

# 中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 生活與應用科學(一)科

082821

以牙還「鯊」：AI 影像辨識鯊魚牙齒化石

學校名稱： 國立臺南大學附設實驗國民小學

作者：  小六 盧沛紳  小五 陳宥愷	指導老師：  蔡岱芬
---------------------------------	------------------

關鍵詞： 鯊魚牙齒化石、影像辨識、AI

## 摘要

台南左鎮菜寮溪和玉井曾文溪邊過去幾十年不斷有鯊魚牙齒化石出土，例如：大白鯊、虎鯊、公牛鯊、甚至還有已滅絕的史前最巨大鯊魚巨齒鯊的牙齒化石（生存於 2,300 萬至 260 萬年前），民眾採集到一時很興奮，但沒有專家一旁協助辨識鯊魚牙齒化石的種類，卻仍舊很苦惱！因此我們嘗試設計全國第一款有效易用的鯊魚牙齒化石分類手機 App，幫助民眾使用身邊的手機就可以快速辨別鯊魚牙齒的種類！本研究開發的 App 在博物館以及野外實測時可以有效地辨識七種鯊魚牙齒化石，並提供相關資訊和影片，具有實用性，以及「鯊魚小博士」二元樹互動學習的功能，讓使用者可以更有趣地學習鯊魚的知識，深具教育意義，並且在實驗室實測完整及破碎化石可達到 92%和 88%的正確率。

## 壹、前言

### 一、研究動機：

二零二三年五月學校自然老師邀請化石專家帶領我們科學班到菜寮溪的平和橋下方採集化石，那個時候有很多同學採集到許多不知名化石，兩三位同學非常幸運地採集到了鯊魚牙齒化石，卻不知道是哪一種鯊魚牙齒，讓大家都很好奇想知道是哪一種鯊魚。而在六上的自然與生活科技課我們學到了化石，有時岩石中可能會發現化石，化石是古代生物遺骸及其活動的痕跡。在二零二三年的九月中旬，我們參觀了化石專家的十五萬件台灣最大收藏，不過有很多破碎的動物骨頭、牙齒、螃蟹背甲、鯊魚牙齒化石連專家也無法辨識。而我們團隊組員的哥哥在十二年前也曾經做過關於轉輪蟹化石分類的科展，當時他們只有設計手動量測進行兩種轉輪蟹分類，因為那時 AI 人工智慧技術才剛開始。現在 AI 技術成熟，因此我們決定利用現今最夯的 AI 影像辨識技術來建立一個可隨身攜帶的 AI 化石鑑定專家 App，讓一般民眾在野外採集到化石時能夠快速辨別化石種類。我們決定嘗試利用 App Inventor 和某大學資訊工程系實驗室開發的影像辨識引擎的支援，設計全國第一款有效易用的鯊魚牙齒化石即時分類手機 App，幫助民眾使用身邊的手機就可以快速辨別鯊魚牙齒的種類！

### 二、研究目的：

本研究嘗試解決民眾的苦惱，設計可以幫助民眾在採集鯊魚牙齒化石時能快速準確辨識的手機 App！

- 研究目的 1：拜訪專家及借用鯊魚牙齒化石標本
- 研究目的 2：實地採集化石
- 研究目的 3：標本量測與分析

- 研究目的 4：前台鯊魚牙齒影像辨識 App 自行開發
- 研究目的 5：前台鯊魚牙齒決策樹互動問答學習自行開發
- 研究目的 6：後台伺服器影像辨識引擎委託建造
- 研究目的 7：完整和破碎化石標本 App 分類實驗室實測
- 研究目的 8：博物館展示與野外採集化石進行 App 分類實測

### 三、文獻回顧：

#### (一) 現生鯊魚相關資料：

1. 目前全世界的鯊魚總共被分為 9 個目、34 科、106 屬、約 400 多種。而臺灣紀錄有 7 個目、30 科、58 屬、大約 108 種。分辨鯊魚的種類可以根據牙齒、鰭的位置、盾鱗與交接器來分辨，但就化石而言，因為鯊魚骨頭屬於軟骨，軟骨魚類的軟骨如脊椎較難成為化石，只有身上堅硬的牙齒和棘刺等堅硬構造比較能形成化石，因此一般只能從牙齒來辨識鯊魚種類。
2. 鯊魚屬於軟骨魚類，所以牙齒具有再生更新的能力。且鯊魚牙齒並不是直接固定在顎上，而是嵌在牙齦中，可以像輸送帶往前移動替補。有些鯊魚牙齒替換頻率高，一生中甚至替換 3 萬顆以上的牙齒。
3. 鯊魚的感覺器官相當靈敏，甚至能嗅出幾公里之外的血腥味，它們具有感應電流的能力，並可以此發覺隱藏在沙底下的獵物肌肉或心臟所發出的微弱生物電。鯊魚沒有肋骨，所以如果鯊魚在陸地上，它身體的重量會把自己壓垮。有些底棲性鯊魚背鰭上具有硬棘，可供自衛，有些甚至製造毒素。
4. 在鯊魚牙齒的辨別中，有沒有鋸齒邊是一個辨別上很重要的特徵，例如：大白鯊、虎鯊、公牛鯊。
  - 大白鯊牙齒呈等腰或正三角形狀，有鋸齒，較大可達 5 公分。
  - 虎鯊牙齒呈半月型彎度較大，且鋸齒相較於公牛鯊來說偏粗大。
  - 公牛鯊牙齒彎度比虎鯊小，且鋸齒也比虎鯊細小。
  - 異齒鯊是底棲性鯊魚，通常以甲殼類、軟體動物和海膽為食，所以前端牙齒已經退化成不具撕咬生物的小尖利狀，後端牙齒如扁圓白齒狀用來磨碎堅硬的食物。

#### (二) 過去鯊魚牙齒化石研究：

在前幾年的本校科展某個研究作品中，他們從左鎮菜寮溪上中下游五個地點採集七類 50 幾個鯊魚牙齒化石，公牛鯊最多。為了進行牙齒化石分類，無論如何必須一個一個請教

專家鑑定，非常耗時耗力！其中虎鯊及錐齒鯊牙齒是所有鯊魚種類中最易分辨的，因為這兩種鯊魚牙齒化石的外觀頗具特色，虎鯊有兩座半月型鋸齒，灰鯖鯊和錐齒鯊牙齒雖然皆呈現尖利又細長彎曲的形狀，但錐齒鯊牙齒擁有微細副咬頭。大白鯊的牙齒最大（2~4公分），有鋸齒，型狀呈對稱三角形狀。公牛鯊的齒型跟虎鯊很像，但是公牛鯊牙齒有鋸齒，呈非對稱三角形狀，一邊有外斜。異齒鯊牙齒形狀則是豆狀光滑。雙髻鯊牙齒細長呈倒Y字型。在這項研究中他們也提出了左鎮菜寮溪古代水域環境適合公牛鯊生存的推測。

### （三）過去化石分類研究：

盧牧謙、嚴泓歲、周致廷、謝文廷（2012）的研究中，探究雙角轉輪蟹過去與現在的生活習性和生活環境等基本資料。然後經由觀察現生標本及化石外觀構造，進而比較化石與現生標本的體型與性別的差異性，以瞭解古代雙角轉輪蟹與現今的演化差異。在觀察化石標本時，他們意外發現有兩種不同形狀的雙角轉輪蟹，經過參觀螃蟹博物館後，確認另一種艾氏飛輪蟹背甲兩側也有轉輪，外觀非常相似，但被分類於兩個不同屬。此研究嘗試提出兩個簡單可行的人工量測外殼分類方法，期待能有效協助對於這二種螃蟹有興趣的人快速判別。但此研究僅有兩類分類，且使用手動分類，不如自動分類來的快速。

## 貳、研究設備與器材











十字鎬	篩網	塑膠籃子	封口袋	白鐵細網
				
手機	平板電腦	筆記型電腦	色紙	鯊魚牙齒化石
				
水桶	研究日誌	鏟子	量尺	鯊魚牙齒現生標本



表 1：研究設備與器材（圖片來源：網路）

## 參、研究方法與實驗流程設計

### 一、研究架構圖：

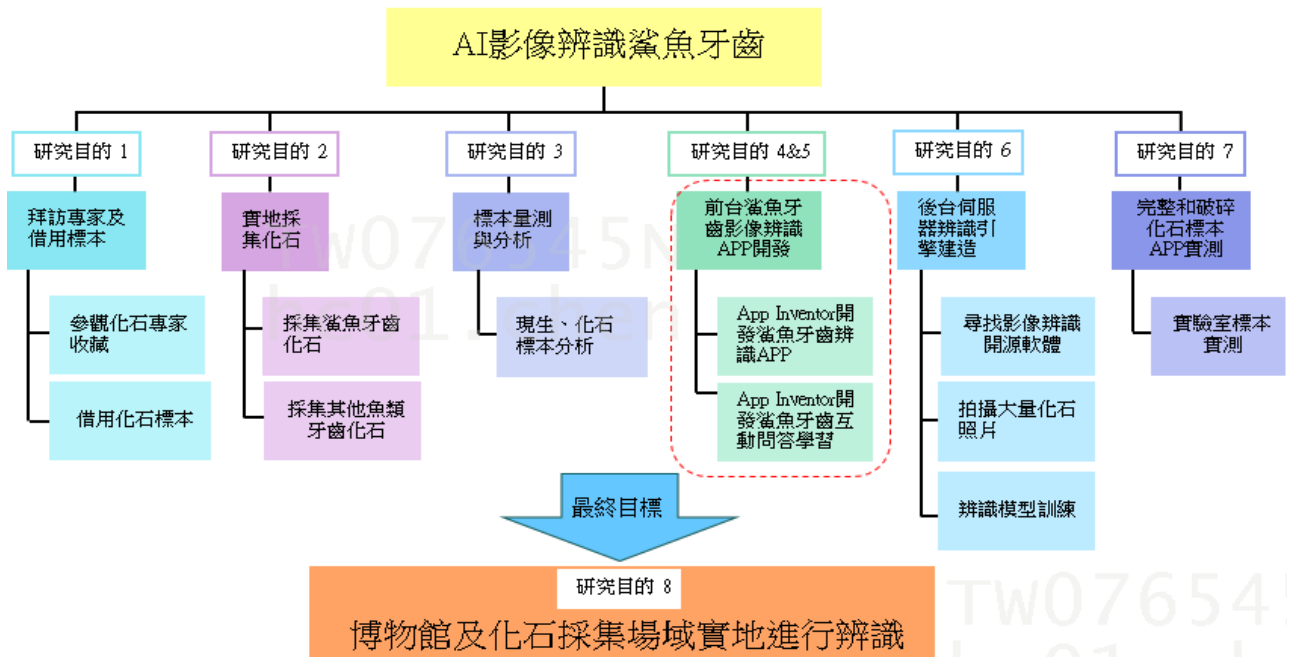


圖 1：研究架構圖（圖片由第一作者整理）

### 二、實驗流程設計：

**【實驗一】確定研究主題：參觀化石專家收藏/拜訪影像辨識專家/確定題目和研究步驟**

**實驗步驟 1-1：**組員去年參加學校科學研究社團，在化石專家與指導老師的帶領下到萊寮溪採集化石的有趣經驗，進而引發對於化石研究探討的動機與興趣，透過討論後決定提出一項有趣創新的化石主題相關研究。

**實驗步驟 1-2：**由指導老師安排時間前往化石專家的收藏地參觀和請教。

**實驗步驟 1-3：**拜訪某大學資訊工程 AI 專家，專家表示可以利用不同類別鯊魚牙齒化石的外觀形狀作為辨識特徵，有影像辨識開源程式碼可以支援鯊魚牙齒分類判別，而且國中小學學生可以利用 App Inventor（美國 MIT 大學維護及營運）的積木式程式設計出鯊魚牙齒影像辨識分類 App。




參觀化石專家收藏	拜訪影像辨識專家	化石專家商借鯊魚牙齒化石(第一批)	化石專家商借鯊魚牙齒化石(第二批)
			

表 2：確定研究主題：鯊魚牙齒影像辨識分類（照片由家長拍攝）

**【實驗二】收集研究資料：實地採集化石/借用化石和現生標本**

**實驗步驟 2-1：**指導老師協助團隊安排 2023/11/10 前往化石專家的收藏地確認商借七類鯊魚牙齒化石 55 顆與四類現生標本 111 個帶回進行研究初探（表 2）。

**實驗步驟 2-2：**人工分類鯊魚牙齒化石與現生標本分別為大白鯊、虎鯊、灰鯖鯊、公牛鯊、異齒鯊、雙髻鯊、錐齒鯊共七大類。

**實驗步驟 2-3：**2024/05/13 和化石專家二度借用了共 71 顆鯊魚牙齒化石（表 2），其中包含破碎的 12 顆化石。


**【實驗三】化石和現生標本量測與分析：**

**實驗步驟 3-1：**針對跟化石專家借用的七類鯊魚化石和現生標本做文獻資料查詢與研究，並從外觀顏色、形狀大小與生物分類…等做巨觀分析。

**實驗步驟 3-2：**針對這七類鯊魚化石和現生標本做齒型特徵、尺寸大小等做微觀分析。

**【實驗四】即時鯊魚牙齒影像辨識 App 開發：**

**【程式碼 A 部分】App 起始頁面功能說明：**

第一部分：設定開始頁面螢幕背景	第二部分：設定三個功能按鈕切換螢幕
	

<p>當 按鈕1 被點選 執行 開啟另一畫面 畫面名稱 Screen2</p> <p>當 按鈕2 被點選 執行 開啟另一畫面 畫面名稱 Screen4</p> <p>當 按鈕3 被點選 執行 開啟另一畫面 畫面名稱 Screen5</p>	
---	--

表 3：App 起始頁說明 (照片/圖片由第一作者拍攝整理)

**【程式碼 B 部分】App 二元決策樹互動問答學習頁面功能說明：**

<p>第一部分：</p> <p>(1) 設定互動學習首頁頁面螢幕背景</p> <p>(2) 設定互動問答學習螢幕切換程序</p>	
<p>當 Screen1 初始化 設定螢幕初始畫面圖片 執行 設定 圖樣1 圖片 為 melon.jpg</p> <p>當 按鈕1 被點選 設定螢幕跳轉方式 執行 開啟另一畫面 畫面名稱 Screen2</p>	<p>第二部分：</p> <p>(1) 設定模型分類參數</p> <p>(2) 進行 App 多輪關鍵問答</p>

 <p>初始化全域變數 (對稱) 為 0          初始化全域變數 (鋸齒大小) 為 0          初始化全域變數 (形狀) 為 0          初始化全域變數 (小凸起) 為 0          初始化全域變數 (大小) 為 0          初始化全域變數 (鋸齒) 為 0</p> <p>設定六種特徵變數，含：          1. 牙齒尺寸          2. 有無鋸齒          3. 有無副咬頭          4. 對稱性          5. 鋸齒大小          6. 牙齒形狀</p> <p>進入遊戲頁面</p> <p>進入問答階段          APP提問，使用者作答          範例：</p> <p>請問你的鯊魚牙齒是大還是小?          請在下方輸入大或小</p>	 <p>Screen3          回首頁          請問你的鯊魚牙齒是大的還是小的?          大 小</p> <p>Screen3          回首頁          請問你的鯊魚牙齒有鋸齒嗎?          有 沒有</p> <p>Screen3          回首頁          請問你的鯊魚牙齒左右對稱嗎?          對稱 不對稱</p>
<p>第三部分：          顯示答案，等待選擇重玩或進入影像辨識</p>	 <p>Screen3          回首頁          鯊魚博士的建議: 這顆牙齒是太白鯊          開始影像辨識 再一次鯊魚博士互動問答</p> <p>鯊魚牙齒照片</p>
 <p>重玩一次</p> <p>切換至辨識頁面</p> <p>初始化</p>	

表 4：App 二元決策樹互動問答學習頁面說明 (照片/圖片由第一作者拍攝)

決策樹技術最特別實用的技巧是「二元分類技術」：先問第一個關鍵問題，讓它分成兩類，然後再從所回答的類型中繼續進行下一層分類。藉由多輪的問答持續分類到整個階層分類中最下層，只剩下一種情況，就是確定為哪一種分類了。

【程式碼 C 部分】App 鯊魚牙齒影像辨識頁面功能說明：



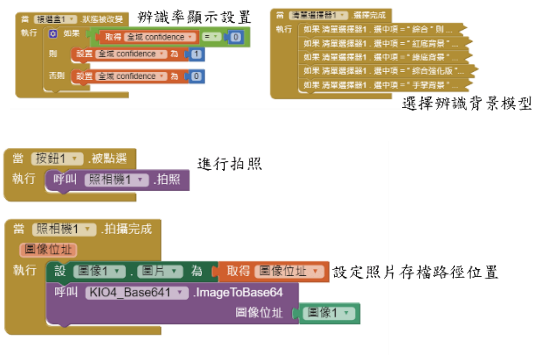
<p>第一部分：</p> <p>(1) 選取化石目標物影像辨識分類的背景模型</p> <p>(2) 對目標物進行拍照及建立圖像檔案</p>	
 <p>選擇辨識背景模型</p> <p>進行拍照</p> <p>設定照片存檔路徑位置</p>	
<p>第二部分：</p> <p>(1) 傳送目標物圖像檔至辨識伺服器，進行影像辨識</p> <p>(2) 於手機螢幕顯示辨識結果並撥放該類鯊魚文字簡介和影片</p>	
 <p>辨識引擎伺服器位置</p> <p>辨識設定</p> <p>開始進行影像辨識</p> <p>回傳影像辨識結果</p> <p>取得鯊魚類別介紹文字和影片</p>	

表 5：鯊魚牙齒影像辨識 App 三大服務功能程式碼說明（照片由第一作者拍攝）

【實驗五】影像辨識引擎訓練：

- 辨識引擎第一版 v1：現生和化石標本每個只拍一張照片，訓練資料量較少。
- 辨識引擎第二版 v2：因 v1 訓練資料背景有陰影，影響辨識率，因此重拍訓練資

料(拍照時開閃光燈減少陰影)，使用 v2 新資料重新訓練。

- **辨識引擎第三版 v3**：發現 v2 部份訓練資料分類錯誤，快速修正。並按照專家建議每個化石拍攝時除了正面和反面，額外增加左右上下微傾共 6 個角度，因此訓練資料大量增加，重新訓練一個可調適角度的強健模型，提升辨識正確率。
- **辨識引擎第四版 v4**：從 v4 版本開始僅使用化石資料(現生已剔除)共訓練五個辨識模型，對應不同顏色的背景，分別有紅、綠、手掌三個單一背景模型、以及兩個【紅綠手掌背景混合】訓練的 VGG16 以及 Resnet152 模型。相較於 v3，因混合三種背景拍攝影像，訓練資料增加三倍，因此強化不同背景的辨識效能。
- **辨識引擎第五版 v5**：發現 v4 仍有化石分類錯誤的訓練資料集，修正後 v5 只訓練一個 Resnet152 版本 (因為第四版 v4 的五個模型中 Resnet152 模型正確率優於其他的模型)。
- **辨識引擎第六版 v6**：跟化石專家借用的第二批可供訓練的完整化石共 71 顆，每顆化石拍攝正、反面以及上下左右傾斜 30 度共 6 個角度，共四百多張照片加入訓練資料集，整合先前資料後訓練出第六版。
- **辨識引擎第七版 v7**：發現跟化石專家借用第二批化石裡有四類破碎的鯊魚化石，而且在野外採集化石時經常挖到的是破碎化石。因此我們提出一個大膽的構想：嘗試用微軟作業系統的 3D 小畫家製作去背切割，將虎鯊、公牛鯊、灰鯖鯊、大白鯊四類各挑選 10 顆的照片切割成上下左右各 4 塊，共 160 張影像，整合先前資料後訓練出第七版。
- **辨識引擎第八版 v8**：發現辨識破碎化石結果不佳，故再將虎鯊、公牛鯊、灰鯖鯊、大白鯊四類各挑選 10 顆的照片切割成左斜與右斜各 4 塊，整合先前資料後訓練出第八版。

#### 【實驗六】實驗室進行化石標本 App 實測：

- (1) 第一次實測 (2023/12/24)：我們在實驗室中準備了七類鯊魚牙齒化石，採用第二版 v2 辨識引擎，並使用我們自行設計的 App 來進行影像辨識。首先將每一類鯊魚牙齒挑選 3 個化石 (編號為 a1、a2、a3) 分別以手掌背景、綠底背景、紅底背景，每個分別測試 3 次，共 9 次，並記錄 App 的辨識結果和辨識率。我們也注意到不同背景、光線、角度和距離對辨識效果的影響。
- (2) 第二次實測 (2024/01/07)：根據第一次實測的結果，對 App 的辨識模型進行了調

整和優化，採用第三版 v3 辨識引擎，主要採用 6 個角度拍攝，大量增加訓練資料，以期提升辨識正確率。使用相同的化石當作測試資料，重複第一次實測的步驟，並觀察 App 的辨識效能是否有提升。當天測試紅綠背景的虎鯊正確率偏低(44% 和 11%)，發現虎鯊資料夾裡有一個化石應該是公牛鯊，但這次**放置錯誤是化石專家在借用時就已經放錯了**。另外錐齒鯊在手掌和綠背景的正确率都是 33%，清查發現部份錐齒鯊被放置公牛鯊資料夾。快速修正後，訓練出第四版 v4 辨識引擎。



圖 2：虎鯊資料夾裡有一個化石專家借用放置錯誤，應該是公牛鯊（照片由第 2 作者拍攝）

- (2) 第三次實測 (2024/01/14)：根據第二次實測的結果，對 App 的辨識模型進行了調整和優化，採用第四版 v4 辨識引擎，**導入較強的 Resnet152 模型（缺點：需要 5-8 倍運算時間）**，強化紅、綠、手掌三個不同背景整合，訓練資料增加三倍（共約 990 張）。然後使用先前兩次實測的相同化石當作測試資料，重複實測步驟，並觀察 App 的辨識效能是否有提升？當天測試發現 v4 手掌背景仍有部份公牛鯊和灰鯖鯊化石影像放置錯誤，快速修正後，訓練出第五版 v5 辨識引擎。


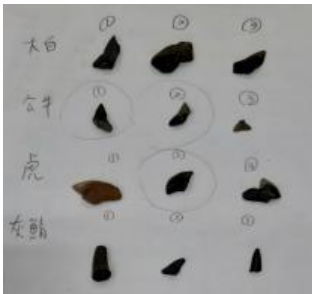
化石專家借用鯊魚牙齒化石 (第二批)(照片由家長拍攝)	破碎不完整化石 (第二批)(照片由家長拍攝)
	

表 6：第二批專家借用鯊魚牙齒化石

- (4) 第四次實測 (2024/05/19)：我們和化石專家借用了共 71 顆鯊魚牙齒化石，其中包含破碎的 12 顆（參考表 6），並對 App **Resnet152 模型架構提供更多鯊魚化石的學習數據且讓訓練資料擴增至約 1400 多張**，以訓練出第六版 v6 辨識引擎。然後使用

先前三次實測的相同化石當作測試資料，重複實測步驟，並觀察 App 的辨識效能是否有提升？

- (5) 第五次實測 (2024/05/25)：根據第四次實測的結果，發現破碎的化石會降低辨識率。為了處理破碎化石的問題，經過組員討論後，我們提出一個大膽的構想：嘗試用微軟作業系統的 3D 小畫家製作去背切割，將虎鯊、公牛鯊、灰鯖鯊、大白鯊四類各挑選 10 類的照片切割成上下左右、左斜右斜切各 8 塊，並且讓訓練資料擴增至約 1700 多張，以訓練出第七版 (v7) 與第八版 (v8) 辨識引擎。然後使用先前三次實測的相同化石及跟專家借來的破碎化石當作測試資料，重複實測步驟，並觀察 App 的辨識效能是否有提升？

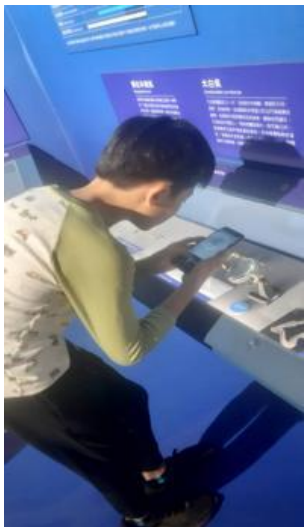


博物館實測 (照片由家長拍攝)	實測結果紀錄一 (照片由第 2 作者拍攝)	實測結果紀錄二 (照片由第 2 作者拍攝)
		

表 7：嘉義博物館實測紀錄

**【實驗七】前往博物館展示區/野外採集化石進行 App 實測：**

- 嘉義博物館展示區實測 (2024/01/20)：**2024/01/14 第三次實驗室實測後發現 v4 仍有部份化石影像放錯目錄，快速修正訓練出效能極佳的第五版 v5 辨識引擎。我們請指導老師與嘉義博物館聯繫，在鯊魚牙齒化石的展示區使用我們的 App 來辨識不同種類鯊魚牙齒化石 (表 7)。博物館的工作人員和我們討論 App 的改進方向，以期未來可以安裝在博物館的平板電腦上，讓博物館的參觀者使用我們的 App，來辨識展示區中的不同鯊魚牙齒化石，並提供相關的資訊和影片。
- 野外採集化石進行 App 實測 (2024/02/04)：**我們在指導老師和化石專家的帶領

下，前往菜寮溪的平和橋下方，進行化石的採集和 App 辨識（表 8）。我們將使用鯊魚牙齒化石辨識 App 來辨識在河床上採集的鯊魚牙齒化石，並與我們之前借用的化石標本進行比對和驗證。也評估這個 App 在野外環境中的可用性和穩定性。

平和橋野外實測 (本照片由家長拍攝)	實測結果紀錄一 (照片第 2 作者拍攝)	實測結果紀錄二 (照片由第 2 作者拍攝)	實測結果紀錄三 (照片由第 2 作者拍攝)
			

表 8：左鎮平和橋下戶外採集實測紀錄

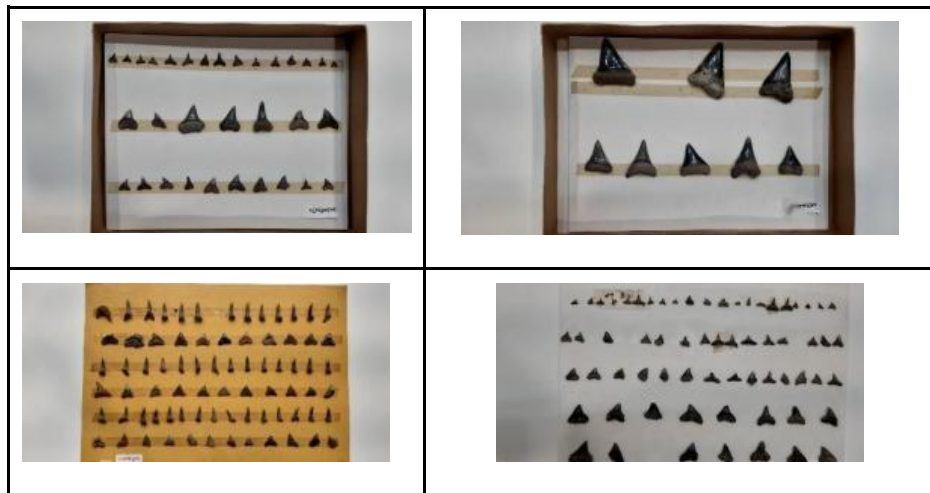


表 9：左鎮化石園區典藏研究中心借用 192 顆化石(照片由第 2 作者拍攝)

• **左鎮化石園區典藏研究中心 App 實測 (2024/05/27)：**

組員討論後，決定到台南左鎮化石園區實測。

- ✓ 典藏研究中心借給我們 162 顆鯊魚牙齒化石標本（表 9），但很多化石標本都用雙面膠固定黏著在紙板上太緊密牢固（例如雙髻鯊），還有一些化石膠。
- ✓ 可惜 162 顆鯊魚牙齒化石僅有 6 類（缺異齒鯊），我們利用拍照加上裁切圖片的方式來測試 6 類，每類挑選 3 顆鯊魚牙齒，共 17 顆鯊魚牙齒測試樣本（但

虎鯊僅有兩顆)，在白和黃色紙板背景下每一顆測試3次，並記錄 App 的辨識結果和辨識率。

- ✓ 典藏研究中心庫房有一批零散未歸類鯊魚牙齒化石，我們挑選3顆雙髻鯊化石，用 App 測試，皆能正確辨識出來。


## 肆、研究結果

### 【研究結果一】現生鯊魚牙齒與化石鯊魚的牙齒差異比較：

在與專家學者商借的鯊魚牙齒中，包含現生鯊魚牙齒與化石鯊魚牙齒，我們觀察之後，紀錄如表 10 所示：

- ✓ 根據表 10，我們發現現生鯊魚牙齒與化石鯊魚牙齒除了牙齒顏色之外，其外觀或大小並無顯著的差異，為了讓一般民眾採集到鯊魚牙齒化石後可以立即判別出鯊魚種類與學習鯊魚相關知識，我們將針對鯊魚牙齒化石辨識當作本研究的主要挑戰目標。
- ✓ 我們利用不同鯊魚種類牙齒的差異性，進行鯊魚牙齒的大小、外觀、形狀的分析進行鯊魚牙齒的分類和比較，以此進行後續的影像辨識 App 設計開發。

鯊魚種類	化石牙齒照片	現生牙齒照片	齒型特徵	動物分類
大白鯊			對稱三角形、鋸齒邊、較大	鼠鯊目
虎鯊			半月、鋸齒邊	虎鯊目
灰鯖鯊			前端齒頭細長彎曲、尖銳錐狀	鼠鯊目
公牛鯊			非對稱三角形、一側外斜、鋸齒邊	真鯊目

異齒鯊			齒寬扁、白齒 狀、中央無隆棘	虎鯊目
雙髻鯊			側扁三角形、細 小	真鯊目
錐齒鯊			齒尖如鑽子狀、 牙齦具副咬頭小 尖齒	鼠鯊目

類別	現生			化石			差異比較		
	形狀	顏色	特徵	形狀	顏色	特徵	形狀	顏色	特徵
大白鯊	三角	白	鋸齒邊	三角形	黑	鋸齒邊	一致	不同	一致
公牛鯊	三角	白	鋸齒邊	三角	偏黑	鋸齒邊	一致	不同	一致
虎鯊	半月	白	根部大	半月	黑	根部大	一致	不同	一致
雙髻鯊	倒Y	白	細小	倒Y	褐	細小	一致	不同	一致
灰鯖鯊	尖三角	白	細長	尖三角	黑	光滑	一致	不同	一致
異齒鯊	橢圓	褐	小	橢圓	黑	小	一致	不同	一致
錐齒鯊	尖	白	牙冠大	尖	灰褐	有突起 小鋸齒	一致	不同	一致

表 10：化石與現生鯊魚牙齒標本特徵分析

檢測物 (綠底)		辨識次數 / 結果			辨識成功率	
類別	樣本	第一次	第二次	第三次	單隻 平均	總 平均
大白鯊	第一隻	大白鯊	公牛鯊	大白鯊	66.7%	66.7%
	第二隻	大白鯊	灰鯖鯊	大白鯊	66.7%	
	第三隻	大白鯊	大白鯊	公牛鯊	66.7%	
公牛鯊	第一隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	
	第三隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	
虎鯊	第一隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	0.0%	55.6%
	第二隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	
	第三隻	虎鯊	虎鯊	大白鯊	66.7%	
雙髻鯊	第一隻	雙髻鯊	公牛鯊	雙髻鯊	66.7%	44.4%
	第二隻	公牛鯊	雙髻鯊	公牛鯊	33.3%	
	第三隻	雙髻鯊	公牛鯊	公牛鯊	33.3%	
灰鯖鯊	第一隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	
	第三隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	
錐齒鯊	第一隻	錐齒鯊	錐齒鯊	錐齒鯊	100.0%	88.9%
	第二隻	錐齒鯊	灰鯖鯊	錐齒鯊	66.7%	
	第三隻	錐齒鯊	錐齒鯊	錐齒鯊	100.0%	
異齒鯊	第一隻	異齒鯊	灰鯖鯊	異齒鯊	66.7%	88.9%
	第二隻	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	
	第三隻	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	
整體辨識成功率：					77.78%	

檢測物 (紅底)		辨識次數 / 結果			辨識成功率	
類別	樣本	第一次	第二次	第三次	單隻 平均	總 平均
大白鯊	第一隻	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	88.9%
	第二隻	大白鯊	灰鯖鯊	大白鯊	66.7%	
	第三隻	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	
公牛鯊	第一隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	
	第三隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	
虎鯊	第一隻	公牛鯊	公牛鯊	灰鯖鯊	0.0%	44.4%
	第二隻	虎鯊	公牛鯊	虎鯊	66.7%	
	第三隻	虎鯊	虎鯊	大白鯊	66.7%	
雙髻鯊	第一隻	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	44.4%
	第二隻	公牛鯊	雙髻鯊	公牛鯊	33.3%	
	第三隻	灰鯖鯊	公牛鯊	公牛鯊	0.0%	
灰鯖鯊	第一隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	
	第三隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	
錐齒鯊	第一隻	錐齒鯊	錐齒鯊	錐齒鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	錐齒鯊	錐齒鯊	錐齒鯊	100.0%	
	第三隻	錐齒鯊	錐齒鯊	錐齒鯊	100.0%	
異齒鯊	第一隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	0.0%	44.4%
	第二隻	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	
	第三隻	灰鯖鯊	異齒鯊	灰鯖鯊	33.3%	
整體辨識成功率：					74.60%	

表 11：第一次實驗室內素底實測辨識驗證結果

【研究結果二】辨識模型的訓練與優化：

✓ 根據研究結果一，本科展研究選擇鯊魚牙齒化石為主要的研究對象，首先在學校

的自然教室進行鯊魚牙齒的影像拍攝作為訓練資料。為了省時團隊成員分成兩組進行拍攝，以素底（綠底和紅底）以及手掌為背景，固定讓牙齒在同一背景下拍攝；為了增加AI影像辨識軟體的資料，我們將所有專家借用的111顆現生牙齒與55顆化石牙齒都拍攝一張影像，一共有166張影像檔當作影像辨識引擎訓練資料。

- ✓ 表11為第一次實驗室內實測素底辨識驗證結果平均正確率約70%-80%，可發現虎鯊、雙髻鯊、異齒鯊的辨識率比較差。
- ✓ 從辨識錯誤的資料中找出照片後發現，不同組別拍攝出來的照片，在角度，鏡頭遠近，閃光燈是否開啟，是否對焦，似乎並不一致，造成某些類別鯊魚在辨識率上表現不佳。
- ✓ 經由討論，我們決定讓拍攝手法固定，以增加辨識的正確率；以固定的特定角度，鏡頭遠近及固定拍攝者來建立一致的影像訓練資料。
- ✓ 表12為第二次實驗室內實測素底辨識驗證結果平均正確率約90-98%。從結果可發現，透過固定拍攝手法確實大幅提升了各類鯊魚的辨識率。

檢測物 (綠底)		辨識次數 / 結果			辨識成功率	
類別	樣本	第一次	第二次	第三次	單隻平均	總平均
大白鯊	第一隻	大白鯊	公牛鯊	大白鯊	66.7%	88.9%
	第二隻	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	
	第三隻	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	
公牛鯊	第一隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	
	第三隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	
虎鯊	第一隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	
	第三隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	
雙髻鯊	第一隻	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	88.9%
	第二隻	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	
	第三隻	雙髻鯊	雙髻鯊	公牛鯊	66.7%	
灰鯖鯊	第一隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	
	第三隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	
錐齒鯊	第一隻	公牛鯊	錐齒鯊	錐齒鯊	66.7%	88.9%
	第二隻	錐齒鯊	錐齒鯊	錐齒鯊	100.0%	
	第三隻	錐齒鯊	錐齒鯊	錐齒鯊	100.0%	
異齒鯊	第一隻	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	
	第三隻	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	
整體辨識成功率：					95.24%	

檢測物 (紅底)		辨識次數 / 結果			辨識成功率	
類別	樣本	第一次	第二次	第三次	單隻平均	總平均
大白鯊	第一隻	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	
	第三隻	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	
公牛鯊	第一隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	
	第三隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	
虎鯊	第一隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	
	第三隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	
雙髻鯊	第一隻	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	
	第三隻	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	
灰鯖鯊	第一隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	
	第三隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	
錐齒鯊	第一隻	雙髻鯊	錐齒鯊	錐齒鯊	66.7%	88.9%
	第二隻	錐齒鯊	錐齒鯊	錐齒鯊	100.0%	
	第三隻	錐齒鯊	錐齒鯊	錐齒鯊	100.0%	
異齒鯊	第一隻	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	
	第三隻	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	
整體辨識成功率：					98.41%	

表 12：第二次實驗室內素底實測辨識驗證結果

- ✓ 雖然在素底背景上獲得較高的辨識率成果，但實際上一般民眾使用手機辨識物品時應該很自然將物品放在手掌上作辨識；因此我們嘗試手掌為背景來面對較為困難的挑戰，表13為手掌背景第一次和第二次辨識驗證結果平均正確率約58%-65%；從結果可發現，各類鯊魚的辨識率大多表現不盡理想。
- ✓ 經由討論，我們決定由同一位拍攝者用相同於素底的拍攝手法來擴增以手掌為背



景的辨識引擎訓練資料，並且重新訓練影像辨識模型。

檢測物(手掌)		辨識次數 / 結果			辨識成功率	
類別	樣本	第一次	第二次	第三次	單隻平均	總平均
大白鯊	第一隻	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	
	第三隻	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	
公牛鯊	第一隻	大白鯊	大白鯊	錐齒鯊	0.0%	11.1%
	第二隻	大白鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	0.0%	
	第三隻	灰鯖鯊	公牛鯊	大白鯊	33.3%	
虎鯊	第一隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	
	第三隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	
雙髻鯊	第一隻	雙髻鯊	灰鯖鯊	雙髻鯊	66.7%	55.6%
	第二隻	灰鯖鯊	雙髻鯊	灰鯖鯊	33.3%	
	第三隻	雙髻鯊	灰鯖鯊	雙髻鯊	66.7%	
灰鯖鯊	第一隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	77.8%
	第二隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	大白鯊	66.7%	
	第三隻	公牛鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	66.7%	
錐齒鯊	第一隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	0.0%	0.0%
	第二隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	0.0%	
	第三隻	灰鯖鯊	公牛鯊	灰鯖鯊	0.0%	
異齒鯊	第一隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	異齒鯊	33.3%	66.7%
	第二隻	異齒鯊	異齒鯊	灰鯖鯊	66.7%	
	第三隻	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	
整體辨識成功率：					58.73%	

檢測物(手掌)		辨識次數 / 結果			辨識成功率	
類別	樣本	第一次	第二次	第三次	單隻平均	總平均
大白鯊	第一隻	公牛鯊	公牛鯊	大白鯊	33.3%	55.6%
	第二隻	灰鯖鯊	大白鯊	灰鯖鯊	33.3%	
	第三隻	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	
公牛鯊	第一隻	大白鯊	大白鯊	公牛鯊	33.3%	77.8%
	第二隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	
	第三隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	
虎鯊	第一隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	66.7%
	第二隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	0.0%	
	第三隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	
雙髻鯊	第一隻	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	
	第三隻	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	
灰鯖鯊	第一隻	大白鯊	雙髻鯊	灰鯖鯊	33.3%	77.8%
	第二隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	
	第三隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	
錐齒鯊	第一隻	公牛鯊	錐齒鯊	雙髻鯊	33.3%	33.3%
	第二隻	錐齒鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	33.3%	
	第三隻	錐齒鯊	公牛鯊	雙髻鯊	33.3%	
異齒鯊	第一隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	異齒鯊	33.3%	44.4%
	第二隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	雙髻鯊	0.0%	
	第三隻	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	
整體辨識成功率：					65.08%	

表 13：手掌背景第一次和第二次辨識驗證結果

✓ 表 14 為經重新訓練影像辨識模型後的手掌背景第三次辨識驗證結果；從平均 80.95% 正確率結果可發現，新模型確實大幅提升了各類鯊魚的辨識率，但在手掌上的辨識率仍不及素底的辨識率；經分析照片後發現在公牛鯊資料夾裡誤放了灰鯖鯊的牙齒照片，而灰鯖鯊資料夾裡也誤放了其他的牙齒照片；另外，我們推測手掌的掌紋、或手指縫隙或是手掌背景也可能造成辨識率不佳的原因之一。

檢測物(手掌)		辨識次數 / 結果			辨識成功率		備註
類別	樣本	第一次	第二次	第三次	單隻平均	總平均	
大白鯊	第一隻 a1	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	100.0%	
	第二隻 a2	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%		
	第三隻 a3	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%		
公牛鯊	第一隻 a1	雙髻鯊	虎鯊	公牛鯊	33.3%	11.1%	
	第二隻 a2	灰鯖鯊	灰鯖鯊	大白鯊	0.0%		
	第三隻 a3	錐齒鯊	雙髻鯊	虎鯊	0.0%		
虎鯊	第一隻 a1	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	100.0%	
	第二隻 a2	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%		
	第三隻 a3	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%		
雙髻鯊	第一隻 a1	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	100.0%	
	第二隻 a2	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%		
	第三隻 a3	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%		
灰鯖鯊	第一隻 a1	大白鯊	雙髻鯊	錐齒鯊	0.0%	55.6%	
	第二隻 a2	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%		
	第三隻 a3	灰鯖鯊	雙髻鯊	灰鯖鯊	66.7%		
錐齒鯊	第一隻 a1	錐齒鯊	錐齒鯊	錐齒鯊	100.0%	100.0%	
	第二隻 a2	錐齒鯊	錐齒鯊	錐齒鯊	100.0%		
	第三隻 a3	錐齒鯊	錐齒鯊	錐齒鯊	100.0%		
異齒鯊	第一隻 a1	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	100.0%	
	第二隻 a2	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%		
	第三隻 a3	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%		
整體辨識成功率：					80.95%		

表 14：手掌背景第三次辨識驗證結果

✓ 表 15 為經資料清洗後重新訓練影像辨識模型後的手掌背景第四次辨識驗證結果，平均正確率為 90.48%。

檢測物 (手掌)		辨識次數 / 結果			辨識成功率		備註
類別	樣本	第一次	第二次	第三次	單隻平均	總平均	
大白鯊	第一隻 a1	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	100.0%	
	第二隻 a2	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%		
	第三隻 a3	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%		
公牛鯊	第一隻 a1	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	77.8%	
	第二隻 a2	公牛鯊	公牛鯊	大白鯊	66.7%		
	第三隻 a3	公牛鯊	公牛鯊	虎鯊	66.7%		
虎鯊	第一隻 a1	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	100.0%	
	第二隻 a2	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%		
	第三隻 a3	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%		
雙髻鯊	第一隻 a1	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	100.0%	
	第二隻 a2	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%		
	第三隻 a3	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%		
灰鯖鯊	第一隻 a1	錐齒鯊	雙髻鯊	錐齒鯊	0.0%	55.6%	
	第二隻 a2	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%		
	第三隻 a3	灰鯖鯊	雙髻鯊	灰鯖鯊	66.7%		
錐齒鯊	第一隻 a1	錐齒鯊	錐齒鯊	錐齒鯊	100.0%	100.0%	
	第二隻 a2	錐齒鯊	錐齒鯊	錐齒鯊	100.0%		
	第三隻 a3	錐齒鯊	錐齒鯊	錐齒鯊	100.0%		
異齒鯊	第一隻 a1	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	100.0%	
	第二隻 a2	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%		
	第三隻 a3	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%		
整體辨識成功率：					90.48%		

表 15：手掌背景第四次辨識驗證結果

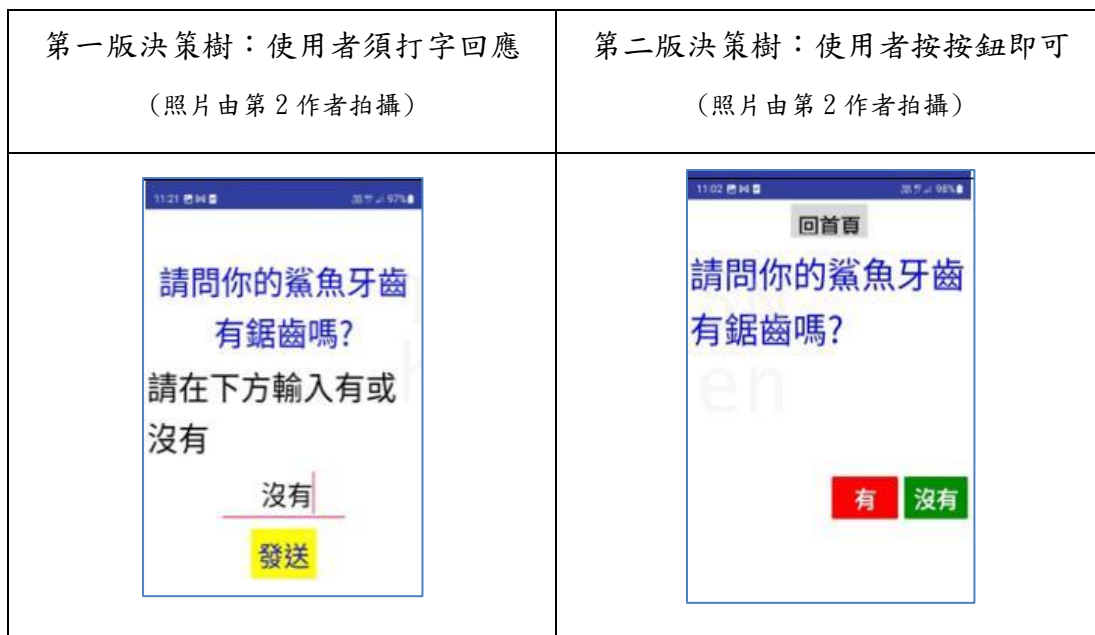


圖 3：二元決策樹問答頁面輸入方式改進

【研究結果三】二元決策樹互動問答辨識開發：

✓ 為了了解我們的二元決策樹問答是否能正確辨識鯊魚牙齒，也為了了解一般民眾是否能理解這些提問，我們將七類的鯊魚牙齒打散，讓民眾自行觀察牙齒，並回答二元決策樹的問題。由於第一版的決策樹以打字回應，較花費時間，所以我們

將問題回覆以按鈕的形式呈現(第二版)，更節省時間，如圖 3。

受測人		測試樣本 / 結果							辨識成功率
號次	年齡層	第一種 [大白鯊]	第二種 [公牛鯊]	第三種 [虎鯊]	第四種 [雙髻鯊]	第五種 [錐齒鯊]	第六種 [異齒鯊]	第七種 [灰鯖鯊]	平均
1號測驗人	國小二年級	大白鯊	雙髻鯊	公牛鯊	雙髻鯊	錐齒鯊	異齒鯊	灰鯖鯊	71.4%
2號測驗人	國小二年級	大白鯊	雙髻鯊	公牛鯊	雙髻鯊	錐齒鯊	異齒鯊	雙髻鯊	57.1%
3號測驗人	國小三年級	大白鯊	大白鯊	虎鯊	雙髻鯊	錐齒鯊	異齒鯊	灰鯖鯊	85.7%
4號測驗人	國小五年級	大白鯊	雙髻鯊	虎鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	異齒鯊	灰鯖鯊	71.4%
5號測驗人	40~45歲	大白鯊	雙髻鯊	虎鯊	雙髻鯊	錐齒鯊	異齒鯊	灰鯖鯊	85.7%
6號測驗人	國一	大白鯊	雙髻鯊	虎鯊	雙髻鯊	錐齒鯊	異齒鯊	灰鯖鯊	85.7%
7號測驗人	國一	公牛鯊	雙髻鯊	虎鯊	雙髻鯊	錐齒鯊	異齒鯊	灰鯖鯊	71.4%
8號測驗人	國三	大白鯊	雙髻鯊	虎鯊	雙髻鯊	錐齒鯊	異齒鯊	錐齒鯊	71.4%
9號測驗人	60~65歲	大白鯊	雙髻鯊	公牛鯊	雙髻鯊	錐齒鯊	異齒鯊	灰鯖鯊	71.4%
總平均：									74.60%

表 16：第一次二元決策樹辨識結果 (2024/6/8)

第三版修正畫面 (照片由第 2 作者拍攝)	答案頁面新增圖片 (照片由第 2 作者拍攝)
	

圖 4:二元決策樹第三版問答頁面

- ✓ 根據表 16 測試結果顯示，不同年齡層對於文字的辨認與理解上，會影響分類的正確率。以 1 號和 2 號受測者來說，因為他們是國小低年級學生，識字量與文字理解力不足會影響作答，導致最終正確率下降，所以我們在第三版加入了語音說明之功能；在個別鯊魚牙齒的辨識中，我們發現公牛鯊在二元決策樹中，由於一開始我們以一元硬幣為基準，而公牛鯊牙齒較一元硬幣略小，測驗人在回應問題後，分類會往小型牙齒雙髻鯊的方向歸類，故影響分類正確率，所以我們修正問題的問法，並在最後的答案頁面顯示鯊魚牙齒化石完整圖片，方便讓受測者對照，修正版如圖 4。

✓ 由表 17 可得知，二元決策樹的問答在改版修正後，正確率由 74.6% 提升至 90.48%，應可有效協助一般民眾使用（圖 5），我們的 App 除了 AI 影像辨識的服務功能之外，也增加鯊魚分類的另一種選擇。

受測人		測試樣本 / 結果							辨識成功率
號次	年齡層	第一種 [大白鯊]	第二種 [公牛鯊]	第三種 [虎鯊]	第四種 [雙髻鯊]	第五種 [錐齒鯊]	第六種 [異齒鯊]	第七種 [灰鯖鯊]	平均
1號測驗人	國小二年級	大白鯊	公牛鯊	公牛鯊	雙髻鯊	錐齒鯊	異齒鯊	灰鯖鯊	85.7%
2號測驗人	國小二年級	大白鯊	雙髻鯊	虎鯊	雙髻鯊	錐齒鯊	異齒鯊	灰鯖鯊	85.7%
3號測驗人	國小三年級	大白鯊	公牛鯊	虎鯊	雙髻鯊	錐齒鯊	異齒鯊	灰鯖鯊	100.0%
4號測驗人	國小五年級	大白鯊	雙髻鯊	虎鯊	雙髻鯊	錐齒鯊	異齒鯊	灰鯖鯊	85.7%
5號測驗人	40~45歲	大白鯊	公牛鯊	虎鯊	雙髻鯊	錐齒鯊	異齒鯊	灰鯖鯊	100.0%
6號測驗人	國一	大白鯊	雙髻鯊	虎鯊	雙髻鯊	錐齒鯊	異齒鯊	灰鯖鯊	85.7%
7號測驗人	國一	大白鯊	公牛鯊	虎鯊	雙髻鯊	錐齒鯊	異齒鯊	灰鯖鯊	100.0%
8號測驗人	國三	大白鯊	公牛鯊	虎鯊	雙髻鯊	錐齒鯊	異齒鯊	灰鯖鯊	100.0%
9號測驗人	60~65歲	大白鯊	雙髻鯊	公牛鯊	雙髻鯊	錐齒鯊	異齒鯊	灰鯖鯊	71.4%
總平均：								90.48%	

表 17：第二次二元決策樹辨識結果（2024/6/10）

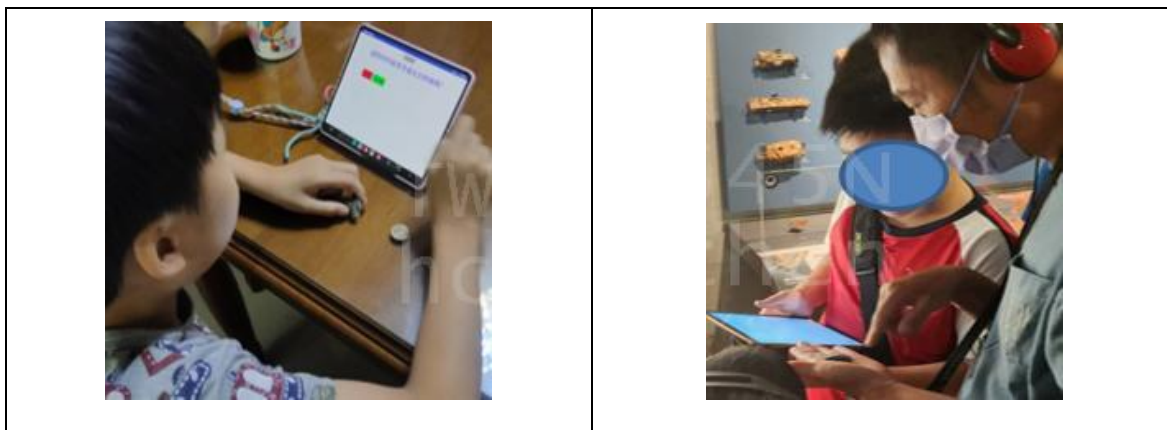


圖 5：二元決策樹受測者測試畫面（照片由第 2 作者拍攝）



表 18：App 增添”鯊魚博士”與”鯊時間”兩個互動問答學習功能（照片由第 2 作者拍攝）

【研究結果四】嘉義博物館進行 App 實測：

- ✓ 根據研究結果二，我們設計的鯊魚牙齒 AI 影像辨識 App，經過四個版本修改優化後，得到三種背景平均各類牙齒的**辨識正確率大約 90%左右**，初步已經可以協助研究者與一般民眾方便有效的辨識鯊魚牙齒；但考量符合各年齡層民眾使用本 App 之多元需求，並實際將**以中小學生族群的需求為主符合益智與教育意義的前提下**，我們又額外在本 App 內添加設計了**”鯊魚博士”與”鯊時間”兩個互動問答學習功能**以增加鯊魚牙齒 AI 影像辨識 App 的**普及性**（表 18）。
- ✓ 由於之前的三次辨識實測皆屬於實驗室內部測試驗證，我們辨識的測試資料也是原本提供給辨識引擎學習的數據資料，故無法真實呈現一般或室外真正的辨識能力；因此我們規劃到嘉義博物館進行外部測試驗證（2024/1/20）。

檢測物		辨識次數 / 結果			辨識成功率		備註
類別	樣本	第一次	第二次	第三次	單隻平均	總平均	
大白鯊	第一隻 a1	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	100.0%	
	第二隻 a2	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%		
	第三隻 a3	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%		
公牛鯊	第一隻 a1	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	77.8%	
	第二隻 a2	公牛鯊	公牛鯊	大白鯊	66.7%		
	第三隻 a3	公牛鯊	大白鯊	公牛鯊	66.7%		
虎鯊	第一隻 a1	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	100.0%	
	第二隻 a2	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%		
	第三隻 a3	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%		
雙髻鯊	第一隻 a1	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	100.0%	
	第二隻 a2	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%		
	第三隻 a3	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%		
灰鯖鯊	第一隻 a1	灰鯖鯊	錐齒鯊	錐齒鯊	33.3%	11.1%	
	第二隻 a2	錐齒鯊	錐齒鯊	錐齒鯊	0.0%		
	第三隻 a3	錐齒鯊	錐齒鯊	錐齒鯊	0.0%		
錐齒鯊	第一隻 a1	錐齒鯊	錐齒鯊	錐齒鯊	100.0%	100.0%	館內只有一隻錐齒鯊
	第二隻 a2	無	無	無	無		
	第三隻 a3	無	無	無	無		
異齒鯊	第一隻 a1	無	無	無	無	無	館內無收藏異齒鯊
	第二隻 a2	無	無	無	無		
	第三隻 a3	無	無	無	無		
整體辨識成功率：						81.48%	

✓ 表 19：嘉義博物館內實測辨識結果

- ✓ 表 19 為我們在嘉義博物館實測的辨識結果；從結果可發現，公牛鯊與灰鯖鯊這兩類鯊魚的辨識率表現較不佳，尤其是灰鯖鯊的辨識正確率約只有 11%左右。經由觀察，我們發現展館內的灰鯖鯊其鯊魚牙齒外形與我們建模的灰鯖鯊牙齒有明顯不同；專家借用的灰鯖鯊牙齒並沒有牙根部分（請參考表 10），而**展館內的灰鯖鯊牙齒有完整牙根**，其外形與錐齒鯊牙齒的外形極其相似，**只差在錐齒鯊牙齒牙根處有小齒尖構造，但灰鯖鯊是沒有的**；這可說明為何灰鯖鯊經辨識後的結果多呈現辨別錯誤成錐齒鯊。
- ✓ 回到學校後有位組員提出將專家借用的**現生灰鯖鯊牙齒用紙片遮住牙根後**，測試

辨識結果，如圖 6 所示兩顆現生灰鯖鯊牙齒使用我們的 App 獲得 AI 分類為正確的類別“灰鯖鯊化石”。



圖 6：兩顆現生灰鯖鯊牙齒使用紙片遮住牙根後實測結果正確(照片由第 1 作者拍攝)

檢測物		辨識次數 / 結果			辨識成功率		備註
類別	樣本	第一次	第二次	第三次	單隻平均	總平均	
大白鯊	第一隻 a1	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	100.0%	只採集到 1 隻 (參考圖 7)
	第二隻 a2	無	無	無	無		
	第三隻 a3	無	無	無	無		
公牛鯊	第一隻 a1	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	100.0%	只採集到 1 隻 (參考圖 8)
	第二隻 a2	無	無	無	無		
	第三隻 a3	無	無	無	無		
虎鯊	第一隻 a1	無	無	無	無	0.0%	無採集到
	第二隻 a2	無	無	無	無		
	第三隻 a3	無	無	無	無		
雙髻鯊	第一隻 a1	無	無	無	無	0.0%	無採集到
	第二隻 a2	無	無	無	無		
	第三隻 a3	無	無	無	無		
灰鯖鯊	第一隻 a1	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%	只採集到 1 隻 (參考圖 9)
	第二隻 a2	無	無	無	無		
	第三隻 a3	無	無	無	無		
錐齒鯊	第一隻 a1	無	無	無	無	0.0%	無採集到
	第二隻 a2	無	無	無	無		
	第三隻 a3	無	無	無	無		
異齒鯊	第一隻 a1	無	無	無	無	無	無採集到
	第二隻 a2	無	無	無	無		
	第三隻 a3	無	無	無	無		
整體辨識成功率：						100.00%	

表 20：左鎮平和橋戶外實測辨識結果

【研究結果五】左鎮平和橋戶外化石採集進行 App 實測：

- ✓ 我們至左鎮平和橋下處進行戶外化石採集並用鯊魚 AI 影像辨識 App 實測採集到的化石(2024/02/04)，而表 20 則是我們在戶外採集到的鯊魚化石的實測辨識結果；從結果可發現，我們採集到大白鯊，公牛鯊及灰鯖鯊之牙齒化石各 1 顆，經 AI 影像辨識 App 實測 3 次後皆能正確地辨識出來 (如圖 7 至圖 9)；此結果也增加了團隊全台首創鯊魚牙齒化石 AI 影像辨識 App 給大眾使用的可行性。



圖 7：採集到 (1) 大白鯊化石 (2) 形似大白鯊石頭之實測結果正確 (照片由第 2 作者拍攝)



圖 8：採集到公牛鯊之實測結果正確 (照片由第 2 作者拍攝)



圖 9：採集到灰鯖鯊之實測結果正確 (照片由第 2 作者拍攝)

**【研究結果六】向專家借用第二批化石進行擴增優化模型和測試 (2024/05/19)：**

我們向專家借了第二批 71 顆鯊魚牙齒化石，經由 6 個角度拍攝後擴增至 1400 多張影像訓練資料，因此第六版模型的手掌背景辨識正確率，由 80.95% 進步到了 92.06% (如表 21)，證明第六版辨識模型對於完整的鯊魚牙齒化石辨識，已有很好的表現。

檢測物 (完整牙齒)		辨識次數 / 結果			辨識成功率		備註 (第六版)
類別	樣本	第一次	第二次	第三次	單隻平均	總平均	
大白鯊	第一隻 a1	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	100.0%	
	第二隻 a2	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%		
	第三隻 a3	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%		
公牛鯊	第一隻 a1	公牛鯊	大白鯊	公牛鯊	66.7%	77.8%	第二批擴增訓練數據發現公牛鯊資料庫裡有虎鯊的照片
	第二隻 a2	公牛鯊	虎鯊	公牛鯊	66.7%		
	第三隻 a3	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%		
虎鯊	第一隻 a1	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	66.7%	第二批擴增訓練數據發現公牛鯊資料庫裡有虎鯊的照片
	第二隻 a2	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%		
	第三隻 a3	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	0.0%		
雙髻鯊	第一隻 a1	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	100.0%	
	第二隻 a2	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%		
	第三隻 a3	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%		
灰鯖鯊	第一隻 a1	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%	
	第二隻 a2	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%		
	第三隻 a3	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%		
錐齒鯊	第一隻 a1	錐齒鯊	錐齒鯊	錐齒鯊	100.0%	100.0%	
	第二隻 a2	錐齒鯊	錐齒鯊	錐齒鯊	100.0%		
	第三隻 a3	錐齒鯊	錐齒鯊	錐齒鯊	100.0%		
異齒鯊	第一隻 a1	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	100.0%	
	第二隻 a2	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%		
	第三隻 a3	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%		
整體辨識成功率：					92.06%		

表 21：擴增第二批鯊魚牙齒化石資料後實測辨識結果

**【研究結果七】針對破碎不完整化石進行建模和測試 (2024/05/25)：**

在研究過程中，我們發現在左鎮平和橋實地採集時，挖到的化石大多為破碎的鯊魚牙齒化石，為了讓我們的 App 更實用，我們提出創新構想決定將完整化石牙齒照片做去背處理，再切割為上半部、下半部、左半部、右半部，除了可增加訓練資料之外，也可以提升下一版模型對於破碎不完整化石的辨識涵蓋率。

由於專家所提供的第二批化石包含 12 顆破碎不完整，但只有虎鯊、灰鯖鯊、公牛鯊、大白鯊四類，因此我們鎖定先以此四類作為實驗對象。經由組員討論，我們將四類的鯊魚牙齒化石，每類各選十顆做照片的去背與裁切，並將新的照片加入第七版辨識模型後，接著進行實驗。我們將此四類各 3 顆的破碎牙齒化石，進行 App 的實測。表 22 為第一次破碎不完整化石實測辨識結果。

由表 22 可得知，加入了背與裁切化石牙齒作為訓練資料後，測試此四類 12 顆破碎化石樣本，其正確率只有 69.44%。由實驗數據可知，公牛鯊正確率僅有 33.3%，虎鯊正確率



66.7%，於是我們將錯誤的幾顆牙齒挑出來，進行觀察和討論，我們發現經由上、下、左、右的切割方式，有時不易保留其牙齒特色，如圖 10，同樣具有鋸齒，同為左半邊的情況之下，大白鯊與公牛鯊牙齒容易導致混淆。故我們決定再更新下一版，將第七版已去背的牙齒照片，進行左右對角線斜切，且在保留化石特色的前提下，增加辨識正確率。加入了左右對角線斜切的照片當作訓練資料後，我們重新訓練第八版辨識模型，並運用 App 進行了四類 12 顆破碎化石牙齒的辨識，實驗結果如表 23，其正確率已提升至 88.89%。

檢測物 (不完整牙齒)		辨識次數 / 結果			辨識成功率		備註 (第七版)
類別	樣本	第一次	第二次	第三次	單隻平均	總平均	
大白鯊	第一隻a1	大白鯊	灰鯖鯊	大白鯊	66.7%	77.8%	
	第二隻a2	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%		
	第三隻a3	大白鯊	大白鯊	虎鯊	66.7%		
公牛鯊	第一隻a1	虎鯊	虎鯊	灰鯖鯊	0.0%	33.3%	
	第二隻a2	異齒鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	0.0%		
	第三隻a3	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%		
虎鯊	第一隻a1	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	66.7%	
	第二隻a2	大白鯊	大白鯊	大白鯊	0.0%		
	第三隻a3	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%		
灰鯖鯊	第一隻a1	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%	
	第二隻a2	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%		
	第三隻a3	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%		
整體辨識成功率：						69.44%	

表 22：第一次破碎不完整化石實測辨識結果

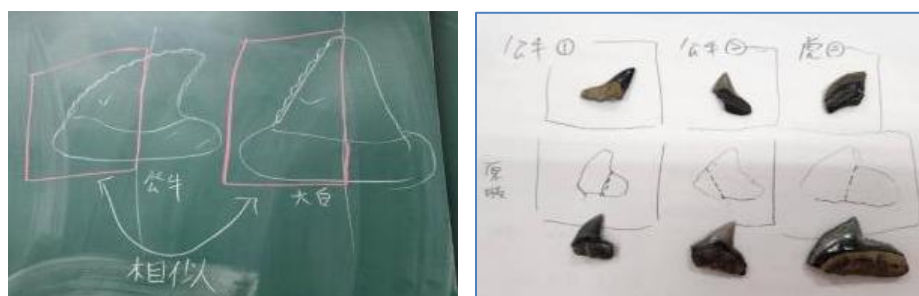


圖 10：破碎不完整化石辨識構想：(a) 左右直線切割 (b) 左右對角線斜切 (照片由家長拍攝)

檢測物 (不完整牙齒)		辨識次數 / 結果			辨識成功率		備註 (第八版)
類別	樣本	第一次	第二次	第三次	單隻平均	總平均	
大白鯊	第一隻a1	大白鯊	灰鯖鯊	大白鯊	66.7%	77.8%	
	第二隻a2	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%		
	第三隻a3	大白鯊	大白鯊	虎鯊	66.7%		
公牛鯊	第一隻a1	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	88.9%	
	第二隻a2	公牛鯊	大白鯊	公牛鯊	66.7%		
	第三隻a3	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%		
虎鯊	第一隻a1	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	88.9%	
	第二隻a2	虎鯊	虎鯊	公牛鯊	66.7%		
	第三隻a3	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%		
灰鯖鯊	第一隻a1	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%	
	第二隻a2	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%		
	第三隻a3	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%		
整體辨識成功率：						88.89%	

表 23：第二次破碎不完整化石實測辨識結果

【研究結果八】左鎮化石園區典藏研究中心進行 App 實測 (2024/05/27)：

為了讓第八版辨識模型有更接近實際場域應用的機會，我們聯繫了左鎮化石園區進行實地測試，希望能有更多的樣本可以當作訓練樣本，進一步提升 App 的正確率。表 24 為在左鎮化石園區典藏研究中心的測試結果：

檢測物		辨識次數 / 結果			辨識成功率		備註
類別	樣本	第一次	第二次	第三次	單隻平均	總平均	
大白鯊	第一隻 a1	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	100.0%	
	第二隻 a2	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%		
	第三隻 a3	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%		
公牛鯊	第一隻 a1	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	88.9%	
	第二隻 a2	灰鯖鯊	公牛鯊	公牛鯊	66.7%		
	第三隻 a3	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%		
虎鯊	第一隻 a1	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	100.0%	萊寮化石館只有兩隻虎鯊
	第二隻 a2	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%		
	第三隻 a3	無	無	無	無		
雙髻鯊	第一隻 a1	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	100.0%	
	第二隻 a2	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%		
	第三隻 a3	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%		
灰鯖鯊	第一隻 a1	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%	
	第二隻 a2	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%		
	第三隻 a3	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%		
錐齒鯊	第一隻 a1	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	0.0%	0.0%	因在黃底拍攝導致互咬頭特徵不明顯
	第二隻 a2	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	0.0%		
	第三隻 a3	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	0.0%		
異齒鯊	第一隻 a1	無	無	無	無	無	館內無收藏異齒鯊
	第二隻 a2	無	無	無	無		
	第三隻 a3	無	無	無	無		
整體辨識成功率：						81.48%	

表 24：左鎮化石園區典藏研究中心實測辨識結果

我們運用第八版辨識模型，至左鎮化石園區進行辨識，因研究中心未收藏異齒鯊，我們以其他六類鯊魚作為化石辨識測試樣本，正確率 81.5%。其中錐齒鯊在第八版辨識結果不佳，正確率為 0%，推測是因為化石牙齒黏於黃色底板，又有膠帶的干擾，導致辨識照片中，牙齒的副咬頭不明顯，而灰鯖鯊與錐齒鯊牙齒的差異是靠副咬頭做分別，所以第八版辨識模型無法成功辨識化石園區錐齒鯊牙齒化石；除此之外，其他類的牙齒化石都能有正確的辨識結果。

## 伍、討論

一、根據表 10 圖片觀察，除了灰鯖鯊牙齒化石略微灰褐色，我們發現其他六類鯊魚牙齒的化石皆為黑灰色，而不是現生的白色，而我們實地採集到的也都是黑灰色的，

後來經過專家實際解說，我們才知道是因為鯊魚牙齒會吸收海洋中的礦物質，黑色的鯊魚牙齒通常是在高濃度磷酸鹽的環境下形成的。

- 二、雖然決定要做鯊魚牙齒自動分類的科展，但我們卻不知道要利用哪一款軟體進行編寫程式，因此在第一次討論會議中決定先用某組員提議的 imageJ 來進行辨識，卻發現 imageJ 的程式編寫功能是基于 java 的，因此編寫的程式碼也是像 python 的程式寫法，可能無法短時間開發出可用的成果。正當我們思考對策時，另一個組員提出了 App Inventor 這一套類似於 Scratch 的積木式編程工具，我們實際操作後發現它比 image J 簡單，而且更為便利上手，因此我們決定採用 App inventor 來進行 App 編程。
- 三、本團隊決定採用 App inventor 來進行開發 App 後，卻不知道要利用哪一款軟體來進行影像辨識訓練模型，後來我們在網路查詢時發現，有一個網站名叫「個人/水果圖像分類器」(<https://vmaker.tw/archives/59194>)，這個工具可以直接在網站上拍照片，然後進行模型訓練，而且模型可以讓 App inventor 載入使用，所以我們最早的鯊魚牙齒模型都是由這一個分類器來訓練，但經過實驗，我們發現雖然已經可以進行辨識，可惜辨識率不佳，以錐齒鯊最嚴重，辨識率為 0%，都辨識成灰鯖鯊，因此我們和指導老師討論請求大學影像處理專家協助後台影像辨識引擎建構，我們專注在使用 App inventor 來進行前台鯊魚牙齒影像辨識 App 開發。
- 四、在本次研究中，我們陸續遭遇各種問題和挑戰，也逐步發現拍攝的背景、光線、角度和距離等因素會影響辨識效果，然後檢查出影像資料類別放置錯誤。經過專家諮詢指導，使用 6 種角度拍照，整合綠底/紅底/手掌背景以增加更多的訓練資料，來優化辨識模型的穩定性和準確性。但是進行第三版 v3 建模並測試後，發現虎鯊的辨識率在紅底和綠底背景上，都比公牛鯊低。於是我們將虎鯊牙齒化石拿出來和公牛鯊做對比，發現有一顆虎鯊牙齒長得很像公牛鯊(參考圖 2)！因此我們將這張照片傳給專家，並詢問他是否可以將這顆錯誤歸類的虎鯊牙齒放到正確的公牛鯊牙齒裡面。最後專家回應說可以，因此我們的辨識率在第四版 v4 以後有大幅的增加。
- 五、雖然素底背景辨識效能已經超過 85%，但是手掌背景辨識率(約 65%)依然不穩定，時好時壞，因此我們請教專家決定將模型從 VGG16 切換到 Resnet152 來讓辨識率提升，第四版 V4 和第五版 V5 開始使用 Resnet152 訓練辨識模型，Resnet152 有 152 層神經網路運算，而 VGG16 僅有 16 層。當層數越深模型可以提取的特徵就越多，正確率就越高，可惜運算時間慢了 5-8 倍，約需 10-15 秒。第六版 v6 在第二

批專家借用 71 顆化石擴增了 6 個角度 400 多張影像訓練資料後，手掌背景辨識正確率進步到了 92.06% (如表 21)。

六、嘉義博物館實地 App 測試確實有效辨識出鯊魚牙齒類別，博物館研究人員也對於實驗結果深感興趣，想要與團隊合作未來授權在博物館鯊魚展區長期使用我們的 App，並當場下載測試成功 (圖 11)。未來將擴增鯊魚的種類當作訓練樣本 (嘉義博物館目前收藏 16 類超過 300 顆)，並改進辨識率，可讓一般民眾快速便利地使用 App 解決鯊魚牙齒辨認的難題。



圖 11: 嘉義博物館研究人員下載 App，並測試大白鯊牙齒化石成功 (照片由家長拍攝)

七、破碎不完整化石的辨識是比較困難的，借助組員討論的創意構想：將照片嘗試用去背切割化石牙齒照片來提升辨識率，採用特殊切割法 (上下、左右、斜切) 訓練比較多元的模型，有不錯的提升效果 (69% 上升至 88%)。化石在借用時，有預先請教化石專家，這些破碎不完整化石的可能類別。破碎不完整化石正確率提升已經達成初步成果，若要提升至 90% 仍然有相當有難度。一個可行的方法是讓 App 使用的決策樹的二元分析法，但在遇到破碎的牙齒化石時，使用者很難知道此化石的完整型態為何，所以我們也從改進 App 顯示結果列出最有可能的前三名，並列出其正確的機率，讓使用者自行比對 (表 5)，收斂尋找方向且減少搜尋的時間。未來也希望能架設討論平台讓使用者上傳照片，並提供答案，甚至和專家討論。

九、本次開發的「鯊魚小博士」二元決策樹互動問答學習遊戲使用的是 AI 的「決策樹」技術：決策樹技術最特別實用的技巧是「二元分類技術」：先問第一個關鍵問題，讓它分成兩類，然後再從所回答的類型中繼續進行下一層分類。藉由多輪的問答持續分類到整個階層分類中最下層，只剩下一種情況，就是確定為哪一種分類了，示範如圖 12，以大白鯊牙齒化石為例，使用者只要回答三個問題，就可立即得到答案，正確率也已經達到 90%。

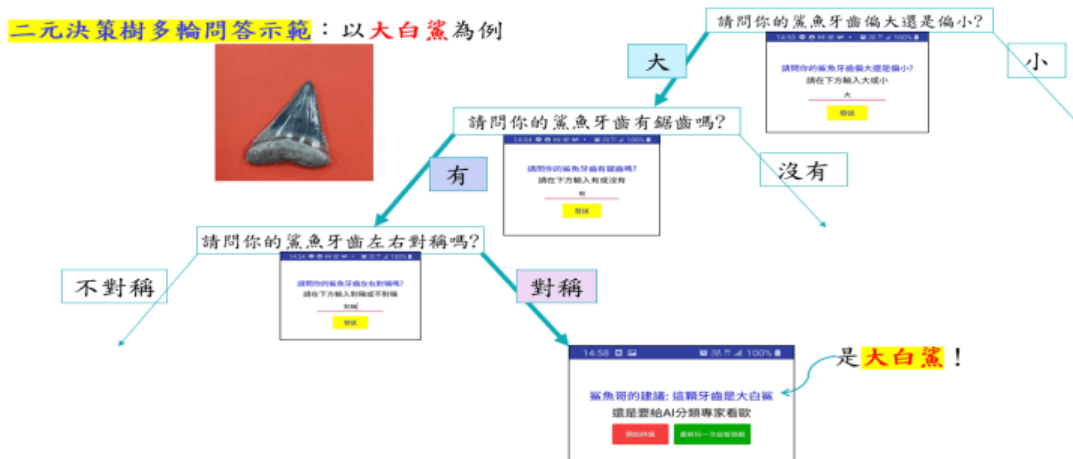


圖 12: AI「二元決策樹」多輪問答：以大白鯊牙齒化石為例的圖解範例

十、2024/05/27 到台南左鎮化石園區實測，典藏研究中心提供 6 類（缺異齒鯊）共 162 顆鯊魚牙齒化石標本讓我們研究和實驗（參考表 9）。我們發現很多化石標本都固定黏著在紙板上太緊密牢固（例如雙髻鯊），但館員又不希望我們移動或拔下化石，生怕化石會硬生生碎裂，所以最後我們只好利用拍照加上裁切圖片的方式來測試，造成辨識率下降。

## 陸、結論

本團隊研究包括拜訪化石專家和影像辨識專家、借用化石和現生標本、量測和分析鯊魚牙齒的特徵、使用 App Inventor 和影像辨識分類模型開發 App 和訓練模型、在實驗室、博物館和野外進行 App 的實測和驗證，完整化石最佳效能可高達 92%，以及破碎化石可高達 88% 的辨識率。

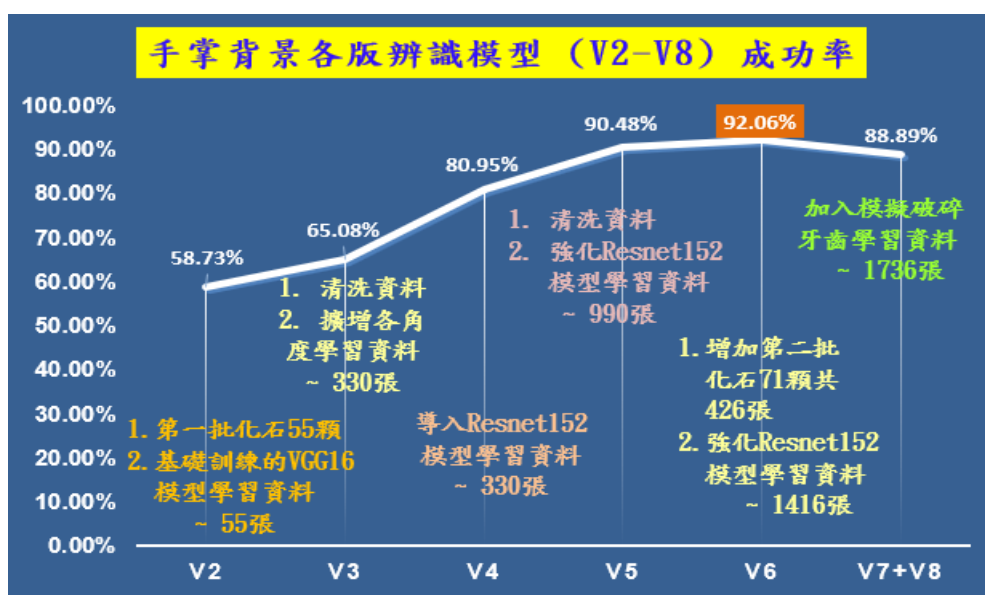


圖 13: 本研究共訓練 8 個版本辨識模型，辨識率從最初的 58.73% 提升到 92.06%

- 1、本研究結果顯示，本團隊所開發的 App 可以有效地辨識完整以及破碎不完整的七種鯊魚牙齒化石，並提供相關的科普資訊和影片，並且在不同的背景、光線、角度和距離下都有穩定的辨識效能，具有實用性。
- 2、本研究的影像辨識成果總結：我們跟化石專家借用兩批共 126 顆（第一批 55 顆、第二批 71 顆）鯊魚牙齒化石，訓練照片由 55 張擴增到 1736 張（6 個角度、三種背景、上下左右對角線切割），共訓練 V1 至 V8 的 8 個版本辨識模型，辨識率從最初的 58.73% 提升到 92.06%（圖 13）。
- 3、本研究所開發的 App 也增加了「鯊魚小博士」二元決策樹互動問答學習的功能，除了輔助鯊魚牙齒分類，也讓使用者可以更有趣地學習鯊魚牙齒的特徵知識，深具教育意義。
- 4、根據在嘉義博物館以及戶外的實測數據，本研究貢獻等同是創造了一個隨身攜帶的化石專家，幫助民眾在野外採集化石時能夠快速辨別化石種類，同時也展現出本研究 AI 技術在自然科學教育上的應用潛力。
- 5、在本次研究中，我們陸續遭遇各種問題和挑戰，也發現影響化石辨識率的因素有以下六點（由淺至深），並逐步解決：

- 陰影與模糊問題（色彩差異）：拍攝時需聚焦和補充光線，如閃光燈。
- 背景干擾（掌紋、顏色）：增加背景類型。
- 資料有誤：請組員交互檢查避免放置錯誤目錄。
- 數量不足：增加拍攝角度並考慮使用現生標本和網路圖片。
- 模型品質不佳：請教專家更換比較強健的模型。
- 破碎不完整：用特殊切割法（上下、左右、斜切）訓練比較多元的模型。

淺層問題

深層問題

#### 未來展望：

本研究只涵蓋了七種鯊魚牙齒化石，而且只使用了化石專家借用的標本，可能無法涵蓋所有的鯊魚種類和化石變異。我們也發現了拍攝的背景、光線、角度和距離等因素會影響辨識效果。我們的完整化石影像辨識 App 幸運達成初步成果，經老師鼓勵，我們嘗試破碎不完整化石的辨識，確實遭遇較大的困難挑戰，借助照片去背切割化石牙齒照片的創意構想，已經有初步成果（88%正確率）。但是還是需要收集和切割更多的訓練資料，並優化辨識模型的穩定性和準確性。本團隊期待能夠與更多的博物館和化石專家合作，將本研究所開發的

App 上架和推廣給更多的民眾使用，並收集更多的回饋和建議，以改善 App 的功能和品質。

## 柒、參考文獻資料

1. 盧牧謙、嚴泓歲、周致廷、謝文廷（2012）。雙角轉輪蟹的前世與今生 — 玉蟹科化石分類研究。中華民國第 52 屆中小學科學展覽會作品。
2. 薛文吉（2004）。嘉義地區化石圖鑑。嘉義市政府文化局。
3. 鐘廣吉、許崑泉等編（2014）。臺南市新化丘陵區的化石家族。臺南市文化局。
4. 臺灣魚類資料庫：<https://fishdb.sinica.edu.tw/>
5. 李美華、諾爾琳（2000）。稱霸海洋的鯊魚。新北市：百年文化
6. 陳曦、馬斯格雷夫（2015）。鯊魚 Everything。臺北市：大石文化
7. 黃奕翔（2015）。細說鯊魚與其他海洋動物。嘉義市：明山書局
8. 國立海洋生物博物館（2008）。Shark!Shock! “驚。鯊國立海洋生物博物館


## 【評語】 082821

在這份作品中，學生們開發了一款手機應用程式，利用 AI 影像辨識技術來辨識七種常見的鯊魚牙齒化石。研究過程包括：收集和分析鯊魚牙齒化石標本、委外開發 AI 影像辨識模型、設計手機應用程式在實驗室、博物館和野外進行實測。研究結果顯示，該應用程式對完整化石的辨識率可達 92%，對破碎化石可達 88%。此外，應用程式還包含互動式學習功能，有助於用戶學習鯊魚相關知識，可為化石研究和科普教育帶來便利。

建議能考慮詳細說明辨識率從最初的 58.73% 提升到 92.06% 的關鍵因素是甚麼？以作為未來再提升辨識率的思考方向，同時本作品的合作開發如何分工？等，以補足欠缺或精進作品的參考。



## 作品簡報



# 以牙還「鯊」： AI影像辨識鯊魚牙齒化石

鯊魚牙齒影像辨識 APP之研發



## 摘要

在二零二三年的九月中旬，我們參觀了化石專家的**十五萬件台灣最大收藏**，不過有很多破碎的動物骨頭、牙齒、螃蟹背甲、**鯊魚牙齒化石連專家也無法辨識**。

在台南左鎮菜寮溪和玉井曾文溪邊過去幾十年來一直不斷有鯊魚牙齒化石出土，例如：大白鯊、虎鯊、公牛鯊、甚至還有已滅絕的史前最巨大鯊魚巨齒鯊的牙齒化石（生存於2,300萬至260萬年前），民眾採集到一時很興奮，但沒有專家一旁協助辨識鯊魚牙齒化石的種類，卻仍舊很苦惱！因此本研究嘗試解決民眾的苦惱，包含三大貢獻：

- 1) 利用APP Inventor設計**全國第一款準確易用的鯊魚牙齒化石分類手機 APP**，以及鯊魚牙齒決策樹**互動學習遊戲**，可以幫助在採集鯊魚牙齒化石時，使用身邊的手機就可以快速辨別鯊魚牙齒的種類！
- 2) 本研究利用**某大學資訊工程系實驗室開發的影像辨識引擎的支援**，到目前開發8個版本，持續優化中，正在進行下一版開發。
- 3) 根據實驗室/博物館/野外採集實測結果，開發的APP可以有效地辨識七種鯊魚牙齒化石，在**不同的背景、光線、角度、焦距和距離下都有穩定的辨識效能**，達到**完整化石92%、破碎化石89%正確率**，並提供相關的鯊魚資訊和影片給使用者，具有實用性。



## 動機 & 文獻

### ※ 研究動機：

我們會想研究這個主題主要原因是自然老師邀請化石專家帶領我們到菜寮溪的平和橋下採集化石，因而激起我們對化石的興趣；過程中同學七嘴八舌地討論撿到的化石要如何分辨？於是我們突發奇想的想到，現在AI技術成熟，或許可利用現今最夯的**AI影像辨識技術**來建立一個可**隨身攜帶的AI化石鑑定專家APP**，讓一般民眾在野外採集到化石時能夠快速辨別化石種類。因此我們選取了台灣相對容易蒐集的七類鯊魚牙齒化石來作為此次研究的主题，並利用APP Inventor以及某大學資工系實驗室開發的影像辨識軟體，共同合作設計出全國第一款既有效又實用的鯊魚化石辨識APP。

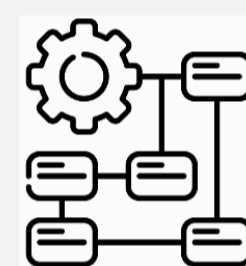
### ※ 文獻回顧：

#### （一）現生鯊魚相關資料：

- 世界鯊魚共9個目、34科、106屬、約400多種。臺灣紀錄有7個目、30科、58屬、大約108種。但是**就化石而言，只能從牙齒來辨識鯊魚種類**。
- 鯊魚牙齒辨別特徵：**有無鋸齒邊（大白鯊、虎鯊、公牛鯊）、等腰或正三角（大白鯊）、半月型（虎鯊、公牛鯊）、臼齒狀（異齒鯊）。**

#### （二）過去鯊魚牙齒化石研究：

- 在前幾年的本校科展某個研究作品中，他們從左鎮菜寮溪上中下游五個地點採集七類50幾個鯊魚牙齒化石，公牛鯊最多。
- 為了**進行牙齒化石分類，必須一個一個請教專家鑑定，非常耗時耗力！**

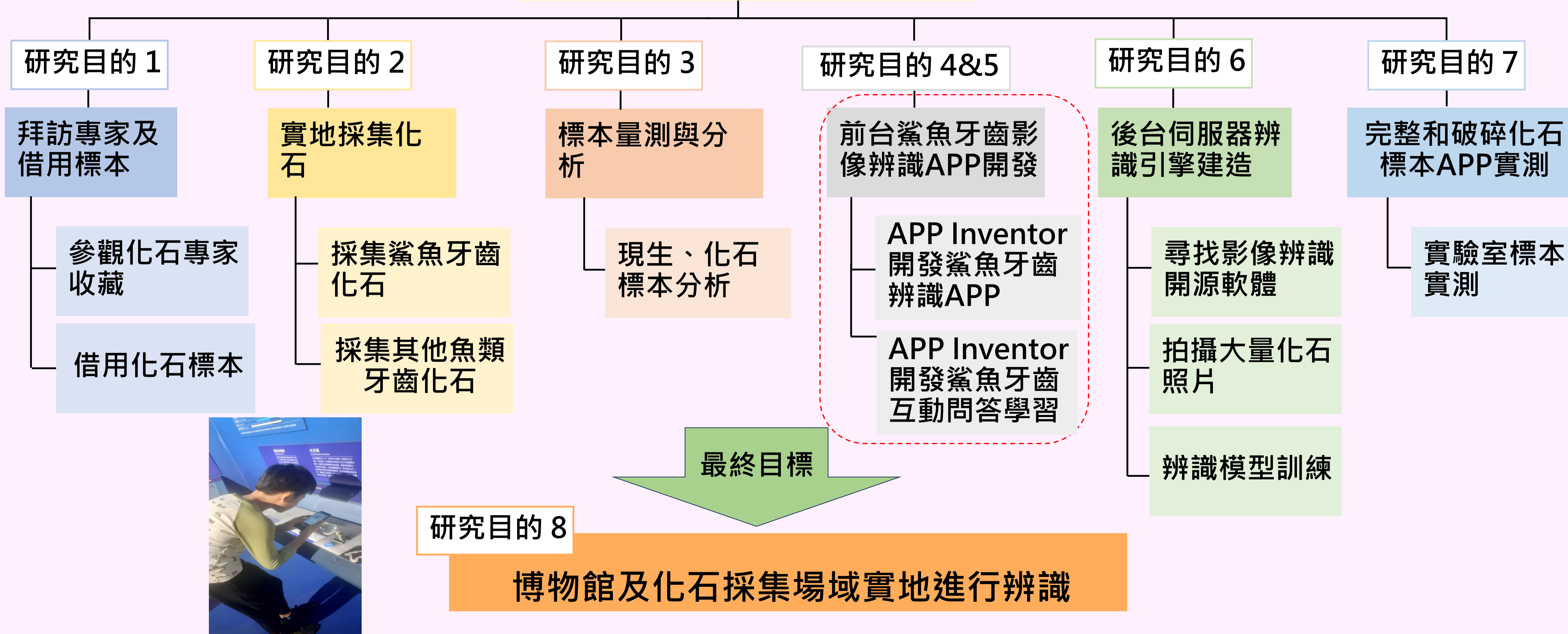


## 目的 & 架構

### ※ 研究目的：

- 研究目的1：拜訪專家及借用鯊魚牙齒化石標本
- 研究目的2：實地採集化石
- 研究目的3：標本量測與分析
- 研究目的4：**前台鯊魚牙齒影像辨識APP自行開發**
- 研究目的5：**前台鯊魚牙齒決策樹互動問答學習自行開發**
- 研究目的6：後台伺服器影像辨識引擎委託建造
- 研究目的7：**完整和破碎化石標本APP分類實驗室實測**
- 研究目的8：**博物館展示與野外採集化石進行APP分類實測**

### AI影像辨識鯊魚牙齒



## 設備 & 資料

第一批借用鯊魚牙齒化石 (55顆)



第二批借用鯊魚牙齒化石 (71顆，含12顆破碎化石)



# 研究結果

## 辨識引擎優化

※ 辨識模型的訓練與優化（一）：**完整牙齒化石+素底背景(紅/綠底)**

- 素底第一次辨識(使用第二版模型)：發現辨識率不佳。
  - 不佳原因：照片拍攝手法差異(角度、鏡頭遠近、閃光燈開啟、對焦)、照片放錯目錄夾。
- 素底第二次辨識(使用第三版模型)：改進拍攝手法，使用正反上下左右30度傾斜共6種角度重新拍照後，辨識率提升許多。

檢測物(背底)	辨識次數/結果	辨識成功率				
類別	樣本	第一次	第二次	第三次	單筆平均	總平均
大白鯊	第一隻	大白鯊	大白鯊	大白鯊	66.7%	66.7%
	第二隻	大白鯊	大白鯊	大白鯊	66.7%	66.7%
	第三隻	大白鯊	大白鯊	大白鯊	66.7%	66.7%
公牛鯊	第一隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	100.0%
	第三隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	100.0%
虎鯊	第一隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	0.0%	0.0%
	第二隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	55.6%
	第三隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	66.7%	66.7%
雙髻鯊	第一隻	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	33.3%	44.4%
	第二隻	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	33.3%	44.4%
	第三隻	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	33.3%	44.4%
灰鯖鯊	第一隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%
	第三隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%
鎌齒鯊	第一隻	鎌齒鯊	鎌齒鯊	鎌齒鯊	66.7%	88.9%
	第二隻	鎌齒鯊	鎌齒鯊	鎌齒鯊	100.0%	100.0%
	第三隻	鎌齒鯊	鎌齒鯊	鎌齒鯊	100.0%	100.0%
異齒鯊	第一隻	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	66.7%	88.9%
	第二隻	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	100.0%
	第三隻	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	100.0%

檢測物(手背)	辨識次數/結果	辨識成功率				
類別	樣本	第一次	第二次	第三次	單筆平均	總平均
大白鯊	第一隻	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	100.0%
	第三隻	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	100.0%
公牛鯊	第一隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	100.0%
	第三隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	100.0%
虎鯊	第一隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	0.0%	0.0%
	第二隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	66.7%	44.4%
	第三隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	66.7%	44.4%
雙髻鯊	第一隻	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	33.3%	44.4%
	第三隻	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	0.0%	44.4%
灰鯖鯊	第一隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%
	第三隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%
鎌齒鯊	第一隻	鎌齒鯊	鎌齒鯊	鎌齒鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	鎌齒鯊	鎌齒鯊	鎌齒鯊	100.0%	100.0%
	第三隻	鎌齒鯊	鎌齒鯊	鎌齒鯊	100.0%	100.0%
異齒鯊	第一隻	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	0.0%	44.4%
	第二隻	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	100.0%
	第三隻	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	33.3%	44.4%

檢測物(綠底)	辨識次數/結果	辨識成功率				
類別	樣本	第一次	第二次	第三次	單筆平均	總平均
大白鯊	第一隻	大白鯊	大白鯊	大白鯊	66.7%	88.9%
	第二隻	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	88.9%
	第三隻	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	100.0%
公牛鯊	第一隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	100.0%
	第三隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	100.0%
虎鯊	第一隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	100.0%
	第三隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	100.0%
雙髻鯊	第一隻	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	88.9%
	第二隻	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	88.9%
	第三隻	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	66.7%	88.9%
灰鯖鯊	第一隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%
	第三隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%
鎌齒鯊	第一隻	鎌齒鯊	鎌齒鯊	鎌齒鯊	66.7%	88.9%
	第二隻	鎌齒鯊	鎌齒鯊	鎌齒鯊	100.0%	88.9%
	第三隻	鎌齒鯊	鎌齒鯊	鎌齒鯊	100.0%	100.0%
異齒鯊	第一隻	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	100.0%
	第三隻	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	100.0%

檢測物(紅底)	辨識次數/結果	辨識成功率				
類別	樣本	第一次	第二次	第三次	單筆平均	總平均
大白鯊	第一隻	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	100.0%
	第三隻	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	100.0%
公牛鯊	第一隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	100.0%
	第三隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	100.0%
虎鯊	第一隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	100.0%
	第三隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	100.0%
雙髻鯊	第一隻	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	100.0%
	第三隻	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	100.0%
灰鯖鯊	第一隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%
	第三隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%
鎌齒鯊	第一隻	鎌齒鯊	鎌齒鯊	鎌齒鯊	66.7%	88.9%
	第二隻	鎌齒鯊	鎌齒鯊	鎌齒鯊	100.0%	88.9%
	第三隻	鎌齒鯊	鎌齒鯊	鎌齒鯊	100.0%	100.0%
異齒鯊	第一隻	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	100.0%
	第三隻	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	100.0%

## 辨識模型的訓練與優化(二)：**完整牙齒化石+手掌背景**

- 手掌背景第一次辨識(使用第三版模型)：發現大部分鯊魚的辨識率表現不好(65.08%)。
  - 分析原因：手掌掌紋或是手指縫隙可能造成辨識率不佳。
  - 改進方法：決定將模型從第四版換成正確率較高的綜合強化版模型，但速度較慢。

檢測物(手背)	辨識次數/結果	辨識成功率				
類別	樣本	第一次	第二次	第三次	單筆平均	總平均
大白鯊	第一隻	大白鯊	大白鯊	大白鯊	33.3%	55.6%
	第二隻	大白鯊	大白鯊	大白鯊	33.3%	55.6%
	第三隻	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	100.0%
公牛鯊	第一隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	33.3%	77.8%
	第二隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	77.8%
	第三隻	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	100.0%
虎鯊	第一隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	0.0%	66.7%
	第二隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	66.7%
	第三隻	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	100.0%
雙髻鯊	第一隻	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	100.0%
	第二隻	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	100.0%
	第三隻	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	100.0%
灰鯖鯊	第一隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	33.3%	77.8%
	第二隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	77.8%
	第三隻	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%
鎌齒鯊	第一隻	鎌齒鯊	鎌齒鯊	鎌齒鯊	33.3%	33.3%
	第二隻	鎌齒鯊	鎌齒鯊	鎌齒鯊	33.3%	33.3%
	第三隻	鎌齒鯊	鎌齒鯊	鎌齒鯊	33.3%	33.3%
異齒鯊	第一隻	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	0.0%	44.4%
	第二隻	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	44.4%
	第三隻	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	100.0%

檢測物(手背)	辨識次數/結果	辨識成功率				
類別	樣本	第一次	第二次	第三次	單筆平均	總平均
大白鯊	第一隻a1	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	100.0%
	第二隻a2	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	100.0%
	第三隻a3	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	100.0%
公牛鯊	第一隻a1	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	0.0%	11.1%
	第二隻a2	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	0.0%	11.1%
	第三隻a3	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	0.0%	11.1%
虎鯊	第一隻a1	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	100.0%
	第二隻a2	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	100.0%
	第三隻a3	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	100.0%
雙髻鯊	第一隻a1	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	100.0%
	第二隻a2	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	100.0%
	第三隻a3	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	100.0%
灰鯖鯊	第一隻a1	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	0.0%	55.6%
	第二隻a2	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	55.6%
	第三隻a3	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	66.7%	55.6%
鎌齒鯊	第一隻a1	鎌齒鯊	鎌齒鯊	鎌齒鯊	100.0%	100.0%
	第二隻a2	鎌齒鯊	鎌齒鯊	鎌齒鯊	100.0%	100.0%
	第三隻a3	鎌齒鯊	鎌齒鯊	鎌齒鯊	100.0%	100.0%
異齒鯊	第一隻a1	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	100.0%
	第二隻a2	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	100.0%
	第三隻a3	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	100.0%

檢測物(完整牙齒)	辨識次數/結果	辨識成功率				
類別	樣本	第一次	第二次	第三次	單筆平均	總平均
大白鯊	第一隻a1	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	100.0%
	第二隻a2	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	100.0%
	第三隻a3	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	100.0%
公牛鯊	第一隻a1	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	66.7%	77.8%
	第二隻a2	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	66.7%	77.8%
	第三隻a3	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	100.0%
虎鯊	第一隻a1	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	66.7%
	第二隻a2	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	66.7%
	第三隻a3	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	66.7%
雙髻鯊	第一隻a1	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	0.0%	100.0%
	第二隻a2	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	100.0%
	第三隻a3	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	100.0%
灰鯖鯊	第一隻a1	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%
	第二隻a2	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%
	第三隻a3	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%
鎌齒鯊	第一隻a1	鎌齒鯊	鎌齒鯊	鎌齒鯊	100.0%	100.0%
	第二隻a2	鎌齒鯊	鎌齒鯊	鎌齒鯊	100.0%	100.0%
	第三隻a3	鎌齒鯊	鎌齒鯊	鎌齒鯊	100.0%	100.0%
異齒鯊	第一隻a1	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	100.0%
	第二隻a2	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	100.0%
	第三隻a3	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	100.0%

檢測物(完整牙齒)	辨識次數/結果	辨識成功率				
類別	樣本	第一次	第二次	第三次	單筆平均	總平均
大白鯊	第一隻a1	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	100.0%
	第二隻a2	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	100.0%
	第三隻a3	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	100.0%
公牛鯊	第一隻a1	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	100.0%
	第二隻a2	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	100.0%
	第三隻a3	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	100.0%
虎鯊	第一隻a1	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	100.0%
	第二隻a2	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	100.0%
	第三隻a3	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	100.0%
雙髻鯊	第一隻a1	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	100.0%
	第二隻a2	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	100.0%
	第三隻a3	雙髻鯊	雙髻鯊	雙髻鯊	100.0%	100.0%
灰鯖鯊	第一隻a1	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%
	第二隻a2	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%
	第三隻a3	灰鯖鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	100.0%	100.0%
鎌齒鯊	第一隻a1	鎌齒鯊	鎌齒鯊	鎌齒鯊	100.0%	100.0%
	第二隻a2	鎌齒鯊	鎌齒鯊	鎌齒鯊	100.0%	100.0%
	第三隻a3	鎌齒鯊	鎌齒鯊	鎌齒鯊	100.0%	100.0%
異齒鯊	第一隻a1	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	100.0%
	第二隻a2	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	100.0%
	第三隻a3	異齒鯊	異齒鯊	異齒鯊	100.0%	100.0%

## 辨識模型的訓練與優化(三)：**破碎牙齒化石+手掌背景**

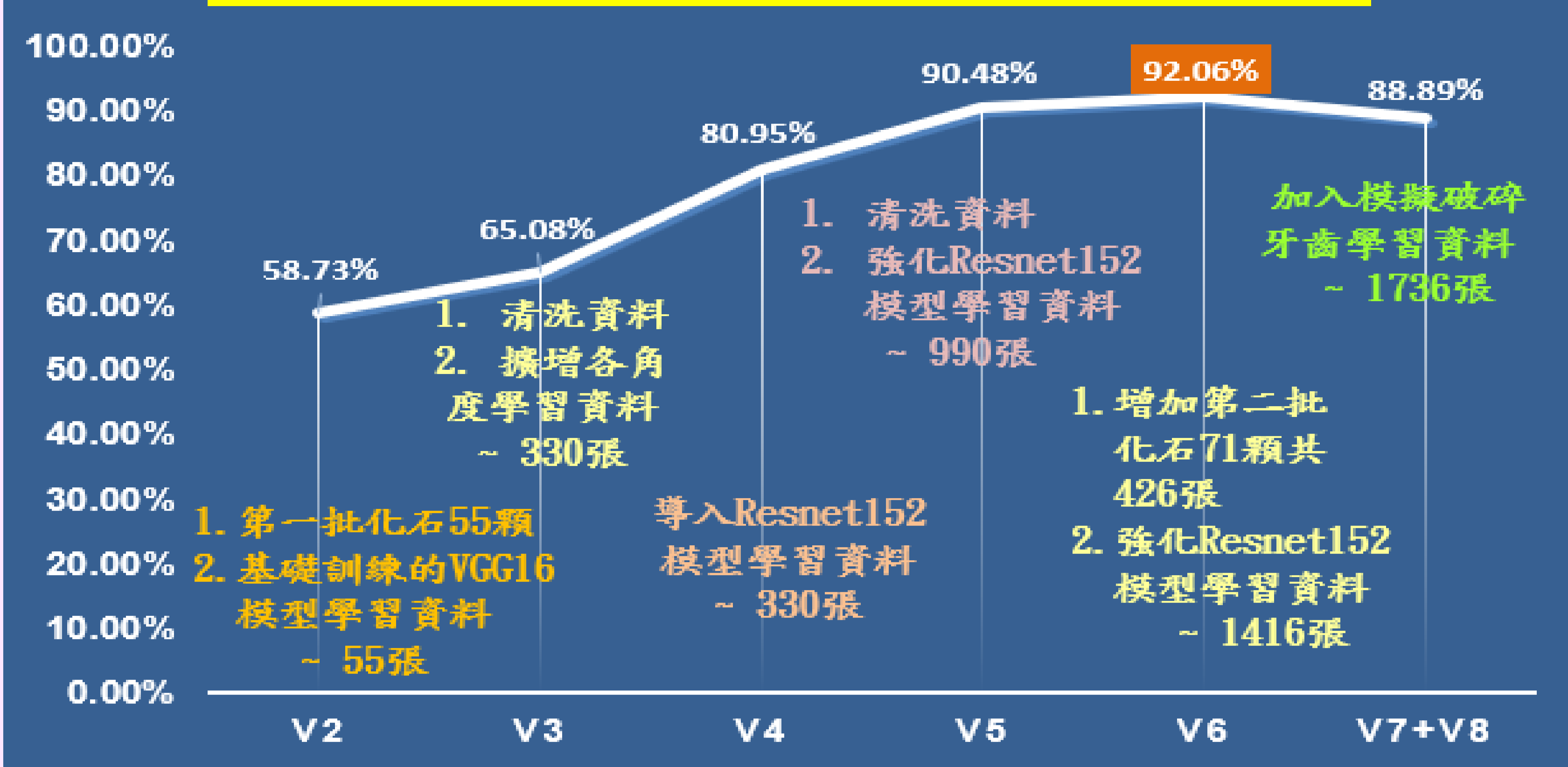
- 發現在左鎮平和橋實地採集時，挖到的化石大多為破碎的鯊魚牙齒化石。
- 破碎(手掌)第一次辨識(使用第七版模型)：使用第二批借用化石中12顆破碎(僅有四類)作為測試樣本，發現辨識率不佳，約69.44%。
  - 分析原因：發現上下左右的切割方式，無法保留完整特徵。
  - 改進方式：創意發想決定左右對角線斜切，可保留較多特徵。

檢測物(不完整牙齒)	辨識次數/結果	辨識成功率				
類別	樣本	第一次	第二次	第三次	單筆平均	總平均
大白鯊	第一隻a1	大白鯊	灰鯖鯊	大白鯊	66.7%	77.8%
	第二隻a2	大白鯊	大白鯊	大白鯊	100.0%	77.8%
	第三隻a3	大白鯊	大白鯊	虎鯊	66.7%	77.8%
公牛鯊	第一隻a1	公牛鯊	虎鯊	灰鯖鯊	0.0%	33.3%
	第二隻a2	公牛鯊	灰鯖鯊	灰鯖鯊	0.0%	33.3%
	第三隻a3	公牛鯊	公牛鯊	公牛鯊	100.0%	100.0%
虎鯊	第一隻a1	虎鯊	虎鯊	虎鯊	100.0%	



# 討論

## 手掌背景各版辨識模型 (V2-V8) 成功率



- 為何現生鯊魚牙齒顏色為乳白色，但是我們借用和採集的化石皆為黑灰色？詢問專家後才知道黑色的鯊魚牙齒通常是在高濃度磷酸鹽的環境下形成的。
- 鯊魚牙齒化石辨識APP在實驗室化石標本實測七階段成果 (參考圖1)：

### 1. 完整牙齒+素底 (紅/綠底)：

- 第一次辨識 (使用第二版模型)：發現各類鯊魚的辨識率不佳，辨識率差原因可能為角度、鏡頭遠近、閃光燈開啟、對焦，並發現有放錯位置的資料。
- 第二次辨識 (使用第三版模型)：每顆化石使用正、反面以及上下左右傾斜30度共6個角度，重新拍照後，整合紅綠素底和手掌三種背景以增加更多的訓練資料，辨識率提升許多。
  - APP找出化石專家分類錯誤：進行第三版模型測試時，發現虎鯊易辨識成公牛鯊。於是我們將所有虎鯊牙齒化石和公牛鯊比對，發現有一顆虎鯊牙齒與公牛鯊牙齒有極高的相似度；我們詢問專家是否可以將這類專家分類錯誤虎鯊牙齒歸類在公牛鯊牙齒裡面？專家回應可以。經過重新分類建模後，我們的APP辨識率有大幅的增加 (如圖6)。



### 2. 完整牙齒+手掌背景

- 第一次辨識 (使用第三版模型)：發現大部分鯊魚的辨識率表現不好。分析手掌掌紋和手指縫隙可能造成辨識率差。
- 第二次辨識 (使用第四 & 第五版模型)：請教專家後決定將模型從第四版VGG16模型 (僅有16層神經網路運算) 切換到第五版 ResNet152模型 (有152層)，來讓辨識率提升。模型可以提取的特徵比較多，正確率會比較高，但是同時也需要較多的運算時間，約需10-15秒。
- 第三次辨識 (使用第六版模型)：再度向專家借用第二批71顆化石，影像訓練資料從990張擴增至1416張。



### 3. 破碎牙齒+手掌背景

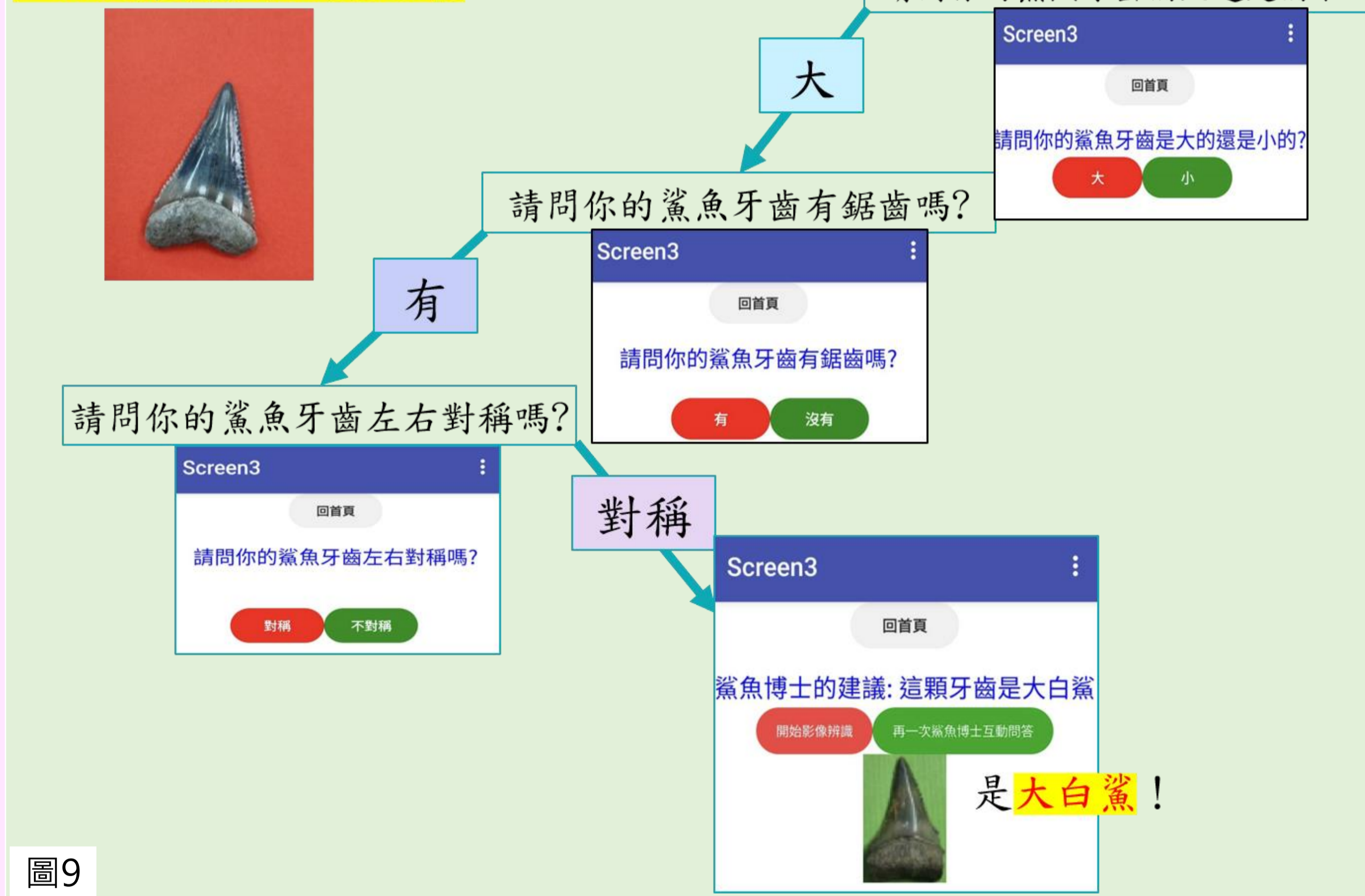
- 第一次辨識 (使用第七版模型)：平均正確率69.44%；發現上下左右的切割方式，仍然缺乏部分特徵；決定擴增左右對角線斜切，擴增訓練資料量至1736張。
- 第二次辨識 (使用第八版模型)：經上下左右斜切優化後，驗證結果平均正確率88.89% (如圖7和圖8)。

三. 嘉義博物館實地 APP 測試確實能有效辨識出鯊魚牙齒類別，博物館研究人員深感興趣也下載APP實測大白鯊化石，顯示正確結果 (參考圖2)，想要與團隊合作未來授權在博物館鯊魚展區長期使用我們的APP。

四. 左鎮平和橋戶外 APP 測試，我們採集到大白鯊，公牛鯊及灰鯖鯊之牙齒化石各1顆，經AI影像辨識 APP 實測後皆能正確地辨識出來 (如右上圖3至圖5)。

五. 本次科展另外開發的互動問答益智學習遊戲使用AI「決策樹」技術：決策樹技術最特別實用的技巧是「二元分類技術」，以大白鯊為例 (如圖9示範)，經過3輪提問，即可讓使用者快速得到正確答案。

### 二元決策樹多輪問答示範：以大白鯊為例



# 結論

本研究包括拜訪化石專家和影像辨識專家、借用化石和現生標本、量測和分析鯊魚牙齒的特徵、訓練影像辨識分類模型、使用 APP Inventor 開發 APP、在實驗室、博物館和野外進行 APP 的實測和驗證，針對完整鯊魚牙齒化石可高達92%的辨識率。

### 一. 本團隊開發了三個項目

- 後台辨識引擎可以有效地辨識七種鯊魚牙齒化石，並在APP提供鯊魚的科普資訊和影片，並且在不同的背景、光線、角度和距離下都有穩定的辨識效能，具有實用性。
- 增加了「鯊魚小博士」二元決策樹互動問答學習的功能，除了輔助鯊魚牙齒分類，並導入語音說明問題及按鈕型式回答，讓小孩和老人也可以輕鬆操作使用，更具實用性，可以擴展更多族群使用。
- 增加了「鯊時間」益智遊戲的功能，讓使用者可以更有興趣地學習鯊魚的知識，深具教育意義。

二. 根據左鎮平和橋野外的實測數據，我們開發的APP仍然可以有效辨識出鯊魚牙齒類別，本研究貢獻等同是創造了一個隨身攜帶的化石專家，讓使用者在野外採集化石時能夠快速辨別化石種類。

三. 在本次研究中，我們陸續遭遇各種問題和挑戰，也發現影響化石辨識率的因素有以下六點 (由淺至深)，並逐步解決：

### 淺層問題

- 陰影與模糊問題 (色彩差異)：拍攝時需聚焦和補充光線，如閃光燈。
- 資料有誤：請組員交互檢查避免放置錯誤目錄。
- 背景干擾 (掌紋、顏色)：增加背景類型。
- 數量不足：增加拍攝角度並考慮使用現生標本和網路圖片。
- 模型品質不佳：請教專家更換比較強健的模型。

### 深層問題

- 破碎不完整：用特殊切割法 (上下、左右、斜切) 訓練比較多元的模型。

### 未來展望：

本研究涵蓋台灣常見七種鯊魚牙齒化石，尚未涵蓋所有的鯊魚種類化石。我們的完整化石影像辨識APP有92%正確率，我們也嘗試破碎不完整化石的辨識，確實遭遇較大的困難挑戰，激發照片去背切割化石牙齒的創意構想，已經有89%正確率。但還是需要收集和切割更多的訓練資料，並優化辨識模型的穩定性和準確性。本團隊期待能夠與更多的博物館和化石專家合作，將本研究所開發的APP上架和推廣給更多的民眾使用，並收集更多的回饋和建議，以改善APP的功能和品質。



# 參考資料

- 盧牧謙、嚴泓歲、周致廷、謝文廷 (2012)。雙角轉輪蟹的前世與今生 - 玉蟹科化石分類研究。中華民國第52屆中小學科學展覽會作品。
- 薛文吉 (2004)。嘉義地區化石圖鑑。嘉義市政府文化局。
- 鐘廣吉、許崑泉等編 (2014)。臺南市新化丘陵區的化石家族。臺南市文化局。
- 臺灣魚類資料庫：<http://fishdb.sinica.edu.tw/>
- 李美華、諾爾琳 (2000)。稱霸海洋的鯊魚。新北市：百年文化。
- 陳曦、馬斯格雷夫 (2015)。鯊魚Everything。臺北市：大石文化。
- 黃奕翔 (2015)。細說鯊魚與其他海洋動物。嘉義市：明山書局。
- 國立海洋生物博物館 (2008)。Shark!Shock! "驚"鯊。鯊國立海洋生物博物館。