

# 中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 物理科

佳作

030121

爺爺的 Datuk-探討太魯閣木琴音色的變化

學校名稱：南投縣立大成國民中學

作者：  國一 王宜婷  國一 劉宇芬  國一 周宛郁	指導老師：  梁敏芳  徐敏益
---	-----------------------------

關鍵詞：太魯閣木琴、敲擊器、聲音

## 摘要

為了做出太魯閣木琴標準化製成的標準音，我們以 **Gold wave** 軟體分析太魯閣木琴的音色。我們測量三組木琴，外部形質的長短和粗細沒有規則的排列。敲擊同支木頭 5 點不同位置，頻率有顯著差異。敲擊木頭中間點能發出悅耳及穩定的樂音(頻率誤差在 0.001 到 0.241)，旁邊 4 點可增加樂音變化。木琴底材改為木板時，頻率會增加，且能將不穩定的音色做修飾；底材為鐵板時則沒有規則性。木頭材質不同時，音色也有所差異，鹽膚木音色較輕脆，而油桐木較低沉。將木琴架高至 5.3、21、42、47、69、74 公分時，有穩定的樂音。則高度在 69 公分(方便站著演奏)時，將木琴下方放置木板底材，聽起來會有悅耳的樂音。

## 壹、研究動機

原舞社的同學們賣力的演出精彩的舞蹈，伴隨著木琴的聲音，想起爺爺說過：「木琴是我們太魯閣族的傳統樂器，在每次的慶典中都扮演著重要的角色，但是會製作木琴的族人愈來愈少了！」我的腦袋中冒出很多的問題:明明都是木頭製作的，為什麼可以發出清脆或低沉的音色呢?明明是根實心的木頭，為什麼可以發出高高低低不同的音階呢?在這些不同的聲音中，會不會有最好的聲音?這些問題在我的腦海中久久不散，我找了兩位好友開始實驗，解答心中的疑惑。

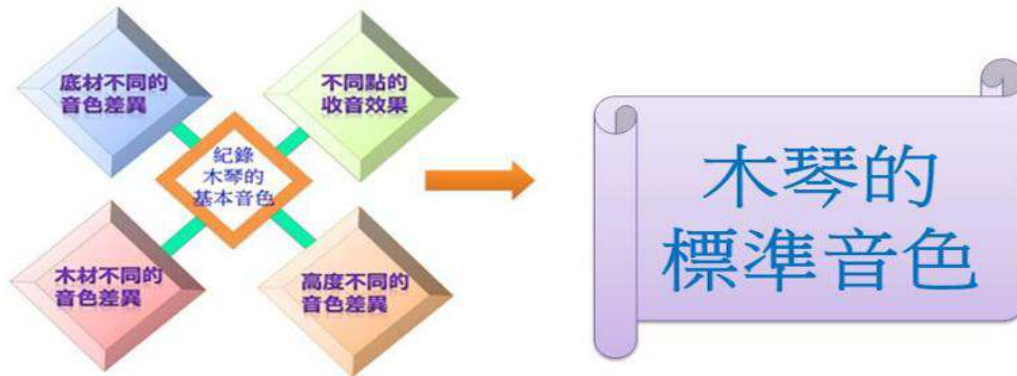
## 貳、研究目的

- 一、記錄木琴的基本音色(三組)及外部基本形質(長度、寬度)
- 二、比較同一根木頭不同點的音色差異(分 5 點)
- 三、比較底材不同的音色差異
- 四、比較木材不同的音色差異
- 五、比較高度不同的音色差異

## 參、研究設備與器材

鹽膚木木琴 2 具、油桐木木琴 1 具、自製敲擊器 1 架、長尺 1 把(45cm)、游標尺 3 把、麥克風 1 支、錄音筆 1 支、**Gold wave**

## 肆、實驗步驟



### 一、記錄木琴的基本音色(四根不同，三組)及外部基本形質（長度、寬度）

木琴（Datuk）是泰雅族、賽德克及太魯閣族特有的樂器，全部包含四個音階、兩個底座、兩根捶棒等共八件附件，材質皆為木頭。木琴製作的材料有：鹽膚木、油桐木、檜木等，以鹽膚木打擊聲音最清脆，而油桐木聲音最厚實。在製作前木材須長時間陰乾後，待樹木變得乾燥後，才可削樹皮依照所需四個音長短粗細，製成聲音輕脆響亮的木琴。

(<http://www.knowledge.ipc.gov.taipei/ct.asp?xItem=1001800&CtNode=17251&mp=cb01>)

製作的過程：切兩根直徑 5.5cm、長 36.5cm 的木頭當底座，架上四根長 36.8cm 的木頭，它們分別是直徑 5.5cm 為 1 號 Re 音、6.5cm 為 2 號 Mi 音、5.2cm 為 3 號 Sol 音、4.8cm 為 4 號 La 音。我們使用鹽膚木及油桐木製作的木琴來進行實驗。敲擊器的製作：我們製作敲擊器(如圖 1)，是為了保持一樣的敲擊力道，我們利用水管組成，底座呈現口字型，在口字型的兩個末端立起組架，呈現兩個 T 字型，上面放著一根 T 字型鐵棒，再用膠布連接捶棒(約 30 公分長)。

我們取兩組鹽膚木木琴(如圖 2)，先量木琴整體的長度，劃分出敲擊的五個點，測量側面圓 x 的長徑和短徑。把木琴放在大理石地板上，錄音筆連接麥克風，麥克風放置於錄音點下，敲擊器擺在能敲到的位置，確定敲擊器能夠敲到正確的點。

把敲擊器上的木棍舉至 90 度(才能保持敲擊的力道)。開始錄音後，放下木棍，敲擊完成。我們將同一點敲擊五次，之後將錄音筆裡的音檔輸進電腦裡，用 Gold wave 分析音檔的振幅、音品以及頻率並記錄。



圖 1:自製敲擊器

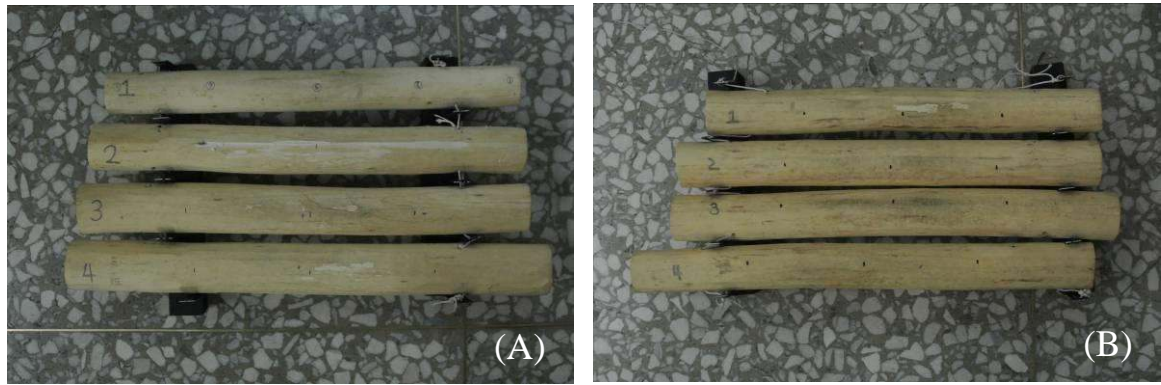


圖 2:兩組鹽膚木木琴(A)為第一組鹽膚木木琴、(B)為第二組鹽膚木木琴  
二、比較同一根木頭不同點的音色差異 (分 5 點)

我們選用五個點來敲擊，先量取木琴的長度，選取中間點作為點三，在選取木琴中點端與左端之間作為點二，在選取木琴中點端與右端之間作為點四，左支架與左端的中間點作為點一，右支架與右端的中間點作為點五(如圖 3)。每點各敲擊 5 次，並以 Gold wave 分析第一個音檔。

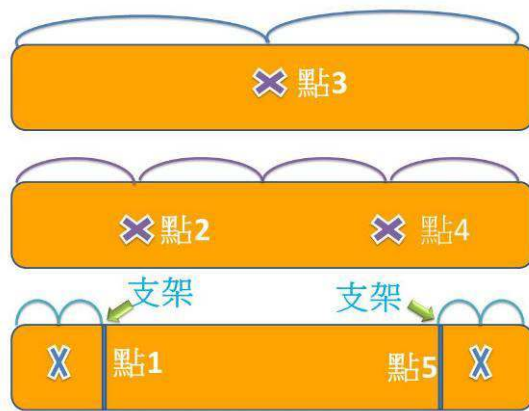


圖 3:敲擊點的示意圖

### 三、底材不同的音色差

我們取兩組鹽膚木木琴，把木琴放在木板與鐵板的底材上(如圖 4)，錄音筆連接麥克風，麥克風放置於錄音點下，敲擊器擺在能敲到的位置，確定敲擊器能夠敲到正確的點。把敲擊器上的木棍舉至 90 度(以保持敲擊的力道)。開始錄音後，自然放下木棍，敲擊。將錄音筆裡的音檔輸進電腦裡，以第一個波作為主要的分析(基音)，用 Gold wave 分析音檔的振幅、音品以及頻率並記錄，每個實驗皆重複 3 次。

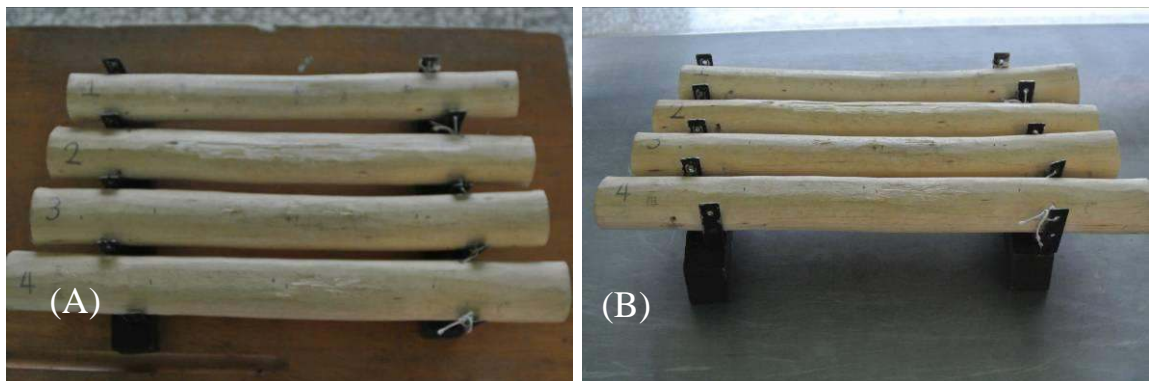


圖 4:不同底材，(A)在木板、(B)在鐵板

#### 四、比較木材不同的音色差異

我們使用油桐木製作的木琴來做比較，先量出敲擊的五個點，測量側面圓的長徑和短徑，重複上述實驗基準音、同支不同位置的音色差、底材不同的音色差(如圖 5)。

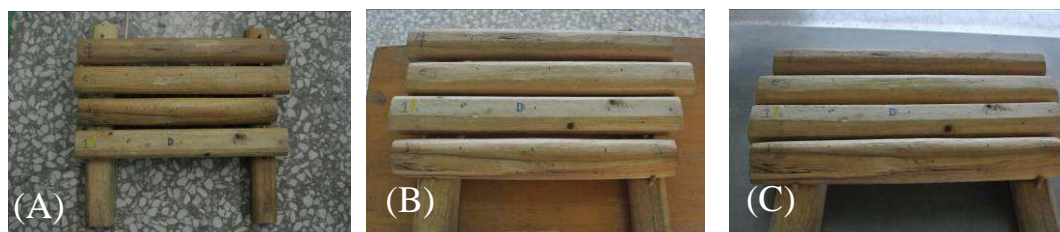


圖 5:油桐木木琴在三種不同底材，圖(A)大理石地板、圖(B)木板、圖(C)鐵板

#### 五、比較高度不同的音色差異

我們先量木琴支架的高度，支架高度為 5.3cm，接著我們以 5.3cm 的倍數作為高度變化的測量，70 磅的紙一包高度為 5.3cm 所以我們以 A4 紙疊高，來作測量。我們共量測 11 個高度分別為 5.3cm(基本音)、21.2cm、26.5cm、37.1cm、42.4cm、47.7cm、53cm、68.9cm、74.2cm、84.8cm、100.7cm(如圖 6)，我們以上述三組木琴測量振幅、音品及頻率，每一組實驗皆重複 3 次。



圖 6:以 A4 紙(5.3cm)疊高，進行高度實驗

### 伍、實驗結果

#### 一、記錄木琴的基本音色(四根不同，有兩組)及外部基本形質(長度、寬度)

經測量後結果如表 1 及表 2，發現兩組鹽膚木木琴四支木頭長度都不同。

表 1:第一組鹽膚木木琴的基本形質(單位:cm)

	長度	短徑	長徑	點 1 距離	點 2 距離	點 3 距離	點 4 距離	點 5 距離
第一根	38.7	3.92	4.42	2	9	19	29	36
第二根	41.0	4.22	4.53	2	10	20	30	38
第三根	42.1	4.21	4.78	2	11	21	32	40
第四根	45.5	4.13	4.91	2	11	23	33	43

表 2:第二組鹽膚木木琴的基本形質(單位:cm)

	長度	短徑	長徑	點 1 距離	點 2 距離	點 3 距離	點 4 距離	點 5 距離
第一根	40.0	4.59	4.61	2	12	20	30	38
第二根	45.1	4.67	4.91	2	11	21	32	40
第三根	42.6	4.61	4.12	2	12	23	34	43
第四根	47.5	4.36	4.81	2	12	23	35	45

我們將音檔輸入 Gold Wave 分析發現有兩段達到較高點的音波(如圖 7)，因此，我們為了找到原因，我們利用慢速攝影所拍下敲擊的瞬間，如圖 8 所示，我們可以發現錄音時敲擊的木棒會有回彈的現象，我們以第一段的聲音來作為分析的樣本。

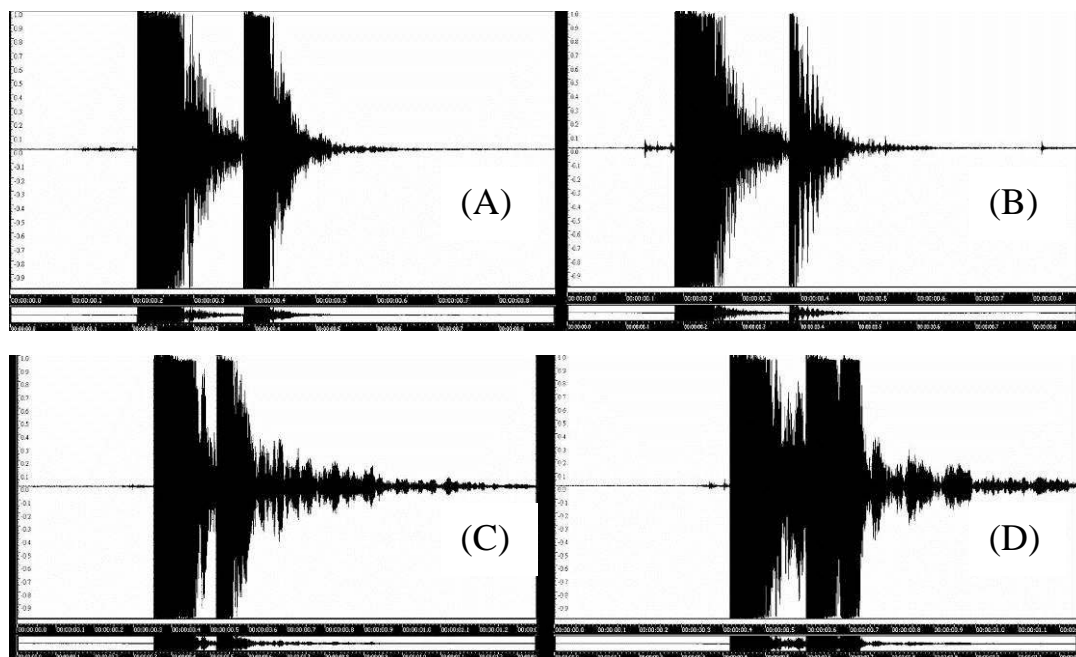


圖 7：這是由 Gold Wave 分析的音檔，圖（A）為第一組鹽膚木木琴第一根的音檔，圖（B）為第一組鹽膚木木琴第二根的音檔，圖（C）為第一組鹽膚木木琴第三根的音檔，圖（D）為第一組鹽膚木木琴第四根的音檔

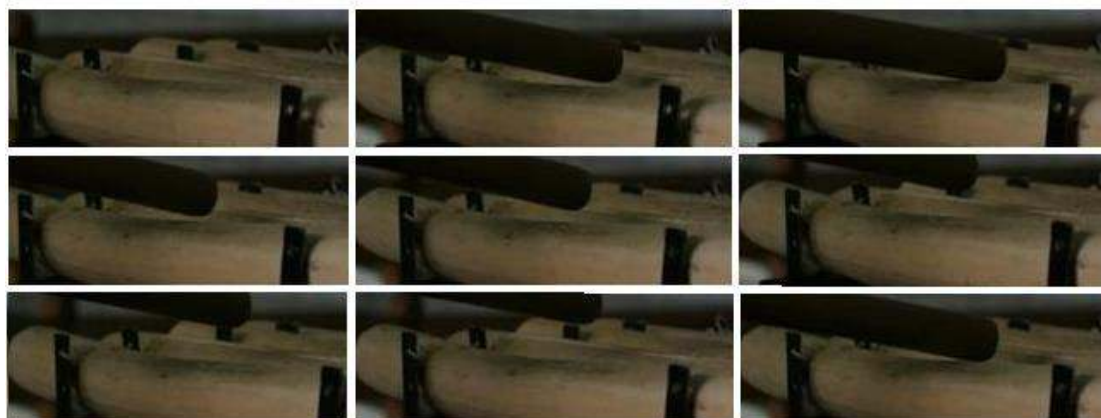


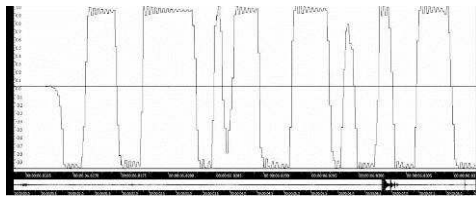
圖 8:慢速攝影分析出的圖，在第 5 張圖的時候有反彈的現象

由以上可知，木琴四根木頭長短不一，會由短至長排列，敲擊器敲擊時會有回彈的現象，第一段高波較明顯我們以第一段音波作為分析。

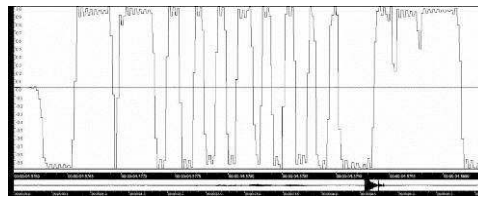
## 二、比較同一根木頭不同點的音色差異 (分 5 點)

### (一)第一組第一根

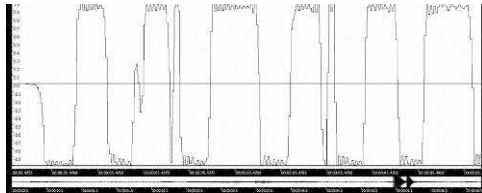
我們取第一段音檔的第一個波形進行分析，重複取樣 5 次，發現第一組鹽膚木木琴第一根各點振幅大小差異不大；音品最多的是點 2，音品最少的是點 4；頻率最大的是點 4，頻率最小的是點 2(如圖 9、表 3)。頻率經 ANOVA 檢測  $F_{(4, 20)}=8.621$ ， $p<0.05$ 。由分析比較可知，點 1 與點 2，點 2 與點 1、點 3、點 4、點 5，點 3 與點 2、點 4、點 5，點 4 與點 2、點 3，點 5 與點 2 有顯著差異。



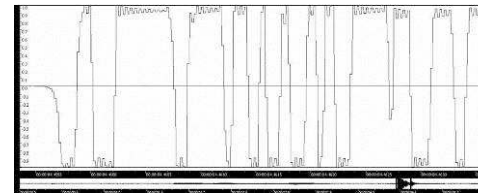
(A)第一點



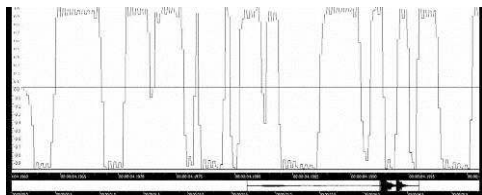
(B) 第二點



(C) 第三點



(D)第四點



(E)第五點

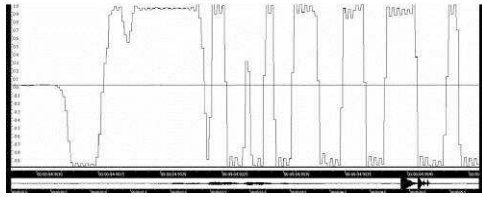
圖 9:第一組鹽膚木木琴第一根不同敲擊點 Gold wave 所產生的圖

表 3:第一組鹽膚木木琴第一根不同敲擊點所分析出來的數據

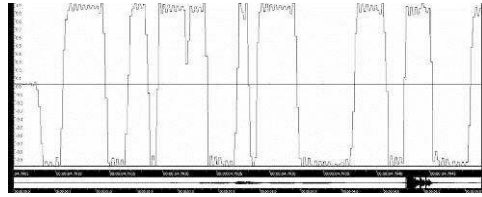
第一根	振幅	音品	頻率
點 1	$0.98\pm 0.029$	$6.40\pm 0.548$	$1880\pm 0.0$
點 2	$0.99\pm 0.022$	$12.00\pm 2.449$	$1284\pm 1.1$
點 3	$0.98\pm 0.025$	$6.40\pm 0.548$	$1626\pm 0.0$
點 4	$0.99\pm 0.013$	$3.00\pm 1.000$	$2222\pm 1.3$
點 5	$0.97\pm 0.023$	$5.60\pm 2.302$	$1988\pm 1.0$

### (二)第一組第二根

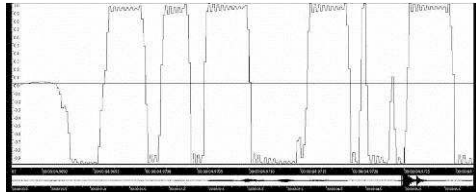
第一組鹽膚木木琴第二根各點振幅大小差異不大；音品最多的是點 3，音品最少的是點 4；頻率最大的是點 4，頻率最小的是點 2 和點 3。所以五個點的差距微小(如圖 10、表 4)。頻率經 ANOVA 檢測  $F_{(4, 20)}=5.753$ ， $p<0.05$ 。由分析比較可知，點 1 與點 2、點 3，點 2 與點 1、點 4、點 5，點 3 與點 1、點 4、點 5，點 4 與點 2、點 3 有顯著差異。



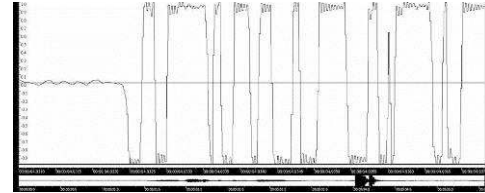
(A)第一點



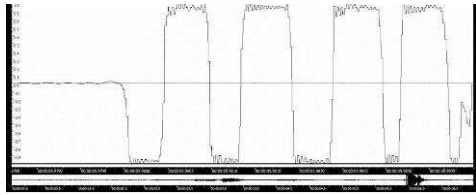
(B)第二點



(C)第三點



(D)第四點



(E)第五點

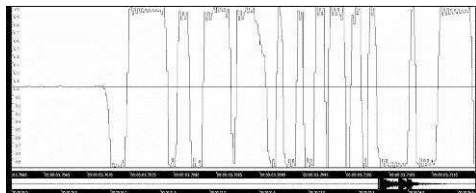
圖 10:第一組鹽膚木木琴第二根不同敲擊點 Gold wave 所產生的圖

表 4:第一組鹽膚木木琴第二根不同敲擊點所分析出來的數據

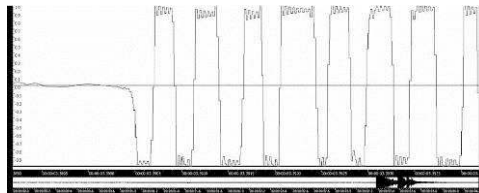
第二根	振幅	音品	頻率
點 1	$0.99 \pm 0.014$	$8.20 \pm 0.837$	$1575 \pm 1.9$
點 2	$0.97 \pm 0.017$	$10.00 \pm 4.528$	$1043 \pm 3.0$
點 3	$0.96 \pm 0.027$	$9.20 \pm 2.168$	$1043 \pm 3.0$
點 4	$1.00 \pm 0.000$	$3.00 \pm 0.000$	$2299 \pm 0.0$
點 5	$0.97 \pm 0.026$	$9.20 \pm 0.837$	$1471 \pm 1.0$

### (三)第一組第三根

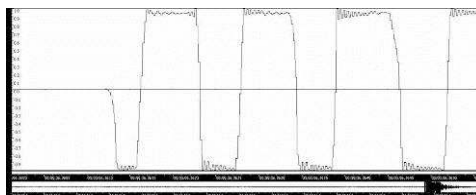
第一組鹽膚木木琴第三根各點振幅大小差異不大；音品最多的是點 1、點 3，音品最少的是點 4；頻率最大的是點 1，頻率最小的是點 3。所以五個點的差距微小(如圖 11、表 5)。頻率經 ANOVA 檢測  $F_{(4, 20)}=13.182$ ,  $p<0.05$ 。由分析比較可知，點 1 與點 3、點 4，點 2 與點 3，點 3 與點 1、點 2、點 4、點 5，點 4 與點 1、點 3、點 5，點 5 與點 3、點 4 有顯著差異。



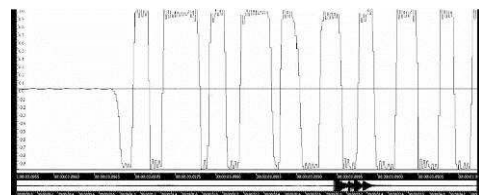
(A)第一點



(B)第二點

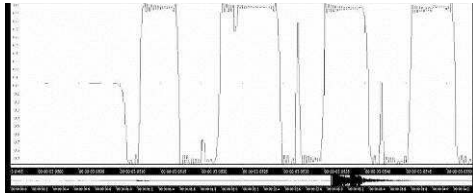


(C)第三點



(D)第四點





(E)第五點

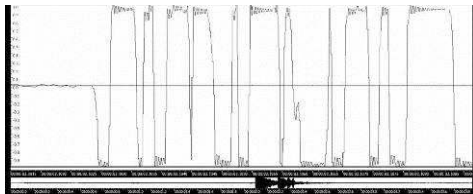
圖 11:第一組鹽膚木木琴第三根不同敲擊點 Gold wave 所產生的圖

表 5:第一組鹽膚木木琴第三根不同敲擊點所分析出來的數據

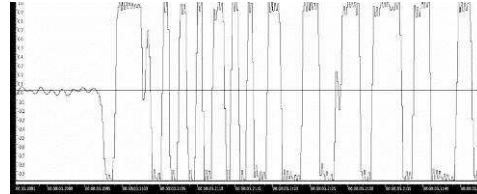
第三根	振幅	音品	頻率
點 1	0.98±0.045	10.40±0.894	1289±0.0
點 2	0.99±0.022	4.40±0.548	1626±1.4
點 3	0.98±0.019	10.20±1.095	990±1.8
點 4	1.00±0.000	3.60±0.548	2193±0.0
點 5	0.97±0.042	9.80±0.447	1312±1.2

#### (四)第一組第四根

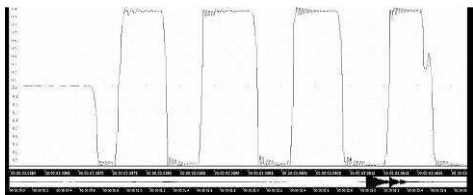
第一組鹽膚木木琴的第四根各點振幅大小差異不大；音品最多的是點 5，音品最少的是點 2；頻率最大的是點 4，最小的是點 3。所以五個點的差距微小(如圖 12、表 6)。頻率經 ANOVA 檢測  $F_{(4, 20)}=17.61$ ， $p<0.05$ 。由分析比較可知，點 1 與點 2、點 3、點 4，點 2 和點 1、點 3、點 5，點 3 與點 1、點 2、點 4、點 5，點 4 與點 1、點 3、點 5，點 5 與點 2、點 3、點 4 有顯著差異。



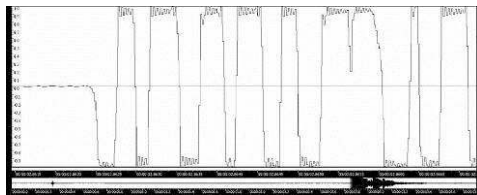
(A)第一點



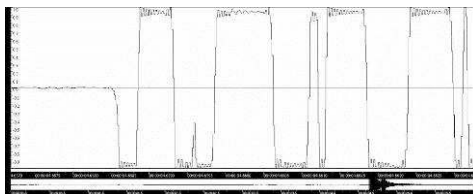
(B)第二點



(C)第三點



(D)第四點



(E)第五點

圖 12:第一組鹽膚木木琴第四根不同敲擊點 Gold wave 所產生的圖

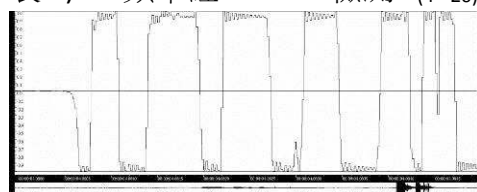
表 6:第一組鹽膚木木琴第四根不同敲擊點所分析出來的數據

第四根	振幅	音品	頻率
點 1	0.99±0.022	9.80±1.304	1302±1.4
點 2	0.97±0.049	4.60±2.074	1919±1.4
點 3	0.98±0.016	10.4±0.894	943±1.4
點 4	1.00±0.000	4.80±0.447	1965±0.0
點 5	0.99±0.009	10.60±0.894	1176±1.1

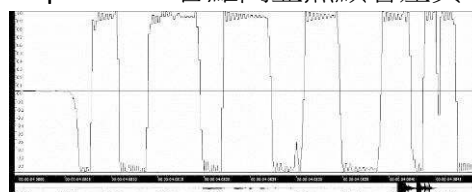
由以上數據可知，第一組鹽膚木木琴在大理石地板上的頻率數值是有規律性的，點 3 的音具有規律性的也是最穩定的，且在不同木頭點 3 的波形也很相似。

#### (五)第二組第一根

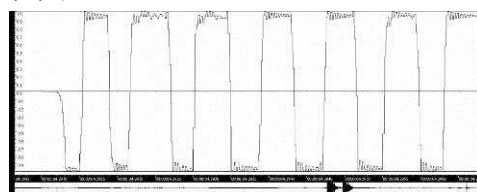
第二組鹽膚木木琴第一根振幅最大的是點 4，振幅最小的是點 3；音品最多的是點 2，音品最少的是點 4；頻率最大的是點 1，頻率最小的是點 4(如圖 13、表 7)。頻率經 ANOVA 檢測  $F_{(4, 20)}=0.233$ ， $p>0.05$ ，各點間並無顯著差異。



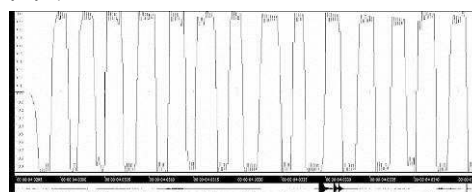
(A)第一點



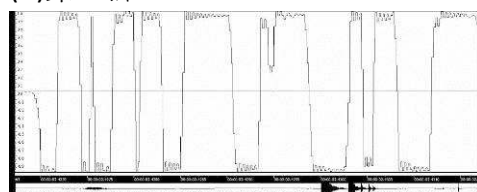
(B)第二點



(C)第三點



(D)第四點



(E)第五點

圖 13:第二組鹽膚木木琴第一根不同敲擊點 Gold wave 所產生的圖

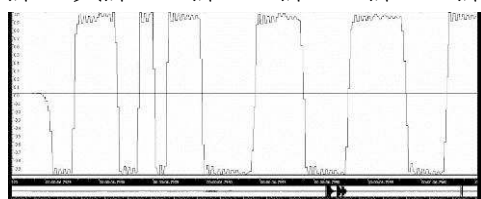
表 7:第二組鹽膚木木琴第一根不同敲擊點所分析出來的數據

第一根	振幅	音品	頻率
點 1	0.97±0.045	5.80±0.837	1901±0.0
點 2	0.97±0.295	8.00±5.523	1751±2.6
點 3	0.82±0.401	7.20±0.837	1742±2.4
點 4	1.00±0.009	3.60±1.342	1575±0.0
點 5	0.99±0.013	5.00±0.707	1709±1.8

#### (六)第二組第二根

第二組鹽膚木木琴第二根各點振幅大小差異不大；音品最多的是點 1，音品最少的是點 3；頻率最大的是點 1，頻率最小的是點 3(如圖 14、表 8)。頻率經

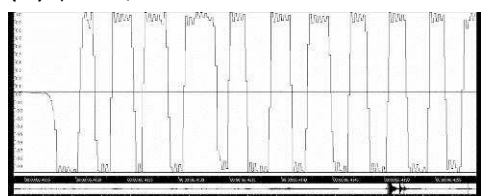
ANOVA 檢測  $F_{(4, 20)}=3.160$ ， $p<0.05$ 。由分析比較可知，點 1 與點 3，點 2 與點 3，點 3 與點 1、點 2、點 4、點 5，點 4 與點 3，點 5 與點 3 有顯著差異。



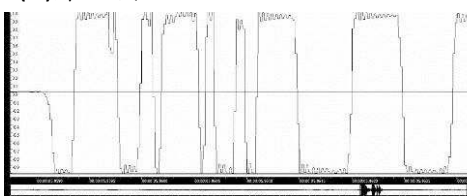
(A)第一點



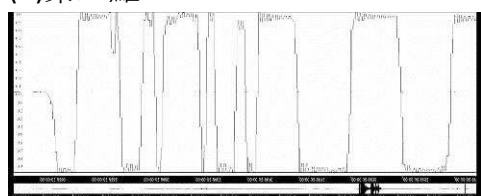
(B)第二點



(C)第三點



(D)第四點



(E)第五點

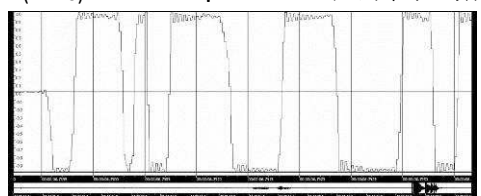
圖 14:第二組鹽膚木木琴第二根不同敲擊點 Gold wave 所產生的圖

表 8:第二組鹽膚木木琴第二根不同敲擊點所分析出來的數據由

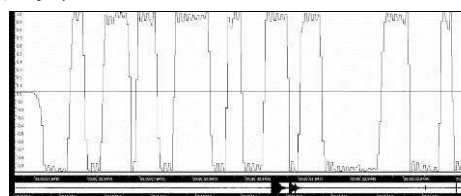
第二根	振幅	音品	頻率
點 1	$0.99\pm 0.018$	$9.80\pm 0.447$	$2427\pm 0.0$
點 2	$0.97\pm 0.040$	$3.40\pm 1.140$	$1988\pm 0.0$
點 3	$0.99\pm 0.018$	$2.20\pm 2.168$	$1206\pm 0.0$
點 4	$0.97\pm 0.045$	$2.80\pm 0.447$	$1799\pm 0.0$
點 5	$0.99\pm 0.022$	$8.00\pm 0.707$	$1399\pm 0.0$

#### (七)第二組第三根

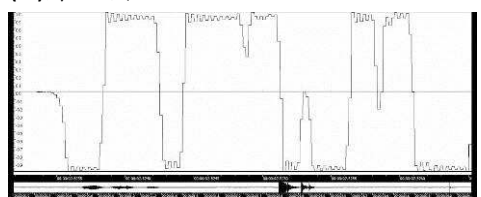
第二組第三根各點振幅大小差異不大；音品最多的是點 3，音品最少的是點 4；頻率最大的是點 1，頻率最小的是點 5(如圖 15、表 9)。頻率經 ANOVA 檢測  $F_{(4, 20)}=0.386$ ， $p>0.05$ ，各點間並無顯著差異。



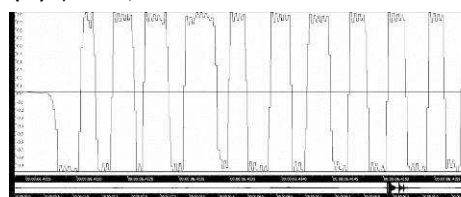
(A)第一點



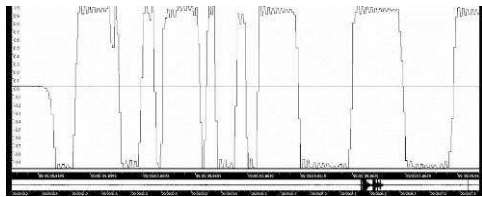
(B)第二點



(C)第三點



(D)第四點



(E)第五點

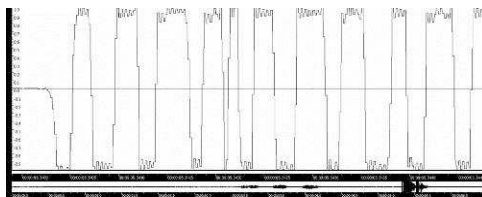
圖 15:第二組鹽膚木木琴第三根不同敲擊點 Gold wave 所產生的圖

表 9:第二組鹽膚木木琴第三根不同敲擊點所分析出來的數據

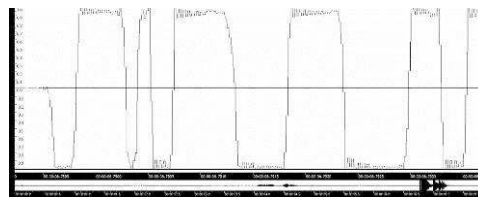
第三根	振幅	音品	頻率
點 1	0.99±0.018	8.20±0.837	2427±3.5
點 2	0.97±0.040	2.80±0.447	1828±2.6
點 3	0.99±0.018	8.60±0.548	1799±1.8
點 4	0.97±0.047	2.60±0.548	1618±2.2
點 5	0.99±0.022	7.40±1.140	1473±1.3

(八)第二組第四根

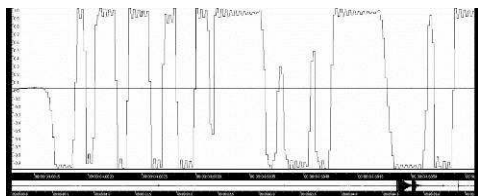
第二組第四根各點振幅大小差異不大；音品最多的是點 4，音品最少的是點 1；頻率最大的是點 4，頻率最小的是點 5(如圖 16、表 10)。頻率經 ANOVA 檢測  $F_{(4, 20)}=0172$ ， $p>0.05$ ，各點間並無顯著差異。



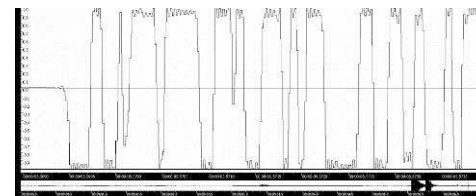
(A)第一點



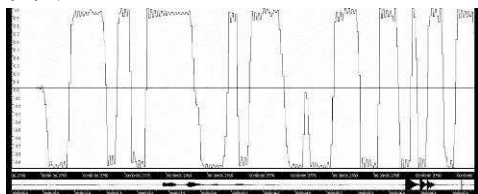
(B)第二點



(C)第三點



(D)第四點



(E)第五點

圖 16:第二組鹽膚木木琴第四根不同敲擊點 Gold wave 所產生的圖

表 10:第二組鹽膚木木琴第四根不同敲擊點所分析出來的數據

第四根	振幅	音品	頻率
點 1	0.98±0.039	3.20±0.447	2123±0.0
點 2	0.99±0.022	3.50±0.447	2000±0.0
點 3	0.97±0.024	2.40±0.548	1789±0.0
點 4	0.99±0.022	3.80±1.095	1838±0.0
點 5	0.97±0.045	3.60±0.894	1799±0.0

由以上數據判定，第二組鹽膚木木琴在大理石地板上可能無法顯示它原本應有的頻率規則，頻率沒有由大而小排列。

### 三、比較底材不同的音色差異

#### (一)第一組鹽膚木木琴在三種不同底材(分別為大理石、木板和鐵板)

在大理石底材上第一組鹽膚木木琴振幅最大的是第一、三、四根，振幅最小的是第二根；音品最多的是第三、四根，音品最少的是第一根；頻率最大的是第一根，頻率最小的是第四根(如表 11)。頻率經 ANOVA 檢測  $F_{(3, 16)}=3.957$ ， $p<0.05$ ，由分析比較可知第一根和第二、三、四根，第二根和第一根，第三根和第一根，第四根和第一根有顯著差異。

在木板底材上第一組鹽膚木木琴振幅最大的是第一、三根，振幅最小的是第二根；音品最多的是第三根，音品最少的是第二根；頻率最大的是第一根，頻率最小的是第四根(如表 12)。頻率經 ANOVA 檢測  $F_{(3, 8)}=0.212$ ， $p>0.05$ 。經分析比較可知各根間並無顯著差異。

在鐵板底材上第一組鹽膚木木琴振幅最大的是第三根，振幅最小的是第一根；音品是第四根最多的，音品最少的是第一根；頻率最大的是第一根，頻率最小的是第四根(如表 13)。經 ANOVA 檢測  $F_{(3, 8)}=7.955$ ， $p<0.05$ 。由分析比較可知，根 1 與點 2、3、4，根 2 和根 1，根 3 與根 1，根 4 與根 1 有顯著差異。頻率經 ANOVA 檢測  $F_{(3, 8)}=1.242$ ， $p>0.05$  經分析比較可知各根間並無顯著差異。

表 11: 在大理石底材上第一組鹽膚木木琴不同根點三所分析出來的數據

鹽膚木木琴(一)	振幅	音品	頻率
第一根	0.98±0.025	6.40±0.548	1626±0.0
第二根	0.96±0.027	9.20±2.168	1043±3.0
第三根	0.98±0.019	10.20±1.095	990±1.8
第四根	0.98±0.016	10.4±0.894	943±1.4

表 12: 在木板底材上第一組鹽膚木木琴不同根點三所分析出來的數據

鹽膚木木琴(一)	振幅	音品	頻率
第一根	1.00±0.006	8.33±0.577	1546±0.0
第二根	0.96±0.010	8.00±0.000	1458±0.0
第三根	0.98±0.021	12.00±0.000	1179±0.0
第四根	0.97±0.026	9.67±2.082	1044±0.0

表 13: 在鐵板底材上第一組不同根第三點所分析出來的數據

鹽膚木木琴(一)	振幅	音品	頻率
第一根	0.86±0.081	2.67±2.887	2294±3.9
第二根	0.96±0.012	8.33±0.577	1026±0.0
第三根	0.98±0.029	8.33±0.577	935±0.0
第四根	0.97±0.025	10.33±0.577	877±0.0

由結果可知，第一組鹽膚木木琴在三種材質上頻率都有由大到小的規律性，但在木板底材時，頻率變化較小。

(二)第二組鹽膚木木琴在三種不同底材(分別為大理石、木板和鐵板)

在大理石底材上第二組鹽膚木木琴振幅最大的是第二、三根，振幅最小的是第一根；音品最多的是第二根，音品最少的是第四根；頻率最大的是第二根，頻率最小的是第一根(如表 14)。頻率經 ANOVA 檢測  $F_{(3, 16)}=1.861$ ， $p>0.05$ 。由分析比較可知，各根間並無顯著差異。

在木板底材上第二組鹽膚木木琴振幅最大的是第二根，振幅最小的是第三根；音品最多的是第一根，音品最少的是第二根；頻率最大的是第二根，頻率最小的是第四根(如表 15)。頻率經 ANOVA 檢測  $F_{(3, 8)}=13.851$ ， $p<0.05$ 。由分析比較可知，第一根與第三、四根，第二根與第三、四根，第三根與第一、二根，第四根與第一、二根有顯著差異。

我們由 Gold Wave 分析所發現，在鐵板底材上第二組振幅最大的是第四根，振幅最小的是第二根；音品最多的是第三根，音品最少的是第四根；頻率最大的是第四根，最小的是第三根(如表 16)。頻率經 ANOVA 檢測  $F_{(3, 8)}=1.242$ ， $p>0.05$ ，可知各根間並無顯著差異。

表 14: 在大理石底材上第二組鹽膚木木琴不同根第三點所分析出來的數據

鹽膚木木琴(二)	振幅	音品	頻率
第一根	0.82±0.401	7.20±0.387	1742±2.4
第二根	0.99±0.018	2.20±2.168	1206±0.0
第三根	0.99±0.018	8.60±0.548	1799±1.8
第四根	0.97±0.024	2.40±0.548	1789±0.0

表 15: 在木板底材上第二組鹽膚木木琴不同根第三點所分析出來的數據

鹽膚木木琴(二)	振幅	音品	頻率
第一根	0.97±0.029	5.33±0.557	1980±0.0
第二根	0.99±0.017	1.33±0.577	4082±0.0
第三根	0.97±0.029	9.33±7.234	1236±4.3
第四根	0.94±0.055	4.00±2.646	2105±2.0

表 16: 在鐵板底第三點所分析出來的數據

鹽膚木木琴(二)	振幅	音品	頻率
第一根	0.98±0.029	6.00±0.000	1267±2.1
第二根	0.97±0.026	8.33±0.577	1243±0.0
第三根	0.98±0.029	11.00±2.000	962±2.7
第四根	1.00±0.000	5.67±3.512	1488±2.0

我們發現雖然第二組鹽膚木木琴在大理石底材上面時，頻率並不具有規律性，但是第二組鹽膚木木琴在木板底材上面有規律性，所以我們認為木板底材有修飾木琴音色的效果。我們也利用鐵板來做測驗發現第二組鹽膚木木琴的頻率並不具有規律性，所以我們認為鐵板並無修飾木琴音色的效果。

四、比較木材不同的音色差異

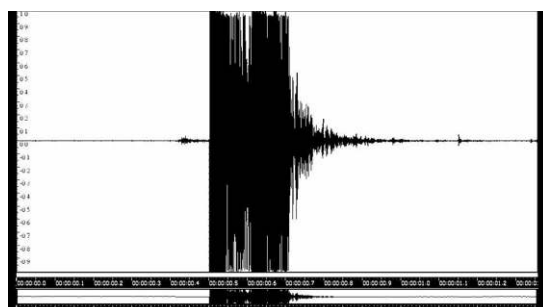
(一)油桐木木琴的外型及敲擊波形

油桐木木琴每根木頭經測量後，發現第三根最長(如表 17)。錄音後經由 Gold

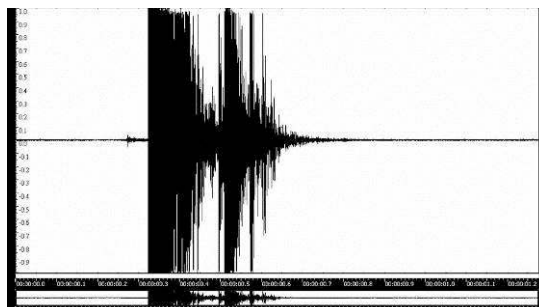
Wave 分析發現，也有兩個較高的音波，第一個音波是敲下去的第一下，第二個音波是回彈的，與鹽膚木木琴比較後發現油桐木木琴回彈的時間比較快(圖 17)。

表 17:第一組油桐木木琴的基本形質

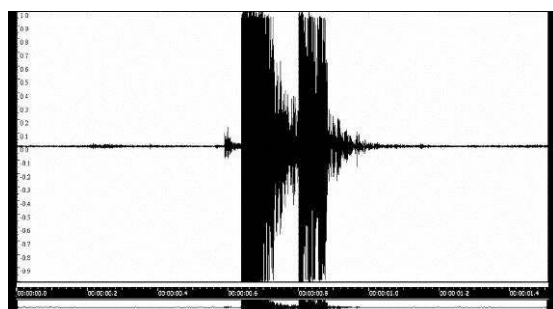
	長度	短徑	長徑	點 1 距離	點 2 距離	點 3 距離	點 4 距離	點 5 距離
第一根	41.2	4.32	4.71	2	11	21	31	39
第二根	38.8	4.02	5.56	2	10	19	29	37
第三根	42.8	3.99	5.46	2	11	22	32	40
第四根	41.2	4.36	4.81	2	11	21	31	39



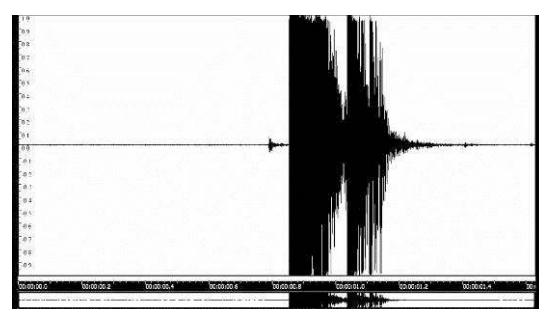
(A)第一根



(B)第二根



(C)第三根



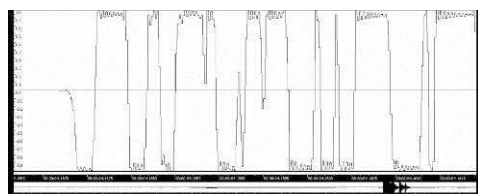
(D)第四根

圖 17:油桐木木琴分析的音檔

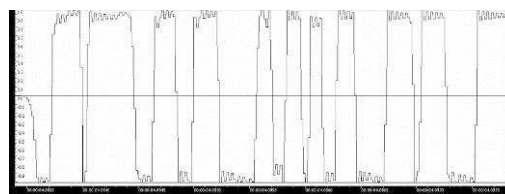
## (二)敲擊的五個點，測量波形、音品、頻率

### 1.油桐木木琴第一根

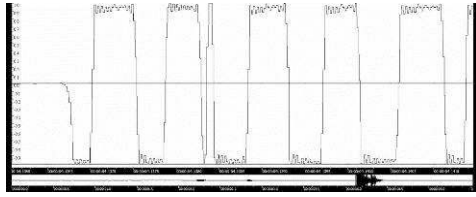
第一組油桐木木琴第一根各點振幅略有差異；音品最多的是點 3，音品最少的是點 5；頻率最大的是點 1，頻率最小的是點 4 (如圖 18、表 16)。頻率由 ANOVA 檢測  $F_{(4, 20)}=8.914$ ， $p<0.05$ 。由分析比較可知，點 1 與點 3、點 4，點 2 與點 4，點 3 與點 1、點 4、點 5，點 4 與點 1、點 2、點 3、點 5，點 5 與點 3、點 4 有顯著差異。



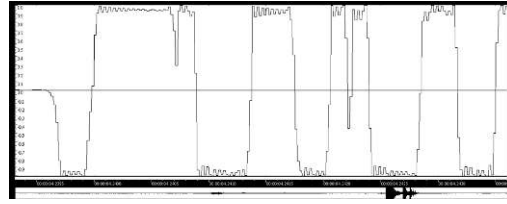
(A)第一點



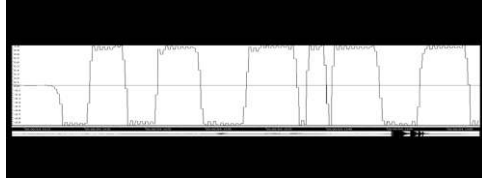
(B)第二點



(C)第三點



(D)第四點



(E)第五點

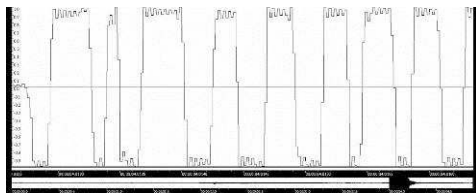
圖 18: 油桐木木琴第一根不同敲擊點的視波圖

表 18: 油桐木木琴第一根不同敲擊點所分析出來的數據

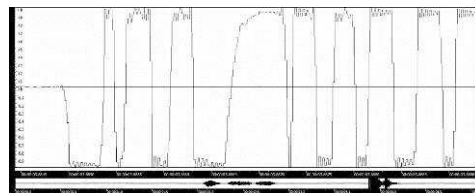
第一根	振幅	音品	頻率
點 1	$0.98 \pm 0.049$	$7.60 \pm 0.545$	$1435 \pm 0.0$
點 2	$0.99 \pm 0.022$	$10.00 \pm 4.183$	$1156 \pm 2.7$
點 3	$0.86 \pm 0.253$	$10.40 \pm 2.074$	$1055 \pm 0.0$
點 4	$0.97 \pm 0.015$	$15.20 \pm 2.864$	$855 \pm 1.5$
點 5	$0.98 \pm 0.029$	$6.00 \pm 0.000$	$1393 \pm 0.0$

## 2.油桐木木琴第二根

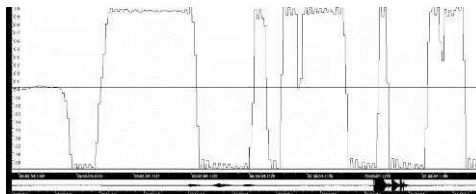
油桐木木琴第二根各點振幅大小差異不大；音品最多的是點 3，音品最少的是點 2；頻率最大的是點 5，頻率最小的是點 3 (如圖 19、表 19)。頻率經 ANOVA 檢測  $F_{(4, 20)}=10.478$ ， $p<0.05$ 。由分析比較可知，點 1 與點 3，點 2 和點 3，點 3 與點 1、點 2、點 4、點 5，點 4 與點 3，點 5 與點 3 有顯著差異。



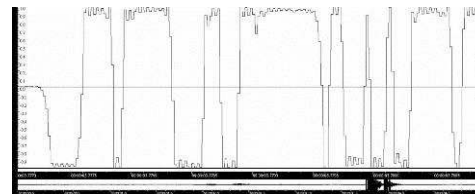
(A)第一點



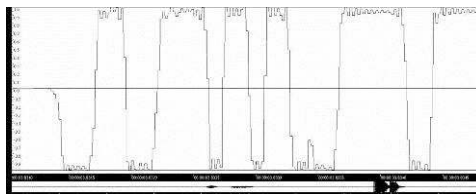
(B)第二點



(C)第三點



(D)第四點



(E)第五點

圖 19:油桐木木琴第二根不同敲擊點 Gold wave 所產生的圖

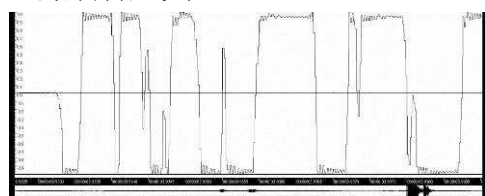


表 19:油桐木木琴第二根不同敲擊點所分析出來的數據由

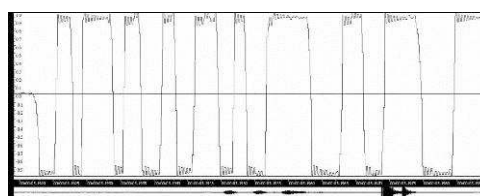
第二根	振幅	音品	頻率
點 1	0.98±0.018	8.20±2.168	1416±1.5
點 2	0.99±0.017	3.60±3.050	1490±2.4
點 3	0.97±0.020	14.20±1.924	763±0.0
點 4	0.98±0.021	8.80±4.764	1142±3.1
點 5	0.97±0.045	5.20±0.447	1546±4.3

### 3.油桐木木琴第三根

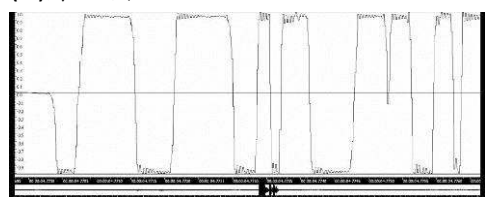
油桐木木琴第三根各點振幅大小差異不大；音品最多的是點 4，音品最少的是點 2；頻率最大的是點 5，頻率最小的是點 3 (如圖 20、表 20)。頻率經 ANOVA 檢測  $F_{(4, 20)}=11.665$ ， $p<0.05$ 。由分析比較可知，點 1 與點 2、點 4，點 2 與點 1、點 3、點 4、點 5，點 3 與點 2、點 4，點 4 與點 2、點 3、點 5，點 5 與點 2、點 4 有顯著差異。



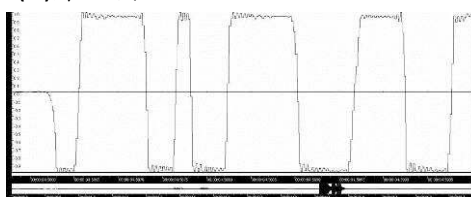
(A)第一點



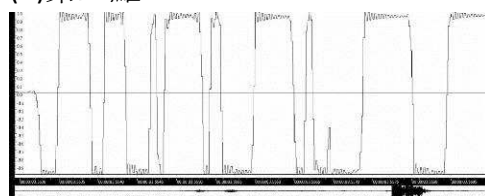
(B)第二點



(C)第三點



(D)第四點



(E)第五點

圖 20:油桐木木琴第三根不同敲擊點 Gold wave 所產生的圖

表 20:油桐木木琴第三根不同敲擊點所分析出來的數據

第三根	振幅	音品	頻率
點 1	0.98±0.023	10.60±3.050	1082±2.6
點 2	0.97±0.020	7.40±3.130	1289±2.4
點 3	0.97±0.021	12.60±1.817	699±0.0
點 4	1.00±0.009	13.60±3.130	885±2.1
點 5	0.99±0.013	8.00±0.707	1366±0.0

### 4.油桐木木琴第四根

油桐木木琴第四根各點振幅大小差異不大；音品最多的是點 3，音品最少的是點 2；頻率最大的是點 2，頻率最小的是點 3 (如圖 21、表 21)。頻率經 ANOVA

檢測  $F_{(4, 20)}=4.680$ ， $p<0.05$ 。由分析比較可知，點 1 與點 3，點 2 和點 3，點 3 與點 1、點 2、點 4、點 5，點 4 與點 3，點 5 與點 3 有顯著差異。

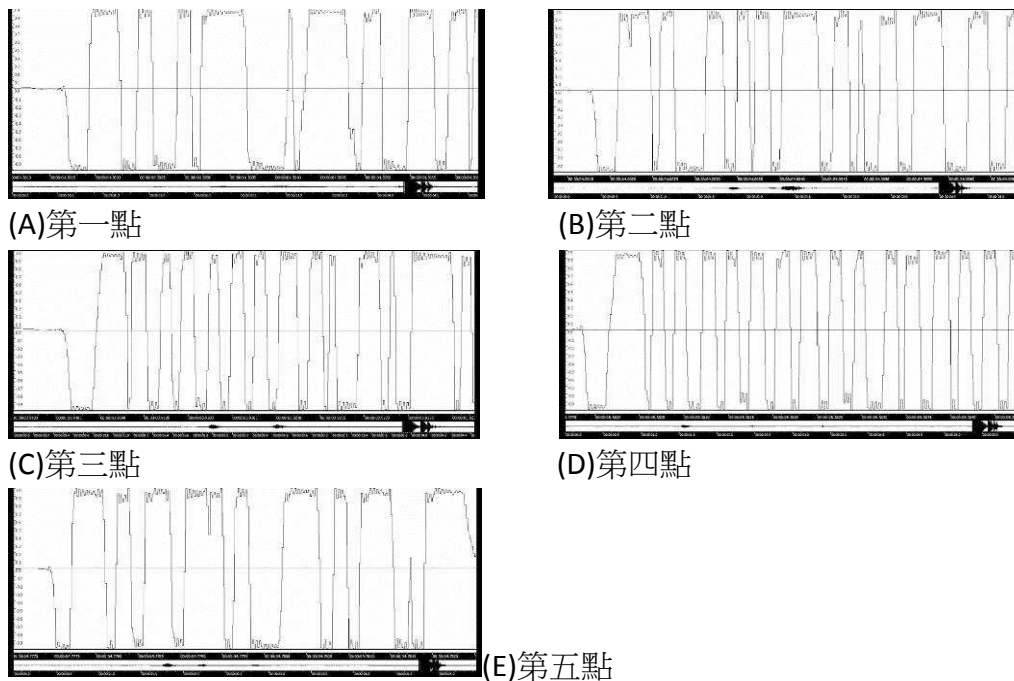


圖 21:油桐木木琴第四根不同敲擊點 Gold wave 所產生的圖

表 21:油桐木木琴第四根不同敲擊點所分析出來的數據

第四根	振幅	音品	頻率
點 1	$0.99\pm 0.013$	$7.40\pm 1.817$	$893\pm 1.4$
點 2	$0.98\pm 0.025$	$6.60\pm 3.050$	$1312\pm 2.1$
點 3	$0.97\pm 0.011$	$9.60\pm 0.894$	$223\pm 2.3$
點 4	$0.98\pm 0.022$	$7.00\pm 1.732$	$1305\pm 1.1$
點 5	$0.99\pm 0.022$	$8.20\pm 0.447$	$1245\pm 2.1$

由以上數據發現，油桐木木琴的頻率較鹽膚木低，5 點敲擊以第 3 點頻率較小，也符合頻率由大至小的規則。

### (三)不同底材

在大理石底材上，油桐木木琴振幅最大的是第二、三、四根，振幅最小的是第一根；音品最多的是第二根，音品最少的是第四根；頻率最大的是第一根，頻率最小的是第四根(如表 22)。頻率經 ANOVA 檢測  $F_{(3, 8)}=2.607$ ， $p<0.05$ 。由分析比較可知，第一根與第四根，第二根和第四根，第三根和第四根，第四根和第一、二、三根有顯著差異。

油桐木木琴在木板底材上振幅最大的是第二、四根，最小的是第一根；音品最多的是第二根，音品最少的是第四根；頻率最大的是第一根，頻率最小的是第四根(如表 23)。頻率經 ANOVA 檢測  $F_{(3, 8)}=0.238$ ， $p>0.05$ 。各根間並無顯著差異。

在鐵桌上油桐木木琴振幅最大的是第一、四根，振幅最小的是第二根；音品最多的是第二根，音品最少的是第三根；頻率最大的是第一根，頻率最小的是

第二根(如表 24)。頻率經 ANOVA 檢測  $F_{(3, 8)}=2.607$ ， $p<0.05$ 。由分析比較可知，第二根與第三根，第三根和第二根有顯著差異。

表 22: 油桐木木琴在大理石底材上不同根第三點所分析出來的數據

油桐木木琴(大理石)	振幅	音品	頻率
第一根	0.86±0.253	10.40±2.074	1055±0.0
第二根	0.97±0.020	14.20±1.924	763±0.0
第三根	0.97±0.021	12.60±1.817	699±0.0
第四根	0.97±0.011	9.60±0.894	223±2.3

表 23: 油桐木木琴在木板底材上不同根第三點所分析出來的數據

油桐木木琴(木板)	振幅	音品	頻率
第一根	0.95±0.006	8.33±1.155	1406±0.0
第二根	0.98±0.026	12.00±1.732	1361±5.4
第三根	0.96±0.017	10.33±1.528	1261±1.2
第四根	0.98±0.029	5.33±0.577	1259±0.0

表 24: 油桐木木琴在鐵板底材上第一組不同根第三點所分析出來的數據

油桐木木琴(鐵板)	振幅	音品	頻率
第一根	0.99±0.011	12.33±4.933	877±3.7
第二根	0.96±0.010	16.33±2.082	730±0.0
第三根	0.98±0.000	10.33±1.528	800±1.1
第四根	0.99±0.012	13.67±10.970	775±8.3

由以上我們發現，油桐木木琴的頻率比鹽膚木木琴低，在不同木頭的點 3 頻率也是較穩定的，所以也以點 3 作為以下實驗敲擊點。油桐木木琴在大理石及鐵板底材時，頻率變化大，但在木板底材時，頻率能符合由大而小的規律，顯示木板底材對油桐木琴也有修飾的效果，且變化較小。

## 五、比較高度不同的音色差異

### (一)高度在 21.2(5.3\*4)cm 的音色

在高度 21.2cm 第一組鹽膚木木琴振幅最大的是第四根，振幅最小的是第一根；音品最多的是第四根，音品最少的是第一根；頻率最大的是第一根，頻率最小的是第四根(如表 25)。

表 25:第一組鹽膚木木琴每一根的点三在 21.2cm 以視波圖整理出的數據

鹽膚木木琴(一)	振幅	音品	頻率
第一根	0.48±0.366	3.78±3.091	2105±2.8
第二根	0.98±0.024	10.00±0.816	917±0.0
第三根	0.99±0.009	11.67±0.471	885±0.0
第四根	1.00±0.000	12.67±0.471	870±1.3

在高度 21.2cm 第二組鹽膚木木琴振幅最大的是第二根，最小的是第四根；音品最多的是第三根，音品最少的是第一根；頻率最大的是第一根，頻率最小的是第四根(如表 26)。

表 26:第二組鹽膚木木琴每一根的点三在 21.2cm 以視波圖整理出的數據

鹽膚木木琴(二)	振幅	音品	頻率
第一根	0.97±0.026	7.00±0.000	1316±0.0
第二根	1.00±0.000	7.67±0.577	1214±0.0
第三根	0.71±0.442	9.67±0.577	1179±0.0
第四根	0.62±0.063	9.00±0.000	1109±0.0

在高度 21.2cm 第一組油桐木木琴振幅最大的是第一根，振幅最小的是第二根；音品最多的是第三根，音品最少的是第一根；頻率最大的是第一根，最小的是第四根(如表 27)。

表 27:第一組油桐木木琴每一根的点三在 21.2cm 以視波圖整理出的數據

油桐木木琴(一)	振幅	音品	頻率
第一根	0.99±0.014	9.00±0.000	1112±0.0
第二根	0.95±0.047	11.67±0.471	1100±5.6
第三根	0.97±0.012	13.00±2.944	1035±5.1
第四根	0.96±0.005	11.00±0.000	752±1.4

## (二)高度在 26.5(5.3 \* 5)cm 的音色

在高度 26.5cm 第一組鹽膚木木琴振幅最大的是第二、四根，振幅最小的是第一根；音品最多的是第三根，音品最少的是第一根；頻率最大的是第一根，頻率最小的是第四根(如表 28)。

表 28:第一組鹽膚木木琴每一根的点三在 26.5cm 以視波圖整理出的數據

鹽膚木木琴(一)	振幅	音品	頻率
第一根	0.80±0.346	7.67±0.577	1238±0.0
第二根	0.99±0.015	8.67±1.155	1159±0.0
第三根	0.98±0.029	10.00±0.000	1063±0.0
第四根	0.99±0.023	9.33±0.577	1033±0.0

在高度 26.5cm 第二組鹽膚木木琴振幅最大的是第二、四根，最小的是第三根；音品最多的是第一根，音品最少的是第三根；頻率最大的是第一根，頻率最小的是第四根(如表 29)。

表 29:第二組鹽膚木木琴每一根的点三在 26.5cm 以視波圖整理出的數據

鹽膚木木琴(二)	振幅	音品	頻率
第一根	0.96±0.010	10.00±4.359	1175±4.1
第二根	0.99±0.023	6.67±1.155	1172±0.0
第三根	0.58±0.383	6.00±4.359	1076±0.0
第四根	0.99±0.012	8.67±1.528	1066±0.0

在高度 26.5cm 第一組油桐木木琴振幅最大的是第二、三根，振幅最小的是第一根；音品最多的是第二根，音品最少的是第四根；頻率最大的是第四根，最小的是第三根(如表 30)。

表 30:第一組油桐木木琴每一根的点三在 26.5cm 以視波圖整理出的數據

油桐木木琴(一)	振幅	音品	頻率
第一根	0.98±2.648	7.67±3.055	1214±3.2
第二根	1.00±0.000	13.00±1.000	1000±0.0
第三根	1.00±0.006	11.67±0.577	952±0.0
第四根	0.99±0.006	5.67±0.577	1307±0.0

(三)高度在 37.1(5.3\*7)cm 的音色

在高度 37.1cm 第一組鹽膚木木琴振幅最大的是第一根，振幅最小的是第二、三、四根；音品最大的是第三根，音品最少的是第一根；頻率最大的是第一根，最小的是第三根(如表 31)。

表 31:第一組鹽膚木木琴每一根的点三在 37.1cm 以視波圖整理出的數據。

鹽膚木木琴(一)	振幅	音品	頻率
第一根	1.00±0.000	7.76±0.577	1618±0.0
第二根	0.98±0.025	8.67±0.577	1431±0.0
第三根	0.98±0.026	11.33±0.577	1148±0.0
第四根	0.98±0.029	10.33±2.082	1266±0.0

在高度 37.1cm 第二組鹽膚木木琴振幅最大的是第二根，振幅最小的是第一、三根；音品最多的是第三根，音品最少的是第四根；頻率最大的是第四根，最小的是第三根(如表 32)。

表 32 :第二組鹽膚木木琴每一根的点三在 37.1cm 以視波圖整理出的數據

鹽膚木木琴(二)	振幅	音品	頻率
第一根	0.97±0.010	7.76±0.577	1307±0.0
第二根	1.00±0.000	9.33±0.577	1229±0.0
第三根	0.97±0.029	10.33±1.528	1080±0.0
第四根	0.99±0.012	7.67±0.577	1342±0.0

在 37.1cm 的第一組油桐木木琴振幅最大的是第一、二根，振幅最小的是第三根；音品最多的是第二根，音品最少的是第一根；頻率最大的是第四根，最小的是第二根(如表 33)。

表 33 :第一組油桐木木琴每一根的点三在 37.1cm 以視波圖整理出的數據

油桐木木琴(一)	振幅	音品	頻率
第一根	1.00±0.000	9.00±0.000	1140±0.0
第二根	1.00±5.774	12.67±5.774	893±0.0
第三根	0.98±2.517	12.33±1.528	1075±7.2
第四根	0.99±1.155	11.33±1.155	1351±5.6

(四)高度在 42.7(5.3\*8)cm 的音色

在高度 42.7cm 第一組鹽膚木木琴振幅最大的是第三根，振幅最小的是第一根；音品最大的是第三根，音品最少的是第一根；頻率最大的是第一根，最小的是第四根(如表 34)。

表 34:第一組鹽膚木木琴每一根的点三在 42.7cm 以視波圖整理出的數據。

鹽膚木木琴(一)	振幅	音品	頻率
第一根	0.40±0.480	3.67±2.082	1751±3.4
第二根	0.96±0.015	6.67±0.577	1028±1.4
第三根	0.98±0.029	9.33±0.577	990±0.0
第四根	0.96±0.026	8.33±0.577	285±4.5

在高度 42.7cm 第二組鹽膚木木琴振幅最大的是第二根，振幅最小的是第一、四根；音品最多的是第三根，音品最少的是第四根；頻率最大的是第一根，最小的是第四根 (如表 35)。

表 35 :第二組鹽膚木木琴每一根的点三在 42.7cm 以視波圖整理出的數據

鹽膚木木琴(二)	振幅	音品	頻率
第一根	0.96±0.025	9.00±4.359	1458±1.5
第二根	1.00±0.000	9.00±0.000	1414±0.0
第三根	0.98±0.029	10.00±1.000	1244±0.0
第四根	0.96±0.032	7.33±1.528	1186±2.0

在 42.7cm 的第一組油桐木木琴振幅最大的是第一、二、三根，振幅最小的是第四根；音品最多的是第二根，音品最少的是第一根；頻率最大的是第一根，最小的是第四根(如表 36)。

表 36 :第一組油桐木木琴每一根的点三在 42.7cm 以視波圖整理出的數據

油桐木木琴(一)	振幅	音品	頻率
第一根	0.98±0.029	9.33±1.528	1082±0.0
第二根	0.98±0.015	12.33±1.528	1000±0.0
第三根	0.98±0.021	11.67±0.544	952±0.0
第四根	0.96±0.577	11.33±0.544	847±0.0

#### (五)高度在 47.7(5.3\*9)cm 的音色

在高度 47.7cm 第一組鹽膚木木琴振幅最大的是第三根，振幅最小的是第一根；音品最大的是第三、四根，音品最少的是第一根；頻率最大的是第一根，最小的是第四根 (如表 37)。

表 37:第一組鹽膚木木琴每一根的点三在 47.7cm 以視波圖整理出的數據

鹽膚木木琴(一)	振幅	音品	頻率
第一根	0.96±0.025	4.67±0.577	1342±0.0
第二根	0.98±0.021	7.00±0.000	1244±0.0
第三根	0.99±0.010	8.00±0.000	1055±0.0
第四根	0.97±0.029	8.00±1.000	1045±0.0

在高度 47.7cm 第二組鹽膚木木琴振幅最大的是第三根，振幅最小的是第一、二、四根；音品最多的是第三根，音品最少的是第二根；頻率最大的是第一根，最小的是第四根(如表 38)。

表 38:第二組鹽膚木木琴每一根的点三在 47.7cm 以視波圖整理出的數據

鹽膚木木琴(二)	振幅	音品	頻率
第一根	0.98±0.026	8.00±1.000	1565±2.0
第二根	0.98±0.029	7.33±0.577	1387±1.1
第三根	1.00±0.000	10.33±1.528	1361±0.0
第四根	0.98±0.029	8.33±2.517	1342±1.5

在 47.7cm 的第一組油桐木木琴振幅最大的是第二、三、四根，振幅最小的是第一根；音品最多的是第二根，音品最少的是第一根；頻率最大的是第一根，最小的是第四根 (如表 39)。

表 39:第一組油桐木木琴每一根的点三在 47.7cm 以視波圖整理出的數據

油桐木木琴(一)	振幅	音品	頻率
第一根	0.99±0.014	8.67±0.707	1145±1.9
第二根	1.00±0.000	13.00±0.707	962±0.0
第三根	1.00±0.000	12.33±0.000	926±0.0
第四根	1.00±0.000	11.67±0.000	885±0.0

#### (六)高度在 53(5.3 \* 10)cm 的音色

第一組鹽膚木木琴在 53cm 振幅最大的是第三根，振幅最小的是第一根；音品最多的是第三、四根，音品最少的是第一根；頻率最大的是第一根，頻率最小的是第三根(如表 40)。

表 40:第一組鹽膚木木琴每一根的点三在 53cm 以視波圖整理出的數據

鹽膚木木琴(一)	振幅	音品	頻率
第一根	0.78±0.323	7.67±0.577	1214±0.0
第二根	0.97±0.026	8.00±1.000	1033±0.0
第三根	1.00±0.006	9.67±0.577	1000±0.0
第四根	0.99±0.010	9.67±1.528	1005±0.0

由 Gold Wave 分析所發現，鹽膚木木琴振幅四根數值接相同；音品最多的是第四根，音品最少的是第一根；頻率最大的是第一根，最小的是第二根(如表 41)。

表 41:第一組鹽膚木木琴每一根的点三在 53cm 以視波圖整理出的數據

鹽膚木木琴(二)	振幅	音品	頻率
第一根	0.97±0.020	7.00±0.000	1387±0.0
第二根	0.97±0.015	8.00±1.732	1221±0.0
第三根	0.97±0.026	8.33±0.577	1244±0.0
第四根	0.97±0.042	9.00±1.000	1325±0.0

油桐木木琴振幅最大的是第二根，振幅最小的是第三根；音品最多的是第二根，音品最少的是第三根；頻率最大的是第一根，最小的是第三根(如表 42)。

表 42:第一組油桐木木琴每一根的点三在 53cm 以視波圖整理出的數據

油桐木木琴(一)	振幅	音品	頻率
第一根	0.97±0.025	10.67±1.155	1049±0.0
第二根	1.00±0.577	12.33±1.528	961±0.0
第三根	0.95±1.155	10.00±0.000	943±0.0
第四根	0.97±0.026	12.00±1.732	990±0.0

(七)高度在 68.9(5.3\*13)cm 的音色

在高度 68.9cm 第一組鹽膚木木琴振幅最大的是第三根，振幅最小的是第一根；音品最多的是第三根，音品最少的是第一根；頻率最大的是第一根，最小的是第四根(如表 43)。

表 43:第一組鹽膚木木琴每一根的点三在 68.9cm 以視波圖整理出的數據

鹽膚木木琴(一)	振幅	音品	頻率
第一根	0.95±0.000	4.67±0.557	1085±2.7
第二根	0.97±0.020	9.00±1.000	1041±0.0
第三根	0.99±0.023	9.67±1.528	1033±0.0
第四根	0.97±0.026	8.33±1.528	1015±0.0

在高度 68.9cm 第二組鹽膚木木琴振幅最大的是第三根，振幅最小的是第二根；音品最多的是第三根，音品最少的是第一根；頻率最大的是第一根，最小的是第四根(如表 44)。

表 44:第二組鹽膚木木琴每一根的点三在 68.9cm 以視波圖整理出的數據

鹽膚木木琴(一)	振幅	音品	頻率
第一根	0.96±0.036	6.67±0.557	2123±0.0
第二根	0.71±0.468	8.67±1.155	1639±0.0
第三根	0.97±0.029	10.67±1.155	1431±0.0
第四根	0.96±0.036	9.00±1.000	1145±0.0

在高度 68.9cm 第一組油桐木木琴振幅最大的是第二、三根，振幅最小的是第一根；音品最多的是第二根，音品最少的是第一根；頻率最大的是第一根，最小的是第四根 (如表 45)。

表 45:第一組油桐木木琴每一根的点三在 68.9cm 以視波圖整理出的數據

油桐木木琴(一)	振幅	音品	頻率
第一根	0.97±0.029	9.00±1.000	1085±0.0
第二根	1.00±0.000	13.33±0.557	1020±0.0
第三根	1.00±0.000	11.67±0.557	990±0.0
第四根	0.99±0.012	10.67±2.082	952±0.0

(八)高度在 74.2(5.3\*14)cm 的音色

在高度 74.2cm 第一組鹽膚木木琴振幅最大的是第三、四根，振幅最小的是第二根；音品最多的是第三根，音品最少的是第一根；頻率最大的是第三根，最小的是第四根 (如表 46)。



表 46:第一組鹽膚木木琴每一根的点三在 74.2cm 以視波圖整理出的數據

鹽膚木木琴(一)	振幅	音品	頻率
第一根	0.78±0.289	4.33±0.557	2632±0.0
第二根	0.48±0.858	7.00±1.000	1186±0.0
第三根	0.98±0.020	8.33±0.577	1127±0.0
第四根	0.98±0.015	6.67±0.577	1000±0.0

在高度 74.2cm 第二組鹽膚木木琴振幅最大的是第二根，振幅最小的是第三根；音品最多的是第二根，音品最少的是第一、四根；頻率最大的是第三根，最小的是第二根 (如表 47)。

表 47:第二組鹽膚木木琴每一根的点三在 74.2cm 以視波圖整理出的數據

鹽膚木木琴(二)	振幅	音品	頻率
第一根	0.98±0.015	7.00±0.000	1325±0.0
第二根	1.00±0.000	8.33±0.577	1316±0.0
第三根	0.97±0.006	7.67±0.577	1244±0.0
第四根	0.98±0.029	7.00±1.000	1229±1.5

在高度 74.2cm 第一組油桐木木琴振幅最大的是第一、二根，振幅最小的是第三根；音品最多的是第一根，音品最少的是第四根；頻率最大的是第一根，最小的是第四根 (如表 48)。

表 48:第一組油桐木木琴每一根的点三在 74.2cm 以視波圖整理出的數據

油桐木木琴(一)	振幅	音品	頻率
第一根	0.99±0.017	10.33±1.155	1186±0.0
第二根	0.99±0.015	9.67±0.577	1179±0.0
第三根	0.96±0.023	8.33±1.528	1068±1.1
第四根	0.97±0.029	7.67±0.577	952±1.6

#### (九)高度在 84.8(5.3 \* 16)cm 的音色

在高度 84.8cm 第一組鹽膚木木琴振幅最大的是第一、三根，振幅最小的是第二根；音品最大的是第三根，音品最少的是第一根；頻率最大的是第一根，最小的是第三根(如表 49)。

表 49:第一組鹽膚木木琴每一根的点三在 84.8cm 以視波圖整理出的數據

鹽膚木木琴(一)	振幅	音品	頻率
第一根	0.98±0.012	6.67±0.557	1669±0.0
第二根	0.96±0.023	8.67±0.577	1353±0.0
第三根	0.98±0.020	9.33±0.577	1266±0.0
第四根	0.97±0.021	8.67±1.155	1289±0.0

在高度 84.8cm 第二組鹽膚木木琴振幅最大的是第一根、第三根，振幅最小的是第二根；音品最多的是第三根，音品最少的是第一根；頻率最大的是第一根，最小的是第三根(如表 50)。

表 50:第二組鹽膚木木琴每一根的点三在 84.8cm 以視波圖整理出的數據

鹽膚木木琴(二)	振幅	音品	頻率
第一根	0.98±0.012	6.67±0.577	1618±0.0
第二根	0.96±0.023	8.67±0.577	1361±0.0
第三根	0.98±0.021	9.00±1.000	1271±0.0
第四根	0.97±0.021	8.67±1.155	1302±0.0

在 84.8cm 的第一組油桐木木琴振幅最大的是第四根，振幅最小的是第一、二、三根；音品最多的是第二、三根，音品最少的是第一、四根；頻率最大的是第一根，最小的是第三根(如表 51)。

表 51:第一組油桐木木琴每一根的点三在 84.8cm 以視波圖整理出的數據

油桐木木琴(一)	振幅	音品	頻率
第一根	0.98±0.029	9.67±0.577	1511±0.0
第二根	0.98±0.029	10.00±1.732	1416±0.0
第三根	0.98±0.029	10.00±2.000	1277±0.0
第四根	1.00±0.000	9.67±1.528	1479±1.3

#### (十)高度在 100.7(5.3 \* 19)cm 的音色

在高度 100.7cm 第一組鹽膚木木琴振幅最大的是第三根，振幅最小的是第一根；音品最大的是第三根，音品最少的是第一根；頻率最大的是第一根，最小的是第三根(如表 52)。

表 52:第一組鹽膚木木琴每一根的点三在 100.7cm 以視波圖整理出的數據

鹽膚木木琴(一)	振幅	音品	頻率
第一根	0.95±0.006	6.33±0.577	1757±0.0
第二根	0.98±0.021	7.33±1.155	1504±0.0
第三根	1.00±0.006	9.67±0.577	1304±1.6
第四根	0.96±0.010	9.00±0.000	1447±0.0

在高度 100.7cm 第二組鹽膚木木琴振幅最大的是第一根，振幅最小的是第二根；音品最多的是第四根，音品最少的是第一根；頻率最大的是第四根，最小的是第一根(如表 53)。

表 53:第二組鹽膚木木琴每一根的点三在 100.7cm 以視波圖整理出的數據

鹽膚木木琴(二)	振幅	音品	頻率
第一根	6.33±0.336	6.33±4.619	990±8.7
第二根	0.95±0.006	7.33±0.577	1639±0.0
第三根	0.96±0.023	8.33±1.528	1539±0.0
第四根	0.98±0.026	10.00±1.000	1701±0.0

在高度 100.7cm 的第一組油桐木木琴振幅最大的是第一根，振幅最小的是第三、四根；音品最多的是第二根，音品最少的是第四根；頻率最大的是第四根，最小的是第二根(如表 54)。

表 54:第一組油桐木木琴每一根的点三在 100.7cm 以視波圖整理出的數據

油桐木木琴(一)	振幅	音品	頻率
第一根	1.00±0.000	9.67±2.082	1451±0.0
第二根	0.99±0.012	11.00±1.000	1340±0.0
第三根	0.97±0.029	9.67±1.155	1408±0.0
第四根	0.97±0.026	9.33±0.577	1504±0.0

在不同高度所顯現的振幅，鹽膚木木琴變化較大，由 0.48~1，而油桐木木琴的振幅變化不大。由頻率發現，高度在 21.2、42.7、68.9cm 時，三組木琴的頻率都能符合頻率由大至小的規範，顯示這三個高度都能將木琴音色規則的表現出來。

## 陸、討論

敲擊樂器可以說是最古老，最原始的樂器，幾乎可見於任何民族的傳統音樂中。只要能以手敲擊發聲的物體都可以成為打擊樂器家族的一員，因此打擊樂器的種類特別多。但我們基本上可以將其分為兩類：(1) 無調打擊樂器；(2) 有調打擊樂器。無調打擊樂器的音高是固定不變的，常見於管樂團例如：大鼓、響板、三角鐵等；有調打擊樂器則指音高富於變化，可演奏旋律的，常見的有定音鼓、木琴、鐵琴等等。而太魯閣木琴的音高是可變，會因為振動部位不同，高低音結果也會不同，這可由實驗一及實驗二獲得證明。這和邵族的杵音(張叡珊等，2009)敲擊地面振動發出聲音有類似的原理，而和賽夏族臀鈴(劉欣霏，2014)是產生空氣柱發出聲音是不同的。西洋樂器以鐵琴片和太魯閣木琴最為相似，但它的音板數量多且尺寸長短變化大，發出音調也較多變化，而太魯閣木琴只由四根木頭組成，每根木頭都有其獨特性、非均質的材料，由製琴師的經驗削製而成，缺乏標準化的檢驗。

經由我們實驗發現太魯閣木琴有四個音階，分別為 Re、Mi、Sol、La，這和邵族杵音有 6~8 音程不同，並且太魯閣木琴敲擊不同部位，頻率會有所不同，而邵族杵音不能改變振動頻率只有響度不同。我們以樂音的三要素來看：響度是波的振幅，振幅愈大響度就愈大，太魯閣木琴每一根木頭，在實驗中的五個敲擊點，產生的響度都差不多(皆為 1 左右)，顯示傳播的能力都相當，音調是波的頻率(頻率愈大音調就愈高)，太魯閣木琴的木頭愈短，音調就愈高(範圍為 943Hz~1626Hz)，且敲擊不同點所產生的頻率也不同(兩側頻率高，中間頻率低)；音品是波的波形(音質的不同)，太魯閣木琴不同根木頭或不同點敲擊出來的波形就不同，顯示木琴是個充滿變化的樂器。

我們將測得的頻率對比標準音高表(王柏村等，2009)，發現第一組鹽膚木木琴頻率誤差都在 10% 以內，所以表示敲出的音色會符合 Re、Mi、Sol、La 四音階的規範。第二組鹽膚木木琴的頻率誤差在 9% 以內，所以表示敲出的音色會符合 Re、Mi、Sol、La 三音階的規範。第一組油桐木木琴頻率誤差第一根及第四根誤差較大，而第二根及第三根頻率誤差都在 6% 以內，表示敲出的音色會符合 Mi、

Sol 兩音階的規範 (表 55) ，依照謝明君 (2010) 提到，在完美條件下，大多數人可以聽到 0.3% 的頻率改變，所以將木琴的音色訂定標準是必要的，如此才能找出它每一點的標準，使木琴的製作都有相類似的品質。

表 55: 不同組樂琴音階比較表

		目標頻率 (Hz)	量測頻率 (Hz)	頻率誤差	頻率差值
第一組 鹽膚木木琴	第一根	1760	1626	-0.053	-94
	第二根	1176	1043	-0.113	-133
	第三根	988.8	990	0.001	1.2
	第四根	881.1	943	0.070	61.9
第二組 鹽膚木木琴	第一根	1760	1742	-0.010	-18
	第二根	1176	1206	0.026	30
	第三根	1648	1799	0.092	151
	第四根	1762.2	1789	0.015	26.8
第一組 油桐木木琴	第一根	1320	1055	-0.201	-265
	第二根	784	763	-0.027	-21
	第三根	659.2	699	0.060	39.8
	第四根	293.7	223	-0.241	-70.7

我們實驗發現當底部材質不同，所測得的樂音差異不大，但底質為鐵片時較為刺耳，這可能與振動後音波傳導至空氣，再傳導至底材，在傳至耳朵的過程中，會先由木琴先傳至空氣再到耳朵先聽到，所以差異不大，而由錄音儀器測量到的數據，可能是由第一個波及經地面反射後的波重疊而成，當地面的底材不同時，反射波有時間差異，重疊後的聲音就可能會有修飾或破壞的效果，所以我們認為在底部放置一木板，可以修飾木琴音色(能符合頻率由大至小的規則)，且各根木頭頻率也相近

早期木琴是直接在地上做敲打的动作，這樣樂器不但容易壞，演奏過程中還會因為敲打而跳來跳去，所以現在會拿魔鬼氈來固定木頭，及放置在架子上，是為了要保護它，而把木琴架高後，會增加聲音的空間，使樂音聽起來有餘音繞樑的感覺，高度在 21.2、42.7、68.9cm 時，三組木琴的頻率都能符合頻率由大至小的規範(表 56)。所以我們認為可以把木琴增加一個 69cm 的木架(方便站著操作)，會使得木琴聽起來更悅耳。推測和聲波的稠密部與疏密部的位置有關，能有規律的高度，應是四支木頭敲擊後，錄音的位置能在稠密部。

表 56:三組木琴在不同高度能否符合頻率規則(\* 為符合規則)

高度	組別	第一組鹽膚木木琴	第二組鹽膚木木琴	第一組油桐木木琴
基本音 5.3 cm(0+1)		*		*
木板 5.3 cm (0+1)		*	*	*
鐵板 5.3 cm (0+1)		*		

第 1 個高度 21.2 cm(3+1)	*	*	*
第 2 個高度 26.5 cm(4+1)	*	*	
第 3 個高度 37.1 cm(6+1)			
第 4 個高度 42.4 cm(7+1)	*	*	*
第 5 個高度 47.7 cm(8+1)	*	*	*
第 6 個高度 53.0 cm(9+1)			
第 7 個高度 68.9 cm(12+1)	*	*	*
第 8 個高度 74.2 cm(13+1)	*	*	*
第 9 個高度 84.8 cm(15+1)			
第 10 個高度 100.7 cm(18+1)			

太魯閣木琴製作過程繁複，採集到的木材需先晾乾，再把木材裁到大概 45 公分左右開始抓音，抓音是比較困難的部份，一般要音感較好的師傅且要先懂得歌曲性質，要清楚知道每個音階的音才能配合曲調的音色及旋律，這對於推廣及保持原住民文化是很大的阻力，所以我們找出四根木頭的不同敲擊點，做出標準音色，只要能符合的就能製造出品質穩定的木琴，我們可以根據各點的頻率範圍用來檢驗削製出的木琴音程是否正確，可以使用手機的軟體(Frequency Counter) 做頻率的檢測(如圖 22)，就能知道木琴的發音頻率是否符合標準，使製作出的木琴品質穩定，也能夠讓製琴師和對製作木琴有興趣的民眾能簡便的製出品質優良的木琴，使文化能傳承推廣。



圖 22: 以使用手機 APP 軟體測試頻率

## 柒、結論

- 一、木琴的基本音色(基音)，可分為四音，頻率範圍為 943Hz~1626Hz。
- 二、敲擊同支木頭 5 點不同位置，樂音有顯著差異，可能與木頭厚度不均有關，敲擊在中間位置時，頻率較為穩定規律。
- 三、底材為木板或鐵板時，會使頻率增加，木板的頻率較穩定但鐵板較刺耳。
- 四、木頭材質不同時，音色有顯著差異，鹽膚木材質較輕脆，油桐木較低沉。
- 五、高度在 21.2、42.7、68.9cm 時，三組木琴的頻率都能符合由大至小的規範。

## 捌、參考文獻

- 一、劉欣霽、林郁煢、劉欣玫。2014。如鈴聲曼妙～賽夏族臀鈴與安克隆竹琴的律動共鳴協奏曲。第 54 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 二、張叡珊、尤寶淑、張庭鳳、游子慧。2009。搗杵之音。第 49 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 三、自然與生活科學第三冊。2014。第三章波動聲音。南一出版社。
- 四、王栢村，林怡馨，2007，「以加速度計與麥克風為感測器之鐵琴片實驗模態分析比較」，中華民國力學學會第三十一屆全國力學會議，高雄。
- 五、謝明君、翟大鈞、黃耿凌、江俊明，2010，普通物理，台北。
- 六、台灣原住民族文化知識網 傳統樂器的介紹 - 太魯閣木琴  
<http://www.knowledge.ipc.gov.taipei/ct.asp?xItem=1001800&CtNode=17251&mp=cb01>

## 【評語】 030121

探討太魯閣木琴的特殊音色具科學與文化傳承的意義。作者研究用心，數據充分，分析也合理，表現說明出色，經評定給予佳作之獎勵。