

第十屆 原住民雲端科展 書面報告

棒打沓互-報喜傳愛

參展編號：2018043



破釜陳周 團隊

2019/4/12

目錄

壹、	緣起.....	6
貳、	團隊介紹.....	6
一、	少多宜・篩代 老師.....	6
二、	田秀禾 老師.....	6
三、	周善牧.....	7
四、	陳子安.....	7
參、	研究動機.....	7
肆、	研究目的.....	8
伍、	研究工具及耗材.....	9
一、	製作竹管沓互工具及耗材.....	9
二、	製作紙管沓互工具及耗材.....	10
三、	製作實驗拍擊器工具及耗材.....	11
四、	量測工具.....	12
陸、	沓互文化意涵.....	13
一、	安排台東行.....	13
二、	訪談耆老.....	13
三、	聽耆老說故事.....	13
	(一)、 什麼是沓互.....	13
	(二)、 傳統沓互文化.....	14
	(三)、 沓互樂團的由來.....	14
	(四)、 過去與現在的功能差異.....	14
	(五)、 沓互文化傳承的期許.....	14
柒、	製作竹管沓互.....	15

一、	山林取材.....	15
	(一)、 製作桂冠.....	15
	(二)、 祈禱吟唱.....	15
	(三)、 認識竹子，刺竹.....	15
	(四)、 鋸竹子過程.....	16
	(五)、 演奏傳統形式沓互.....	16
二、	製作過程.....	16
	(一)、 量測管長及管深.....	16
	(二)、 打穿竹節並去除竹膜.....	16
	(三)、 修補竹管裂痕.....	17
	(四)、 去除外部竹節.....	17
	(五)、 清洗竹管.....	17
	(六)、 塗保護漆.....	17
	(七)、 調音.....	18
	(八)、 裝飾及組合.....	18
	(九)、 完工演奏.....	18
三、	小結.....	19
四、	感想.....	19
	(一)、 子安的感想.....	19
	(二)、 善牧的感想.....	19
捌、	拍擊器製作.....	20
一、	構想討論.....	20
	(一)、 尋找拍擊器核心.....	20
	(二)、 如何把拍子固定在捕鼠夾上？.....	20
	(三)、 底座設計.....	20
	(四)、 如何固定沓互？.....	21

二、	製作拍擊器.....	21
(一)、	製作拍子.....	21
(二)、	製作老鼠夾拍擊器.....	21
三、	製作拍擊器底座.....	22
四、	調整高度.....	23
玖、	實驗項目、過程及結果.....	24
一、	實驗構想.....	24
(一)、	為什麼用紙管進行實驗？.....	24
(二)、	為什麼著重於音階基頻及音色之比較？.....	24
(三)、	為什麼不跟竹製柷互進行比較？.....	24
(四)、	我們量測到的數據精準嗎？容許誤差範圍 2%.....	25
二、	實驗 1：製作 C 大調紙管柷互.....	25
(一)、	說明.....	25
(二)、	製作泡棉活塞.....	25
(三)、	調整管深及量測頻率.....	26
(四)、	製作支撐紙管.....	26
三、	實驗 2：「管壁厚度」是否影響「音階基頻」及「音色」？.....	28
(一)、	說明.....	28
(二)、	測試標的.....	28
(三)、	音階基頻量測數據.....	28
(四)、	音色量測數據.....	29
(五)、	結論探討.....	30
四、	實驗 3：「內徑大小」是否影響「音階基頻」及「音色」？.....	31
(一)、	說明.....	31
(二)、	測試標的.....	31
(三)、	音階基頻量測數據.....	31

(四)、	音色量測數據.....	32
(五)、	結論探討.....	33
五、	實驗 4：「管深」是否影響「音色」(各管「泛音」組成是否相似)？.....	34
(一)、	說明.....	34
(二)、	測試標的.....	34
(三)、	音色量測數據.....	34
(四)、	結論探討.....	38
六、	基頻實驗 5：「拍擊力道」是否影響「音階基頻」及「音色」？.....	39
(一)、	說明.....	39
(二)、	測試標的.....	39
(三)、	音階基頻量測數據.....	39
(四)、	音色量測數據.....	39
(五)、	結論探討.....	41
七、	實驗 6：不同「材質」是否影響「音階基頻」及「音色」？.....	42
(一)、	說明.....	42
(二)、	測試標的.....	42
(三)、	音階基頻量測數據.....	42
(四)、	音色量測數據.....	43
(五)、	結論探討.....	44
八、	實驗 7：紙管單/雙邊開口的「音階基頻」及「音色」是否存在差異？.....	45
(一)、	說明.....	45
(二)、	測試標的.....	45
(三)、	音階基頻量測數據.....	45
(四)、	音色量測數據.....	46
(五)、	結論探討.....	47
九、	實驗 8：兩倍管深紙管是否差八度音？.....	48

(一)、	說明.....	48
(二)、	測試標的.....	48
(三)、	管深兩倍音階基頻量測數據.....	48
(四)、	結論探討.....	49
十、	實驗結果統整.....	50
十一、	附圖：紙筒沓互構造及其音階示意.....	51
壹拾、	推廣沓互文化.....	51
壹拾壹、	總結與建議.....	53
一、	總結.....	53
二、	建議.....	53
壹拾貳、	參考文獻.....	54

壹、緣起

一個是會演奏杵互的我（子安），一個是阿美族的他（善牧），我們心裡同樣乘載的是對於阿美族傳統文化的熱情與責任感。我們曾一起在台北市凱達格蘭文化館學習製作排笛、橫笛以及竹鼓，而這次我們兩個更激發出一個瘋狂的想法，就是期望透過這次的文化、音樂及科學的探討，能更瞭解杵互（竹鐘）的過去與未來以及它所賦予的文化傳承的應用與價值，不僅如此，我們開始思索這個極具傳統價值意義的樂器，是否有可能經由研究的過程，找到更有利於推廣阿美族文化的可能性。正如少多宜團長在部落中所強調的價值所在：「杵互是傳喜報愛的工具」。

貳、團隊介紹

本團隊由少多宜·篩代以及田秀禾兩位指導老師帶領學生周善牧及陳子安一起原住民科展的初體驗，在兩位老師的帶領之下，研究關於阿美族的杵互文化以及探討樂器本身的科學原理，下列為團隊成員的簡介：

一、少多宜·篩代 老師

少多宜老師為阿美族知名音樂人，多年來耕耘原住民文化之保留及推廣，身為音樂工作者，他創立「AMIS 杵互樂團」並擔任團長，不僅精熟原住民傳統樂器，更藉由原住民音樂與國內社會大眾對話，同時也積極參與國際音樂文化交流，致力於推廣原住民樂音不餘遺力。

本次研究中，少多宜老師主要擔任文化指導，工作項目包含部落杵互文化採訪規劃及製作杵互指導，並擔任耆老傳授杵互傳統文化及未來期許，輔導確認文化及作品的關聯性等。

二、田秀禾 老師

田秀禾老師曾為國民中學之專業特教老師，目前為非學校實驗型教育之科學教師，從小熱愛探索新事物，思考更有效率的做事方法是她的樂趣，延伸不同的領域的學習是她的好奇所在。由於原住民文化開展了新領域的學習，此次將帶領學生一起在做中學學習及成長。

本次研究主要擔任專案管理及實驗指導，工作項目包含團隊聯繫、報名事宜、團隊進程規劃、行政事務規劃、實驗及採訪監督、指導及確認作品方向等。

三、 周善牧

周善牧同學目前為小學六年級的自主學習學生，為台東阿美族人，是自幼在台北成長的都市原住民，有感於自身原住民身份認同，不僅學習族語及其文化，更希望能藉著這次的研究，能進一步認識自己的部落和文化。期許自己未來能帶領更多人來認識阿美族的文化，並自信於阿美族文化傳承，以身為阿美族感到驕傲。

本次研究主要擔任採訪紀錄執行人及實驗輔助者，工作項目包含構想書初稿撰寫、作品報告初稿撰寫、製作樂器、數據量測輔助、部落文化記錄攝影、採訪耆老規劃、財務管理以及工作日誌紀錄等。

四、 陳子安

陳子安同學為七年級之自主學習學生，喜好農耕、登山、自然科學、手作紙藝及音樂。因喜好原住民傳統樂器及文化，目前參加 AMIS 沓互樂團已逾五年，並在小學修習阿美族語，除演奏樂器外也熱愛沓互「自己的樂器自己做」的精神，並曾隨團參與大小型公開演出，不僅喜歡沓互的樂音並於多次出國學習時於美國推廣分享阿美族小型樂器（排笛及橫笛）的製作及演奏。期許自己未來推廣阿美族的沓互文化及演奏。

本次研究主要擔任實驗主執行人，工作項目包含構想書初稿撰寫、實驗報告初稿撰寫、物料管理、樂器製作、樂器管理、樂器演奏、實驗規劃及設計、數據量測等。

參、 研究動機

「棒打沓互報佳音」，一個源自於阿美族部落報喜傳訊的工具，經由一群深愛原音的人們，從過往到今日持續的傳遞著美妙的樂音，是阿美族人間的傳統傳承，也同時是文化間的互動與對話。當聽到這樣的佳音，我們嘗試承接起來並且傳遞給下一個人，是我們期望能做到的。因此，我們希望能透過沓互樂器的實際製作與科學原理研究過程來了解阿美族文化的智慧。我們也希望透過親師生團隊合作進行創意思考，研發更具輕便環保的材質，以利為阿美族音樂文化推廣盡一份心力。

本研究的動機主要想要學習到三個主要核心概念：

1. 可溯性

本作品秉持部落精神文化，將藉由與耆老互動中如實記載「杳互」與部落文化的關係與傳統價值，並積極尋求創新下的傳統延續。

2. 可及性

本作品將以思考推廣部落文化為其出發點，使初次接觸該文化的人能降低距離感（例如樂器材料取得的容易）。

3. 可能性

期望本作品不僅在文化、音樂甚至是教育上，能貢獻一點成果，開啟「杳互」更多的可能性。

肆、 研究目的

具體來說，我們希望達到以下之研究目的：

1. 探究杳互（竹鐘）在阿美族傳統文化中之意義。
2. 探究杳互（竹鐘）之科學與製作原理。
3. 研究以替代材料（紙管及 PVC 管）製作杳互（竹鐘）之可行性。
4. 研究成果可作為原住民族音樂文化推廣之用。

伍、 研究工具及耗材

一、 製作竹管沓互工具及耗材

名稱	照片&說明	名稱	照片&說明
刺竹		三秒膠	
	製作竹管沓互的材料		修補竹管的裂縫
量測棒		鋸子	
	初步量測竹管的大概深度		鋸竹管用
保護漆		砂輪機	
	刷在竹管內外進行保護		調音及磨竹管用
砂紙		奇異筆	
	將修補裂縫過後的竹管磨平		標示用
鐵棒		電工膠布	
	用來打穿竹節		貼在竹管兩端，裝飾兼保護作用

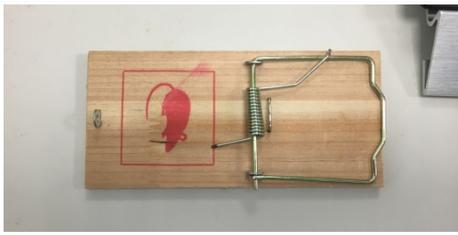
名稱	照片&說明	名稱	照片&說明
鐵刷棒		童軍繩	
	用來將竹管內的竹膜去除		網綁7隻竹管用
菜瓜布		彩帶	
	刷洗竹管外部使用		網綁及裝飾沓互使用

二、 製作紙管沓互工具及耗材

名稱	照片&說明	名稱	照片&說明
紙管		美工刀	
	製作紙管沓互及實驗用		切割紙管及泡棉用
量測棒		原子筆	
	初步量測紙管的大概深度		紙管標示尺寸使用
捲尺		三秒膠	
	量測紙管長度用		黏內部支撐、塗在紙管口保護

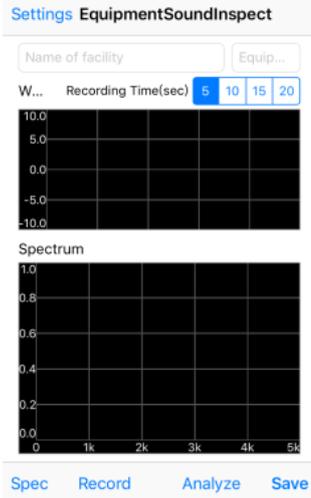
游標尺		電工膠布	
	量測管子內徑、壁厚		網綁7隻紙管用
泡棉		童軍繩	
	製作拍子及活塞材料		量測管子內徑、壁厚
鋸子		彩帶	
	切割紙管用		網綁及裝飾各互使用

三、 製作實驗拍擊器工具及耗材

名稱	照片&說明	名稱	照片&說明
捕鼠夾		木板	
	主要核心,強力彈簧帶動拍子拍擊		拍擊器底座的主要材料
電動螺絲起子		捲尺	
	接合木板時鎖螺絲用		量測長度用

鋸子		螺絲釘	
	切割木板用		接合木板用

四、 量測工具

名稱	照片&說明
調音器	 <p>用來初步調音用，量測拍擊音的音階。</p>
EquipmentSoundInspect 手機軟體	 <p>用來調音及將記錄拍擊音，並顯示拍擊音的波形，再經過傅立葉轉換的分析將拍擊音內含的前五大泛音頻率顯示在畫面上，手機安裝這個軟體，我們每次錄音 5 秒鐘，在時間內進行拍擊，錄完後按下 Analyze 進行分析，最後將分析結果儲存成照片檔。</p>

陸、 杳互文化意涵

當我們決定要以阿美族的杳互作為本次研究主題時，二話不說就想到少多宜老師絕對是這個主題指導老師的不二人選，所以就請媽媽跟少多宜老師聯繫，而少多宜老師一聽到我們的想法就欣然答應幫助我們來做這個研究。他無論是在阿美族傳統文化、杳互製作及演奏、杳互未來發展上都是最有資格的耆老。

一、 安排台東行

少多宜老師安排我們兩個到台東杳互園區進行兩天一夜的杳互體驗及文化之旅，主要行程由少多宜老師安排，而我們在行前的三個星期，就密集討論這趟行程所要訪談的內容，並反覆演練多次，就是為了不能入寶山空手而歸。

二、 訪談耆老

少多宜老師原安排我們第一天晚上到部落去訪問他口中的「老人家」，我們想他自己已經是耆老了，那他口中的「老人家」不就是白髮蒼蒼的耆老？後來考量晚上燈光昏暗、山路崎嶇難行及耆老說的阿美族語我們聽不懂，所以就由他本人擔任我們的耆老訪談對象。



Amis 杳互園區路口圓球指標



AMIS 杳互樂團木牌



火爐邊耆老講故事

三、 聽耆老說故事

夜晚，我們在杳互園區升起了火堆，在星空下坐在火堆旁邊，聽耆老少多宜老師緩緩地訴說杳互的過去、現在與未來。

(一)、 什麼是杳互

阿美族是母系社會，杳互為早年報喜的工具，男人要入贅到女方家，雙方談好招贅事宜之後，就會敲打杳互向部落的人報喜訊。杳互是由女性來敲擊，且不能失婚或喪偶，藉以祝賀新人婚姻幸福。少多宜團長說：「因為阿美族是母系社會，所以男方入贅到女方家，所以結婚的時候，由女方的女性來傳達結婚的訊息。也因為結婚對阿美族來說是很重要和神聖的，

所以一般來說，未婚或沒有離婚和喪偶的女性來敲打」。聽了少多宜團長說的，我覺得很有趣，原來杓互的文化還有這一層意義。隨著時代變遷，這一項傳統已經改變了，並且轉型成為樂器，所以讓更多的人來演奏杓互。

(二)、 傳統杓互文化

杓互在阿美族是一個報喜傳愛的工具，傳統的杓互在 1970 年代前還很盛行，後來因為慢慢有一些外來人口移入部落，覺得敲擊杓互很吵，因為早期的阿美族沒有時鐘，所以是從公雞叫一直敲到天亮。於是漸漸沒落了。經過少多宜團長去請教許許多多部落的老人，慢慢拼湊出杓互的功用，一是做為盛水的工具，二是因為阿美族多生活在海邊，所以作為游泳的浮具使用，

(三)、 杓互樂團的由來

1994 年前，少多宜團長只知道阿美族有用蘆竹做的排笛，是他兒少時吹的樂器，後來閱讀中央研究院凌曼立博士所編撰的「台灣阿美族的樂器」論文，才知道阿美族有四十幾種樂器，可是卻沒有一樣是他認識的。後來他在地方從事媒體工作時才問到很多非常寶貝的資料，所以他在 1997 年正式接觸杓互，再經過一連串的田野調查後，AMIS 杓互樂團於 1999 年成立至今，少多宜團長說：「因為阿美族文化在日治時期被禁止，因此導致文化漸漸失傳，後來經過訪談耆老才找回阿美族樂器的文化，並且創立樂團，讓文化繼續傳承」。

聽了少多宜團長說的，我覺得他是一個很認真的人，並負有充分的使命感去傳承阿美族富有及多特色的傳統音樂文化，並將此文化延續下去。

(四)、 過去與現在的功能差異

杓互過去與現在的精神以及延伸的價值是相同的，都是報喜傳愛，但是形式上改變。過去是以單管的形式來敲擊，現在是以 7 管或多管來敲打，以前是敲地面泥土，但是現在水泥或地磚不適合敲杓互，所以改為用拍擊，但是它傳報的音、使用的目的、價值及精神不變，讓聽到的人知道是在報喜，杓互樂團的宗旨是「報喜傳愛到地極，讓互古的樂音繚繞到全地」。所以杓互在過往跟現在只有在形式呈現上不同。

(五)、 杓互文化傳承的期許

少多宜老師說要靠我們來傳承，這是所有有心的杓互人應有的使命，要靠年輕世代的用

心來傳承。不求別人，只求自己，看自己可以做多少就做多少。要傳承沓互有兩個方向，第一是要形成文化資產，第二要實作，若要讓實體沓互一直保存，我們就不再製作了，這項技藝很快的就會失傳了，我們允許沓互蛀蟲，壞了就重做，這是一個環保的樂器，壞了就讓它回歸大自然，讓我們把沓互的技藝繼續傳承下去，讓更多人認識沓更和他的故事。

柒、 製作竹管沓互

一、 山林取材

(一)、 製作桂冠

前往採竹途中路過一片樹林，我們停車砍了一些月桃葉來製作桂冠戴在頭上，原來戴上桂冠可保護頭髮，同時讓工作時頭髮不會掉下來，南島民族都要配戴桂冠，阿美族屬南島民族的一支，傳統上一定要配戴。做完團長還要求我們清理環境，說明團長很注重環保。

(二)、 祈禱吟唱

進入竹林後，團長向竹子祈禱我們要取它的一部分來製作樂器，並請我們一邊敲擊竹子並吟唱阿美族傳統歌謠，說明阿美族對大自然與土地的尊敬，雖然我們不會唱，但是我們可以感受得到團長對大自然謙卑的態度，希望下次可以學到這樣的歌謠，向大自然表示感謝。

(三)、 認識竹子，刺竹

團長說阿美族傳統製作沓互是使用「刺竹」，且是用四年以上老死在樹叢上的竹子，「刺竹」同時也是阿美族用來搭建傳統茅草屋，用來作為樑柱，是非常重要的建材。旁邊長滿了刺來保護自己不受破壞，古人也利用它身上有刺的特性建造聚落圍牆來防範敵人或野獸。



認識竹子，少多宜老師介紹竹子



親身體驗鋸竹子

(四)、 鋸竹子過程

團長跟我們說明鋸竹子的方法，同時說明阿美族人不會很急著要把它鋸斷，他們會一邊吟唱歌謠一邊鋸，隨著歌謠的節奏將鋸子前後推拉，這樣可以讓人忘卻工作的辛勞。在鋸的同時，旁邊也伴隨著竹子與竹子摩擦發出奇特的聲響。鋸一根竹子需要花上十分鐘的時間，鋸完後會十分疲憊。

(五)、 演奏傳統形式杵互

在經過約 1 小時的努力之後，我們終於把竹子鋸下來並切割成適當的長度，把戰利品帶到馬路邊後，少多宜團長說明如何用竹管來盛水，並隨性帶著我們兩個小孩演奏起傳統杵互，隨著團長吟唱歌謠，我們彷彿進入到了傳統阿美族部落利用敲擊杵互來報喜傳愛的場景中。



修剪將鋸下的竹子並鋸成適當的長度



採竹完成在路邊即興演奏傳統杵互

二、 製作過程

(一)、 量測管長及管深

1. 挑選最粗的竹子做低音 La，接著依音高挑選竹子，由低音到高音選擇由粗到細的竹子。
2. 先用量測棒丈量每一根竹子管深，預留一小段供調音時再裁切。

(二)、 打穿竹節並去除竹膜

1. 將中間的竹節用鐵管打穿
2. 用鐵刷棒將竹管內部的竹膜去除



丈量竹子



去除竹膜

(三)、 修補竹管裂痕

1. 有些竹子有裂縫，用木屑加上三秒膠來將裂縫補起來
2. 修補完成用砂紙將修補處磨平

(四)、 去除外部竹節

1. 用鋸子將外凸的竹節切除
2. 用砂輪機將剩餘的竹節磨平

(五)、 清洗竹管

1. 用清水及菜瓜布刷洗竹管
2. 靜置於陰涼處晾乾



修補竹管裂縫



清洗竹管

(六)、 塗保護漆

1. 先將香蕉水及亮光漆依比例混合成保護漆
2. 在竹棒上纏抹布將保護漆塗抹於竹管內壁，塗完後靜置晾乾後重覆第二次
3. 用油漆刷沾保護漆塗抹於竹管外壁，塗完後靜置晾乾後重覆第二次



塗上保護漆



使用砂輪機細修管口

(七)、 調音

1. 拍擊竹管並用調音器測量音高，將若聲音太低就鋸掉一小截竹管
2. 若音高接近但仍有微小差異，則使用砂輪機細磨
3. 反覆多次直到音高正確，最後將管口邊緣用砂輪機磨至圓滑
4. 調音完成後重新自管口量測所需高度，將下方多餘的竹管切除，使每隻竹管高度皆相同

(八)、 裝飾及組合

1. 用白色及黑色寬版電工膠布繞貼於竹管上下端
2. 將 7 隻竹管排列成二三二的樣式，以 2 條童軍繩綁住上下部，繩結指向演奏者站立方向
3. 用彩帶遮住童軍繩並綁緊



調音



網綁並用彩帶裝飾沓互

(九)、 完工演奏

沓互製作完成後，少多宜老師請助教跟我們一起演奏我們親手製作的沓互

<p>沓互各管位置圖</p>	<p>完工大家一起演奏沓互</p>

三、 小結

1. 沓互在阿美族傳統的文化中是傳愛報喜的工具，是用來通報結婚的喜訊，並且和部落的族人分享歡樂。
2. 沓互在阿美族傳統文化中有特殊的禁忌，過去沓互只限女性可以打，但離婚或喪偶的女性則不行。
3. 在採集竹子的過程中，少多宜團長會藉由吟唱和祈禱表達對大自然以及上帝的感謝，象徵阿美族對自然環境保護的態度。

四、 感想

(一)、 子安的感想

這一次做的樂器和以往我做過的都不同，以前都是做小樂器但是這次是做大型樂器，讓我有新的體驗，也讓我了解我們平常用的沓互是花了多少人力和勞力做的，讓我學會了要愛惜樂器，我回台北後也可以幫台北沓互樂團製作樂器，而且這一次去台東，也讓我學到了更多課本上學不到的原住民文化，讓我獲益良多。

(二)、 善牧的感想

身為一個阿美族人，我不是非常了解自己的民族文化，藉由這一次下去台東學習採竹、製作沓互、來學習阿美族的習慣與文化，發現製作沓互需要非常高深的技藝感到十分佩服，希望回到台北可以將這樣的文化繼續傳承下去，讓更多的人認識與學習到更多精湛的阿美族的文化。

捌、 拍擊器製作

一、 構想討論

因為用手持拍子拍擊沓互沒辦法固定拍擊位置及角度，所以我們的實驗必須要製作一個拍擊器。而且必須製作一個底座來架高擺放拍擊器。

(一)、 尋找拍擊器核心

問題是我們要找到一個具有足夠力道的可旋轉零件來做為拍擊器的核心組件，在經過多次的討論後仍想不出適合的東西。有一晚，子安跟爸爸在夜市吃東西時看到了一隻大老鼠在街角竄了出來，子安隨口說出要怎樣可以抓住老鼠，爸爸說可以用黏鼠板或捕鼠夾，因為子安沒有看過捕鼠夾，爸爸就跟子安解釋了捕鼠夾的原理，結果想到可以試著用捕鼠夾來作拍擊器核心。

(二)、 如何把拍子固定在捕鼠夾上？

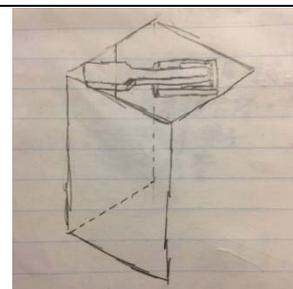
初步我們先用鐵絲把拍子綁在捕鼠夾上，測試這個構想的可行性，結果是可行的。但我們遇到的難題是要如何把拍子固定在捕鼠夾上？討論後我們決定鐸一塊鐵板在捕鼠夾上，再用另一片鐵板及螺絲來夾住拍子握把。



初版拍擊器試作



初版拍擊器



拍擊器底座構想草圖

(三)、 底座設計

必須讓拍擊器可固定在高台上，高度必須符合沓互的高度，大約 100~110 公分，我們試了一般的三格櫃及四格櫃，高度不是太矮就是太高，後來找到家中的剩餘木板，量測尺寸之後寬度適合但是不夠高，我們用兩片木板疊合的方式來增加高度，作出兩片接合，在上面鎖上一片木板，將拍擊器鎖在上面。考慮到未來收納，我們用一般門板的鉸鏈來作出可以開合的形式，打開可以站立在地上，收納時可以合起來變成薄薄的兩片。

(四)、 如何固定沓互？

沓互是管狀長形的物體，站立不穩，必須用手扶住拍擊，但是考量到每次用手扶住沓互力道都不同，會造成實驗產生變因，所以我們在木板打洞用童軍繩穿過木板來綁住沓互以維持每次相同的固定力道。

二、 製作拍擊器

製作拍擊器首先要用泡棉跟塑膠板作出拍子，

再把拍子固定在捕鼠夾上。

(一)、 製作拍子

1. 將美工刀用火加熱，切割泡棉跟塑膠板
2. 將泡棉割出一道 5mm 的凹槽，將一支免洗筷放在凹槽
3. 將塑膠板跟泡棉用強力膠緊密黏貼

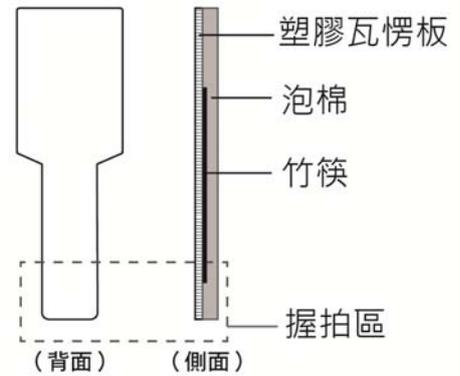


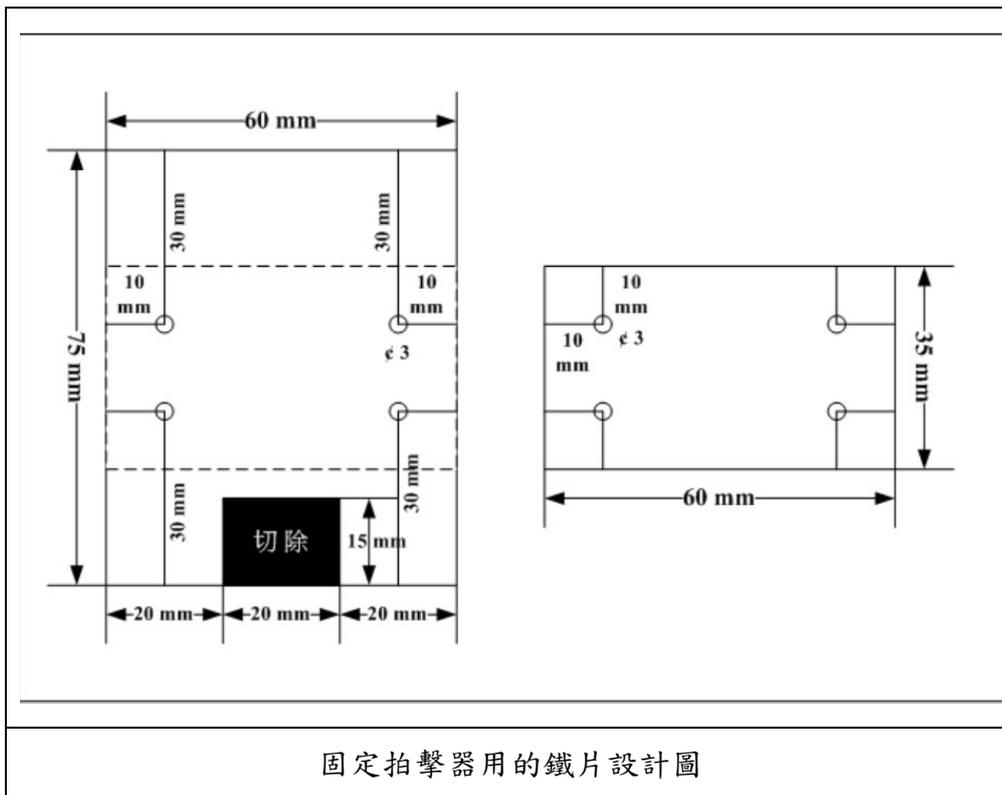
圖 · 拍擊板構造



(二)、 製作老鼠夾拍擊器

1. 爸爸的鐵工廠朋友幫我們鐸了一片鐵板在捕鼠夾上，連同另一片鐵片鑽 4 個孔
2. 用鐵片夾住拍子握把，將 4 隻螺絲穿過螺絲孔用螺帽及墊圈鎖緊固定拍子





三、 製作拍擊器底座

1. 量測 G 調杓互高度為 104 公分，拍擊器拍面高度需離地 104 公分
2. 疊合固定一大一小兩片木板，做兩份，並將疊合後的兩份木板用鉸鏈接合
3. 將水平木板切掉一個角，並將接合後的木板打開至垂直，將水平木板鎖上
4. 實際擺放拍擊器跟杓互，找到適當位置後將拍擊器鎖在水平木板上



量測木板計算尺寸



螺絲疊合木板



安裝鉸鏈

		
<p>評估拍擊器固定位置</p>	<p>拍擊器組裝完成(一)</p>	<p>拍擊器組裝完成(二)</p>

四、 調整高度

後來因為我們改用 C 調音叉，高度作成 100 公分，所以必須將拍擊器的高度降低 4 公分。我們原先想要將疊合的兩片木板拆開，位移 4 公分後重新疊合，但是因為位置會卡到鉸鏈，所以我們決定直接把木板裁切掉 4 公分

1. 拆除水平木板及鉸鏈
2. 由底部量測 4 公分，劃出 4 公分高的水平線，用鋸子鋸掉
3. 重新安裝鉸鏈並接合兩邊疊合木板
4. 鎖上水平木板

玖、 實驗項目、過程及結果

一、 實驗構想

(一)、 為什麼用紙管進行實驗？

1. 經過了一段時間的嘗試，我們認為紙管取得相對容易，因為必須考量到內徑、壁厚及長度等規格的一致性，因此我們使用紙管
2. PVC 管取得也相對簡單，但是為什麼不用呢？因為紙管相對於 PVC 管較為環保，PVC 管畢竟是石化製品，未來會影響我們的地球環境，所以我們決定使用紙管。
3. 相對於竹子與 PVC 管紙管相對較方便裁切，可以讓實驗所花費的時間縮短。

(二)、 為什麼著重於音階基頻及音色之比較？

1. 拍擊力道大會使發出聲音變大是我們從小以來就知道的事，而且先前的許多實驗已經證明過了，所以我們不做拍擊力道與音量的實驗。
2. 紙管深度與音階基頻具有相關性也是常識，但是我們為了在未來可以方便複製紙管柷互作為柷互樂器推廣，我們必須找出每個音階所對應的紙管深度，未來才可以進行快速複製而不必每一次都重新量測管深。
3. 我們聽到不同樂器發出同樣的一個音階時，可以知道所彈奏的是相同一個音高，但是為什麼我們可以辨別是由哪個樂器發出的？經過老師的說明後我們知道每種樂器的音色不同是由於每種樂器發出的聲音除了主要頻率外還會有泛音，不同的泛音組合會組成不同的音色，所以我們想針對音色來做比較。

(三)、 為什麼不跟竹製柷互進行比較？

1. 從到台東實際取得竹子的經驗告訴我們，竹製柷互材料取得不容易，因為每根竹子都是獨特的，如果要找到相同規格的竹子來製作柷互，我們需要到竹林裡鋸下很多竹子再從中挑選，即便如此，都不一定可以找到相同規格的竹子。
2. 若想要採集到與我們所用紙管規格(內徑 77mm，壁厚 2mm)相同竹子是不太可能的，而我們為了控制實驗的變因，只好捨棄與竹製柷互進行比較的想法。

(四)、 我們量測到的數據精準嗎？容許誤差範圍 2%

1. 我們所用的量測設備是一般樂器的調音器以及手機的 APP，本身應該就不是相當精準的儀器，至於誤差會有多少我們也無法提供一個客觀的數據。
2. 我們選擇的實驗地點是在我們住家裡，而這樣的量測環境並無法做到完全隔絕外界雜音，鄰居的講話聲音及路旁呼嘯而過的車輛都有可能影響到我們的量測結果，雖然我們盡量挑選安靜的時刻來進行實驗，但難免受到影響。
3. 拍擊器本身因為使用老鼠夾來製作，在拍擊時本身彈簧會發出些微聲響，都可能會影響到量測數據。
4. 基於以上理由，我們將我們實驗值的誤差範圍設定在正負百分之二($\pm 2\%$)

二、 實驗 1：製作 C 大調紙管柷互

(一)、 說明

我們原本想用 PVC 管來製造柷互，因為 PVC 管取得相對容易，且規格多樣，但由於少宜老師一直強調要環保，希望可以用竹製柷互來進行實驗，但經過討論後，認為竹子的「內徑」及「壁厚」不具一致性，對於實驗的變因很難掌控，所以我們退而求其次改採紙管來製作柷互。

計畫執行初期，我們為了落實環保的理念，到印刷廠去要到一些廢棄紙管，但主要的規格都是壁厚 3mm 的，雖然有壁厚 2mm 跟 8mm 的紙管，但長度及內徑與 3mm 紙管有差異，無法進行比對實驗。我們到台東柷互園區製作的 C 調柷互，經量測後管深少於 100 公分，所以請爸爸幫忙教我們上網找尋適合的紙管，最終，我們買到了內徑 77mm 壁厚 2mm 的 100 公分紙管來製作紙管柷互。

(二)、 製作泡棉活塞

另一個問題是「竹節」如何製作？我們採用厚度 25mm 的泡棉，割成直徑 85mm 的圓形活塞，塞入紙管，作為竹節的替代品，但是經過拍擊之後發現泡棉活塞會漸漸往下移動，需要固定住。原先是想用 4 隻螺絲釘由紙管外側鎖入固定活塞，但是測試後發現無法牢牢固定，於是經過一番討論之後，我們想到利用原先找到的 3mm 紙管，在確定音準後，將 3mm 紙管

裁切成適當高度並剖開一個 5 公分裂縫，由紙管尾端塞入頂住泡棉活塞。

		
製作泡棉活塞	量測管深	量測頻率

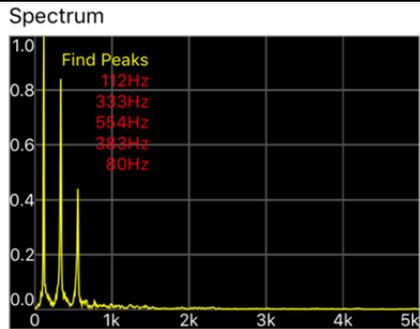
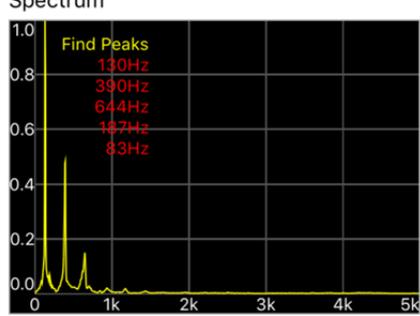
(三)、 調整管深及量測頻率

我們利用咁互園區帶回來的量測棒，先調整活塞的位置使得管深接近量測棒的相對刻度，雖然量測棒也只是一個大概的管深，但已經很接近了，接著我們一邊調整活塞的位置一邊量測，最後量測到接近音準的管深如下表所示：

(四)、 製作支撐紙管

在量測到接近音準後，經我們計算後得到支撐紙管的長度，計算公式如下及計算結果如下所示：

$$\text{支撐紙管長度(mm)} = 1000\text{mm} - \text{各管的管深(mm)} - 25\text{mm(活塞厚度)}$$

	正確頻率 (Hz)	量測頻率 (Hz)	管深 (mm)	支撐管長度 (mm)	量測照片
低音 La	110.0	112	750	225	
Do	130.8	130	620	355	

	正確頻率 (Hz)	量測頻率 (Hz)	管深 (mm)	支撐管長度 (mm)	量測照片
Re	146.8	147	550	425	<p>Spectrum</p> <p>Find Peaks</p> <ul style="list-style-type: none"> 147Hz 441Hz 712Hz 221Hz 505Hz
Mi	164.8	166	486	489	<p>Spectrum</p> <p>Find Peaks</p> <ul style="list-style-type: none"> 166Hz 493Hz 219Hz 802Hz 423Hz
So	196.0	198	402	573	<p>Spectrum</p> <p>Find Peaks</p> <ul style="list-style-type: none"> 198Hz 584Hz 970Hz 29Hz 342Hz
La	220.0	221	353	622	<p>Spectrum</p> <p>Find Peaks</p> <ul style="list-style-type: none"> 221Hz 645Hz 343Hz 272Hz 383Hz
高音 Do	261.6	262	295	680	<p>Spectrum</p> <p>Find Peaks</p> <ul style="list-style-type: none"> 262Hz 756Hz 773Hz 141Hz 418Hz

三、 實驗 2：「管壁厚度」是否影響「音階基頻」及「音色」？

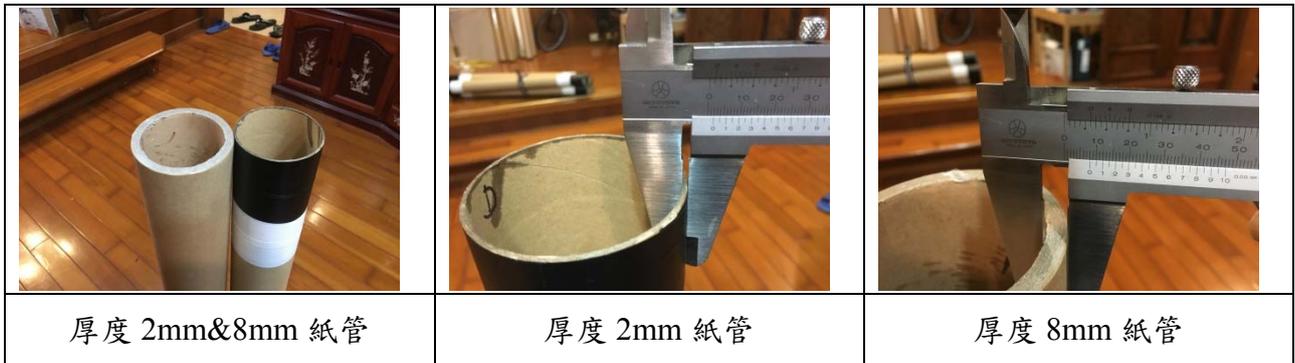
(一)、 說明

我們想了解紙管厚度不同會不會影響音階以及音色，如果不會影響，我們以後可以不考慮厚度，我們可以容易取得製作紙管沓互的材料，所以我們想做這個實驗。

1. 假設 1：管壁厚度「不會」影響音階基頻
2. 假設 2：管壁厚度「不會」影響音色

(二)、 測試標的

1. 實驗組：壁厚 8mm，內徑 77mm，管深 620mm，紙管
2. 對照組：壁厚 2mm，內徑 77mm，管深 620mm，紙管



(三)、 音階基頻量測數據

	2mm 壁厚紙管(f_{2mm})	8mm 壁厚紙管(f_{8mm})
第 1 次	130 Hz	130 Hz
第 2 次	130 Hz	130 Hz
第 3 次	129 Hz	130 Hz

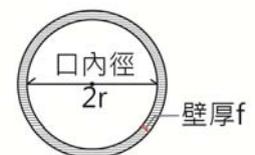
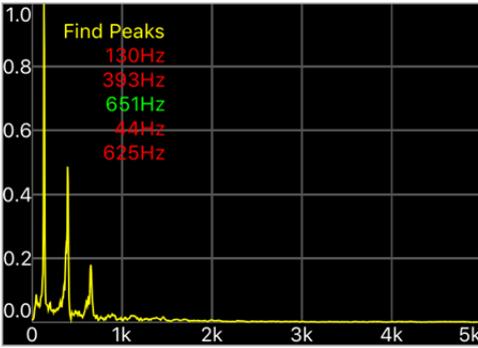
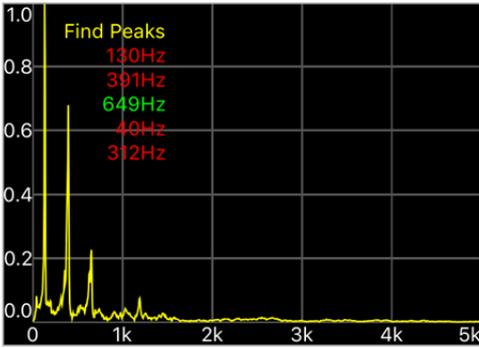


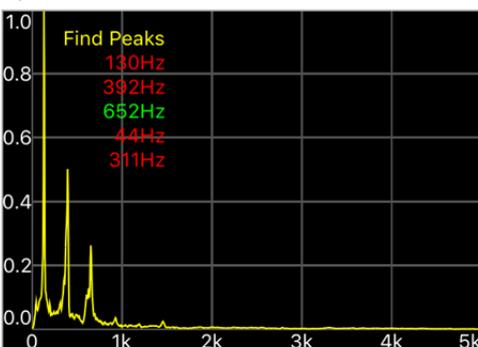
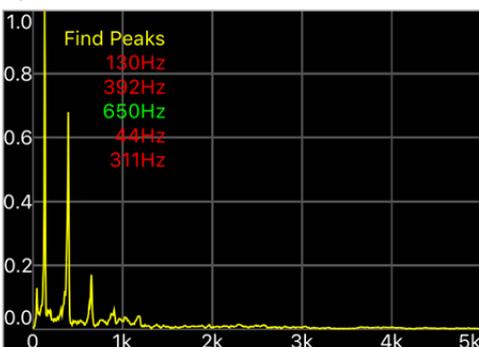
圖 · 壁厚及內徑測量

(四)、 音色量測數據

1. 第一次量測數據

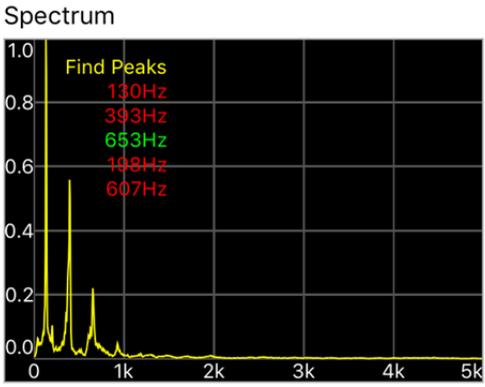
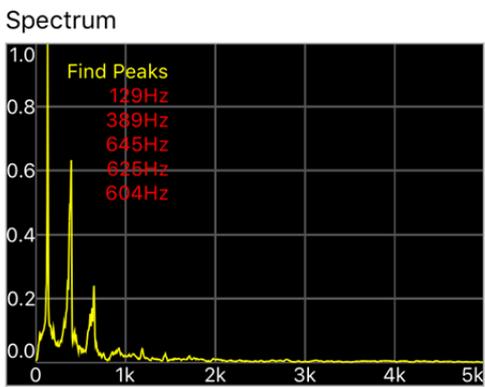
	2mm 壁厚紙管(f_{2mm})		8mm 壁厚紙管(f_{8mm})	
量測 照片				
	泛音頻率	能量大小	泛音頻率	能量大小
基頻	130 Hz	1	130 Hz	1
第 2 頻	393 Hz	0.5	391 Hz	0.68
第 3 頻	651 Hz	0.18	649 Hz	0.21
第 4 頻	44 Hz	N/A	40 Hz	N/A
第 5 頻	625 Hz	N/A	312 Hz	N/A

2. 第二次量測數據

	2mm 壁厚紙管(f_{2mm})		8mm 壁厚紙管(f_{8mm})	
量測 照片				

	泛音頻率	能量大小	泛音頻率	能量大小
基頻	130 Hz	1	130 Hz	1
第 2 頻	392 Hz	0.5	392 Hz	0.68
第 3 頻	652 Hz	0.28	650 Hz	0.18
第 4 頻	44 Hz	N/A	44 Hz	N/A
第 5 頻	311 Hz	N/A	311 Hz	N/A

3. 第三次量測數據

	2mm 壁厚紙管(f_{2mm})		8mm 壁厚紙管(f_{8mm})	
量測 照片				
	泛音頻率	能量大小	泛音頻率	能量大小
基頻	130 Hz	1	129 Hz	1
第 2 頻	393 Hz	0.55	389 Hz	0.64
第 3 頻	653 Hz	0.21	645 Hz	0.24
第 4 頻	198 Hz	N/A	625 Hz	N/A
第 5 頻	607 Hz	N/A	604 Hz	N/A

(五)、 結論探討

我們觀察三次量測的結果，實驗組及對照組的基頻都在 130 Hz 左右，符合我們假設 1。在音色部分，主要的泛音組成是由基頻、三倍頻及五倍頻所組成，其餘出現的頻率我們推論

是屬於拍擊過程產生的雜訊或是環境雜訊，我們選擇忽略。實驗組的三倍頻的能量約為基頻的 0.5 倍，而對照組的三倍頻的能量約為基頻的 0.7 倍，所以我們推論假設 2 不成立。我們的結論如下：

1. 結論 1：管壁厚度「不會」影響音階基頻
2. 結論 2：管壁厚度「會」影響音色

四、 實驗 3：「內徑大小」是否影響「音階基頻」及「音色」？

(一)、 說明

我們想了解紙管內徑不同到底會不會影響音階以及音色，如果不會影響，我們可以容易取得製作紙管沓互的材料，所以我們想做這個實驗。

1. 假設 1：內徑「不會」影響音階基頻
2. 假設 2：內徑「不會」影響音色

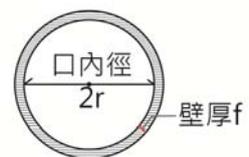
(二)、 測試標的

1. 實驗組：內徑 50mm，壁厚 2mm，管深 620mm，紙管
2. 對照組：內徑 77mm，壁厚 2mm，管深 620mm，紙管



(三)、 音階基頻量測數據

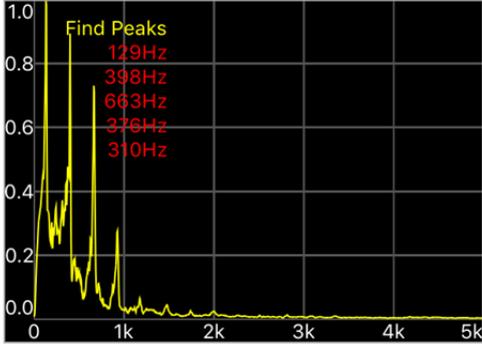
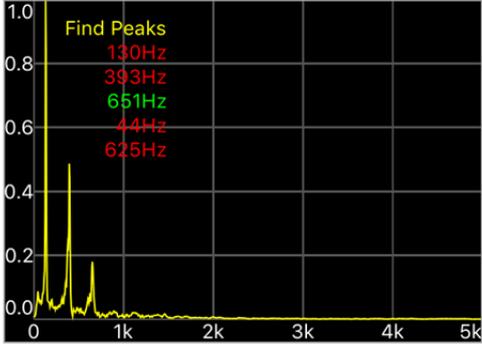
	50mm 內徑(f_{50mm})	77mm 內徑(f_{77mm})
第 1 次	130 Hz	130 Hz
第 2 次	130 Hz	130 Hz
第 3 次	130 Hz	129 Hz



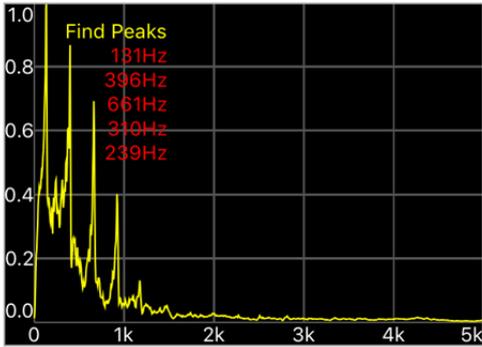
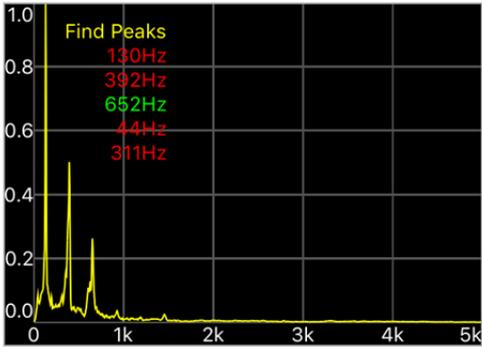
圖· 壁厚及內徑測量

(四)、 音色量測數據

1. 第一次量測數據

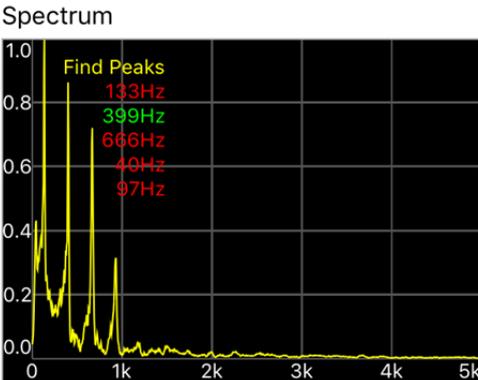
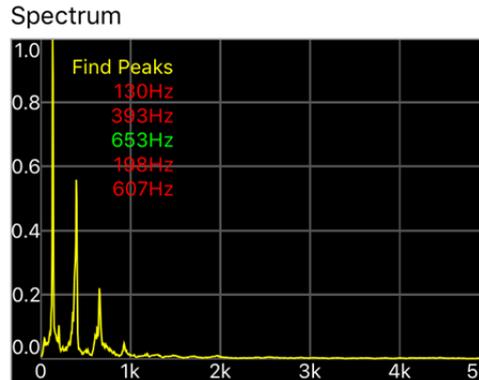
	50mm 內徑(f_{50mm})		77mm 內徑(f_{77mm})	
量測 照片				
	泛音頻率	能量大小	泛音頻率	能量大小
基頻	129 Hz	1	130 Hz	1
第 2 頻	398 Hz	0.9	393 Hz	0.5
第 3 頻	663 Hz	0.72	651 Hz	0.18
第 4 頻	376 Hz	0.3	44 Hz	0.08
第 5 頻	310 Hz	N/A	625 Hz	N/A

2. 第二次量測數據

	50mm 內徑(f_{50mm})		77mm 內徑(f_{77mm})	
量測 照片				

	泛音頻率	能量大小	泛音頻率	能量大小
基頻	131 Hz	1	130 Hz	1
第 2 頻	396 Hz	0.88	392 Hz	0.5
第 3 頻	661 Hz	0.7	652 Hz	0.27
第 4 頻	310 Hz	0.4	44 Hz	N/A
第 5 頻	239 Hz	0.1	311 Hz	N/A

3. 第三次量測數據

	50mm 內徑(f_{50mm})		77mm 內徑(f_{77mm})	
量測 照片				
	泛音頻率	能量大小	泛音頻率	能量大小
基頻	133 Hz	1	130 Hz	1
第 2 頻	399 Hz	0.88	393 Hz	0.55
第 3 頻	666 Hz	0.72	653 Hz	0.21
第 4 頻	40 Hz	0.32	198 Hz	N/A
第 5 頻	97 Hz	N/A	607 Hz	N/A

(五)、 結論探討

我們觀察三次量測的結果，實驗組及對照組的基頻都在 130 Hz 左右，符合我們假設 1。音色部分，實驗組圖形顯示主要的泛音組成是由基頻、3 倍頻及 5 倍頻及應該是 7 倍頻所組

成，其餘頻率我們推論是屬於拍擊過程產生的雜訊或是環境雜訊，我們選擇忽略。而對照組主要的泛音組成是由基頻、3 倍頻及 5 倍頻所組成。因為泛音組成數量明顯不同，所以我們推論假設 2 不成立。我們的結論如下：

1. 結論 1：內徑「不會」影響音階頻率
2. 結論 2：內徑「會」影響音色

五、 實驗 4：「管深」是否影響「音色」(各管「泛音」組成是否相似)？

(一)、 說明

我們了解紙管深度不同會影響每隻紙管發出的音階基頻，但是不同紙管深度到底會不會音色？是不是相同規格的紙管做出不同音所發出音色都相似？所以我們想做這個實驗。

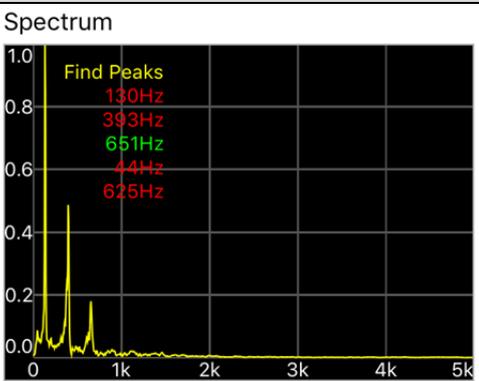
1. 假設 1：不同深度的紙管「不會」影響音色

(二)、 測試標的

1. 實驗組：壁厚 2mm，內徑 77mm，Re、Mi、So、La 紙管
2. 對照組：壁厚 2mm，內徑 77mm，Do 紙管

(三)、 音色量測數據

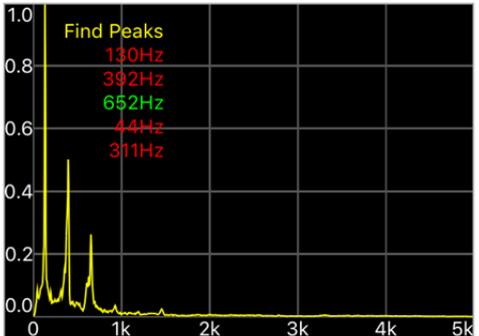
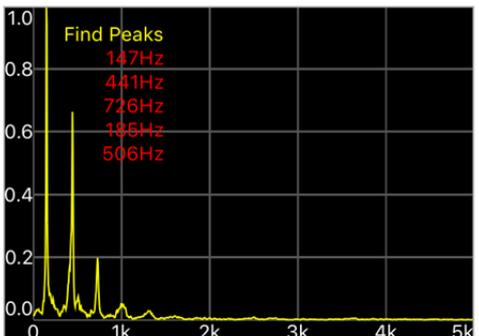
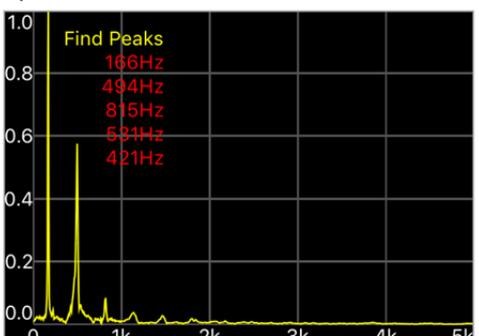
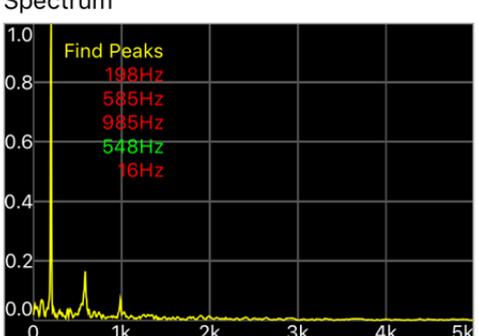
1. 第一次量測數據

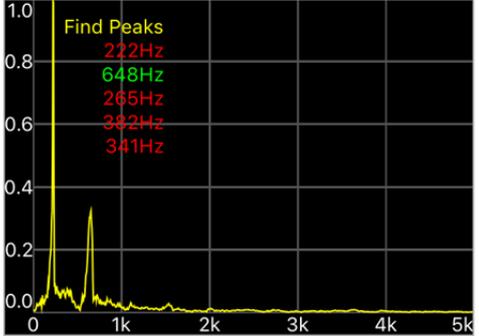
量測照片		基頻	第 2 頻	第 3 頻	第 4 頻	第 5 頻	
Do	 <p>Spectrum</p> <p>Find Peaks</p> <p>130Hz</p> <p>393Hz</p> <p>651Hz</p> <p>44Hz</p> <p>625Hz</p>	泛音 頻率	130	393	651	44	625
		能量 大小	1	0.5	0.18	N/A	N/A

量測照片			基頻	第 2 頻	第 3 頻	第 4 頻	第 5 頻
Re	<p>Spectrum</p> <p>Find Peaks</p> <p>145Hz 421Hz 705Hz 173Hz 491Hz</p>	泛音 頻率	145	421	705	173	491
		能量 大小	1	0.54	0.25	N/A	N/A
Mi	<p>Spectrum</p> <p>Find Peaks</p> <p>166Hz 493Hz 219Hz 802Hz 423Hz</p>	泛音 頻率	166	493	219	802	423
		能量 大小	1	0.52	N/A	0.1	N/A
So	<p>Spectrum</p> <p>Find Peaks</p> <p>198Hz 584Hz 970Hz 29Hz 342Hz</p>	泛音 頻率	198	584	970	29	342
		能量 大小	1	0.28	0.08	N/A	N/A
La	<p>Spectrum</p> <p>Find Peaks</p> <p>221Hz 650Hz 153Hz 269Hz 338Hz</p>	泛音 頻率	221	650	153	269	338
		能量 大小	1	0.34	N/A	N/A	N/A

頻率單位：Hz

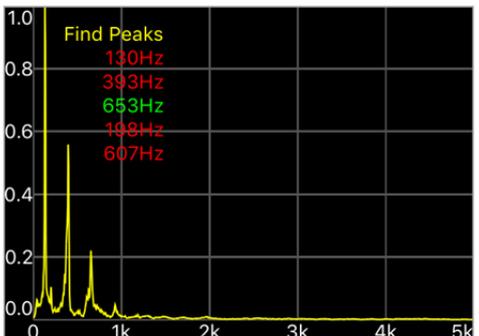
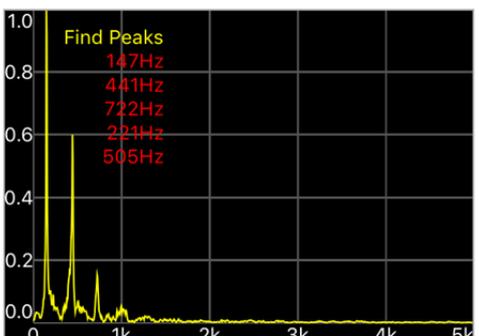
2. 第二次量測數據

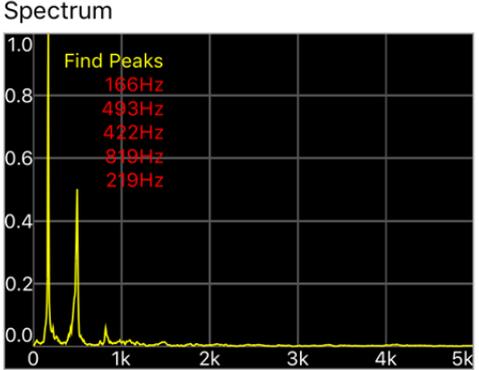
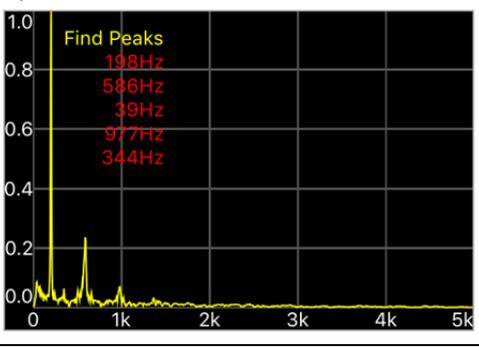
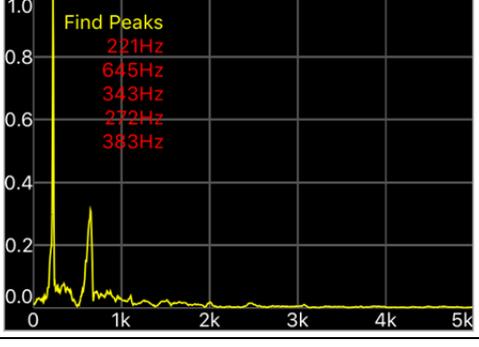
量測照片		基頻	第 2 頻	第 3 頻	第 4 頻	第 5 頻	
Do	 <p>Spectrum</p> <p>Find Peaks</p> <p>130Hz</p> <p>392Hz</p> <p>652Hz</p> <p>44Hz</p> <p>311Hz</p>	泛音 頻率	130	392	652	44	331
		能量 大小	1	0.5	0.27	N/A	N/A
Re	 <p>Spectrum</p> <p>Find Peaks</p> <p>147Hz</p> <p>441Hz</p> <p>726Hz</p> <p>185Hz</p> <p>506Hz</p>	泛音 頻率	147	441	726	185	506
		能量 大小	1	0.66	0.2	N/A	N/A
Mi	 <p>Spectrum</p> <p>Find Peaks</p> <p>166Hz</p> <p>494Hz</p> <p>815Hz</p> <p>531Hz</p> <p>421Hz</p>	泛音 頻率	166	494	815	531	421
		能量 大小	1	0.58	0.1	N/A	N/A
So	 <p>Spectrum</p> <p>Find Peaks</p> <p>198Hz</p> <p>585Hz</p> <p>985Hz</p> <p>548Hz</p> <p>16Hz</p>	泛音 頻率	198	585	985	548	16
		能量 大小	1	0.18	0.08	N/A	N/A

	量測照片		基頻	第 2 頻	第 3 頻	第 4 頻	第 5 頻
La	 <p>Spectrum</p> <p>Find Peaks 222Hz 648Hz 265Hz 382Hz 341Hz</p>	泛音 頻率	222	648	265	382	341
		能量 大小	1	0.34	N/A	N/A	N/A

頻率單位：Hz

3. 第三次量測數據

	量測照片		基頻	第 2 頻	第 3 頻	第 4 頻	第 5 頻
Do	 <p>Spectrum</p> <p>Find Peaks 130Hz 393Hz 653Hz 198Hz 607Hz</p>	泛音 頻率	130	393	653	198	607
		能量 大小	1	0.55	0.22	0.06	N/A
Re	 <p>Spectrum</p> <p>Find Peaks 147Hz 441Hz 722Hz 221Hz 505Hz</p>	泛音 頻率	147	441	722	221	505
		能量 大小	1	0.6	0.18	N/A	N/A

量測照片		基頻	第 2 頻	第 3 頻	第 4 頻	第 5 頻	
Mi		泛音 頻率	166	493	422	819	219
		能量 大小	1	0.5	N/A	0.1	N/A
So		泛音 頻率	198	586	39	977	344
		能量 大小	1	0.22	N/A	0.08	N/A
La		泛音 頻率	221	645	343	272	383
		能量 大小	1	0.34	N/A	N/A	N/A

頻率單位：Hz

(四)、 結論探討

我們觀察三次量測的結果，實驗組及對照組的主要泛音組成是由基頻、3 倍頻及 5 倍頻所組成，部分紙管 5 倍頻甚至相當不明顯，其餘頻率我們推論是屬於拍擊過程產生的雜訊或是環境雜訊，我們選擇忽略。由圖形上可以觀察到各管的泛音組成頻率倍數雖然相似，但各管 3 倍頻及 5 倍頻的能量明顯不同，所以我們推論假設 1 不成立。我們的結論如下：

1. 結論 1：不同深度的紙管「會」影響音色

六、 基頻實驗 5：「拍擊力道」是否影響「音階基頻」及「音色」？

(一)、 說明

我們了解拍擊力道不同會影響發出的音量，但是不同的拍擊力道究竟會不會「音階基頻」以及「音色」呈現？所以我們想做這個實驗。我們用拍擊器的不同角度來代表拍擊力道的差異，因為捕鼠夾原始設計無法拉至 135 度，所以我們用 45 度、90 度與 120 度來進行實驗。

1. 假設 1：不同拍擊力道「不會」影響音階基頻
2. 假設 2：不同拍擊力道「不會」影響音色

(二)、 測試標的

1. 實驗組 1：壁厚 2mm，內徑 77mm，Re，紙管，90 度角
2. 實驗組 2：壁厚 2mm，內徑 77mm，Re，紙管，120 度角
3. 對照組：壁厚 2mm，內徑 77mm，Re，紙管，45 度角

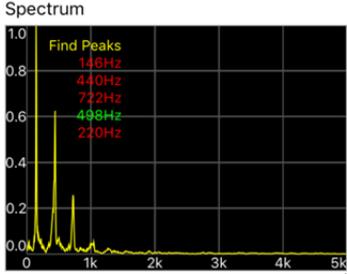
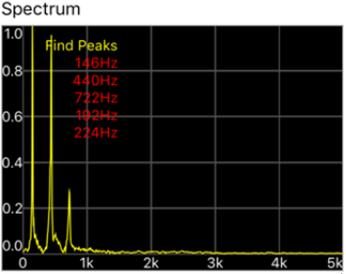
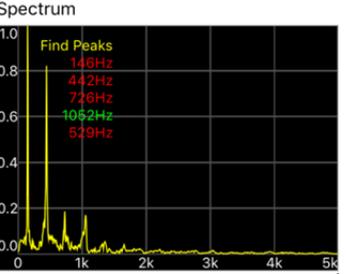


(三)、 音階基頻量測數據

	45 度角($f_{45\text{mm}}$)	90 度角($f_{90\text{mm}}$)	120 度角($f_{120\text{mm}}$)
第 1 次	146 Hz	146 Hz	146 Hz
第 2 次	146 Hz	146 Hz	147 Hz
第 3 次	145 Hz	146 Hz	147 Hz

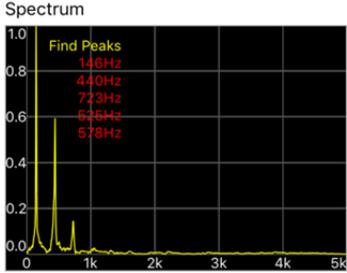
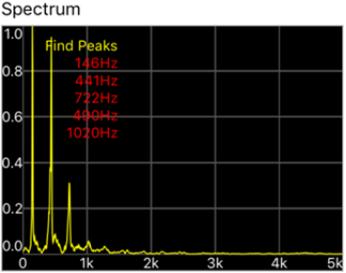
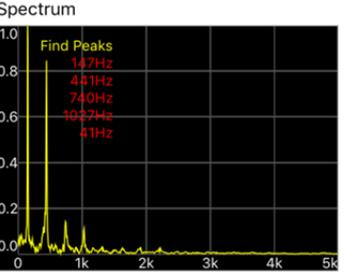
(四)、 音色量測數據

1. 第一次量測數據

	45 度角(f_{45mm})		90 度角(f_{90mm})		120 度角(f_{120mm})	
量測 照片						
	泛音頻率	能量大小	泛音頻率	能量大小	泛音頻率	能量大小
基頻	146	1	146	1	146	1
第 2 頻	440	0.62	440	0.97	442	0.82
第 3 頻	722	0.27	722	0.3	726	0.19
第 4 頻	498	N/A	192	N/A	1052	0.18
第 5 頻	220	N/A	224	N/A	529	N/A

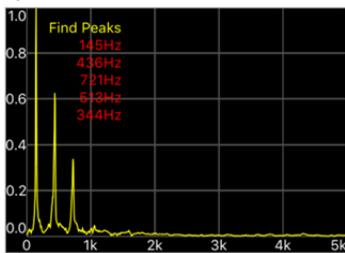
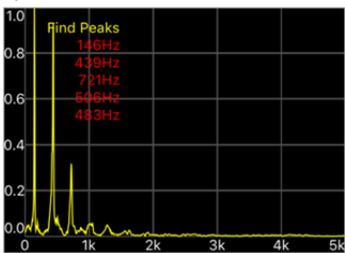
頻率單位：Hz

2. 第二次量測數據

	45 度角(f_{45mm})		90 度角(f_{90mm})		120 度角(f_{120mm})	
量測 照片						
	泛音頻率	能量大小	泛音頻率	能量大小	泛音頻率	能量大小
基頻	146	1	146	1	147	1
第 2 頻	440	0.59	441	0.97	441	0.82
第 3 頻	723	0.15	722	0.3	740	0.14
第 4 頻	525	N/A	490	N/A	1027	0.12
第 5 頻	578	N/A	1020	N/A	41	N/A

頻率單位：Hz

3. 第三次量測數據

	45 度角($f_{45\text{mm}}$)		90 度角($f_{90\text{mm}}$)		120 度角($f_{120\text{mm}}$)	
量測 照片						
	泛音頻率	能量大小	泛音頻率	能量大小	泛音頻率	能量大小
基頻	145	1	146	1	147	1
第 2 頻	436	0.62	439	0.92	442	0.8
第 3 頻	721	0.32	721	0.32	726	0.27
第 4 頻	513	N/A	506	N/A	1049	0.2
第 5 頻	344	N/A	483	N/A	38	N/A

頻率單位：Hz

(五)、 結論探討

我們觀察三次量測的結果，實驗組及對照組的基頻都在 146 Hz 左右，符合我們假設 1。音色部分，45 度及 90 度拍擊主要泛音組成是由基頻、3 倍頻及 5 倍頻所組成，但是 120 度拍擊卻明顯出現了 7 倍頻；45 度拍擊的 3 倍頻能量約為基頻的 0.6 倍，但是 90 度拍擊的 3 倍頻能量卻約為基頻的 0.9 倍。其餘頻率我們推論是屬於拍擊過程產生的雜訊或是環境雜訊，我們選擇忽略。所以我們推論假設 2 不成立。我們的結論如下：

1. 結論 1：不同拍擊力道「不會」影響音階基頻
2. 結論 2：不同拍擊力道「會」影響音色

七、 實驗 6：不同「材質」是否影響「音階基頻」及「音色」？

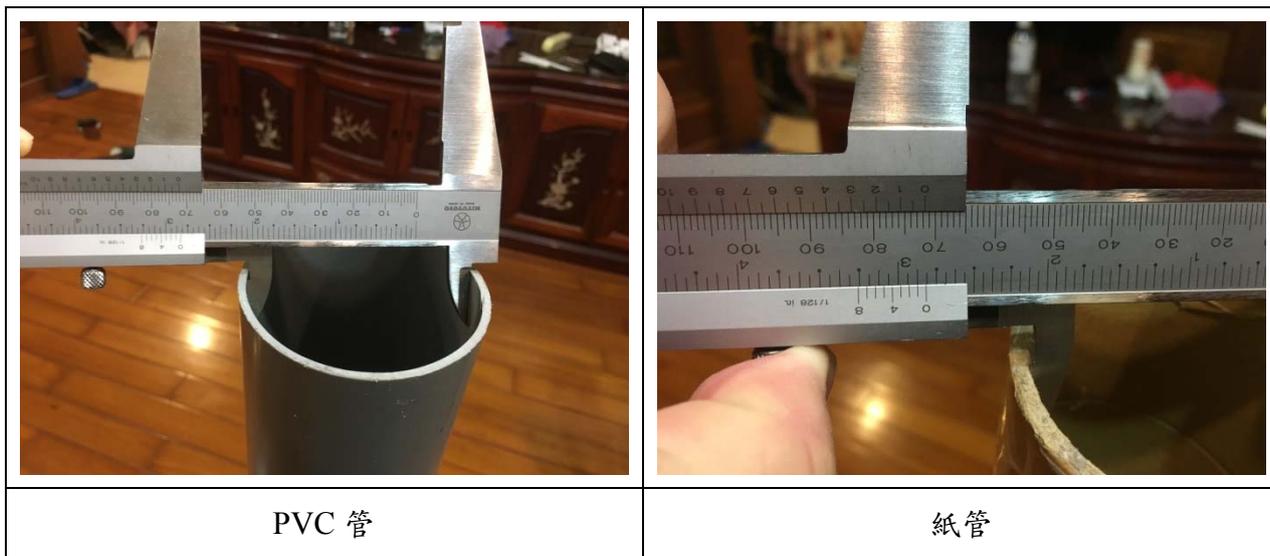
(一)、 說明

我們原先想用 PVC 管來製作沓互，現在改用紙管來製作，想了解一下使用不同材質來製作沓互會不會影響音階以及是否具有不同的音色，所以我們想做這個實驗。但是因為我們找到的 PVC 管的規格內徑 72mm，跟我們主要使用的內徑 77mm 紙管不同，所幸我們從之前從印刷廠拿到的回收紙管中有一隻內徑 72mm 壁厚 2mm，剛好符合我們所需，經過裁切成 100 公分長後進行本項實驗。

1. 假設 1：不同材質「不會」影響音階基頻
2. 假設 2：不同材質「會」影響音色

(二)、 測試標的

1. 實驗組：內徑 72mm，壁厚 2mm，PVC 管
2. 對照組：內徑 72mm，壁厚 2mm，紙管

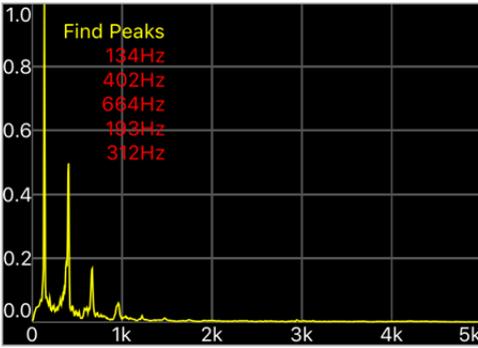
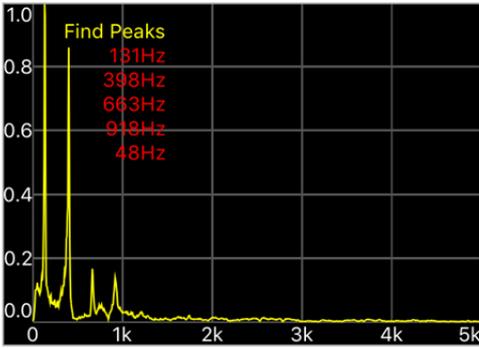


(三)、 音階基頻量測數據

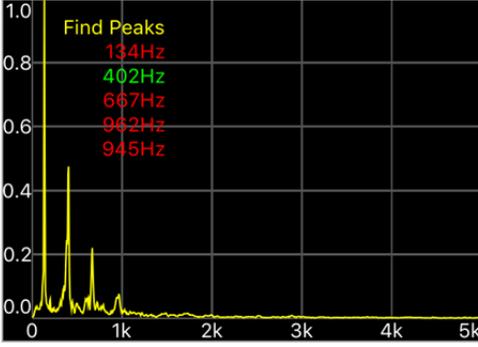
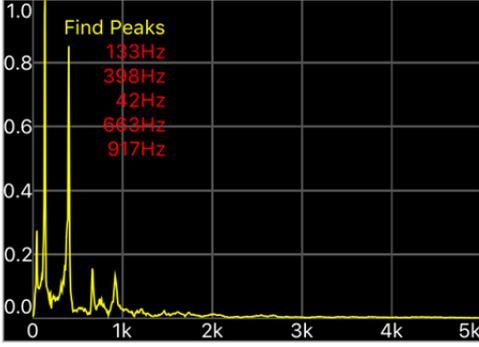
	72mm PVC 管(f_{PVC})	72mm 紙管(f_{paper})
第 1 次	134 Hz	131 Hz
第 2 次	134 Hz	133 Hz
第 3 次	134 Hz	133 Hz

(四)、 音色量測數據

1. 第一次量測數據

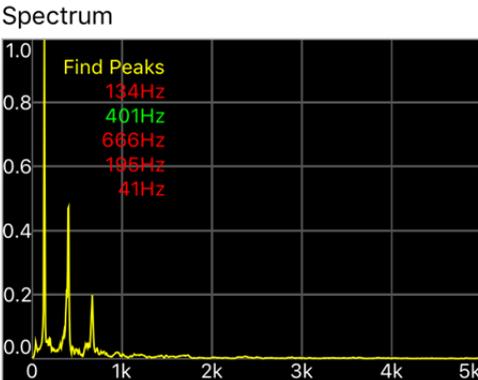
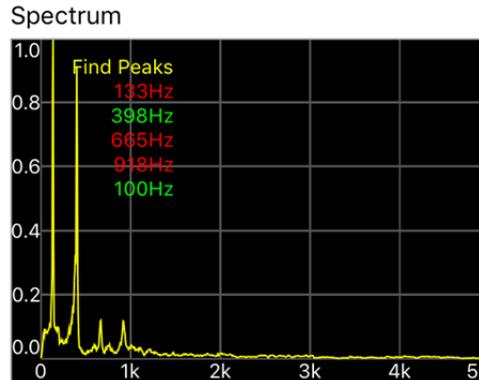
	72mm PVC 管(f_{PVC})		72mm 紙管(f_{paper})	
量測 照片				
	泛音頻率	能量大小	泛音頻率	能量大小
基頻	134 Hz	1	133 Hz	1
第 2 頻	402 Hz	0.5	398 Hz	0.85
第 3 頻	664 Hz	0.18	663 Hz	0.18
第 4 頻	193 Hz	0.06	918 Hz	0.17
第 5 頻	312 Hz	N/A	48 Hz	N/A

2. 第二次量測數據

	72mm PVC 管(f_{PVC})		72mm 紙管(f_{paper})	
量測 照片				

	泛音頻率	能量大小	泛音頻率	能量大小
基頻	134 Hz	1	133 Hz	1
第 2 頻	402 Hz	0.48	398 Hz	0.87
第 3 頻	668 Hz	0.22	42 Hz	0.28
第 4 頻	197 Hz	0.08	663 Hz	0.18
第 5 頻	314 Hz	N/A	917 Hz	0.17

3. 第三次量測數據

	72mm PVC 管(f_{PVC})		72mm 紙管(f_{paper})	
量測 照片				
	泛音頻率	能量大小	泛音頻率	能量大小
基頻	134 Hz	1	133 Hz	1
第 2 頻	401 Hz	0.49	398 Hz	0.9
第 3 頻	666 Hz	0.2	665 Hz	0.12
第 4 頻	195 Hz	N/A	918 Hz	0.12
第 5 頻	41 Hz	N/A	100 Hz	N/A

(五)、 結論探討

我們觀察三次量測的結果，實驗組及對照組的基頻都在 133 Hz 左右，符合我們假設 1。在音色部分，實驗組主要的泛音組成是由基頻、3 倍頻及 5 倍頻所組成，其餘出現的頻率我

們推論是屬於拍擊過程產生的雜訊或是環境雜訊，我們選擇忽略。而對照組主要的泛音組成卻是由基頻、3 倍頻、5 倍頻及 7 倍頻所組成，兩組的 3 倍頻的能量約為基頻的 0.5 倍及 0.85~0.9 倍，所以我們推論假設 2 也成立。我們的結論如下：

1. 結論 1：不同材質「不會」影響音階基頻
2. 結論 2：不同材質「會」影響音色

八、 實驗 7：紙管單/雙邊開口的「音階基頻」及「音色」是否存在差異？

(一)、 說明

少多宜老師在我們到台東沓互園區時提到其他南島民族有用兩端開口的竹管樂器，是以管子的長短決定音高，阿美族個沓互是以管的深度決定音高，這引起我們的興趣想了解「單邊開口」跟「雙邊開口」的紙管所發出的聲音到底音階以及音色是不是相同。

1. 假設 1：單邊或雙邊開口「會」影響音階基頻
2. 假設 2：單邊或雙邊開口「會」影響音色

(二)、 測試標的

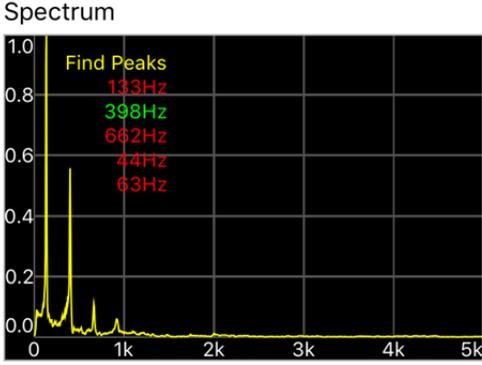
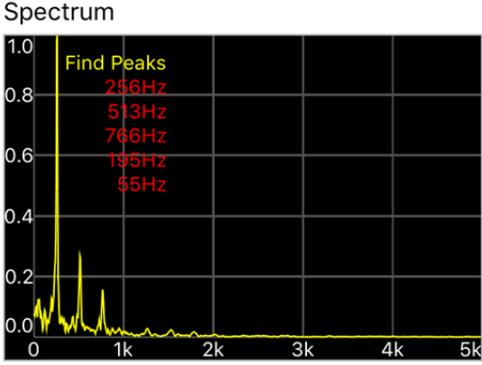
1. 實驗組：內徑 77mm，壁厚 2mm，管長 620mm，紙管，雙邊開口
2. 對照組：內徑 77mm，壁厚 2mm，管深 620mm，紙管，單邊開口

(三)、 音階基頻量測數據

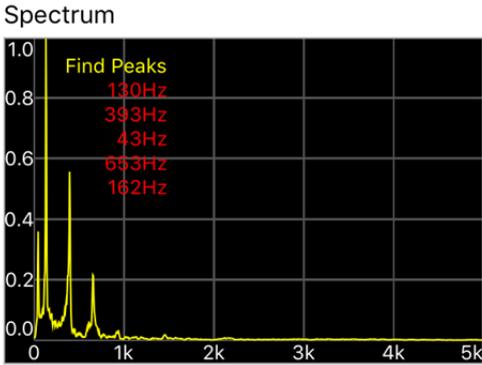
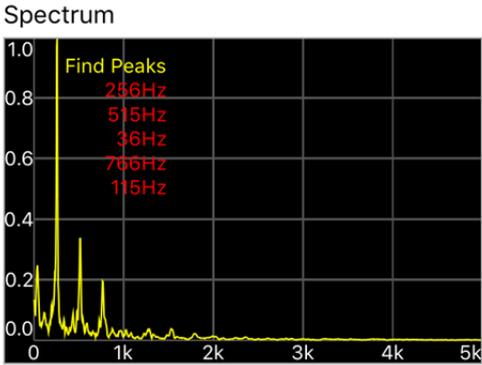
	單邊開口(f_1)	雙邊開口(f_2)
第 1 次	133 Hz	256 Hz
第 2 次	130 Hz	256 Hz
第 3 次	130 Hz	257 Hz

(四)、 音色量測數據

1. 第一次量測數據

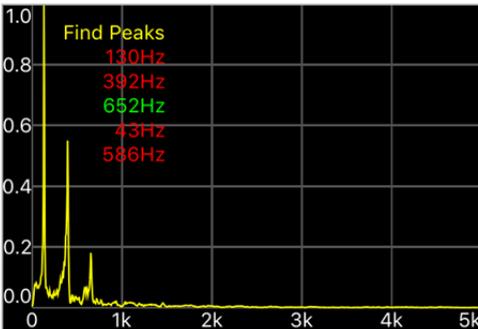
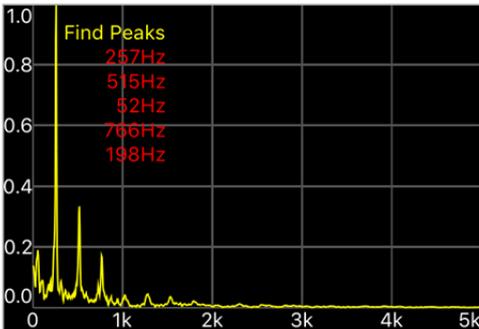
	單邊開口(f_1)		雙邊開口(f_2)	
量測 照片				
	泛音頻率	能量大小	泛音頻率	能量大小
基頻	133 Hz	1	256 Hz	1
第 2 頻	398 Hz	0.56	513 Hz	0.28
第 3 頻	662 Hz	0.12	766 Hz	0.16
第 4 頻	44 Hz	N/A	195 Hz	N/A
第 5 頻	63 Hz	N/A	55 Hz	N/A

2. 第二次量測數據

	單邊開口(f_1)		雙邊開口(f_2)	
量測 照片				

	泛音頻率	能量大小	泛音頻率	能量大小
基頻	130 Hz	1	256 Hz	1
第 2 頻	393 Hz	0.65	515 Hz	0.34
第 3 頻	43 Hz	0.19	36 Hz	0.26
第 4 頻	653 Hz	0.1	766 Hz	0.2
第 5 頻	162 Hz	N/A	115 Hz	N/A

3. 第三次量測數據

	單邊開口(f_1)		雙邊開口(f_2)	
量測 照片				
	泛音頻率	能量大小	泛音頻率	能量大小
基頻	130 Hz	1	257 Hz	1
第 2 頻	392 Hz	0.56	515 Hz	0.34
第 3 頻	652 Hz	0.18	52 Hz	0.19
第 4 頻	43 Hz	N/A	766 Hz	0.18
第 5 頻	586 Hz	N/A	198 Hz	N/A

(五)、 結論探討

我們觀察三次量測的結果，實驗組及對照組的基頻分別約為 257 Hz 及 133 Hz 左右，相同長度(管深)雙邊開口紙管測得的頻率約為單邊開口紙管的 2 倍，符合我們假設 1 音階基頻

會受影響。在音色部分，實驗組主要的泛音組成是由基頻、2 倍頻及 3 倍頻所組成，其餘出現的頻率我們推論是屬於拍擊過程產生的雜訊或是環境雜訊，我們選擇忽略。而對照組主要的泛音組成是由基頻、3 倍頻及 5 倍頻所組成，實驗組的 3 倍頻能量約為基頻的 0.5~0.6 倍，而對照組的 3 倍頻能量約為基頻的 0.3~0.4 倍，所以我們推論假設 2 同樣成立。針對這個結果，我們也嘗試上網找尋相關的資料來驗證我們的實驗結果，果然在高瞻自然科學教育資源平台 <http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=19239> 有一篇彰化高中劉翠鵬老師及師範大學蔡志申教授所寫的一篇「聲音的共振-共鳴」文章所描述的結果與我們實驗量測出來的結果相互吻合，因此針對此實驗我們的結論如下：

1. 結論 1：單邊開口或雙邊開口「會」影響音階基頻
2. 結論 2：單邊開口或雙邊開口「會」影響音色

九、 實驗 8：兩倍管深紙管是否差八度音？

(一)、 說明

田秀禾老師跟我們說明過聲音是因為拍擊管互使管內空氣產生震波而產生的，她也提到一個音階與高八度的相同音的音頻會呈現倍數的關係，高八度音的頻率會是原來聲音的 2 倍，她請我們觀察高八度音的管深與原來聲音的管深的關係。所以我們進行這項實驗。

1. 假設 1：管深為一半的紙管發出的音頻為會是原有管深紙管發出的音頻的兩倍

(二)、 測試標的

1. 實驗組：內徑 77mm，壁厚 2mm，管深 375mm
2. 對照組：內徑 77mm，壁厚 2mm，管深 750mm

(三)、 管深兩倍音階基頻量測數據

	750mm 紙管(f_{long})(Do)	375mm 紙管(f_{short})
第 1 次	112 Hz	210 Hz
第 2 次	112 Hz	212 Hz
第 3 次	112 Hz	212 Hz

	750mm 紙管(f_{long})(Do)	375mm 紙管(f_{short})
第 1 次	<p>Spectrum</p> <p>Find Peaks 112Hz 333Hz 555Hz 34Hz 62Hz</p>	<p>Spectrum</p> <p>Find Peaks 210Hz 620Hz 176Hz 84Hz 314Hz</p>
第 2 次	<p>Spectrum</p> <p>Find Peaks 112Hz 333Hz 555Hz 26Hz 379Hz</p>	<p>Spectrum</p> <p>Find Peaks 212Hz 627Hz 586Hz 38Hz 69Hz</p>
第 3 次	<p>Spectrum</p> <p>Find Peaks 112Hz 334Hz 555Hz 36Hz 63Hz</p>	<p>Spectrum</p> <p>Find Peaks 212Hz 629Hz 175Hz 135Hz 39Hz</p>

(四)、 結論探討

我們觀察三次量測的結果，實驗組及對照組的基頻分別約為 212 Hz 及 112 Hz 左右，我們使用的 750 Hz 的管子是低音 La，正確頻率應為 110 Hz，而高八度的音為 220 Hz，我們觀察到我們實際量測 375mm 長的管子所得到音頻為 212 Hz，已經超過我們設定 2% 誤差範圍，所以我們認為紙管管深減一半，所得到的頻率雖然接近 2 倍，但是可能因為其他因素而不會

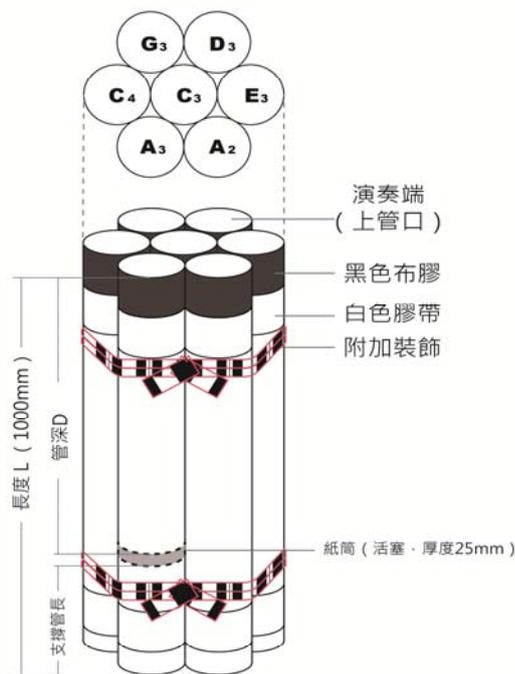
得到 2 倍的頻率，所以我們的假設不成立。雖然我們相信在各方條件都完美的情況下我們可以
 以得到 2 倍的結果，但針對此實驗我們的結論如下：

1. 結論 1：管深為一半的紙管發出的音頻為「不會」是原有管深紙管發出的音頻的兩倍

十、 實驗結果統整

	操縱變因	控制變因	應變變因	實驗結果
實驗二	管壁厚度 實驗組：8mm 對照組：2mm	內徑：77mm 管深：620mm 材質：紙管	音階基頻	「不會」影響「音階基頻」
			音色	「會」影響音色
實驗三	內徑 實驗組：50mm 對照組：77mm	壁厚：2mm 管深：620mm 材質：紙管	音階基頻	「不會」影響「音階基頻」
			音色	「會」影響音色
實驗四	管深 實驗組：550mm、 486mm、402mm、 353mm 對照組：620mm	壁厚：2mm 內徑：77mm 材質：紙管	音色	管深「會」影響音色(泛音組合)
實驗五	拍擊角度 實驗組：90 度、120 度 對照組：45 度	壁厚：2mm 內徑：77mm 管深：550mm 材質：紙管	音階基頻	「不會」影響「音階基頻」
			音色	「會」影響音色
實驗六	材質 實驗組：PVC 管 對照組：紙管	壁厚：2mm 內徑：72mm 管深：620mm	音階基頻	「不會」影響「音階基頻」
			音色	「會」影響音色
實驗七	開口數 實驗組：雙邊開口 對照組：單邊開口	壁厚：2mm 內徑：77mm 管深：620mm 材質：紙管	音階基頻	「會」影響「音階基頻」，雙 邊開口頻率為單邊開口兩倍
			音色	「會」影響音色
實驗八	管深兩倍 實驗組：375mm 對照組：750mm	壁厚：2mm 內徑：77mm 材質：紙管	音階基頻	管深一半的紙管發出的音頻 為「不會」是原有管深紙管 發出的音頻的兩倍

十一、 附圖：紙筒沓互構造及其音階示意



圖·紙筒沓互構造及其音階示意

壹拾、 推廣沓互文化

本次研究之後，我們除了積極參與 AMIS 沓互樂團的公演之外，也努力尋找機會來推廣沓互的文化，有幸地在板橋浮洲合宜住宅以及我們參與的鶯桃 CC 共學小組中介紹我們本次的研究以及沓互的文化，更到一位罹患罕見疾病的朋友慶生會中演奏沓互，以傳遞沓互報喜傳愛的精神，也藉由這些推廣的機會，讓沓互的文化意涵互深植在我們的心中。未來我們也會持續到小學以及一些長照養護機構及老人共食單位推廣我們研究的成果以及沓互的文化。



浮洲合宜住宅介紹沓互文化及發表成品



AMIS 沓互樂團演奏推廣



鶯桃 CC 共學小組介紹沓互文化(一)



鶯桃 CC 共學小組介紹沓互文化(二)



AMIS 沓互樂團及研究團隊合照

壹拾壹、 總結與建議

一、 總結

本次研究動機中，我們期許能回溯至源頭「可溯性」，藉由回到沓互的故鄉以及訪談持續為文化傳承努力的少多宜老師，透過回到部落的機會，更認識沓互從過去到現在的沿革和其不變的精神—報喜傳愛。透過加入台北 AMIS 沓互樂團，我們兩個在沓互文化的傳承上更具使命感，不僅僅是演奏表演，更是藉由科展的機會，好好地從不同角度來探究這屬於原民的文化及樂器。我們參考了許多文獻並收集了許多研究資料，察覺屬於沓互的資料寥寥可數，讓我們明白自己能做的也很有限。本次科展，我們嘗試讓自己跨出一小步，創新使用不同的材質來呈現沓互另一種可能，也就是生活在城市中能接觸到刺竹與麻竹這類自然材料的機會很渺茫，因此我們以在地生活中能取得的紙筒作為環保材質、經濟實惠的替代品，也嘗試在不同場合進行簡單的發表和推廣，讓沓互的精神得以傳揚出去。綜合以上，若要我們來述說，相較於沓互的原型及現有的演奏形式，紙管沓互仍僅是一個創作性實驗成果，藉由實際的採集、參與製作及演奏，並且傾聽耆老傳講和文化流傳，實地走訪一趟故鄉，才是我們本次科展最大的收穫，同時，也期望邀請更多的人來認識沓互。

二、 建議

1. 沓互是一個非常珍貴的傳統文化，兩位年輕人要更積極推廣把它傳承下去。
2. 未來紙管的材料建議使用再生紙管或更環保的材料，可以減少污染和造福地球。
3. 目前沓互所使用的拍子不夠環保，未來可以進一步研發，使用更環保的材質製作。
4. 建議未來使用更專業的測量儀器，使測量更精準，以便和其他樂器合奏。
5. 實驗時建議在隔音效果更好的地方進行測量，以減少雜音干擾影響實驗的數據。
6. 實驗過程和結果可請課程專家協助，研發學校可以使用的教材，讓學習更生動活潑。

壹拾貳、 參考文獻

1. 「台灣阿美族的樂器」，凌曼立博士，中研院民族所 1961
2. 「音階的制定」，國立清華大學資訊工程研究所博士班，鄭嘉緯 著
3. 「音階標準頻率」，振動噪音產學技術聯盟
http://aitanh.blogspot.com/2018/03/blog-post_19.html
4. 「波動的基本性質與作用」，Newton 量子科學雜誌 18 號
5. 「音樂與泛音」，科學發展雜誌 506 期，2015/02，孫俊彥 著
6. 「聲波的波形與頻率的關係」，國立師範大學物理系網站
<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/html.php?html=teacher/sound/sound5>
7. 「聲音的共振-共鳴(Acoustic Resonance)」，高瞻自然科學教育資源平台
<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=19239>
8. 「台灣原住民阿美族打擊樂發展-以 Amis 沓互樂團為例」 曾邵恩 撰 國立台北藝術大學音樂學院畢業書面報告
9. 「竹管打擊樂器震動特性之探討」 陳駿銘 著 國立宜蘭大學自然資源學系碩士論文