

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

第三名

030105

杯中乾坤大，籟中樂音揚-回授音的研究

學校名稱：私立康乃蘭雙語中小學

作者： 國二 孫庭柔 國二 張巽安 國二 吳芷萱	指導老師： 韓順興 吳志榮
---	-----------------------------

關鍵詞：回授音、氣柱共振、聲場

摘要

本實驗探討聲波在容器內互相激盪所產生的回授現象，並證實利用聲音的回授現象可以測量聲速。研究發現：

- 一、 容器長度和麥克風的位置皆會影響回授音的頻率，容器底部、開口邊界處頻率較高。容器的內徑大小與回授音頻率無關。
- 二、 回授音頻率與容器和聲源的距離的關係圖中，出現波浪起伏的現象，將兩波峰間距離，乘以回授音頻率，會等於當時氣溫下的聲速。
- 三、 以閉管的回授音頻率解釋，我們測到在同一位置的頻率中，基頻與倍頻應是同時存在的，只是軟體只能顯示其中一個頻率。
- 四、 以測量開管中央的回授音方式來測量聲速，需再以節點數來修正才能得到較接近理論值的聲速。管子越長，節點數越大。
- 五、 大盆容器內的回授音聲場，頻率起伏仍有規律性。

壹、研究動機：

去年暑假去鄉下找阿公玩，與阿公們一起唱KTV時，喇叭忽然傳來一陣刺耳的聲音，阿公要我不要把麥克風對著喇叭，這樣就不會有刺耳的噪音。記得老師有講過，這叫做回授音，如果把麥克風放在一個容器中，也會產生回授音。回授音到底怎麼產生的呢？它還有甚麼特性？甚麼樣的容器會產生什麼回授頻率？產生的頻率是否有規律性？或者說我們是否可以利用大小不同容器的回授音，演奏出一首歌呢？

擴音器所發出的聲波藉由空氣傳送至空間的各個角落，而空間中的容器也會讓聲波在容器內迴盪。因此，利用容器內聲音的反射和共振，透過麥克風傳回擴音機，再由擴音機傳到麥克風，不斷的回授後，到底會有什麼現象呢？這真是一個很複雜的問題，空氣分子在杯中隨著聲波互相推擠到底會出現甚麼現象呢？

貳、研究目的：

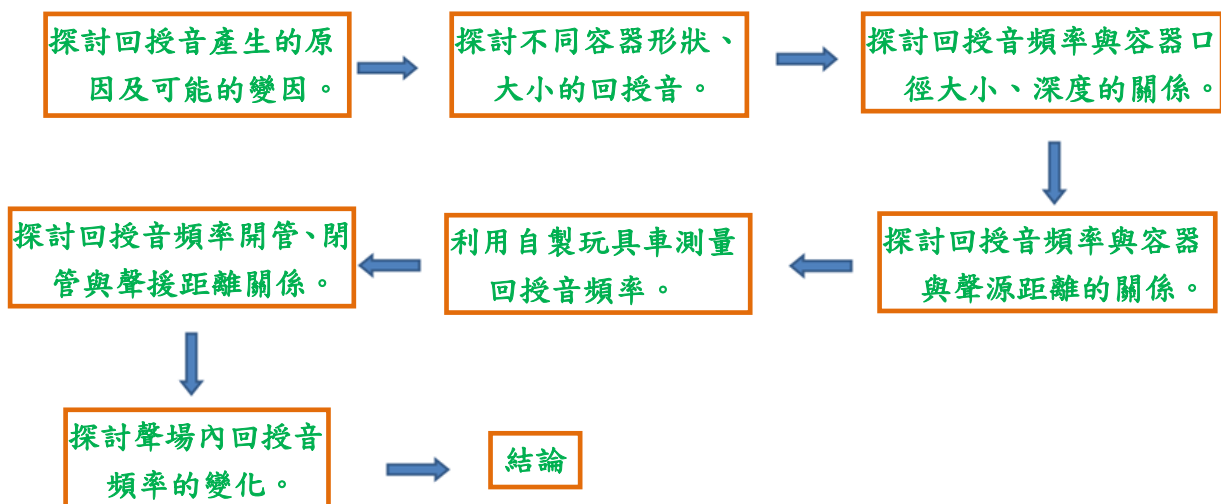
- 一、探討回授音頻率和不同容器形狀之關係。
- 二、探討不同口徑的容器產生的回授音頻率與口徑大小、深度的關係。
- 三、探討回授音頻率和容器與聲源距離的關係，並利用其關係計算聲速。
- 四、探討利用自製玩具車搭載移動的量筒測量回授音的頻率測得的聲速是否更準確。
- 五、探討開管和閉管氣柱共振頻率和容器與聲源距離之關係，並利用其關係計算聲速。
- 六、探討大容器內回授音聲場的分布情形。

參、研究器材：

大小燒杯(1000、500、250ml)、塑膠量筒(50、100ml)、錐形瓶(250、125)、紙杯、寶特瓶、量瓶(125、250ml)、擴音機、麥克風、耳塞、壓克力管(口徑 0.8、1.6、2.4 公分，各長 10、20、30、40 公分)、太陽能車套件、塑膠滑輪、乾冰、塑膠盆(30*42cm)、烙鐵、錫、電線、電腦、溫度計、游標尺、頻率測定軟體 Syaku8、長尺等。

肆、研究過程：

一、研究架構：



二、研究過程：

【研究一】什麼形狀、大小的容器可以使麥克風產生回授音？

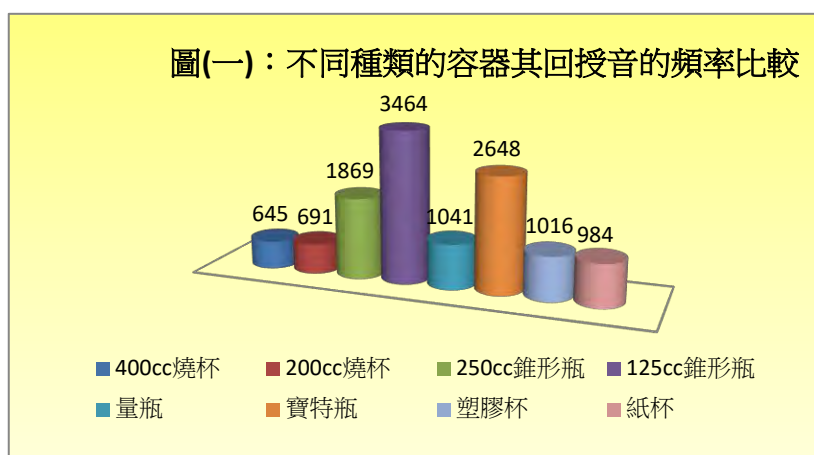
【前言】隨意把麥克風放在燒杯中並產生回授音，讓我們對不同形狀的容器產生的回授音產生興趣。

【方法】我們將蒐集到的各種燒杯、錐形瓶、寶特瓶、量瓶、紙杯、塑膠杯等容器，放在距離音源 60cm 的位置，測量容器內與瓶口等高位置的回授音頻率高低。

【結果】如表(一)、圖(一)

表(一)：與聲源等距的各種容器回授音頻率測量的結果

容器種類	400cc 燒杯	200cc 燒杯	250cc 錐形瓶	125cc 錐形瓶	125cc 量瓶	寶特瓶	塑膠杯	紙杯
頻率	645	691	1869	3464	1041	2648	1016	984



【分析與討論】

1. 聲音被擴音器放大時，聲波密部與疏部應該會更加明顯。聲波在容器內互相推擠，反射波與原聲在容器內產生干涉現象，造成氣柱共振。
2. 各種容器都會有高頻回授音，形狀相似的容器，其容積越大頻率越低。
3. 麥克風位置亦是影響回授音的因素之一，所以實驗時，麥克風的高度都控制在與瓶口等高的地方。
4. 喇叭音量夠大或麥克風離喇叭夠近，通常會產生回授音。麥克風雖離得夠遠，但若貼近桌面也會有回授音。張開口，將麥克風靠近嘴巴，回授音也會產生，而且，口開得越大，回授音的頻率越高。

【研究二】口徑大小不同的容器產生的回授音與內徑大小、容器深(高)度有何關係？

【前言】由於在上一實驗時，錐形瓶的下寬上窄的構造讓我們在測量頻率時造成一些困擾，麥克風深度與容器內徑大小對於回授音頻率是怎麼影響的呢？

【方法】

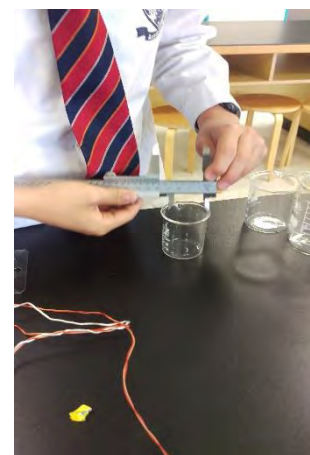
1. 選擇不同種類、不同大小的容器，置於與聲源距離 60 公分的位置。
2. 將擴音機音量轉至 15 格，麥克風置於容器開口處，測量回授音頻率，並紀錄之。
3. 找出同種類的容器，其大小與回授音頻率的關係。

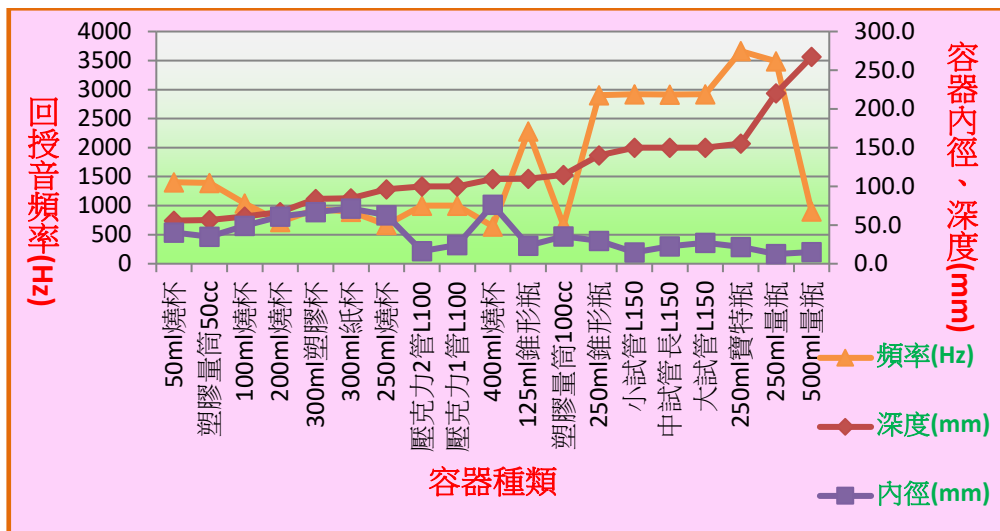
【結果】如表(二)與圖(二)



表(二)：容器深(高)度內徑大小與回授音頻率的關係

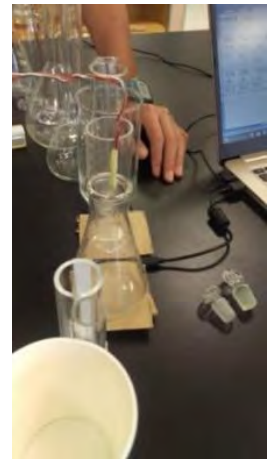
容器種類	深度(mm)	內徑(mm)	頻率(Hz)	音量(dB)
50ml 燒杯	55.7	40.5	1402	48.9
塑膠量筒 50cc	56.3	34.9	1392	48.8
100ml 燒杯	60.8	49.2	1037	49.8
200ml 燒杯	66.6	61.1	720	48.8
300ml 塑膠杯	83.9	66.7	938	48.4
300ml 紙杯	84.4	71.3	898	48.6
250ml 燒杯	96.2	62.7	668	48.4
壓克力 2 管 L100	100.0	16.2	999	49.8
壓克力 1 管 L100	100.0	24.0	999	50.3
400ml 燒杯	109.6	76.1	644	50.3
125ml 錐形瓶	109.8	23.4	2283	48.6
塑膠量筒 100cc	112.7	35.4	657	48.6
250ml 錐形瓶	139.8	29.6	2902	48.8
小試管 L150	150.0	14.5	2920	50.8
中試管長 L150	150.0	22.4	2917	51.6
大試管 L150	150.0	27.1	2922	52.2
250ml 寶特瓶	155.2	21.6	3662	48.5
250ml 量瓶	220.1	12.5	3486	48.5
500ml 量瓶	267.2	15.0	900	48.6





【分析與討論】

1. 瓶內不同深度位置的回授音頻率會有變化，所以我們固定測量瓶口處的頻率和音量。
2. 根據實驗結果，內徑大小不是影響回授音頻率的因素。例如同樣長度不同大小的試管，他們的回授音頻率是相近的。
3. 容器高(深)度會影響回授音頻率，例如試管、壓克力管等。深度相近者，回授音頻率也相近。
4. 錐形瓶、量瓶、寶特瓶等因形狀不均勻，回授音頻率無法從內徑或高(深)度找到規律性。
5. 每次測量的音量 dB 值均不同。擴音機音量調到 15 時，dB 值約顯示在 50 ± 3 左右。因為沒有規律性，所以不列入研究重點。



【研究三】容器與擴音器聲源的距離與產生的回授音頻率間有何特殊關係？

【前言】因發現不同距離會有不同的回授音頻率，因此想更進一步細心測量、收集數據來分析，看看能不能有其他更有價值的發現。

【方法】

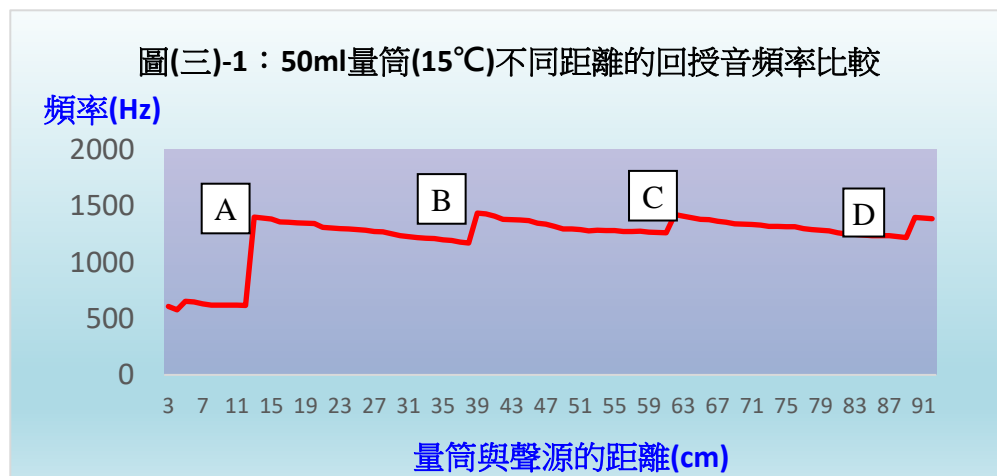
1. 用 50ml 和 100ml 的塑膠量杯，做好中心點記號，將麥克風電線與鋁線纏繞，固定在中心點。在擴音器前每隔一公分測量一次塑膠量杯內的回授音頻率，記錄後畫成曲線圖，觀察其變化。
2. 以塑膠量杯在長尺邊慢慢滑動，找出相鄰兩高頻位置並測量其頻率。

3. 在不同氣溫時重複測量幾次，測量分析是否有不同變化。
4. 計算相鄰兩高頻位置間的距離平均與其高頻平均的乘積。

【結果】如表(三)-1、表(三)-2、表(三)-3、圖(三)-1、圖(三)-2、圖(三)-3

表(三)-1：50ml 量筒(15°C)不同距離的回授音比較

距離 公分	頻率 Hz	距離 公分	頻率 Hz	距離 公分	頻率 Hz	距離 公分	頻率 Hz	距離 公分	頻率 Hz
3	607	21	1312	39	1437	57	1275	75	1316
4	578	22	1306	40	1430	58	1276	76	1316
5	653	23	1300	41	1410	59	1269	77	1300
6	647	24	1296	42	1381	60	1265	78	1290
7	630	25	1290	43	1380	61	1261	79	1285
8	620	26	1284	44	1375	62	1425	80	1279
9	619	27	1273	45	1370	63	1411	81	1263
10	619	28	1270	46	1347	64	1395	82	1251
11	620	29	1255	47	1338	65	1383	83	1247
12	618	30	1238	48	1319	66	1378	84	1243
13	1401	31	1228	39	1297	67	1365	85	1238
14	1393	32	1220	50	1295	68	1355	86	1238
15	1385	33	1213	51	1290	69	1342	87	1236
16	1373	34	1210	52	1280	70	1340	88	1227
17	1356	35	1200	53	1285	71	1335	89	1220
18	1351	36	1195	54	1282	72	1330	90	1398
19	1348	37	1180	55	1282	73	1320	91	1393
20	1345	38	1170	56	1275	74	1318	92	1388

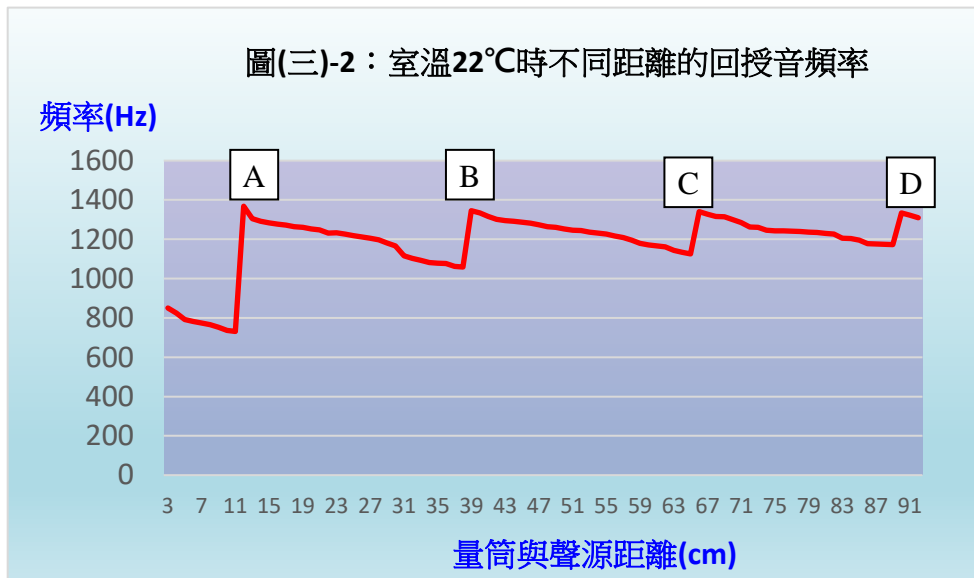


【計算】

高頻點	A	B	C	D	平均	聲速
頻率(Hz)	1401	1418	1425	1398	1410.5	352.6
與聲源距離(cm)	13	39	62	88		
波長(cm)		26	23	26	25.0	

表(三)-2：室溫 22°C 時不同距離的回授音比較

距離	頻率	距離	頻率	距離	頻率	距離	頻率	距離	頻率
公分	Hz	公分	Hz	公分	Hz	公分	Hz	公分	Hz
3	851	21	1247	39	1345	57	1209	75	1243
4	824	22	1232	40	1334	58	1196	76	1242
5	792	23	1233	41	1316	59	1179	77	1241
6	782	24	1227	42	1302	60	1171	78	1240
7	773	25	1218	43	1295	61	1166	79	1236
8	765	26	1212	44	1291	62	1161	80	1234
9	752	27	1206	45	1287	63	1144	81	1229
10	737	28	1197	46	1281	64	1134	82	1226
11	731	29	1181	47	1273	65	1125	83	1206
12	1368	30	1166	48	1264	66	1341	84	1203
13	1305	31	1115	39	1261	67	1327	85	1195
14	1291	32	1102	50	1252	68	1316	86	1178
15	1283	33	1093	51	1246	69	1314	87	1176
16	1277	34	1082	52	1244	70	1300	88	1174
17	1272	35	1078	53	1237	71	1285	89	1172
18	1264	36	1077	54	1231	72	1262	90	1334
19	1260	37	1062	55	1227	73	1260	91	1323
20	1253	38	1059	56	1216	74	1246	92	1310

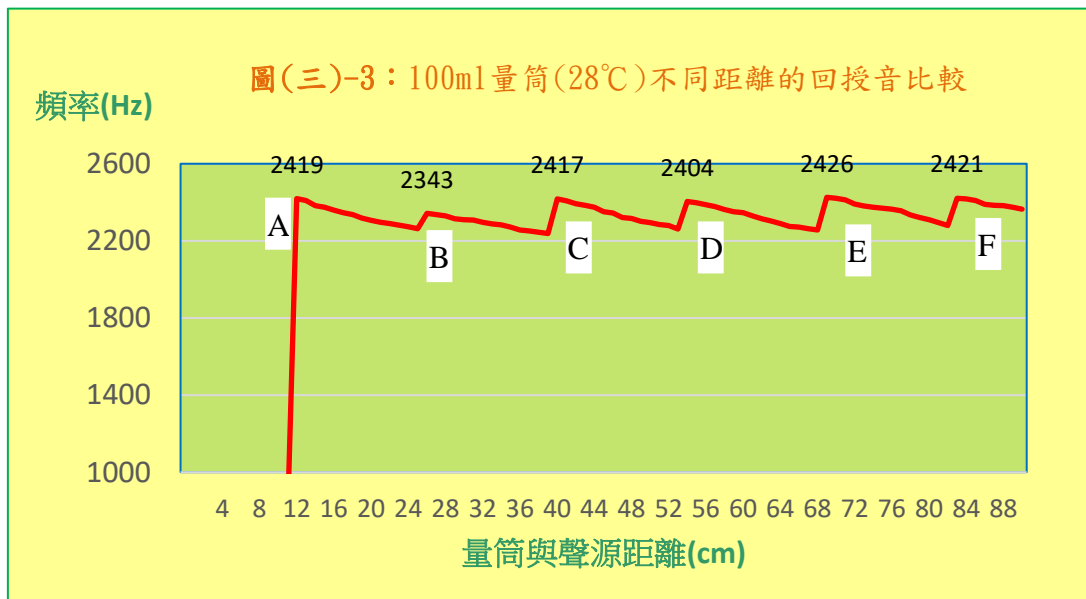


【計算】

波形最高點	A	B	C	D	平均	聲速 350.2
頻率(Hz)	1368	1345	1341	1334	1347	
與聲源距離(cm)	12	39	66	90		
波長(cm)		27	27	24	26	

表(三)-3：100ml 量筒(28°C)不同距離的回授音比較

距離	頻率	距離	頻率	距離	頻率	距離	頻率	距離	頻率
公分	Hz	公分	Hz	公分	Hz	公分	Hz	公分	Hz
		19	2318	37	2251	55	2398	73	2381
		20	2307	38	2245	56	2387	74	2374
3	821	21	2297	39	2239	57	2378	75	2369
4	816	22	2289	40	2417	58	2362	76	2364
5	804	23	2281	41	2408	59	2351	77	2357
6	795	24	2273	42	2392	60	2346	78	2335
7	770	25	2264	43	2385	61	2329	79	2322
8	768	26	2343	44	2374	62	2314	80	2309
9	766	27	2337	45	2352	63	2303	81	2294
10	750	28	2329	46	2344	64	2289	82	2280
11	739	29	2314	47	2321	65	2275	83	2421
12	2419	30	2310	48	2317	66	2271	84	2418
13	2410	31	2308	39	2301	67	2264	85	2409
14	2382	32	2296	50	2294	68	2256	86	2390
15	2374	33	2288	51	2284	69	2426	87	2385
16	2359	34	2283	52	2279	70	2421	88	2382
17	2347	35	2271	53	2261	71	2413	89	2374
18	2336	36	2257	54	2404	72	2391	90	2365

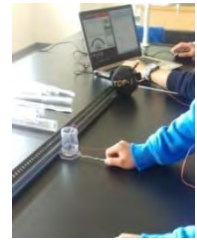


【計算】

高頻點	A	B	C	D	E	F	平均	聲速
頻率(Hz)	2419	2343	2417	2404	2426	2421	2405	341.5
與聲源距離(cm)	12	26	40	54	69	83		
波長(cm)		14	14	14	15	14	14.2	

【分析與討論】

1. 距離聲源 2 公分因在燒杯的直徑以內，故無法測量數據。
2. 在一個寒冷的冬天，我們將測到的數據輸入電腦，以 Excel 作圖，發現類似橫波的波形，驗算了一下，將最高點頻率×相鄰兩波峰



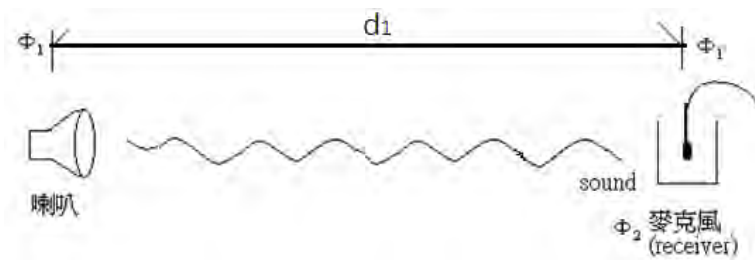
距離，好像會等於聲音速度。這使我們陷入苦思，於是與老師討論，經過一番波折，最後我們得到滿意的解釋：

我們將電路中的震盪視為一個振盪系統(振子)，角頻率 $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$ ，電路相位為 ϕ_1 ，將喇叭發出的聲音視為一個驅策力源，角頻率為 ω_0 ，聲音在空氣中的傳

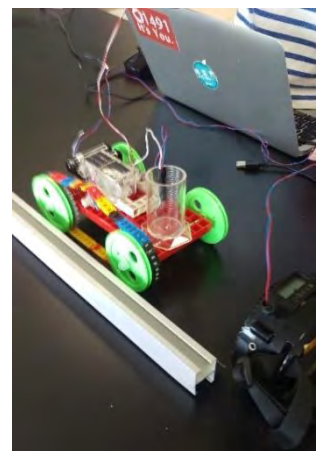
遞使其與電路振子產生相位差，其值為 $2\pi \cdot \frac{\Delta t}{T} = 2\pi \frac{d}{v} = \omega_0 \cdot \frac{d}{v}$ (v 為聲速)，

而當其改變距離，相位差隨之改變。當相位差為 2π 時，開始一次新的循環

$$\Rightarrow \omega_0 \cdot \frac{d_2}{v} - \omega_0 \cdot \frac{d_1}{v} = 2\pi, \Rightarrow \Delta d = \frac{2\pi v}{\omega_0} = \frac{v}{f}, \Rightarrow \Delta d \cdot f = v$$



3. 依據實驗結果，使用 50ml 量筒，在 15°C 時，將最高點頻率的平均值(1421)×波長平均值(0.25m)可得波速 = 355.25 m/s，理論值為 340 m/s，誤差 4%。
4. 依據實驗結果，使用 50ml 量筒，22°C 時，將最高點頻率的平均值(1347)×波長平均值(0.26m)可得波速 = 350.2m/s，理論值為 344.2m/s，誤差 1.7%。
5. 使用 100ml 量筒，28°C 時，將最高點頻率的平均值(2405)×波長平均值(0.142m)可得波速 = 341.5 m/s，理論值為 347.8 m/s，誤差 1.8%。
6. 100ml 量筒的深度大約是 50ml 量筒深度的兩倍，測到的頻率也約為兩倍，所以相鄰兩高頻的距離約為一半(波浪數比較密)。



【研究四】利用自製玩具車搭載移動的量筒測量回授音的頻率。

【前言】為減少手持量筒移動產生的測量誤差，我們想辦法利用學校的教具，製作了一台可以慢速移動的玩具車，讓他載著量筒與麥克風移動來測量不同位置的頻率。

【方法】

1. 將馬達的紅黑線拉出接上雙向開關，利用兩顆獨立的電池分別接到開關兩端點，中間點則接電池負極，這樣就可以控制車子前進後退。
2. 將車子盡量移進聲源，啟動後一面注意車子位置(距離)，一面讀出高頻的大小，記錄下來。來回各測一次再求其平均值。
3. 以自製的玩具車搭載 50ml 和 100ml 的塑膠量筒，將麥克風位置固定在量筒內，啟動後同時讀出頻率及麥克風與聲源的距離，重複測量三次求平均值。

【結果】如表(四)-1、表(四)-2

表(四)-1：以自製玩具車搭載 50ml 量筒在室溫 28°C 時測量的回授音頻率高點位置

	去位置 (cm)	回位置 (cm)	位置平均 (cm)	間距 (cm)	間距平均 (cm)	去頻率 (Hz)	回高頻 (Hz)	頻率平均 (Hz)	聲速 (m/s)
第一次	10	8	9.0	26.5	27.2	1338	1345	1326	360.2
	38	33	35.5	25.5		1356	1388		
	64	58	61.0	29.5		1307	1326		
	93	88	90.5			1259	1287		
第二次	11	8	9.5	25.5	27.2	1278	1368	1316	357.4
	38	32	35.0	24.0		1345	1386		
	62	56	59.0	32.0		1304	1268		
	94	88	91.0			1288	1288		
第三次	10	8	9.0	25.5	26.8	1305	1346	1313	352.4
	38	31	34.5	25.5		1347	1310		
	63	57	60.0	29.5		1314	1301		
	92	87	89.5			1286	1296		
聲速平均									356.6

表(四)-2：以自製玩具車搭載 100ml 量筒在室溫 28°C 時測量的回授音頻率高點位置

	去位置 (cm)	回位置 (cm)	位置平均 (cm)	間距 (cm)	間距平均 (cm)	去頻率 (Hz)	回高頻 (Hz)	頻率平均 (Hz)	聲速 (m/s)
第一次	14	7	10.5	12.0	14.2	2290	2434	2422	343.1
	25	20	22.5	15.5		2361	2549		
	38	38	38.0	15.0		2452	2450		
	53	53	53.0			2412	2425		
第二次	10	6	8.0	14.0	14.8	2384	2553	2425	359.7
	24	20	22.0	15.5		2401	2457		
	39	36	37.5	15.0		2403	2426		
	52	53	52.5			2353	2420		
第三次	12	9	10.5	13.0	14.3	2327	2436	2427	347.9
	26	21	23.5	15.0		2374	2529		
	39	38	38.5	15.0		2455	2463		
	54	53	53.5			2352	2482		
								聲速平均	350.2

【分析與討論】

1. 使用玩具車搭載 100ml 量筒，28°C 時測得三次的高頻平均×間距平均得到的聲速，再取聲速平均值=350.2m/s，理論值為 347.8m/s，誤差 0.7%。
2. 使用玩具車搭載 50ml 量筒，28°C 時測得三次的高頻平均×間距平均得到的聲速，再取聲速平均值=356.6m/s，理論值為 347.8m/s，誤差 2.53%。
3. 50ml 塑膠量筒深度 5.6 公分，100ml 塑膠量筒深度 11.3 公分，根據上一個實驗與本次實驗測量結果顯示，100ml 塑膠量筒的測量值較接近理論值，誤差較小。

【研究五】利用測量回授音的方法探討開管與閉管內的氣柱共振頻率。

【前言】為減少容器形狀對回授音頻率的干擾，我們選擇不同粗細、長短的壓克力管來研究。

【方法】

1. 音量控制在 15 格，室溫 22°C，調整麥克風在閉管的最底部，測量其回授音頻率，並沿著長尺移動壓克力管，慢慢移離再移近聲源，找到產生高頻位置及其頻率大小。
2. 調整麥克風在開管的中央，其餘動作如前，再紀錄其麥克風位置與回授音頻率。

【結果】如表(五)-1、表(五)-2，室溫 22 °C，內徑Φ，管長 L

表(五)-1：閉管底部的回授音頻率--高頻位置與聲源的距離

	位置 (頻率)		位置 (頻率)		位置 (頻率)		平均(Hz)
	1(cm)	1(Hz)	2(cm)	2(Hz)	3(cm)	3(Hz)	
Φ2.40 L40cm	28.0	3212	38.0	3209	49.5	3210	3210.3
Φ2.40 L30cm	13.0	3165	29.0	3140	35.0	3126	3143.7
Φ2.0 L20cm	17.0	3026	30.0	2968	40.0	3057	3017.0
Φ2.0 L10cm	15.5	2550	61.0	2548	95.0	2558	2552.0

【計算】聲速： $v = \frac{4fL}{2n-1}$

管長 (cm)	頻率平均	$4fL/2n-1$ n=1	$4fL/2n-1$ n=2	$4fL/2n-1$ n=3	$4fL/2n-1$ n=4	$4fL/2n-1$ n=5	$4fL/2n-1$ n=6	$4fL/2n-1$ n=7	$4fL/2n-1$ n=8
40	3210.3	5136.5	1712.2	1027.3	733.8	570.7	467.0	395.1	342.4
30	3143.7	3772.4	1257.5	754.5	538.9	419.2	342.9		
20	3017.0	2413.6	804.5	482.7	344.8				
10	2552.0	1020.8	340.3						

表(五)-2：開管中央的回授音頻率--高頻位置與聲源的距離關係

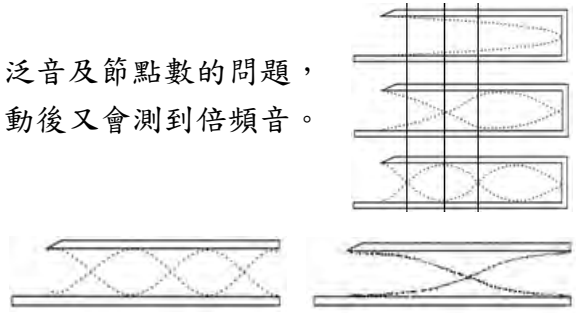
	位置 (頻率)		位置 (頻率)		位置 (頻率)		平均(Hz)
	1(cm)	1(Hz)	2(cm)	2(Hz)	3(cm)	3(Hz)	
Φ2.0 L40cm	46.5	3421	57	3405	67	3398	3408.0
Φ2.0 L30cm	24.5	3386	34	3475	45	3421	3427.3
Φ2.40 L20cm	47.5	3438	58	3400	68	3396	3411.3
Φ2.40 L10cm	15.5	3436	25	3480	36	3418	3444.7

【計算】聲速： $v = \frac{2fL}{n}$

管長 (cm)	頻率平均	$2fL/n$ n=1	$2fL/n$ n=2	$2fL/n$ n=3	$2fL/n$ n=4	$2fL/n$ n=5	$2fL/n$ n=6	$2fL/n$ n=7	$2fL/n$ n=8
40	3408.0	2726.4	1363.2	908.8	681.6	545.3	454.4	389.5	340.8
30	3427.3	2056.4	1028.2	685.5	514.1	411.3	342.7		
20	3411.3	1364.5	682.3	454.8	341.1				
10	3444.7	688.9	344.5						

【分析與討論】

1. 閉管底部是節點位置，其他位置因有泛音及節點數的問題，頻率較複雜，有時會測到基音，動一動後又會測到倍頻音。
2. 開管中央是管長=1/2 波長、3/2 波長…的節點，所以麥克風位置放在管中央節點位置測量的回授音頻率比較穩定。
3. 由研究(二)實驗得知，管子粗細對於回授音頻率幾乎不影響，長度、位置才是影響的關鍵。本實驗亦可再一次得到證明。
4. 閉管的聲速以 $v = \frac{4fL}{2n-1}$ 計算，開管的聲速以 $v = \frac{2fL}{n}$ 計算，得到的聲速需再以(n 值)波腹數、節點數代入計算，可以得到比較接近的聲速理論值。管長越短，n 值越小。
5. 管中聲音的位移波與壓力波：密部中央的氣體聚集，壓力最大；疏部中央的氣體鬆散，壓力最小。氣體分子位移最大的地方氣體壓力起伏最小，此處為密部中央與疏部中央的中點。位移波的波腹恰為壓力波的節點，若將保麗龍球置於管內，將觀察保麗龍球跳到最高的地方為位移波的波腹。所以管中駐波的節點氣體壓力最大，可以測到高頻；波腹壓力最小，能量低，也可能測不到頻率。



【研究六】探討大容器內的回授音聲場分布情形。

【前言】由於管內的氣柱共振頻率皆為一次元測量(直線測量)，我們試著測量一容器內的共振頻率，即為二次元(平面測量)。

【方法】

1. 以厚紙板將塑膠盆(30*42cm 上寬下窄)，圍成一個長方體的無蓋容器(24*36cm)如圖，並將方格紙黏於底盤，方便定位。
2. 測量時，將擴音器置於離盆 50 公分處，音量控制於 19，室溫 25°C，將麥克風放置於塑膠盆盆底。
3. 調整麥克風位置，並對照方格紙，橫向每 5 格(每格 0.6cm)測量一次，縱向每 2 格測量一次，紀錄回授音頻率，重複測量三次求其平均值，並繪出頻率高低的分布圖。

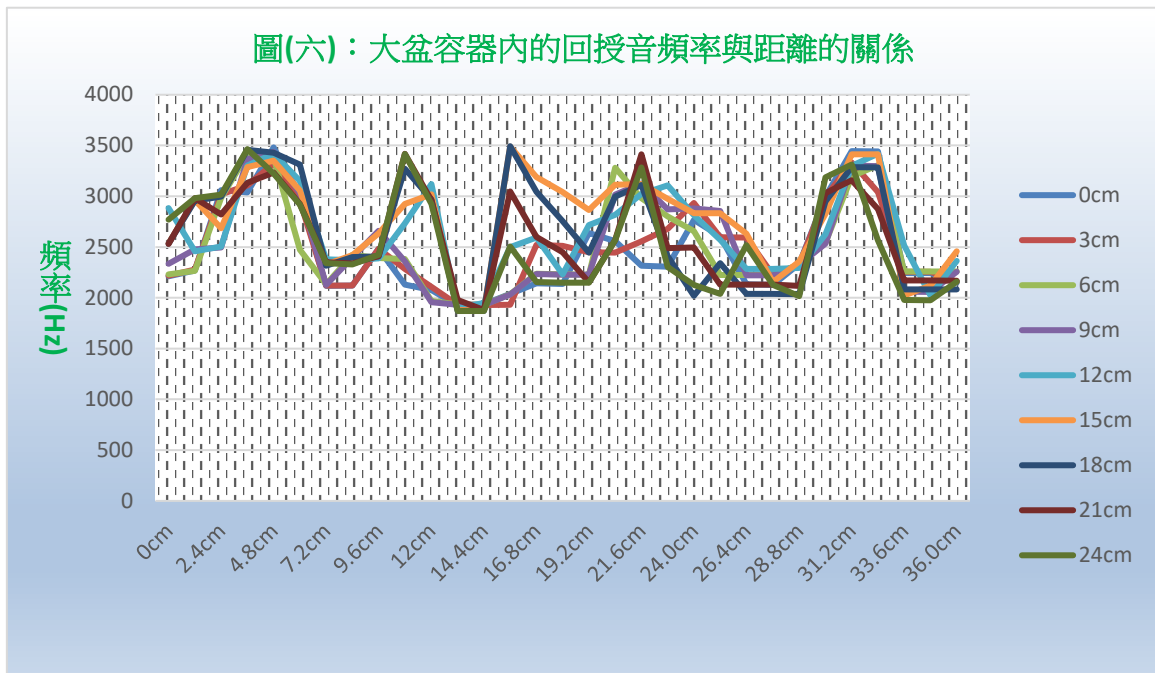


【結果】如表(六)、圖(六)

表(六)：塑膠盆的回授音頻率分布圖

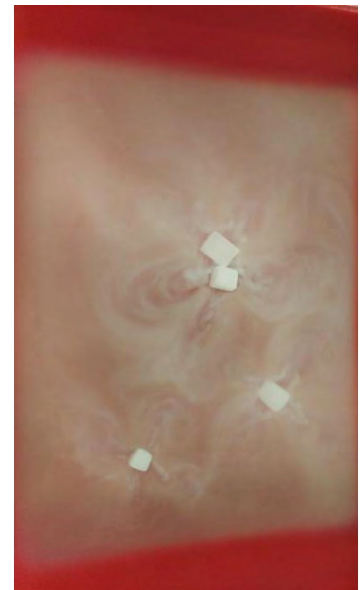
(Hz)	0cm	3cm	6cm	9cm	12cm	15cm	18cm	21cm	24cm
0cm	2213	2218	2230	2336	2883	2536	2535	2532	2769
1.2cm	2269	2279	2266	2478	2458	2961	2955	2980	2981
2.4cm	3060	3018	2986	2495	2504	2684	2997	2822	3017
3.6cm	3038	3109	3414	3367	3304	3286	3457	3132	3464
4.8cm	3481	3323	3382	3436	3418	3351	3429	3232	3223
6.0cm	2991	2955	2475	3029	3153	3058	3312	2925	2919
7.2cm	2117	2120	2132	2127	2379	2329	2316	2350	2342
8.4cm	2122	2122	2424	2399	2371	2419	2401	2338	2328
9.6cm	2483	2483	2393	2661	2388	2635	2408	2410	2422
10.8cm	2131	2284	2382	2359	2734	2924	3270	3418	3416
12cm	2076	2109	1968	1958	3121	3018	2970	2960	2923
13.2cm	1925	1930	1935	1930	1895	1880	1871	1980	1870
14.4cm	1937	1929	1930	1929	1950	1877	1873	1880	1870
15.6cm	2039	1930	2036	2032	2500	3490	3493	3049	2506
16.8cm	2144	2520	2237	2235	2593	3190	3043	2601	2154
18.0cm	2137	2512	2232	2228	2232	3041	2755	2449	2150
19.2cm	2637	2448	2227	2228	2716	2865	2446	2151	2149
20.4cm	2560	2446	3280	3016	2816	3113	2996	2568	2569
21.6cm	2315	2556	2982	3127	3021	3120	3110	3413	3283
22.8cm	2307	2680	2801	2870	3108	2976	2411	2491	2303
24.0cm	2767	2934	2658	2880	2815	2832	2020	2495	2127
25.2cm	2606	2596	2226	2856	2573	2832	2341	2131	2039
26.4cm	2132	2595	2226	2220	2285	2630	2040	2129	2518
27.6cm	2127	2225	2227	2221	2284	2156	2039	2130	2128
28.8cm	2334	2327	2330	2324	2294	2356	2036	2119	2018
30.0cm	2998	2992	2543	2535	2625	2827	2950	3031	3186
31.2cm	3446	3333	3195	3302	3300	3413	3287	3156	3311
32.4cm	3442	3043	3306	3296	3419	3413	3284	2875	2564
33.6cm	2243	2256	2260	2061	2515	2024	2083	2172	1978
34.8cm	2244	2256	2259	2058	2023	2120	2082	2170	1977
36.0cm	2149	2158	2260	2256	2362	2458	2082	2169	2159

圖(六)：大盆容器內的回授音頻率與距離的關係



【分析與討論】

1. 頻率分布圖中可以看出，約在大盆容器內的前 $1/10(0.1)$ 和後 $1/10(0.9)$ 的位置，出現較高的頻率(大於3000)。
2. 大盆容器內的 $2/5(0.4)$ 處，出現較低的頻率(小於2000)。
3. 以直線剖面來看，大盆容器內的回授音仍具有規律性的起伏，只是因為擴散面太大，回授的情形較複雜。
4. 我們嘗試要研究聲場的3D圖，但因測量的頻率高低分布情形較為雜亂，無法分析出其規律性。
5. 原本企圖以乾冰製造煙霧，讓回授音的波動呈現在煙霧中。但實驗結果無法看到煙霧呈現的疏密波情形。
6. 若將乾冰的煙霧在40cm長的壓克力管內形成後，再將壓克力管置於擴音器正前方，煙霧也無法有明顯的疏密情形。



伍、結論：

- 一、即使瓶口背對音源，但是因為聲音散播時呈球面弧狀擴散前進，聲音還是會進入容器，仍然可以產生回授音。
- 二、將小容器與大容器在相同距離時比較，因為小容器內的空氣柱較短，造成振動時的波長較短，而測到的頻率也就比大容器還要高。
- 三、小口容器的回授音在瓶底測量時會比在瓶口處測量時更為穩定。
- 四、若是不使用容器，直接以麥克風靠近擴音器的方法來測量回授音，因為四周反射聲音會影響，頻率測定器較無法準確判讀頻率。
- 五、若是音量太小，在麥克風距離擴音器太遠時，便不會有回授音的產生。而回授音傳回燒杯時的音量太小，也會造成聲音無法回授。因此，本研究所使用的音量除了聲場的實驗外，其餘實驗皆控制在 15 格(共有 19 格)。
- 六、根據實驗所測量到的數據，我們發現回授音與距離的關係呈現橫波的波動圖。由聲波的干涉增強所產生的現象發現，波峰與波峰之間的干涉增強時有高頻產生，且兩個高頻間的最短距離可視為一個波長。將其測到的頻率與波長相乘即可得到聲速。
- 七、為了使測量結果的誤差減少，我們自製了一台玩具車，使測量的結果更為客觀、誤差更少。但是玩具車的速度依舊太快，聲音尚未穩定前燒杯就移動了；速度調得太慢則玩具車無法移動，還是需要克服這個問題。
- 八、我們為了探討聲音在管中的干涉現象，我們將量筒作閉管，並從測量到的數據得知，基音與各種的泛音會同時存在於管中。由測量儀器的波動圖可看出成倍的頻率，且強度不一定是基音或泛音較大。
- 九、將開管橫放置於桌面上，並將麥克風置於管中央。移動開管位置，測量回授音高頻位置，相鄰的兩個高頻位置差可視為波長。因無法確認測到的頻率為基音或泛音，所以此方法測得的頻率須以節點數加以修正，才能更加接近理論值。管子越長，節點數也就更多。
- 十、在回授音的聲場實驗中發現聲波無法將乾冰的霧態推擠成疏密波情形，可能是因為我們的擴音器能量不夠大的關係。



陸、參考資料：

1. 基音、泛音、節點：取自 <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%A7%90%E6%B3%A2>
2. 利用共鳴管測量聲速的新法：取自 <http://www.khjh.kh.edu.tw/science40/高中/高中物理3/高中物理3.htm>
3. 物理教學示範實驗室，取自 <http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/phpBB/viewtopic.php?topic=8882>
4. 郭重吉主編。國中自然與生活科技 第三冊。台南市南一書局（民98）
5. 共振駐波：取自 <https://scitechvista.nat.gov.tw/context/file/pdf>。
6. 開管閉管空氣柱共振實驗器，取自 http://www.atis.com.tw/systematization_page_6a/c-s/c-s-m/A01-742E-Y01.pdf
7. 高中物理，聲音共振：取自 <https://www.youtube.com/watch?v=0m-Q1JEUpmo>
8. 駐波之舞：取自 <https://www.youtube.com/watch?v=bd7801FJZf4&t=327s>
9. 一為固定端與另一為自由端的駐波，取自 <https://www.youtube.com/watch?v=-DMpXM6b9Qs>
10. 肯特管測量聲速：取自 https://www.youtube.com/watch?v=uL9e_naXp2M
11. 甚麼是聲場測試：取自 <https://kknews.cc/zh-tw/news/m3bgrzz.html>

【評語】 030105

題材深入淺出，研究架構明確，若能多討論除基頻外的高階泛音及回授音隨時間消逝的相關關係更好。報告撰寫、公式推導、表格製作、討論分析及呈現都嚴謹確實，值得鼓勵。

壹、研究動機：

去年暑假去鄉下找阿公玩，與阿公們一起唱KTV時，喇叭忽然傳來一陣刺耳的聲音，阿公要我不要把麥克風對著喇叭，這樣就不會有刺耳的噪音。記得老師有講過，這叫做回授音，如果把麥克風放在一個容器中，也會產生回授音。回授音到底怎麼產生的呢？它還有甚麼特性？甚麼樣的容器會產生什麼回授頻率？產生的頻率是否有規律性？或者說我們是否可以利用大小不同容器的回授音，演奏出一首歌呢？

擴音器所發出的聲波藉由空氣傳送至空間的各個角落，而空間中的容器也會讓聲波在容器內迴盪。因此，利用容器內聲音的反射和共振，透過麥克風傳回擴音機，再由擴音機傳到麥克風，不斷的回授後，到底會有什麼現象呢？這真是一個很複雜的問題，空氣分子在杯中隨著聲波互相推擠到底會出現甚麼現象呢？

貳、研究目的：

- 一. 探討回授音頻率和不同容器形狀之關係。
- 二. 探討不同口徑的容器產生的回授音頻率與口徑大小、深度的關係。
- 三. 探討回授音頻率和容器與聲源距離的關係，並利用其關係計算聲速。
- 四. 探討利用自製玩具車搭載移動的量筒測量回授音的頻率測得的聲速是否更準確。
- 五. 探討開管和閉管氣柱共振頻率和容器與聲源距離之關係，並利用其關係計算聲速。
- 六. 探討大容器內回授音聲場的分布情形。



參、研究器材：

大小燒杯(1000、500、250ml)、塑膠量筒(50、100ml)、錐形瓶(250、125)、紙杯、寶特瓶、量瓶(125、250ml)、擴音機、麥克風、耳塞、壓克力管(口徑0.8、1.6、2.4公分，各長10、20、30、40公分)、太陽能車套件、塑膠滑輪、乾冰、塑膠盆(30*42cm)、烙鐵、錐錫、電線、電腦、溫度計、游標尺、頻率測定軟體Syaku8、長尺等。

肆、研究過程：

【研究一】什麼形狀、大小的容器可以使麥克風產生回授音？

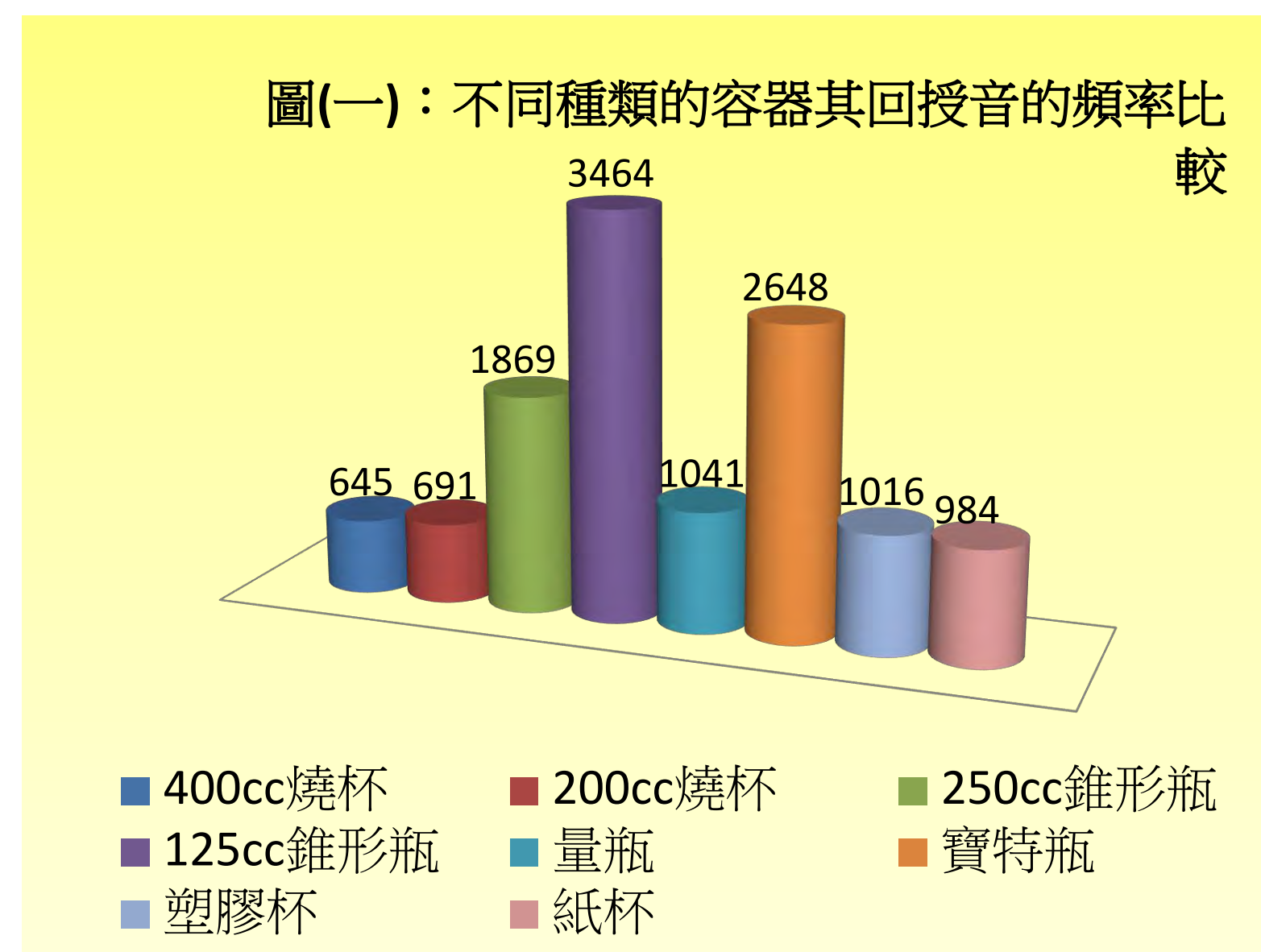
【前言】隨意把麥克風放在燒杯中並產生回授音，讓我們對不同形狀的容器產生的回授音產生興趣。

【方法】我們將蒐集到的各種燒杯、錐形瓶、寶特瓶、量瓶、紙杯、塑膠杯等容器，放在距離音源60cm的位置，測量容器內與瓶口等高度的回授音頻率高低。

【結果】如表(一)、圖(一)

表(一)：與聲源等距的各種容器回授音頻率測量的結果

容器種類	400cc燒杯	200cc燒杯	250cc錐形瓶	125cc錐形瓶	125cc量瓶	寶特瓶	塑膠杯	紙杯
頻率	645	691	1869	3464	1041	2648	1016	984



【分析與討論】

1. 聲音被擴音器放大時，聲波密部與疏部應該會更加明顯。聲波在容器內互相推擠，反射波與原聲在容器內產生干涉現象，造成氣柱共振。
2. 各種容器都會有高頻回授音，形狀相似的容器，其容積越大頻率越低。
3. 麥克風位置亦是影響回授音的因素之一，所以實驗時，麥克風的高度都控制在與瓶口等高的地方。
4. 喇叭音量夠大或麥克風離喇叭夠近，通常會產生回授音。麥克風雖離得夠遠，但若貼近桌面也會有回授音。張開口，將麥克風靠近嘴巴，回授音也會產生，而且，口開得越大，回授音的頻率越高。
5. 因為回授音頻率無法預期，所以無法做成演奏樂器。

【研究二】口徑大小不同的容器產生的回授音與內徑大小、容器深(高)度有何關係？

【前言】由於在上一實驗時，錐形瓶的下寬上窄的構造讓我們在測量頻率時造成一些困擾，麥克風深度與容器內徑大小對於回授音頻率是怎麼影響的呢？

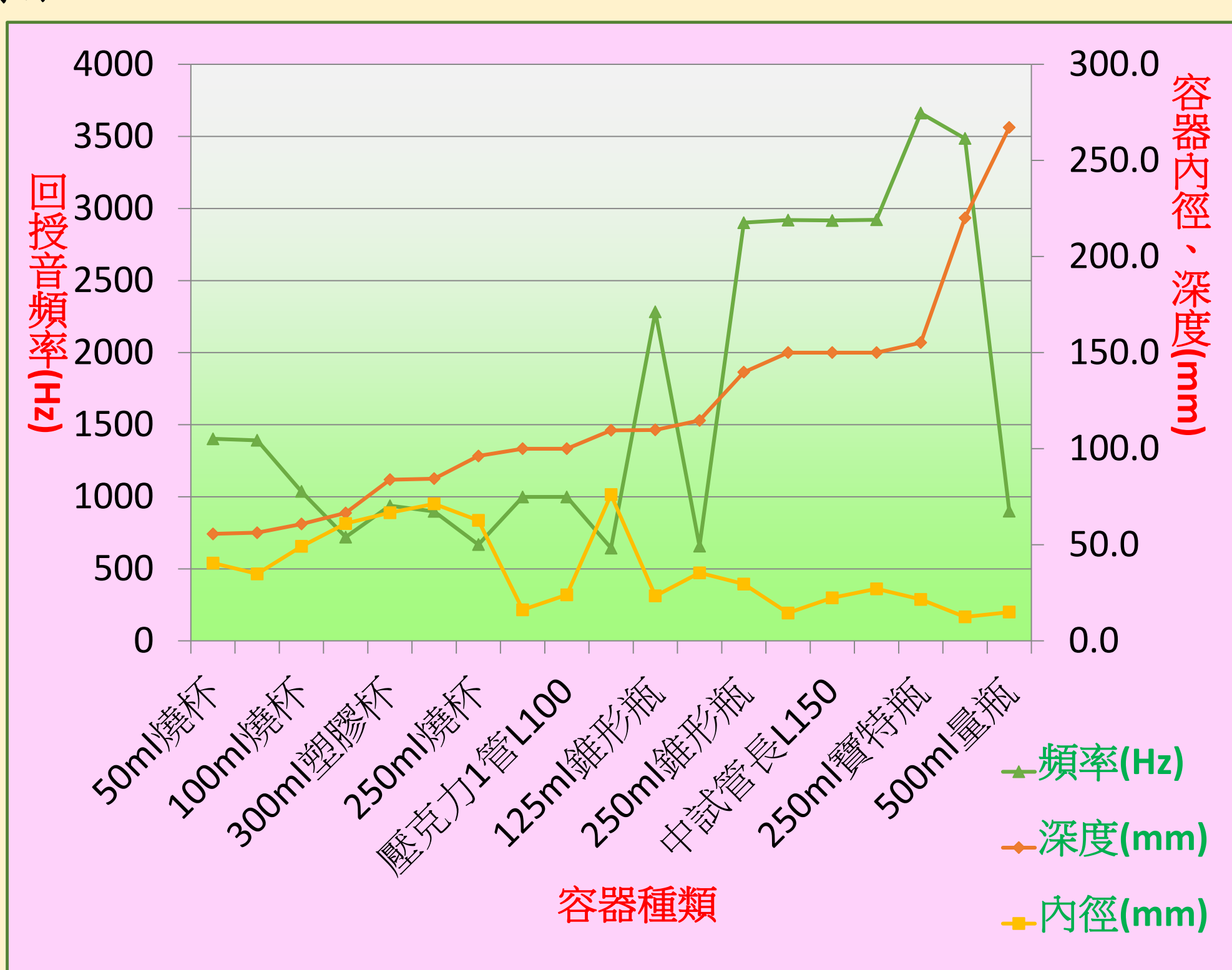
【方法】

1. 選擇不同種類、不同大小的容器，置於與聲源距離60公分的位置。
2. 將擴音機音量轉至15格，麥克風置於容器開口處，測量回授音頻率，並紀錄之。
3. 找出同種類的容器，其大小與回授音頻率的關係。

【結果】如表(二)與圖(二)

表(二)：容器深(高)度內徑大小與回授音頻率的關係

容器種類	深度(mm)	內徑(mm)	頻率(Hz)	音量(dB)
50ml燒杯	55.7	40.5	1402	48.9
塑膠量筒50cc	56.3	34.9	1392	48.8
100ml燒杯	60.8	49.2	1037	49.8
200ml燒杯	66.6	61.1	720	48.8
300ml塑膠杯	83.9	66.7	938	48.4
300ml紙杯	84.4	71.3	898	48.6
250ml燒杯	96.2	62.7	668	48.4
壓克力2管L100	100.0	16.2	999	49.8
壓克力1管L100	100.0	24.0	999	50.3
400ml燒杯	109.6	76.1	644	50.3
125ml錐形瓶	109.8	23.4	2283	48.6
塑膠量筒100cc	112.7	35.4	657	48.6
250ml錐形瓶	139.8	29.6	2902	48.8
小試管L150	150.0	14.5	2920	50.8
中試管長L150	150.0	22.4	2917	51.6
大試管L150	150.0	27.1	2922	52.2
250ml寶特瓶	155.2	21.6	3662	48.5
250ml量瓶	220.1	12.5	3486	48.5
500ml量瓶	267.2	15.0	900	48.6



【分析與討論】

1. 瓶內不同深度位置的回授音頻率會有變化，所以我們固定測量瓶口處的頻率和音量。
2. 根據實驗結果，內徑大小不是影響回授音頻率的因素。例如同樣長度不同大小的試管，他們的回授音頻率是相近的。
3. 容器高(深)度會影響回授音頻率，例如試管、壓克力管等。深度相近者，回授音頻率也相近。
4. 錐形瓶、量瓶、寶特瓶等因形狀不均勻，回授音頻率無法從內徑或高(深)度找到規律性。
5. 每次測量的音量dB值均不同。擴音機音量調到15時，dB值約顯示在50±3左右。因為沒有規律性，所以不列入研究重點。

【研究三】容器與擴音器聲源的距離與產生的回授音頻率間有何特殊關係？

【前言】因發現不同距離會有不同的回授音頻率，因此想更進一步細心測量、收集數據來分析，看看能不能有其他更有價值的發現。

【方法】

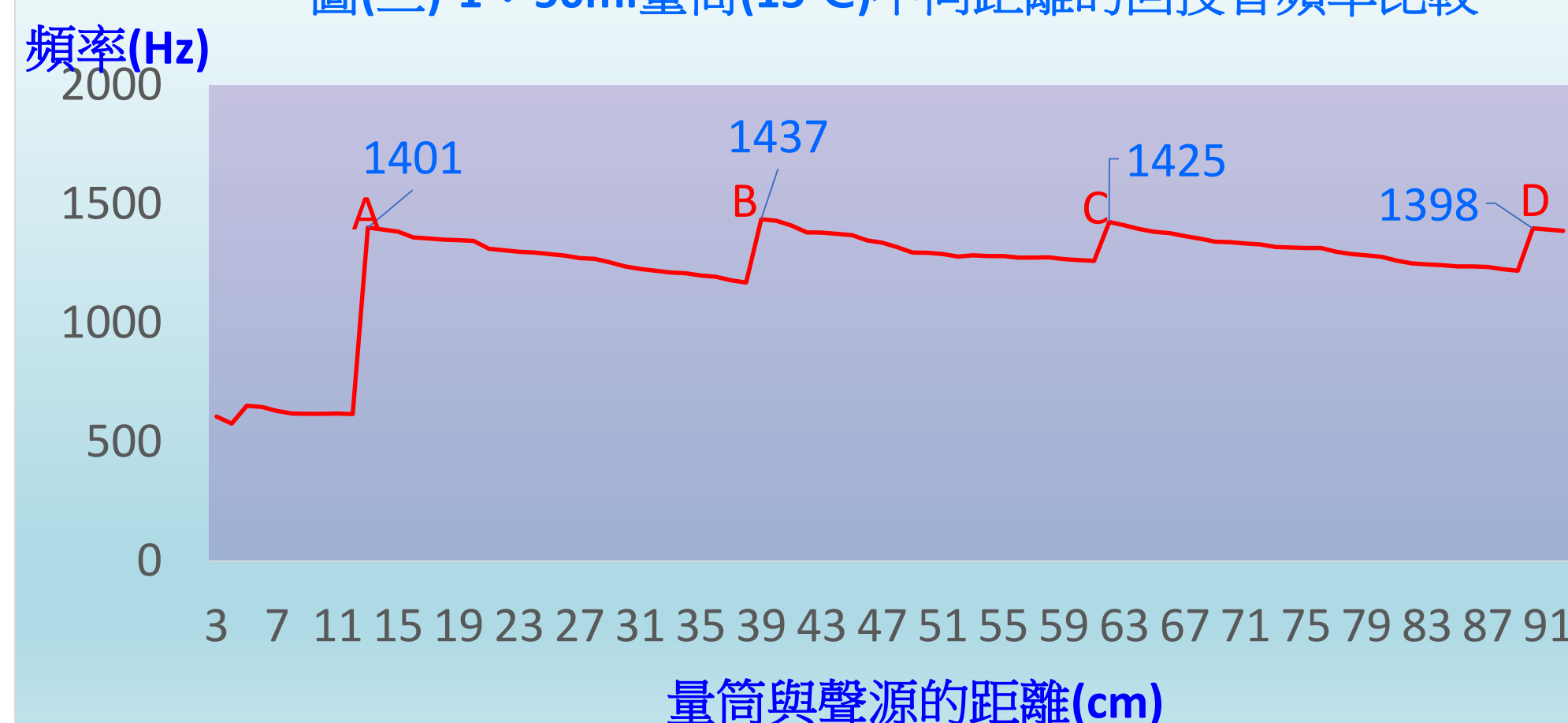
1. 用50ml和100ml的塑膠量杯，做好中心點記號，將麥克風電線與鋁線纏繞，固定在中心點。在擴音器前每隔一公分測量一次塑膠量杯內的回授音頻率，記錄後畫成曲線圖，觀察其變化。
2. 以塑膠量杯在長尺邊慢慢滑動，找出相鄰兩高頻位置並測量其頻率。
3. 在不同氣溫時重複測量幾次，測量分析是否有不同變化。
4. 計算相鄰兩高頻位置間的距離平均與其高頻平均的乘積。

【結果】如表(三)-1、表(三)-2、表(三)-3、圖(三)-1、圖(三)-2、圖(三)-3

表(三)-1：50ml量筒(15°C)不同距離的回授音比較

距離cm	頻率Hz	距離cm	頻率Hz	距離cm	頻率Hz	距離cm	頻率Hz	距離cm	頻率Hz
3	607	21	1312	39	1437	57	1275	75	1316
4	578	22	1306	40	1430	58	1276	76	1316
5	653	23	1300	41	1410	59	1269	77	1300
6	647	24	1296	42	1381	60	1265	78	1290
7	630	25	1290	43	1380	61	1261	79	1285
8	620	26	1284	44	1375	62	1425	80	1279
9	619	27	1273	45	1370	63	1411	81	1263
10	619	28	1270	46	1347	64	1395	82	1251
11	620	29	1255	47	1338	65	1383	83	1247
12	618	30	1238	48	1319	66	1378	84	1243
13	1401	31	1228	39	1297	67	1365	85	1238
14	1393	32	1220	50	1295	68	1355	86	1238
15	1385	33	1213	51	1290	69	1342	87	1236
16	1373	34	1210	52	1280	70	1340	88	1227
17	1356	35	1200	53	1285	71	1335	89	1220
18	1351	36	1195	54	1282	72	1330	90	1398
19	1348	37	1180	55	1282	73	1320	91	1393
20	1345	38	1170	56	1275	74	1318	92	1388

圖(三)-1：50ml量筒(15°C)不同距離的回授音頻率比較

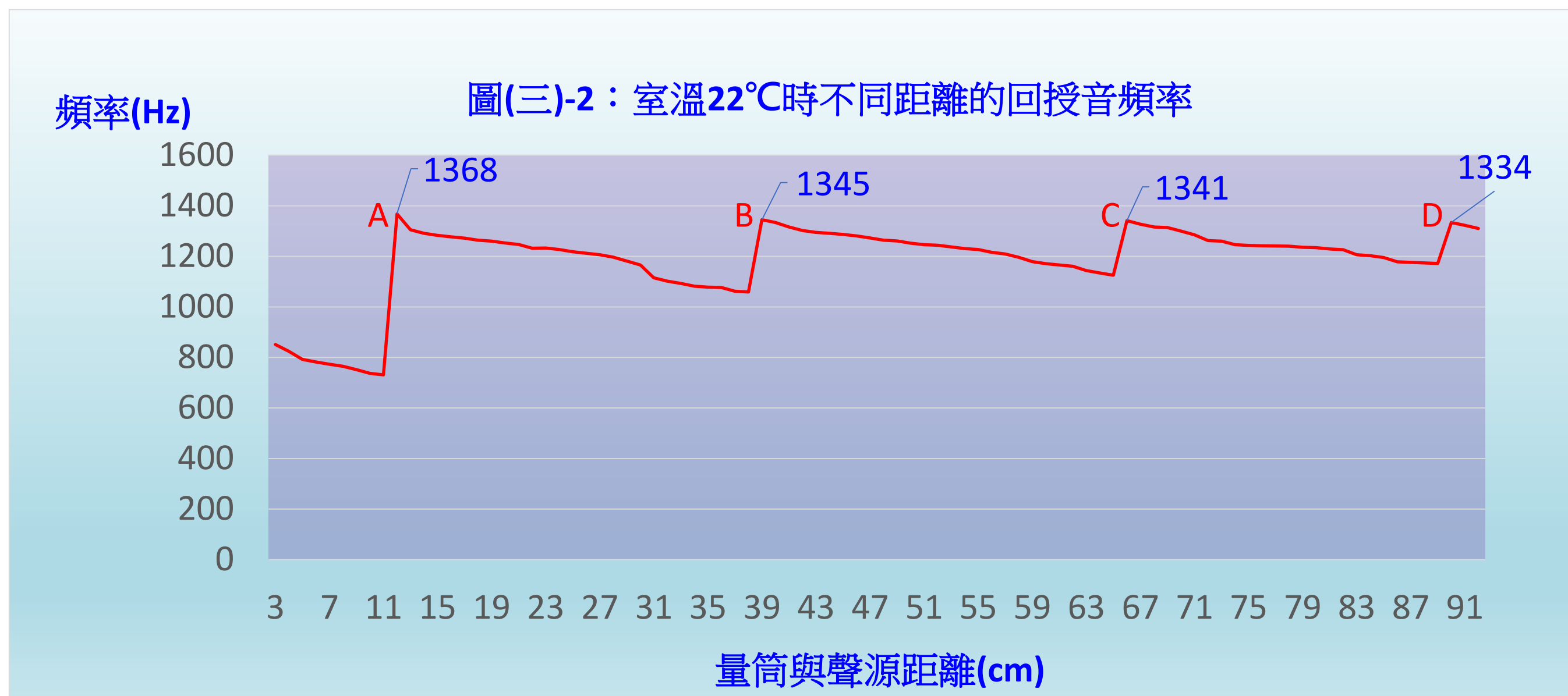


【計算】

高頻點	A	B	C	D	平均	聲速
頻率(Hz)	1401	1418	1425	1398	1410.5	352.6
與聲源距離(cm)	13	39	62	88		
波長(cm)	26	23	26		25.0	

表(三)-2：室溫22°C時不同距離的回授音比較

距離 公分	頻率 Hz	距離 公分	頻率 Hz	距離 公分	頻率 Hz	距離 公分	頻率 Hz	距離 公分	頻率 Hz
3	851	21	1247	39	1345	57	1209	75	1243
4	824	22	1232	40	1334	58	1196	76	1242
5	792	23	1233	41	1316	59	1179	77	1241
6	782	24	1227	42	1302	60	1171	78	1240
7	773	25	1218	43	1295	61	1166	79	1236
8	765	26	1212	44	1291	62	1161	80	1234
9	752	27	1206	45	1287	63	1144	81	1229
10	737	28	1197	46	1281	64	1134	82	1226
11	731	29	1181	47	1273	65	1125	83	1206
12	1368	30	1166	48	1264	66	1341	84	1203
13	1305	31	1115	39	1261	67	1327	85	1195
14	1291	32	1102	50	1252	68	1316	86	1178
15	1283	33	1093	51	1246	69	1314	87	1176
16	1277	34	1082	52	1244	70	1300	88	1174
17	1272	35	1078	53	1237	71	1285	89	1172
18	1264	36	1077	54	1231	72	1262	90	1334
19	1260	37	1062	55	1227	73	1260	91	1323
20	1253	38	1059	56	1216	74	1246	92	1310

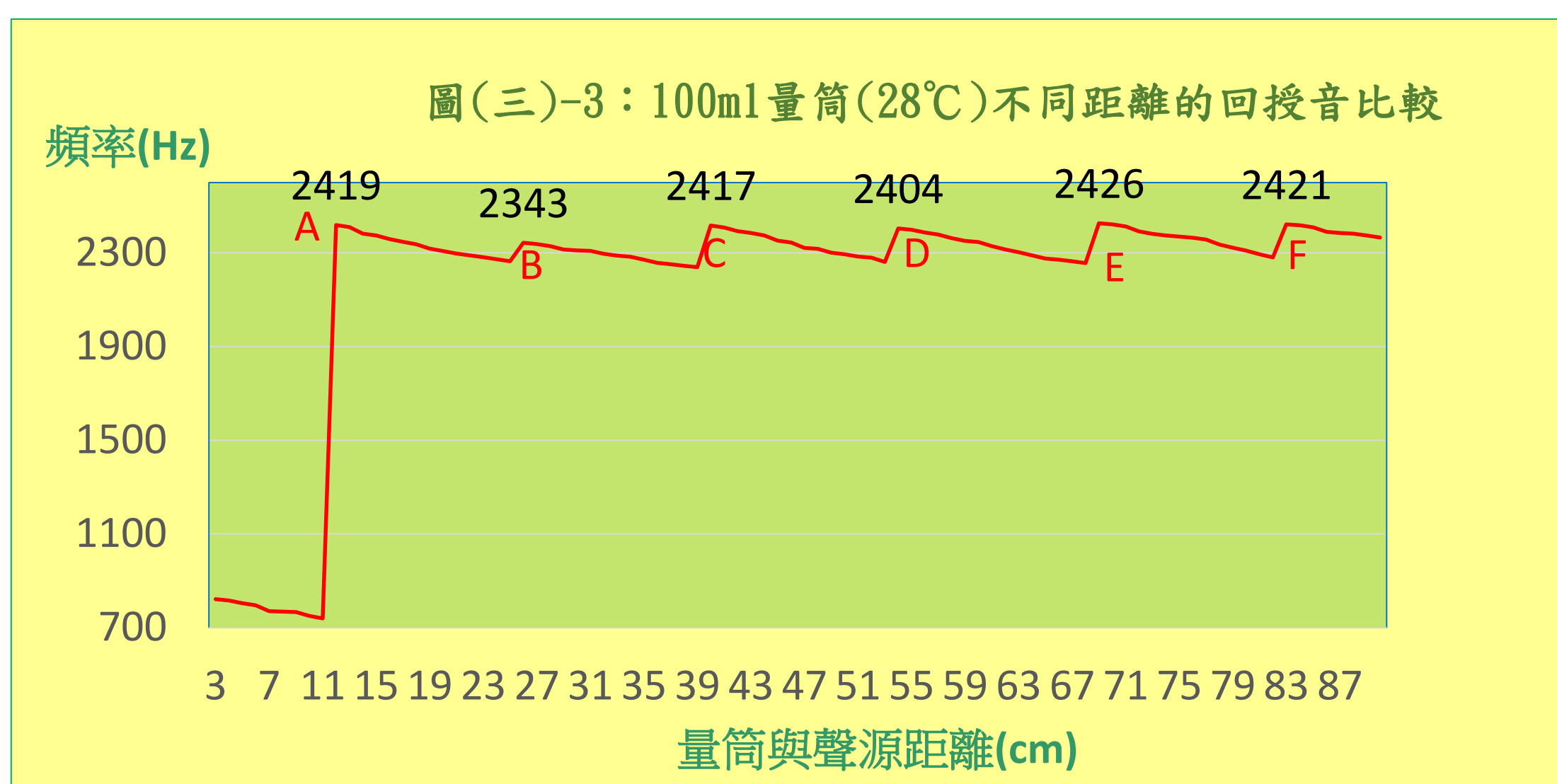


【計算】

波形最高點	A	B	C	D	平均	聲速
頻率(Hz)	1368	1345	1341	1334	1347	350.2
與聲源距離(cm)	12	39	66	90		
波長(cm)		27	27	24	26	

表(三)-3：100ml量筒(28°C)不同距離的回授音比較

距離 公分	頻率 Hz	距離 公分	頻率 Hz	距離 公分	頻率 Hz	距離 公分	頻率 Hz	距離 公分	頻率 Hz
		19	2318	37	2251	55	2398	73	2381
		20	2307	38	2245	56	2387	74	2374
3	821	21	2297	39	2239	57	2378	75	2369
4	816	22	2289	40	2417	58	2362	76	2364
5	804	23	2281	41	2408	59	2351	77	2357
6	795	24	2273	42	2392	60	2346	78	2335
7	770	25	2264	43	2385	61	2329	79	2322
8	768	26	2343	44	2374	62	2314	80	2309
9	766	27	2337	45	2352	63	2303	81	2294
10	750	28	2329	46	2344	64	2289	82	2280
11	739	29	2314	47	2321	65	2275	83	2421
12	2419	30	2310	48	2317	66	2271	84	2418
13	2410	31	2308	39	2301	67	2264	85	2409
14	2382	32	2296	50	2294	68	2256	86	2390
15	2374	33	2288	51	2284	69	2426	87	2385
16	2359	34	2283	52	2279	70	2421	88	2382
17	2347	35	2271	53	2261	71	2413	89	2374
18	2336	36	2257	54	2404	72	2391	90	2365



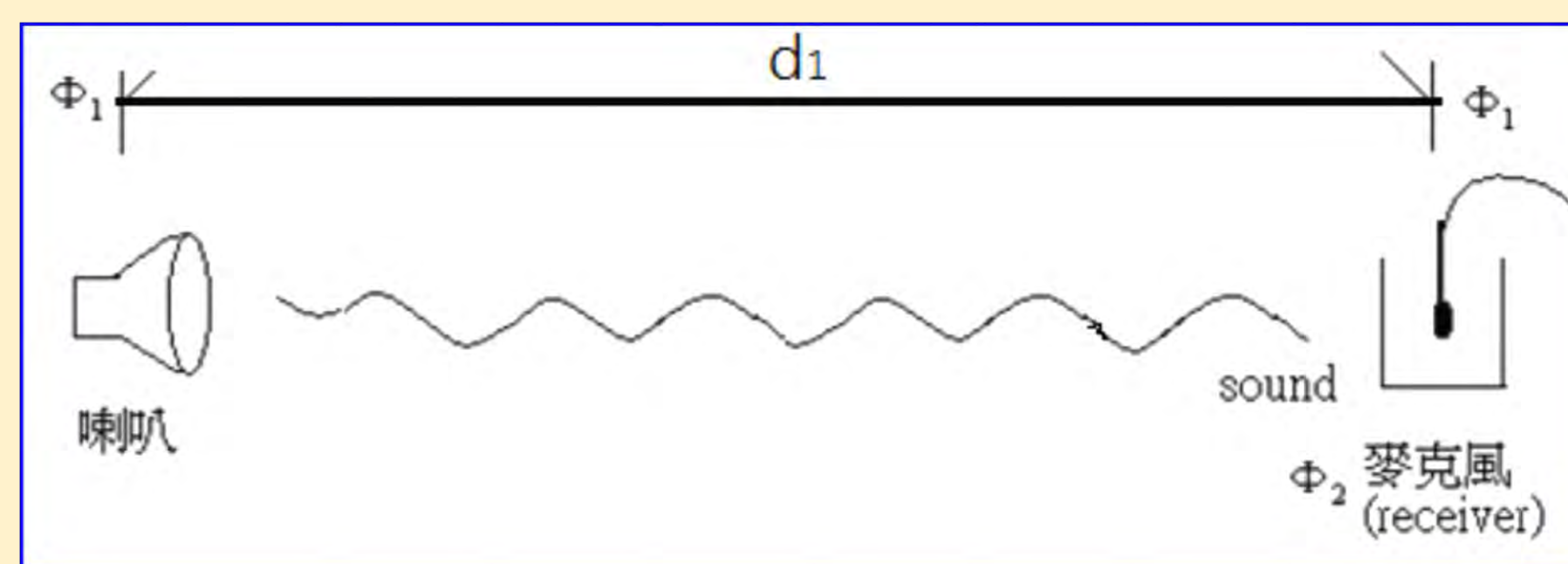
【計算】

高頻點	A	B	C	D	E	F	平均	聲速
頻率(Hz)	2419	2343	2417	2404	2426	2421	2405	341.5
與聲源距離(cm)	12	26	40	54	69	83		
波長(cm)		14	14	14	15	14	14.2	



【分析與討論】

- 距離聲源2公分因在燒杯的直徑以內，故無法測量數據。
- 在一個寒冷的冬天，我們將測到的數據輸入電腦，以Excel作圖，發現類似橫波的波形，驗算了一下，將最高點頻率x相鄰兩波峰距離，好像會等於聲音速度。這使我們陷入苦思，於是與老師討論，經過一番波折，最後我們得到滿意的解釋：
- 我們將電路中的震盪視為一個振盪系統(振子)，角頻率 $\omega_0 = 2\pi/T$ ，電路相位為 ϕ_1 ，將喇叭發出的聲音視為一個驅動力源，角頻率為 ω_0 ，聲音在空氣中的傳遞使其與電路振子產生相位差，其值為 $2\pi \cdot \frac{\Delta t}{T} = 2\pi \cdot \frac{d}{vT} = \omega_0 \cdot \frac{d}{v}$ (v為聲速)，而當其改變距離，相位差隨之改變。當相位差為 2π 時，開始一次新的循環 $\Rightarrow \omega_0 \frac{d_2}{v} - \omega_0 \frac{d_1}{v} = 2\pi, \Rightarrow \Delta d = 2\pi \frac{v}{\omega_0} = \frac{v}{f}, \Rightarrow \Delta d \cdot f = v$
- 依據實驗結果，使用50ml量筒，在15°C時，將最高點頻率的平均值(1421)x波長平均值(0.25m)可得波速 = 355.25m/s，理論值為340m/s，誤差4%。
- 依據實驗結果，使用50ml量筒，22°C時，將最高點頻率的平均值(1347)x波長平均值(0.26m)可得波速 = 350.2m/s，理論值為344.2m/s，誤差1.7%。
- 使用100ml量筒，28°C時，將最高點頻率的平均值(2405)x波長平均值(0.142m)可得波速 = 341.5m/s，理論值為347.8m/s，誤差1.8%。
- 100ml量筒的深度大約是50ml量筒深度的兩倍，測到的頻率也約為兩倍，所以相鄰兩高頻的距離約為一半(波浪比較密)。



【研究四】利用自製玩具車搭載移動的量筒測量回授音的頻率。

【前言】為減少手持量筒移動產生的測量誤差，我們想辦法利用學校的教具，製作了一台可以慢速移動的玩具車，讓他載著量筒與麥克風移動來測量不同位置的頻率。

【方法】

- 將馬達的紅黑線拉出接上雙向開關，利用兩顆獨立的電池分別接到開關兩端點，中間點則接電池負極，這樣就可以控制車子前進後退。
- 將車子盡量移進聲源，啟動後一面注意車子位置(距離)，一面讀出高頻的大小，記錄下來。來回各測一次再求其平均值。
- 以自製的玩具車搭載50ml和100ml的塑膠量筒，將麥克風位置固定在量筒內，啟動後同時讀出頻率及麥克風與聲源的距離，重複測量三次求平均值。

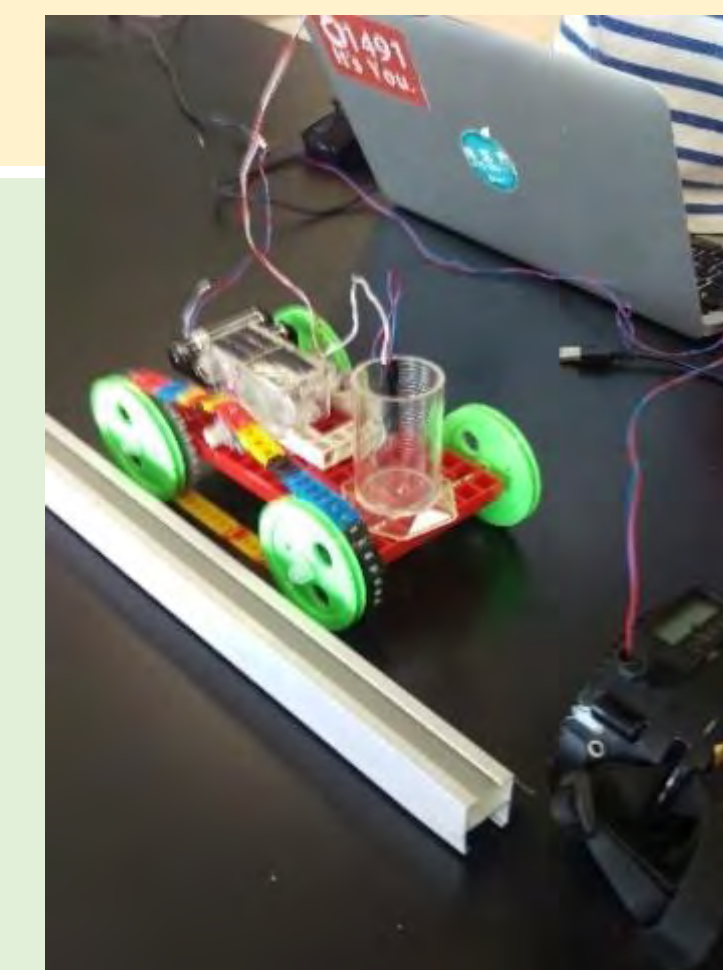
【結果】如表(四)-1、表(四)-2

表(四)-1：以自製玩具車搭載50ml量筒在室溫28°C時測量的回授音頻率高點位置

	去位置 (cm)	回位置 (cm)	位置平均 (cm)	間距 (cm)	間距平均 (cm)	去頻率 (Hz)	回高頻 (Hz)	頻率平均 (Hz)	聲速 (m/s)
第一次	10	8	9.0	26.5	27.2	1338	1345	1326	360.2
	38	33	35.5	25.5					
	64	58	61.0	29.5					
	93	88	90.5						
第二次	11	8	9.5	25.5	27.2	1278	1368	1316	357.4
	38	32	35.0	24.0					
	62	56	59.0	32.0					
	94	88	91.0						
第三次	10	8	9.0	25.5	26.8	1305	1346	1313	352.4
	38	31	34.5	25.5					
	63	57	60.0	29.5					
	92	87	89.5						
聲速平均 356.6									

表(四)-2：以自製玩具車搭載100ml量筒在室溫28°C時測量的回授音頻率高點位置

	去位置 (cm)	回位置 (cm)	位置平均 (cm)	間距 (cm)	間距平均 (cm)	去頻率 (Hz)	回高頻 (Hz)	頻率平均 (Hz)	聲速 (m/s)
第一次	14	7	10.5	12.0	14.2	2290	2434	2422	343.1
	25	20	22.5	15.5					
	38	38	38.0	15.0					
	53	53	53.0						
第二次	10	6	8.0	14.0	14.8	2384	2553	2425	359.7
	24	20	22.0	15.5					
	39	36	37.5	15.0					
	52	53	52.5						
第三次	12	9	10.5	13.0	14.3	2327	2436	2427	347.9
	26	21	23.5	15.0					
	39	38	38.5	15.0					
	54	53	53.5						
聲速平均 350.2									



【分析與討論】

- 量筒深使用玩具車搭載100ml量筒，28°C時測得三次的高頻平均x間距平均得到的聲速，再取聲速平均值=350.2m/s，理論值為347.8m/s，誤差0.7%。
- 使用玩具車搭載50ml量筒，28°C時測得三次的高頻平均x間距平均得到的聲速，再取聲速平均值=356.6m/s，理論值為347.8m/s，誤差2.53%。
- 50ml塑膠度5.6公分，100ml塑膠量筒深度11.3公分，根據上一個實驗與本次實驗測量結果顯示，100ml塑膠量筒的測量值較接近理論值，誤差較小。

【研究五】利用測量回授音的方法探討閉管與閉管內的氣柱共振頻率。

【前言】為減少容器形狀對回授音頻率的干擾，我們選擇不同粗細、長短的壓克力管來研究。

【方法】

- 音量控制在15格，室溫22°C，調整麥克風在閉管的最底部，測量其回授音頻率，並沿著長尺移動壓克力管，慢慢移離再移近聲源，找到產生高頻位置及其頻率大小。
- 調整麥克風在閉管的中央，其餘動作如前，再紀錄其麥克風位置與回授音頻率。

【結果】如表(五)-1、表(五)-2，室溫22°C，內徑Φ，管長L

【計算】聲速： $v = \frac{4fL}{2n-1}$

表(五)-1：閉管底部的回授音頻率--高頻位置與聲源的距離

直徑、管長	位置 1(cm)	頻率 1(Hz)	位置 2(cm)	頻率 2(Hz)	位置 3(cm)	頻率 3(Hz)	平均 (Hz)
Φ2.40 L40cm	28.0	3212	38.0	3209	49.5	3210	3210.3
Φ2.40 L30cm	13.0	3165	29.0	3140	35.0	3126	3143.7
Φ2.0 L20cm	17.0	3026	30.0	2968	40.0	3057	3017.0
Φ2.0 L10cm	15.5	2550	61.0	2548	95.0	2558	2552.0

管長 (cm)	頻率平均	4fL/2n-1 n=1	4fL/2n-1 n=2	4fL/2n-1 n=3	4fL/2n-1 n=4	4fL/2n-1 n=5	4fL/2n-1 n=6	4fL/2n-1 n=7	4fL/2n-1 n=8
40	3210.3	5136.5	1712.2	1027.3	733.8	570.7	467.0	395.1	342.4
30	3143.7	3772.4	1257.5	754.5	538.9	419.2	342.9		
20	3017.0	2413.6	804.5	482.7	344.8				
10	2552.0	1020.8	340.3						

表(五)-2: 開管中央的回授音頻率—高頻位置與聲源的距離關係

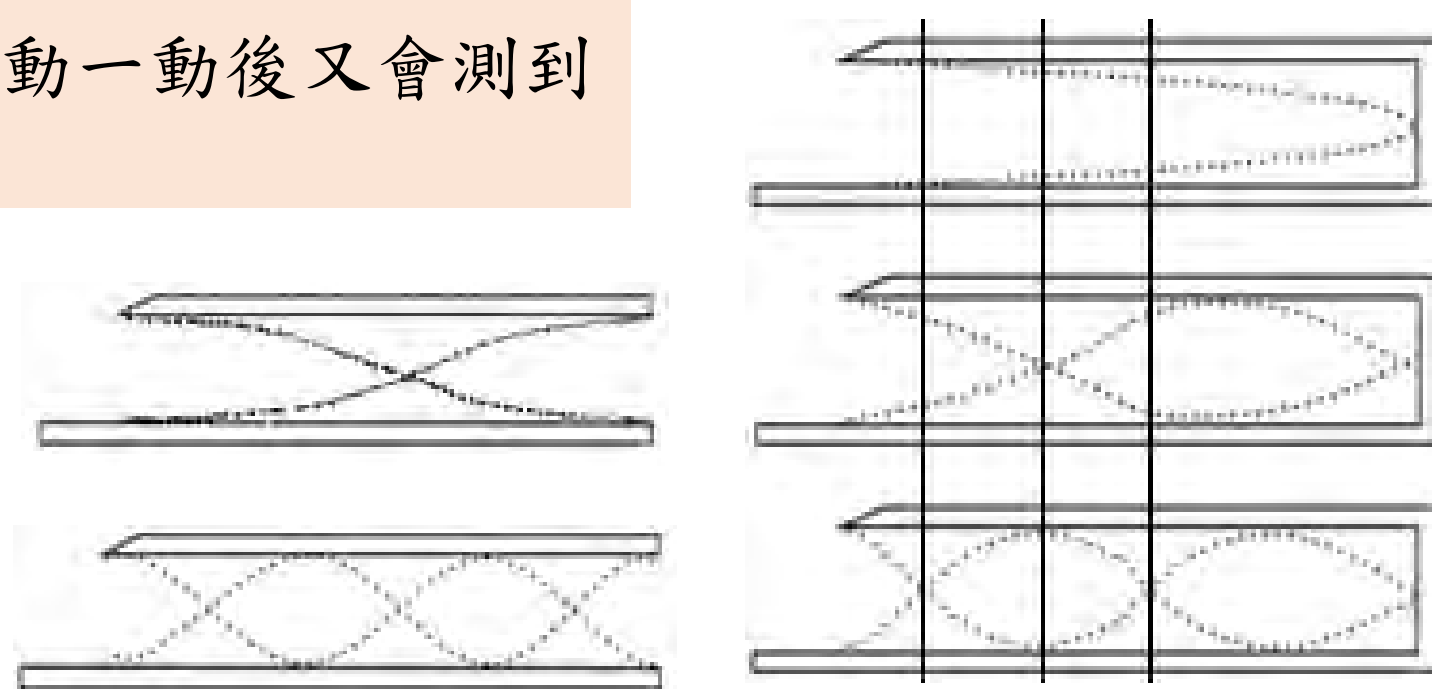
	位置 1(cm)	(頻率) 1(Hz)	位置 2(cm)	(頻率) 2(Hz)	位置 3(cm)	(頻率) 3(Hz)	平均 (Hz)
Φ2.0 L40cm	46.5	3421	57.0	3405	67.0	3398	3408.0
Φ2.0 L30cm	24.5	3386	34.0	3475	45.0	3421	3427.3
Φ2.40 L20cm	47.5	3438	58.0	3400	68.0	3396	3411.3
Φ2.40 L10cm	15.5	3436	25.0	3480	36.0	3418	3444.7

【計算】聲速： $v = \frac{2fL}{n}$

管長 (cm)	頻率平 均	2fL/n n=1	2fL/n n=2	2fL/n n=3	2fL/n n=4	2fL/n n=5	2fL/n n=6	2fL/n n=7	2fL/n n=8
40	3408.0	2726.4	1363.2	908.8	681.6	545.3	454.4	389.5	340.8
30	3427.3	2056.4	1028.2	685.5	514.1	411.3	342.7		
20	3411.3	1364.5	682.3	454.8	341.1				
10	3444.7	688.9	344.5						

【分析與討論】

1. 閉管底部是節點位置，其他位置因有泛音及節點數的問題，頻率較複雜，有時會測到基音，動一動後又會測到倍頻音。
2. 開管中央是管長=1/2波長、3/2波長...的節點，所以麥克風位置放在管中央節點位置測量的回授音頻率比較穩定。
3. 由研究(二)實驗得知，管子粗細對於回授音頻率幾乎不影響，長度、位置才是影響的關鍵。本實驗亦可再一次得到證明。
4. 閉管的聲速以 $v = \frac{4fL}{2n-1}$ 計算，開管的聲速以 $v = \frac{2fL}{n}$ 計算，得到的聲速需再以(n值)波腹數、節點數代入計算，可以得到比較接近的聲速理論值。管長越短，n值越小。
5. 管中聲音的位移波與壓力波：密部中央的氣體聚集，壓力最大；疏部中央的氣體鬆散，壓力最小。氣體分子位移最大的地方氣體壓力起伏最小，此處為密部中央與疏部中央的中點。位移波的波腹恰為壓力波的節點，若將保麗龍球置於管內，將觀察保麗龍球跳到最高的地方為位移波的波腹。所以管中駐波的節點氣體壓力最大，可以測到高頻；波腹壓力最小，能量低，也可能測不到頻率。

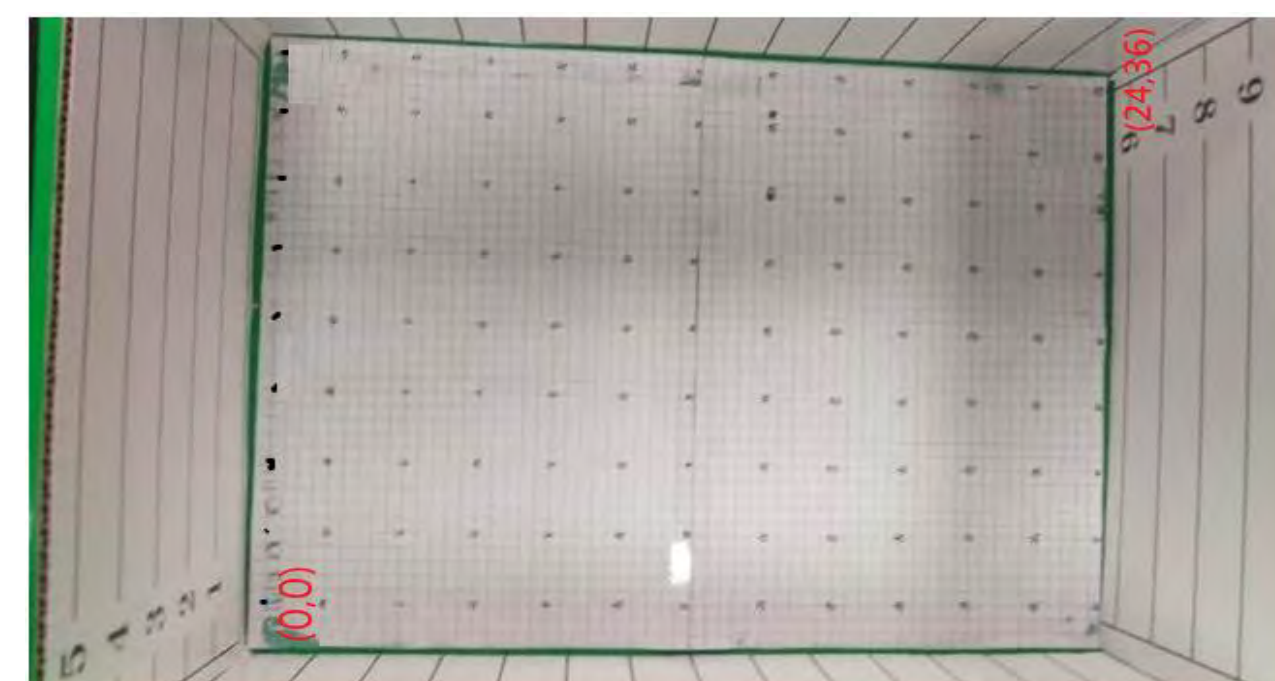


【研究六】探討大容器內的回授音聲場分布情形。

【前言】由於管內的氣柱共振頻率皆為一次元測量(直線測量)，我們試著測量一容器內的共振頻率，即為二次元(平面測量)。

【方法】

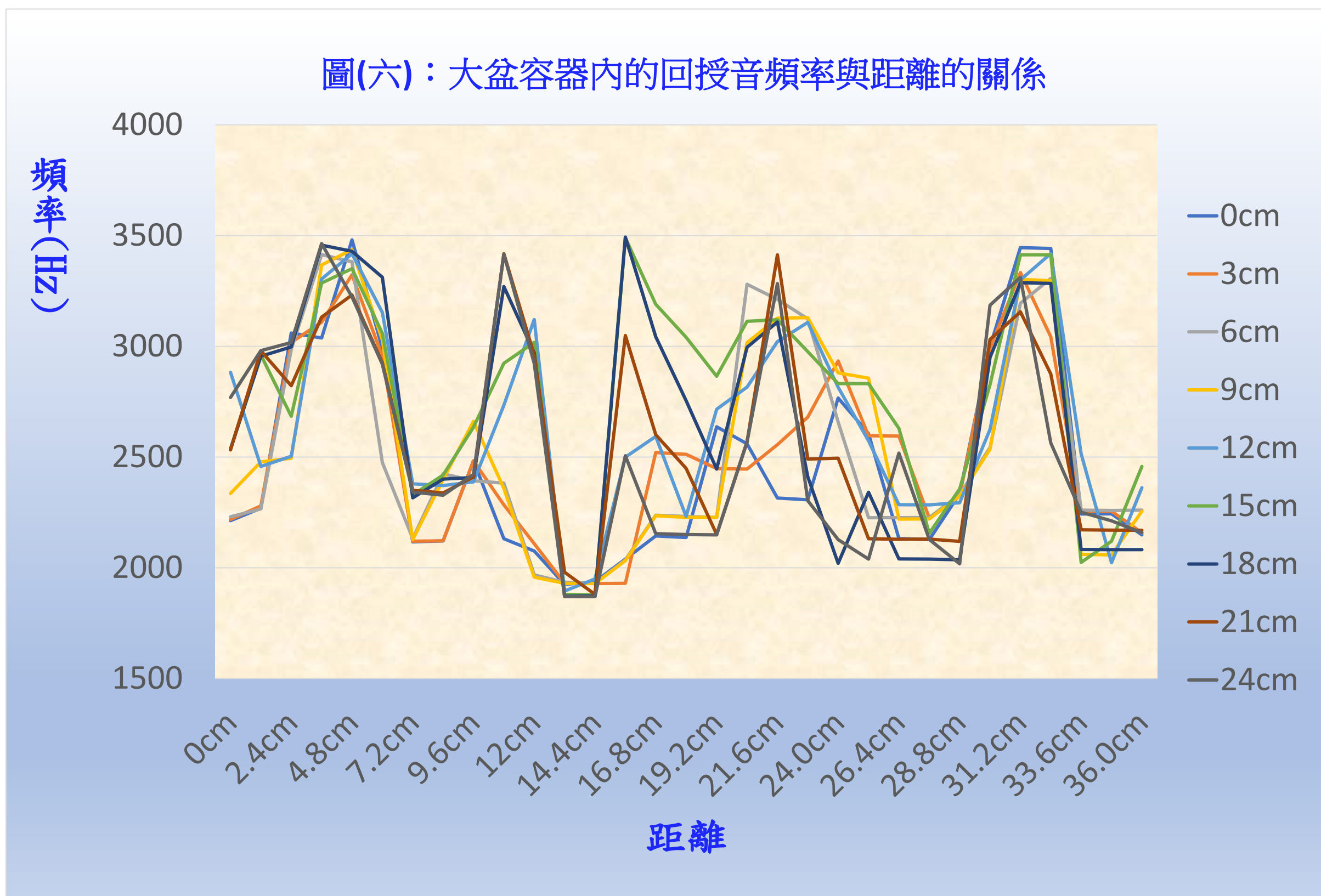
1. 以厚紙板將塑膠盆(30*42cm上寬下窄)，圍成一個長方體的無蓋容器(24*36cm)如圖，並將方格紙黏於底盤，方便定位。
2. 測量時，將擴音器置於離盆50公分處，音量控制於19，室溫25°C，將麥克風放置於塑膠盆盆底。
3. 調整麥克風位置，並對照方格紙，橫向每5格(每格0.6cm)測量一次，縱向每2格測量一次，紀錄回授音頻率，重複測量三次求其平均值，並繪出頻率高低的分布圖。



【結果】如表(六)、圖(六)

表(六): 塑膠盆的回授音頻率分布圖

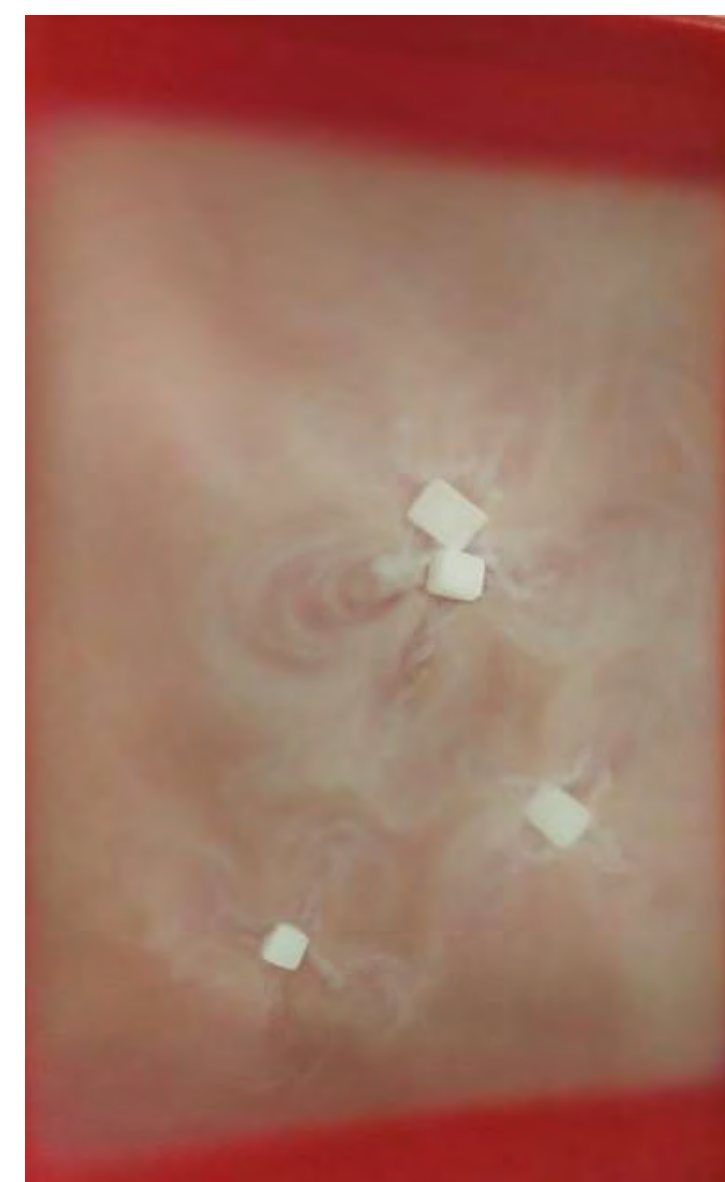
(Hz)	0cm	3cm	6cm	9cm	12cm	15cm	18cm	21cm	24cm
0cm	2213	2218	2230	2336	2883	2536	2535	2532	2769
1.2cm	2269	2279	2266	2478	2458	2961	2955	2980	2981
2.4cm	3060	3018	2986	2495	2504	2684	2997	2822	3017
3.6cm	3038	3109	3414	3367	3304	3286	3457	3132	3464
4.8cm	3481	3323	3382	3436	3418	3351	3429	3232	3223
6.0cm	2991	2955	2475	3029	3153	3058	3312	2925	2919
7.2cm	2117	2120	2132	2127	2379	2329	2316	2350	2342
8.4cm	2122	2122	2424	2399	2371	2419	2401	2338	2328
9.6cm	2483	2483	2393	2661	2388	2635	2408	2410	2422
10.8cm	2131	2284	2382	2359	2734	2924	3270	3418	3416
12cm	2076	2109	1968	1958	3121	3018	2970	2960	2923
13.2cm	1925	1930	1935	1930	1895	1880	1871	1980	1870
14.4cm	1937	1929	1930	1929	1950	1877	1873	1880	1870
15.6cm	2039	1930	2036	2032	2500	3490	3493	3049	2506
16.8cm	2144	2520	2237	2235	2593	3190	3043	2601	2154
18.0cm	2137	2512	2232	2228	2232	3041	2755	2449	2150
19.2cm	2637	2448	2227	2228	2716	2865	2446	2151	2149
20.4cm	2560	2446	3280	3016	2816	3113	2996	2568	2569
21.6cm	2315	2556	3212	3127	3021	3120	3110	3413	3283
22.8cm	2307	2680	3124	3130	3108	2976	2411	2491	2303
24.0cm	2767	2934	2658	2880	2815	2832	2020	2495	2127
25.2cm	2606	2596	2226	2856	2573	2832	2341	2131	2039
26.4cm	2132	2595	2226	2220	2285	2630	2040	2129	2518
27.6cm	2127	2225	2227	2221	2284	2156	2039	2130	2128
28.8cm	2334	2327	2330	2324	2294	2356	2036	2119	2018
30.0cm	2998	2992	2543	2535	2625	2827	2950	3031	3186
31.2cm	3446	3333	3195	3302	3300	3413	3287	3156	3311
32.4cm	3442	3043	3306	3296	3419	3413	3284	2875	2564
33.6cm	2243	2256	2260	2061	2515	2024	2083	2172	2251
34.8cm	2244	2256	2259	2058	2023	2120	2082	2170	2212
36.0cm	2149	2158	2260	2256	2362	2458	2082	2169	2159



圖(六): 大盆容器內的回授音頻率與距離的關係

【分析與討論】

1. 頻率分布圖中可以看出，約在大盆容器內的前1/10(0.1)和後1/10(0.9)的位置，出現較高的頻率(大於3000)。
2. 大盆容器內的2/5(0.4)處，出現較低的頻率(小於2000)。
3. 以直線剖面來看，大盆容器內的回授音仍具有規律性的起伏，只是因為擴散面太大，回授的情形較複雜。
4. 我們嘗試要研究聲場的3D圖，但因測量的頻率高低分布情形較為雜亂，無法分析出其規律性。
5. 我們以乾冰製造煙霧，讓回授音的波動呈現在煙霧中。但實驗結果無法看到煙霧呈現的疏密波情形。
6. 若將乾冰的煙霧在40cm長的壓克力管內形成後，再將壓克力管置於擴音器正前方，煙霧也無法有明顯的疏密情形。



伍、結論：

- 一. 即使瓶口背對音源，但是因為聲音散播時呈球面弧狀擴散前進，聲音還是會進入容器，仍然可以產生回授音。
- 二. 將小容器與大容器在相同距離時比較，因為小容器內的空氣柱較短，造成振動時的波長較短，而測到的頻率也就比大容器還要高。
- 三. 小容器的回授音在瓶底測量時會比在瓶口處測量時更為穩定。
- 四. 若是不使用容器，直接以麥克風靠近擴音器的方法來測量回授音，因為四周反射聲音會影響，頻率測定器較無法準確判讀頻率。
- 五. 若是音量太小，在麥克風距離擴音器太遠時，便不會有回授音的產生。而回授音傳回燒杯時的音量太小，也會造成聲音無法回授。因此，本研究所使用的音量除了聲場的實驗外，其餘實驗皆控制在15格(共有19格)。
- 六. 根據實驗所測量到的數據，我們發現回授音與距離的關係呈現橫波的波動圖。由聲波的干涉增強所產生的現象發現，波峰與波峰之間的干涉增強時有高頻產生，且兩個高頻間的最短距離可視為一個波長。將其測到的頻率與波長相乘即可得到聲速。
- 七. 為了使測量結果的誤差減少，我們自製了一台玩具車，使測量的結果更為客觀、誤差更少。但是玩具車的速度依舊太快，聲音尚未穩定前燒杯就移動了；速度調得太慢則玩具車無法移動，還是需要克服這個問題。
- 八. 我們為了探討聲音在管中的干涉現象，我們將量筒作閉管，並從測量到的數據得知，基音與各種的泛音會同時存在於管中。由測量儀器的波動圖可看出成倍的頻率，且強度不一定是基音或泛音較大。
- 九. 將開管橫放置於桌面上，並將麥克風置於管中央。移動開管位置，測量回授音高頻位置，相鄰的兩個高頻位置差可視為波長。因無法確認測到的頻率為基音或泛音，所以此方法測得的頻率須以節點數加以修正，才能更加接近理論值。管子越長，節點數也就更多。
- 十. 在回授音的聲場實驗中發現聲波無法將乾冰的霧態推擠成疏密波情形，可能是因為我們的擴音器能量不夠大的關係。



陸、參考資料：

1. 基音、泛音、節點：取自 <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%A7%90%E6%B3%A2>
2. 利用共鳴管測量聲速的新法：取自 <http://www.khjh.kh.edu.tw/science40/高中/高中物理3/高中物理3.htm>
3. 物理教學示範實驗室，取自 <http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/phpBB/viewtopic.php?topic=8882>
4. 郭重吉主編。國中自然與生活科技 第三冊。台南市南一書局(民98)
5. 共振駐波：取自 <https://scitechvista.nat.gov.tw/context/file/pdf>。
6. 開管閉管空氣柱共振實驗器，取自 http://www.atiss.com.tw/systematization_page_6a/c-s/c-s-m/A01-742E-Y01.pdf
7. 高中物理，聲音共振：取自 <https://www.youtube.com/watch?v=0m-Q1JEUUpMo>
8. 駐波之舞：取自 <https://www.youtube.com/watch?v=bd7801FJZf4&t=327s>
9. 一為固定端與另一為自由端的駐波，取自 <https://www.youtube.com/watch?v=-DMpXM6b9Qs>
10. 肯特管測量聲速：取自 https://www.youtube.com/watch?v=uL9e_naXp2M
11. 甚麼是聲場測試：取自 <https://kknews.cc/zh-tw/news/m3bgrzz.html>