

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 物理科

第三名

030109

來自鄒族的科學鳥羽箭-探討鳥羽箭的氣動流體力學與聲學之研究

學校名稱：嘉義縣立民和國民中學

作者： 國二 汪俊凱 國二 林世盛 國二 吳佳蕙	指導老師： 蔡明哲 侯怡如
---	-----------------------------

關鍵詞：鄒族鳥羽箭、流體力學、聲學

作品名稱:來自鄒族的科學鳥羽箭-探討鳥羽箭的氣動流體力學與聲學之研究

摘要

鳥羽箭為鄒族獵人必須學習重要的狩獵技術，蘊含流體力學知識。經由耆老的指導鄒族鳥羽弓箭製作，發現鳥羽弓箭的確可以增加射程及準確率。接著進行最佳化探討，研究發現如下:(1)製弓要使用 4 節桂竹，(2)箭長度最佳為使用 90 公分箭竹，(3)最適合黏貼藍腹鵞羽毛於箭尾，(5)射擊的角度 0° 與 45° 有最遠的射程，箭尾增加射程及準確率也可於小型鳥羽箭射擊模型被證實。接著探討藍腹鵞羽毛作為箭羽的優點，經實體實驗及模擬實驗相互比對，發現藍腹鵞的羽毛具有穩定流場的功效，藉由實驗分析圖我們發現藍腹鵞鳥羽相較於其他羽毛有較高的風速，產生自較強氣流，紊流卻可減少，降低噪音。以上特點均可**提高獵人狩獵成功率，同時支持原住民族科學也可以被西方科學證實。**

壹、研究動機

國一我們參加了阿里山鄉運動會傳統射箭比賽，學習並且展現我們鄒族傳統的射箭技藝，發現族人們射箭的技能很多都非常專精，鄒族耆老跟我們一群參賽者說:「射箭是鄒族獵人從古至今賴以維生且必須學習的技能，具有百年以上演進並且必須被傳承的重要性，可以顯示**鄒族傳統狩獵尊重土地並與之共生的精神**」，這個技術深深的吸引了我們。

回到我們居住的鄒族「逐鹿部落」後，發現居然有「多得士(totxsx)」(鄒語:射箭)傳統箭術射箭場，於假日期間提供來自各地的遊客進行鄒族弓箭射擊體驗，假日的文化導覽員老師說:「鄒族的箭術技能是鄒族獵人的傳統生活技能，以竹子為材料，與其他原住民族弓箭相異的地方是**鄒族的弓箭會黏上兩支藍腹鵞的鳥羽，可以穩定飛行的距離並且能讓射出的箭旋轉，讓箭射出更容易射中靶心**」(圖 1)，國一寒假回到達邦部落鄒族自然保育館，鄒族達邦頭目及耆老也告訴我們鄒族的「折箭之約」傳說故事，在很久以前有大洪水侵襲部落，歷經洪水大難不死的鄒族人分成兩路發展並折斷弓箭約定來日相見，弓箭在傳說故事中是重要的信物，因此可以知道弓箭在鄒族人裡的重要地位，而且**鄒族與其他原住民族不同的是會添加羽毛於箭身，而羽毛不只有裝飾的功能，並且可以增加準確率及射程，具有鄒族獨特的科學**

知識(汪啟德，2022、莊清明，2023)(圖 2)。

連假期間回到山美及新美部落遇到鄒族長老後，長老跟我們介紹百年前鄒族人就會製弓狩獵，以往製作弓箭則是使用木頭，等竹子引進部落後才改用竹子製作，而且竹子選取也有特殊的技巧，並有特殊的製作方式(莊良賢，2022)(圖 3)。百年前鄒族人會蒐集特殊的「蜂膠」，將兩隻「藍腹鷗的鳥羽」黏貼於弓箭後方，而這種蜂膠黏性相當的強，可以媲美現代的「三秒膠」，加熱後可以保存多年(莊清明，2023)(圖 4)。

我們發現鄒族鳥羽弓箭蘊含的科學知識博大精深，並且富有百年狩獵文化演進知識體系，非常值得深入研究，我們三個人跟著老學習後就想提出為什麼鄒族只黏貼「藍腹鷗」的羽毛呢?而黏貼羽毛後的箭真的可以射得**比較遠而且比較準嗎?**真的如同耆老所說的，**鳥羽箭具有提高狩獵精準度，並有穩定流場的功能嗎?**若是黏貼羽毛射擊時會不會反而增加噪音呢?**還是可以減少噪音呢?**這些都引起我們極大的科學探究興趣，而我們也發現這個鳥羽弓箭和我們國二下學期所學第六單元:力學相符合，因此便開始我們持續兩年科學專題生活。



圖 1:鄒族逐鹿部落多得士(totxsx)射箭場



圖 2:鄒族部落領袖分享鄒族弓箭傳說故事

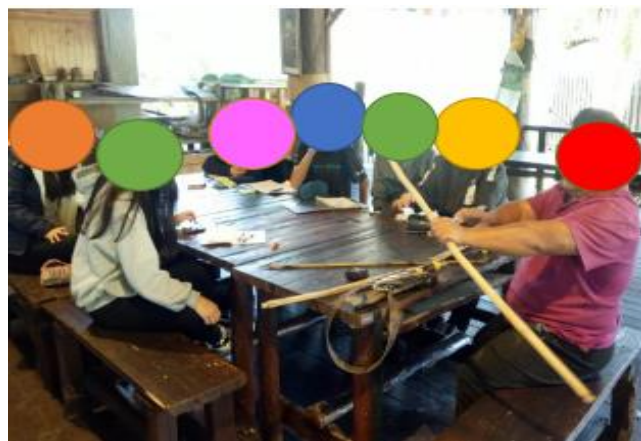


圖 3:鄒族耆老指導我們鳥羽弓箭製作方式



圖 4:耆老分享鄒族百年前用蜂膠黏貼羽毛

貳、研究目的

- 一、學習製作鄒族鳥羽弓箭，並嘗試有無鳥羽對於鳥羽弓箭射擊距離的影響。
- 二、研究弓的製作，研究不同竹節個數製弓對於鄒族鳥羽弓箭射擊距離的影響。
- 三、研究箭的製作，探討鳥羽箭的長度對於鳥羽弓箭射擊距離的影響。
- 四、研究箭的製作，探討不同鳥羽對於鳥羽弓箭射擊距離的影響。
- 五、研究箭的製作，探討不同鳥羽黏貼位置對於鳥羽箭射擊距離的影響。
- 六、研究射擊方式，射擊仰角(0°、30°、45°、60°)對於鳥羽弓箭射擊距離的影響。
- 七、以自製小型模擬弓箭射擊場域，貼上不同材料是否可以增加準確率及射程的效能。
- 八、自行設計並建置風洞系統，拍攝與觀察不同鳥羽箭其流場流態變化。
- 九、透過流體力學分析不同種類羽毛鳥羽箭之紊流、風速強度、風壓強度分布。
- 十、透過流體力學分析不同種類羽毛鳥羽箭之噪音頻普分析圖。

參、研究設備及器材

- 一、鄒族耆老教學如何製作鄒族鳥羽箭與鳥羽弓(莊良賢，2022；莊清明，2023)。
 - (一). 鄒族耆老介紹鄒族獵人的智慧:鳥羽弓箭【鄒語: yanosuyu；pobaku】。

1. 鄒族弓箭的本體與架構、材料對應之物理科學概念。

鄒族鳥羽箭架構可以分為鳥羽弓(yanosuyu)(圖 5)與鳥羽箭(tu'stu)(圖 6)，其中鳥羽弓的科學原理為拉弓時產生彈性能，形變恢復後產生動能，藉由能量守恆可知，若產生形變量相同，產生的動能就相同，因此 k (彈力常數)就會成為影響射程很重要的因素。

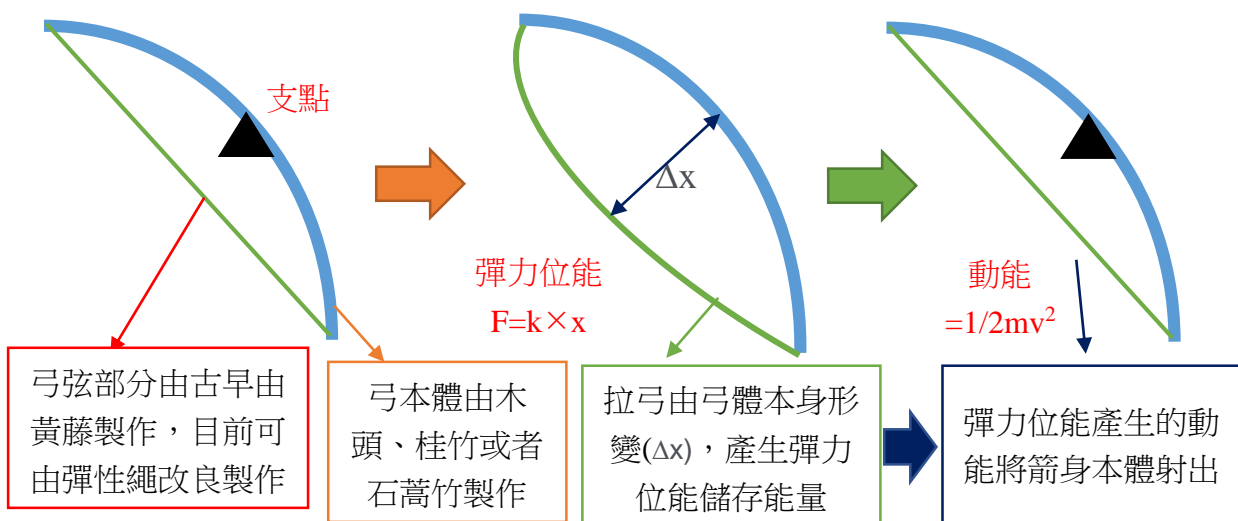


圖 5:鄒族鳥羽弓(yanosuyu)之材料及其科學概念示意圖

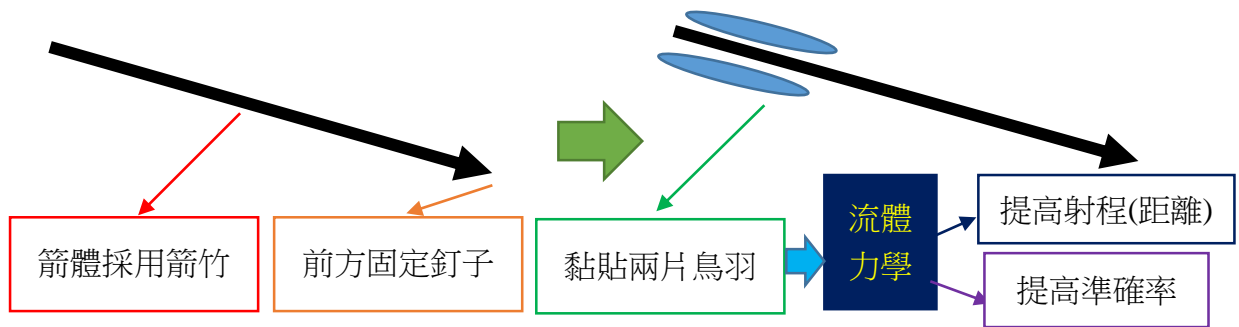


圖 6.鄒族鳥羽箭(tt'st)之材料及其科學概念示意圖

2.鄒族鳥羽弓箭之演進及特殊性。

鄒族耆老分享鄒族弓箭最古早會使用木頭製作，木頭可以保存比較久(圖 7)，但採集比較不方便，因為木頭的植物材料在高海拔才較容易採集，因此如果部落海拔位置較低，竹子就為較佳的材料，製弓的竹子可以採集桂竹或石蒿竹，製箭的材料為箭竹，鄒族人以往會將箭竹前方削尖，到了現在會直接塞入鐵釘作為狩獵的攻擊獵物尖端，鄒族鳥羽弓箭材料隨時代演進如下圖(圖 9)，鄒族獵人對於文化是有自己的堅持，像是:箭尾黏貼一定要用母藍腹鵝的羽毛(圖 8)，編織鳥羽箭時要用特殊的蜂膠，而現今雖然有變作法，但是耆老仍然會說古老的用法，為了就是要告訴我們祖先們對於自然資源是善於使用且有智慧的。



圖 7:鄒族鳥羽弓與箭圖示



圖 8:鳥羽箭用母藍腹鵝羽毛

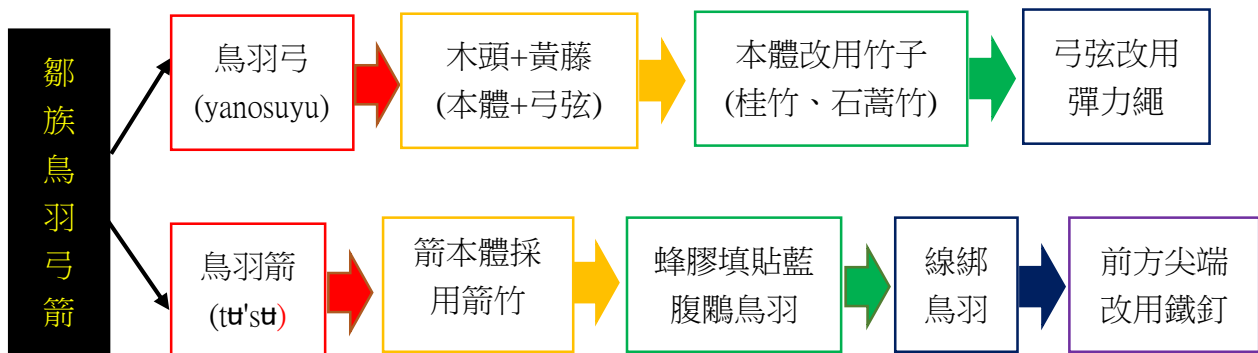


圖 9:鄒族鳥羽弓箭材料隨時代演進概念圖

(二). 鄒族耆老教學製作鄒族鳥羽弓(yanosuyu)。

經由鄒族耆老的教學我們將簡化步驟製成表格如下(表 1)，其中步驟 5~步驟 6 特別要注意，必須要反著(竹子綠色部分必須向內)，弓箭能射出的距離會較遠(莊良賢，2022)。

表 1:製作鄒族鳥羽弓之步驟與流程

	 <p>切為 1/2</p> <p>切為 1/4</p>	
<p>步驟 1:將石蒿竹削成 1/2</p>	<p>步驟 2:將石蒿竹削成 1/4</p>	<p>步驟 3:後端削成尖端方塊</p>
		 <p>請注意方向</p>
<p>步驟 4:將彈力繩打個死結</p>	<p>步驟 5:將兩端都削成方塊</p>	<p>步驟 6:將彈力繩裝上方塊</p>

(三). 鄒族耆老教學製作鄒族鳥羽箭(tu'su) (莊良賢，2022)。

經由鄒族獵人耆老的教學及指導，製箭的材料必須為藍腹鷓母的羽毛，通常為第四對(不可以太長或太短)，綁棉線時可以留一些角度，讓羽毛與箭竹之間呈現稍微伏貼角度。

表 2:製作鄒族鳥羽箭之步驟與流程

		
<p>【步驟 1】:找兩個大小相同的藍腹鷓母鳥的鳥羽</p>	<p>【步驟 2】:取成對的鳥羽後，鳥羽的尖端要削尖</p>	<p>【步驟 3】:將羽毛用棉線綁上，於箭竹的後端(成對)</p>



二、鳥羽弓箭不同射擊角度射擊方式之說明

我們為了測量提升仰角是否會增加射擊距離，因此我們以同一個人以相同磅數(均為 45 磅 LB)，其中國人獵弓射擊的平均數為:45-60 磅/女生為 30-45 磅，取其共同中間數值為 45 磅，故此次不論是男生或女生均可以以此實驗方式進行射擊，並探討不同射擊角度對於鳥羽弓箭遠近距離的影響，其射擊角度為: 0° 、 30° 、 45° 、 60° ，其射擊模式分別為圖 10~圖 12。

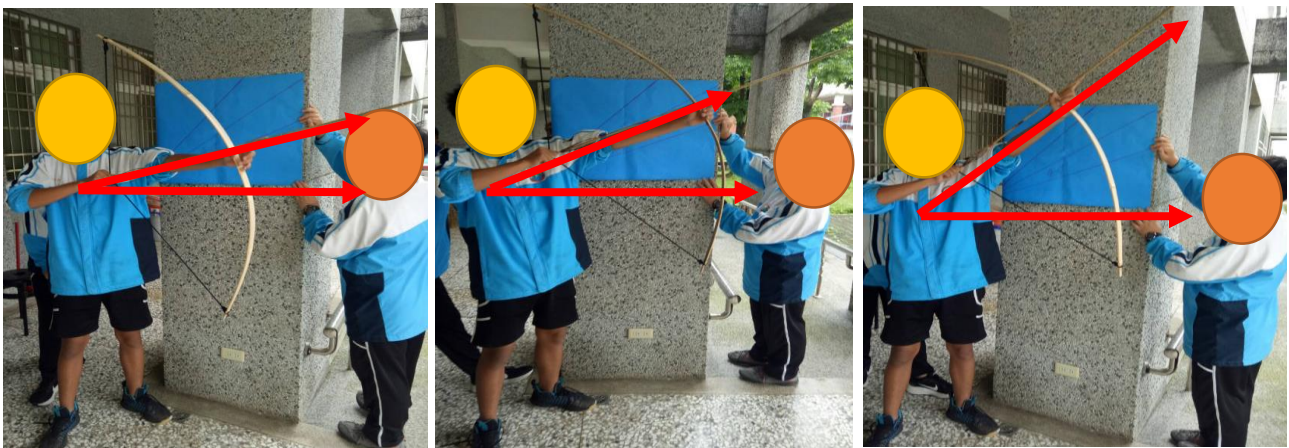


圖 10:以固定 30° 角進行射擊

圖 11:以固定 45° 角進行射擊

圖 12:以固定 60° 角進行射擊

三、鳥羽弓射擊檢測說明(射擊距離、準確率)

(一). 射擊距離測量(測量距離:公尺 m)



圖 13:鄒族鳥羽箭射擊方式及說明

(二). 射擊準確率測量(單位:偏離垂直角度 $^{\circ}$)

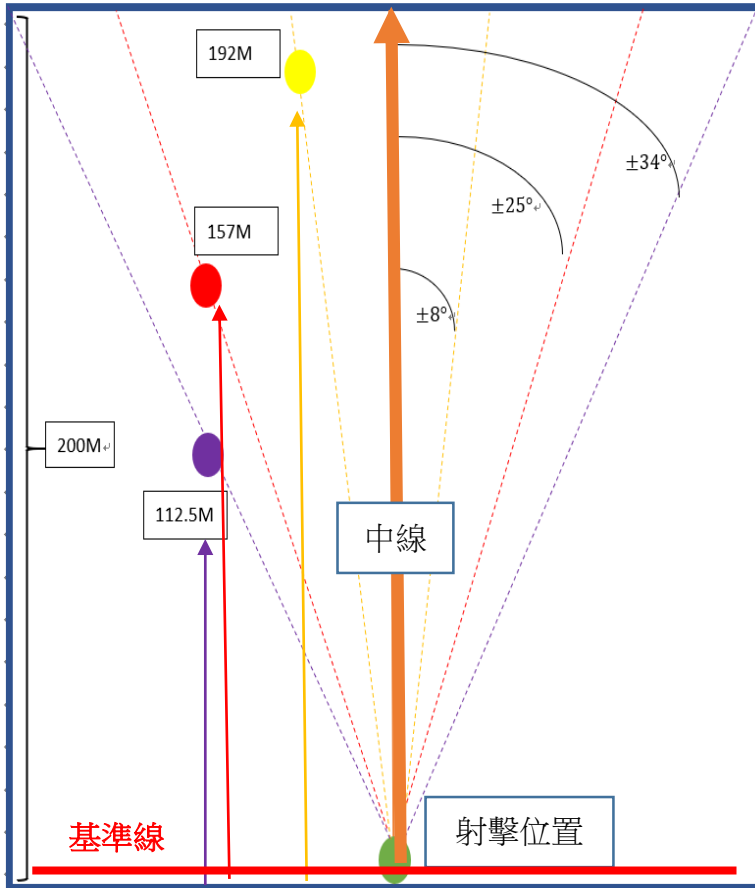


圖 14:計算射擊距離(公尺)與準確率(偏離角度)示意圖

【說明】:

- 1.射擊者站於基準線中心位置，往中線位置直線發射，並且經由兩人以上確認無誤才可進行實驗。
- 2.計算射程:以落地點繪製標記，假設為紅、黃、紫點(圖 14)，以基準線計算垂直距離(單位:公尺)。
- 3.計算偏離角度:以中線為 0° ，中線與基準線垂直，計算各點與射擊位置連線後，與中線的夾角(圖 14)，即為偏離角度(取整數)。
- 4.若有狂風則計為離差值，數據同一人測，取 30 組數據。

四、依據耆老教學自行研發製作小型鳥羽弓箭模型，並且減少人為因素依據。

(一). 自製小型鳥羽弓箭模型，解決因人而異的鄒族鳥羽弓箭設計。

我們經過不同人以相同磅數的射擊後，的確鳥羽弓箭的射程會因人的射擊技巧而有所差異，因此為了解決因為人而造成誤差的現象，我們決定製作小型鳥羽弓箭模型，如下圖其中 A 點為支點，B 點伸長長度(ΔX)固定為 12 公分，單點固定進行射擊，減少誤差如下圖 15。

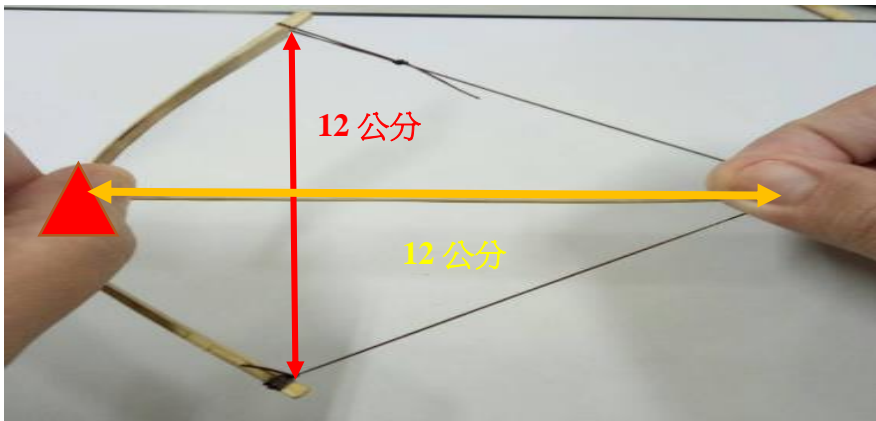



圖 15:自製小型鳥羽弓箭模型，射擊方式說明

【弓箭模型說明】

1.  為支點，由一手大拇指按住，固定不動。
2. 另一手由拇指及食指按住另一邊，發射時雙指放開，不額外出力。
3. 固定長度均為 12 公分。

(二).以鄒族耆老教學鳥羽弓特色，我們研發以竹筷製作小型弓及箭。

- 1.將竹筷長度設定為 18 公分，切割至厚度 0.3cm，並使用打火機讓竹筷微彎。
- 2.彎曲拉線固定後，弓的長度為 15 公分，可以替換棉線、橡皮筋、彈性絲。
- 3.弓後端，可以黏貼不同成品之物品(薄塑膠、紙片、厚塑膠、厚紙板)。

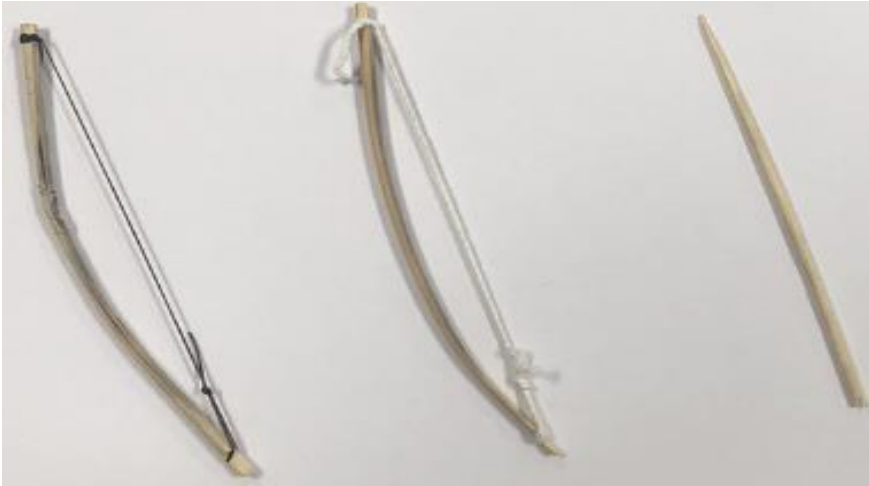


圖 16:竹筷製作小型弓及箭之成品

【小型弓箭模型說明】：

- 1.每支弓大小(長度及寬度)均固定，兩端均可以更換不同彈力常數繩子。
- 2.箭後端有凹槽，可以黏貼不同材質之外加材料，同時箭的長度為棉繩最大身長量 12 公分。

(三).自製固定射擊能量之發射台，及小型檢測發射場。

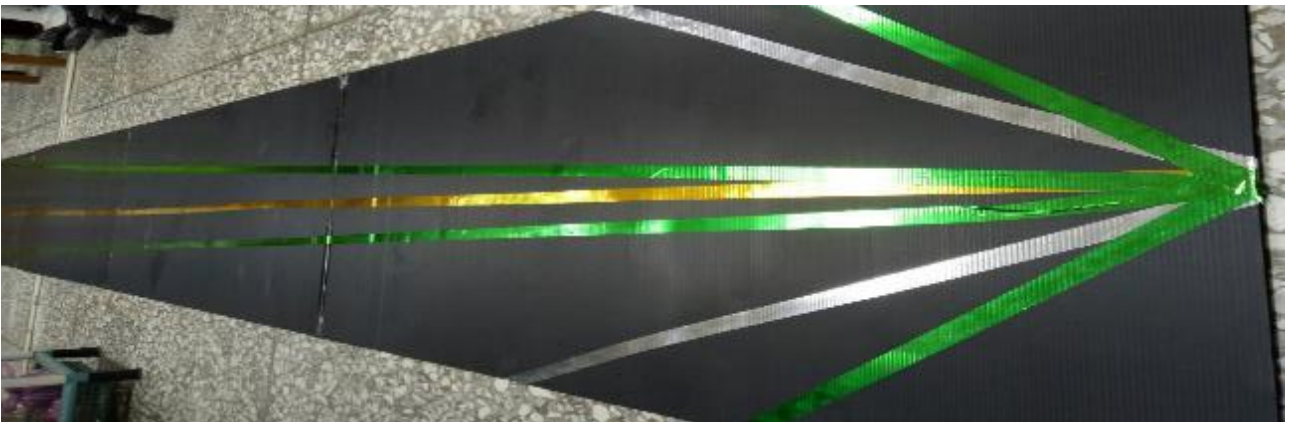


圖 17:固定射擊能量之發射台及小型檢測發射場

五、於鄒族新美部落內與鄒族獵人共同收集不同類型之鳥羽。

(一).耆老介紹收集羽毛的策略及方式。

- 1.耆老分享因為弓箭的黏貼羽毛不能太短，至少必須大於 10 公分以上，收集的羽毛為中大型鳥類，這些羽毛是必須要取成對對稱的長度，大部分由狩獵時一併進行採集，鄒族獵人利用陷阱抓取鳥類的同時，也同時收集鳥類之羽毛。
- 2.鄒族部落的鳥類許多是相當珍貴的保育類，鄒族的獵人都必須經過鄒族獵人協會頒發相對應的證書，才可以進行鳥類的狩獵及羽毛採集，同時取獵物之肉及蒐集

羽毛，每個部位均有其用途，可見鄒族獵人對於天然資源的重視及環保。

(二). 收集鄒族四種部落鳥類羽毛。

1. 經由鄒族獵人的協助，我們取得鄒族部落之四種鳥類羽毛，分別為：藍腹鵑羽毛、黑面鷹羽毛、海鷗(鳥)羽毛及烏鴉羽毛。

2. 取三支形狀較為完整且長度較為相近之羽毛，進行長度測量計算平均數(M)及標準差(SD)，並統整為以下表格(表 3)。

表 3: 鄒族四種部落鳥類羽毛比較(樣本數 N=6)

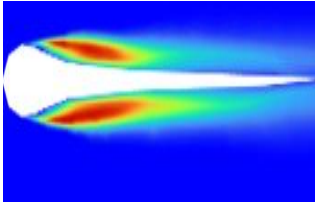
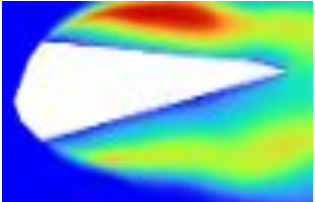
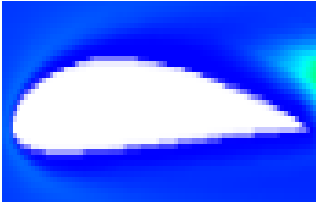
	藍腹鵑羽毛	黑面鷹羽毛	海鷗(鳥)羽毛
蒐集照片			
平均長度(cm)	16.89	17.23	15.56
標準差(SD)	0.4	0.6	0.7
取得方式	鄒族獵人提供	鄒族獵人協助蒐集	鄒族獵人協助蒐集

(三). 量化不同鳥羽形狀方式: 採用美國國家航空諮詢委員會 NACA 的編碼。

1. 不同羽毛截面編號方式: 美國航空資訊委員會 (NACA) 定義，是一種標記方法，將翼型的參數帶入以下特定公式中可求得精確地編號，其編號如表 4。

2. 先將羽毛的截面分為: 對稱四位數翼型及有彎度四位數翼型兩種類型。

表 4: 量化鄒族三種部落鳥類羽毛之美國國家航空諮詢委員會 NACA 的編碼

	藍腹鵑羽毛	黑面鷹羽毛	海鷗(鳥)羽毛
NACA 編碼	NACA0024	NACA 1050	NACA 1421
繪製簡易圖形說明 (以 NACA 及 ANSY 程式的圖形作為說明)			

六、自製流體力學風洞，並且進行流體力學實體實驗檢測紊流方式。

(一)、自製風洞測量儀器之研究設備:

名稱	量	名稱	量	名稱	量
竹子(桂竹)	50 支	煙霧產生器	1 個	led 燈條	2 條
軟尺	1 支	消音棉	10 個	量角器	2 個
透明板	1 片	油桶	1 個	錫槍	1 個
					
圖 18:桂竹	圖 19:煙霧產生器	圖 20: led 燈條	圖 21:軟尺	圖 22:消音棉	
					
圖 23:量角器	圖 24:透明板	圖 25:油桶	圖 26:錫槍	圖 27:電風扇	

(二)、自製風洞測量並量化鄒族鳥羽箭之流場分析裝置

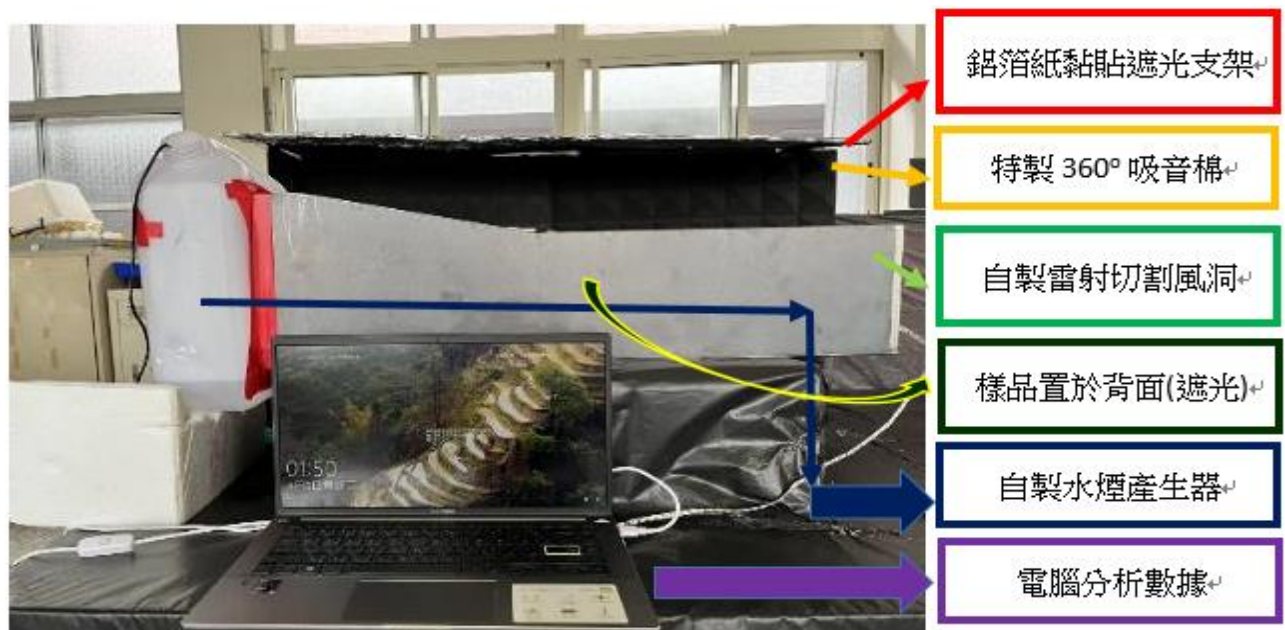


圖 28: 自製鄒族鳥羽箭紊流風洞實體分析裝置

(三)、自製風洞內部之特殊設計說明:

- 1.自製風洞設計理念:為了讓鳥羽箭的氣動變化可觀測且可記錄化，如圖 28。
- 2.可視化特殊設計:因此在操作時周遭需確認時刻保持低光源或者無光源，用鋁箔紙遮光，其附近再用吸音棉盡量降低噪音，同時收取聲音及畫面進行分析，如圖 32。
- 3.燈光依照風洞內部加裝的 LED，同始可用來使其流體明顯化，再將攝影器材至攝影區中實拍每種不同鳥羽箭之流場變化，進行流場拍攝風洞架設圖，如圖 29。

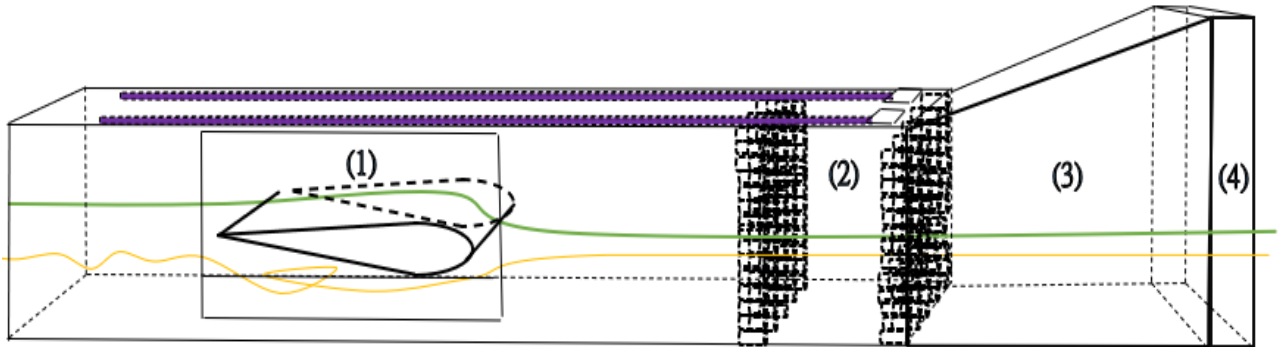


圖 29:自製風洞測量並量化鄒族鳥羽箭之流場分析設計圖

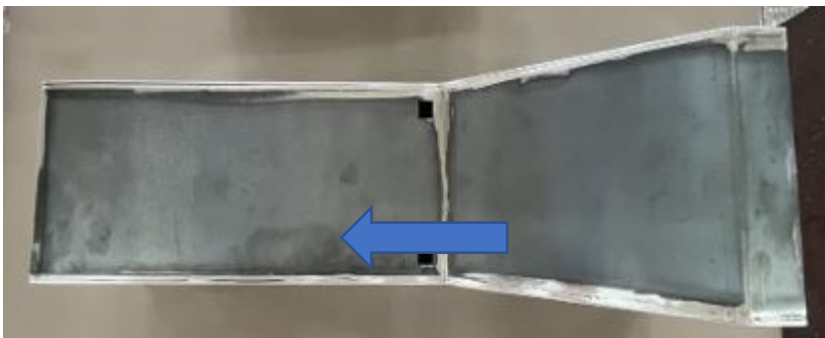


圖 30:自製流場風洞會有流場縮收段的設計(3→2)



圖 31:細部吸管確認流場方向



黏貼吸管使流場單一方向

煙霧產生器之濃煙由洞口流入

手機拍攝樣本之畫面捕捉位置

後方由鋁箔紙完全遮光

上下有 led 燈補光讓畫面清晰

圖 32:自製雷切風洞之特殊拍照設計

(四)、自製紊流水煙收集實驗:

- 1.透過水煙產生器與收集器將風洞內部的水煙量增加，並配合 LED 燈增強內部照射使流場可視化，並利用手機進行攝影截取相關圖片。
- 2.拍攝水煙隨氣流在經過鳥羽箭後的流態變化，並以此流態變化與模擬實驗的分析圖進行對比，以確認模擬與實體實驗之間的精準性。

七、科學模擬實驗分析程式:

(一)、流體力學分析程式:

- 1.**Gambit:建模軟體:**將 NACA 編號之圖形繪製，並帶入 Gambit 程式中，繪製模型截面圖以及周遭流場網格，接著才能導入 ANSYS 程式中進行流體力學分析。
- 2.**ANSYS 程式軟體:**是一款計算流體力學分析軟體，本研究以不同鳥羽之截面導入 ANSYS 程式，可以計算在理想的環境中，流場通過截面時的風速、風壓、紊流及噪音(分貝)，將數字分析進階製成 2D 以顏色判別量化之流場分析圖。

(二)、聲學分析程式:

- 1.**步驟 1-Audio direct 程式:**將錄製音頻導入 Audio direct，去除環境噪音。
- 2.**步驟 2-Audacity 3.3 程式:**將 Audio direct 處理過後的音頻導入，進行頻譜分析。

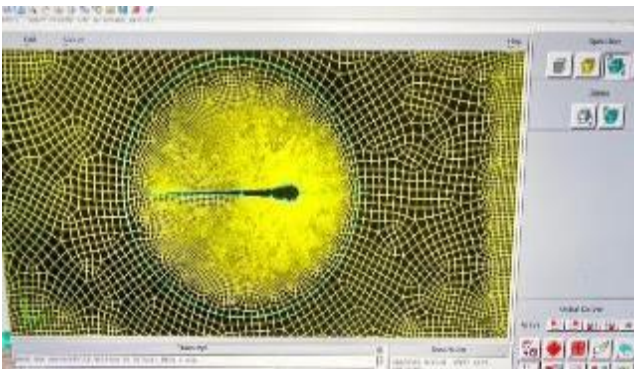


圖 33:Gambit 程式(建模繪製網格)

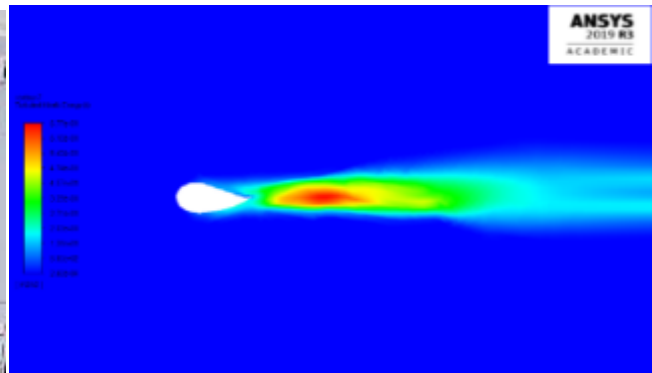


圖 34:ANSYS 程式(流體力學分析程式)

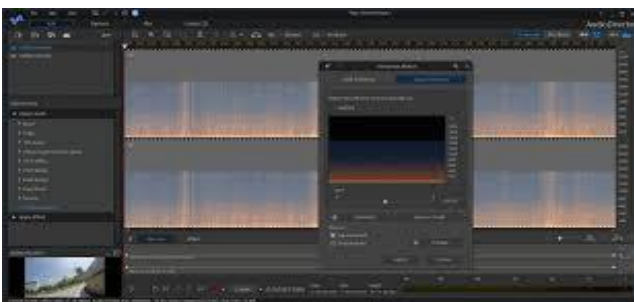


圖 35:Audio direct 程式(去除環境噪音)

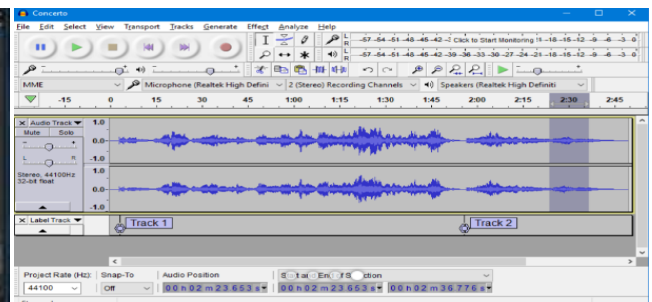


圖 36: Audacity 3.3 程式(進行頻譜分析)

研究過程或方法

一、鄒族鳥羽弓箭科學實驗研究架構流程圖

本研究主要探討鄒族鳥羽弓箭添加鳥羽後是否真的可以增加射程及準確率，藉由實驗證實後進行變因探討最佳化設計，同時進行小型弓箭模擬試驗比對真實射擊結果，並製作風洞實體實驗及流體力學模擬程式探討黏貼鳥羽之流體力學原理，其逐步探究架構如下(圖 20)。

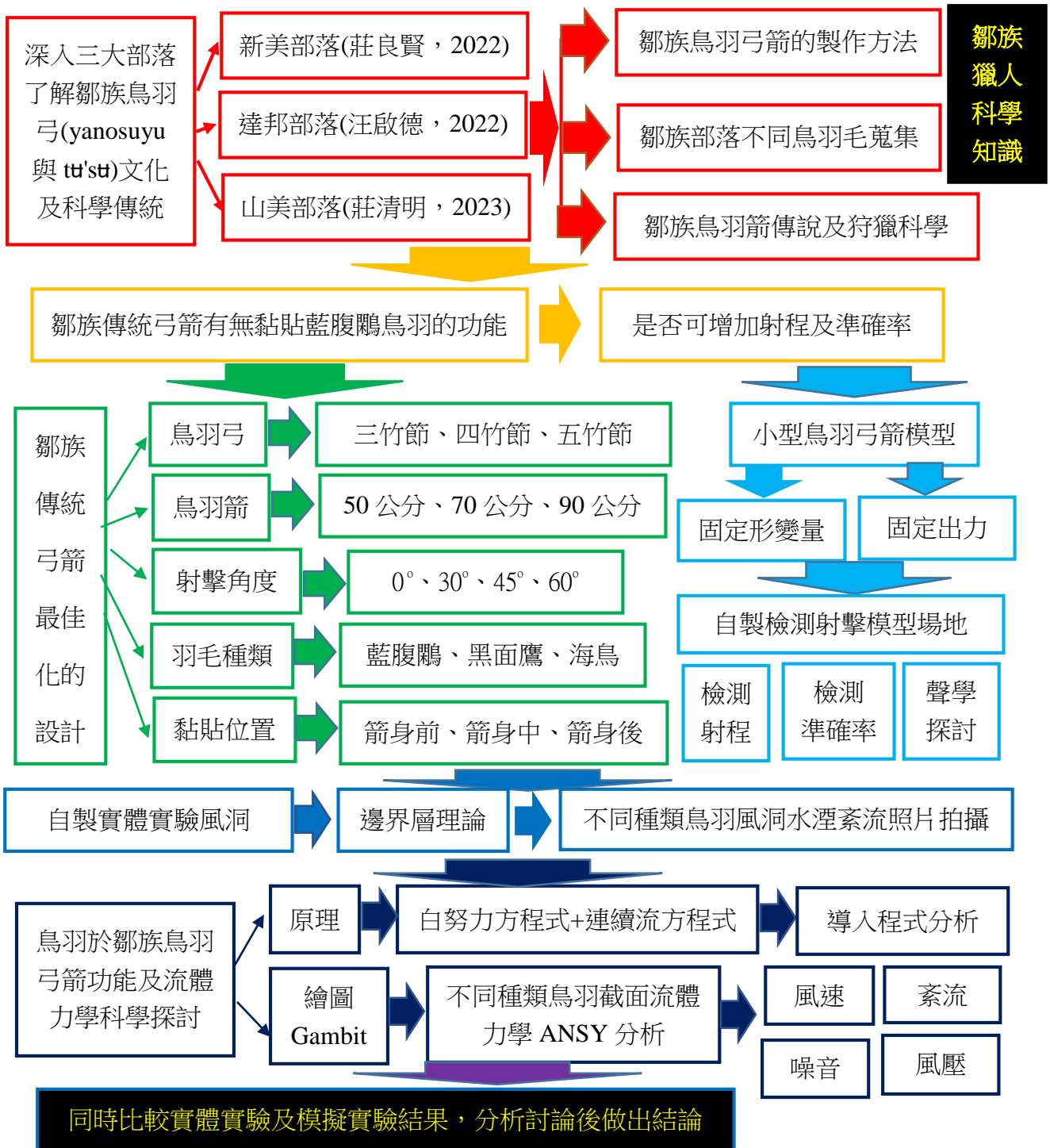


圖 37:探討鄒族鳥羽箭功效及流體力學及聲學科學原理逐步探究流程圖

二、鄒族部落訪談羽鄒族科學原理彙整

(一). 製鳥羽弓(yanosuyu)(汪啟德，2022；莊良賢，2023):

- 1.採竹的時間為每年 12 月至隔年的 2 月，阿里山地區的旱季，竹材較易保存。
- 2.採竹的種類為:石蒿竹或者桂竹，可以進階探討不同竹子之彈力差異。
- 3.製弓長度:每個人依據可以拉弓最佳長度而有所不同，可以進行科學研究。
- 4.製弓必須要反向凹折，可以有最佳的彈力，這是鄒族祖先就傳承至今的技巧。

(二). 製作鳥羽箭(tu'stu)(莊良賢，2022；莊清明，2023):

- 1.羽毛必須要為藍腹鵝的羽毛(第四對)，黏於後方，羽毛長度及黏貼必須對稱。
- 2.鄒族耆老分享:鄒人狩獵並不會想要求取最佳化(射最遠距離、最準確)，只求獲取獵物，但若是技巧有所提升，例如添加羽毛可以穩定流場，則會相互分享。

三、鄒族鳥羽弓箭搭配國中理化力學之物理科學概念及科學公式。

(一). 虎克定律: $F(\text{施力})=k(\text{彈力常數})\times\Delta X(\text{伸長量})$ 。

- 1.此次實驗中彈力常數必須同時考量:竹子之彈力常數，及彈性繩之彈力常數，因為同一支弓，則知彈力常數的影響變因為:竹子之材料彈性，及不同繩子材料差異產生張力(T)之大小差異，因此應該固定常數(k)。
- 2.若想要固定施力(F)，則需固定伸長量(ΔX)，此實驗固定伸長量為一個 175 公分之成人之半個手臂長度: ΔX 均固定為 70 公分。

(二). 作用力(Action)與反作用力(reaction):

- 1.拉弓時，手的拉力為作用力，弓的彈力是反作用力，我們固定拉力磅數為 45LB。
- 2.而手鬆開後，弓的彈力作用力，箭的慣性阻力為反作用力。
- 3.依據牛頓第三定律(Newton's third law)，作用力與反作用力為大小相等，作用在同一直線上的配對力，固可知 F 拉力為 45LB，弓的彈力也為 45LB。

(三). 施力後弓彈力對於箭作功: $W(\text{功})=F(\text{施力})\times S(\text{位移})$ 。

若想要探討 $W=F(\text{施力})\times S(\text{位移})$ ，若當施力為固定，故計算位移則可回推能量的大小。

(四). 能量轉換變化:彈力位能($U=1/2 k X^2$)轉動能($K=1/2mv^2$)。

U 位能= $1/2\cdot k(\text{彈力常數})\cdot X^2(\text{形狀變化伸長量})$ ； $K(\text{動能})=1/2m(\text{質量})v^2(\text{速度})$ 。

(五). 鄒族鳥羽箭為一個:省力費時的簡單機械。

四、鄒族鳥羽弓箭流體力學科學知識及科學公式(馮玉明，2014；Rogers et al，2004)。

(一). 為了找尋鳥羽黏貼箭尾有符合流體力學相關科學知識，我們查詢資料並學習相關知識，經由 Gambit 繪製網格後，並將以下相關公式導入 ANSY 得出相關圖譜分析。

(二). 連續流方程式: 標準流體力學風場中風速 V 約為 15m/s，遠小於聲音速度，因此風場的氣流可視為不可壓縮流，其連續方程式公式為:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho U) = 0$$

ρ 為流體的密度， U 為流體的速度。

(三). 動量方程式:流體力學中風場中的動量平衡只受壓力與黏滯力影響，公式如下。

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \nabla u = -\nabla P + \nabla \cdot [(\mu^L + \mu^T) \nabla u]$$

ρ 為流體的密度， t 為時間， P 為壓力， μ^L 為流體的黏滯度， μ^T 為紊流黏滯度。

(四). 雷諾數:雷諾數較高的情況下，流體受剪切力影響失去穩定性，進而產生紊流。

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

ρ 為流體密度， v 為流體速度， D 為特徵尺度， μ 為流體黏性係數

(五). 伯努力方程式: 流體的速度增加時，流體的壓力能或位能總和將減少。

$$p + \rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 = constant$$

P 為壓力， ρ 為流體密度， g 為重力常數， h 為高度

(六). 層流與紊流理論:

1. 流態理論:流體的流動可以分為層流(Laminar flow)、紊流 (turbulence) 及轉捩流 transition)，而紊流產生的過程與雷諾數(Re)相關。

2. 層流(Laminar flow)定義:質點與質點的軌跡線是光滑，速度和方向不隨時間改變。

3. 紊流 (turbulence) 定義: 各部分流場相互摻混，層流與層邊界消失，質點的軌跡混亂無章，速度方向會隨時改變。

4. 轉捩流(transition)定義: 由層流 (Laminar flow) 變成紊流 (turbulence) 是一種轉捩 (transition)的過程，如下圖 38 說明。

5.考慮黏滯性情況的臨界雷諾數，本研究中的開放流場臨界雷諾數值 $Re \approx 1 \times 10^5$ 。

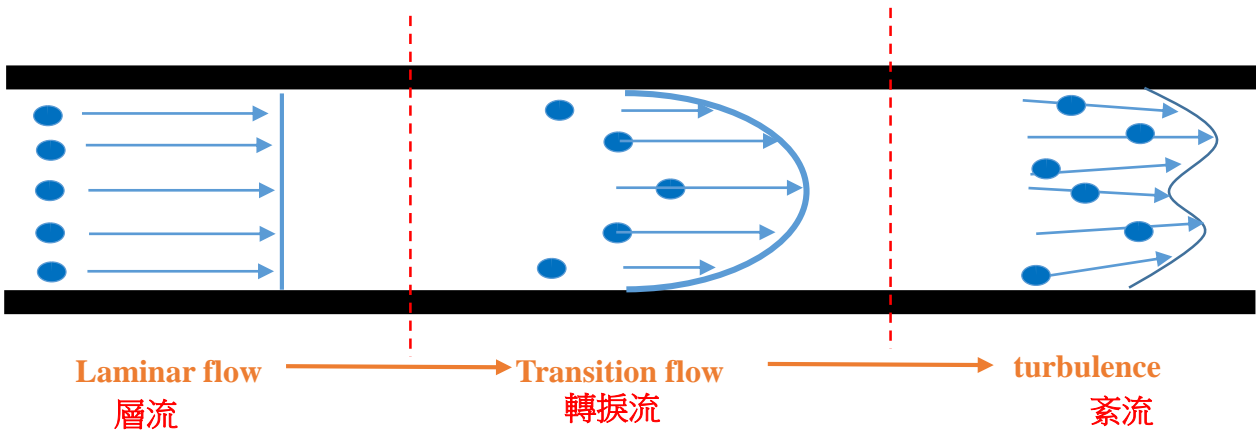


圖 38: 流體動力穩定理論，從層流→轉捩流→紊流的變化情形

(七). 邊界層理論(Boundary Layer theory):

- 1.邊界層內的流體狀態取決於黏性力，邊界層外的流體狀態取決於慣性力。
- 2.邊界層內外沒有明確邊界線，通常會以邊界層內部流體延壁面垂直軸的速度梯度(垂直分布)與外界主流達 99%相同為界，邊界層分離是導致紊流產生主要因素。

五、測量鄒族鳥羽弓箭射程及準確率之方式;如實驗設備及器材第三之(二)(第 7 頁)。

六、自製風洞之風場之檢測

(一)、為了找出流體力學中的現象，我們自製風洞進行實驗，但為了證實我們自製的風洞具有效果，我們檢測風口位置之風速平均數及標準差。

(二)、藉由我們兩段式的整流及風洞穩定的設計的確穩定流場，實際參數如下表 5。

表 5: 風洞實際測試實驗採點實得參數

測試 單位:m/s	無風洞狀態下		穩定風場風動	
	平均值	標準差	平均值	標準差
右上風速	13.10	1.9	9.87	0.43
右下風速	13.91	1.83	9.00	0.41
左上風速	18.02	1.65	10.36	0.34
左下風速	18.01	1.78	11.58	0.35
中心風速	15.73	2.50	7.21	0.28
正上風速	17.55	2.70	10.87	0.42
正下風速	19.05	1.90	11.11	0.38
正左風速	18.01	1.86	13.59	0.34
正右風速	12.40	1.80	11.01	0.35

七、有無添加鳥羽對於鳥羽箭射擊距離的影響。

- (一).將箭製成有鳥羽之鳥羽箭 10 支，沒有鳥羽之弓箭 10 支(箭支長度均為 90 公分)。
- (二).進行射擊 30 次(每支箭 3 次)，測量距離進行平均數(M)與標準差(SD)計算。
- (三).依據偏離角度作為準確值的計算。

八、不同竹節個數製弓對於鄒族鳥羽弓箭射擊距離的影響。

- (一).將桂竹(石蒿竹)砍成三節、四節及五節，並製作成為鳥羽弓。
- (二).固定拉長 70 公分，進行射擊 30 次，測量距離及偏離角進行平均數與標準差計算。

九、不同鳥羽箭的長度對於鳥羽弓箭射擊距離的影響(如圖 39)。

- (一).將弓箭製成不同長度(50 公分、70 公分、90 公分)之鳥羽組弓箭，備用 10 支弓箭。
- (二).進行射擊 30 次(每支箭 10 次)，測量射擊距離及偏離角進行平均數與標準差計算。

十、不同鳥羽種類對於鳥羽弓箭射擊距離的影響。

- (一).將弓箭製成黏貼不同羽毛之鳥羽組弓箭(海鷗、藍腹鷗、黑面鷹)，各 3 支。
- (二).進行射擊 10 次，測量距離進行平均數與標準差計算，計算準確值。

十一、不同鳥羽黏貼位置對於鳥羽箭射擊距離的影響。

- (一).將箭黏貼藍腹鷗羽毛製箭身之前、中、後製成鳥羽箭，各製程備用 3 支弓箭。
- (二).進行射擊 30 次(每支箭 10 次)，測量射擊距離及偏離角進行平均數與標準差計算。

十二、不同射擊仰角(0° 、 30° 、 45° 、 60°)對於鳥羽弓箭射擊距離的影響。

- (一).將弓製成四支竹節桂竹弓箭，依據不同仰角(0° 、 30° 、 45° 、 60°)進行射擊。
- (二).進行射擊 30 次(每支箭 10 次)，測量射擊距離及偏離角進行平均數與標準差計算。

十三、自製小型模擬弓箭，以黏貼不同材質於箭後，檢測射擊距離及準確率的影響。

- (一).黏貼不同材質於小箭(厚紙片、薄紙片、薄塑膠、厚塑膠)進行射擊(圖 40-圖 41)。
- (二).小型距離測量系統，測量 30 次射擊距離及偏離角進行平均數與標準差計算。



圖 39:不同長度之鄒族鳥羽箭



圖 40:黏貼薄紙片於小箭後



圖 41:黏貼模塑膠於小箭後

肆、研究結果

一、有無鳥羽對於鳥羽弓箭射擊距離的影響。

(一). 實驗結果表格及繪製成圖:

1. 有無鳥羽對於鳥羽弓箭射擊距離的影響及準確值影響表格(N=30)

表 6: 有無鳥羽對於鳥羽弓箭射擊距離的影響

單位:公尺	有鳥羽	無鳥羽
平均數 M	21.56	10.42
標準差 SD	2.73	4.12

表 7: 有無鳥羽對於鳥羽弓箭射擊準確值影響

單位:角度	有鳥羽	無鳥羽
平均數 M	11.4	32.5
標準差 SD	1.4	7.6

2. 有無鳥羽對於鳥羽弓箭射擊距離的影響及準確值作圖

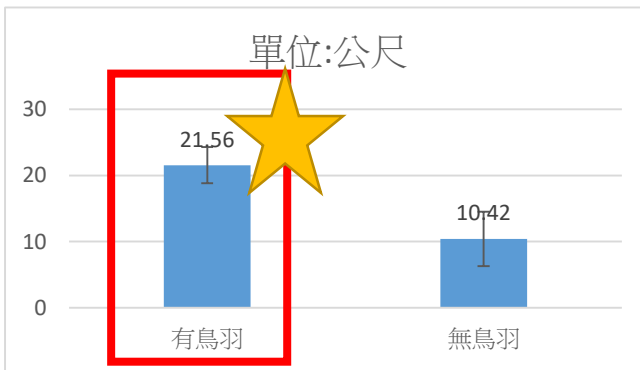


圖 42: 有無鳥羽對於鳥羽弓箭射擊距離影響

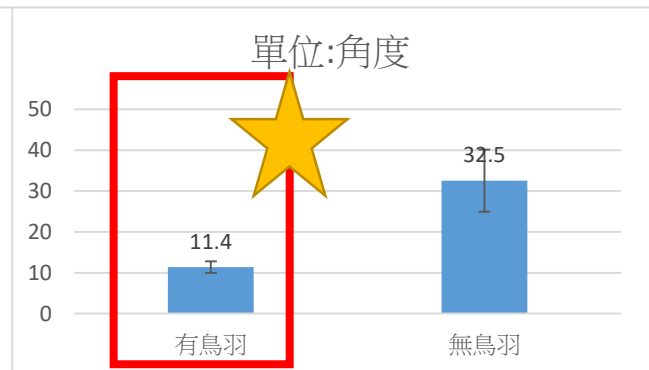


圖 43: 有無鳥羽對於鳥羽弓箭偏離角度影響

(二). 結果說明:

1. 證實有鳥羽的確可以增加射程(如圖 42)，減少偏離角度提高準確率(如圖 43)。
2. 在射擊距離這個項目中，增加射擊距離鳥羽幾乎是沒有鳥羽的 2 倍。
3. 進階探討鳥羽箭的流體力學科學原理，並且找出最佳化之鳥羽弓箭設計。

二、不同竹節個數製弓對於鄒族鳥羽弓箭射擊距離的影響。

(一). 實驗結果表格及繪製成圖:

1. 不同竹節的弓於鳥羽弓箭射擊距離的影響及準確值影響表格(N=30)。

表 8: 不同竹節對於鳥羽弓箭射擊距離的影響

公尺	3 個竹節	4 個竹節	5 個竹節
平均數	16.92	25.76	21.94
標準差	2.35	1.91	1.72

表 9: 不同竹節對於鳥羽弓箭射擊準確值影響

角度	3 個竹節	4 個竹節	5 個竹節
平均數	15.2	11.6	18.2
標準差	3.6	2.4	4.8

2.不同竹節的弓於鳥羽弓箭射擊距離的影響及準確值作圖。

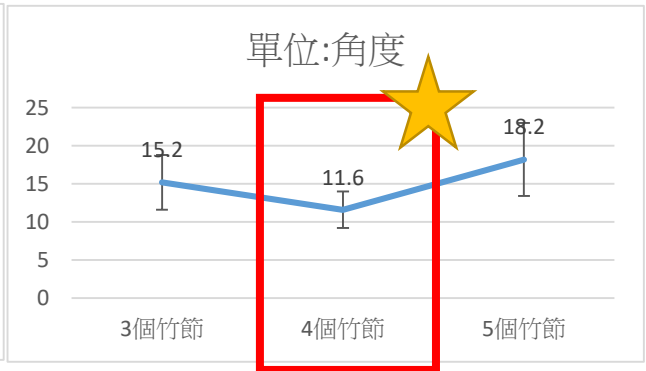
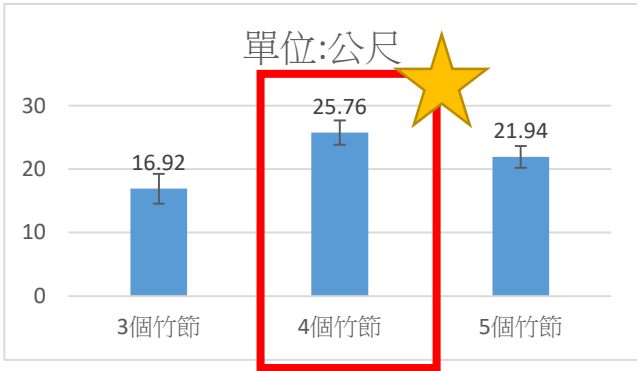


圖 44:不同竹節對於鳥羽弓箭射擊距離影響

圖 45:不同竹節對於鳥羽弓射擊準確率影響

(二). 結果說明:

- 1.以射擊距離衡量:製作弓最好的長度為:四個桂竹竹節>五個竹節>三個竹節(圖 44)。
- 2.以準確率衡量:製作弓最好的長度為:四個桂竹竹節>三個竹節>五個竹節(圖 45)。
- 3.綜合評估:四個竹節為最佳適合作鳥羽弓的大小，我們推測的原因為較適合人體的長度可以掌握的大小，同時將弓的長度除以射擊者的身高為 0.64(約為 2/3)。

三、不同鳥羽箭的長度對於鳥羽弓箭射擊距離的影響。

(一). 實驗結果表格及繪製成圖:

- 1.不同鳥羽箭的長度於鳥羽弓箭射擊距離的影響及準確值影響表格(N=30)。

表 10:不同鳥羽箭的長度對於射擊距離影響

公尺	50 公分	70 公分	90 公分
平均數	134.56	178.79	222.42
標準差	24.56	26.13	15.26

表 11:不同鳥羽箭長度對於射擊準確率影響

角度	50 公分	70 公分	90 公分
平均數	24.42	25.32	24.35
標準差	4.6	3.7	2.4

- 2.不同鳥羽箭的長度於鳥羽弓箭射擊距離的影響及準確值影響圖。

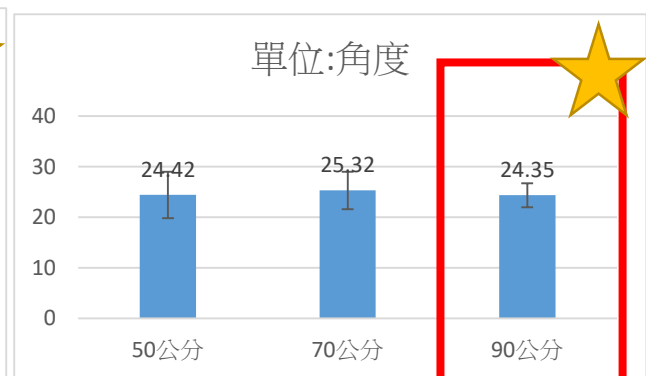
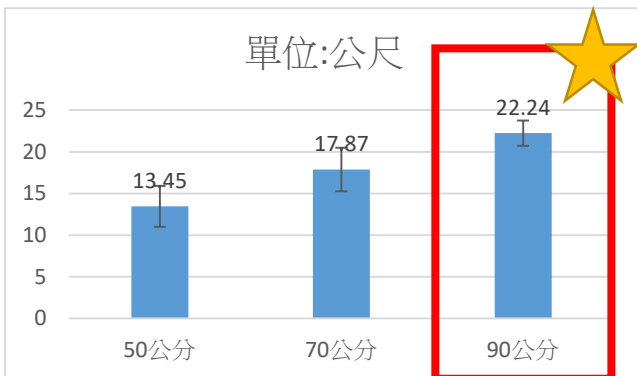


圖 46:不同鳥羽箭的長度對於射擊距離影響

圖 47:不同鳥羽箭長度對於射擊準確率影響

(二). 結果說明:

1. 我們發現弓箭越長，能發射的距離就越遠，但我們發現若是弓箭太長，卻無法符合拉弓的距離，而 70 公分恰好約大於手臂的長度，90 公分有更好的發射距離。

2. 從數據中可以發現，箭身長度的不會影響偏離角度，並無明顯差異(如圖 47)。

四、不同鳥羽種類對於鳥羽弓箭射擊距離的影響。

(一). 實驗結果表格及繪製成圖:

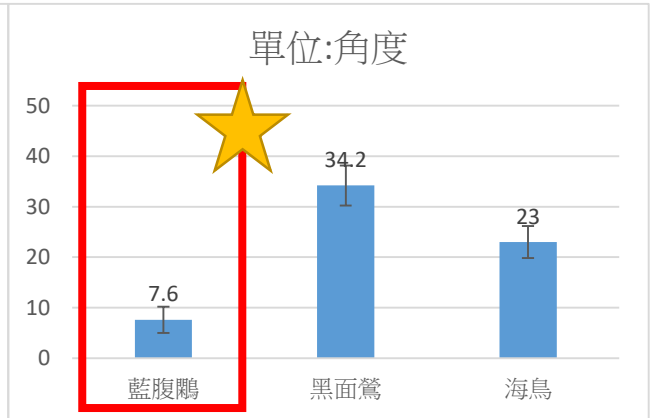
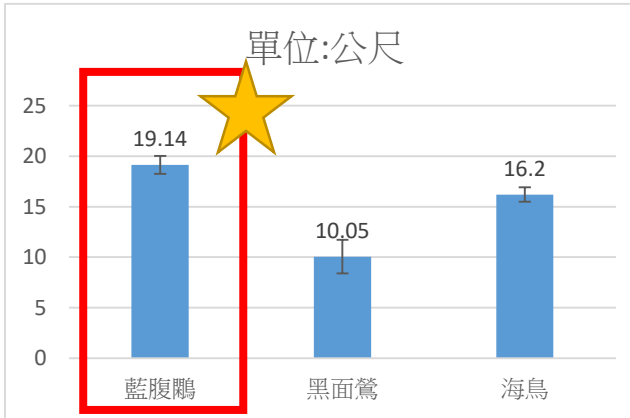


圖 48: 不同羽毛鳥羽箭射擊距離(公尺)

圖 49: 不同羽毛鳥羽箭射擊偏離角度

表 12: 鳥羽箭精準度與射擊距離實驗(樣本數 N=10)

藍腹鵝				黑面鷹				海鳥			
射擊距離		射擊精準度		射擊距離		射擊精準度		射擊距離		射擊精準度	
M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
19.14	0.9	7.6	2.6	10.05	1.67	34.2	3.97	16.2	0.72	23	3.16

(二). 結果說明: 測量後，我們發現藍腹鵝的距離是三種鳥羽箭中最遠的，黑面鷹製成的鳥羽箭則是三種中射擊精準度最低，射程最短的一種。

五、不同鳥羽黏貼位置對於鳥羽箭射擊距離的影響。

(一). 實驗表格及繪製成圖:

1. 不同鳥羽黏貼位置對於鳥羽弓箭射擊距離的影響及準確值影響表格(N=30)

表 13: 不同鳥羽黏貼位置對於射擊距離影響

公尺	黏貼前	黏貼中	黏貼後
平均數	12.33	13.46	19.86
標準差	1.25	1.46	2.14

表 14: 不同鳥羽黏貼位置對射擊準確率影響

角度	黏貼前	黏貼中	黏貼後
平均數	29.4	32.6	14.6
標準差	4.2	5.6	2.3

2.不同鳥羽黏貼位置對於鳥羽弓箭射擊距離的影響及準確值影響圖(N=30)

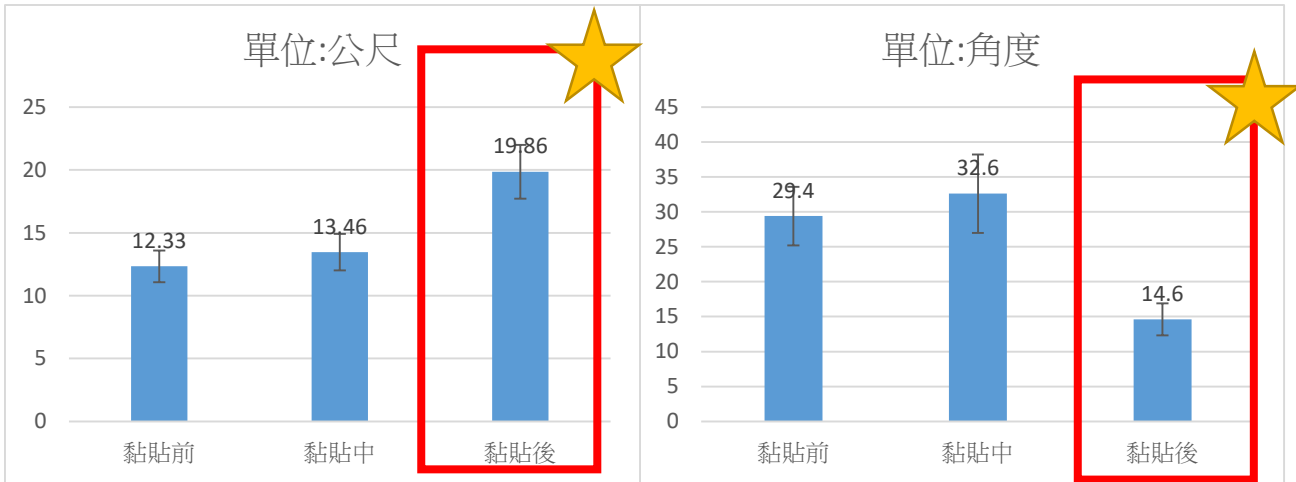


圖 50:不同鳥羽黏貼位置對於射擊距離影響

圖 51:不同鳥羽黏貼位置對射擊準確率影響

(二). 結果說明:

- 1.我們發現羽毛黏貼於箭身後面會有較多的射擊距離，偏離角度較少。
- 2.我們推測黏貼鳥羽為類似飛機尾翼的結構，有助於穩定氣流。

六、不同射擊仰角(0°、30°、45°、60°)對於鳥羽弓箭射擊距離的影響。

(一). 實驗表格及繪製成圖:

1.不同射擊仰角(0°、30°、45°、60°)對於鳥羽弓箭射擊距離的影響及準確值影響表格。

表 15:不同射擊仰角對鳥羽箭射擊距離影響

	0°	30°	45°	60°
平均	18.92	16.78	20.89	17.96
SD	1.67	1.72	2.13	2.63

表 16:不同射擊仰角對鳥羽箭準確值影響

	0°	30°	45°	60°
平均	11.41	24.62	28.62	34.21
SD	3.62	4.21	6.32	7.45

2.不同射擊仰角(0°、30°、45°、60°)對於鳥羽弓箭射擊距離的影響及準確值影響圖。

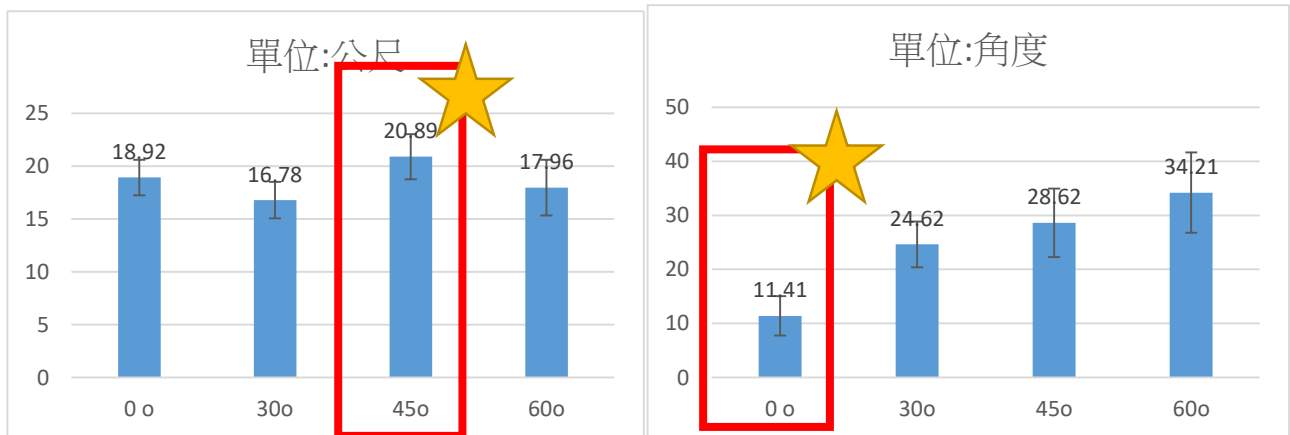


圖 52:不同射擊仰角對鳥羽箭射擊距離影響

圖 53:不同射擊仰角對鳥羽箭準確值影響

(二). 結果說明: 雖然 45° 有較高的射擊距離, 但 0° 卻有較高的準確率。

七、在小型模擬弓箭中, 添加不同材質(紙片及塑膠)於箭尾對於鳥羽弓箭射擊距離的影響。

(一). 實驗結果表格及繪製成圖:

表 17: 不同添加不同材質(紙片及塑膠)於箭尾對於鳥羽弓箭射擊距離影響

單位:公分	無添加箭尾	薄塑膠	硬塑膠	薄紙片	厚紙片
射擊距離(M)	292.32	302.24	382.42	355.46	506.32
標準差(SD)	6.52	7.63	11.65	9.54	18.89

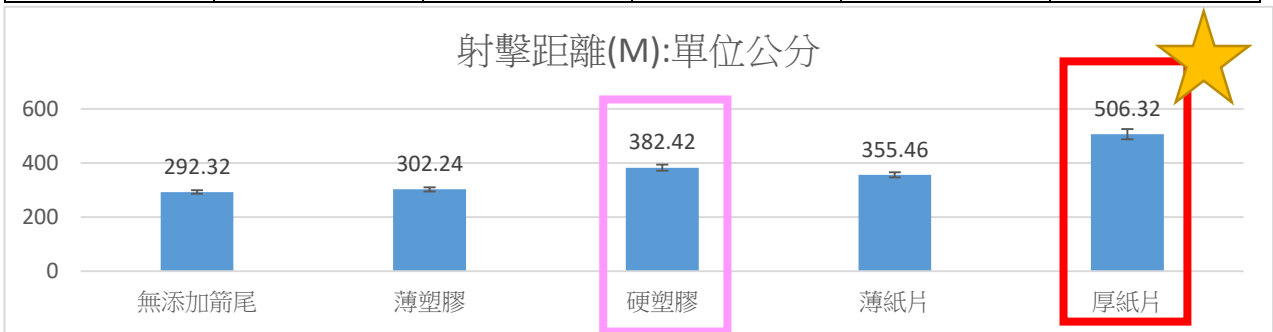


圖 54: 不同添加不同材質(紙片及塑膠)於箭尾對於鳥羽弓箭射擊距離影響

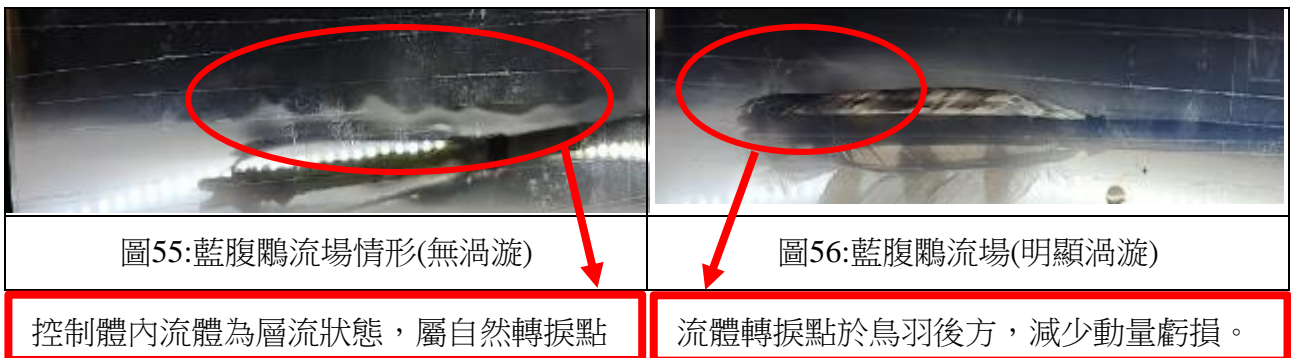
(二). 結果說明

1. 添加箭尾的確可以增加射程, 厚的材質 > 薄的材質。
2. 可以知道箭尾的形狀固定, 可以有效提高射程。

八、自行設計並建置風洞系統, 拍攝與觀察不同鳥羽箭其流場流態變化。

(一). 藍腹鵝鳥羽的實測觀察:

由圖55時, 紅圈指出流體經過藍腹鵝表面的初始瞬間, 流場產生了波浪狀的擾動, 因此時流動狀態不屬於紊流態 (Turbulent flow), 而是屬於層流狀態(Laminar flow), 直到圖56時, 形成紊流。由此現象可推論藍腹鵝羽毛的紊流轉捩屬於自然轉捩(Natural Transition), 流體因受到邊界層內壓差力與黏性減速導致層流變為紊流的遞進轉化。



(二). 海鷗鳥羽的實測觀察:

海鳥鳥羽流態屬於旁路轉捩，但在下圖 58 中我們可以看到紊流突然間減少了，我們推測是因為瞬間的轉捩給邊界層內部的流體產生了分離泡，分離泡的形成是因為下游處的流體壓力發生了變化，並擁有較強附著性的紊流邊界層。



(三). 黑面鷲鳥羽實測觀察:

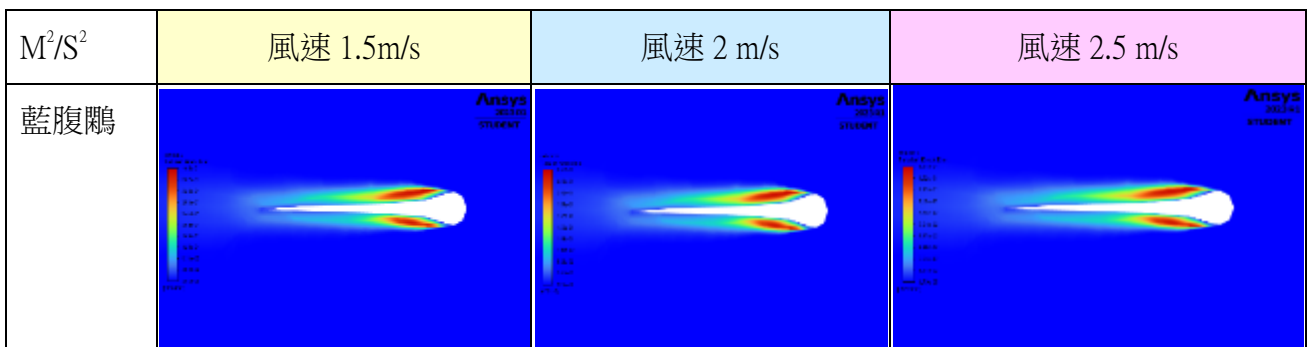
黑面鷲鳥羽在水煙實驗中無法觀察到有方向較統一的渦流，後方流場確實較為混亂，當紊流好散成小渦流時則因壓差力致使前方的流體未跟鳥與接觸就邊界層分離成紊流，其位移厚度的範圍較大，導致其動量厚度虧損範圍更強，影響鳥羽在空中的飛行距離與穩定度。



九、將繪製好的 Gambit 網格帶入 ANSY 流體力學程式分析:風速、風壓、紊流之圖形。

(一). ANSY 不同鳥羽風速比較：綜合低風速(1.5m/s)及高風速(2.5m/s)，流體力學結果：

表 18:不同鳥羽箭之紊流強度分布圖



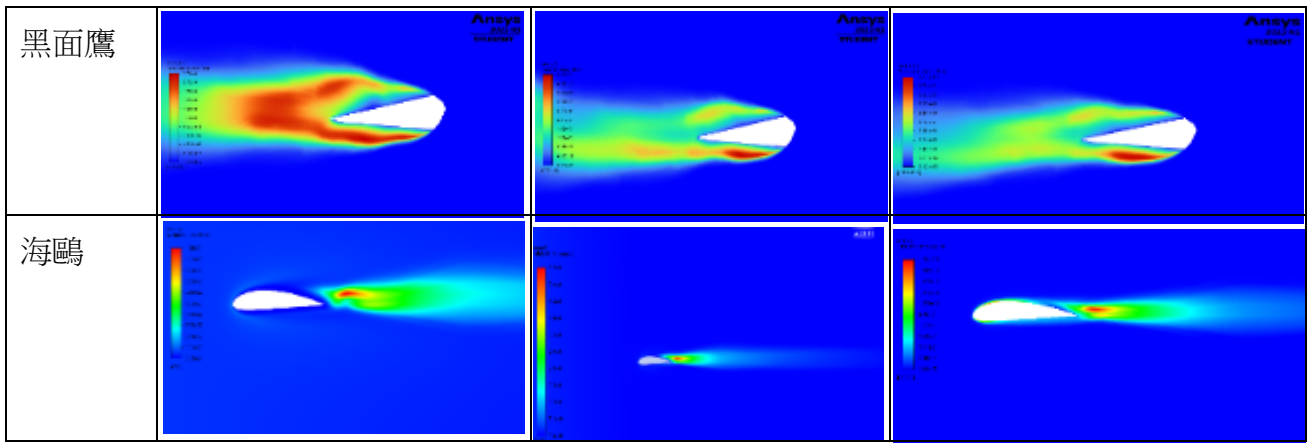


表 19:不同鳥羽箭之風速強度分布圖

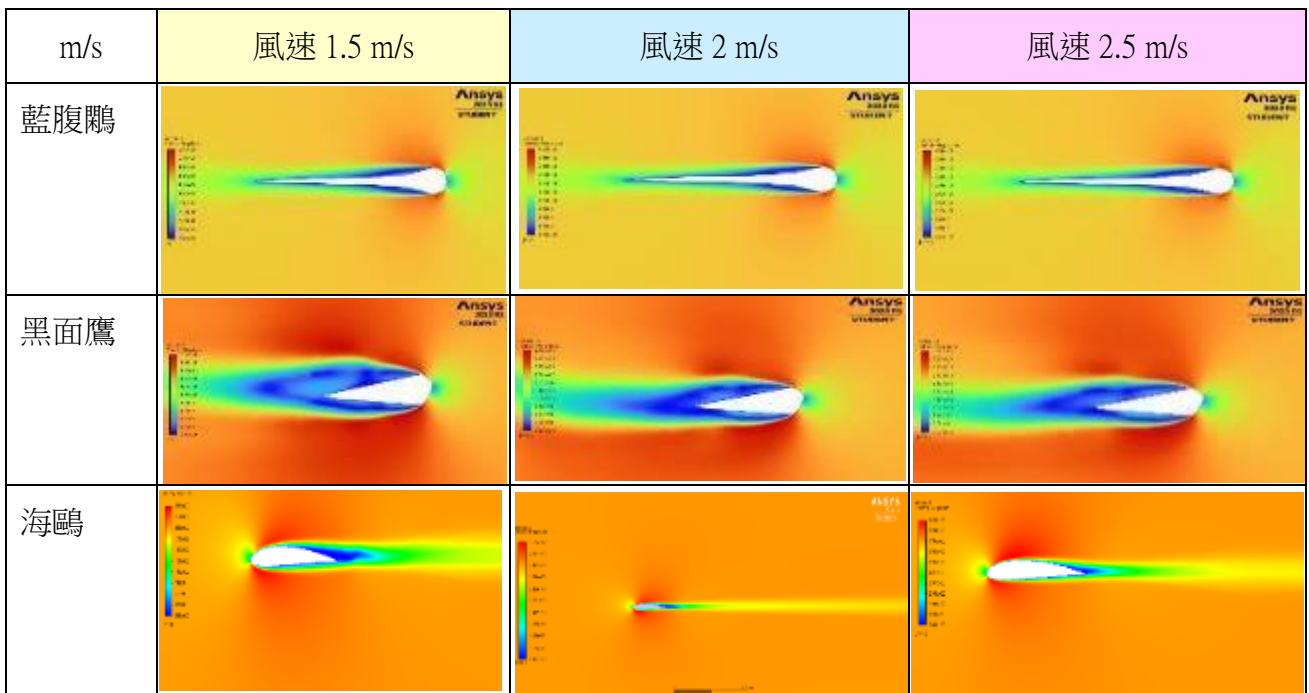


表 20:不同鳥羽毛之弓箭之壓力強度分布圖

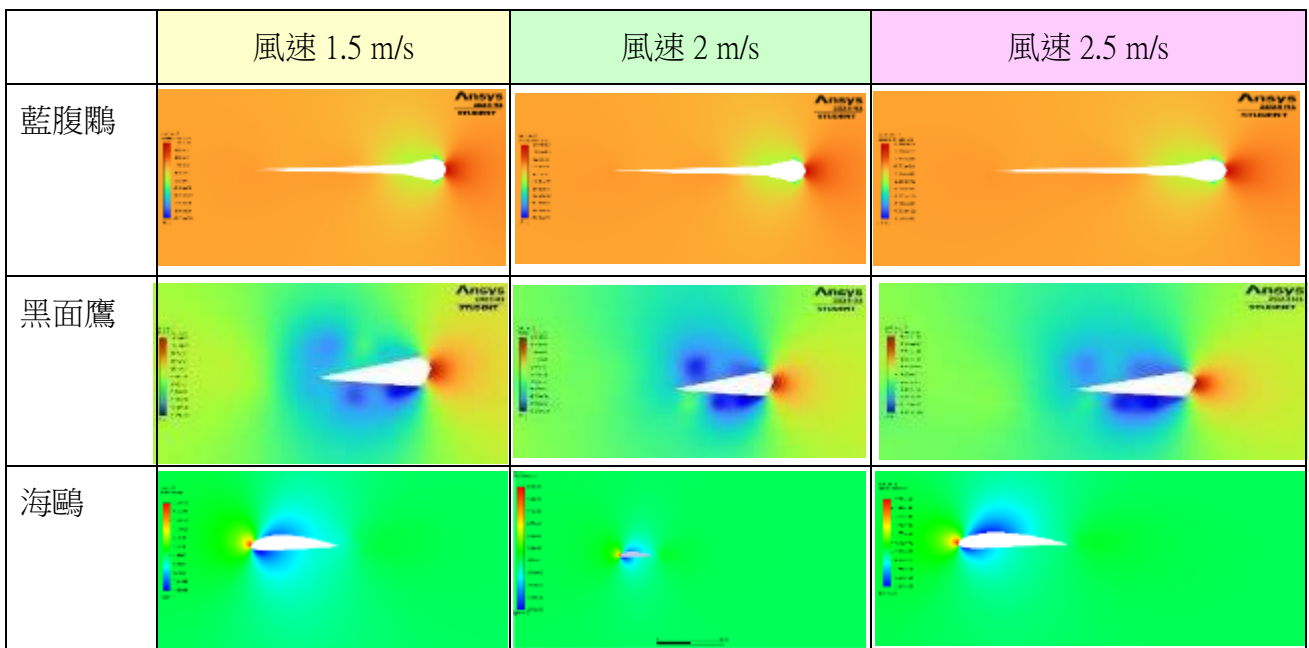
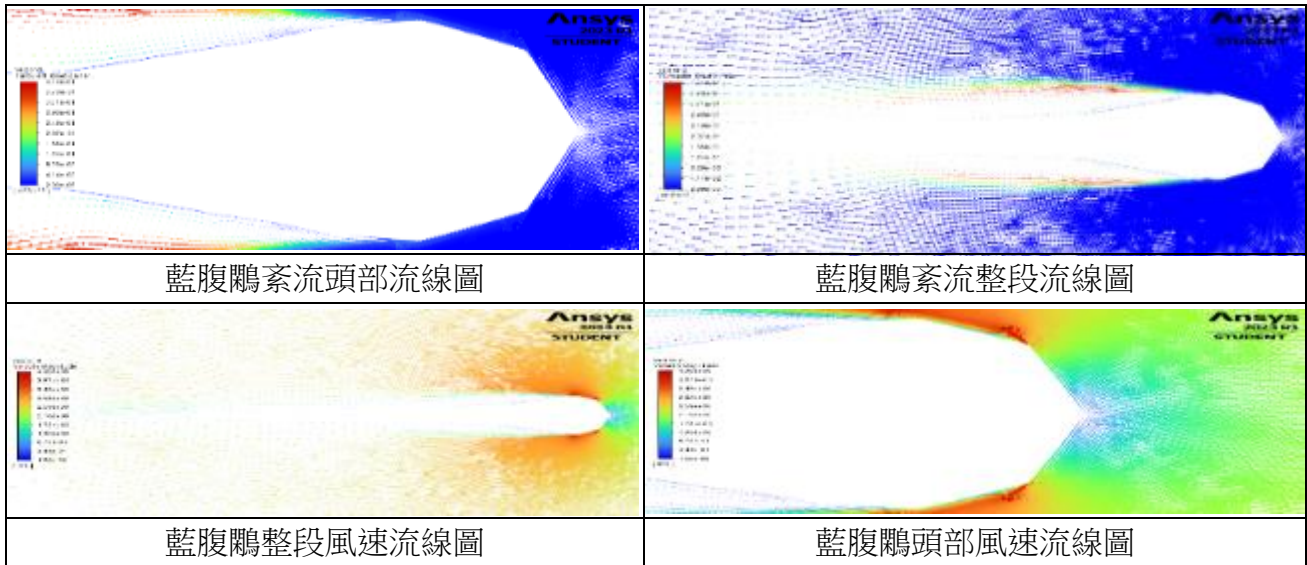


表 21:藍腹鵡鳥羽流線分布圖



(二). 實驗結果說明:

- 1.由上表 18-21 可知，紊流強度分布圖與噪聲強度分布圖有很高的圖形相關性。
- 2.噪聲強度在高強度區域占比例皆增加，隨風速提升，紊流及噪聲強度在皆上升。
- 3.說明紊流強度上升，連帶噪聲強度也增加，藍腹鵡鳥羽，隨風速上升，紅色區塊卻有縮減的傾向，說明風速上升，對藍腹鵡羽而言，紊流及噪聲強度下降的。

十、比對模擬實驗及實體噪音檢測實驗，進行聲學分析。

(一). 模擬實驗數據分析:

表 22:不同鳥羽箭氣動噪聲模擬數值

	藍腹鵡	黑面鶯	海鷗
風速 1.5	0	1.31e-4	3.65e-2
風速 2	1.79e-2	1.83e-2	3.79e-2
風速 2.5	3.51e-2	8.78e-2	7.92e-2

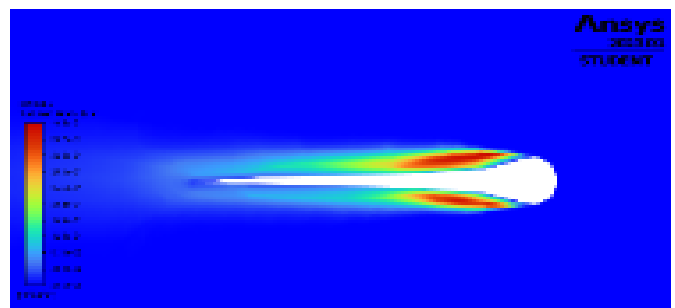


圖 59:藍腹鵡羽毛在一般風速下的噪聲分布

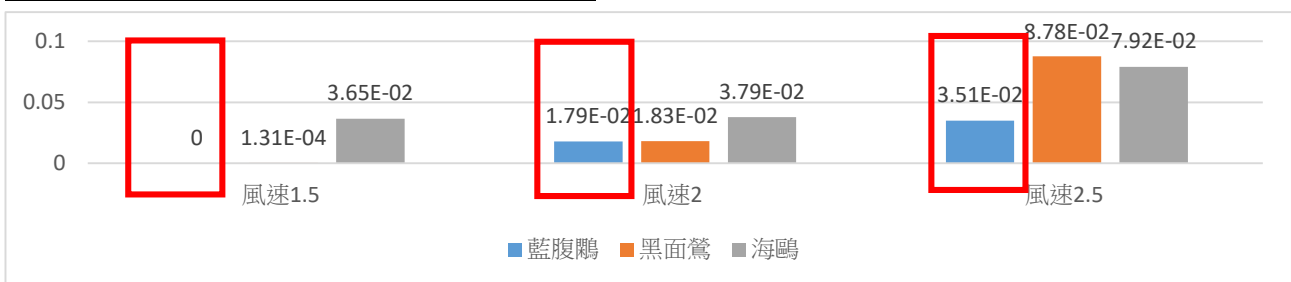


圖 60:不同鳥羽箭氣動噪聲模擬數值製圖

(二). 實體噪音檢測實驗結果:

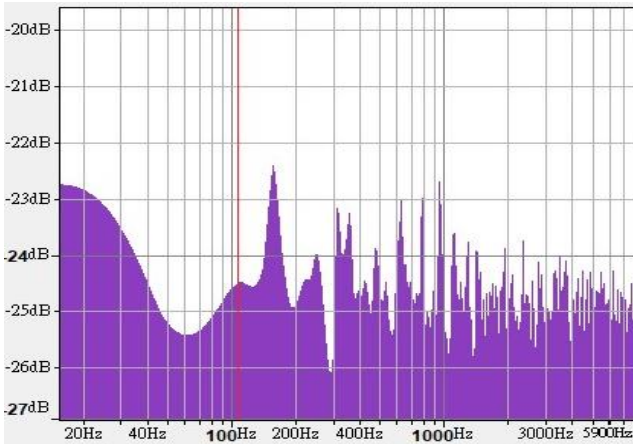


圖 61:無鳥羽之聲學頻譜分析圖

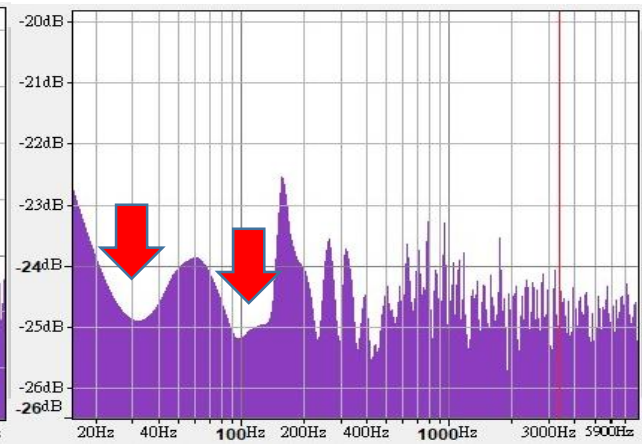


圖 62:有鳥羽(藍腹鵟)之聲學頻譜分析圖

(三). 實體比對模擬結果:

- 1.綜合模擬與實體時驗收集噪聲，發現有鳥羽的確可以降低飛行時的低頻噪音。
- 2.比較不同鳥羽之模擬噪聲檢測，藍腹鵟鳥羽的噪音的確為三種鳥羽中為最小。

伍、討論

此研究我們進行逐步探究實驗，從訪談鄒族耆老學習鄒族鳥羽弓箭的製作方法，並了解鄒族鳥羽弓箭技術從古至今的演進變化，並且學習鄒族科學知識後，進行西方科學變因探討，確認科學概念概念的真實性與找出最佳化的鳥羽弓箭，並試圖以實體及模擬實驗找出藍腹鵟羽毛能增加射程及準確率的原因，因此綜合以上諸多實驗結果，進行以下六點的討論。

一、鳥羽弓箭作功(W)與距離間關係之探討。

我們知道箭飛出有射程距離，是因為彈力位能作功及施力，但此次實驗我們在小型鳥羽弓箭模型實驗中，我們試圖讓額外施力為固定，若是 $F=KX$ ，若是彈力常數為固定，弓箭的形變伸長量也為固定，在理想狀態下我們就可以認定 F 施力固定。

我們又知道 $U=1/2kX^2$ ，若每次射出的形狀變化量也為固定，彈力位能也固定，依據能量守恆及作用力與反作用力原理，作功應該也相同，能量相同射出的距離應該也相同，但添加鳥羽後，距離確有明顯的差異，因此我們認為箭使射出後，雖然能量相同卻仍然還需要面對空氣中的阻力，而依據射擊結果，發現添加不同羽毛的確可以增加射程，但以藍腹鵟的羽毛具有最佳射擊距離，在我們的量化比較結果，發現羽毛的的截面形狀具有降低的空氣阻力的主要原因，在模擬實驗看出藍腹鵟羽毛組於高風速有更好表現，可見截面形狀的重要。

二、鳥羽在箭尾的科學意義。

依據我們逐步探究實驗，我們發現的確添加鳥羽可以增加射程及準確率，而且不同形狀的鳥羽截面也會對弓箭的飛行距離有所影響，而依據流體力學圖形中，同時比較風壓、紊流、風速及噪音，我們就發現在實驗結果九不同風速的結果中發現，藍腹鵞鳥羽及不同形狀鳥羽均有降低紊流，提高風速的功能，而其中因邊界層分離而會有上升氣流，可以讓箭矢飛行更遠，而且比較小型模擬實驗及真實情境之鳥羽弓箭射擊，小型的模擬弓箭只能提升約1/3的飛行距離，但是鄒族耆老實際教學的大小進行射擊，距離卻可以差到兩倍，可見尺度越大，影響飛行距離的效果也有所不同。

三、不同材料(塑膠、紙片、厚紙板、吸管)做為箭尾的差異。

我們一開始認為添加物體於箭的尾巴會增加箭矢的重量，應該會減少飛行距離，實驗結果恰好與我們的假設相反，重量愈重的物體(厚紙板、厚塑膠板)反之有更遠的飛行距離，可見於箭尾添加曲線截面具有讓弓箭飛行更遠的功能，而其中我們設計軟塑膠與硬塑膠，軟紙片與硬紙片的差別為，軟的材質在箭矢的飛行歷程中會因為空氣的阻力而改變形狀，但硬的材料較不易改變彎曲截面形狀，從實驗數據中可以看出固定截面形狀具有較好的射程及準確率，回推藍腹鵞及其他羽毛中，發現藍腹鵞羽毛有較好的韌性及堅硬程度，也是較佳關鍵。

四、鄒族古代的流體力學科學探討。

(一). 藍腹鵞羽毛的不可取代性探討。

從鄒族的鳥羽箭科學可以被西方科學證實後，我們也發現中國古代的兵器中，箭矢的後方總會添加羽毛或有添加特殊形狀的箭尾，就好像飛機的尾翼一樣，具有流體力學的獨特意義，但鄒族人卻在百年前就具有此富含科學概念的設計，原以為鄒族人使用藍腹鵞羽毛是一種單純文化裝飾，而比對西方科學卻仍然是最佳化的設計，可見鄒族人的科學觀點是使用且生活化的學習，而最佳化也是百年的傳承，也同時是對於自然資源利用知識了解的證明。

(二). 狩獵科學是一門與生死搏鬥的學問。

我們經由訪談過後發現鄒族人與百年前就會使用鳥羽弓箭，但在訪談鄒族耆老，耆老重視狩獵的過程，但思維卻不會重視最佳化的狩獵器具製作，而且耆老總是會提醒族裡的年輕人，獵具有用就好，森林的資源夠用就好，並不應該追求最佳化的設計，從中可以看出鄒族

人的科學是可被西方科學印證，科學的觀點包含對大自然尊重的友善態度，萬物平等概念。

五、鄒族鳥羽弓箭的物理科學探討(力學、流體力學、聲學探討)。

(一)、鄒族鳥羽放置箭後紊流之觀察。

代入白努力定律的公式(1)，自製風洞進出口處與外在連接並相互可以連通，壓差 Δp 在進流穩定後應為 0，依據實驗當日攝氏室溫 20°C，空氣密度 ρ 查表後得知為 1.20kg/m³，g 為重力加速度=9.8m/s²， Δh (高度)為進口出口之高度差 0.03m(公尺)，進口流體流速(V)為實驗風速 3.9m/s，則可得到數據為風洞內流速 $V' = 3.83\text{m/s}$ 。

$$p + \rho gh + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{constant} - \text{公式1(白努力)}$$

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu} - \text{公式2(雷諾數)}$$

依據以上查表知空氣密度 $\rho=1.20\text{kg/m}^3$ ，計算後得流速 $v=3.83\text{m/s}$ 、查表得知 20°C 空氣黏置係數 $\mu = 0.152 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ，並依據實驗結果圖片分析各種鳥羽截面特徵，我們計算出來的雷諾數(Re)都在 10⁶ 以上，如實驗結果九，並統整三種鄒族鳥羽的雷諾數計算值如下(表 23)，其數值均大於本實驗僅考慮黏滯力之預設開放流場之 $Re_{c(\text{臨界雷諾數})} = 10^5$ ，因此觀測到紊流情形是可能會發生的。

表 23:三種不同鳥羽水湮圖及其雷諾數分析

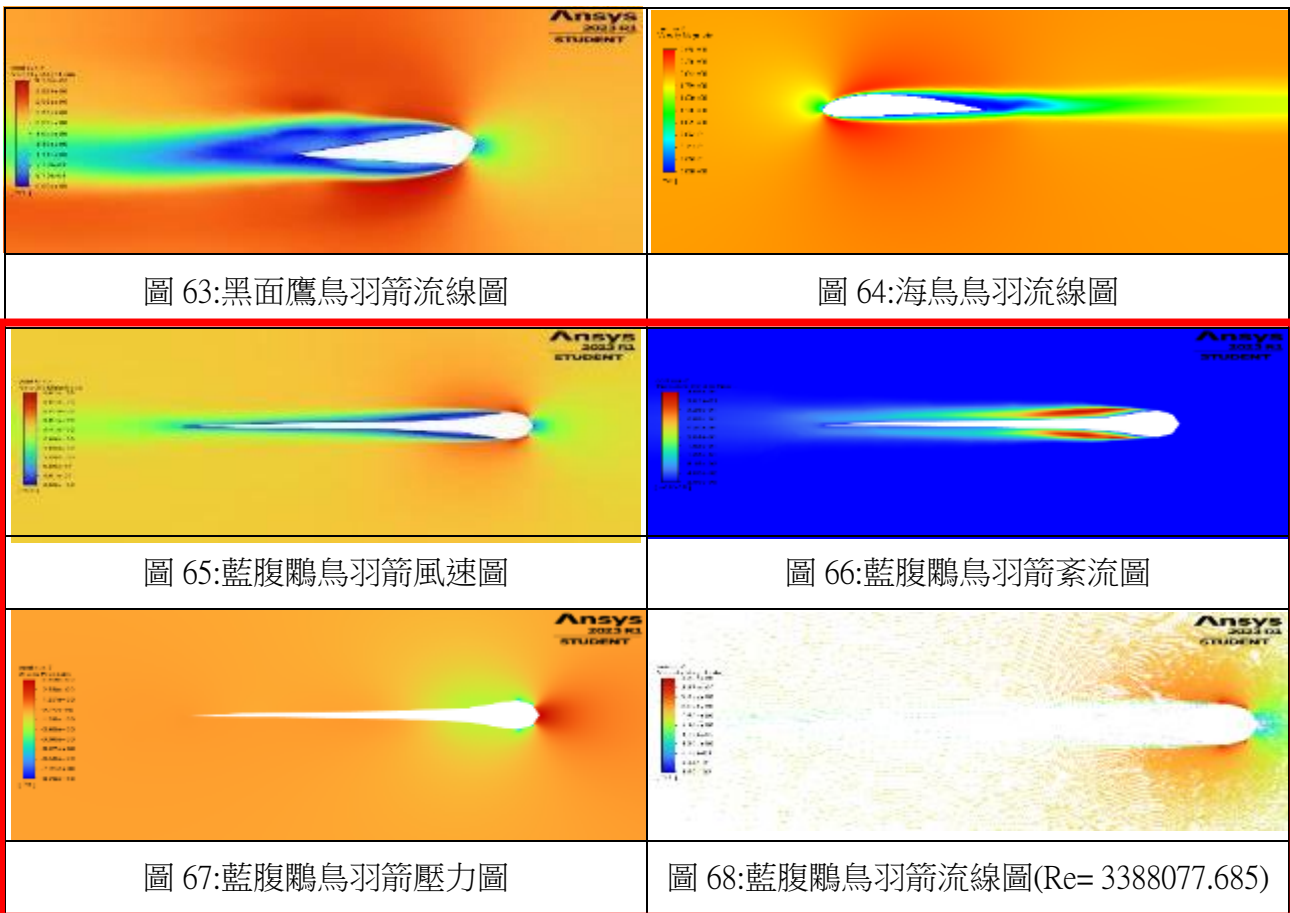
	
<p>海鳥水湮實驗(雷諾數值 Re:2178411.85214)</p>	<p>黑面鷹水湮實驗(雷諾數值 Re: 4005934.5862)</p>
	
<p>藍腹鵝水湮實驗照片(雷諾數值 Re:3555787.458236)</p>	

(二)、不同鳥羽流體力學及截面形狀之表較。

我們依據每一種鳥類的截面圖進行分析，並比較流體力學圖譜(如下圖 63-68)，分析每一

種鳥類羽毛適應其生活環境，分析飛行升力及噪音比較，分析結果如下:

- 1.黑面鷹鳥羽箭分析:鳥羽前端段兩個稜角會導致扇葉在減少氣動噪音能力上顯弱，導致邊界層提早分離產生更大的紊流(圖 63)。
- 2.海鳥鳥羽箭分析: 海鳥作為需長時間制空於海上的鳥種擁有強勁的升力，可以從結果看出，在升力方面，無論在任何風速皆有不錯的升力(圖 64)。
- 3.鄒族藍腹鵡鳥羽箭的分析:後方的邊界層相對穩定，不會使其邊界層過早產生分離，紊流來源只有來自上下方的加速氣流與藍腹鵡羽毛後方受到壓力梯度產生的渦旋，但這渦流動能相對其他扇葉之紊流更弱並且更慢，很快就會受空氣中黏滯力變回穩定流場，進而成功的減少噪聲產生，也具有不錯的升力(圖 65~圖 68)。



六、未來展望與進階研究

未來我們希望能拍攝不同鳥羽的射程軌跡，高速攝影機錄製及 tracker 程式分析，進階探討鳥羽對弓箭運行的影響，以拋物線角度思考弓箭下沉的時間，讓狩獵科學給更多人知道。

陸、結論

本研究主要目的為確認鄒族鳥羽箭(在弓箭上黏上鳥羽)的設計的確可以增加射程及準確率，接著進行製作鄒族鳥羽箭最佳化的探討，並且以流體力學相關知識深入探討鄒族獵人以藍腹鵞羽毛作為鳥羽箭材料之原因，並以其他羽毛進行比較，其結果統整如下:

一、在弓箭添加鳥羽的確可以增加射程及準確率，其最佳設計如下:

(一)、鄒族鳥羽弓最適合使用 4 節桂竹進行製作。

(二)、鄒族鳥羽箭最適合使用 90 公分的箭竹進行製作，並適合黏藍腹鵞成對羽毛。

(三)、鄒族鳥羽箭最適合的射擊角度為 0 度(有最佳的準確率)及 45 度(有最好的射程)。

二、在小型弓箭模擬鳥羽箭系統，進行變因探討得到結果下:

(一)、雖然會增加重量，但於箭身後黏貼紙片及塑膠，可以增加射擊距離及準確率。

三、在弓箭添加藍腹鵞鳥羽的可以有效改變流場，達到以下效果:

(一)、增加流速、減少紊流、減少壓力，可以穩定射擊時的流場。

(二)、同時在實體及模擬中均可證實，鳥羽可以減少射擊噪音，增加狩獵的成功率。

(三)、在圖譜分析中也可以看出，藍腹鵞鳥羽後方有很強的氣流可以讓箭往前推進。

綜合以上原因，我們認為鄒族鳥羽箭是有很深的科學知識蘊含，並且原住民族科學是可以被西方科學印證的。

柒、參考文獻及其他

朱佳仁(民 90)。工程流體力學。台灣:科技圖書股份有限公司。

浦忠勇。1997。台灣鄒族生活智慧。台北：常民文化。浦忠勇。2017。獵場是男人的身體－鄒族傳統狩獵及漁撈文化研究。台灣原住民研究論叢。21:1-42。

馮玉明(2014)。小型垂直軸風力機氣動力噪音研究。行政院原子能委員會委託研究計畫研究

Rogers, A. L., & Manwell, J. F. (2004). Wind turbine noise issues. White paper by Renewable Energy Research Laboratory, University of Massachusetts at Amherst, Amherst, MA.

Son, E., Kim, H., Kim, H., Choi, W., & Lee, S. (2010). Integrated numerical method for the prediction of wind turbine noise and the long range propagation. *Current Applied Physics*, 10(2), S316-S319

Yu, H., Ahmed, N. A., & Flynn, T. G. (2014). Manufacture and material considerations in wind tunnel experimentation. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 607, pp. 694-699). Trans Tech Publications Ltd.

【評語】 030109

本研究詳細使用多樣的科學驗證方法，分析部落傳統弓箭技藝，驗證代代相傳之鳥羽弓參數確為科學上之最佳參數，是一個古今交互驗證，相當漂亮的一個範例。

作品海報

來自鄒族的科學鳥羽箭-

探討鳥羽箭的氣動流體力學與聲學之研究



摘要

鳥羽箭為鄒族獵人必須學習重要的狩獵技術，蘊含流體力學知識。經由耆老的指導鄒族 鳥羽弓箭製作，發現鳥羽弓箭的確可以增加射程及準確率。接著進行最佳化探討，研究發現 如下：(1)製弓要使用 4 節桂竹，(2)箭長度最佳為使用 90 公分箭竹，(3)最適合黏貼藍腹鵲羽毛 於箭尾，(5)射擊的角度 0 度與 45 度有最遠的射程，箭尾增加射程及準確率也可於小型鳥羽箭射擊模型被證實。接著探討藍腹鵲羽毛作為箭羽的優點，經實體實驗及模擬實驗相互比對，發現藍腹鵲的羽毛具有穩定流場的功效，藉由實驗分析圖我們發現藍腹鵲鳥羽相較於其他羽毛 有較高的風速，產生自較強氣流，紊流卻可減少，降低噪音。以上特點均可**提高獵人狩獵成功率**，同時支持原住民族科學也可以被西方科學證實。

壹、研究動機

鳥羽箭在鄒族中具有深遠的文化與科學意義，鄒族的弓箭技能是鄒族獵人的傳統生活技能，國一寒假回到達邦部落鄒族自然保育館，鄒族達邦頭目及耆老也告訴我們鄒族的「折箭之約」傳說故事，在很久以前有大洪水侵襲部落，歷經 洪水大難不死的鄒族人分成兩路發展並折斷弓箭約定來日相見，弓箭在傳說故事中是重要的信物，因此可以知道弓箭在鄒族人裡的重要地位，而且鄒族與其他原住民族不同的是鄒族是台灣原住民中唯一會添加羽毛於箭身的族群，而羽毛並不只有裝飾的功能，而是可以增加準確率及射程，具有鄒族獨特的科學 知識(汪啟德，2022、莊清明，2023)

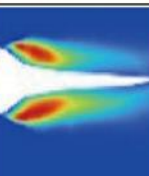
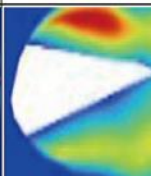

貳、研究目的

- 一、學習製作鄒族鳥羽箭，有無鳥羽對鳥羽箭射擊距離的影響。
- 二、研究弓的製作，不同竹節數製弓對鄒族鳥羽箭射擊距離影響。
- 三、研究箭的製作，探討鳥羽箭長度對鳥羽箭射擊距離的影響。
- 四、研究箭的製作，探討不同鳥羽對於鳥羽箭射擊距離的影響。
- 五、研究箭的製作，探討不同鳥羽黏貼位置對鳥羽箭距離的影響。
- 六、研究射擊方式，仰角(0°、30°、45°、60°)之鳥羽箭射擊距離。
- 七、自製小型弓箭射擊場域，探討不同材料能否增加準確率及射程。
- 八、自行設計建置風洞系統，拍攝與不同鳥羽箭其流場流態變化。
- 九、流體力學分析不同鳥羽種類之紊流、風速強度、風壓強度分布。
- 十、透過流體力學分析不同種類羽毛鳥羽箭之噪音頻譜分析圖。

	藍腹鵲羽毛	黑面鷹羽毛	海鷗(鳥)羽毛
蒐集照片			
平均長度(cm)	16.89	17.23	15.56
標準差(SD)	0.4	0.6	0.7
取得方式	鄒族獵人提供	鄒族獵人協助蒐集	鄒族獵人協助蒐集

弓箭的黏貼羽毛不能太短，至少必須大於 10 公分以上 且必須是對稱長度。

圖 5 鄒族四種部落鳥類羽毛比較

	藍腹鵲羽毛	黑面鷹羽毛	海鷗(鳥)羽毛
NACA 編碼	NACA0024	NACA 1050	NACA 1421
繪製簡易圖形說明 (以 NACA 及 ANSYS 程式的圖形作為說明)			

我們使用美國航空資訊委員會 NACA 定義我們不同種類鳥羽的參數。

圖 6 鳥羽 NACA 紊流示意圖

參、實驗器材及方法

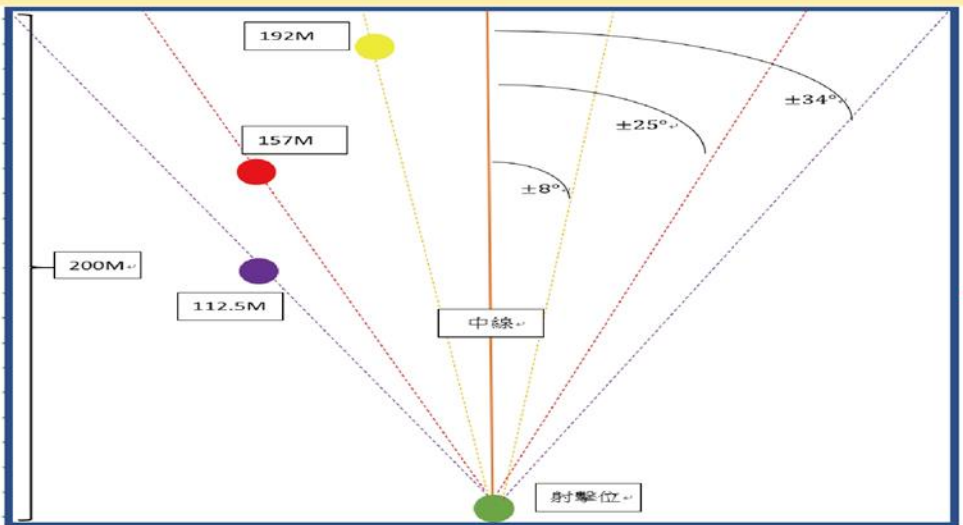
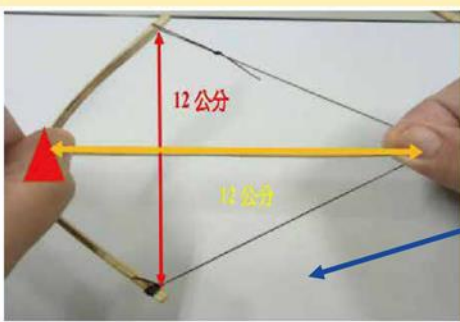


圖 1: 計算射擊距離(公尺)與準確率(偏離角度)示意圖

1. 射擊者站於基準線中心位置，往中線位置直線發射。
2. 計算射程：以落地點繪製標記，以基準線計算垂直距離。
3. 計算偏離角度：以中線為 0 計算各掉落點與中線的夾角角度



左拇指按住弓本體，弓弦由右拇指及食指按住。發射時雙指放開，不額外出力。且拇指與弓弦長度均為 12 公分。

圖 2 自製小型鳥羽箭



弓大小(長度及寬度)固定，兩端均可更換不同彈力常數繩

箭後端有凹槽，可以黏貼不同材質之外加材料。箭的長度為棉繩最大長度 12 公分。

圖 3 竹筏製作小型弓及箭之成品

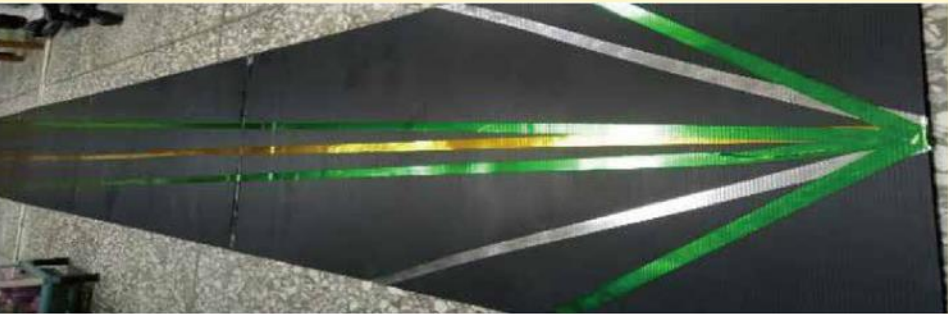


圖 4 固定射擊能量之發射台及小型檢測發射場

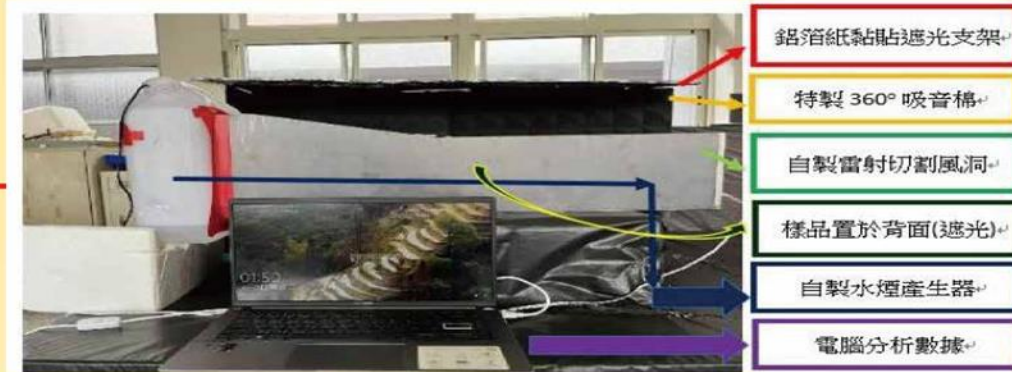


圖 7 自製鄒族鳥羽箭紊流風洞實體分析裝置

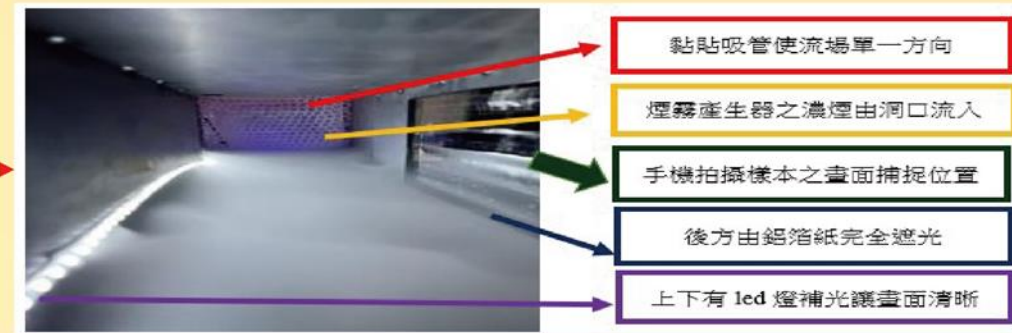


圖 8: 自製流場風洞會有流場縮收段的設計

肆、研究架構及流程

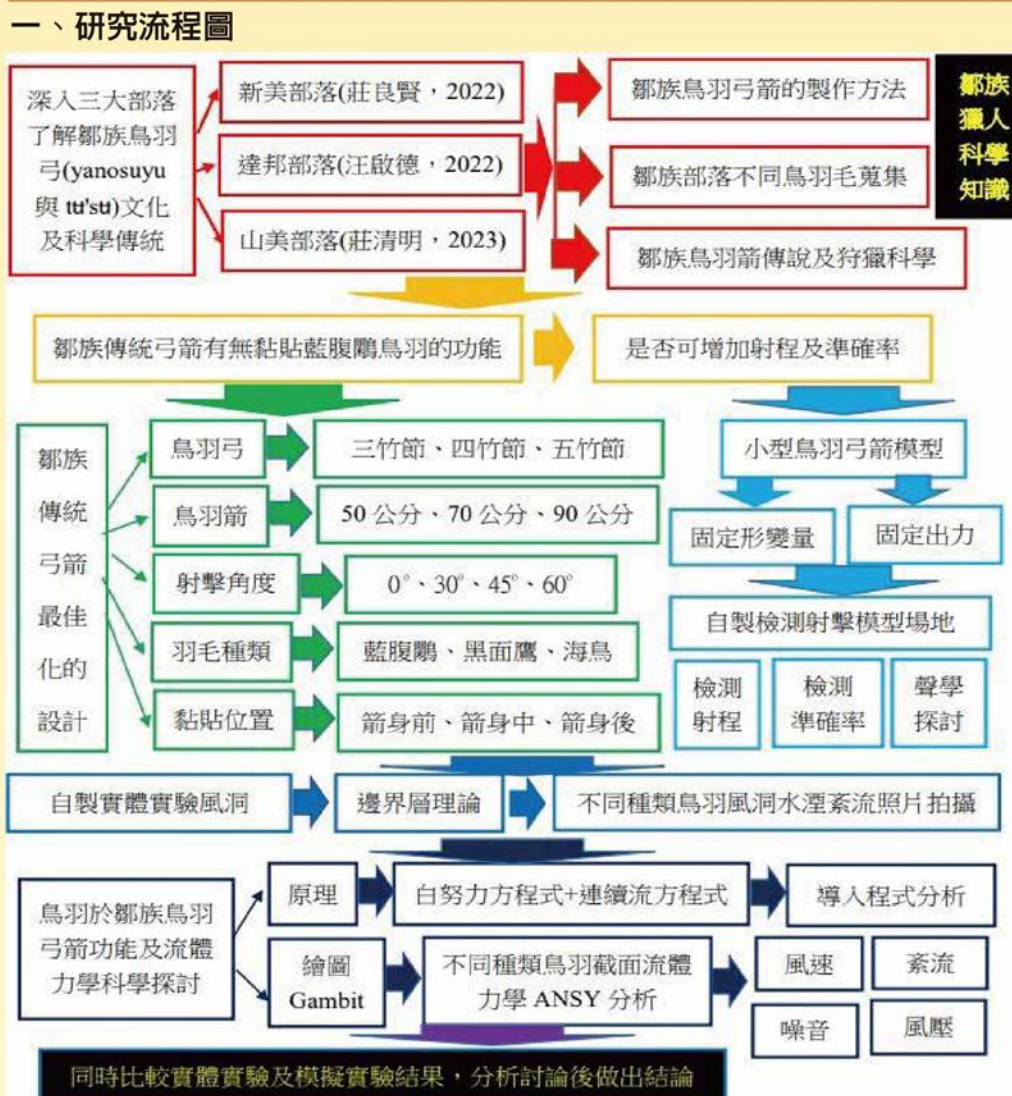


圖 9 探討鄒族鳥羽箭功效及流體力學及聲學科學原理逐步探究流程圖

伍、研究結果

一、有無鳥羽對於鳥羽弓箭射擊距離的影響。

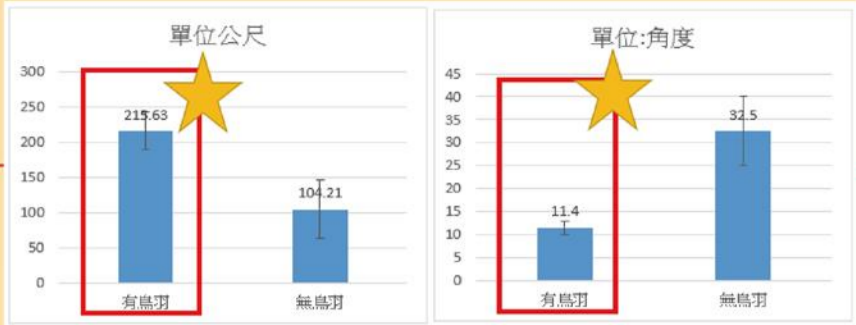


圖10: 有無鳥羽對箭射擊距離影響 圖11: 有無鳥羽對箭偏離角度影響

有鳥羽的確可以增加射程，減少偏離角度，在射擊距離這個項目中，增加鳥羽幾乎是沒有鳥羽的2倍。

六、不同射擊仰角對於鳥羽弓箭射擊距離的影響。

(一)、不同射擊仰角對於鳥羽弓箭射擊距離的影響及準確值影響表格。



圖20: 不同射擊仰角對鳥羽箭射擊距離影響 圖21: 不同射擊仰角對鳥羽箭準確值影響

結果說明：雖然45度有較高的射擊距離，但0度卻有較高的準確率。

二、不同竹節個數製弓對鄒族鳥羽箭射擊距離的影響。

(一)、不同竹節的弓於鳥羽箭射擊距離的影響及準確值影響表格(N=30)。

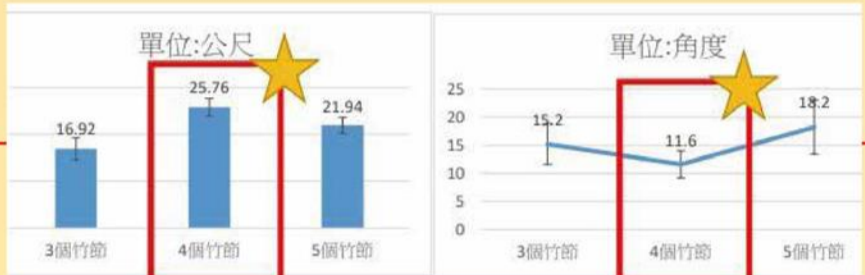


圖12: 不同竹節射擊距離影響 圖13: 不同竹節射擊準確率影響

以射擊距離衡量：製作弓最好的長度為：四節>五節>三節。

以準確率衡量：製作弓最好的長度為：四節>三節>五節。

綜合評估：四個竹節為最佳適合作鳥羽弓的大小，我們推測的原因為較適合人體的長度可以掌握的大小。

三、不同鳥羽箭的長度對於鳥羽弓箭射擊距離的影響。

(一)、不同鳥羽箭的長度於射擊距離的影響及準確值影響表格(N=30)。



圖14: 不同長度對於射擊距離影響 圖15: 不同長度對於射擊準確率影響

從數據中可以發現，箭身長度並不會影響偏離角度。

四、不同鳥羽種類對於鳥羽弓箭射擊距離的影響。

(一)、實驗表格及繪製成圖：



圖16: 不同鳥羽箭射擊距離(公尺) 圖17: 不同鳥羽箭射擊偏離角度

藍腹鵞		黑面鶯		海鳥	
射擊距離	射擊精準度	射擊距離	射擊精準度	射擊距離	射擊精準度
M	SD	M	SD	M	SD
19.14	0.9	7.6	2.6	10.05	1.67
				34.2	3.97
				16.2	0.72
				23	3.16

腹鵞的距離是三種鳥羽箭中最遠的，黑面鶯製成的鳥羽箭則是三種中射擊精度最低，射程最短的一種。

五、不同鳥羽黏貼位置對於鳥羽弓箭射擊距離的影響及準確值影響表格(N=30)。



圖18: 鳥羽黏貼位置對於射擊距離 圖19: 鳥羽黏貼位置對射擊準確率影響

羽毛黏貼於箭身後方會有較多的射擊距離，偏離角度較少。

七、在小型模擬弓箭中，添加不同材質箭尾對於鳥羽弓箭射擊距離的影響。

(一)、實驗結果圖：



圖22: 不同添加不同材質(紙片及塑膠)於箭尾對於鳥羽弓箭射擊距離影響

添加箭尾的確可以增加射程，厚的材質>薄的材質，可以知道箭尾的形狀固定，可以有效提高射程。

八、自行設計風洞系統，拍攝與觀察不同鳥羽箭其流態變化。

(一)、藍腹鵞的實際觀測



圖23: 藍腹鵞流場情形(無渦旋) 圖24: 藍腹鵞流場情形(無渦旋)

圖23 控制體內流體為層流狀態，屬自然轉捩點，圖24 流體轉捩點於鳥羽後方，減少動量虧損。

(二)、海鳥的實際觀測



圖25: 海鳥流場情形(無渦旋) 圖26: 海鳥流場(明顯渦旋)

圖25 旁路轉捩，流體一碰到壁面立馬變為紊流，圖26 壓力場的改變導致紊流重新附著回鳥羽。

(三)、黑面鶯的實際觀測

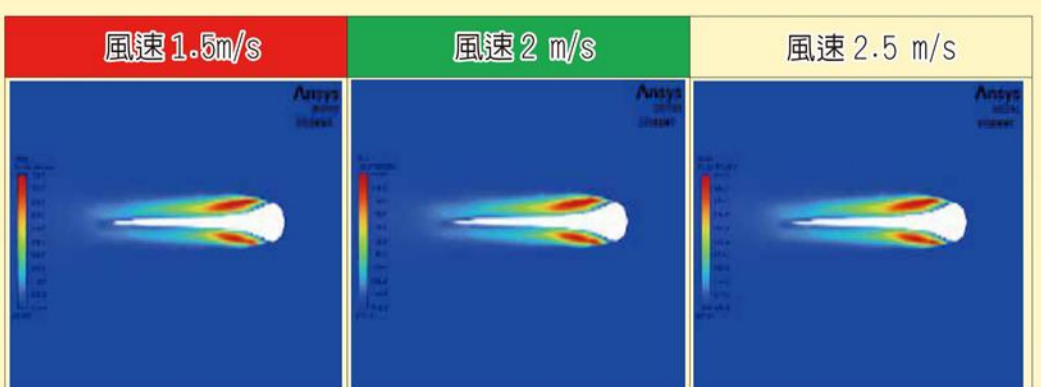


圖27: 海鳥流場情形(無渦旋) 圖28: 海鳥流場(明顯渦旋)

圖27 紊流提早形成，造成前方氣流堵於此地，圖28 位移厚度的範圍使鳥羽箭的動量厚度增大。

八、將繪製好的 Gambit 網格式帶入 ANSYS 流體力學程式分析

(一)、不同鳥羽風速比較：綜合低風速(1.5m/s)及高風速(2.5m/s)：



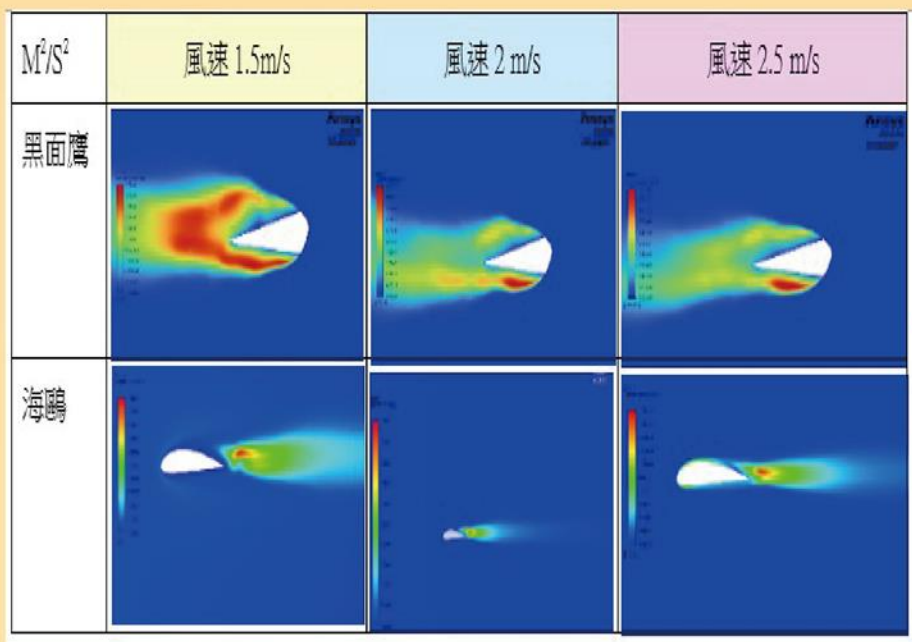


圖29: 不同鳥羽箭之紊流強度分布圖

藍腹鷗羽毛的紊流轉捩屬於自然轉捩 (Natural Transition)，流體受邊界層內壓差力與黏性減速導致層流變為紊流的遞進轉化。

(二)、不同鳥羽箭之風速強度分布圖

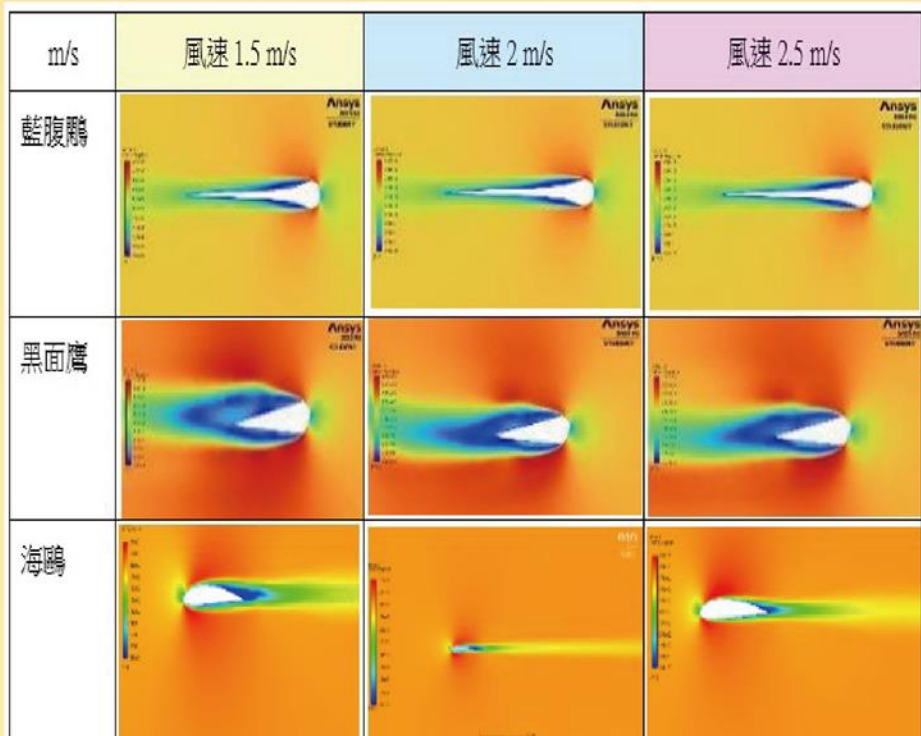


圖30: 不同鳥羽箭之紊流強度分布圖

黑面鷲鳥羽在水煙實驗中無法觀察到有方向較統一的渦流，從模擬中可知後方流場確實較為混亂，當紊流好散成小渦流時則因壓差力致使前方的流體未跟鳥與接觸就邊界層分離成紊流。

(三)、不同鳥羽箭之壓力強度分布圖

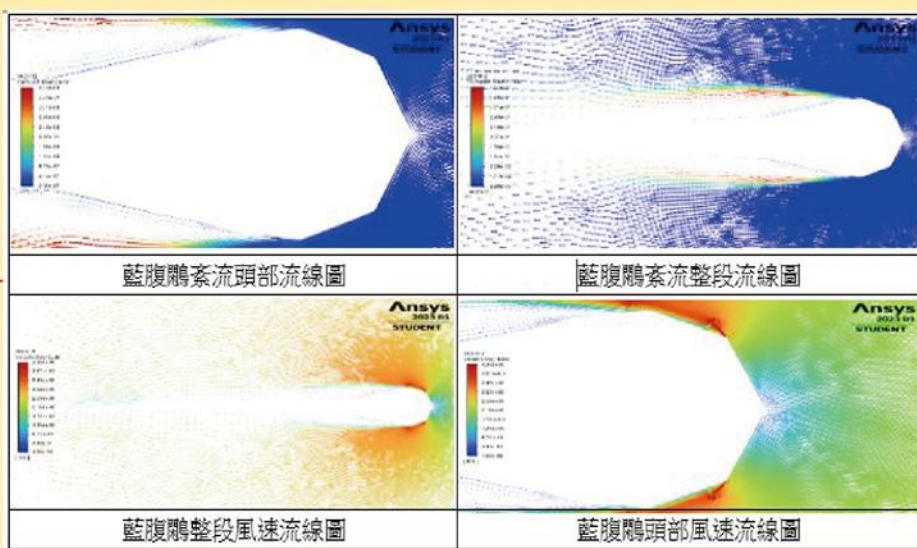


圖31: 藍腹鷗鳥羽流線分布圖

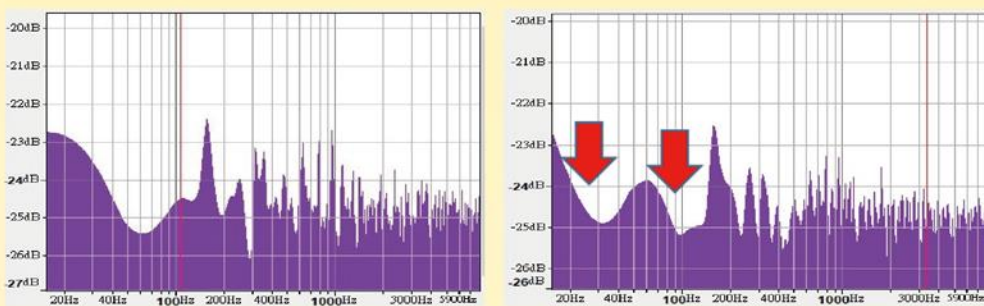
噪聲強度在高強度區域占比例皆增加，隨風速提升，紊流及噪聲強度在皆上升。

十、比對模擬實驗及實體噪聲檢測實驗，進行聲學分析。

一、藍腹鷗鳥羽流線分布圖



圖32: 不同鳥羽箭氣動噪聲模擬數值製圖



綜合模擬與實體時驗收集噪聲，發現有鳥羽的確可以降低飛行時的低頻噪音。

柒、討論

一、不同鳥羽箭之壓力強度分布圖

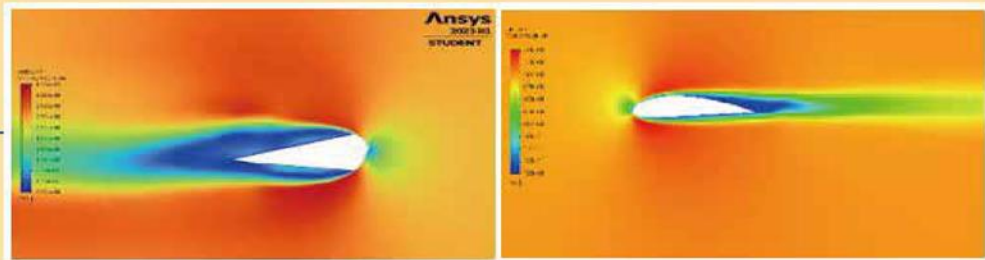


圖35: 黑面鷲鳥羽箭流線圖

圖36: 海鳥鳥羽流線圖

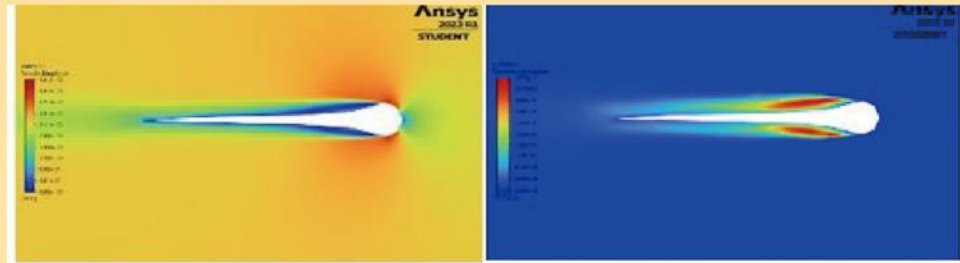


圖37: 藍腹鷗鳥羽箭風速圖

圖38: 藍腹鷗鳥羽箭風速圖

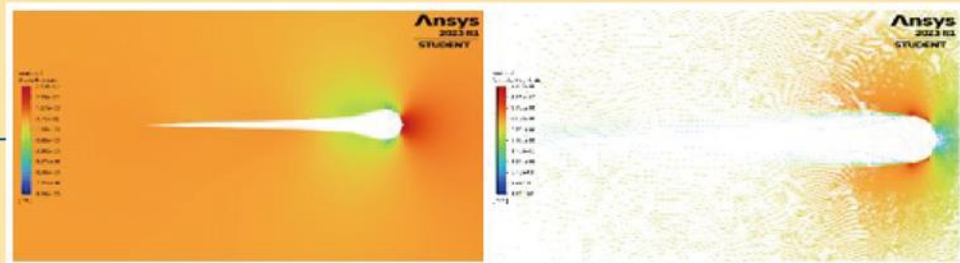


圖39: 藍腹鷗鳥羽箭壓力圖

圖40: 藍腹鷗鳥羽箭流線圖

黑面鷲鳥羽箭分析: 鳥羽前端段兩個稜角會導致扇葉在減少氣動噪音能力上顯弱，導致邊界層提早分離產生更大的紊流

藍腹鷗羽毛後方受到壓力梯度產生的渦旋，但這渦流動能相對其他扇葉之紊流更弱並且更慢，很快就會受空氣中黏滯力變回穩定流場，進而成功的減少噪聲產生，也具有不錯的升力

海鳥羽箭分析: 海鳥需長時間制空於海上的鳥種擁有強勁的升力，可從結果看出，在升力方面，任何風速皆有不錯的升力

捌、結論

一、在弓箭添加鳥羽的確可以增加射程及準確率，其最佳設計如下：

- 一、鄒族鳥羽箭最合使用 4 節桂竹進行製作。
- 二、使用 70 公分的箭竹進行製作，並適合藍腹鷗成對羽毛。
- 三、鄒族鳥羽箭最適合的射擊角度為 0 度 (有最佳的準確率)。

二、在弓箭添加鳥羽的可以有效改變流場，達到以下效果：

- 一、增加流速、減少紊流、減少壓力，可以穩定射擊時的流場。
- 二、鳥羽可以減少射擊噪音，增加狩獵的成功率。
- 三、藍腹鷗鳥羽後方有很強的氣流可以讓箭往前推進。

綜合以上原因，我們認為鄒族鳥羽箭是有很深的科學知識蘊含，並且原住民族科學是可以被西方科學印證的。

三、在弓箭添加藍腹鷗鳥羽的可以有效改變流場，達到以下效果：

增加流速、減少紊流、減少壓力，可以穩定射擊時的流場。

同時在實體及模擬中均可證實，鳥羽可以減少射擊噪音。

在圖譜分析中可看出，藍腹鷗鳥羽有很強的氣流可以讓箭往前推進。

鄒族鳥羽箭是有豐富的科學蘊含，原住民族科學可以被西方科學印證。



玖、參考資料

浦忠勇。2013。夾縫中的鄒族獵人。原住民族文獻。第 11 輯。10:10-17。

浦忠勇。1997。台灣鄒族生活智慧。台北：常民文化。

浦忠勇。2017。獵場是男人的身體－鄒族傳統狩獵及漁撈文化研究。台灣原住民研究論叢。21:1-42。

Rogers, A. L., & Manwell, J. F. (2004). Wind turbine noise issues. White paper by Renewable Energy Research Laboratory, University of Massachusetts at Amherst, Amherst, MA.

Yu, H., Ahmed, N. A., & Flynn, T. G. (2014). Manufacture and material considerations in wind tunnel experimentation. In Applied Mechanics and Materials (Vol. 607, pp. 694-699). Trans Tech Publications Ltd.

Son, E., Kim, H., Kim, H., Choi, W., & Lee, S. (2010). Integrated numerical method for the prediction of wind turbine noise and the long range propagation. Current Applied Physics, 10(2), S316-S319