

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 生物及地球科學科

第三名

031711

奇妙的耳朵

學校名稱：台中縣私立明道高中(附設國中)

作者： 國一 孫伯元 國一 張喆 國一 趙冠程 國一 張凱傑	指導老師： 陳義忠
--	--------------

關鍵詞：耳朵的邊緣 耳朵的收音分工

# 奇妙的耳朵

## 壹、摘要

我們以人類最常聽到的 250Hz~8000Hz 來測試耳殼的細微構造對收音的影響，並加以校正，再分別用去 A（外耳輪）、去 B（逆耳輪）、填 C（凹陷）、去 D（耳屏）、去 E（耳珠）的耳殼來測試，收集資料並建立完整的比較圖表，且在分析整理資料時發現耳朵有分工合作及各部位有選擇特有的聲頻放大或縮小的功能。

本實驗的結果對我們的生活有很大的幫助，例如可利用這個特性來研發產品幫助聽障朋友，而另一項可能的應用則是應用我們的發現依照當代的動物及古代的生物耳殼的構造去闡試其所處的生態環境，對其生活使能有進一步的認識。

## 貳、研究動機

在我們的生物教材中看到介紹耳殼構造的資料，忽然發現耳朵的構造是如此的複雜與奇特，在簡單的調查下發現每種動物的耳朵構造都不同，也開始想這是否和各種生物所聽到的聲音頻率不同有關，所以我們才開始這一連串的實驗探索。

## 參、研究目的

我們想要知道耳朵的構造對我們聽到的聲音會有什麼影響，並且分別去除像耳珠、耳屏和其他構造後所聽到的聲音會有什麼不同！

## 肆、研究設備及器材

### 1、器材名稱：

示波器(固緯)	麵包板	電線
喇叭	麥克風(收音器)	功率放大器
聲頻產生器(固緯)	人造矽膠耳(真耳大小)	支撐矽膠耳的支架
吸音棉	分貝計	矽膠耳殼模型
示波器	黏土	焊槍、焊錫、吸錫器
捲尺		

2、圖片：



喇叭

黏土



矽膠耳朵

吸錫器



焊錫（側面）

焊錫（俯視圖）



焊槍

捲尺



支架



功率放大器

分貝計



示波器



聲頻產生器



科展設備器材

## 伍、研究方法及過程

### 1、研究方法

#### (一)如何製作凹模

- Step1：將棉花塞入耳內。
- Step2：將 A、B 膠以 1：1 混合。
  - A 膠為硬化劑(白色)。
  - B 膠為矽膠(綠色)。
- Step3：搓揉混合(動作要快)。
- Step4：灌入注射器。
- Step5：把耳道口至耳殼周圍填滿。
- Step6：待硬化後取出。
- Step7：完成！

#### (二)如何製作凸模

- 1.由於凹模是真人灌模，所以有一面是空的，須由黏土補強。
- 2.在模中灌水，測得容積為 13~14 毫升。
- 3.將蠟放入鐵鍋中煮溶。
- 4.將凹模放入蠟中再快速拿起，只要上薄薄一層的蠟，以免破壞凹模。
- 5.將 14 毫升的矽膠與約 28 滴的硬化劑調和。

- 6.將調和好的矽膠倒入模中。
- 7.放置一天。
- 8.脫模:將黏土拆下。
- 9.將成型矽膠拔出。
- 10.用高濃度的矽膠填補表面氣泡所生之凹洞。

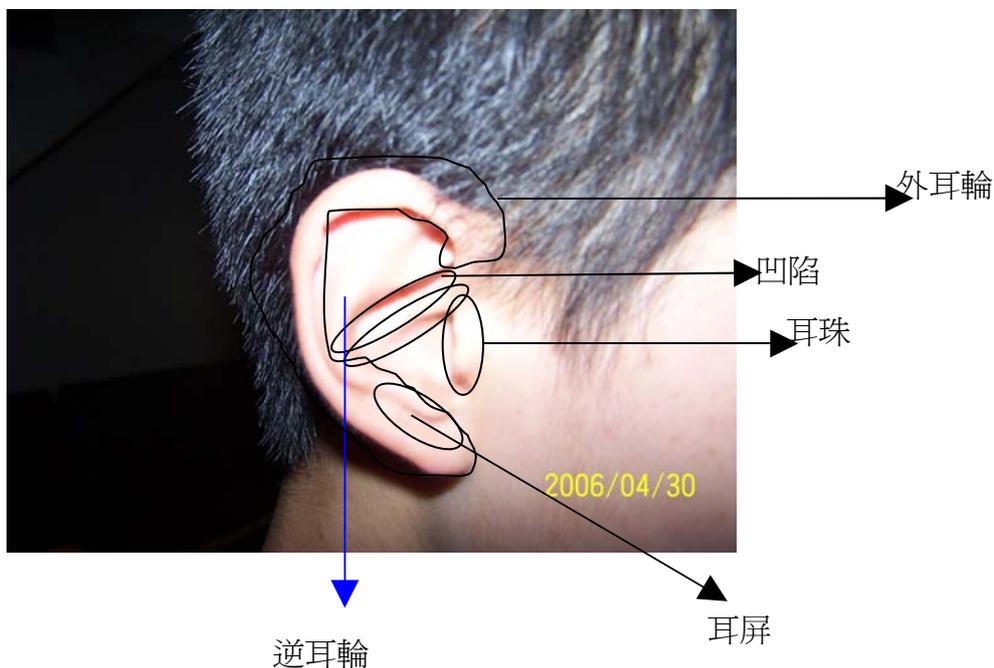
### (三)校正器材

#### 1.分貝計、聲頻發聲系統及收音系統的校正：

- (1)先將分貝器先做自我校正，再用示波器及校正過的分貝計去校正聲頻產生器，觀察聲頻產生器的輸出強度是否如旋鈕刻度所示，呈等比例的變化。
- (2)將收音系統收到的波形與聲頻產生器的波形進行比對(頻率及振幅)。
- (3)用校正後的聲頻產生器的波形去校正麥克風收音的波形。

### (四)如何操縱耳殼細微構造的變化：

- 1.去 A 外耳輪
- 2.去 B 逆耳輪
- 3.C 凹陷
- 4.D 耳屏
- 5.E 耳珠



## 2、研究過程

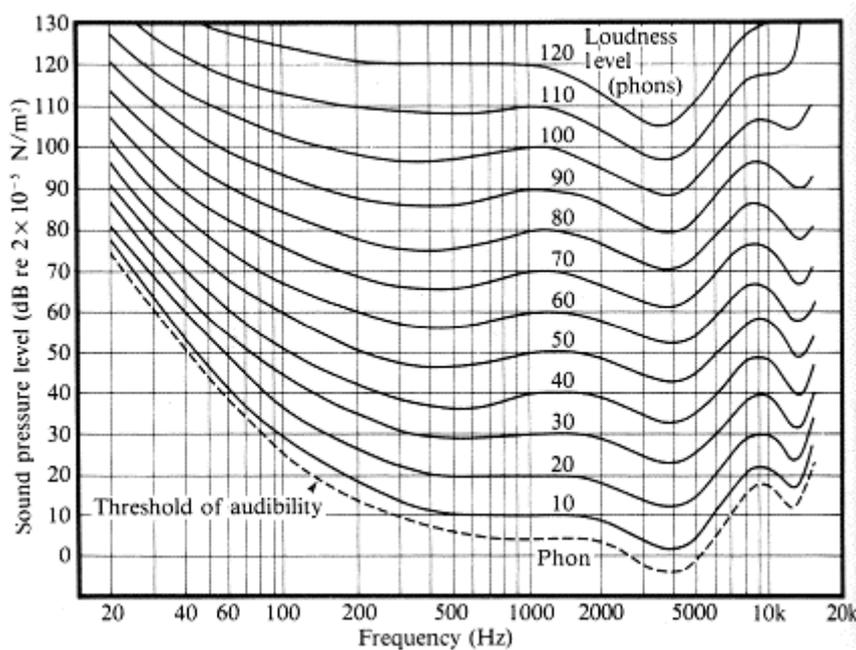
(一) 如何選擇適當的音頻範圍來測試耳殼的收音效果？

1. 實驗方法：

- (1) 資料收集。
- (2) 諮詢專家。
- (3) 實驗定性測試。

2. 實驗結果：

由參考文獻中，我們取得下列之耳朵敏感度比較圖



在 1000Hz 時，若耳旁有 60 分貝的聲音，耳朵聽到的也是 60 分貝，但在約 200Hz 時，只要在耳旁發出 50 分貝的聲音，耳朵就能感受到的 60 分貝的響度。

3. 分析與歸納：

如圖所示我們發現 250Hz 以下 8000Hz 以上，耳朵收音敏感度極差，因此我們選擇 250Hz~8000Hz 頻域做為我們測量的範圍，在這個範圍內我們選定等倍數的六個音頻做為測試點，依序為 250Hz、500Hz、1000Hz、2000Hz、4000Hz 及 8000Hz。

(二) 如何建立逼真的聲頻產生系統及收音系統？

1. 實驗方法：

(1) 聲頻產生系統：

- (A) 利用聲頻產生器產生的訊號輸出到功率放大器，再輸出到喇叭。
- (B) 利用示波器來檢試發音系統，所發出的聲頻之頻率、波形及穩定性。
- (C) 重覆此步驟，變動不同的頻率進行不同頻率的發音測試。

(2) 收音系統：

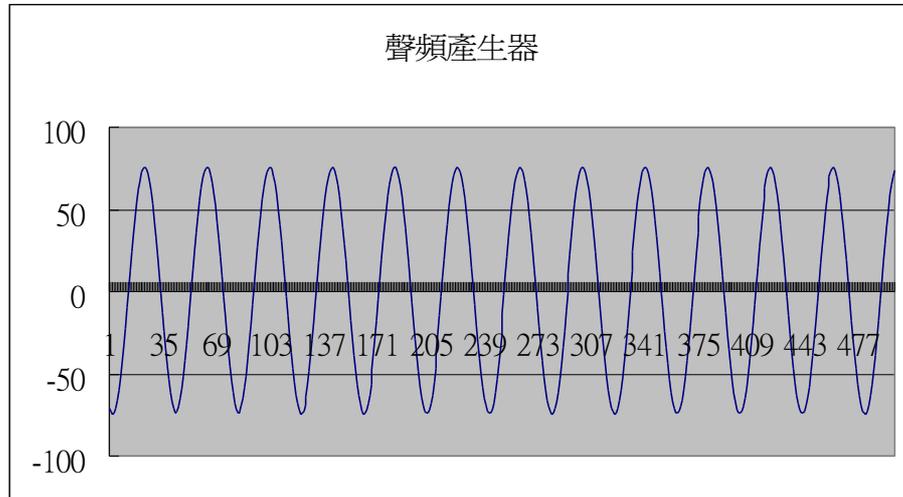
- (A) 用敏感度高的電容式麥克風做為我們的收音系統，並將訊號輸入示波器中進行進一步的檢視。

(B)在示波器中定性的檢視麥克風的接收強度，是否能隨著音源的強度變化而成等比例的改變。

(C)重覆此步驟，改變不同的頻率，進行不同頻率的收音測試。

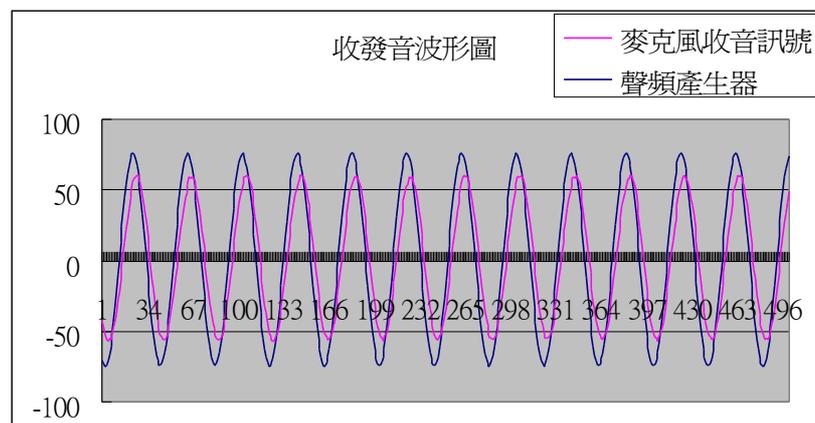
## 2.實驗結果：

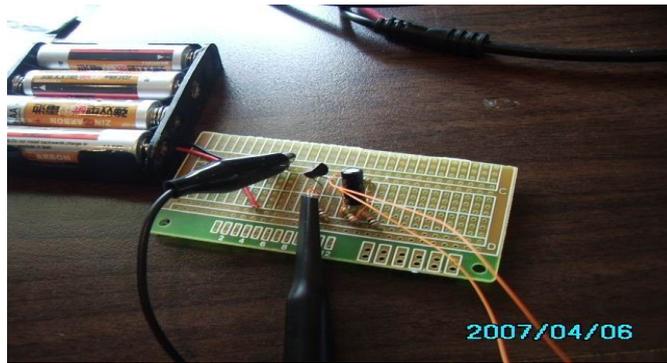
(1) 聲頻產生系統：測試後，證實本裝置為波形穩定、頻率單一的聲頻產生系統。



發音系統裝置圖

(2)收音系統：本系統經驗證後為一波形穩定、敏感度極高的系統。





收音系統裝置圖

### 3.分析與歸納：

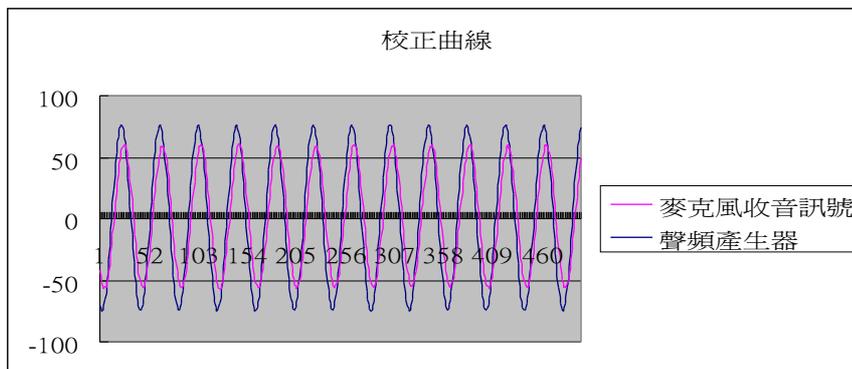
本實驗所需之聲頻產生及收音系統均通過系統性之波形、頻率及穩定性的測試，可信度極高。

#### (三) 如何能精確的同時校正聲頻產生及收音系統？

##### 1.實驗方法：

- (1)如研究問題（三）器材校正所述步驟依序校正分貝計、聲頻產生器、麥克風，並將聲頻產生器的輸出強度調整為使距離喇叭 15 公分的分貝計，接收強度為 85 分貝，進行校正實驗。
- (2)我們要檢視收音的訊號波形、頻率及穩定性，是否失真（與輸入音源訊號做比較）。
- (3)選定不同的頻率，重覆上列之二步驟，進行聲頻產生及收音系統的精確校正。

##### 2.實驗結果：以下皆為 250Hz 之收發音測試圖：



### 3.分析與歸納

- (1)我們調整聲頻產生系統的輸出功率，來彌補頻率不同時麥克風敏感度的差異，使我們實驗的頻域內(250Hz~8000Hz)麥克風有統一的收音強度。
- (2)發現聲頻產生器的輸出波形為完整的弦波，頻率為 250Hz 且相當穩定。
- (3)麥克風的收音訊號波形幾乎與聲頻產生器的輸出波形重合，頻率相當穩定，且收音強度達音源強度之百分之八十，顯見收音系統有相當良好的靈敏度。

#### (四) 去 ABCDE 和完整耳的比較，去除構造和完整耳的差別為何？

##### 1.實驗方法

我們製作出了 6 個完整的矽膠耳，只留下一個完整的耳朵，而其他的部份則分別

去掉不同的細微構造，依序為去 A：去外耳輪、去 B：去逆耳輪、填 C：填凹陷、去 D：去耳屏、去 E：去耳珠。

2.實驗結果：

- (1)下圖為整合之完整耳與去填構造之強度百分比差異圖，圖 A 為收音麥克風距音源 15cm 之收音圖；圖 B 則為距音源 30cm 之收音圖。圖中 0%之橫線為與完整耳收音差異之基準線(完整耳與完整耳之收音訊號差異為 0%)橫軸  
1、2、3、4、5、6 依序為 250Hz、500Hz、1000Hz、2000Hz、4000Hz 及 8000Hz。
- (2)收音差異圖之解讀：以 15cm 去 A 曲線為例，在 2000Hz 時，缺少 A 時(去 A)會導致收音較完整耳低 60%，所以 A 的功能為提昇 2000Hz 時的收音強度達 60% 到完整耳的收音強度水準。因此我們歸納得到下述之通則。
- (3)通則：所有低於 0%基準線的點，實際功能為提升收音強度達到與完整耳差異之百分比；反之，所有高於 0%基準線的點應解讀為降低收音強度達到與完整耳差異之百分比。

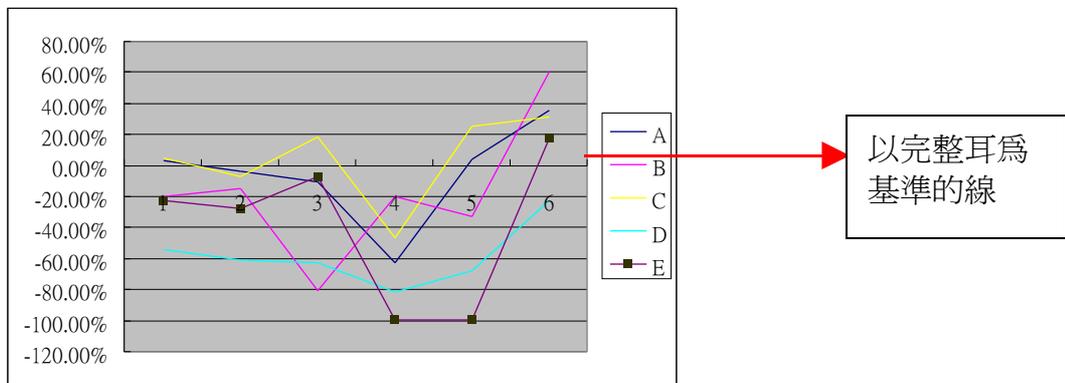


圖 A：收音麥克風距音源 15cm 之收音圖

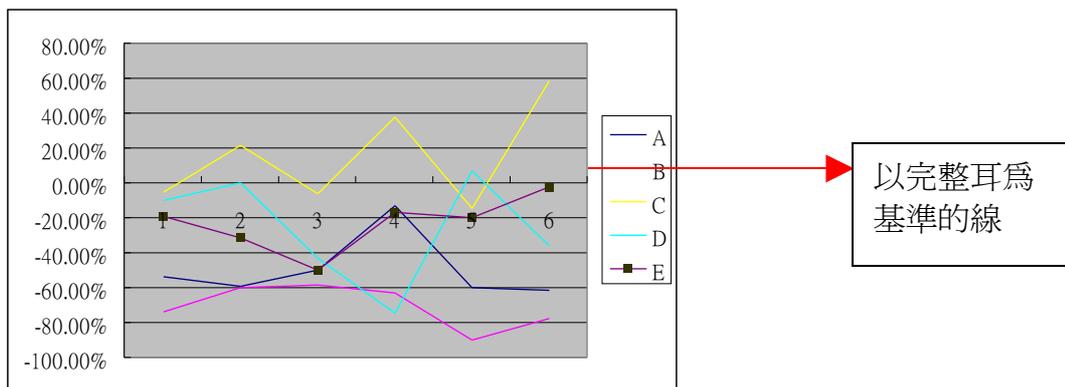
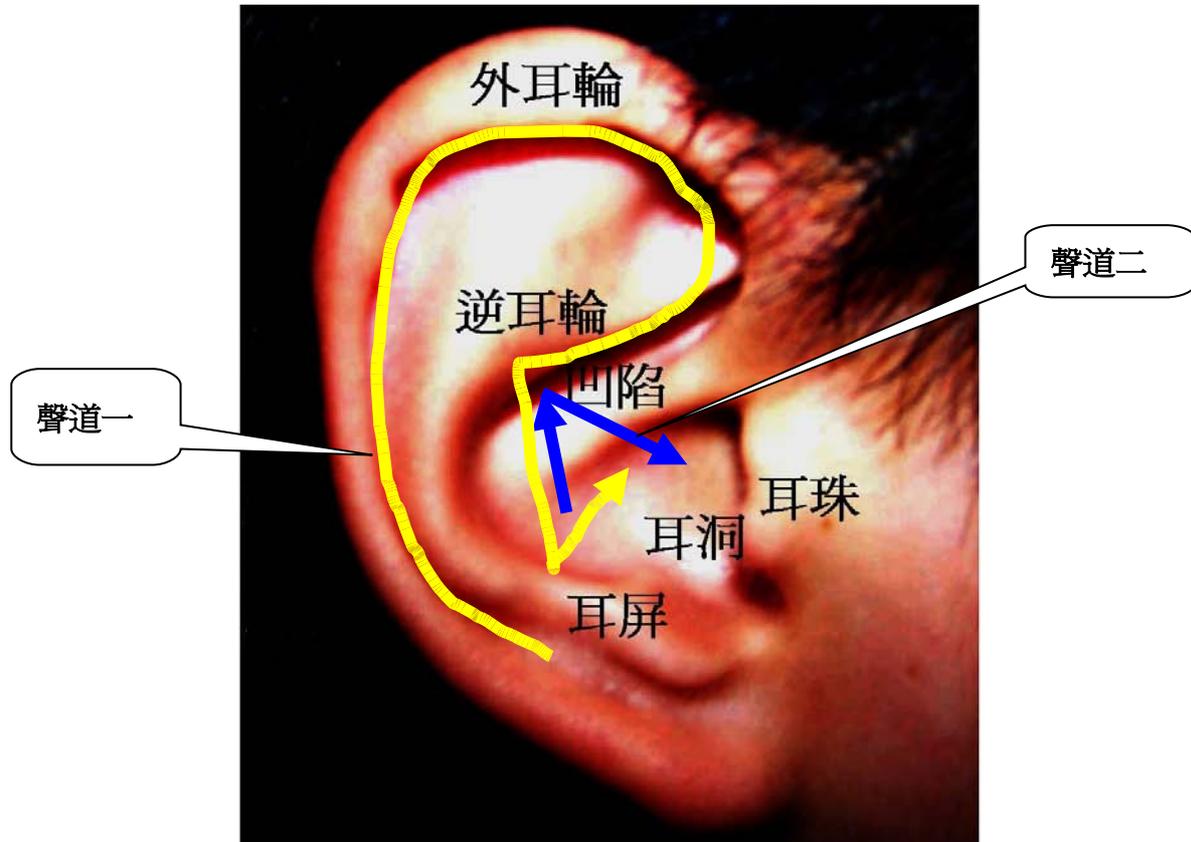
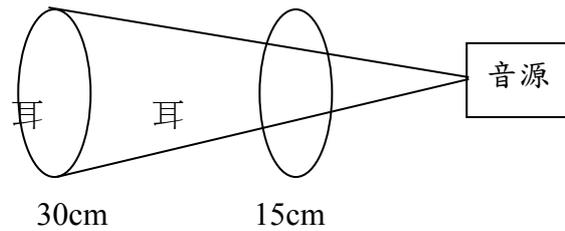


圖 B：收音麥克風距音源 30cm 之收音圖

(4)結果：

- (i)聲道 1 的途徑為逆耳輪-逆耳輪的邊緣形成聲波的通道-耳洞。
- (ii)聲道 2 的途徑為耳輪通道的入口處-耳輪彎曲的外緣形成通道-達爾文小節-耳輪的根部-耳屏-耳珠-耳洞。



### 3.分析與歸納

#### (1)去 A(去外耳輪)模型：

- (i)在 15cm收音時，去 A 後，除了 2000 H z 強度提升最多(約+60%)，8000Hz 強度降低最多(約 - 35%)，其他皆與完整耳收音強度大致相同。
- (ii)在 30cm收音時，去 A 後除了 2000 H z 強度提升較少(約+20%)，其他收音強度趨勢大致相同(約+60%)。
- (iii)我們推測外耳輪(A)有調節高頻強度的功能，因為去 A 後較遠的 30cm 外收音時，8000Hz 的強度提升了 61%；而較近距離的 15cm 收音時，8000Hz 的強度則降低 35%，使我們的耳朵能適當的感受到 8000Hz 而不受到傷害。
- (iv)我們推測外耳輪(A)對 2000 H z 有特殊提升的功能，因為在較近距離的 15cm 收音時，強度提升了 60%，而較遠距離的 30cm 收音時，只提升約 20%，這可能與原始人類的生活模式有關。
- (v)聲道 1、聲道 2：聲道 1 為近距離收音時主要的聲道，聲道 2 為使耳殼的收音範圍加大。

(2)去 B(去逆耳輪)模型：

- (i)在 15cm 時，去 B 後，除了 1000 H z 收音強度提升最多(約+80%)，8000Hz 收音強度降低最多(約 - 60%)，其他頻率收音皆略為提升(約+20%)。
- (ii)在 30cm 時，去 B 後，除了 4000Hz 收音強度提升最多(約+90%)，其他頻率皆提升約 60%的強度。
- (iii)我們推測逆耳輪(B)在較遠距離 30cm 時，對 4000Hz 有特別降低的功能 (- 90%)。4000Hz 會對人類聽毛細胞造成最大傷害的頻率，可能是一種篩選的效果，忽略遠方的危機，而先集中精神在處理近距離的危機。

(3)填 C(填凹陷)模型：

- (i)在 15cm 時，除了 8000 H z 收音強度降低較多(約 - 30%)，其他頻率趨勢大致相同。
- (ii)在 30cm 時，填 C 後，8000Hz 收音強度大幅降低(約 - 60%)，其他頻率趨勢大致相同。
- (iii)我們推測凹陷(C)有維持收音至一定強度的功能，因在 15cm 及 30cm 的收音距離時，各部分強度趨勢皆相反(8000Hz 除外)，如 250Hz 在 15cm 時，強度提升；在 30cm 則強度下降。
- (iv)我們認為凹陷(C)有降低高頻的功能，因 8000Hz，15cm 時，強度降低了約 30%；30cm 時強度則降低了約 60%，可能是為了避免收聽高頻之聲音對人耳造成損害之故。

(4)去 D(去耳屏)模型：

- (i)在 15cm 時，除了 8000 H z 收音強度提升較少外(約+20%)；2000 H z 提升最多(約+80%)；其他頻率之收音強度皆大幅提升(約+60~80%)。
- (ii)在 30cm 時，除了 2000 H z 收音強度大幅提升(約+73%)；8000 H z 與在 15cm 時有相同強化趨勢(約+40%)；其他頻率之收音強度皆維持小幅提升(約+0 ~ 20%)。
- (iii)我們推測耳屏(D)對 2000Hz 有特殊提升效果，因在 15cm 時強度提升了約 80%；在 30cm 時強度也提升了約 73%，可能這個音頻與原始人類生存環境中的危機有相當的關聯性。

(5)去 E(去耳珠)模型：

- (i)在 15cm 時，除了 2000 H z 與 4000Hz 收音強度大幅提升外(兩者皆+99%)，其他頻率並無太大變化。
- (ii)在 30cm 時，除了 1000 H z 收音強度提升較多外，其他強度提升皆較小(0~30%)。
- (iii)我們推測耳珠(E)在近離時具有篩選頻率的功能，因在 15cm 時 2000 H z 與 4000Hz 收音強度皆大幅提升了 99%。這應該是警覺近距離危機的強力警報構造，所以強度才會大幅提升。
- (iv)我們推測耳珠(E)在遠距離收音時，對 1000Hz 有小幅提升的功能，因在遠距收音強度提升了約 30%，但 1000Hz 在人類的生活中環境中可能有我們尚未發現的重要性。

(五) 與人類有類似的耳殼細微構造的其他動物，是否有相同的收音功能?

1.實驗方法：

在網路及書籍資料中找尋有類似人類耳殼細微構造的動物後，推測其收聽聲頻的區域，並與文獻報告中相關報導作比較。



2.實驗結果

搜集的資料中發現吼猴的外耳輪與人類耳殼的外耳輪構造大致類似。

3.分析與歸納

吼猴外耳輪極大且扁平，根據我們的實驗資料比對顯示外耳輪在遠距離時（30cm）有提高 250~500Hz 的能力，所以推測吼猴主要的溝通聲頻在 500Hz 以下，事實上在動物星球節目報導中也證實吼猴是利用低頻來溝通。

## 陸、研究結果

- 1.我們在經過諮詢專家及搜尋資料後，發現 125Hz 至 2000Hz 是人類最常聽見的 Hz 數，但因 125Hz 易受干擾，所以我們略去 125Hz。將我們的檢測頻域訂定為 250Hz 至 8000Hz，並抽樣測試 250Hz、500Hz、1000Hz、2000Hz、4000Hz 及 8000Hz。
- 2.發聲部份，我們使用聲頻產生器（固緯），因它的頻率及強度，在長時間的測試下，它都有良好的穩定性；收音系統，我們則採用自製的麥克風，再送入示波器，即可讀出訊號之波形。
- 3.在分貝和聲頻發聲系統的互相校正中，先做分貝計的自我校正，再用分貝計去校正聲頻產生器的強度，及麥克風由實驗結果得知收發音系統都有規律的反應及良好的靈敏度。
- 4.麥克風的收音訊號波形幾乎與聲頻產生器的輸出波形重合，測試數個不同的頻率，收音的波形及頻率都相當穩定，而確認它是信賴度極高的收音系統，且收音強度達發音強度百分之八十，顯見收音系統有相當良好的靈敏度。
- 5.由去 A（耳輪）、去 B（逆耳輪）、填 C（凹陷）、去 D（耳屏）、去 E（耳珠的實驗中，我們可以合理推論 A 可以過濾高頻、B 可降低如 8000Hz 等高頻、C 降低遠距離的高音、D 近距扮演重要收音角色、E：提高高頻的音效。
- 6.由我們的實驗結果推測吼猴在自然生態中應是用 500Hz 以下的聲頻進行溝通並得到證實。

## 柒、討論

- 1.125Hz 較容易受到外在因素的影響，所以我們不採用 125Hz。
- 2.因為我們人耳可以感受生活週邊的主要的聲頻在 250Hz~8000Hz 範圍內，所以我們就等倍數抽樣做為測試。
- 3.我們為何只取 15 公分及 30 公分做為測試的距離，因為 60 公分過遠，導致麥克風接收訊號差，且訊號與週遭雜訊強度的比率過低，致使可信度降低。
- 4.我們之前使用的自製電路聲頻產生器，但它聲頻輸出及強度不穩定，故不易校正，所以我們換用固緯公司的聲頻產生器，而不採用自製的套件聲頻產生器。
- 5.完整耳的收音實驗中，向左右各偏轉 45 度、90 度發現對收音強度產生些微差異，且往左、往右的波形恰為相反，所以校正過程中即使平面上左右角度 10 度內的偏差並不會造成收音強度可以辨識的變化。
- 6.我們對耳朵材質的要求是輕、軟、便宜、取得方便，所以我們選定了方便好用的矽膠。
- 7.將收音系統的環境佈置成凹凸不平的反射面，會使麥克風收音時會避免直接的反射波，使收音訊號更容易判讀。
- 8.在 1000Hz 的實驗資料中可發現，1000Hz 的近收音強化百分比已不如 250Hz 及 500Hz，可能是因為 1000Hz 在人類的生活環境中仍有我們尚未發現的重要性，但仍可發現遠距離收音強化較近距離強化之百分比高(透過外耳輪)。
9. 2000Hz 收音時，我們意外地發現耳輪、填凹陷區(C)及耳珠都是顯示在近距離強化超過遠距離，可能是在人耳演化過程中所特化出的一種距離篩選的效果，即先忽略遠方的 2000Hz 所代表的危險訊號，而集中精神處理近身的危機。
10. 4000Hz 事實上是人耳最敏感的接受音頻，我們也發現了類似 2000Hz 時的距離篩選效果(15cm 及 30cm 之去 E(耳珠)曲線)。似乎強化了我們在 2000Hz 的推論：人耳用最敏感的頻域篩選音訊，然後集中精神處理近身危機。
- 11.多數生物(如蟋蟀等)有明顯的聲頻篩選效果：只集中精神對特殊的頻率提高警覺性及反應性，所以能快速反應可能近身的危機，因此我們作出合理的猜想：距離篩選機制。
12. 8000Hz 對人耳的收聽是一種不舒服的音頻，所以主要在近距離作了些弱化(逆耳輪 - 60%、耳輪 - 30%、填凹陷 - 30%及耳珠 - 20%)，但在遠距離也獲得大幅的強化(耳屏 +30%、耳輪 +60%、逆耳輪 +80%)，所以人類耳殼可能對 8000Hz 作了適當的調節，使足夠的音訊能被接收而不致產生不適。
- 13.凹陷(C)有明顯的降低高頻強化的功能，這點似乎由市面上的吸收高音的泡綿形狀得到印證。
- 14.耳殼的細微構造各有其功能，有些似乎是互矛盾的，但需定量的加以分析比較，甚至計算，才能真正了解其中的奧秘。
- 15.未來期望能進行 45 公分的收音測試，以驗證聲道 1 聲道 2 收音的影響。
- 16.未來我們希望能搜集更多的資料去驗證我們提出的距離篩選機制的猜想。
- 17.我們可以以已知的人類耳殼功能及構造為出發點，加以變化以模擬和人類耳殼相近的動物的耳殼收音功能，以驗證我們耳殼收音分析的推論。

## 捌、結論

我們以 250Hz~8000Hz 平均抽樣來測試人耳殼的收音反應，並用去 A、B、C、D、E 的耳殼來測試，以建立完整的收音強度比較圖表。在實驗的資料分析中我們發現耳朵有分工的特性，即各部位對特有的聲頻的收音強度有其獨特強化或弱化的效果，以調節成最佳收音效果。

## 玖、參考資料及其他

### 一、材料：

矽膠(1KG)、蠟(生活工場)、白色紙黏土、硬化劑 X2 瓶。

### 二、材料來源：

得暉美術(TE.HUE ARTS CO.LET)。

### 三、參考書籍：

1.再見林旺—那時代，那些人，那些象事

秋雨文化事業股份有限公司。

2.蝙蝠 Q&A

大樹文化事業股份有限公司

3.人-美妙的傑作

財團法人基督教宇宙光全人關懷機構。

4. Equal loudness contours and audiometry - Test your own hearing

<http://www.phys.unsw.edu.au/jw/hearing.html>

5.聲音的特性和分貝標度

[http://www.epd.gov.hk/epd/noise\\_education/web/CHI\\_EPd\\_HTML/m1/intro\\_5.html](http://www.epd.gov.hk/epd/noise_education/web/CHI_EPd_HTML/m1/intro_5.html)

6.認識我們的耳朵 <http://www.nwlhif.org.tw/3-1.htm>

7.耳朵的結構與功能 <http://www.enorth.com.cn>

8.聽力常識 <http://www.berafon.com.tw/HEARING/HEARING-O.htm>

9.耳朵的結構

[http://www.cypvan.com/c/extranet/home?e\\_l\\_id=yellowpage&cmd=item&yellowpage\\_i\\_id=5136](http://www.cypvan.com/c/extranet/home?e_l_id=yellowpage&cmd=item&yellowpage_i_id=5136)

10.人體探索 [http://www.geocities.com/HotSprings/Chalet/1512/item3\\_4.htm](http://www.geocities.com/HotSprings/Chalet/1512/item3_4.htm)

11.正常耳朵的功能

<http://210.240.178.2/science30/disc1/content/1977/00110095/0006.htm#正常耳朵的功能>

#### 四、感謝：

器材提供：創意自然科學中心社葉家驊先生。

書籍提供：沈素娥小姐(人-美妙的傑作)。

四張黎圖書館（再見林旺—那時代，那些人，那些象事、蝙蝠 Q&A）。

台中縣聲暉智能發展中心

沈素戎小姐

【評 語】

031711 奇妙的耳朵

研究方法富創意，但不完整，而偏於簡單，結果之解釋宜加強。