \right. \\ \left. \left(\sin\left[\left(2*\pi*1*\left(\sqrt{(x+i)^2+(y-j)^2+(h-k)^2}-\sqrt{(x-i)^2+(y-j)^2+(h-k)^2}\right)\right)+p\right]*\frac{b}{\sqrt{(x+i)^2+(y-j)^2+(h-k)^2}}+\right.\right. \\ \left.\left.\sin\left[\left(2*\pi*1*\left(\sqrt{(x+i)^2+(y-j)^2+(h-(2m-k))^2}-\sqrt{(x-i)^2+(y-j)^2+(h-k)^2}\right)\right)+p\right]*\frac{c}{\sqrt{(x+i)^2+(y-j)^2+(h-(2m-k))^2}}+\right.\right. \\ \left.\left.\sin\left[\left(2*\pi*1*\left(\sqrt{(x+i)^2+(y-(2n-j))^2+(h-k)^2}-\sqrt{(x-i)^2+(y-j)^2+(h-k)^2}\right)\right)+p\right]*\frac{d}{\sqrt{(x+i)^2+(y-(2n-j))^2+(h-k)^2}}+\right.\right. \\ \left.\left.\sin\left[\left(2*\pi*1*\left(\sqrt{(x+i)^2+(y-j)^2+(h-(-m-k))^2}-\sqrt{(x-i)^2+(y-j)^2+(h-k)^2}\right)\right)+p\right]*\frac{e}{\sqrt{(x+i)^2+(y-j)^2+(h-(-m-k))^2}}+\right.\right. \\ \left.\left.\sin\left[\left(2*\pi*1*\left(\sqrt{(x+i)^2+(y-(-n-j))^2+(h-k)^2}-\sqrt{(x-i)^2+(y-j)^2+(h-k)^2}\right)\right)+p\right]*\frac{f}{\sqrt{(x+i)^2+(y-(-n-j))^2+(h-k)^2}}\right)^2\right),$$

{x, 0, 180}, {y, 0, 180}, ContourLines -> False];