

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 物理科

080110

你從哪裡來——探究聲音的傳播與影響

學校名稱：臺北市中山區濱江國民小學

作者： 小六 盧昱齊	指導老師： 曹大年 陳景熙
-------------------	-----------------------------

關鍵詞：聲音傳播、等分貝線圖、聲音吸收

教室與班群空間



L型班群



長條型班群



獨立教室

摘要

聲音是能量的一種形式，在我們生活的環境裡它雖然無影無形卻又無所不在。我們將藉由實驗來探究聲音的特性，利用等分貝線圖來察覺校園內聲音的動向，透過模擬來了解聲音的吸收。

壹、研究動機：

在班群空間上課的時候，除了自己班上老師上課的聲音，其它班級老師的說明、同學的朗讀聲也會傳到耳中。究竟這些聲音為什麼會傳過來？怎樣才能減少彼此的影響？這些都是我們想了解的。

貳、研究目的：

- 一、聲音的影響範圍，聲音在操場、禮堂及教室的傳播。
- 二、普通教室，室內與室外聲音的大小與傳播之現況。
- 三、L 型班群，班群空間與獨立教室聲音的大小與傳播之現況。
- 四、長條型班群，班群空間與獨立教室聲音的大小與傳播之現況。
- 五、模擬室內空間，比較不同材質隔板對聲音傳播的影響。

參、文獻探討：

一、聲音：

由物體振動而產生。空氣分子來回運動，同時碰撞外圍的其它分子，使它們也振動。

傳播聲波的媒介叫介質，最普遍的介質是空氣。

（中華兒童百科全書 P3531 臺灣省政府教育廳）

二、響度與聲音的測量：

- （一）響度與聲音振動的幅度，及聽者與振動物體的距離有關。振幅越大則聲音越大；離發聲體越遠則聽到的聲音越小。
- （二）科學家訂人耳勉強可察覺的聲音大小為 $0, I_0 = 10 \sim 12 \text{ W/m}^2$ 。
- （三）音量的單位是分貝，以簡寫 dB 表示，音量的 1 貝耳等於 10 分貝為功率比值取對數值的 10 倍，如 90dB 就表示音量是 0 的 10^9 倍。 $\text{dB} = 10 \times \log(I/I_0)$

(中華兒童百科全書 P3532 臺灣省政府教育廳；
世界辭典百科全書 P581 中國百科出版社；
奇摩知識+ <http://tw.knowledge.yahoo.com>)

三、聲音的共鳴、反射與折射：

聲波傳過來，撞擊到能以相同頻率振動的物體，這物體因此振動也發出聲音，叫作共鳴。

聲波和光波一樣，也會有反射與折射，反射回來的聲音叫「回聲」 (中華兒童百科全書 P3534 臺灣省政府教育廳)

四、反射定律：

1. 反射線跟入射線還有法線同一平面。
2. 反射線和入射線分居法線兩側，並且與界面法線的夾角（分別叫做入射角和反射角）相等。
3. 入射角等於反射角。

(維基百科 <http://zh.wikipedia.org>)

五、怎樣避免回聲的產生呢？聲音碰到柔軟的或表面粗糙的物體時，就容易被吸收。大議會廳四周牆壁和天花板都是多孔音的材料，加上柔軟重帷幔，吸音效果更好。

(科學教授 物理篇 P131 故鄉出版社)

六、噪音：

90 分貝環境下不可超過 8 小時；95 分貝不可超過 4 小時。否則 100 % 會有聽力損傷的危險。每 3 分貝音量即倍數增加。

(綠十字健康網 <http://www.greencross.org.tw>)

七、音量：

安靜辦公室約 40 分貝；正常交談約 60 分貝；大卡車通過約 85 分貝；火車通過約 100 分貝；飛機引擎聲約 120 分貝。

(綠十字健康網 <http://www.greencross.org.tw>)

八、等壓線：

各地同時時間內觀測所得到的氣壓值，經溫度、海拔高度和重力等的訂正後，一一記在基圖上，再把相同氣壓連接起來。這條等值線即為等壓線。

(地學通論 P220 石再添等著)

肆、研究設備及器材：

一、電子式分貝計	1 個
二、節拍器	1 個
三、50M 捲尺	1 條
四、溫度計	1 個
五、校園建築平面圖	1 份
六、方眼紙	1 本
七、聲音吸收模型	1 座
八、各式材質隔板	5 組



聲音吸收實驗器材



無隔板



利用固定溝槽安裝隔板

伍、研究過程及結果分析：

研究過程分為兩大部分實測學校各種類型教學場地中聲音的擴散，以及檢測隔板對吸音的效果：

- 一、實測是為了瞭解聲音能量在不同教學現場中直線消散情況，以及各教學環境對聲音傳遞的影響；另外，也可以利用等分貝線圖推測聲音在不同類型的教室中的傳遞路徑，了解聲音擴散對鄰近班級有多大的影響。
- 二、藉由聲音吸收模型知道不同材質對聲音的吸收狀況，以便提供教學現場改善聲音干擾的可行對策。

實際測量聲音的擴散

實驗一：聲音在操場、禮堂及教室中直線消散之差異性研究

一、方法：

- 1.依據校園中空間大小不同的教學環境進行聲音直線消散實驗，選取操場旁中庭(開放空間)、禮堂(較寬闊的獨立空間)、自然教室(獨立空間)。
- 2.以捲尺標定出直線距離。
- 3.決定聲音的測量位置，分別距節拍器：0.01 公尺、1 公尺、2 公尺、3 公尺、4 公尺、5 公尺、6 公尺、7 公尺、8 公尺。
- 4.以距節拍器 0.01 公尺位置測量的音量定為聲源起始音量。
- 5.再調整節拍器的音量大小，分別測量起始音量：80 分貝、85 分貝、90 分貝、95 分貝、100 分貝、105 分貝。
- 6.實際測量操場旁中庭、禮堂、自然教室三個教學環境，在不同音量大小的情況下，各測量點的音量值。
- 7.測量時，開關節拍器，觀察分貝計的音量變化，需確認音量變化來自於開關節拍器，並記錄穩定音量值。
- 8.反覆測量三次以求取平均值，完成記錄表；並將測量值繪製成音量大小對聲源距離的折線圖。



操場旁中庭



禮堂



自然教室



開關節拍器確定音量



定點測量音量

二、結果：

表 1-1（操場旁中庭測量結果）

實驗地點	操場									
實驗日期	7 月 10 日									
氣溫	31 °C									
環境音量	56 dB									
音量	距離(m)	0.01	1	2	3	4	5	6	7	8
80 分貝	第一次	78	56							
	第二次	79	56							
	第三次	79	54							
	平均	78.7	55.3							
85 分貝	第一次	82	57							
	第二次	84	57							
	第三次	86	56							
	平均	84.0	56.7							
90 分貝	第一次	89	56							
	第二次	93	57							
	第三次	89	57							
	平均	90.3	56.7							
95 分貝	第一次	94	58	57	54					
	第二次	92	59	58	56					
	第三次	93	59	57	56					
	平均	93.0	58.7	57.3	55.3					
100 分貝	第一次	100	63	60	58	56	56			
	第二次	100	66	61	59	58	58			

	第三次	98	65	62	58	57	56			
	平均	99.3	64.7	61.0	58.3	57.0	56.7			
105 分貝	第一次	103	68	66	61	58	56	55		
	第二次	104	69	65	61	59	58	56		
	第三次	104	67	66	61	60	58	56		
	平均	103.7	68.0	65.7	61.0	59.0	57.3	55.7		

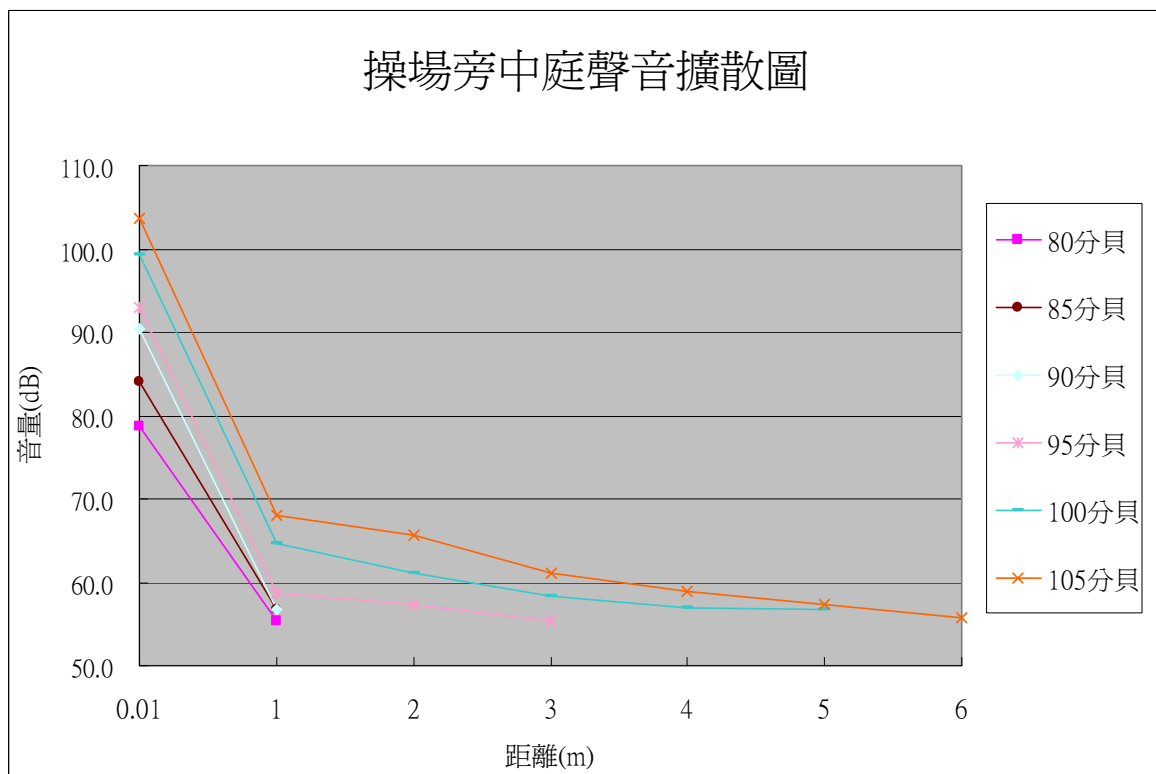


圖 1-1 (操場旁中庭聲音擴散圖)

表 1-2 (禮堂測量結果)

實驗地點	禮堂									
實驗日期	7 月 10 日									
氣溫	32 °C									
環境音量	40 dB									
音量	距離(m)	0.01	1	2	3	4	5	6	7	8
80 分貝	第一次	78	41	39						
	第二次	78	42	40						
	第三次	78	42	40						
	平均	78.0	41.7	39.7						
85 分貝	第一次	84	48	43	41	40				
	第二次	82	48	45	42	41				
	第三次	84	49	44	41	40				
	平均	83.3	48.3	44.0	41.3	40.3				
90 分貝	第一次	91	51	47	45	44	42	42	42	40
	第二次	88	53	49	45	44	44	45	43	42

	第三次	88	52	46	46	43	42	44	41	40
	平均	89.0	52.0	47.3	45.3	43.7	42.7	43.7	42.0	40.7
95 分貝	第一次	93	58	48	47	45	45	44	42	42
	第二次	93	58	50	48	46	46	45	45	44
	第三次	96	58	50	49	46	47	45	46	44
	平均	94.0	58.0	49.3	48.0	45.7	46.0	44.7	44.3	43.3
100 分貝	第一次	99	65	59	54	53	50	49	49	46
	第二次	98	64	61	56	53	51	50	48	47
	第三次	99	65	59	56	52	50	48	48	47
	平均	98.7	64.7	59.7	55.3	52.7	50.3	49.0	48.3	46.7
105 分貝	第一次	105	67	63	60	58	54	53	56	52
	第二次	104	68	62	62	58	54	52	52	55
	第三次	105	69	65	63	59	55	54	53	56
	平均	104.7	68.0	63.3	61.7	58.3	54.3	53.0	53.7	54.3

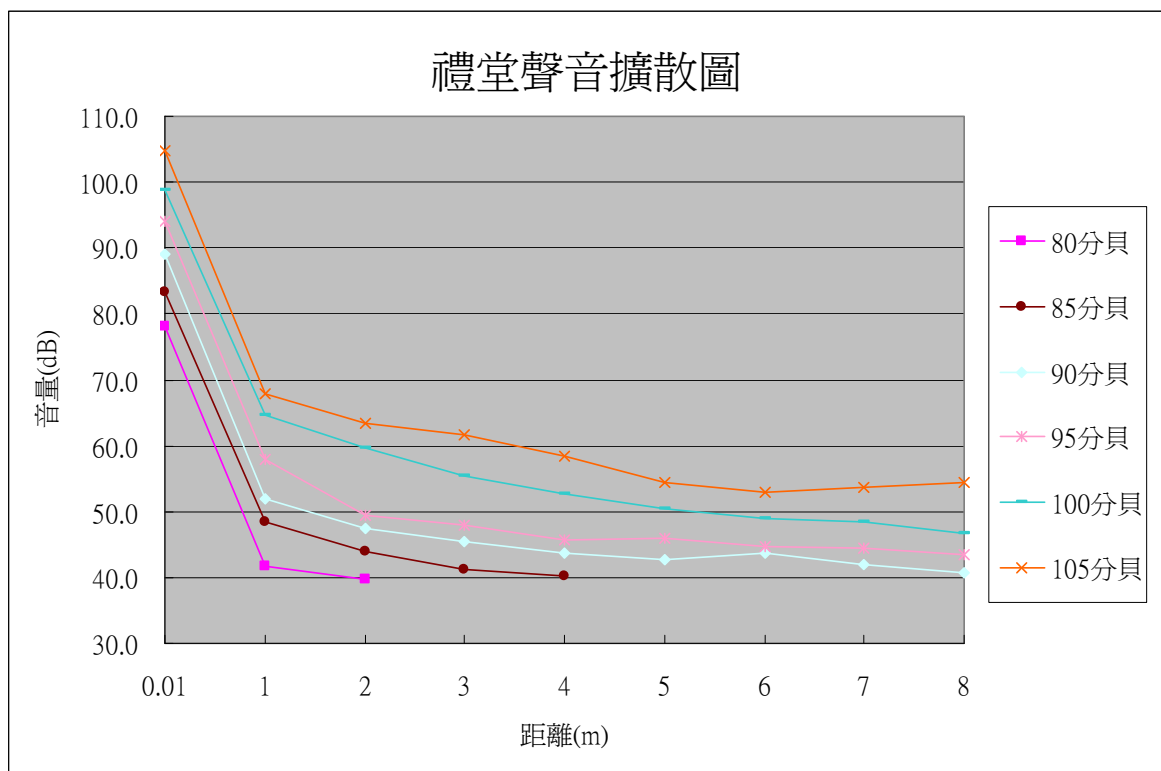


圖 1-2 (禮堂聲音擴散圖)

表 1-3 (教室測量結果)

實驗地點	自然教室									
實驗日期	7 月 14 日									
氣溫	31 °C									
環境音量	40 dB									
音量	距離(m)	0.01	1	2	3	4	5	6	7	8
80 分貝	第一次	80	46	43	42	41	42	42	41	42

	第二次	82	48	42	41	42	42	42	42	41
	第三次	80	47	44	42	41	42	41	41	40
	平均	80.7	47.0	43.0	41.7	41.3	42.0	41.7	41.3	41.0
85 分貝	第一次	84	50	47	43	44	45	43	43	44
	第二次	84	50	45	44	44	43	42	43	42
	第三次	86	50	49	45	45	46	44	43	43
	平均	84.7	50.0	47.0	44.0	44.3	44.7	43.0	43.0	43.0
90 分貝	第一次	91	55	49	47	46	47	46	46	45
	第二次	89	54	51	46	50	48	47	46	45
	第三次	90	56	53	47	47	47	48	46	45
	平均	90.0	55.0	51.0	46.7	47.7	47.3	47.0	46.0	45.0
95 分貝	第一次	94	58	57	55	51	52	52	51	52
	第二次	94	60	57	50	51	54	51	51	50
	第三次	95	60	57	56	55	54	55	53	53
	平均	94.3	59.3	57.0	53.7	52.3	53.3	52.7	51.7	51.7
100 分貝	第一次	100	65	60	58	57	57	60	58	57
	第二次	97	65	62	60	59	57	56	57	56
	第三次	100	65	63	58	58	59	58	58	57
	平均	99.0	65.0	61.7	58.7	58.0	57.7	58.0	57.7	56.7
105 分貝	第一次	106	72	67	66	64	63	63	63	62
	第二次	105	71	66	64	65	63	64	63	61
	第三次	105	72	68	66	66	67	65	64	63
	平均	105.3	71.7	67.0	65.3	65.0	64.3	64.0	63.3	62.0

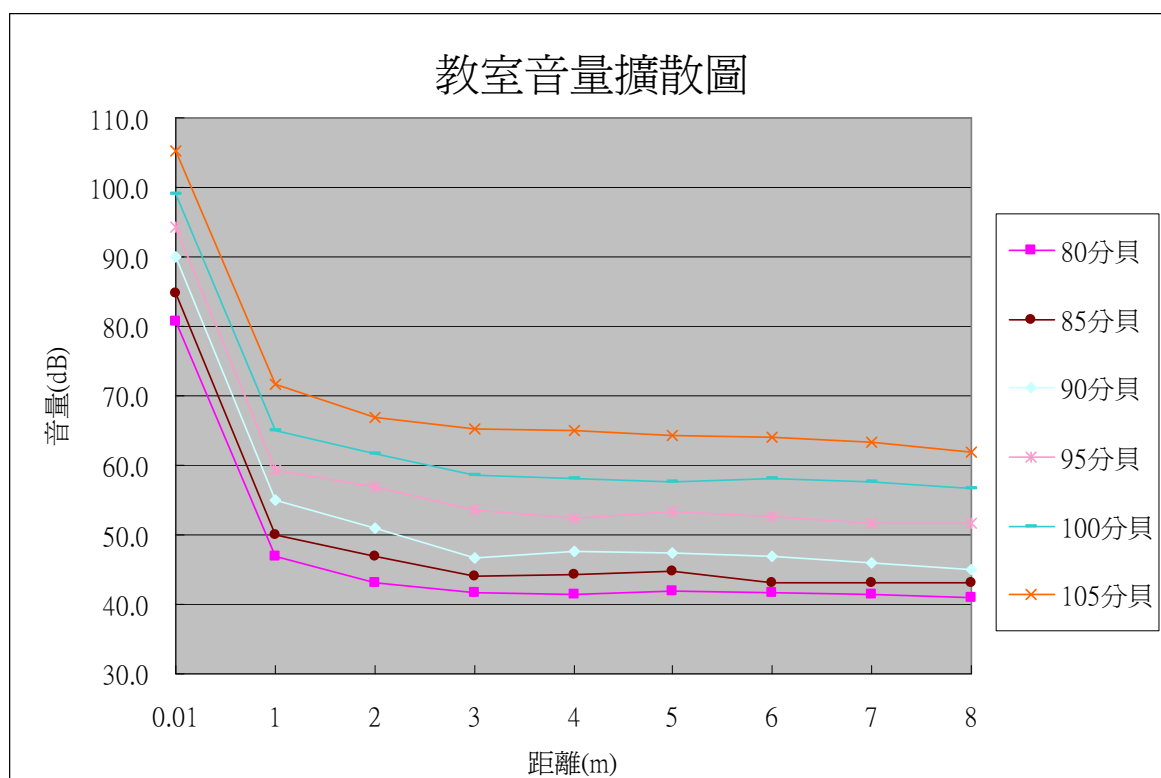


圖 1-3 (教室聲音擴散圖)

三、討論：

1. 圖 1-1、圖 1-2、圖 1-3，所有的折線都是隨著與聲源（節拍器）距離越遠，測得音量就越小。

這與參考文獻所查得資料相同：音量大小隨與聲源距離增加而減少。（聲源為中央點，聲音能量向四面八方擴散，距中央越遠掃過的球面積越大，單位面積的能量減少，故測得的音量值因距離增加而減小。）

2. 從圖 1-1、圖 1-2、圖 1-3 所有的折線，我們可以見到隨著距離越遠，測得音量下降幅度也越小。

從文獻資料可知聲音分貝數值 $= 10 * \log(I/I_0)$ ，雖然能量隨距離平方成反比，但分貝數值在取對數後下降幅度會縮小。

3. 圖 1-2、圖 1-3，當起始音量增加，各測量點的音量也增加。且增加量與起始音量相近，使得折線接近向上平移。

當實驗的環境相同，僅改變起始音量的大小，我們可發現影響音量變化的因素為測量點與聲源的距離。當距離相同，則音量減少的量也固定，因此會發現有折線向上平移的現象。

圖 1-1 中，起始音量低於 95 分貝的折線因測量數量少，且受環境音量影響未能見到上述現象。但當起始音量從 95 分貝逐步調整到 105 分貝，折線也能發現平移的傾向。

4. 圖 1-1，可用分貝計測得音量的有效距離會隨起始音量增大而增加。

這是因為操場為開放空間，且操場鄰近馬路，往來車輛噪音造成環境（背景）音量平均值為 56 分貝。所以當距離增加音量下降，降至環境音量之下就無法判定聲源發出的音量值。當起始音量越大，減去受距離增加造成的音量減少值後，若大於環境音量，就可以從分貝計數值變化判定音量值。

5. 圖 1-2，當起始音量逐漸增加，折線在 5 公尺後出現音量持平，甚至是局部音量增加的現象。

在開放空間中，隨距離增加擴散範圍加大，音量會逐漸下降。但是在獨立空間中會因為牆面與天花板而出現回聲，使測得的音量持平或增加。

6. 圖 1-3，起始音量逐漸增加，折線在 3 公尺後出現音量持平及音量反增的現象。

自然教室也是獨立空間，且牆面與天花板距離比禮堂更靠近聲源，因此比圖 1-2 的折線更早出現減緩下降的趨勢。

7. 聲音是以能量的形式向四面八方傳播，遇到阻擋會出現反射，使能量無法順利向外擴散，造成能量累積，測量的分貝值居高不下。

比較實驗一不同教學環境聲音的直線擴散

一、實驗條件與環境比較：

1. 測量點：三個實驗地點不同之外，各測量點與聲源的距離均以捲尺標定。
2. 空間大小：操場旁中庭為開放空間，向上無阻礙，單側有教學大樓；禮堂為獨立空間，挑高兩層樓，內包含四個羽球場；自然教室為獨立空間，高約 3 公尺，長約 10 公尺，寬約 8 公尺。
3. 聲源：均以電子節拍器轉 440Hz 發聲。
4. 環境音量：操場位於馬路旁，環境音量平均值約為 56 分貝；禮堂位於三樓，室內環境音量平均值約 40 分貝；自然教室鄰近住宅區，室內環境音量平均值約 40 分貝。
5. 理論值：點聲源發出聲音能量，在不受阻擋向外擴散的狀況下，音量隨擴散面積增加而改變的量值。

二、結果比較：

表 1-4（起始音量 80 分貝）

實驗地點	距離(m)	0.01	1	2	3	4	5	6	7	8
操場		78.7	55.3							
禮堂		78.0	41.7	39.7						
自然教室		80.7	47.0	43.0	41.7	41.3	42.0	41.7	41.3	41.0
理論值		80.0	40.0	34.0	30.5	28.0	26.0	24.4	23.1	21.9

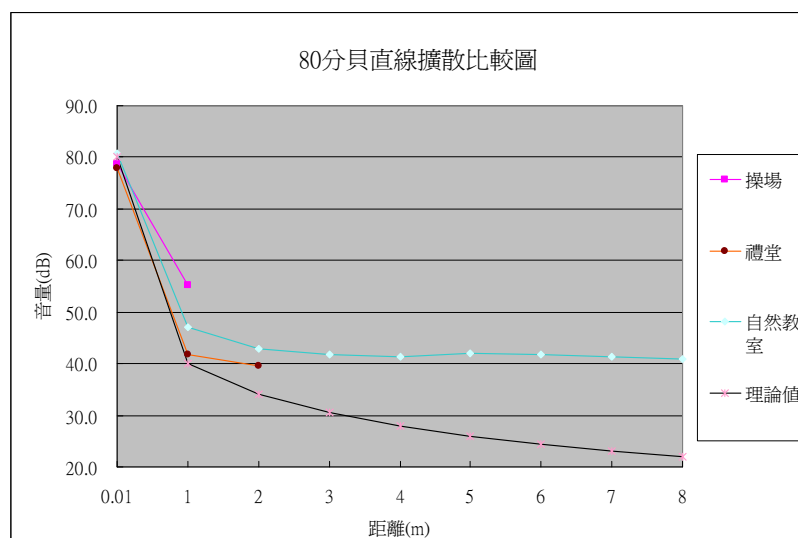


圖 1-4（80 分貝直線擴散比較圖）

表 1-5（起始音量 85 分貝）

實驗地點	距離(m)	0.01	1	2	3	4	5	6	7	8
操場		84.0	56.7							
禮堂		83.3	48.3	44.0	41.3	40.3				
自然教室		84.7	50.0	47.0	44.0	44.3	44.7	43.0	43.0	43.0
理論值		85.0	45.0	39.0	35.5	33.0	31.0	29.4	28.1	26.9

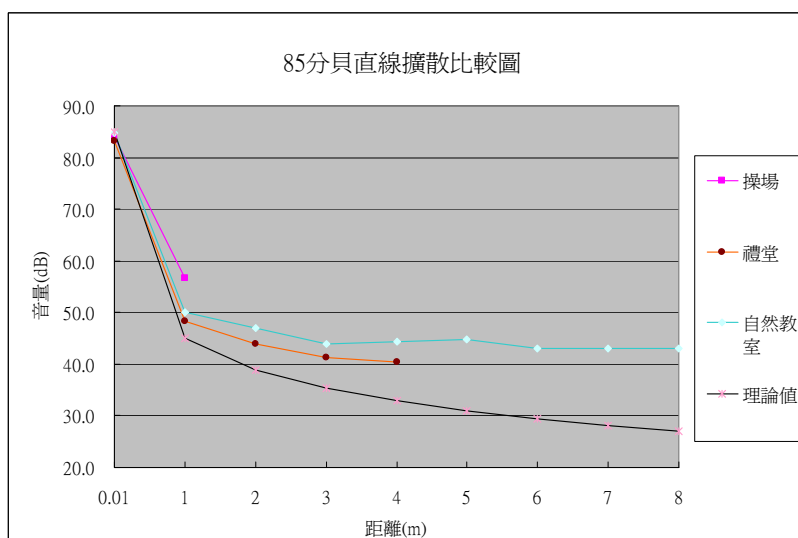


圖 1-5（85 分貝直線擴散比較圖）

表 1-6 (起始音量 90 分貝)

實驗地點	距離(m)	0.01	1	2	3	4	5	6	7	8
操場		90.3	56.7							
禮堂		89.0	52.0	47.3	45.3	43.7	42.7	43.7	42.0	40.7
自然教室		90.0	55.0	51.0	46.7	47.7	47.3	47.0	46.0	45.0
理論值		90.0	50.0	44.0	40.5	38.0	36.0	34.4	33.1	31.9

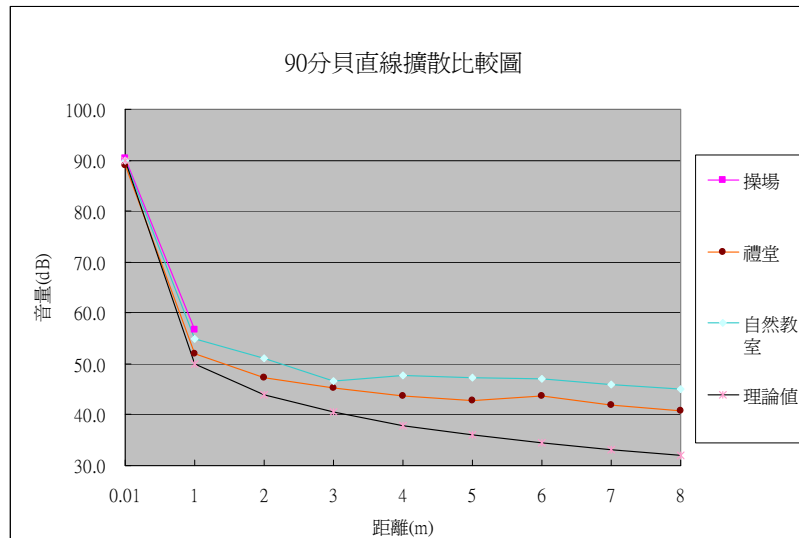


圖 1-6 (90 分貝直線擴散比較圖)

表 1-7 (起始音量 95 分貝)

實驗地點	距離(m)	0.01	1	2	3	4	5	6	7	8
操場		93.0	58.7	57.3	55.3					
禮堂		94.0	58.0	49.3	48.0	45.7	46.0	44.7	44.3	43.3
自然教室		94.3	59.3	57.0	53.7	52.3	53.3	52.7	51.7	51.7
理論值		95.0	55.0	49.0	45.5	43.0	41.0	39.4	38.1	36.9

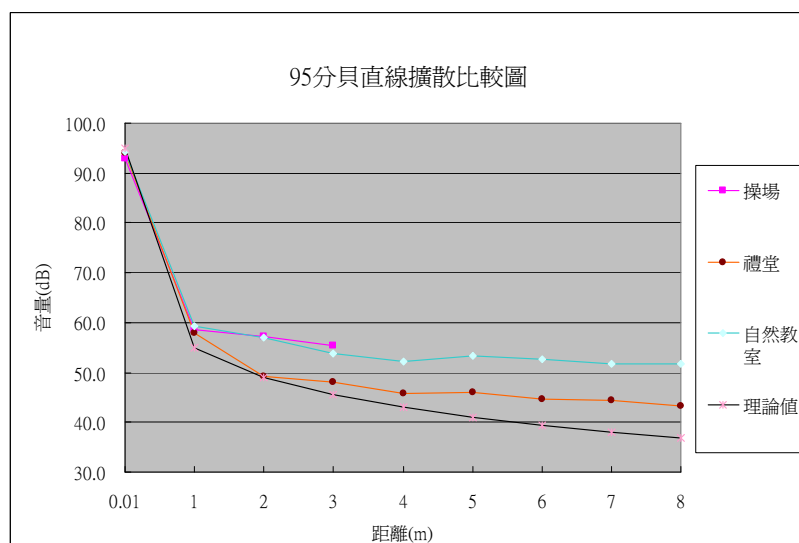


圖 1-7 (95 分貝直線擴散比較圖)

表 1-8 (起始音量 100 分貝)

實驗地點	距離(m)	0.01	1	2	3	4	5	6	7	8
操場		99.3	64.7	61.0	58.3	57.0	56.7			
禮堂		98.7	64.7	59.7	55.3	52.7	50.3	49.0	48.3	46.7
自然教室		99.0	65.0	61.7	58.7	58.0	57.7	58.0	57.7	56.7
理論值		100.0	60.0	54.0	50.5	48.0	46.0	44.4	43.1	41.9

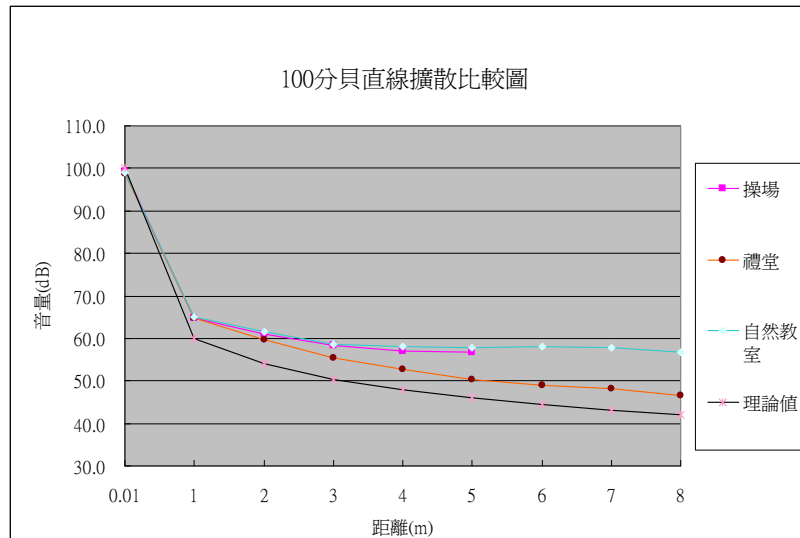


圖 1-8 (100 分貝直線擴散比較圖)

表 1-9 (起始音量 105 分貝)

實驗地點	距離(m)	0.01	1	2	3	4	5	6	7	8
操場		103.7	68.0	65.7	61.0	59.0	57.3	55.7		
禮堂		104.7	68.0	63.3	61.7	58.3	54.3	53.0	53.7	54.3
自然教室		105.3	71.7	67.0	65.3	65.0	64.3	64.0	63.3	62.0
理論值		105.0	65.0	59.0	55.5	53.0	51.0	49.4	48.1	46.9

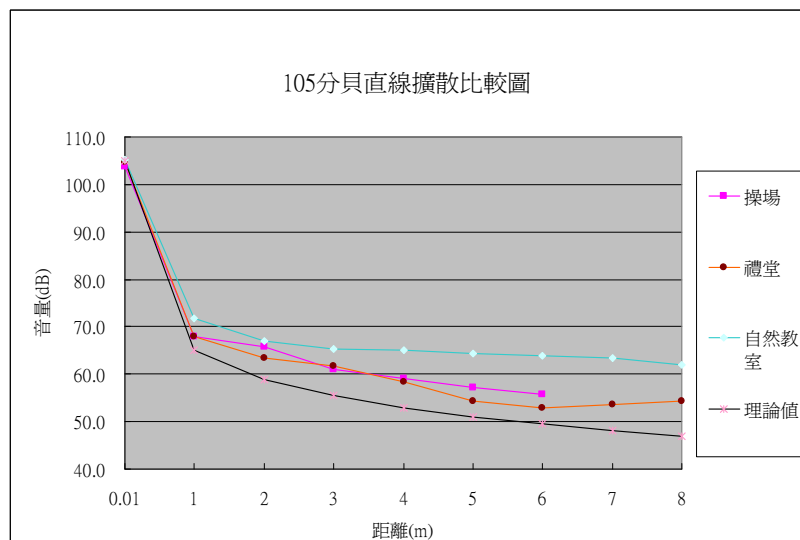


圖 1-9 (105 分貝直線擴散比較圖)

1. 由圖 1-4～圖 1-9 的折線變化，可以看出實驗值均較理論值高。自然教室的測量結果又高於禮堂的測量結果。
2. 比較圖 1-4～圖 1-9 中各折線的差距，發現隨著離聲源的距離越遠，實驗值與理論值差距越大。
3. 觀察圖 1-4～圖 1-9 中操場與理論值的折線，發現隨著起始音量越大，兩條折線越貼近。
4. 在圖 1-4（80 分貝直線擴散比較圖）中，操場、禮堂都無法測得完整 8 公尺內的音量變化，僅自然教室的折線是完整的。

三、分析整理：

1. 圖 1-4～圖 1-9 各實驗地點的折線變化趨勢相似，可以看出影響音量大小的主要原因為聲源的起始音量及與聲源的距離。

一般交談的音量為 60 分貝（聽到的音量），從圖形的折線變化與測量值的結果推論要達到學生均可清楚聽到教學，教師發出的音量需要 105 分貝（0.01 公尺）。

因此，在接下來的實驗二：教學現場實測，以 105 分貝作為實驗的起始音量。

2. 聲音撞擊到天花板、地面及牆壁後會反射產生回聲，使聲音能量無法順利向外擴散，因此可以見到在相同的起始音量及距離，自然教室的音量高於禮堂、操場及理論值。

反射會影響聲音的擴散也影響聲音的測量值。因此，在下一個實驗的分析中可藉由聲音的測量來討論聲音前進的方向，判斷聲源對周遭環境的影響。

3. 在圖形中可發現環境音量會影響聲音的測量，環境音量大於聲源產生的音量，就無法從分貝計判讀出音量的改變。

在環境音量過大的地方上課就需要離教師比較近，才能清楚聽到教學內容。

從圖 1-9 可以得知在操場上課要在離教師 4 公尺內才能達到 60 分貝的音量；超過 6 公尺遠就聽不清說話內容。

教師在這樣的教學環境中上課需要使用更大的音量才能達到教學成效。

4. 從圖形中可發現相同音量下，聲音在獨立教室中會被反射，就可以傳遞較遠的距離。

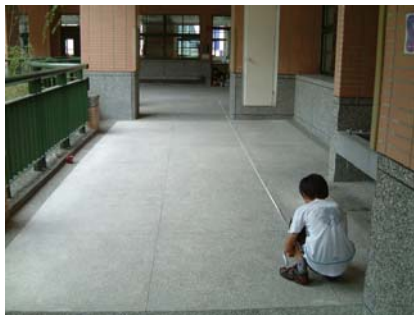
從圖 1-4 中可得知在自然教室 8 公尺處仍能測得音量變化，這表示較小音量就

可以使全班聽到上課的內容，對教師的喉嚨來說負擔比較小。但這也表示在班群空間中，各班發出的聲音會留在班群內造成環境音量上升，干擾也比較嚴重。

實驗二：聲音在自然教室、L 型班群、長條型班群內擴散之研究

一、方法：

- 1.依據校園內教室空間，選擇自然教室（傳統教室）、L 型班群、長條型班群（班群教室）進行實驗。
- 2.將自然教室及周圍空間、班群教室及公共空間畫分成 16×16 個測量點，並以捲尺標定出各測量位置。
- 3.在黑板前選定節拍器（聲源）放置位置。
- 4.以距節拍器 0.01 公尺位置測量的音量 105 分貝定為聲源音量。（依據實驗一結果）
- 5.實際測量自然教室、L 型班群、長條型班群三個教學環境及其周圍空間，各測量點的音量值。
- 6.測量時，開關節拍器，觀察分貝計的音量變化，需確認音量變化來自於開關節拍器，並記錄穩定音量值。
- 7.完成記錄表；並依測量值繪製成等分貝線圖。



測量空間的長寬



標定測量點



測量自然教室



測量 L 型班群



測量長條型班群

二、結果：

表 2-1 (自然教室測量結果)

音量	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1						52	54	55	53							
2						53	53	53	56							
3				48	50	52	53	53	56							
4				51	50	52	51	54	54							
5							52	54	54	52	53	51				
6							53	55	54	51	51	51	51	50	50	49
7	64	68	72	70	68	63	62	58	53	52	51	49	49	48	47	47
8	65	66	69	68	64	62	66	56	53	51	52	51	50	48	48	46
9	65	64	66	65	64	64	60	56	56	53	53	50	48	48	47	46
10	64	64	64	63	63	62	59	55	55	53						
11	62	63	64	63	62	61	54	54	56	50						
12	64	63	64	63	63	62	56	54	54	52						
13							55	53	52	51						
14							50	52	51	50						
15							49	51	51	50						
16							49	49	50	48						

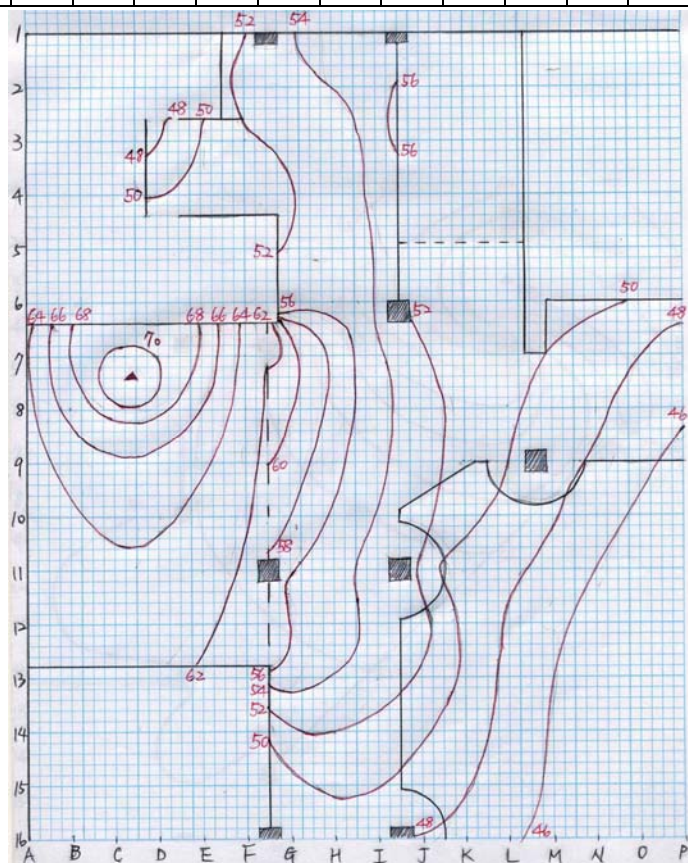


圖 2-1 (自然教室等分貝線圖)

表 2-2-1 (L 型班群—2 班測量結果)

音量	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1									62	62	63	64	49	49	48	48
2									62	63	65	68	50	50	48	48
3									63	65	68	105	51	50	49	48
4									62	63	65	68	53	51	50	49
5					51	53	55	57	61	61	63	64	58	54	52	51
6					51	53	55	56	57	58	59	60	57	55	52	51
7					52	53	54	55	56	56	57	58	56	56		
8					52	53	53	54	54	55	56	57	55			
9	50	49	49	50	52	52	53	53	54	54	54	56				
10	50	51	51	51	52	52	52	53	53	53	54					
11	51	50	51	51	52	52	52	53	53	54						
12	51	50	50	51	51	51	51	52	55							
13	50	48	49	50	51	51	51	54								
14	50	49	50	50	50	49	54									
15	50	49	50	50	48	47										
16	49	48	49	50	50	46										

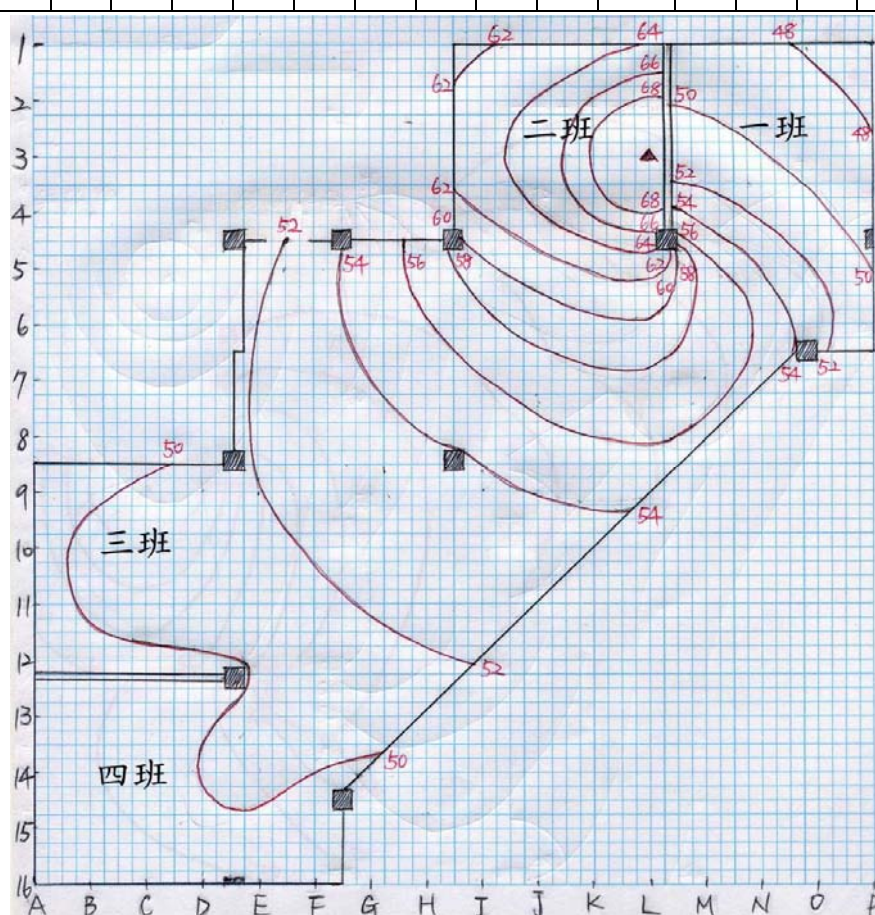


圖 2-2-1 (L 型班群—2 班等分貝線圖)

表 2-2-2 (L 型班群—3 班測量結果)

音量	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1									47	47	47	48	47	47	47	46
2									47	47	47	48	47	47	47	47
3									47	47	48	48	47	47	47	47
4									50	50	49	49	47	48	48	47
5					53	53	53	52	52	51	51	50	50	48	48	47
6					54	54	54	54	53	51	51	50	50	49	48	47
7					57	56	55	55	54	53	52	51	51	54		
8					59	59	57	53	54	54	53	52	55			
9	65	68	105	68	63	60	57	53	55	55	53	56				
10	63	65	69	65	62	59	57	55	55	54	57					
11	63	62	65	63	61	58	56	55	53	57						
12	61	62	63	62	61	58	56	55	56							
13	52	50	50	51	53	57	56	56								
14	51	50	50	51	52	54										
15	52	50	50	50	51	53										
16	50	48	49	49	50	51										

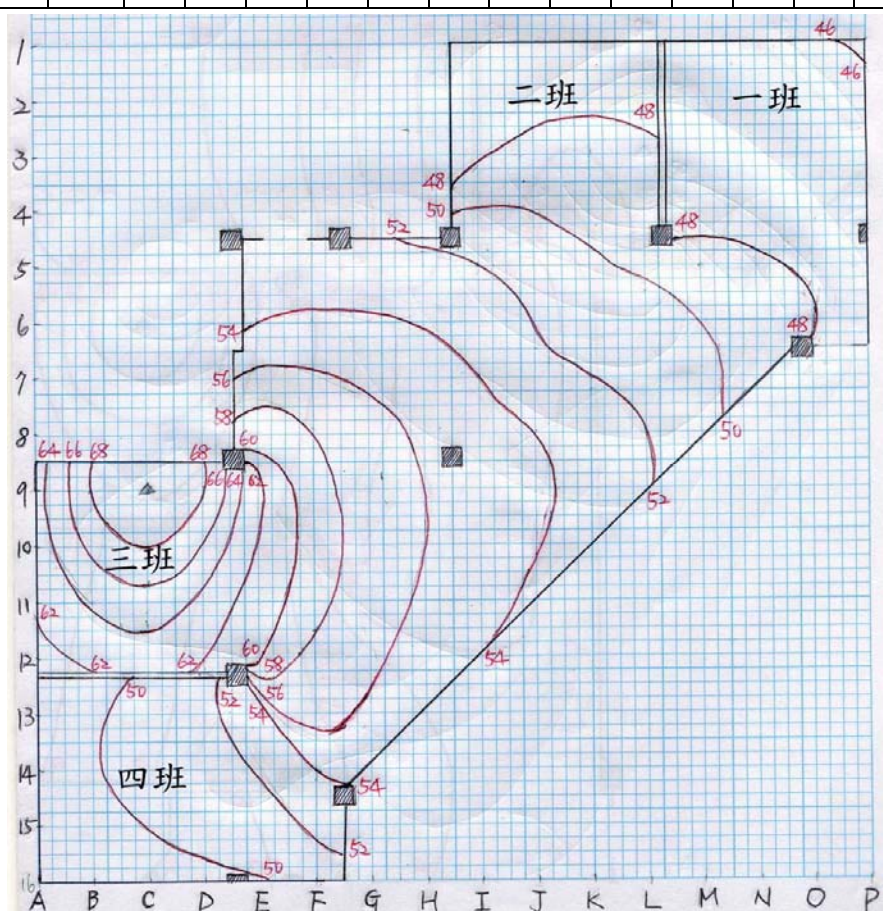


圖 2-2-2 (L 型班群—3 班等分貝線圖)

表 2-3-1 (長條型班群—2 班測量結果)

音量	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	51	51	53	52	51	54	57	58		51	50	50	50	51		
2	52	51	51	52	51	54	57	58		51	51	50	50	50	51	
3	51	51	50	50	51	53	57	58		51	52	50	50	50	50	51
4	50	51	51	51	52	53	55	58		51	53	51	50	50		
5	50	50	50	50	54	56	55	59		59	55	50	50			
6	64	68	105	68	64	62	61	59	59	58	58					
7	63	65	68	66	64	62	61	59	58	58	59					
8	63	64	65	63	63	62	60	59	59	58	58					
9	63	64	64	64	64	62	60	59	57	57	58					
10	50	50	50	51	53	57	60	59	58	58	57					
11	50	50	51	52	53	56	60	58	58	57	57					
12	50	50	51	52	53	54	55	58	58	58	60					
13	50	51	52	53	53	54	55	57	57	57	58					
14	50	51	52	53	53	54	54	56	56	57	60					
15				51	52	54	54	55	56	57	57					
16			50	51	51	54	55	56	57	57	59					

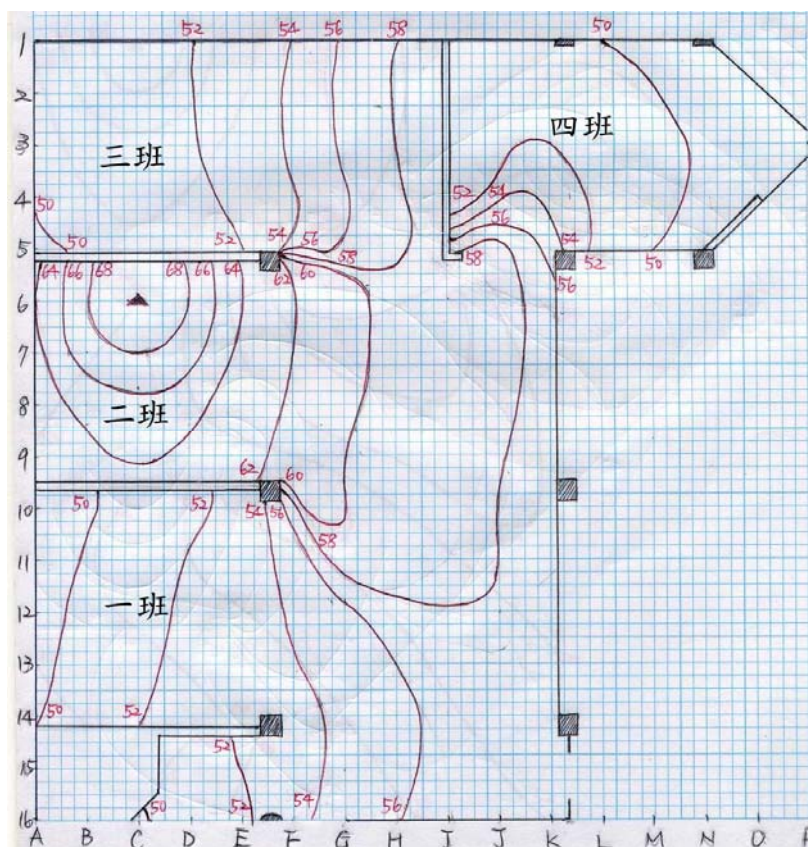


圖 2-3-1 (長條型班群—2 班等分貝線圖)

表 2-3-1 (長條型班群—3 班測量結果)

音量	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	65	67	105	68	65	63	63	62		46	46	46	46	46		
2	63	65	68	66	64	63	63	62		46	47	46	46	45	46	
3	63	64	65	64	63	63	62	62		46	47	47	46	46	45	45
4	63	63	64	64	63	62	62	62		48	49	47	46	46		
5	63	63	64	63	63	62	62	61		53	52	46	46			
6	51	51	52	54	57	61	60	60	59	55	54					
7	51	52	52	54	56	60	59	59	58	56	56					
8	52	53	53	54	55	57	59	58	58	57	56					
9	52	53	53	54	54	54	54	56	57	57	56					
10	46	47	48	50	52	53	54	54	56	57	56					
11	47	48	49	50	51	52	52	53	54	55	56					
12	47	47	48	49	50	51	51	52	53	53	54					
13	46	47	47	48	49	50	51	51	52	53	54					
14	46	46	47	47	48	49	50	51	52	53	53					
15				46	48	49	49	50	51	52	53					
16			47	48	48	49	49	50	50	51	52					

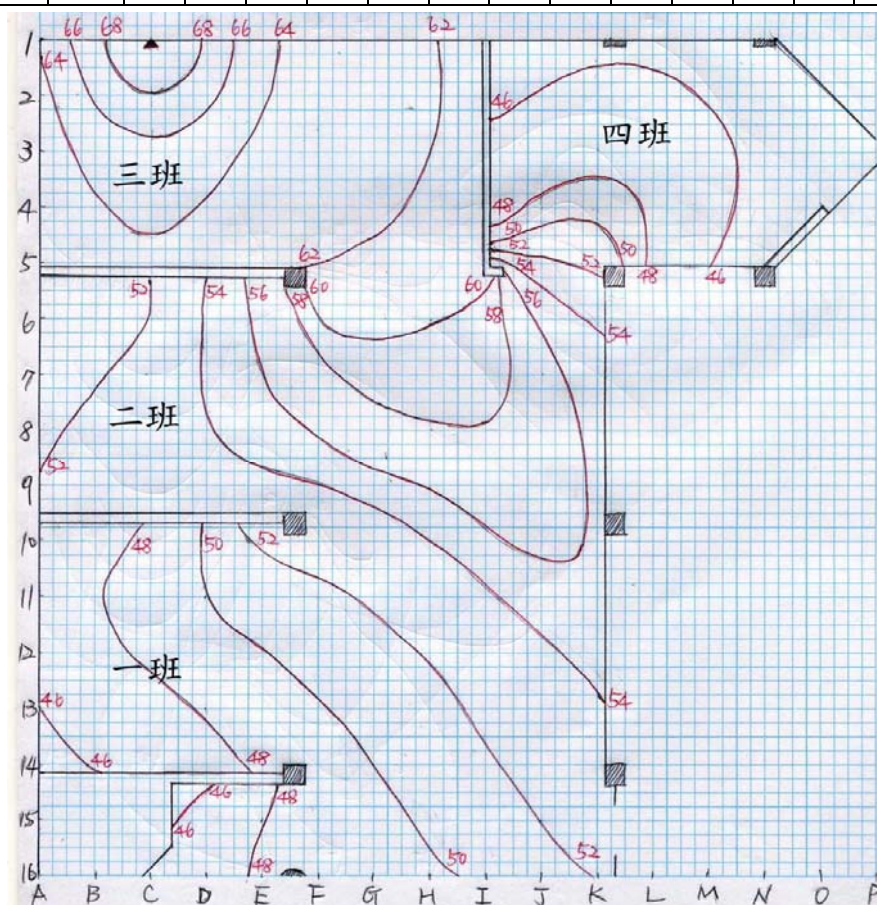


圖 2-3-1 (長條型班群—3 班等分貝線圖)

三、討論：

1. 在圖 2-1 中，以聲源為中心等分貝線以橢圓弧的形狀出現，且教室後方的等分貝線稀疏。

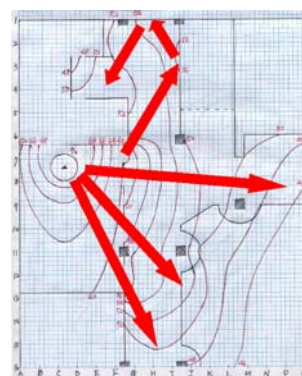
聲源發出聲音後，能量會向四面八方擴散。但受到牆面、地面及天花板的阻擋，聲音無法順利向外擴散，能量滯留在教室內使得後方音量變化不大，此結果與實驗 1-3 結果相符。

2. 在圖 2-1 中，教室外走廊等分貝線呈波浪狀，在柱子前方亦出現等分貝線稀疏。

聲音由門及窗口向外擴散，會出現靠近門窗音量較大，且以出口為中心等分貝線向外呈新的弧面。柱面也會反射聲音，使部分區域音量變化減小。

3. 在圖 2-1 中，廁所前方空間等分貝線變化大。若以等分貝線的垂直方向及音量變化，推估聲音的前進路徑，可發現聲音在此空間內不斷反射前進。

音量遞減的方向可視為聲音的前進方向，從圖中變化可驗證聲音受牆面影響會產生反射。此處的等分貝線也很稀疏，表示能量不易向外擴散。



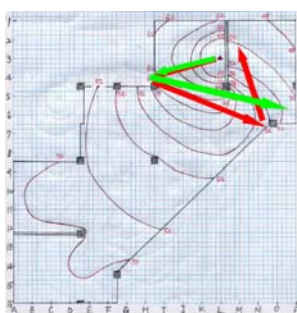
4. 在圖 2-2-1 及圖 2-2-2 中，等分貝線由聲源向外以弧形出現，受到牆面及柱子影響會出現彎曲的波浪狀。音量在靠近聲源處較密，遠離聲源則較稀疏。

與實驗 2-1 相同，聲音向四面八方擴散，會受牆面及柱子的阻擋。從等分貝線變化可看到在 L 型班群中，因為教室與公共空間沒有牆面阻擋，等分貝線是接近圓弧的線，聲音在班群內擴散對周圍影響較獨立的自然教室大。

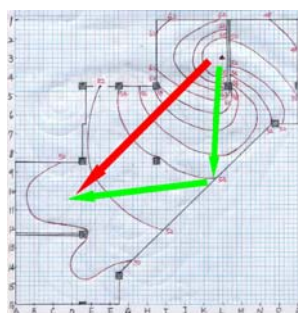
5. 在圖 2-2-1 中，聲源位置靠近與一班間隔的牆面。從等分貝線數值變化可知：隔壁一班位在公共空間旁的區域音量最大有 54~58 分貝，越往角落音量快速遞減至 46 分貝；斜對面的三班與四班教室內各處音量差異不大，約為 48~51 分貝，三班音量又略高於四班。

從聲音擴散路徑圖可得知：聲音要進入一班必須經由反射，所以路徑最短的部分區域音量比較大；聲音要進到三班及四班則可直接及由牆面反射，因此雖然

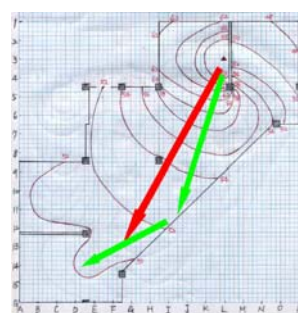
與二班距離較遠音量仍有 50 分貝，又因三班比四班距離近，音量也略高。



聲音路徑(一班)



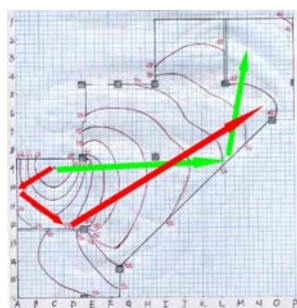
聲音路徑(三班)



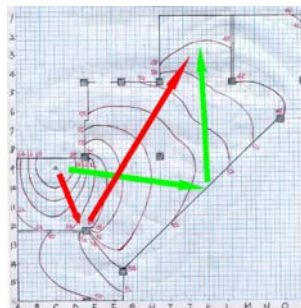
聲音路徑(四班)

6. 在圖 2-2-2 中，聲源位置靠近與教師準備室間隔的牆面。從等分貝線數值變化可知：影響最大的是四班，音量約有 49～51 分貝；其次是二班，音量約為 47～50 分貝；影響最小的是一班，音量約為 46～48 分貝。

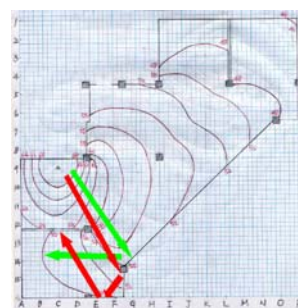
從聲音擴散路徑圖可得知：聲音要進入其它的班級都需經由牆面反射，所以在各班測得的音量值比實驗 2-2-1 聲源在二班的音量小；聲音傳到各班的路徑從短到長依序為四班、二班、一班，是造成各班的音量差異的主要原因。



聲音路徑(一班)



聲音路徑(二班)



聲音路徑(四班)

7. 實驗 2-2-1 與實驗 2-2-2 的測量結果比較後，因為黑板位置及教師對學生教學方向的差異，造成二班與三班雖然位置相對稱，但彼此的影響不同，對公共空間及其它班級的影響也不一樣。
8. 雖然沒有測量聲源在一班及四班的狀況，但依照實驗 2-2-1 及實驗 2-2-2 的結果與分析方式，可推估：
- 聲源在一班：影響最大是二班，音量約為 49～51 分貝；其次是三班，音量約為 47～50 分貝；影響最小的是四班，音

量約為 46~49 分貝。

狀況與聲源在二班相似，但聲音擴散至其它班級的路徑較二班長，故音量會略低 1~2 分貝。

聲源在四班：影響最大是三班，音量約為 48~51 分貝；其次是二班，音量約為 45~48 分貝；影響最小的是一班，音量約為 43~46 分貝。

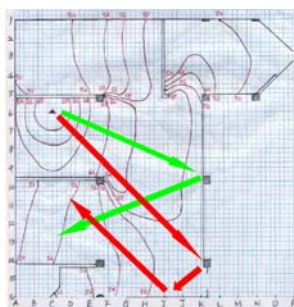
狀況與聲源在三班相似，但聲音擴散至其它班級的路徑較三班長，且與班群相接的出口較小，故音量會略低 2~3 分貝。

9. 在圖 2-3-1 及圖 2-3-2 中，等分貝線在聲源教室內仍以圓弧狀出現，進入公共空間前受到牆面影響以不規則的形狀出現。等分貝線在靠近牆邊處較密，與聲源直線上無阻擋的空間區域則較稀疏。

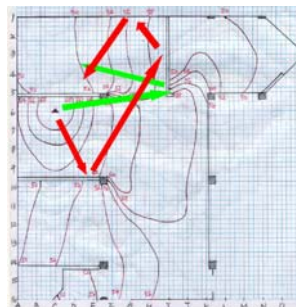
長條型班群的公共空間呈長條狀，兩側較窄，聲音擴散後很快就會受牆面阻擋反射，因此可見到圖 2-3-1 二班教室旁及圖 2-3-2 三班教室旁的公共空間出現等分貝線間距加大的現象。

在圖 2-3-1 中由二班向外擴散受牆面阻擋，等分貝線與兩側牆邊相接向外呈直線延伸，圖 2-3-2 也可見到此現象。如此可幫助判斷聲音擴散的路線及影響其它班級的成因。。

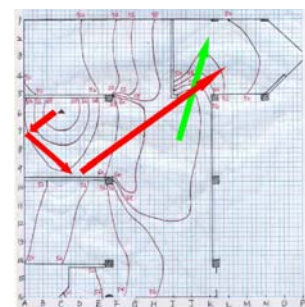
10. 在圖 2-3-1 中，聲源位置靠近與三班間隔的牆面。從等分貝線數值變化可知：其它三個班級音量均在 50~53 分貝之間；其中受影響最大的是四班靠近公共空間的區域，測得音量高達 54~56 分貝；三班教室內音量比其它兩班低一點。從聲音擴散路徑圖可得知：聲音要進入其它班級必須經由反射；四班靠近公共空間處因聲音向右擴散經牆面反射可直接進入，因此影響最大；若進入一班及



聲音路徑(一班)



聲音路徑(三班)

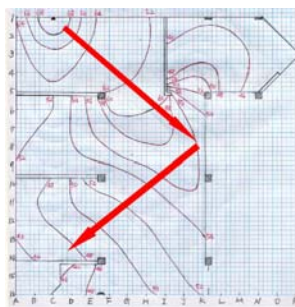


聲音路徑(四班)

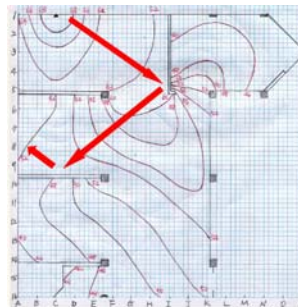
面 1~3 次反射，因此影響較小；又聲音前進到各班的路徑相差不大，因此各班音量也相近。

11. 在圖 2-3-2 中，聲源位置靠近外牆。從等分貝線數值變化可知：影響最大的是二班，音量約有 51~54 分貝；其次是一班，音量約為 46~50 分貝；影響最小的是四班，音量約為 45~50 分貝。

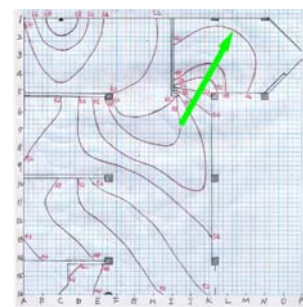
從聲音擴散路徑圖可得知：聲音要進入其它的班級也需經由牆面反射，且擴散路徑較長，所以在各班測得的音量值比實驗 2-3-1 聲源在二班的音量小；聲音傳到二班的路徑最短，因此二班的音量最大；進入四班的聲音是先進入公共空間，經多次反射再擴散進入，因此音量最小。



聲音路徑(一班)



聲音路徑(二班)



聲音路徑(四班)

12. L 型班群與長條型班群的測量結果比較後，發現雖然在長條型班群聲音都先經由反射再進入其它班級，L 型班群會有直接與反射擴散兩種狀況，但因為公共空間的形狀差異，造成長條型班群的牆面較接近各班，也造成各班測得的音量比 L 型班群高。

13. 雖然沒有測量聲源在一班及四班的狀況，但依照實驗 2-3-1 及實驗 2-3-2 的結果與分析方式，可推估：

聲源在一班：影響最大是二班，音量約為 49~52 分貝；其次是四班，音量約為 46~48 分貝；影響最小的是三班，音量約為 45~47 分貝。

狀況與聲源在二班相似，但聲音擴散至其它班級需要先由教師準備室的牆面反射因此路徑較長，故音量會較實驗 2-3-1 略低 1~2 分貝。

聲源在四班：影響最大是二班，音量約為 49~51 分貝；其

次是一班，音量約為 47～49 分貝；影響最小的是三班，音量約為 46～48 分貝。

對公共空間出口較小，且聲音要傳到各班亦需要先經由牆面反射。到二班路徑最短影響最大，估計音量應比實驗 2-3-1 中二班對四班的數值低 1～2 分貝。一班因路徑較長，會比二班少 2 分貝。三班因需多次反射，且三班外還有一小塊公共空間，故音量會再低 1 分貝

模擬測量聲音的吸收

實驗三：聲音在模型中，受不同材質的隔板吸收之影響

一、方法：

- 1.取內側長 43 公分、寬 33 公分、高 23 公分的中型紙箱，內側安裝兩個固定隔板的溝槽，並在其中一側（聲音擴散的末端）挖直徑 1.5 公分的小洞，用以伸入分貝計測量音量。
- 2.取長 32.5 公分、寬 23 公分之隔板兩片。材質分別為：平面紙板、凹凸紙板、珍珠板、木板、棉質隔板。
- 3.調整節拍器的音量大小，分別測量實驗音量：75 分貝、80 分貝、85 分貝、90 分貝、95 分貝、100 分貝、105 分貝。
- 4.測量無隔板、平面紙板、凹凸紙板、珍珠板、木板、棉質隔板六種條件，在不同音量大小的情況下，測量吸收後音量值。
- 5.反覆測量三次以求取平均值，完成記錄表；並將測量值繪製成音量大小對實驗音量的折線圖。



測量實驗音量



組裝珍珠隔板



測量吸收後的音量



更換隔板



組裝棉質隔板



記錄測得音量

二、結果：

表 3-1 (A 點測量結果)

隔板材質 實驗音量		無隔板	平面紙板	凹凸紙板	珍珠板	木板	棉質隔板
75 分貝	第一次	57.6	49.7	47.8	57.6	49.3	43.8
	第二次	58.7	50.5	48.6	58.6	50.2	45.0
	第三次	58.5	50.2	48.3	58.5	50.0	44.6
	平 均	58.3	50.1	48.2	58.2	49.8	44.5
80 分貝	第一次	62.6	55.3	53.9	62.2	55.7	48.8
	第二次	63.5	56.3	54.8	63.3	56.6	50.6
	第三次	63.2	56.0	54.4	63.0	56.2	50.2
	平 均	63.1	55.9	54.4	62.8	56.2	49.9
85 分貝	第一次	67.7	59.7	58.7	67.3	60.2	53.7
	第二次	68.3	60.4	59.2	68.0	60.6	54.2
	第三次	68.1	60.2	59.0	67.7	60.5	54.0
	平 均	68.0	60.1	59.0	67.7	60.4	54.0
90 分貝	第一次	71.9	64.3	63.4	71.6	64.8	57.8
	第二次	73.2	65.3	64.5	72.9	65.6	59.3
	第三次	72.8	64.9	64.2	72.5	65.2	58.8
	平 均	72.6	64.8	64.0	72.3	65.2	58.6
95 分貝	第一次	77.8	70.5	69.2	77.4	70.7	62.0
	第二次	78.5	71.3	70.0	78.0	71.5	62.8
	第三次	78.2	71.0	69.5	77.8	71.3	62.5
	平 均	78.2	70.9	69.6	77.7	71.2	62.4
100 分貝	第一次	83.7	76.0	75.4	83.0	76.3	67.4
	第二次	84.0	76.3	75.6	83.5	76.5	67.7
	第三次	83.7	76.1	75.3	83.2	76.3	67.5
	平 均	83.8	76.1	75.4	83.2	76.4	67.5
105 分貝	第一次	89.0	81.6	80.7	88.4	81.9	72.4
	第二次	89.4	82.0	81.0	88.7	82.3	72.9
	第三次	89.1	81.8	80.9	88.4	82.0	72.6
	平 均	89.2	81.8	80.9	88.5	82.1	72.6

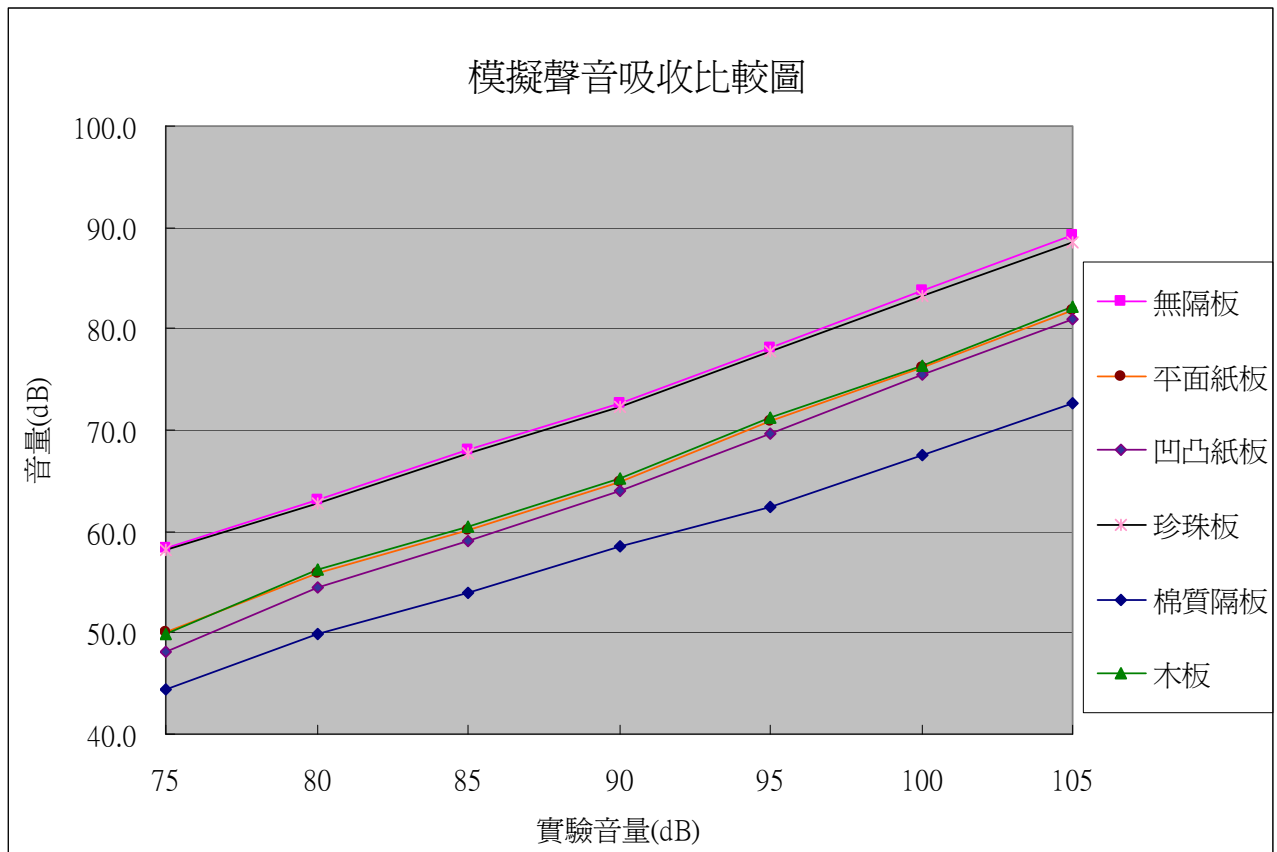


圖 3-1（模擬聲音吸收比較圖）

三、討論：

1. 在圖 3-1 中，無隔板這條折線的各測得音量與實驗音量相差均在 16~18 分貝之間。

實際測量箱內節拍器與分貝計相距約為 0.45 公尺，若在無阻擋的狀況下，測得的音量應比實驗音量低 33 分貝。但實測值只低約 17 分貝，這表示聲音受紙箱阻擋無法順利向外擴散；低 17 分貝的原因則是因為紙箱會吸音及部分聲音由縫隙逸散。

2. 珍珠板與無隔板的折線幾乎重合。

珍珠板的測得音量與無隔板相近，這表示：珍珠板幾乎沒有吸收效果；因安裝珍珠板增加聲源到分貝計的路徑長，對音量的減少沒有影響，更證明箱內測得的音量大小只與吸收有關、與距離無關。

3. 圖 4-1，測得音量從低到高依序為：棉質隔板、凹凸紙板、平面紙板、木板、珍珠板、無隔板。

棉質隔板的吸收效果最好，比無隔板又低 14~17 分貝，這表示棉質的材質與纖維的縫隙有利於吸收聲音，減少聲音的反射。

凹凸紙板比平面紙板測得音量低 1~2 分貝，這表示材質相同，凹凸面比平面有更好的吸收效果。

以上兩項實驗結果與文獻資料相符，棉質纖維縫隙與凹凸表面可減少回聲，避免聲音的干擾。

4. 實驗音量遞增，各材質測得音量也遞增，但幾乎維持相同的音量差距。

使用隔板可增加吸收的效果，不同材質效果不同，但從圖表的折線變化與音量計算方式〔分貝數值 = $10 * \log(I/I_0)$ 〕我們可以發現：隔板對能量的吸收是依能量大小以一定的比例吸收並反射，而不是固定吸收一定的能量值。

陸、結論：

- 一、聲音能量會向四面八方擴散，隨著擴散距離越遠音量會越小。聲音被物體阻擋後會反射產生回聲，也有一部分能量會被吸收。
- 二、不同教學環境或教室空間構造不同，使得聲音傳播及被測得音量出現差異。操場開放空間會受到周圍環境的聲音干擾；班群空間也會因其它班級一同上課而互有影響。
- 三、透過等分貝線圖可以知道空間範圍內的音量值，也可以從線圖的疏密、線條的彎曲方向了解聲音的行進路徑與影響範圍。
- 四、聲源音量越大，聲音傳播的距離越遠，定點測得的音量也會越大。在操場或其他開放空間環境音量大、起伏變化也大，聲源 105 分貝也只能使半徑 3 到 5 公尺內達到教學所需音量。因此在操場上課需要使用更大的音量，容易造成聲帶損傷。
- 五、一般交談的音量約 60 分貝，等分貝線圖中，60 分貝線也可以視為聲音影響的範圍。獨立教室約在教室門及窗口附近；班群教室則在班群公共空間。
- 六、從實驗的結果可知聲音在封閉的空間中能量不易向外消散，建築物吸收減少的音量值有限。在班群空間中，若班級聲源的音量增加到 115~120 分貝，其它班級測得的音量也會增加 10~15 分貝，就會造成明顯的干擾。

- 七、或許是模擬吸收實驗的紙箱較小或隔板數少，實驗中使用隔板增加路徑以減少音量的效果不明顯。但在實測的等分貝線圖中可發現，牆面或柱子對聲音的擴散是有影響的。若在班群的公共空間中增加一些活動隔板的使用，配合適當的角度，應可減少聲音擴散對其它班級的影響。
- 八、教室使用的建材選用往往只考慮防火效果，但在班群教室還需考慮聲音的吸收，使用吸音效果好的天花板或具棉質纖維的窗簾，都能減少聲音的反射，也減少聲音的相互干擾。
- 九、從實驗結果我們可以發現：傳統獨立教室雖然空間較小，老師上課方式與教室布置變化有限，但較不受其它班級聲音干擾，老師僅需用較小的音量全班就可清楚聽到上課內容；班群教室則相反，有聲音干擾的缺點，但也有較大的使用空間與教學變化。可說是各有優缺點，若能解決缺陷、發揚優勢，就是我們學生最好的學習環境。

柒、參考資料：

- | | |
|-------------------|---|
| 一、中華兒童百科全書 | 臺灣省政府教育廳 |
| 二、世界辭典百科全書 | 中國百科出版社 |
| 三、科學教授 物理篇 | 故鄉出版社 |
| 四、地學通論 | 石再添等著 |
| 五、自然與生活科技 5 下教師手冊 | 康軒文教事業 |
| 六、奇摩知識+ | http://tw.knowledge.yahoo.com |
| 七、維基百科 | http://zh.wikipedia.org |
| 八、綠十字健康網 | http://www.greencross.org.tw |

【評語】 080110

- 1、 作品內容很有實用價值
- 2、 建議研究結果可以找出一些通則性將會更佳。