

# 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 物理科

080118

「聲波的進擊」—回授現象的探討

學校名稱：嘉義縣太保市太保國民小學

作者：	指導老師：
小六 楊季蓁	黃柏鴻
小五 蔡孟灼	蔡承璋
小五 蔡芊芸	
小五 王 忻	

關鍵詞：回授現象、聲波、頻率

## 一、摘要

回授現象是一種特殊的物理現象，不僅出現在聲波上，也可能發生在其他現象中。本研究想針對聲音的部份進行探討，藉由生活中常見的聲響設備如音箱、麥克風、效果器及手機來進行實驗，並藉由電腦來錄音及分析，我們想要探討的變因包含有距離、角度、阻隔物、反射物、音量、阻隔板等變因，期望藉由實驗結果，分析了解回送現象背後發生的原因，並找出避免這個現象的方法及其未來的應用性。從實驗結果中，我們發現了回授現象的起源應該是空氣的擾動，而麥克風與音箱的距離會讓回授現象的頻率呈現一種特殊的規律變化，另外，聲音反射也會影響回授現象，因此我們製作了降回授裝置，能有效消除回授現象，而阻隔物也是未來可以運用的一種降回授方式。

## 二、研究動機

在學校的課堂中，教師常常要說很多的話，所以難免需要使用麥克風，但是偶爾會出現一個怪異的現象，就是擴音器突然發出一陣尖銳的聲音，讓大家的耳朵感到不舒服，也耽誤了上課時間，首先我們藉由蒐集資料了解到這個現象稱為回授，但是資料中並沒有太多詳細的說明，以及解決的方案，所以我們便想實際進行一次探究活動，除了了解回授現象的科學原理，並試圖為這個問題找到解決的方法。



好難聽的  
聲音啊!!

### 三、文獻探討

在本研究的探討過程中，涉及一些物理相關的概念，為了能更正確的針對實驗結果進行討論，我們需先進行相關概念的探討，包含了聲波、聲音的頻率、聲音的大小與音訊回授四個主題，以下分段敘述。

#### (一) 聲波

聲音是物體振動的一種表現，形成的波動稱為聲波，具有能量，可以經由媒介向外傳遞，而這個媒介也稱為介質，例如空氣、水或其他固體。我們平時說話便是利用空氣來傳遞聲波，當我們在水中，也可藉由水來聽到聲音，如果將耳朵靠在桌上同樣可以經由桌子的傳遞聽到聲音，但是身處真空的環境，就無法藉由介質來聽到聲音了。聲波的傳遞是藉由物質分子彼此碰撞來傳遞能量，同時也傳遞了聲音。

聲音在攝氏 20 度空氣中傳遞的速度大約 343 公尺/秒，水中的傳遞速度比在空氣中快的多，約為 1463 公尺/秒，若是以鐵來傳遞就更高了，約為 5032 公尺/秒，因此物質密度會影響聲音的傳遞速度。

#### (二) 聲音的頻率

聲波的振動頻率對於人的聽覺便是聲音的高低，使用的單位是赫茲 Hz，當我們聽到一陣每秒鐘振動 440 下週期的聲音，其頻率可記為 440Hz，也就是 A4 音高。而人的聽覺可以聽到聲音的頻率介於 20Hz~20000Hz，若是聲音的頻率太高則會讓我們耳朵感到不悅，例如本研究所談論的回授現象。

#### (三) 聲音的大小

聲音的大小通常被稱為音量，代表的是聲音所具備的能量或振動幅度，使用的單位為分貝 (dB)，但是其大小關係與其他的單位不同，分貝數值每增加 10，其能量是放大 10 倍，所以 40 分貝之聲音其能量是 30 分貝的 10 倍，是 20 分貝的 100 倍。另外，音量數值的標注方式會因為不同廠商而有差異，有的是以 0 分貝為完全靜音，然後往上標注其他聲音的音量，也有的是以 0 為其可測量的最大音量，而其他聲音的音量，則是向下降低，以負值標示，如本實驗的 Audacity2.2.2 軟體及實用音頻頻譜分析器 App。

#### (四) 音訊回授

音訊回授是本研究所要探討的現象，所謂的回授現象音訊回授是指音箱中所發出的音訊能量經由收音設備反覆輸入到音箱中。由麥克風所產生的音訊回授是最為普遍的狀況，當音箱所產生的音波能量足以引起麥克風的感應，經由系統的放大，再由相同的音箱發出。而這已經過放大的音波，再度經由麥克風感應再次放大而由揚聲器發出，如此不斷地循環，產生的音波亦不斷增強，最後變成令人無法忍受的尖銳聲響。

引自：國家教育研究院 <http://terms.naer.edu.tw/detail/1682139/>

## 四、研究目的

依據文獻探討之內容，我們可以大致獲得回授現象的相關知識，並形成我們想要探討的問題，接著我們將本研究的目的分為五個主要項目，共計十項子實驗，條列如下：

項目一：起始聲音

實驗 1：空氣擾動對回授現象的影響

實驗 2：背景音對回授現象的影響

項目二：麥克風與音箱的相對位置

實驗 3：麥克風與音箱距離對回授現象的影響

實驗 4：麥克風面對音箱的角度對回授現象的影響

項目三：聲音反射

實驗 5：不同反射板角度對回授現象的影響

實驗 6：不同反射板大小對回授現象的影響

實驗 7：不同反射板材質對回授現象的影響

實驗 8：降回授裝置對回授現象的影響

項目四：物體阻隔

實驗 9：物體阻隔對回授現象的影響

項目五：延遲音效

實驗 10：延遲音效對回授現象的影響

## 五、研究設備及器材

表 5-1 實驗設備所需工具及材料

聲音設備	器材	麥克風、效果器、音箱、各式音源線材、雷射筆
麥克風軌道	材料	電線壓條、木板、輪子、麥克風架、熱融膠
	工具	剪刀、熱融膠槍
分析裝置	裝置	電腦+Audacity2.2.2 軟體、 手機、手機固定架、實用音頻頻譜分析器 App
反射板	材料	木板、大鐵夾、L 型鐵架、鏡子、隔音棉、巧拼地墊、 毛巾
	工具	捲尺
降回授裝置	材料	木板、L 型鐵架、螺絲
	工具	木工夾
阻隔物	材料	PP 板、棉線、長尾夾、木板、三腳架
	工具	美工刀

## 六、研究過程及方法

### (一) 研究流程

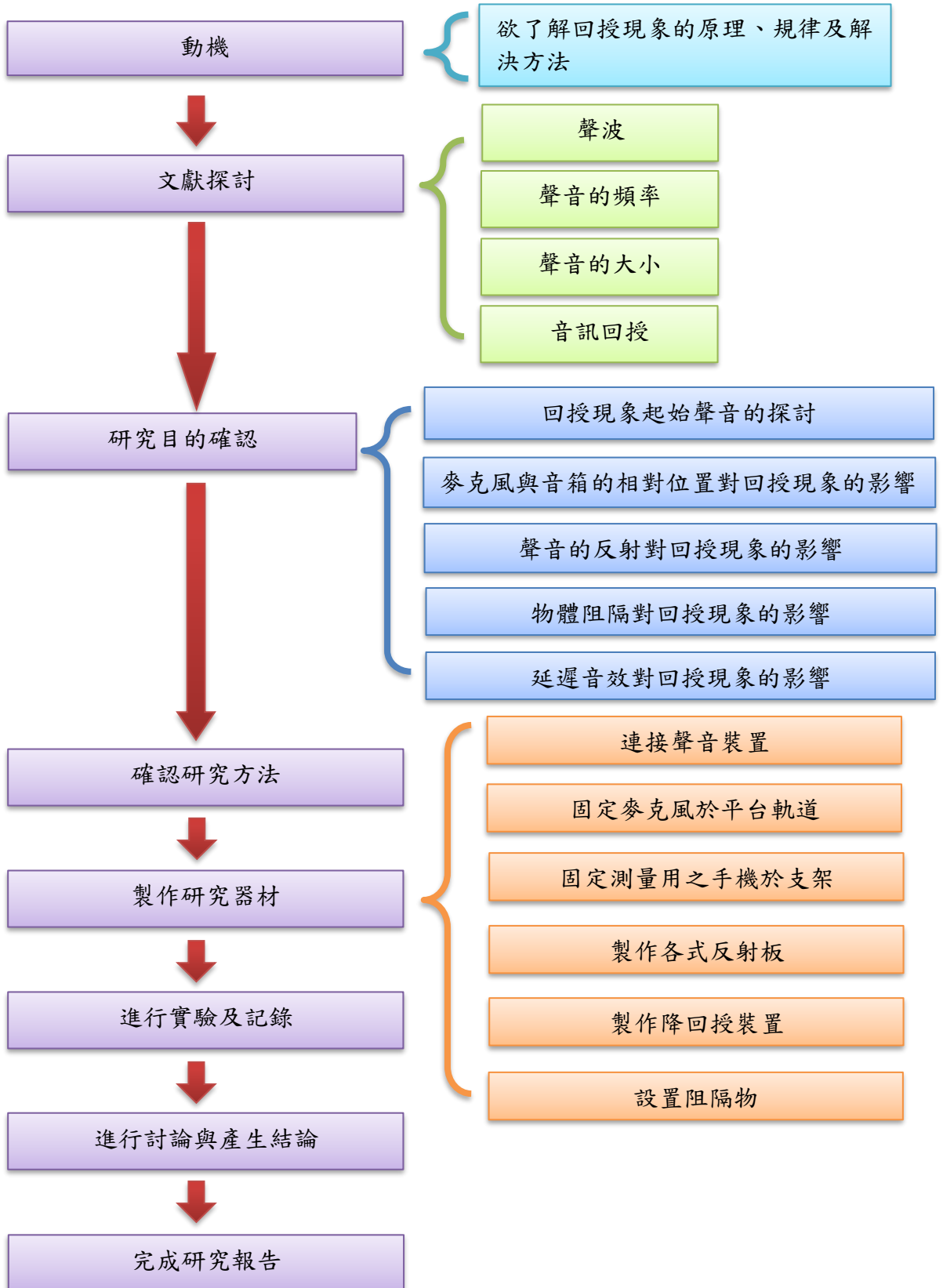


圖 6-1 研究流程圖

## (二) 研究設計

研究的主要實驗設備有 10 項，分別為手機及支架、麥克風及支架、反射板、實驗用紙管、平台滑軌、降回授裝置、雷射筆、音箱、小型麥克風、效果器等，如圖 6-2 為各項器材的放置方式，但是部份器材只在特定實驗中使用，例如降回授裝置只使用於實驗 8，我們將在每個實驗前個別簡要說明器材之變動情形。

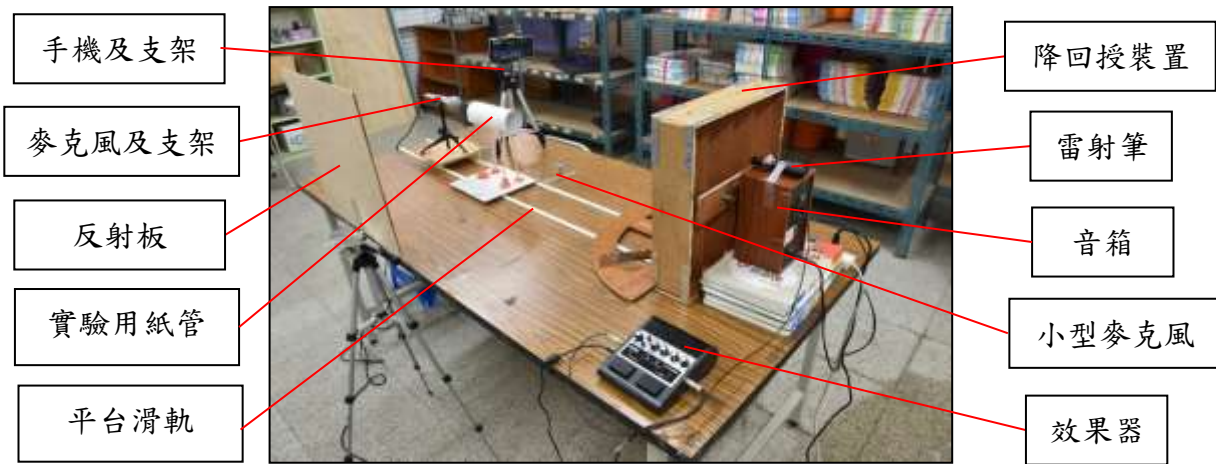


圖 6-2 整體實驗設備配置介紹

另外，我們針對本研究中聲音裝置、麥克風及平台軌道、手機及麥克風支架、實驗用紙管、反射板、降回授裝置、阻隔物等 7 個項目之設置與製作方法進行詳細說明。

1. 聲音裝置：聲音裝置是本實驗最重要的設備，主要目的是模擬一般音響設備的回授現象，器材包含了音箱、效果器及麥克風，使用效果器的目的是為了進行聲音的延遲效果。
  - (1) 器材的連接順序為麥克風的輸出端子插入效果器的輸入孔，接著將音箱的音源線插入效果器的輸出孔，其中因為效果器皆是大的 6.3mm 規格(圖 6-3)，而音箱的音源線則是小的 3.5mm 規格，所以必須使用轉接頭。
  - (2) 待所有器材都連接好，且皆接上電源，則必須將麥克風開關、音箱電源及效果器開關皆開啟(圖 6-4)，若此時音箱音量轉動到特定音量，並且麥克風在近距離內對準音箱，則此時通常就會出現一陣尖銳的聲音，這便是回授現象。



圖 6-3 3.5mm 及 6.3mm 接頭



圖 6-4 效果器開關皆開啟

2. 麥克風及平台軌道：麥克風的放置位置與角度是數個實驗的操作變因，也是大部份實驗的控制變因，所以精確性是相當重要的，於是我們使用麥克風支架來控制高度及方向，另外在桌面上固定好軌道，利用滑動平台控制麥克風與音箱的距離，同時維持方向不變。



- (1) 裁切出邊長 15×15 公分的木板，於背面貼上滑輪(圖 6-5)，當成滑動平台使用。
- (2) 將麥克風支架以熱融膠固定於滑動平台上(圖 6-6)，接著將麥克風放在支架上。
- (3) 我們取數條電線壓條，於桌面標記好位置，然後將壓條貼上，最後將滑動平台放置在軌道上，確定滑動平台能順暢的在軌道上滑動(圖 6-7)。



圖 6-5 將滑輪貼在木板上



圖 6-6 將麥克風支架固定



圖 6-7 將平台放置在軌道上

於滑動平台上

3. 手機及麥克風支架：為了能穩定測量實驗中的回授現象，我們必須將測量聲音的手機及小型麥克風固定在支架上，以期得到正確實驗結果，本研究依據實驗需求，部份使用手機搭配實用音頻頻譜分析器 App 及小型麥克風搭配電腦的 Audacity2.2.2 軟體來測量聲音的頻率及音量，如圖 6-8 及圖 6-9 為二個不同軟體所呈現的相同回授聲響之頻譜圖。

- (1) 在桌上標記固定架的腳座的位置，避開麥克風平台軌道，然後調整好高度，為了實驗結果的正確性，我們在實驗過程中，不能去移動支架、手機及小型麥克風。
- (2) 進行實驗時，我們可以直接從手機的畫面上觀看最大音量的聲音之頻率及音量。
- (3) 另外，也可以利用小型麥克風連接電腦，錄下實驗的聲音，再進行後續的分析。

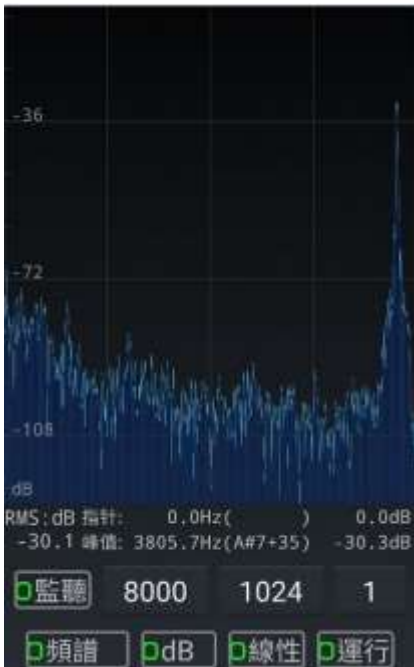


圖 6-8 實用音頻頻譜分析器 App

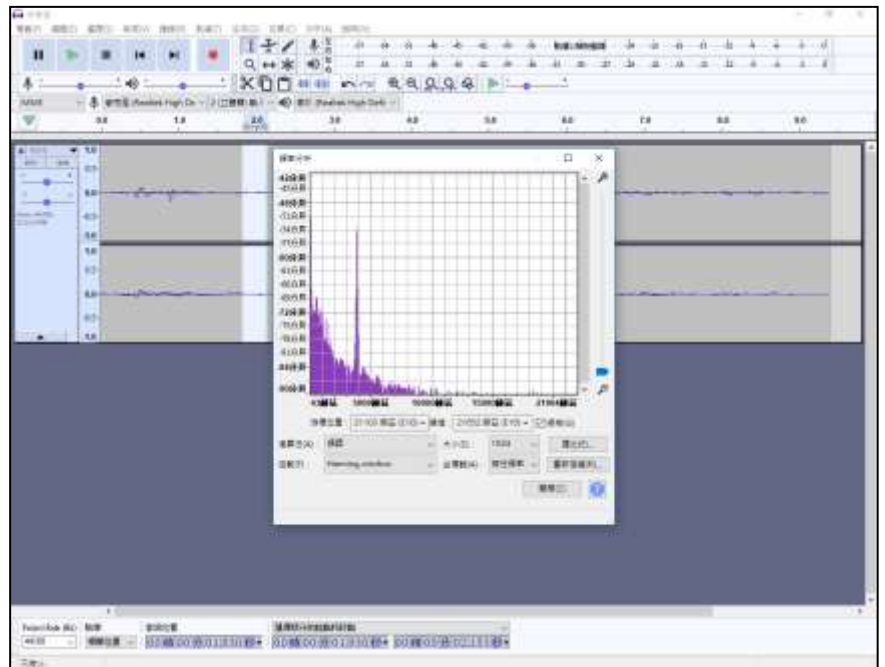


圖 6-9 Audacity2.2.2 軟體

4. 實驗用紙管：為了能測量回授現象的起始音源，我們自製了實驗用的紙管，模擬平常將管子放在耳邊所聽見的特殊聲響，來測量空氣擾動狀態是否會影響回授現象。

(1) 裁剪一張厚紙板，做為底座，然後在上面塗上熱融膠(圖 6-10)。

(2) 接著，在熱融膠上固定一塊黏土，然後插上一支竹筷子，最後將一個長約 15 公分的紙管固定在四支竹筷子上(圖 6-11)。

(3) 將實驗用紙管依據實驗需要，放置在麥克風及音箱間區域(圖 6-12)。



圖 6-10 在厚紙板上塗熱融膠  
所聽見的特殊聲響

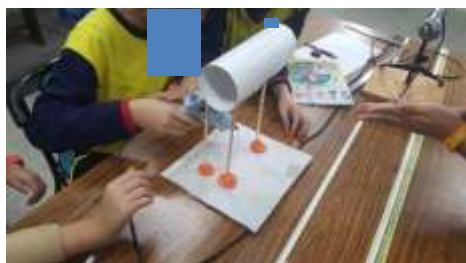


圖 6-11 將紙管固定在  
四支竹筷子上

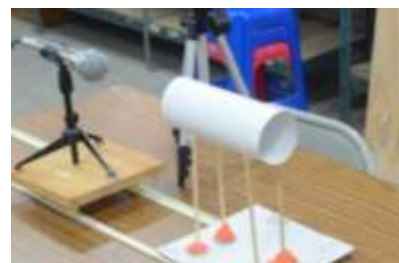


圖 6-12 放置實驗用紙管在  
麥克風及音箱間

5. 反射板：我們利用反射板做了一系列的實驗，探討出一些新的發現，因此我們在實驗前需要製作所需的反射板，包含不同大小、不同材質，並且可以調整角度。

(1) 我們先裁切出不同大小的正方形木板，包含邊長 10、20、30、40、50 公分等。

(2) 在木板後方鎖上 L 型鐵架(圖 6-13)，方便我們可以固定於腳架上。

(3) 在木板的前方標記出中心點，然後貼上一片小鏡子，並在音箱上方也貼上雷射筆

(4) 實驗時藉著雷射筆的光線路徑，當光線從雷射筆射出，經過反射板的反射到達麥克風的前端，我們便可確認反射板的位置及角度是正確的(圖 6-14)。

(5) 最後，我們依據實驗需求選取不同大小的反射板固定在腳架上，或者是貼上不同材質於反射板表面來進行聲音反射的相關實驗(圖 6-15)。



圖 6-13 木板後方鎖上 L 型鐵架



圖 6-14 各種尺寸反射板



圖 6-15 藉著雷射筆光線路  
徑確認反射板位置及角度



6. 降回授裝置：經過反射板的相關實驗後，我們便進行了更進階的設計，製作一項可以方便操作且實用的降回授裝置，可以放置在音箱前，將阻斷回授現象的放大過程。

- (1) 裁切好四片大小適當的長方形木板，利用 L 型鐵片組裝成一個方框(圖 6-16)。
- (2) 另外裁切出四片略小的長方形木板，利用木螺絲將這些木板固定在方框中，讓它們可以隨意的轉動。
- (3) 在這四片方框中的木板鎖上門片鉸鍊(圖 6-17)，並將這四個門片鉸鍊的另一邊皆鎖在一塊木板上，我們並在此連動木板上裝上把手(圖 6-18)，如此便可利用把手來轉動方框中的木板，進而控制降回授裝置的方向。



圖 6-16 將木板組裝成一個方框 圖 6-17 在這四片方框中的木板 鎖上門片鉸鍊 圖 6-18 在連動木板裝上把手

7. 阻隔物：為了探討在音箱與麥克風之間局部擺放阻隔物體對於回授現象的影響，我們設計使用不同高度的 PP 板，對準音箱與麥克風的中間線，由左至右挪移，藉由消除回授現象，以確認不同大小的 PP 板要中斷回授現象所需擺放的位置。

- (1) 在音箱與麥克風之間的桌面上貼上一條捲尺，方便我們確認阻隔板的橫向位置。
- (2) 將二個三腳架伸至最高，然後利用三腳架將木片撐高，以吊掛阻隔物(圖 6-19)。
- (3) 利用長尾夾及棉線，將 PP 板垂吊在音箱與麥克風之間，並利用雷射筆確認 PP 板的高度(圖 6-20)。
- (4) 藉由 PP 板的邊緣來對照捲尺的位置以確認其阻隔回授現象所需擺放的橫向位置(圖 6-21)。



圖 6-19 吊掛阻隔物 圖 6-20 利用雷射筆確認 PP 板的高度 圖 6-21 確認阻隔物橫向位置

(三)實驗方法：為了精確的分析回授現象的形成原因及規律性，我們採取了下列的實驗方式，進行變因操作與聲音記錄。

1. 放置器材：依據實驗項目，將所需之物品放置好，包含音箱、麥克風滑動平台、效果器、手機或小型麥克風等(圖 6-22)，並確保在實驗過程不要任意的移動。
2. 放置反射板或其它附加物品：在實驗前需將附加探討的物品擺放好，例如反射板、降回授裝置(圖 6-23)、阻隔物等。
3. 開啟電源：進行回授實驗時，需開啟音箱電源、麥克風開關及效果器開關，並且於實驗過程中皆不可變更各項設備旋鈕的大小位置(圖 6-24)，以確保實驗結果的一致性。
4. 記錄結果：我們在進行實驗時，若是要立即獲得頻率高低等單一數值，則使用手機搭配實用音頻頻譜分析器 App，若是要取得頻譜圖，則使用電腦搭配 Audacity2.2.2 軟體來錄音。
5. 分析與討論：我們每項實驗各進行 5 次，進行平均，再予以分析討論，以得到可靠的結論，並進行討論與思考進一步的探究方向。



圖 6-22 固定手機或小型麥克風



圖 6-23 固定好降回授裝置



圖 6-24 確認設備旋鈕大小位置

## 七、研究結果及討論

以下針對各實驗的方法進行說明，並討論其實驗結果

### (一)實驗 1：空氣擾動對回授現象的影響

從文獻探討中，我們了解回授現象是聲音不斷放大重疊的過程，然而也讓我們產生了一個疑問，就是一開始的聲音是從哪來的呢？

我們依據網路的說法試了改變器材電壓以及空氣流動等方法，結果幾乎沒有差異，而另一個說法是空氣的擾動，讓我們想到當放置一個管子在耳朵前會聽到一些特殊的聲音，於是我們在麥克風前放置實驗用紙管，並改變紙管在音箱與麥克風中間的相對位置，得到了下列的結果。

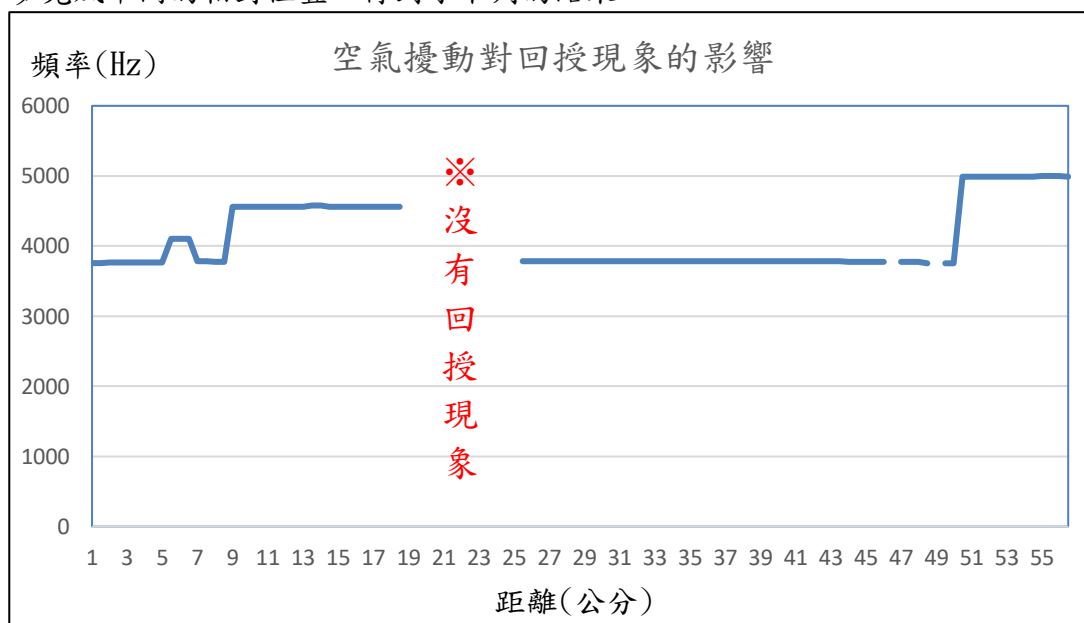
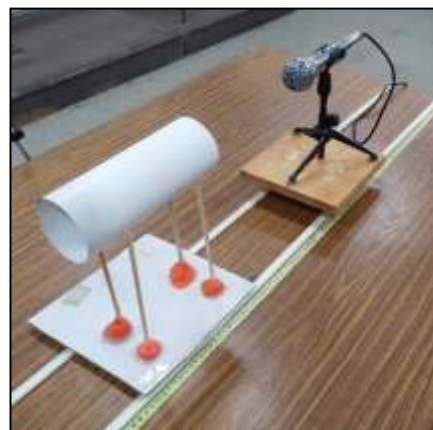


圖 7-1 實驗 1 折線圖

討論：

從圖 7-1 中的折線變化發現，當我們改變麥克風前的紙管時，回授現象的頻率會有一些變化，在某些特定距離範圍是相同的頻率，而非連續的變化，並且比較特殊的部份是在某一些位置回授的聲音消失了。

產生這個現象的原因，我們認為是回授現象常常會同時產生數個不同的頻率音波，而我們測量時只測到最大聲響的頻率，當我們放置紙管的位置，剛好將部份頻率的音波破壞了，則我們只會測量到剩餘的最響頻率；甚至在本實驗 20~26 公分的位置，全部的回授頻率皆被破壞，導致原本尖銳的聲音突然消失。

另外，我們也可由這個實驗確認回授現象的起始聲音與紙管放在耳朵旁產生的風聲原理相同，是空氣的擾動所造成。

(二)實驗 2：背景音對回授現象的影響

承續實驗 1，我們相當好奇，麥克風旁原本存在的背景音是否會對回授現象產生影響，於是我們使用手機在麥克風旁播放音高分別為 C5、Db5、D5、Eb5、E5、F5、Gb5、G5、Ab5、A5、Bb5 及 B5 等十二個不同頻率的單純聲音，並測量回授現象的頻率，結果如下。



表 7-2 實驗 2 實驗結果

背景音名	C5	Db5	D5	Eb5
背景頻率	523.26 Hz	554.36 Hz	587.32 Hz	622.26 Hz
回授頻率	4648.6 Hz	4645.8 Hz	4646.2 Hz	4646.8 Hz
音譜				
背景音名	E5	F5	Gb5	G5
背景頻率	659.26 Hz	698.46 Hz	739.98 Hz	784 Hz
回授頻率	4646.0 Hz	4646.4 Hz	4642.0 Hz	4950.0 Hz
音譜				
背景音名	Ab5	A5	Bb5	B5
背景頻率	830.6 Hz	880 Hz	932.32 Hz	987.76 Hz
回授頻率	4646.4 Hz	4944.0 Hz	4646.8 Hz	4646.4 Hz
音譜				



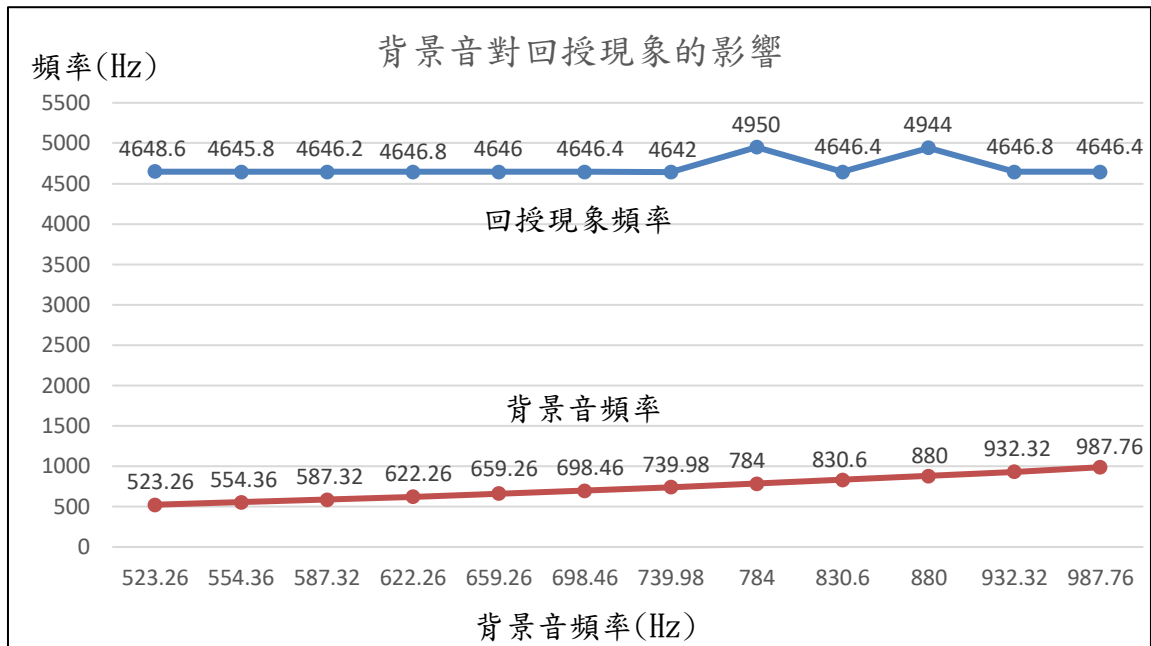


圖 7-2 實驗 2 折線圖

討論：

從實驗結果我們發現，當背景音的頻率從音高 C5 的頻率 523.26Hz 升到音高 B5 的頻率 987.76Hz，回授現象頻率並不是同樣上升，而只有在音高為 G5(784 Hz)及 A5(880 Hz)有變化。

我們認為這個現象是因為背景音的音波與回授現象的起始音源必須有特殊的重疊關係，回授現象才能將背景聲音聚集，因此代表某些特定頻率的背景音的確會進一步影響回授現象的聲音頻率。



### (三)實驗 3：麥克風與音箱距離對回授現象的影響

我們依據經驗認為麥克風與音箱的距離會影響回授現象，所以我們改變麥克風的位置，使其與音箱的距離從 10 公分至 134 公分，每間隔 0.5 公分進行一次實驗，我們測量回授現象產生的聲音頻率，得到如下圖。

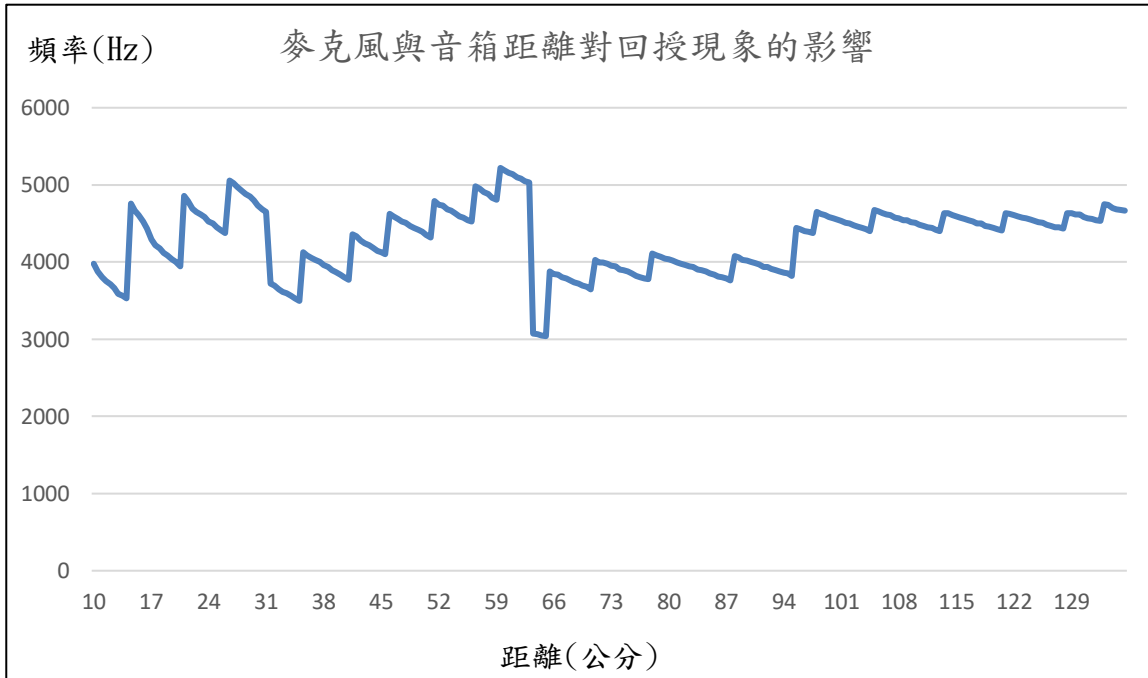


圖 7-3 實驗 3 折線圖

討論：

從圖 7-1 中的折線變化，我們發現當麥克風與音箱的距離從遠到近時，其產生的回授頻率變化是呈現規律的鋸齒狀，與原本預測的線性改變不同，每個鋸齒狀變化之距離約為 6 公分，另外也可發現大約 30 公分就會出一次大幅變化。

我們對於這個實驗結果感到驚訝，接著試圖思考可能的原因，從文獻中，我們大致了解回授的聲音是因為聲音不斷的被放大而產生，而音箱所產生的聲音要傳遞到麥克風，需要經過一小段時間，也導致每一次被放大的聲音到達音箱時，其聲波會處於不同的相位。原本，人耳或聲音分析軟體接收時，感受到最明顯的聲音頻率是被放大的最響音頻，但是經過多個音頻的重疊後，有些較弱音頻會彼此重疊放大而超過原本的最大聲響，導致測得的頻率上升。

此處較弱音頻重疊放大取代原來的最響音頻

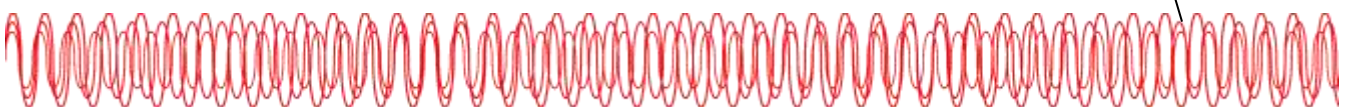




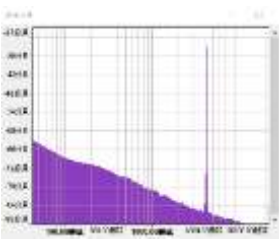
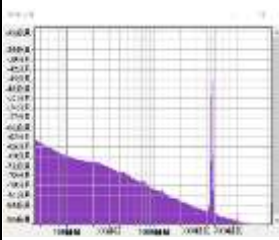
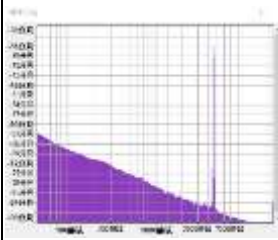
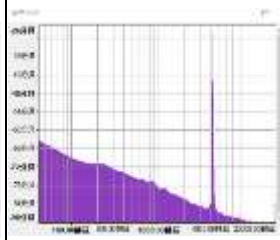




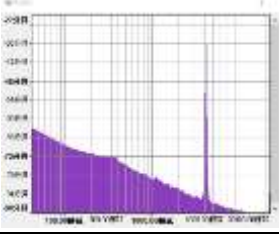
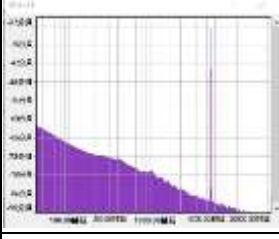
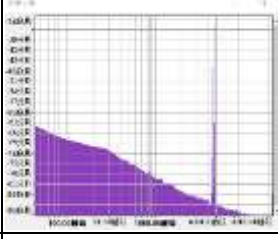
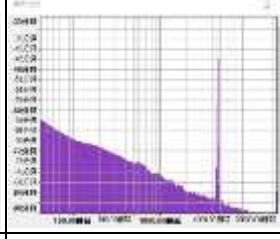


圖 7-4 實驗 3 示意圖

(四)實驗 4：麥克風面對音箱的角度對回授現象的影響

我們回想平常老師使用麥克風若出現回授現象時，會立即將麥克風轉向其他方向，而回授現象似乎會消失，於是我們覺得這是一個可以探討的因素，所以我們就使用大型量角器來調整麥克風的角度，並測量回授現象的頻率及音量，得到結果如下。

表 7-3 實驗 4 實驗結果

角度	0 度	10 度	20 度	30 度
影像				
音譜				
頻率	4188 Hz	4496Hz	4527 Hz	4134 Hz
音量	-34.0 dB	-29.4 dB	-35.4 dB	-26.8 dB
角度	40 度	50 度	60 度	70 度
影像				
音譜				
頻率	4106 Hz	4406 Hz	4472 Hz	4617 Hz
音量	-30.4 dB	-30.8 dB	-34.1 dB	-35.2 dB
※80 度及 90 度則沒有出現回授現象				

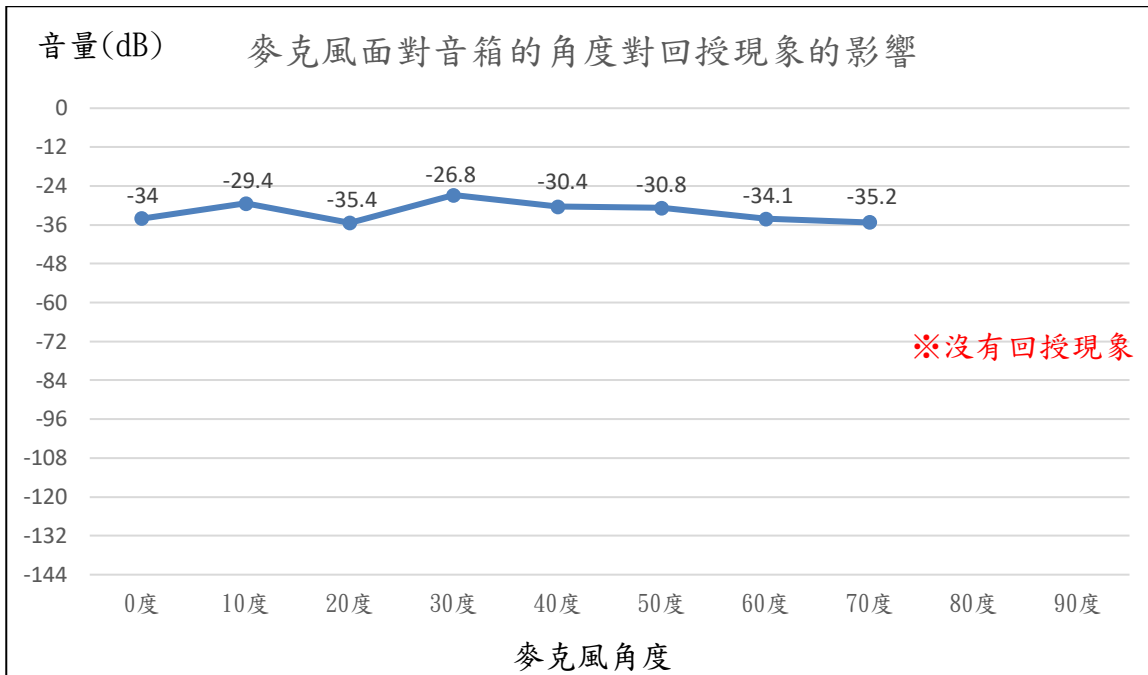


圖 7-5 實驗 4 折線圖

討論：

從實驗結果中，我們發現麥克風的角度介於 0~70 度之間時，在回授現象的音量與頻率上並沒有太大的單一變化趨勢，而當角度調整至 80 及 90 度時，回授現象就消失了。

我們認為麥克風的角度介於 0~70 度之間時，麥克風因為角度改變，所以與音箱的距離也跟著變動，導致回授現象的聲響頻率產生變化，而當回授現象穩定時，聲音的大小並不會因為角度變大而降低；但是當角度過大時，如本實驗的 80 及 90 度時，則因為起始音源過小，使回授現象無法聚集聲音，使回授現象直接消失。




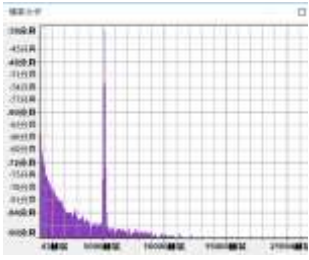
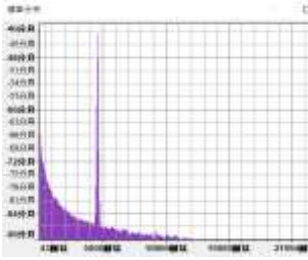
(五)實驗 5：不同反射板角度對回授現象的影響

原本我們在進行實驗設計時，構想實驗器材放置在隔音箱中，但無意中發現隔音箱的木板會導致聲音的反射，而加強了回授現象，我們認為反射這個因素不可忽視，於是我們設計了實驗 5、6、7，分別是反射板的角度、大小及材質。在本實驗中，我們利用雷射筆搭配鏡子，將反射板的角度調整成 0、10、20、30、40、50、60、70、80 及 90 度。



雷射筆確認反射板角度示意圖

表 7-4 實驗 5 實驗結果

角度	0 度	10 度	20 度
影像			
音譜			※沒有產生回授現象
頻率	4580.4 Hz	4580.8 Hz	
音量	-40.56 dB	-42.04 dB	

討論：

從實驗結果中，我們發現當角度為 0 時，能產生較大音量的回授聲響-40.56 dB，而角度調為 10 度時，則音量便略為下降至-42.04 dB，若再繼續調大角度至 20 度或更大時，則回授現象則消失，但是頻率並沒有因為反射板的角度而有變化。



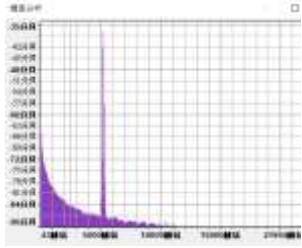



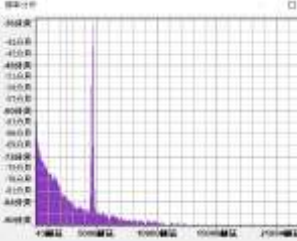
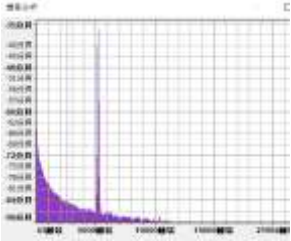
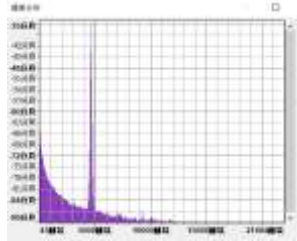
我們認為可能的原因是當角度變大時，原本從音箱進入麥克風的聲音方向偏移了，導致麥克風接收的音量變少，而當此音量小至某個程度，此系統便無法聚集音量，導致回授現象消失。另外，轉動反射板角度並不會影響麥克風與音箱的距離，所以回授的頻率並沒有產生變化。



(六)實驗 6：不同反射板大小對回授現象的影響

承實驗 5，我們認為不同面積的反射板可能會對於回授現象有明顯的影響，於是改變反射板的大小，分別是邊長 10、20、30、40 及 50 公分，以下是我們的實驗結果。

表 7-5 實驗 6 實驗結果

邊長	沒有反射板	10 公分	20 公分
			
音譜	※沒有產生回授現象	※沒有產生回授現象	
頻率	沒有產生回授現象	沒有產生回授現象	4682.0 Hz
音量	沒有產生回授現象	沒有產生回授現象	-38.2 dB
邊長	30 公分	40 公分	50 公分
影像			
音譜			
頻率	5222.8 Hz	4651.0 Hz	4629.4 Hz
音量	-37.56 dB	-36.58 dB	-34.02 dB



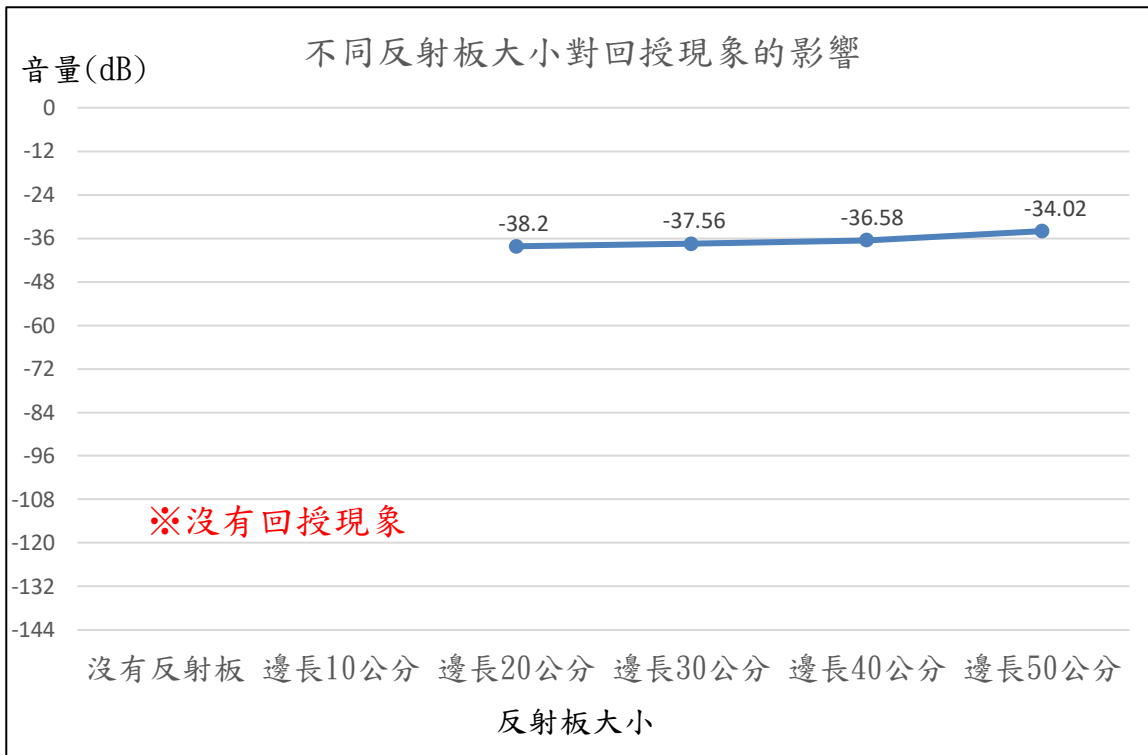


圖 7-6 實驗 6 折線圖

討論：





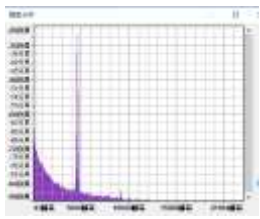
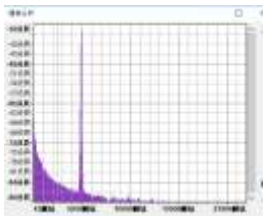
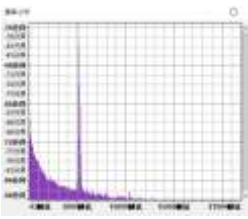
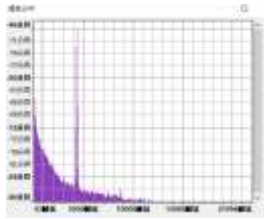
從實驗結果中，我們發現當沒有使用反射板時或反射板過小(例如本實驗邊長 10 公分)時，沒有出現回授聲響，而當反射板逐漸加大時。則回授現象有放大的趨勢。

我們認為出現如此的實驗結果，原因可能是回授現象的來源之一是音箱發出的聲波碰撞物體而反彈至麥克風，因此當反射板的面積愈大時，愈能完整反射來自音箱中原本微弱的起始聲波。也因此當反射板具有一定面積時，就會產生相當大的聲響，因而造成邊長 10 公分與 20 公分之間差異懸殊的結果。

(七)實驗 7：不同反射板材質對回授現象的影響

承實驗 6，我們想要再進一步探討反射板的材質是否會對於回授現象造成影響，因此我們使用邊長 30 公分的木板，然後在板子上分別鋪上毛巾、巧拼地墊、隔音棉及不鋪材質等四種狀態，以下是我們的實驗結果。

表 7-6 實驗 7 實驗結果

變項	木板	毛巾	巧拼地墊	隔音棉
				
音譜				
頻率	4607 Hz	4932 Hz	4963 Hz	4323 Hz
音量	-32.8 dB	-38.8 dB	-40.6 dB	-48.0 dB

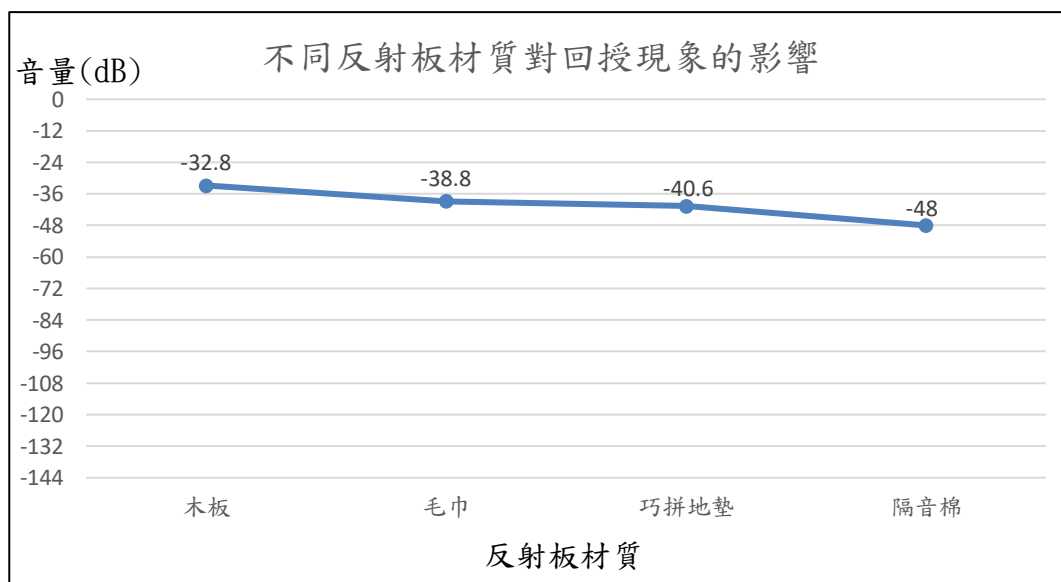


圖 7-7 實驗 7 折線圖




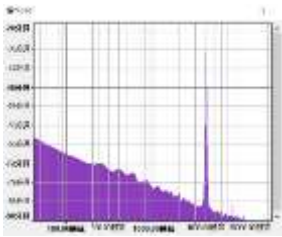
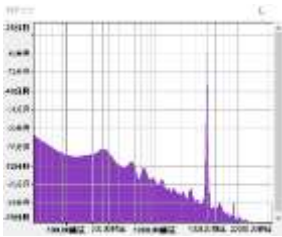
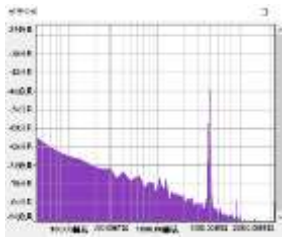



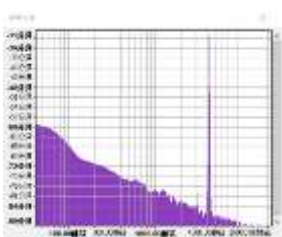
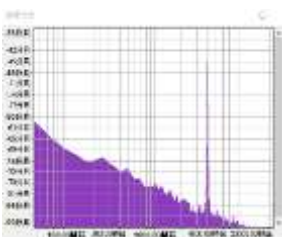
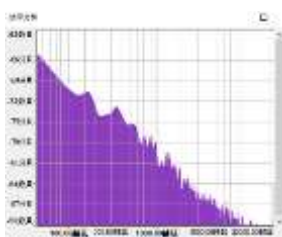
討論：

從實驗結果中，我們發現木板材質的反射板所產生的回授現象聲音最大，而隔音棉所產生的回授現象聲音最小，我們認為可能的原因是愈為堅硬扎實的材質能反射較多的聲波，當然也會使回授現象更為明顯。另外，因為這些材質的厚度及凹凸狀態不同，所以也導致頻率有些微的改變。

(八)實驗 8：降回授裝置對回授現象的影響

承實驗 5、6、7，我們想要直接設計一種能有效降低回授現象的裝置，並且想像可以實際應用在聲音設備上，經過我們共同的討論，製作了一件降回授裝置，主要是利用裝置上的百葉板角度改變反射的角度，另外，也測試在音箱中播放一個音名 A5(880Hz)的單音，並於麥克風的位置測量音量，以期望在不影響原本的音質音量狀態下，有效降低回授現象，以下是我們的實驗結果。

表 7-7 實驗 8 實驗結果

角度	0 度	10 度	20 度
影像			
音譜			
頻率	3940 Hz	3941 Hz	3940 Hz
回授音量	-37.54 dB	-41.56 dB	-35.50 dB
音樂音量	-45.6 dB	-45.6 dB	-45.2 dB
角度	30 度	40 度	50 度
影像			
音譜			
頻率	4208 Hz	4201 Hz	※沒有回授現象
回授音量	-32.06 dB	-45.58 dB	
音樂音量	-45.8 dB	-45.4 dB	-45.0 dB

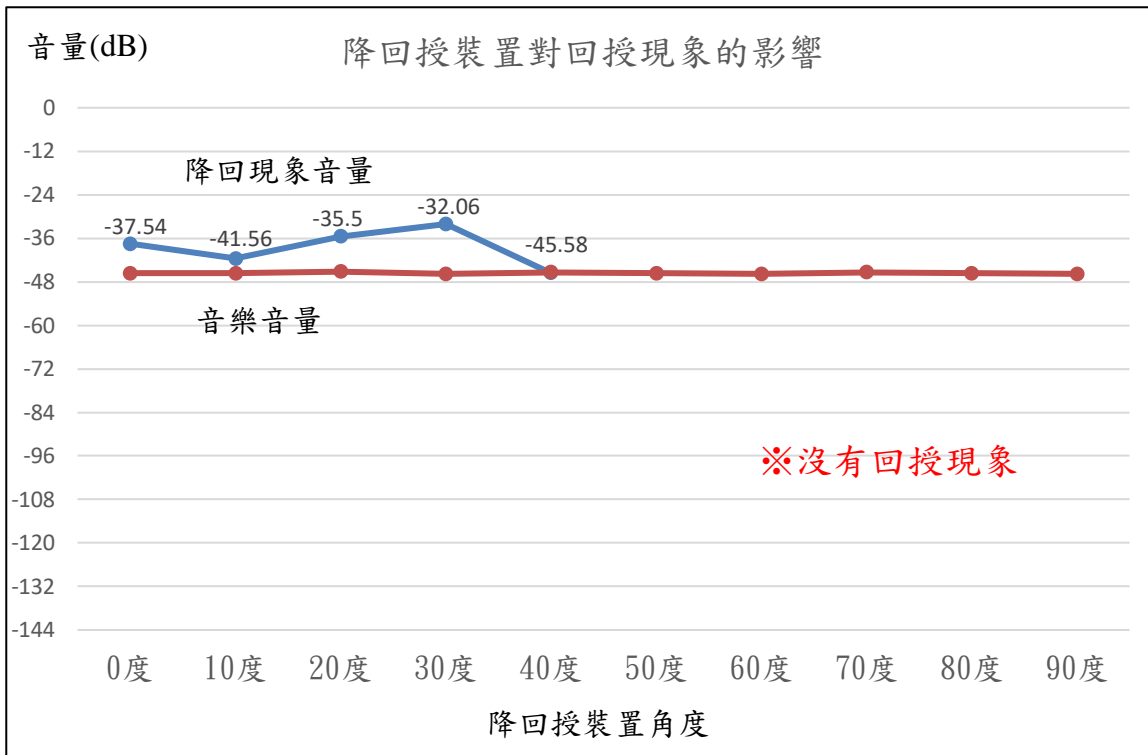


圖 7-8 實驗 8 折線圖

討論：

從實驗結果中，我們發現降回授裝置在 0~40 度，並無法降低回授現象的音量，甚至有時角度愈大，音量還上升，另外，頻率也呈現不穩定的狀態。

本實驗結果大致與實驗 5 相符，也就是只要麥克風能接收到一定大小的起始音源時，就是持續放大音量，形成回授現象聲響，但當此音量被降回授裝置反射偏移後而降至一定程度後，回授現象就無法持續，而頻率也因為距離的改變呈現不斷變化的形況。

另外，我們也測試了在音箱中播放音高 A5 的單音，並測量經過降回授裝置後所收到的音量，結果發現音量皆為 -45 dB 上下，代表本實驗之降回授裝置能降低回授現象並且不會阻隔音箱中播放的正常聲音內容。

(九)實驗 9：物體阻隔對回授現象的影響

在實驗 8 中，我們找到了有效降回授現象的方法，並且，在研究的過程中也發現了另一種降低回授現象的方法，就是在麥克風與音箱中間放置阻隔物(如右圖)，也能產生抑制效果，我們認為若能在偏離麥克風與音箱的中間連線愈遠，並且使用的板子愈小，則可應用性愈大，於是我們使用 PP 板，將其寬度裁成 60、55、50、45、40、35、30...公分寬，測量其邊緣離回授通道的垂直距離。

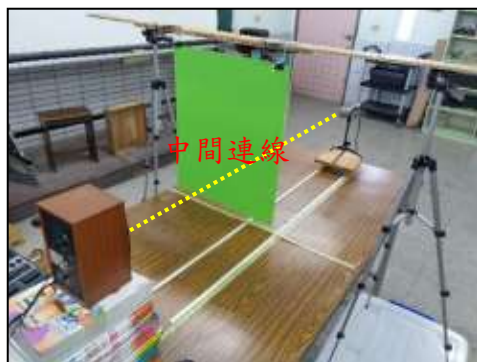


表 7-8 實驗 9 實驗結果

變項	60 公分	55 公分	50 公分	45 公分
影像				
偏離距離	-6.5 公分	-2.5 公分	-1.25 公分	-0.5 公分
變項	40 公分	35 公分	30 公分	/
影像				
偏離距離	4.50 公分	5.25 公分	※無法消除回授現象	

註：偏離距離負值代表 PP 板邊緣未超過中間連線



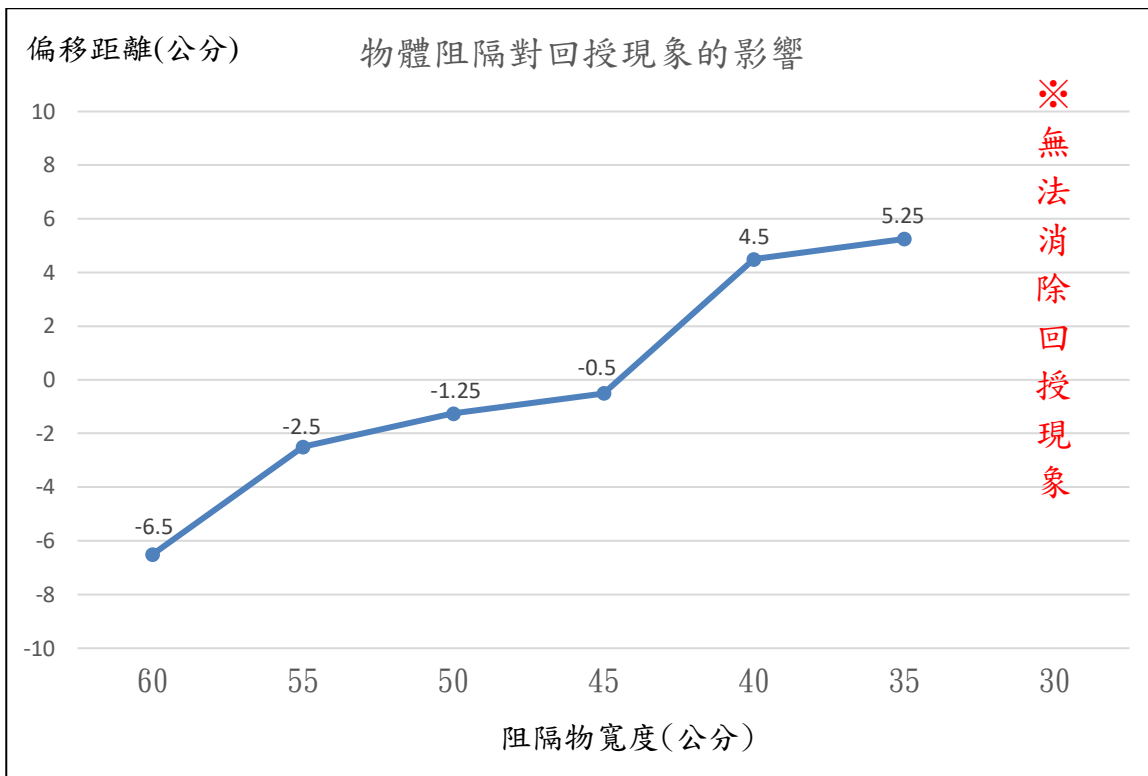


圖 7-9 實驗 9 折線圖

討論：

從實驗結果中，我們發現阻隔物愈大，則邊緣離中間連線愈遠便可阻隔回授現象，然而，當阻隔物寬度愈窄時，則邊緣離中間連線需愈近才能阻隔回授現象，甚至在寬度 40 及 35 公分時，邊緣必須超過中間連線，而寬度 30 公分時，則完全無法阻隔回授現象。

我們依據之前實驗的結果，認為要產生回授現象，其起始音源必須有一定程度的音量，才能被系統不斷的放大，而起始音源可以傳輸的方向，是以音箱與麥克風的中間連線為中心的周圍，而當我們使用阻隔板做部份的阻隔時，則會導致部份方位的起始音源被阻隔(如圖 7-10)，而音箱無法繼續放大音量，導致回授現象中止。

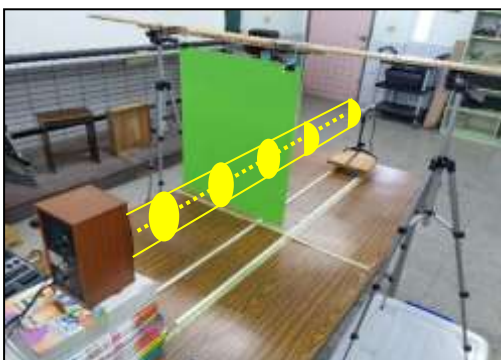


圖 7-10 起始音源被阻隔示意圖

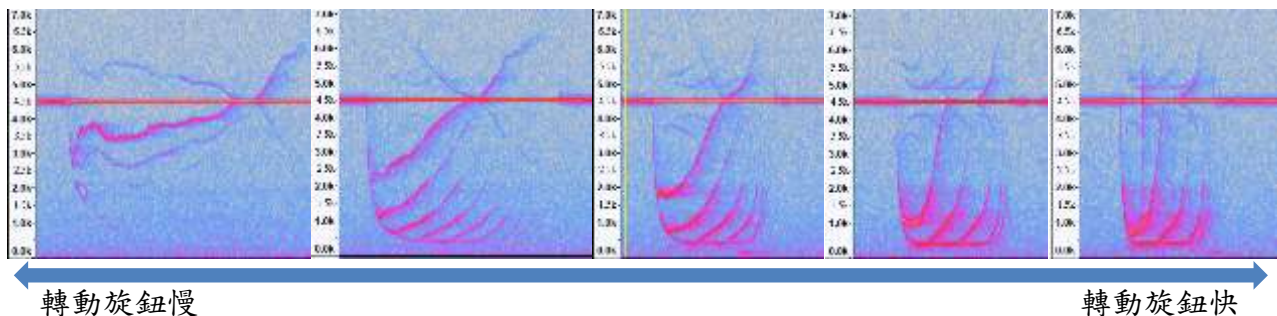
### (十)實驗 10：延遲音效對回授現象的影響

最後，我們仍有一個疑惑，就是改變麥克風所接收到的聲音從音箱中被播出的時間，是否會對於回授現象造成影響，於是我們將麥克風的訊號線插入效果器中，利用旋鈕來改變這個延遲時間，結果如下。



討論：

我們調整了延遲時間，結果發現在調整旋鈕的過程中，會造成回授聲音頻率的改變，如同聲音特效，但是當我們調整完旋鈕後，則聲音又會回復到原來的頻率，沒有任何差異，另外，當我們調整旋鈕的速度愈快，則聲音變化的情形愈明顯，下圖是我們以不同速度調整旋鈕時，電腦 Audacity 軟體所錄製的頻譜圖，可以明顯看到條紋狀的頻率變化，最後這些頻率都會回歸到 4500 Hz。



我們了解到回授現象是每一次放大的聲音之累加，所以當我們瞬間改變音箱播音的延遲時間，的確會造成前後累加的聲音處於不同的音程，但是當我們的延遲時間固定下來，則前後的聲音之音程都是延遲相同的時間，所以彼此之間的相位差異又回復原來狀態。

## 八、結論與建議

綜合本研究五大目的之十個實驗所獲得之結果及討論，我們總結出下列六項結論及三項建議，以下依序說明。

(一)結論：

1. 回授現象的起始聲音應該是空氣的擾動，而週遭的背景聲音在某些特定的頻率下也會影響回授現象的聲音頻率。
2. 麥克風與音箱的距離會讓回授現象的頻率呈現一種特殊的規律變化，並非呈現線性的改變，另外麥克風面對音箱的角度過大時，則回授現象會消失。
3. 聲音設備周圍的物體都有可能反射聲音，而形成回授現象，而周圍的牆壁加裝防音棉等物質可降低產生回授現象的機率或音量。

4. 本研究自製的降回授裝置利用百葉板形式，有效將回授現象的起始聲音反射偏離麥克風，阻斷了回授現象，並且不影響正常的播放聲音之音質。
5. 在音箱與麥克風中間放置特定大小的物品，就能阻擋部份的起始音源，而消除回授現象。
6. 使用聲音延遲並沒有辦法消除回授現象，但是卻能藉由改變延遲時間，造成回授聲響的頻率變化。

(二)對未來研究的建議：

1. 本研究的實驗受限於空間的大小，所以無法避免周圍的物體對實驗產生影響，所以建議未來的研究者可以於更為開闊的環境中進行回授現象實驗，應可獲得更為正確的實驗結果。
2. 本研究自製的降回授裝置已具備一定程度的阻斷回授現象之效果，期望爾後再進一步改良，讓裝置更為方便、輕巧及美觀。
3. 未來的研究者可嘗試利用回授現象的頻率來探測環境中空氣分子的擾動情形，以了解氣壓或溫度變化。
4. 未來的研究者可嘗試利用回授現象製造超高頻率的聲波，運用在清潔、驅蟲與傳遞訊號等用途上。

## 九、參考資料

世界第一簡單物理光、聲、波篇(民 107 年)。台北市。世茂書局。

正回授音。物理教學示範實驗教室。民 107 年 11 月 10 日，取自：  
<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/phpBB/viewtopic.php?topic=8882>

音訊回授。國家教育研究院。民 107 年 11 月 10 日，取自：<http://terms.naer.edu.tw/detail/1682139/>

为啥功放上的音量控制的 dB 数都是负的。程序园。民 107 年 11 月 10 日，取自：  
<http://www.voidcn.com/article/p-ayshrawr-wa.html>

聲波。百度百科。民 107 年 11 月 10 日，取自：<https://baike.baidu.com/item/聲波/35769?noadapt=1>

聲波。維基百科。民 107 年 11 月 10 日，取自：<https://zh.wikipedia.org/wiki/聲波>

## 【評語】 080118

1. 實驗結果未有突出發現。
2. 未考慮隔板造成音量降低的影響。
3. 結論中提到空氣擾動產生回授，涵義模糊。
4. 探究聲音回授的因素，屬於生活化的主題。



## 摘要

回授現象是一種特殊的物理現象。本研究藉由生活中常見的聲響設備如音箱、麥克風、效果器及手機來進行實驗，並藉由電腦來錄音及分析，我們想要探討的變因包含有距離、角度、阻隔物、反射物、音量、阻隔板等變因，期望藉由實驗結果，分析了解回送現象背後發生的原因，並找出避免這個現象的方法，及其未來的應用性。

我們發現了回授現象的起源應該是空氣的擾動，而麥克風與音箱的距離會讓回授現象的頻率呈現一種特殊的規律變化，另外，聲音的反射也會影響回授現象，因此我們製作了降回授裝置，能有效消除回授現象，而阻隔物也是未來可以運用的一種降回授方式。

## 研究目的

### 項目一：起始聲音

實驗1：空氣擾動對回授現象的影響

實驗2：背景音對回授現象的影響

### 項目二：麥克風與音箱的相對位置

實驗3：麥克風與音箱距離對回授現象的影響

實驗4：麥克風面對音箱的角度對回授現象的影響

### 項目三：聲音反射

實驗5：不同反射板角度對回授現象的影響

實驗6：不同反射板大小對回授現象的影響

實驗7：不同反射板材質對回授現象的影響

實驗8：降回授裝置對回授現象的影響

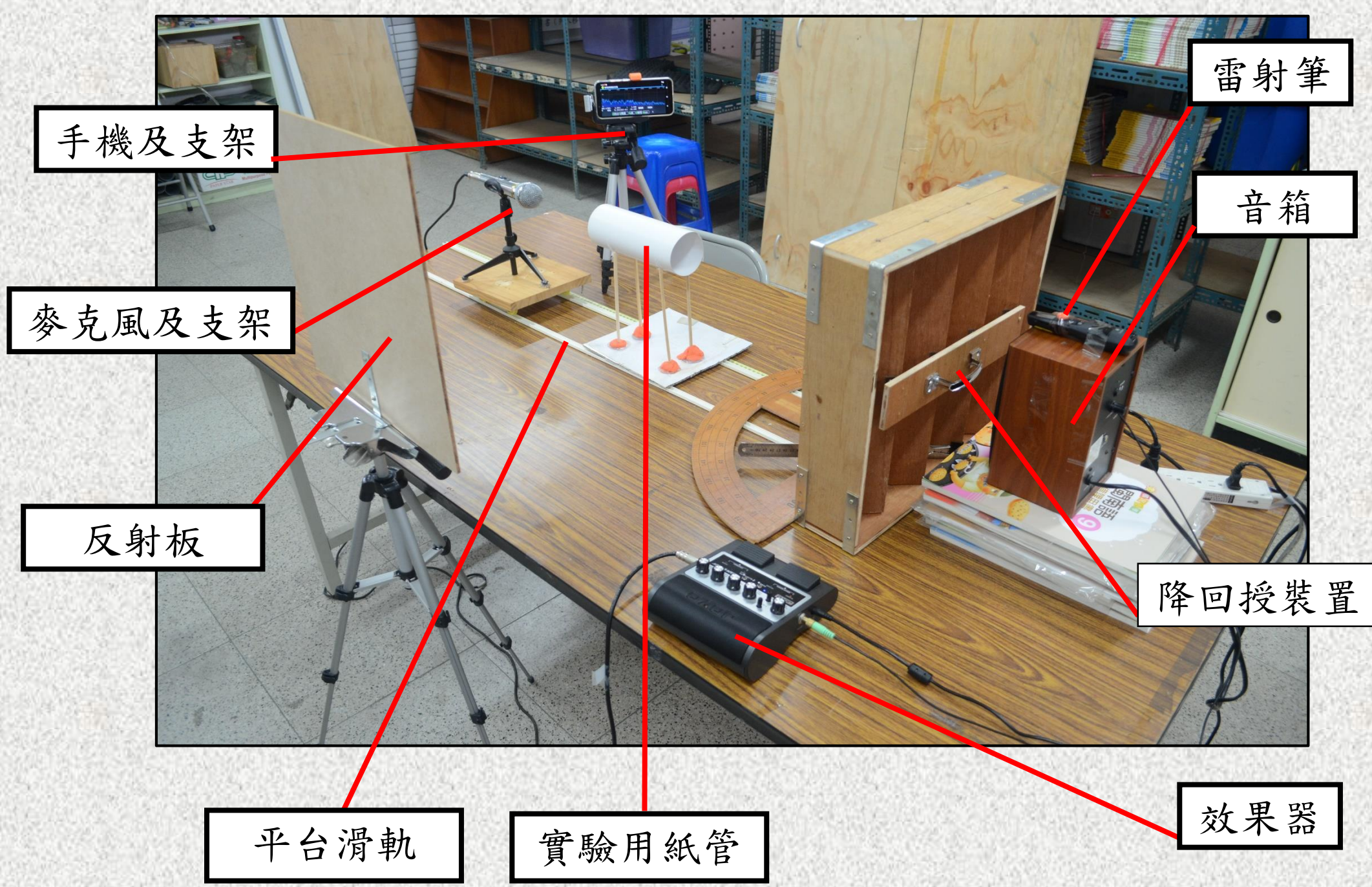
### 項目四：物體阻隔

實驗9：物體阻隔對回授現象的影響

### 項目五：延遲音效

實驗10：延遲音效對回授現象的影響

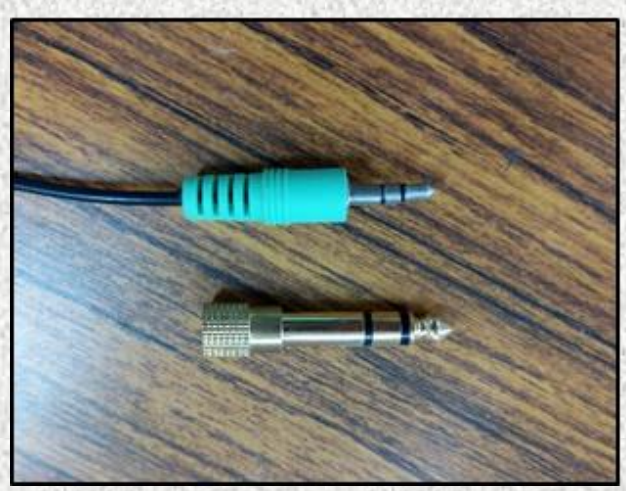
## 實驗設備介紹



## 研究設計

### 一、連接聲音裝置

目的是模擬一般音響設備的回授現象，器材包含了音箱、效果器及麥克風，使用效果器的目的是為了進行聲音的延遲效果。將開關皆開啟，若此時音箱音量轉動到特定音量，且麥克風在近距離內對準音箱，通常就會出現一陣尖銳的聲音，這便是回授現象。



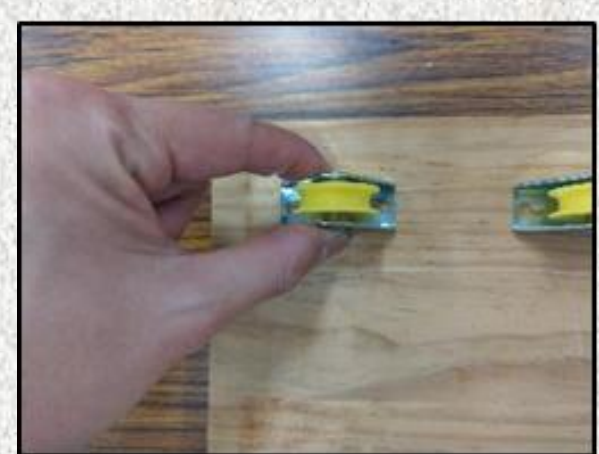
3.5mm及6.3mm接頭



效果器開關皆開啟

### 二、固定麥克風於平台軌道

我們使用麥克風支架來控制高度及方向，另外在桌面上固定好軌道，利用滑動平台控制麥克風與音箱的距離，同時維持方向不變。



將滑輪貼在木板上



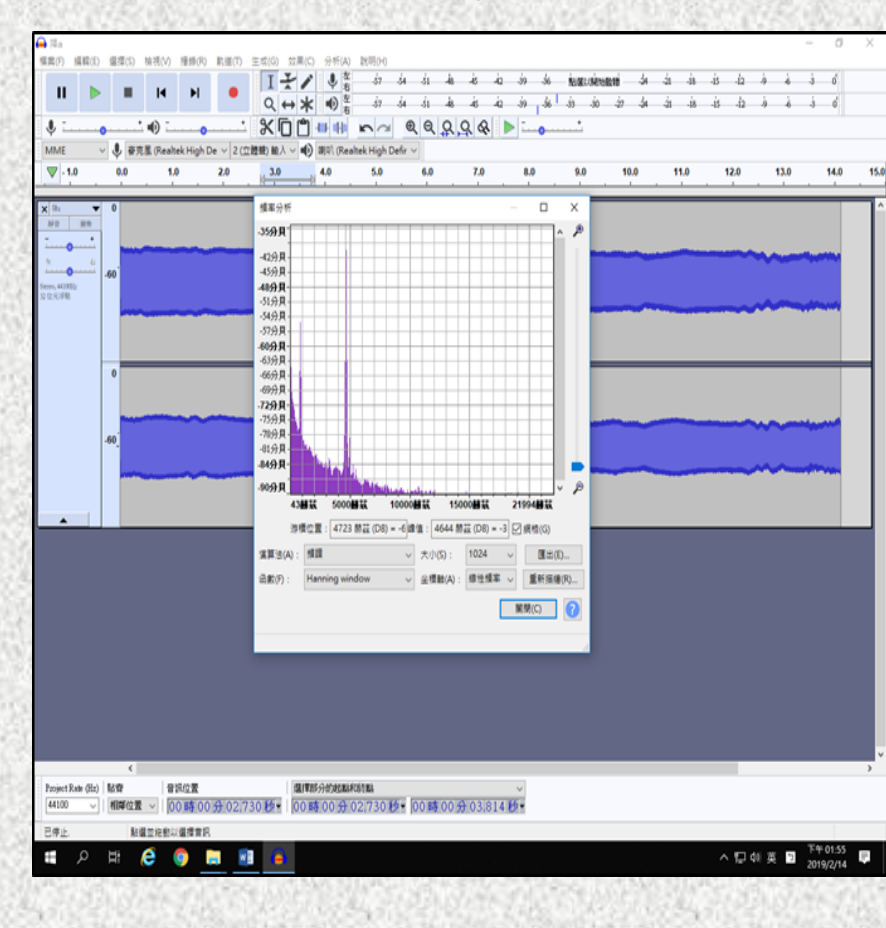
將麥克風支架固定於滑動平台上



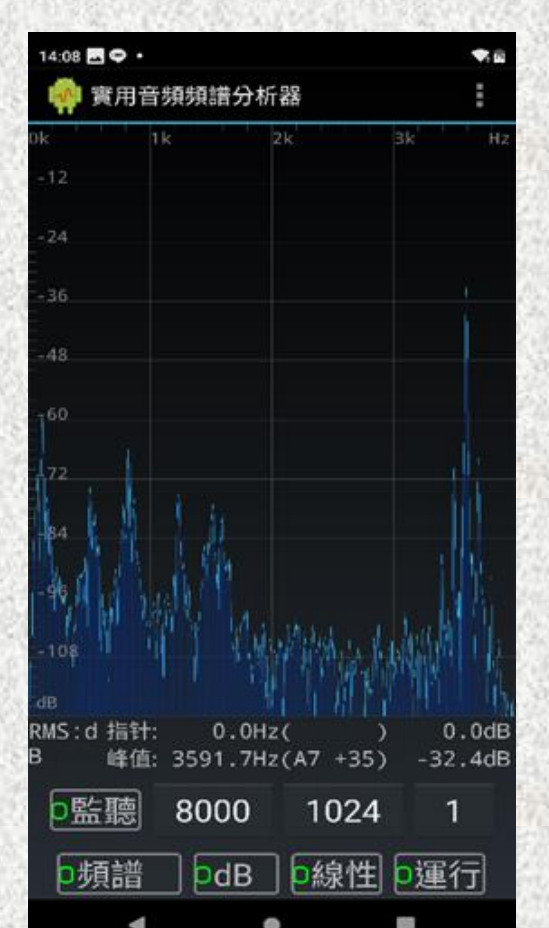
將平台放置在軌道上

### 三、固定測量用之手機及麥克風於支架

使用手機搭配實用音頻頻譜分析器App，或以小型麥克風搭配電腦的Audacity 2.2.2軟體來測量聲音的頻率及音量。



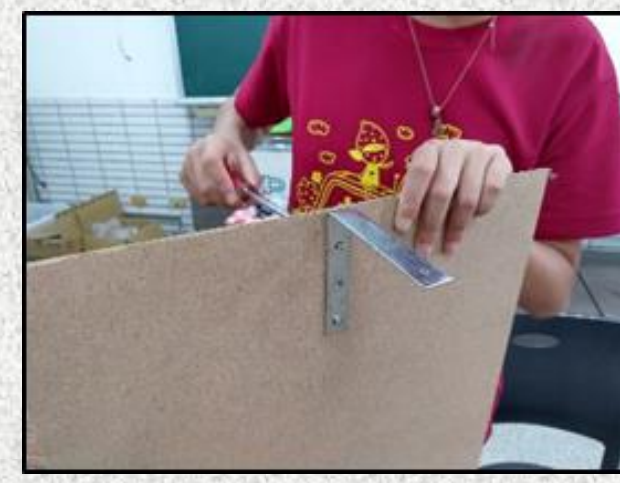
Audacity 2.2.2 軟體



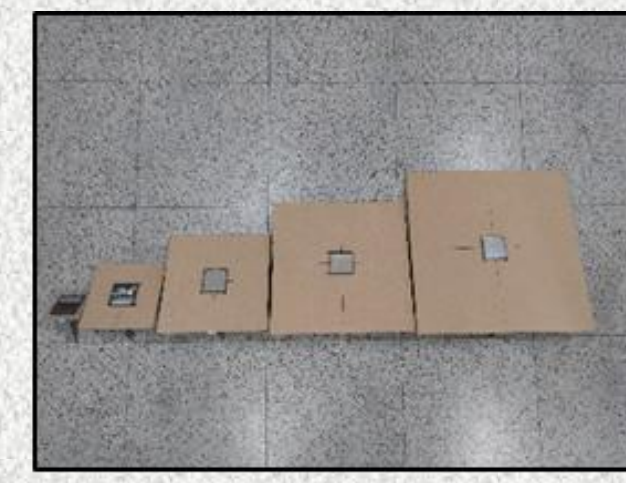
實用音頻頻譜分析器App

### 四、製作各式反射板

反射板包含不同大小、材質，並可調整角度，將木板標記出中心點，然後貼上一片小鏡子，並在音箱上方貼上雷射筆。當光線從雷射筆射出，經過反射板反射到達麥克風前端，我們可確認位置及角度正確。



木板後方鎖上L型鐵架



各種尺寸反射板



雷射筆光線路徑確認反射板位置角度

### 五、製作降回授裝置

我們製作可以方便操作且實用的降回授裝置，可以放置在音箱前，阻斷回授現象的放大過程。利用把手來轉動方框中的木板，進而控制降回授裝置的方向。



將木板組裝成一個方框



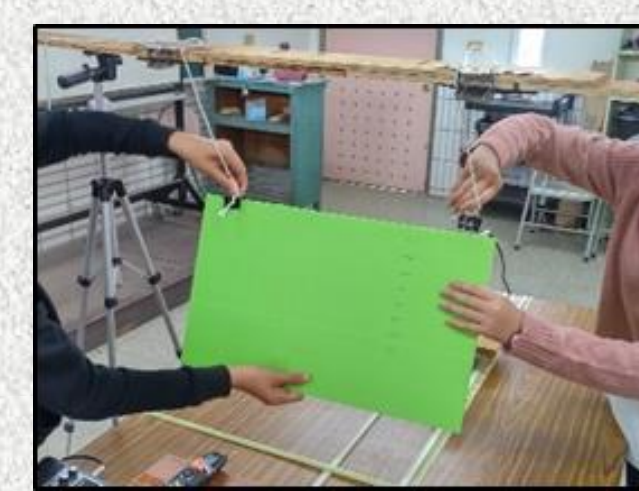
在這四片方框中的木板鎖上門片鉸鍊



在連動木板裝上把手

### 六、設置阻隔物

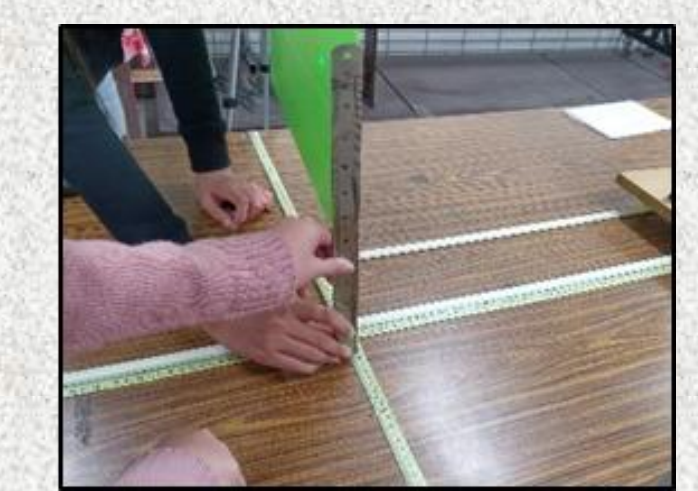
我們設計使用不同高度的PP板，對準音箱與麥克風的中間線，由左至右挪移，藉由消除回授現象，以確認不同大小的PP板中斷回授現象時所需擺放的位置。



吊掛阻隔物



利用雷射筆確認PP板的高度



確認阻隔物橫向位置

## 四、實驗方法

1. 放置器材：將所需之物品放置好，包含音箱、麥克風滑動平台、效果器、手機或小型麥克風等。
2. 放置反射板或其它附加物品：如反射板、降回授裝置阻隔物等。
3. 開啟電源：開啟音箱電源、麥克風開關及效果器開關，並且於實驗過程中皆不可變更各項設備旋鈕的大小位置以確保實驗結果的一致性。
4. 記錄結果：若要立即獲得頻率高低等單一數值，則使用手機搭配實用音頻頻譜分析器App，若是要取得頻譜圖，則使用電腦搭配Audacity 2.2.2軟體來錄音。
5. 分析與討論：我們每項實驗各進行5次，進行平均，再予以分析討論，以得到可靠的結論。



固定手機或小型麥克風



固定好降回授裝置



確認設備旋鈕大小位置



## 研究結果及討論

### (一) 實驗1：空氣擾動對回授現象的影響

文獻探討中，我們了解回授現象是聲音不斷放大重疊的過程，我們依據網路的說法試了改變器材電壓以及空氣流動等方法，結果幾乎沒有差異，而另一個說法是空氣的擾動，讓我們想到當放置一個管子耳朵前會聽到一些特殊的聲音，於是我們在麥克風前放置一個紙管，並改變紙管的位置。

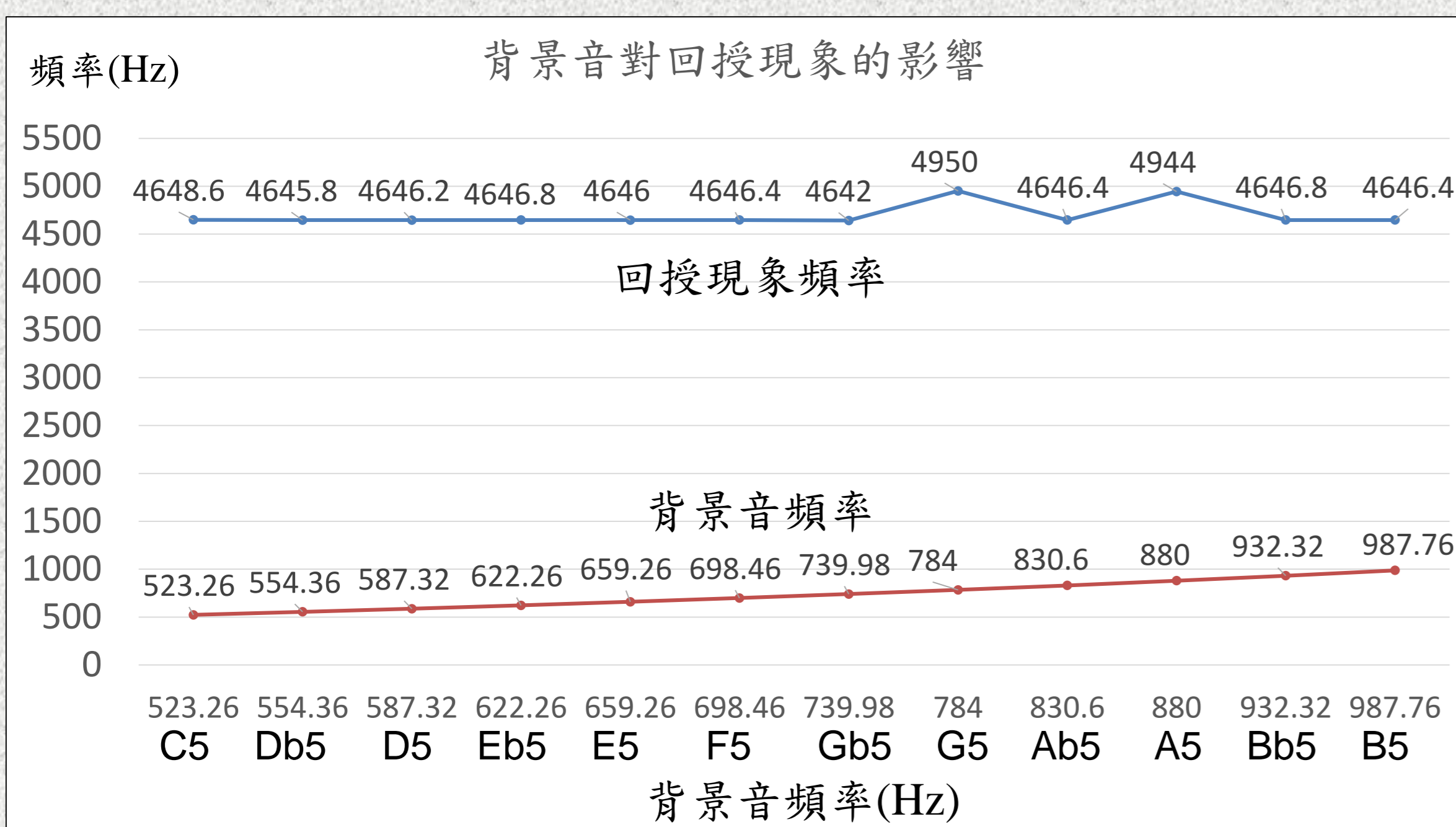


討論：

我們改變紙管位置時，回授現象的頻率會有非連續的變化，並且比較特殊的部份是在某一些位置回授的聲音消失了。我們認為回授現象常常會同時產生數個不同的頻率音波，而我們測量時只測到最大聲響的頻率，當我們放置紙管的位置，剛好將部份頻率的音波破壞了，則我們只會測量到剩餘的最響頻率；甚至在本實驗20~26公分的位置，全部的回授頻率皆被破壞，導致原本尖銳的聲音突然消失。另外，我們也可由這個實驗確認回授現象的起始聲音與紙管放在耳朵旁產生的風聲原理相同，是空氣的擾動所造成。

### (二) 實驗2：背景音對回授現象的影響

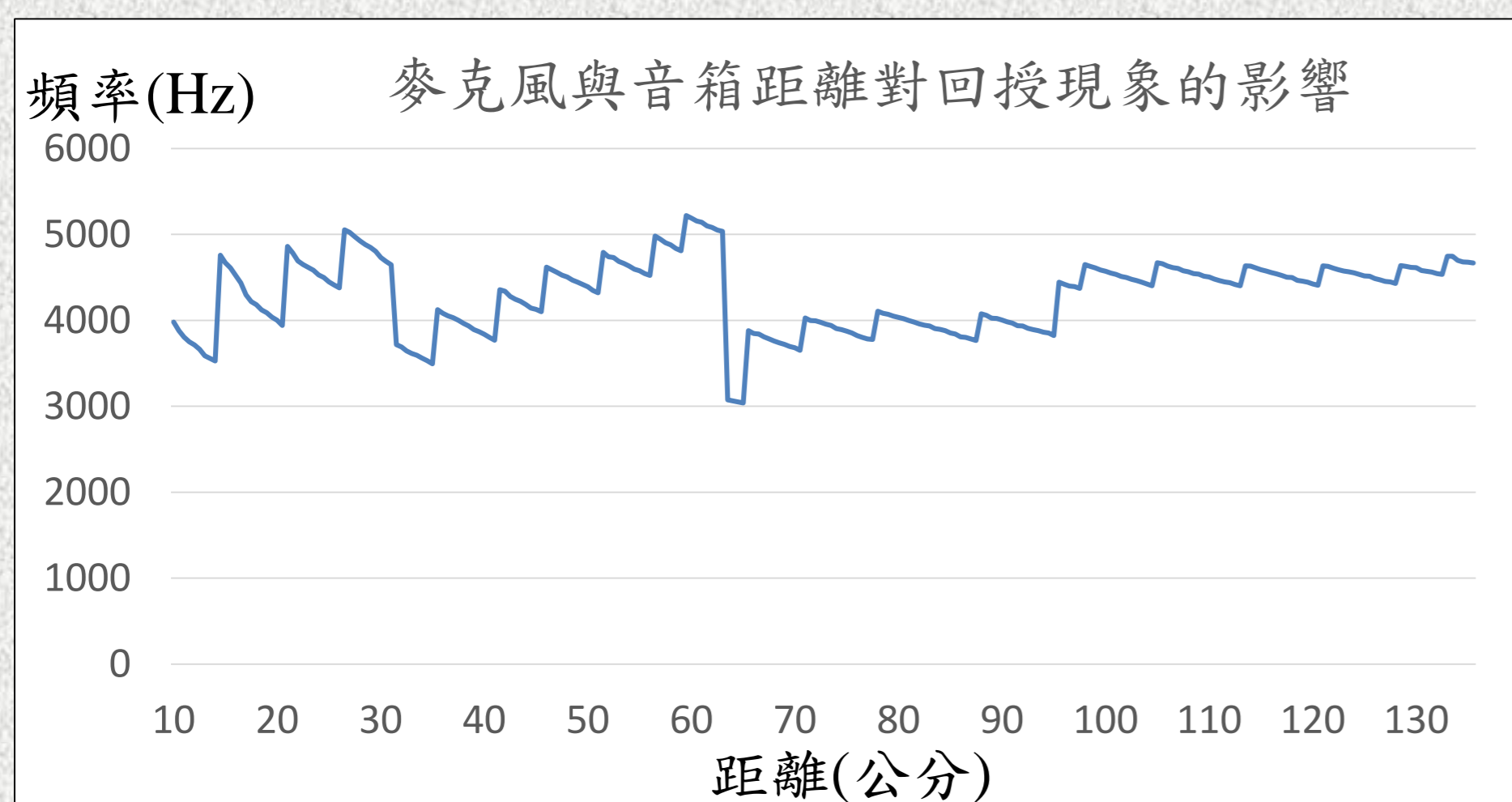
我們相當好奇，麥克風旁原本存在的背景音是否會對回授現象產生影響，於是我們使用手機在麥克風旁播放音高分別為C5、Db5、D5、Eb5、E5、F5、Gb5、G5、Ab5、A5、Bb5及B5等十二個不同頻率的單純聲音。



討論：從實驗結果我們發現，當背景音的頻率從音高C5的頻率523.26Hz升到音高B5的頻率987.76Hz，回授現象頻率並不是同樣上升，而只有在音高為G5(784 Hz)及A5(880 Hz)有變化。我們認為這個現象是因為背景音的音波與回授現象的起始音源必須有特殊的重疊關係，回授現象才能將背景聲音聚集，因此代表某些特定頻率的背景音的確會進一步影響回授現象的聲音頻率。

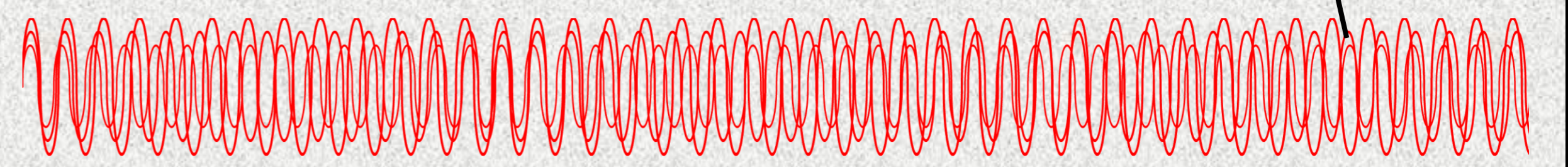
### (三) 實驗3：麥克風與音箱距離對回授現象的影響

我們依據經驗認為麥克風與音箱的距離會影響回授現象，所以我們改變麥克風的位置，使其與音箱的距離從10公分至134公分，每間隔0.5公分進行一次實驗，我們測量回授現象產生的聲音頻率。



討論：我們發現當麥克風與音箱的距離從遠到近時，其產生的回授頻率變化是呈現規律的鋸齒狀，與原本預測的線性改變不同，每個鋸齒狀變化之距離約為6公分，另外也可發現大約30公分就會出一次大幅變化。我們感到驚訝，試圖思考可能的原因，從文獻中我們了解回授的聲音是因為聲音不斷的被放大而產生，而音箱所產生的聲音要傳遞到麥克風，需要經過一小段時間，也導致每一次被放大的聲音到達音箱時，其聲波會處於不同的相位。原本人耳或聲音分析軟體接收時，感受到最明顯的聲音頻率是被放大的最響音頻，但是經過多個音頻的重疊後，有些較弱音頻會彼此重疊放大而超過原本的最大聲響，導致測得的頻率上升。

此處較弱音頻重疊放大取代原來的最響音頻

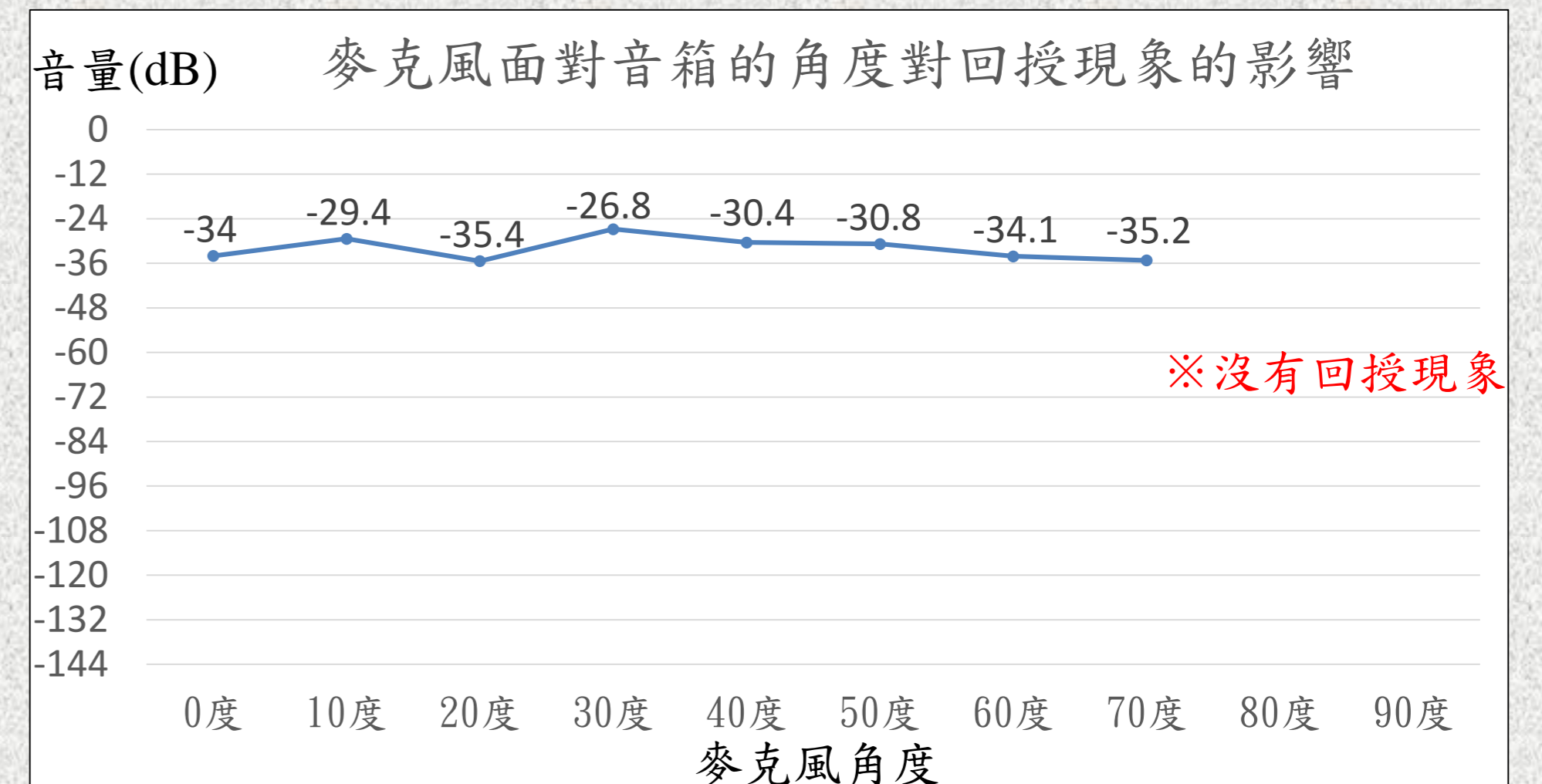


### (四) 實驗4：麥克風面對音箱的角度對回授現象的影響

我們回想平常老師使用麥克風若出現回授現象時，會立即將麥克風轉向其他方向，而回授現象似乎會消失，於是我們覺得這是一個可以探討的因素，所以我們就使用大型量角器來調整麥克風的角度。

角度	0度	10度	20度	30度
影像				
音譜				
頻率	4188 Hz	4496 Hz	4527 Hz	4134 Hz
音量	-34.0 dB	-29.4 dB	-35.4 dB	-26.8 dB
角度	40度	50度	60度	70度
影像				
音譜				
頻率	4106 Hz	4406 Hz	4472 Hz	4617 Hz
音量	-30.4 dB	-30.8 dB	-34.1 dB	-35.2 dB

※80度及90度則沒有出現回授現象



討論：

我們發現麥克風的角度介於0~70度之間時，在回授現象的音量與頻率上並沒有太大的單一變化趨勢，而當角度調整至80及90度時，回授現象就消失了。我們認為麥克風的角度介於0~70度之間時，麥克風因為角度改變，所以與音箱的距離也跟著變動，導致回授現象的聲響頻率產生變化，而當回授現象穩定時，聲音的大小並不會因為角度變大而降低；但是當角度過大時，如本實驗的80及90度時，則因為起始音源過小，使回授現象無法聚集聲音，使回授現象直接消失。

### (五) 實驗5：不同反射板角度對回授現象的影響

原本我們在進行實驗設計時，構想實驗器材放置在隔音箱中，但無意中發現隔音箱的木板會導致聲音的反射，而加強了回授現象，我們認為反射這個因素不可忽視。在本實驗中，我們利用雷射筆搭配鏡子，將反射板的角度調整成0、10、20、30、40、50、60、70、80及90度。

角度	0度	10度	20度
影像			
音譜			※沒有產生回授現象
頻率	4580.4 Hz	4580.8 Hz	
音量	-40.56 dB	-42.04 dB	



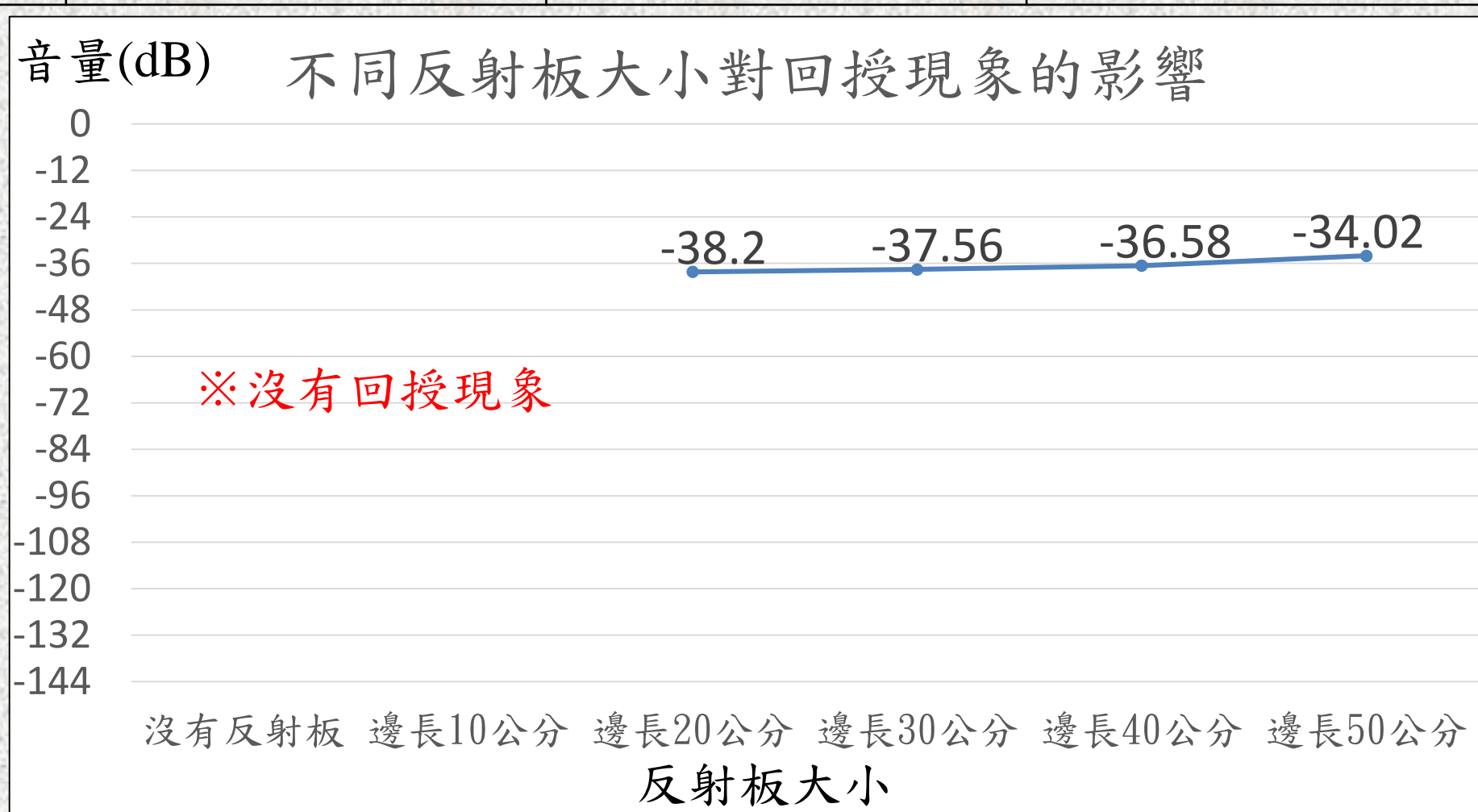
討論：我們發現當繼續調大角度至20度或更大時，則回授現象則消失，但是頻率並沒有因為反射板的角度的而有變化。

我們認為是當角度變大時，原本從音箱進入麥克風的聲音方向偏移了，導致麥克風接收的音量變少，而當此音量小至某個程度，此系統便無法聚集音量，導致回授現象消失。另外，轉動反射板角度並不會影響麥克風與音箱的距離，所以回授的頻率並沒有產生變化。

### (六)實驗6：不同反射板大小對回授現象的影響

我們認為不同面積的反射板可能會對於回授現象有影響，於是改變反射板的大小，分別是邊長10、20、30、40及50公分

邊長	沒有反射板	10公分	20公分
影像			
音譜	※沒有產生回授現象	※沒有產生回授現象	
頻率	沒有產生回授現象	沒有產生回授現象	4682.0 Hz
音量	沒有產生回授現象	沒有產生回授現象	-38.2 dB
邊長	30公分	40公分	50公分
影像			
音譜			
頻率	5222.8 Hz	4651.0 Hz	4629.4 Hz
音量	-37.56 dB	-36.58 dB	-34.02 dB



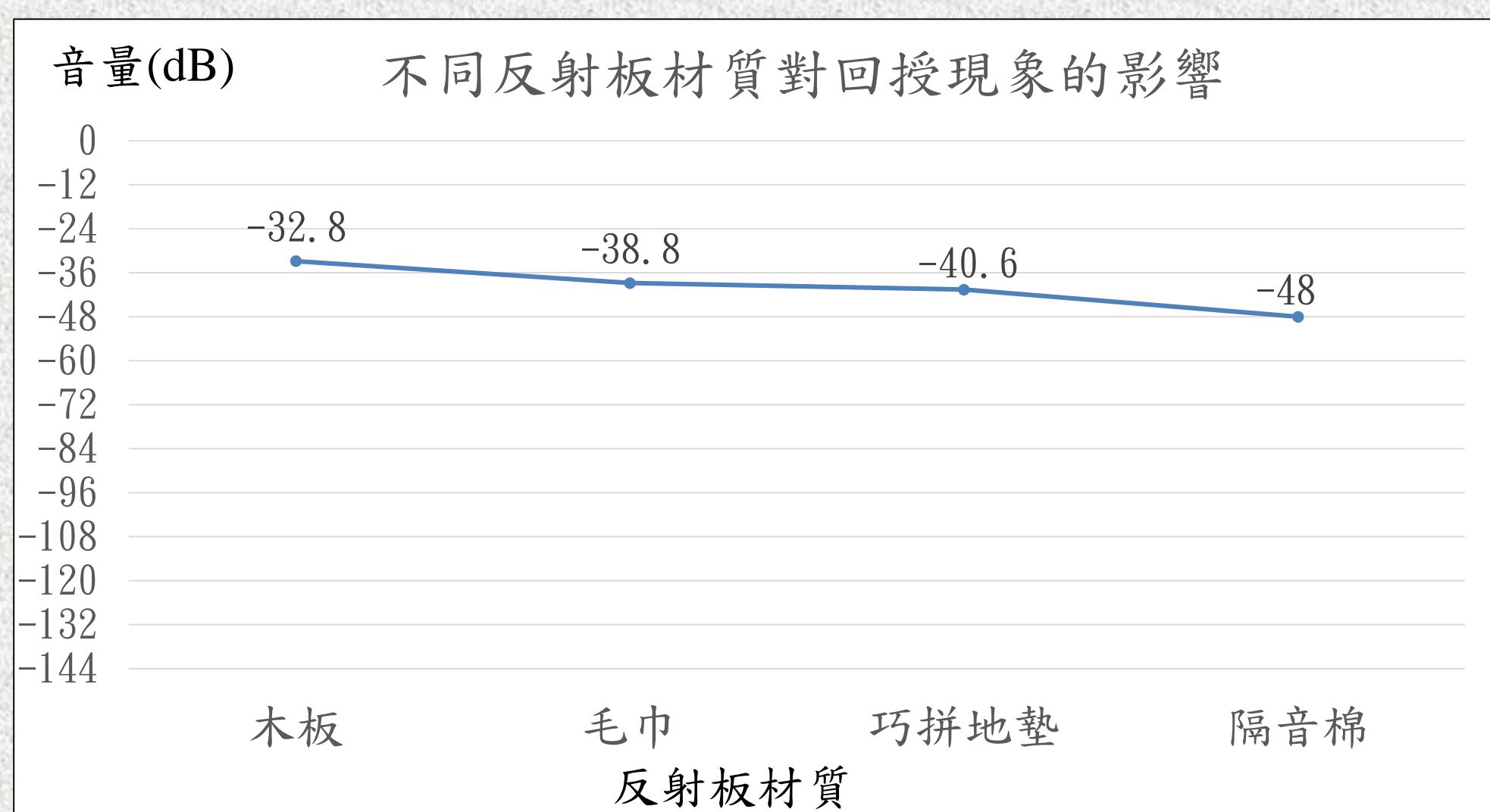
### 討論：

我們發現當沒有使用反射板時或反射板過小時，沒有出現回授聲響，而當反射板逐漸加大時。則回授現象有放大的趨勢。我們認為原因可能是回授現象的來源之一是音箱發出的聲波碰撞物體而反彈至麥克風，因此當反射板的面積愈大時，愈能完整反射來自音箱中原本微弱的起始聲波。也因此當反射板具有一定面積時，就會產生相當大的聲響。

### (七)實驗7：不同反射板材質對回授現象的影響

我們使用邊長30公分的木板，然後在板子上分別鋪上毛巾、巧拼地墊、隔音棉及不鋪材質等四種狀態。

變項	木板	毛巾	巧拼地墊	隔音棉
音譜				
頻率	4607 Hz	4932 Hz	4963 Hz	4323 Hz
音量	-32.8 dB	-38.8 dB	-40.6 dB	-48.0 dB



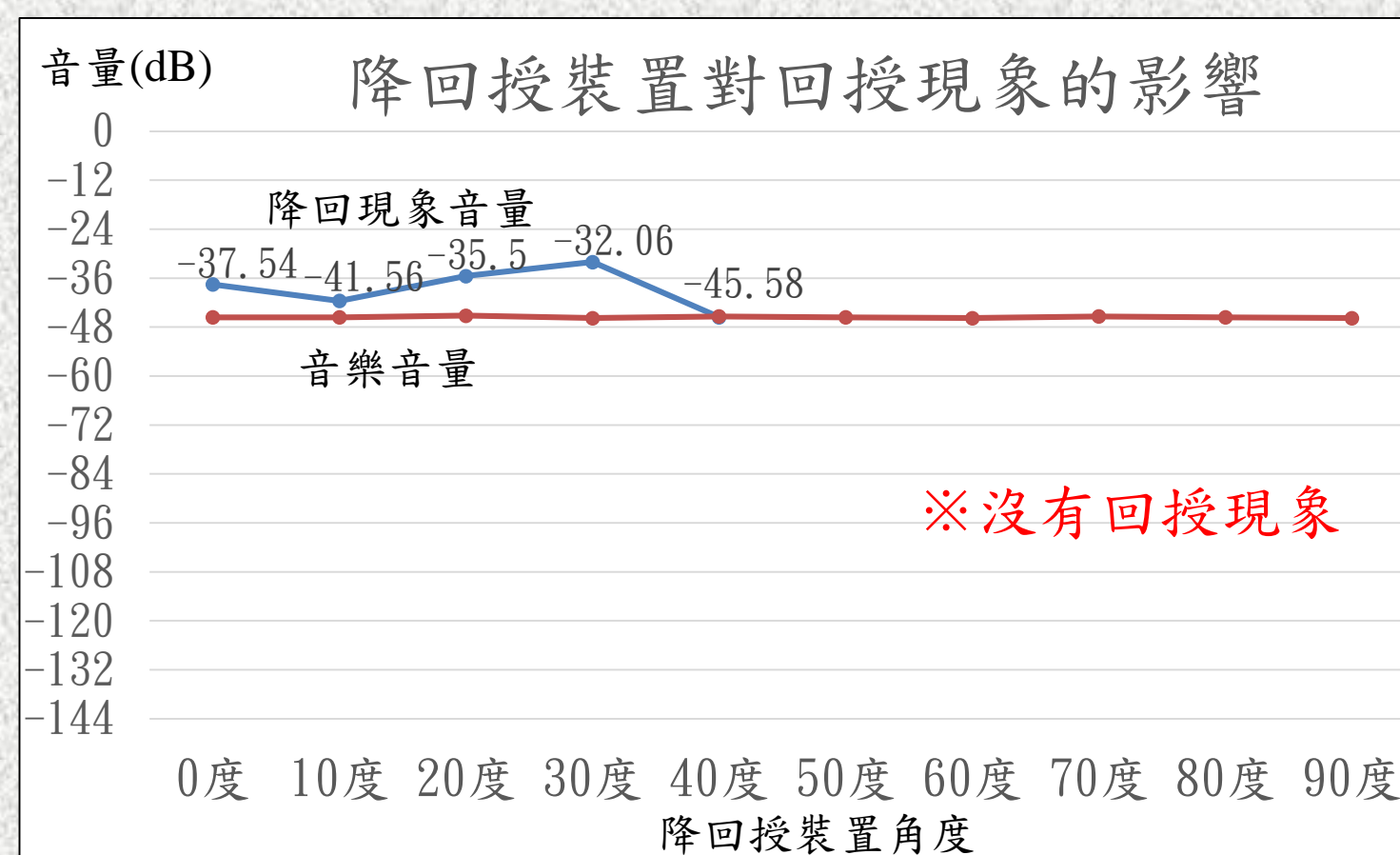
討論：我們發現木板的反射板所產生的回授現象聲音最大，而隔音棉所產生的回授現象聲音最小，我們認為愈堅硬扎實的材質能反射較多的聲波，也使回授現象更明顯。另外因這些材質厚度及凹凸狀態不同，也導致頻率有些微的改變。

### (八)實驗8：降回授裝置對回授現象的影響

我們製作了一件降回授裝置，利用裝置上的百葉板角度改變反射的角度，也試著在音箱中播放一個音名A5(880Hz)的單音。

角度	0度	10度	20度
影像			
音譜			
頻率	3940 Hz	3941 Hz	3940 Hz
回授音量	-37.54 dB	-41.56 dB	-35.50 dB
音樂音量	-45.6 dB	-45.6 dB	-45.2 dB
角度	30度	40度	50度
影像			
音譜			
頻率	4208 Hz	4201 Hz	※沒有回授現象
回授音量	-32.06 dB	-45.58 dB	
音樂音量	-45.8 dB	-45.4 dB	-45.0 dB

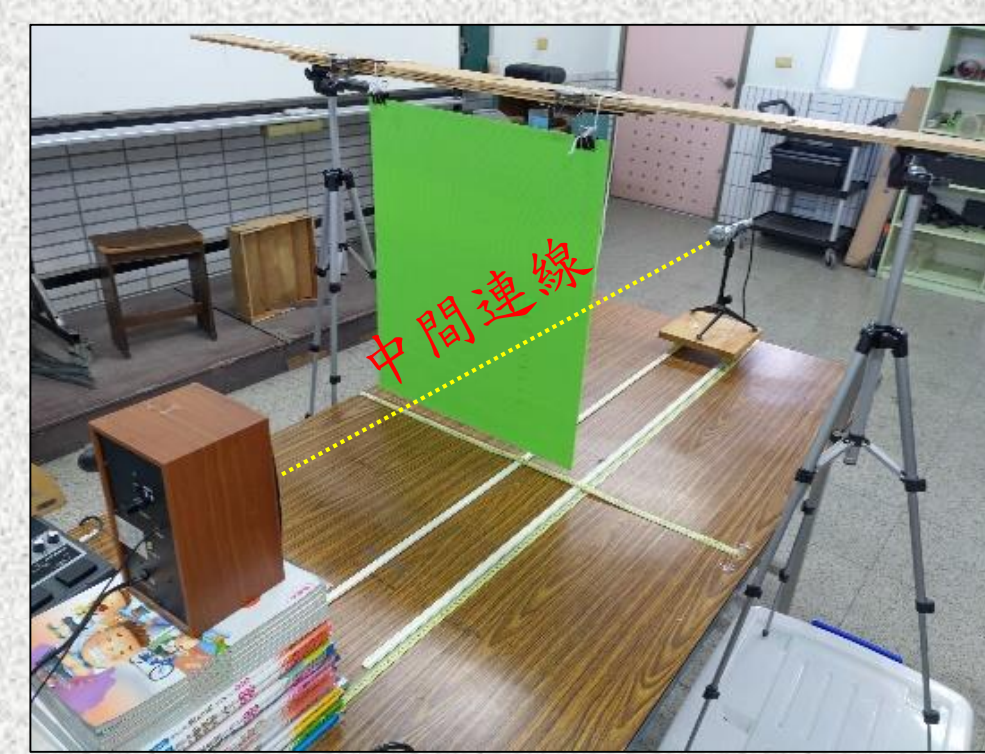
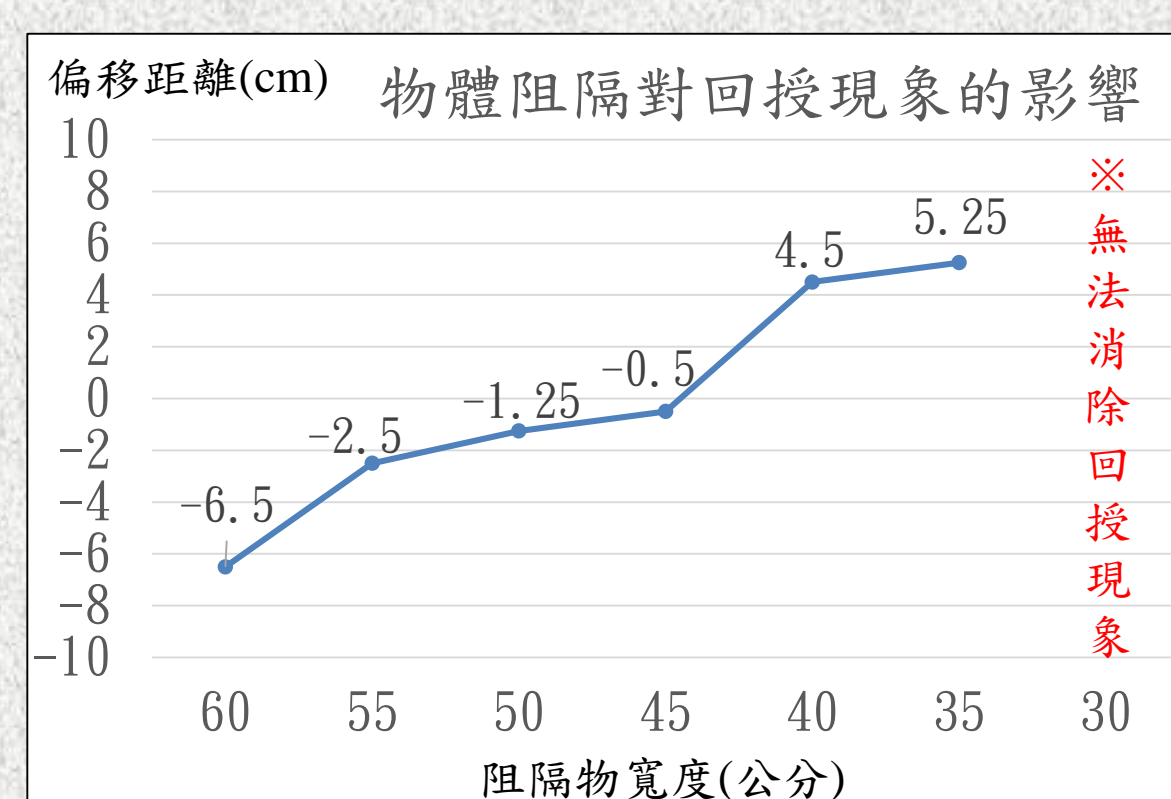
討論：我們發現降回授裝置在0~40度，並無法降低回授現象的音量，甚至有時角度愈大，音量還上升，頻率也呈現不穩定的狀態。回授現象聲響



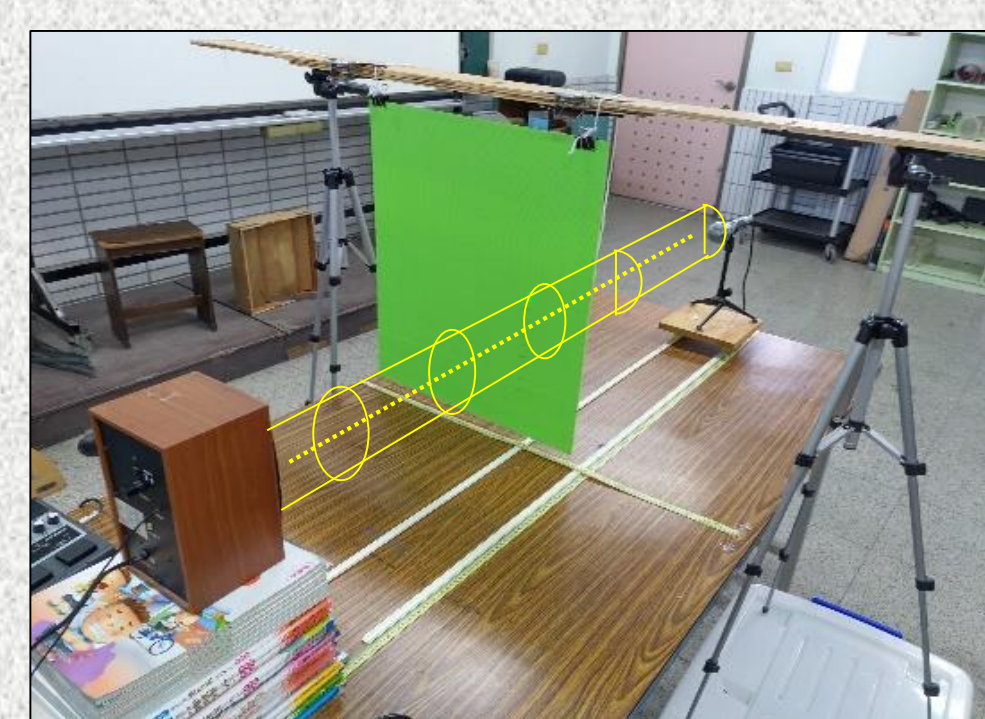
被降回授裝置反射偏移後而降至一定程度，回授現象就無法持續，而頻率也因為距離的改變呈現不斷變化的形況。另外，我們在音箱中播放音高A5的單音，結果發現音量皆為-45 dB上下，代表本實驗之降回授裝置能降低回授現象並且不會阻隔音箱中播放的聲音。

### (九)實驗9：物體阻隔對回授現象的影響

我們也發現另一種降低回授現象的方法，就是在麥克風與音箱中間放置阻隔物，我們使用PP板，將其寬度裁成60、55、50、45、40、35、30...公分寬，測量邊緣離回授通道的垂直距離。

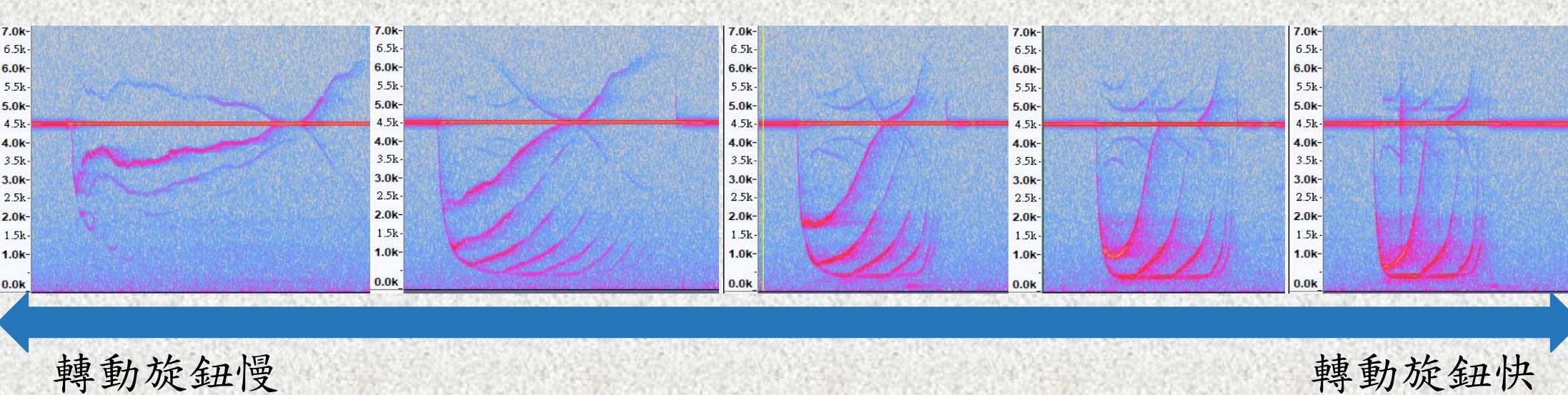


討論：我們發現阻隔物愈大，邊緣離中間連線愈遠便可阻隔回授現象，當阻隔物寬度愈窄時，則邊緣離中間連線需愈近才能阻隔回授現象，甚至在寬度40及35公分時，邊緣必須超過中間連線，而寬度30公分時，則完全無法阻隔回授現象。我們認為回授現象的起始音源必須有一定程度的音量，才能被系統不斷的放大，而起始音源的傳輸方向是音箱與麥克風的中間連線的周圍，當我們使用阻隔板做部份的阻隔時，會導致部份方位的起始音源被阻隔，導致回授現象中止。



### (十)實驗10：延遲音效對回授現象的影響

最後我們將麥克風的訊號線插入效果器中，利用旋鈕來改變延遲時間



討論：在調整旋鈕的過程中，會造成回授聲音頻率改變，但當調整完旋鈕後，聲音又會回復到原來的頻率。調整旋鈕的速度愈快，聲音變化的情形愈明顯，以不同速度調整旋鈕時，可明顯看到頻率變化，但最後這些頻率都會回歸到4500 Hz。我們了解到回授現象是每一次放大聲音之累加，當我們瞬間改變播音的延遲時間，的確會造成前後累加的聲處於不同的音程，但當延遲時間固定了，則前後的聲音之音程都是延遲相同的時間彼此之間的相位差異又回復原來狀態。