

屏東縣第66屆國民中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：生物科

組 別：國小組

作品名稱：千里眼與順風耳——AI 聲景辨識在校園鳥類生態調查中的應用與效益分析

關 鍵 詞：AI 聲景辨識、鳥類調查、人機協作

編號：A4001

千里眼與順風耳——

AI 聲景辨識在校園鳥類生態調查中的應用與效益分析

摘要

本研究探討人工智慧聲紋辨識工具（Merlin Bird ID）在校園鳥類調查的效益。傳統視覺調查常受校園茂密植被限制，導致「只聞其聲，不見其影」的數據失真。因此，我們採「千里眼（望遠鏡視覺）」與「順風耳（AI 聽覺）」雙軌對照法進行環境監測。

研究發現，AI 順風耳能突破視覺盲區，大幅提升如五色鳥、黑枕藍鶇、臺灣竹雞等隱蔽性鳥種的偵測率；但遇到大卷尾等喜停棲開闊處的鳥類，或是面臨強風、垃圾車與周邊賽事哨音等環境噪音干擾時，AI 仍有極限與誤判風險，必須仰賴肉眼確認。

結論指出，AI 無法完全取代人類，但「人機協作」能顯著補足單一感官的侷限，建構出更完整、精確的校園生物多樣性地圖。

壹、前言

一、研究動機

上個學年，我們全校搬進了生機盎然的新校舍。配合「臺美生態學校（Eco-Schools）」計畫，我們四年級生態小隊選定了「生物多樣性」路徑，決定先從校園鳥類調查著手。在康軒版三年級自然課本關於「動物解說員」單元中，我們學到動物會利用不同的感官與聲音傳遞訊息。

然而，在實際調查中我們遇到了一個巨大的痛點：新校舍樹木茂密，我們常常「只聞鳥聲，不見鳥影」。我們這群小學生雖然有像「千里眼」一樣的望遠鏡，但礙於鳥類隱蔽性高，常常找不到目標。於是我們思考：能不能借助現代科技，給我們裝上「順風耳」？我們引進了康乃爾大學開發的 AI

聲景辨識工具（Merlin Bird ID），想探討這套工具能否補足傳統視覺調查的盲區，幫助我們畫出更完整的新校舍生態地圖。

二、 研究目的

（一）比較「千里眼（傳統視覺法）」與「順風耳（AI 聲紋法）」在校園不同環境中記錄到的鳥種數量差異。

（二）分析 AI 工具對於不同生態習性鳥類（如隱蔽的地棲性臺灣竹雞，對比顯眼的樹棲性大卷尾）的偵測效益。

（三）評估真實環境干擾（如垃圾車噪音、自行車賽事哨音及風切聲）對 AI 聲景辨識準確度的極限與影響。

（四）建構一套適合國小學生操作、「視聽雙軌協作」的校園生物多樣性調查模式。

三、 文獻探討

（一）視覺霸權與聽覺覺醒

傳統的校園生物調查往往存在「視覺霸權」，認為必須親眼「看到」才算數。然而相關鳥類點數調查（Point Counts）文獻顯示，在樹林或茂密灌叢環境中，超過 80% 的鳥類偵測其實是依賴聽覺而非視覺完成的。國小學生的鳥音聽音辨位與辨識能力有限，若無輔助工具，許多隱密鳥類（如臺灣竹雞）將成為數據上的隱形鳥。

（二）AI 是怎麼「看」聲音的？

根據康乃爾大學鳥類學實驗室（Cornell Lab of Ornithology）的技術說明，Merlin Bird ID App 運作的原理並非像人類一樣用耳朵「聽」，而是將聲音轉化為「頻譜圖（Spectrogram）」。頻譜圖將時間、頻率與聲音大小視覺化為圖像，AI 接著透過卷積神經網絡（CNN）來辨識這些圖像的特徵。

簡單來說，AI 是用「看圖形」的方式來辨識鳥叫聲，這與人臉辨識的技術原理極為相似。

8:04上午・6 鳥

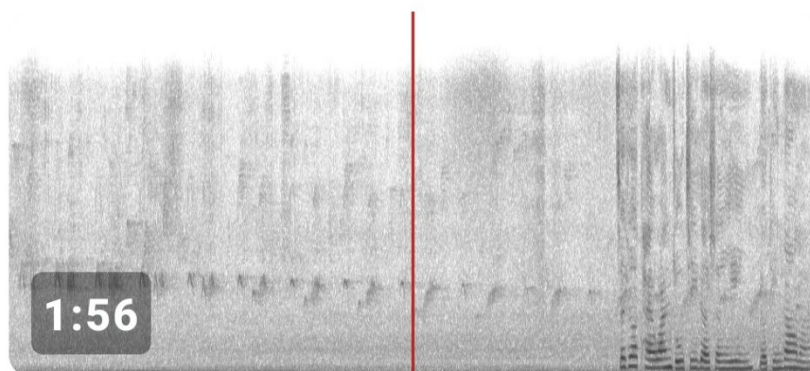


圖 1：臺灣竹雞的頻譜圖

(三) 科技極限與人機協作

科技並非萬能。根據 eBird 官方操作指南與實務探討指出，當遇到強風、背景噪音（如車輛干擾），或是像大卷尾這類會模仿其他鳥類叫聲的物種時，AI 仍有極大的誤判風險。因此，本研究認為 AI 無法完全取代人類觀察，而是應採「AI 廣泛快篩聽取，肉眼精準確認」的互補合作模式。

貳、研究設備及器材

一、視覺觀測與影像紀錄設備（千里眼模組）

(一) 雙筒望遠鏡：

使用 Vixen ARENA H+ 8x21WP，輕量化設計適合國小四年級學生操作，負責大範圍的棲地掃描與實體鳥種確認。

(二) 長焦望遠攝影套組：

使用 APEXEL 22 倍手機望遠鏡、APEXEL 20-60 倍長焦手機望遠鏡，搭配專用手機夾固定於平板或手機上。負責突破肉眼極限，將鳥類特徵與生態行為拍攝記錄下來，作為視覺驗證的數位證據。



二、 聲景辨識與數位運算設備（順風耳模組）

(一) 智慧型載具：

Apple iPad 及學生之智慧型手機，做為野外收音麥克風以及 AI 運算的硬體載體。

(二) AI 聲紋辨識軟體：

安裝由康乃爾大學鳥類學實驗室開發的 Merlin Bird ID App（已下載「台灣鳥類資料包」），負責將野外環境音即時轉換為頻譜圖，並透過 AI 模型進行鳥種比對與辨識。



圖 5：Merlin Bird ID App

三、 數據紀錄與變因控制工具

(一) 觀測紀錄表：

參考「臺灣新年數鳥嘉年華紀錄表」、「BBS Taiwan 野外調查記錄表」自製改良適合本校國小四年級學生之「雙軌制鳥類生態觀測表（Dual-Track Bird Observation Form, 簡稱 DT-BOF）」。此表整合了天氣狀態、簡易蒲福風級、環境噪音紀錄，並具備「千里眼與順風耳」同步畫記及「視覺驗證機制」欄位，是本研究控制變因與收集量化數據的最核心工具。

雙軌制鳥類生態觀測表

(Dual-Track Bird Observation Form, 簡稱DT-BOF)

【一、實驗情境】

紀錄：_____

樣點名稱	A. ☐ 操場開闊區 B. ☐ 森林區 C. ☐ 建築環繞區	日期	202__ / __ / __ 
千里眼	姓名：_____	開始時間	____ : ____
順風耳	姓名：_____	結束時間	____ : ____

【二、天氣與環境】(請打勾)

- 天氣：☐  晴天(有影子) ☐  多雲(偶爾有光) ☐  陰天(無影子) ☐  雨天
- 風力(簡易蒲福風級)：
 - ☐ 0 級 無風：樹葉完全不動，煙往上飄。
 - ☐ 1 級 微風：感覺臉上有風，樹葉輕輕動。
 - ☐ 2 級 和風：樹枝搖晃，旗子飄起來。
 - ☐ 3 級 強風：大樹枝搖晃，走路要用力( 風太大鳥會躲起來喔！)
- 環境噪音：☐ 安靜 ☐ 車聲/施工聲 ☐ 鐘聲/廣播 ☐ 同學嬉鬧聲

【三、對決紀錄區】

- 千里眼：「正字畫記」，用眼睛看到就畫。
- 順風耳：「正字畫記」，Merlin App 亮起鳥名就畫。
- 驗證：如果 AI 聽到了，你們有用眼睛找到牠嗎？請打勾。
- 行為與位置：請觀察這群鳥大部份在做什麼、在哪裡，並打勾(可複選)。

鳥種名稱	千里眼 畫記數量	順風耳 畫記數量	驗證	行為	位置
			☐ 有 ☐ 沒有	☐ 休息 ☐ 覓食 ☐ 鳴叫 ☐ 飛行 ☐ 打架/互動	☐ 地面 ☐ 草叢 ☐ 樹上 ☐ 人造物(屋頂/電線) ☐ 空中
			☐ 有	☐ 休息 ☐ 覓食 ☐ 鳴叫	☐ 地面 ☐ 草叢 ☐ 樹上

圖 6：雙軌制鳥類生態觀測表

			☐ 有 ☐ 沒有	☐ 休息 ☐ 覓食 ☐ 鳴叫 ☐ 飛行 ☐ 打架/互動	☐ 地面 ☐ 草叢 ☐ 樹上 ☐ 人造物(屋頂/電線) ☐ 空中
			☐ 有 ☐ 沒有	☐ 休息 ☐ 覓食 ☐ 鳴叫 ☐ 飛行 ☐ 打架/互動	☐ 地面 ☐ 草叢 ☐ 樹上 ☐ 人造物(屋頂/電線) ☐ 空中

【四、未知鳥種偵探區】

如果你看到不認識的鳥，請不要猜！請把牠畫或用文字記錄下來，特別注意「嘴巴形狀」、「尾巴長短」和「身體顏色」。

- **特徵素描框** (請在此繪圖或描述)
 - 頭部顏色：_____
 - 背部顏色：_____
 - 肚子顏色：_____
 - 嘴巴形狀：☐尖尖的 ☐短短厚厚的 ☐長長的 ☐鉤狀的

【五、備註與干擾】

- **有趣的發現：**(例如：看到親鳥在餵食寶寶、大卷尾在追趕老鷹...)

- **環境干擾：**(例如：有人在除草噪音很大、有野狗經過...)

(本表格設計參考 BBS Taiwan 與 NYBC 協定，並針對 AI 輔助調查進行改版)

圖 7：依紀錄需求量身改版設計

參、研究過程或方法

一、實驗設計與控制變因

本研究採用「成對採樣法 (Paired Sampling Method)」，亦即在同一時間、同一地點，針對同一批鳥群，同步進行兩種不同感官的調查對決。

(一) 自變因：

鳥類調查的方法差異 (千里眼/傳統視覺法 VS. 順風耳/AI 聲紋輔助法)。

(二) 應變因：

記錄到的鳥種數量與個體數量。

(三) 控制變因：

每次調查固定為 6 分鐘，並嚴格記錄環境狀態，包含天氣、簡易蒲福風級（0-3 級，若風力過強則不調查以防干擾 AI），以及突發的環境噪音（如車聲、鐘聲等）。

二、 調查樣點選定（棲地差異測試）

為驗證 AI 在不同棲地的辨識效益，我們根據校園植被覆蓋率與人為活動程度，設置三個固定觀察樣點：

(一) 樣點 A（操場開闊區）：

視野極佳但缺乏隱蔽，預期是視覺調查的優勢區。

(二) 樣點 B（森林區）：

植被茂密、光線穿透率低，預期是隱蔽性鳥種出沒熱點，也是測試 AI 順風耳「穿透視覺盲區」效能的核心戰場。

(三) 樣點 C（建築環繞區/教學區）：

人為干擾頻繁，用以觀察適應力強之都會型鳥種。



圖 8：樣點 A
（操場開闊區）



圖 9：樣點 B
（森林區）



圖 10：樣點 C
（建築環繞區/教學區）

三、 學生任務分工模組（6 人小队編制）

為確保四年級團隊能精確執行，我們將 6 名組員分為三大任務編組，於每次調查時輪替操作：

（一）千里眼組（2 人）：

裝備雙筒望遠鏡與長焦鏡頭。規則是「禁止觀看手機螢幕」，僅以肉眼與望遠鏡搜尋實體，並負責在紀錄表左側畫記。

（二）順風耳組（2 人）：

裝備安裝 Merlin App 的智慧載具。開啟 Sound ID 聲景辨識功能，負責監控頻譜圖，當 AI 辨識出鳥名時，在紀錄表右側畫記。

（三）記錄與品管組（2 人）：

負責統整「雙軌制鳥類生態觀測表（DT-BOF）」，判定環境干擾源，並執行最關鍵的「二次確認機制」。

四、 雙軌觀測標準作業程序（SOP）

本團隊於 115 年 1 月 7 日至 3 月 2 日期間進行實地踏查，每次調查嚴格遵守以下四步驟：

（一）靜心定樁：

小队抵達樣點後，原地靜止 1 分鐘，降低人為走動對鳥類的驚擾。

（二）同步啟動：

計時開始，千里眼組舉起望遠鏡掃描，順風耳組同步按下 AI 錄音鍵接收環境音。

(三) 二次確認 (Ground Truthing)：

當 Merlin App 跳出鳥名判定時，品管組需立即詢問千里眼組：「我們有看到牠的實體嗎？」若有，則在紀錄表「驗證」欄位打勾；若無，則記錄為純聲音偵測。藉此篩除 AI 可能的誤判。

(四) 未知鳥種偵探機制：

若遭遇 AI 無法辨識且肉眼不認識的鳥種，禁止憑空瞎猜，必須於紀錄表的「特徵素描框」內手繪或描述其頭部、背部顏色及嘴喙形狀（如尖長或鉤狀），待返回教室後進行圖鑑比對。

五、 異常數據標定與真實環境紀錄：

科學研究的核心在於誠實記錄「干擾」。觀測過程中，若遭遇突發性強大噪音干擾，皆須於備註欄詳實記錄。例如：調查期間曾記錄到垃圾車經過，以及遭遇「自由車公路錦標賽」車隊呼嘯而過與交管哨音。這些真實的環境噪音皆被納入後續分析，用以評估 AI 在複雜聲景下的抗干擾極限。

肆、研究結果

本團隊於 115 年 1 月 7 日至 3 月 2 日期間，於校園三個樣點進行雙軌鳥類觀測，總計收集 157 筆有效觀測紀錄、27 款鳥種。我們將龐雜的紀錄表數位化後，依據「宏觀交集」、「微觀習性」與「環境干擾」三個層次進行分析：

調查日期	樣點名稱	天氣	風力級數	環境噪音	鳥種名稱	千里眼(視)數量	順風耳(聽)數量	肉眼驗證	干擾與備註
2026/1/7	A.操場...	陰天(...)	2級和風	車聲/施工聲	紅嘴黑鵯	4	1	有	
2026/1/7	A.操場...	陰天(...)	2級和風	車聲/施工聲	Song Sparrow	0	1	沒有	北美原生麻雀，臺灣查無紀錄
2026/1/14	A.操場...	晴天(...)	1級微風	安靜	大卷尾	2	0	有	
2026/1/14	A.操場...	晴天(...)	1級微風	安靜	紅嘴黑鵯	1	1	有	
2026/1/14	A.操場...	晴天(...)	1級微風	安靜	紅鳩	1	0	有	
2026/1/14	A.操場...	晴天(...)	1級微風	安靜	綠繡眼	0	1	沒有	
2026/1/14	A.操場...	晴天(...)	1級微風	安靜	斑文鳥	0	1	沒有	
2026/1/14	B.森林區	晴天(...)	1級微風	安靜	紅鳩	1	0	有	
2026/1/14	B.森林區	晴天(...)	1級微風	安靜	紅嘴黑鵯	0	1	沒有	
2026/1/14	B.森林區	晴天(...)	1級微風	安靜	綠繡眼	0	1	沒有	
2026/1/14	B.森林區	晴天(...)	1級微風	安靜	白頭翁	0	1	沒有	
2026/1/14	C.建築...	晴天(...)	1級微風	安靜	大卷尾	2	0	有	
2026/1/14	C.建築...	晴天(...)	1級微風	安靜	洋燕	1	0	有	
2026/1/16	B.森林區	晴天(...)	1級微風	安靜	綠繡眼	0	1	沒有	
2026/1/16	B.森林區	晴天(...)	1級微風	安靜	白頭翁	1	1	有	
2026/1/16	B.森林區	晴天(...)	1級微風	安靜	黑枕藍鶇	0	1	沒有	
2026/1/16	B.森林區	晴天(...)	1級微風	安靜	紅嘴黑鵯	0	1	沒有	
2026/1/16	C.建築...	晴天(...)	2級和風	鐘聲/廣播 車聲/...	大卷尾	2	0	有	
2026/1/19	A.操場...	晴天(...)	1級微風	車聲/施工聲	大卷尾	6	0	有	
2026/1/19	A.操場...	晴天(...)	1級微風	車聲/施工聲	紅鳩	0	1	沒有	
2026/1/19	A.操場...	晴天(...)	1級微風	車聲/施工聲	白頭翁	0	1	沒有	

圖 11：逐筆觀測紀錄表(部分紀錄)

一、總體偵測數據與感官交集分析

首先，我們將兩個月內記錄到的所有鳥種與數量進行彙整，並利用韋恩圖（Venn Diagram）來呈現「千里眼（視覺）」與「順風耳（AI 聽覺）」的重疊與互補關係。

鳥種名稱	總紀錄筆數	千里眼(視)總數	順風耳(聽)總數	肉眼驗證：有	肉眼驗證：無(純聽)
紅嘴黑鵯	19	18	20	8	11
白頭翁	18	19	18	9	9
綠繡眼	16	16	15	5	11
珠頸斑鳩	15	5	18	4	11
大卷尾	10	21	1	9	1
五色鳥	10	2	11	2	8
麻雀	9	9	8	3	6
樹鵲	8	3	7	1	7
家八哥	6	14	5	4	2
洋燕	5	14	0	5	0
白環鸚嘴鵯	5	0	5	0	5
黑枕藍鶇	5	0	5	0	5
極北柳鶯	5	0	5	0	5
小彎嘴	5	0	5	0	5
紅鳩	4	4	2	3	1
臺灣竹雞	2	0	3	0	2
東方黃鵪鶉	2	0	2	0	2
斑文鳥	2	0	2	0	2
家麻雀	2	0	2	0	2
綠鳩	2	12	0	2	0
鵲鵯	1	0	1	0	1
臺灣藍鵲	1	0	1	0	1
Song Sparrow	1	0	1	0	1
綠畫眉	1	0	1	0	1
小啄木	1	0	1	0	1
噪鵲	1	0	1	0	1
烏頭翁	1	0	1	0	1

圖 12：紀錄彙整表

雙軌制鳥類調查：視覺與AI聽覺交集分析

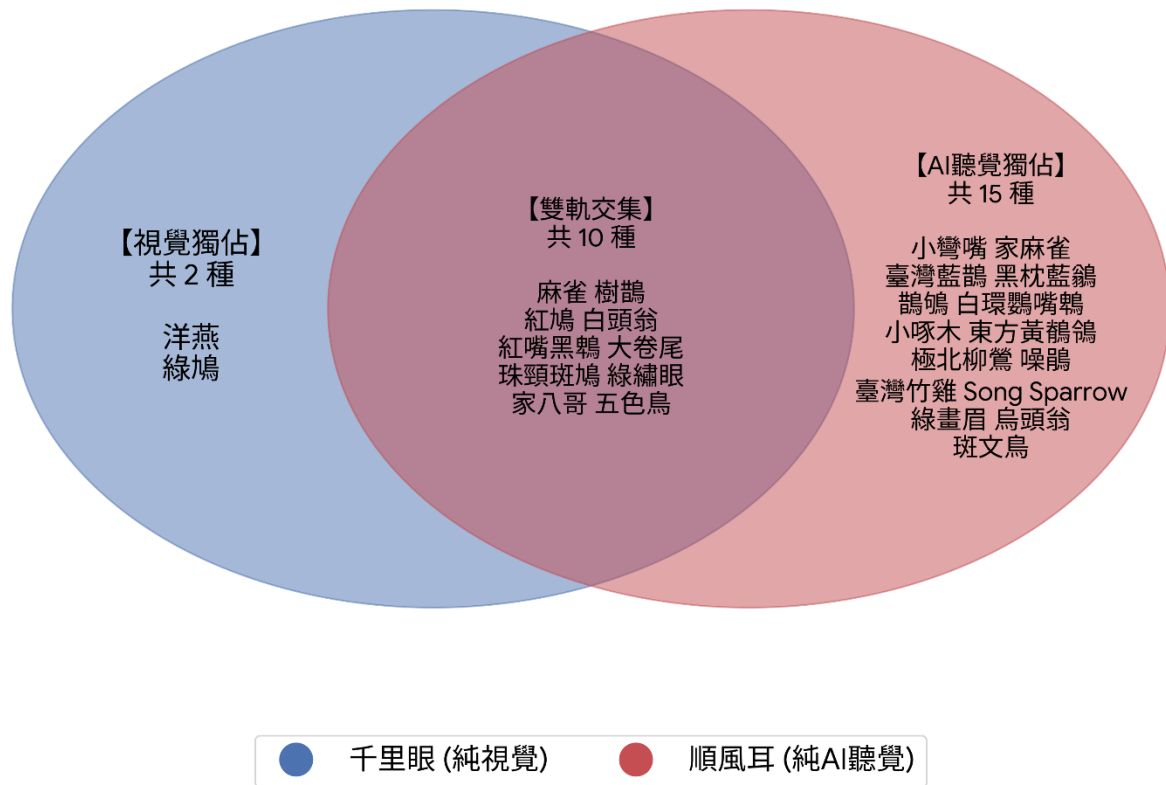


圖 13：視覺與 AI 聽覺交集分析韋恩圖

(一) 純聽覺優勢區（共 15 種）：

包含極北柳鶯、黑枕藍鵲、臺灣竹雞等。高達 15 種鳥類在長達兩個月的觀測中，肉眼完全無法捕捉其蹤跡，100% 依賴 AI 偵測。這證實 AI 順風耳能大幅突破校園茂密植被帶來的視覺盲區。

(二) 雙軌交集區（共 10 種）：

如白頭翁、綠繡眼、麻雀等校園強勢普鳥。因其數量龐大且鳴叫頻繁，視覺與聽覺的偵測率高度重疊。

(三) 純視覺優勢區（共 2 種）：

洋燕與綠鳩。洋燕因在空中盤旋且幾乎無聲，綠鳩則具備極佳保護色且觀測期間未曾鳴叫，導致 AI 聽覺完全失效。這證明了面對特定習性的鳥類，「人類主動視覺搜尋」仍具備無法被機器取代的絕對價值。

二、生態習性與偵測效益之交叉分析

為深入探討不同感官工具的適用情境，我們從總表中篩選出 10 種具備代表性生態習性的鳥種，計算其「AI 增益率」（即 AI 輔助後增加的偵測比例），並繪製成效益比較圖表。

鳥種名稱	生態習性分類	千里眼(視)數量	順風耳(聽)數量	偵測優勢與 AI 增益效益評估
五色鳥	隱蔽 / 樹冠層	2	11	聽覺碾壓區 (+450%)： 頻繁鳴叫，AI 成功突破視覺盲區
臺灣竹雞	隱蔽 / 底層灌叢	0	3	純聽覺物種 (+無限大)： 無 AI 輔助幾乎無法發現
黑枕藍鶺鴒	隱蔽 / 樹冠層	0	5	純聽覺物種 (+無限大)： 無 AI 輔助幾乎無法發現
白頭翁	普鳥 / 適應力強	19	18	雙軌持平 (-5%)： 數量大且愛鳴叫，視聽皆易偵測
綠繡眼	普鳥 / 適應力強	16	15	雙軌持平 (-6%)： 數量大且愛鳴叫，視聽皆易偵測
麻雀	普鳥 / 適應力強	9	8	雙軌持平 (-11%)： 數量大且愛鳴叫，視聽皆易偵測
大卷尾	開闊 / 樹梢枝頭	21	1	視覺優勢區 (-95%)： 常安靜警戒停棲，肉眼勝出
家八哥	開闊 / 地面建築	14	5	視覺優勢區 (-64%)： 體型大且喜愛空曠處，肉眼勝出
洋燕	開闊 / 空中飛行	14	0	AI 盲區 (-100%)： 空中盤旋無聲，100% 依賴視覺
綠鳩	隱蔽 / 樹冠層	12	0	AI 盲區 (-100%)： 具保護色且未鳴叫，AI 完全失效，100% 依賴視覺搜尋

圖 14：10 種代表性鳥種之生態習性與 AI 增益比較表

10種代表性鳥種偵測效益比較

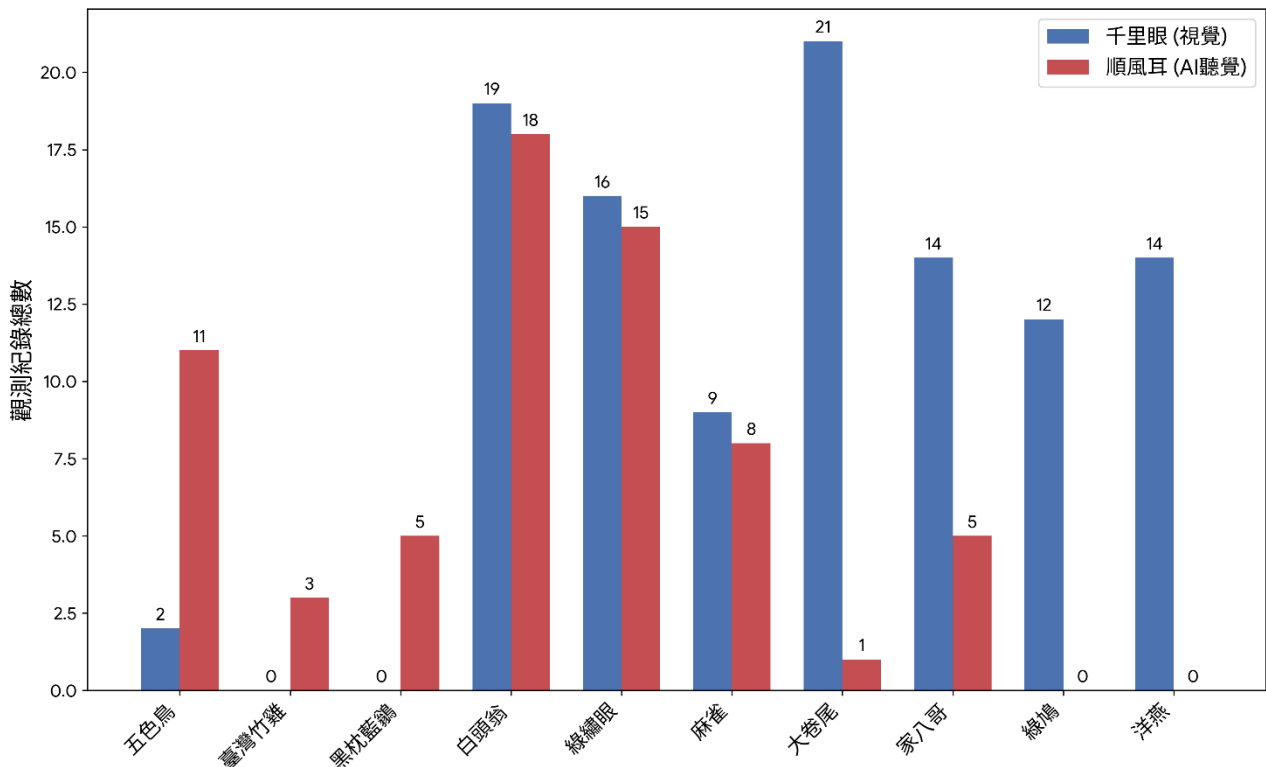


圖 15：10 種代表性鳥種偵測效益比較長條圖

由上述圖表數據可清晰證實一個極為重要的科學現象：AI 順風耳對於「隱蔽且愛鳴叫」的鳥類（如五色鳥）增益效果呈爆發性成長；然而，若遭遇喜停棲於「開闊區」、具備特定行為（如洋燕空中盤旋），或甚至同樣隱蔽卻「未發出鳴叫」（如綠鳩）的鳥類，AI 的辨識效益會瞬間歸零，此時人類「主動搜尋」的肉眼視覺便展現出無可取代的絕對優勢。

三、 真實環境干擾與 AI 誤判紀錄（異常值分析）

科學調查必須誠實面對環境變因。在實地踏查中，本團隊記錄到多次 AI 辨識系統因環境噪音而失效，甚至產生「科技幻覺」的真實數據：

（一）、強烈人為噪音導致「聽盲」：

在 1/19 與 2/9 的 C 樣點（建築環繞區）調查中，遭遇「垃圾車入校」以及「自行車賽車隊呼嘯與交管哨音」。紀錄表顯示，在此類高分

貝噪音覆蓋下，Merlin App 頻譜圖呈現雜亂波形，順風耳的偵測能力瞬間歸零。

(二)、AI 的偽陽性誤判（幻覺）：

在 1/7 的 A 樣點調查中，AI 辨識出一筆「Song Sparrow（北美原生歌雀）」。經查證該鳥種於臺灣並無出沒紀錄，確認為 AI 系統的嚴重誤判。此一異常數據強力反證了本研究設計「肉眼二次驗證機制」的絕對必要性，提醒我們不可盲信科技。

伍、討論

一、樹冠層的雙面鏡：科技的絕對優勢與致命盲區

(一) 鳴叫的隱士（五色鳥效應）：

傳統的校園視覺調查常受限於茂密枝葉與死角。本研究證實，對於喜歡躲藏且「頻繁鳴叫」的五色鳥或臺灣竹雞，AI 順風耳能透過捕捉環境音，展現出輾壓肉眼的偵測能力，成功解決了傳統調查中的「視覺盲區」。

(二) 沉默的忍者（綠鳩效應）：

這是本研究最具反思價值的發現。同為棲息於樹冠層且具備極佳保護色的「綠鳩」，由於在觀測期間保持沉默，導致 AI 聽覺完全失效（紀錄為 0）。但透過學生舉起望遠鏡進行主動搜尋，卻成功記錄到高達 12 隻。這強烈證明了 AI 的本質僅是「聲音偵測器」，面對安靜或空中盤旋（如洋燕）的鳥類，人類主動的視覺觀察仍是不可取代的唯一解方。

二、當演算法陷入混亂：真實環境的噪音與科技幻覺

(一) 物理限制下的「聽盲」狀態：

實驗證明，AI 系統在單純環境下表現優異，但在真實野外卻極度脆弱。當遭遇垃圾車入校收運（1/19）或自由車錦標賽的交管哨音（2/9）時，強大的背景噪音與高頻哨音會徹底干擾收音，導致 APP 頻譜圖大亂，AI 辨識能力瞬間癱瘓。

(二) 戳破偽陽性（False Positive）的 AI 幻覺：

在 1/7 的調查中，Merlin App 竟在校園內辨識出臺灣根本沒有的北美原生種「Song Sparrow（歌雀）」。這種因為鳥音相似或演算法誤差所產生的「科技幻覺」，正是過度依賴單一 AI 工具的最危險陷阱。

三、重新定義調查標準：建構「人機協作」的雙軌驗證機制

(一) 科技快篩與肉眼確診：

綜合上述優劣，本團隊歸納出最適合國小生態調查的戰略，並非單純依賴望遠鏡或手機 APP，而是建立「AI 順風耳 360 度廣泛快篩，望遠鏡千里眼進行實體確診」的互補合作模式。

(二) 科技時代的公民科學素養：

這份專題帶給學生的最大收穫，在於打破「AI 萬能」的神話。透過執行「二次確認機制」，學生親手抓出綠鳩的遺漏與歌雀的誤判。他們不再是單向接收結果的「被動數據接收者」，而是真正實踐了質疑、驗證與求真的科學精神。

陸、結論

一、 突破視覺盲區，抓出校園生態黑數

AI 聲紋辨識系統（順風耳）能有效克服校園茂密植被的視覺障礙。對於隱蔽且頻繁鳴叫的鳥種（如五色鳥、黑枕藍鶇、臺灣竹雞），AI 展現了壓倒性的偵測優勢，成功解決傳統國小鳥調「只聞其聲、不見其影」的長期痛點。

二、 揭露 AI 物理極限，打破科技萬能神話

AI 系統極易受真實環境與生物習性干擾而失效。實地觀測證明，當遭遇強風、垃圾車噪音或賽事哨音時，AI 會陷入「聽盲」；而面對習慣安靜停棲的隱蔽鳥類（如綠鳩），或是在空中盤旋無聲的鳥類（如洋燕），人類肉眼（千里眼）主動搜尋的效益則以 100% 的準確率將 AI 完全輾壓。

三、 建構「人機協作」的最佳調查解方

為避免單一科技工具因大自然模仿行為或演算法誤差（如北美歌雀的科技幻覺）產生「偽陽性」誤判，國小校園鳥調的標準作業流程不應偏廢任一感官，而是必須採取「AI 順風耳廣泛快篩，望遠鏡千里眼實體確診」的雙軌驗證模式。

四、 深化不盲從的科學批判素養

本專題最大的教育價值，在於讓四年級學生親自驗證科技的極限。在執行「二次確認機制」的過程中，學生學會不盲目迷信螢幕輸出的數據，拒絕成為「被動的數據接收者」，徹底實踐了求真、存疑的第一性原理科學精神。

柒、參考資料及其他

康軒文教事業（2025）。國民小學自然科學第二冊。康軒文教事業。

臺灣新年數鳥嘉年華（2013）。臺灣新年數鳥嘉年華紀錄表。

臺灣繁殖鳥類大調查（無日期）。臺灣繁殖鳥類大調查野外調查紀錄表。

Brookhaven National Laboratory. (2012). Statistical Analysis of Point Count Bird Surveys & Measuring Biodiversity. <https://www.bnl.gov/esd/wildlife/files/research/pdf/2012cambriaposter.pdf>

eBird. (n.d.). Merlin Sound ID best practices. eBird Help Center.
<https://support.ebird.org/en/support/solutions/articles/480012>

The Cornell Lab of Ornithology. (n.d.). Using Merlin Bird ID to Participate. Great Backyard Bird Count.
<https://www.birdcount.org/merlin-bird-id-app/>