

# 2012年自動化監測技術應用於鳥類行為及 棲地監管計畫 成果報告

計畫執行期間：自 101 年 7 月 3 日 至 101 年 12 月 10 日

計畫主持人：袁孝維教授、江昭皚教授、邱祈榮副教授、莊欽龍博士

執行機關：臺灣大學

## 目錄

壹、 緒論 .....	1
一、 前言 .....	1
二、 計畫目標與時程 .....	3
貳、 馬祖燕鷗保護區環境分析 .....	7
一、 燕鷗保護區鳥況調查 .....	8
二、 燕鷗保護區植被調查 .....	12
參、 自動化監測設施之設置 .....	12
一、 即時影像監測系統 .....	33
二、 微型氣象監測站 .....	61
三、 自動攝影機系統 .....	70
肆、 監測資訊結果分析 .....	73
一、 即時影像監測系統 .....	73
二、 自動攝影機影像 .....	80
三、 微氣象監測站系統 .....	85
四、 裝備撤收情形 .....	92
五、 系統穩定性分析 .....	93
伍、 結論 .....	105
參考文獻 .....	113
附錄一 期中審查意見回覆 .....	119

---

## 圖目錄

圖 1-1 工作流程圖 .....	4
圖 1-2 計畫人員配置圖 .....	5
圖 1-3 馬祖燕鷗保護區各島位置圖.....	7
圖 2-1 2012 年 4 月中島植群分布圖.....	26
圖 2-2 2012 年 10 月中島植群分布圖 .....	27
圖 2-3 2012 年 4 月鐵尖植群分布圖.....	28
圖 2-4 2012 年 10 月鐵尖植群分布圖 .....	29
圖 2-5 2012 年 4 月蛇山植群分布圖.....	30
圖 2-6 2012 年 10 月蛇山植群分布圖 .....	31
圖 2-7 2011 年 4 月中島植群分布圖 .....	15
圖 2-8 2011 年 4 月鐵尖植群分布圖 .....	16
圖 2-9 2011 年 4 月蛇山植群分布圖 .....	17
圖 2-10 2011 年 10 月中島植群分布圖 .....	19
圖 2-11 2011 年 10 月鐵尖植群分布圖 .....	20
圖 2-12 2011 年 10 月蛇山植群分布圖 .....	21
圖 3-1 從核心控制之電源控制板 PCB 上層及下層圖 .....	33
圖 3-2 電源電路設計.....	34
圖 3-3 LDO 電源設計 .....	35
圖 3-4 繼電器開關電路.....	35
圖 3-5 前端影像監測系統架構圖 .....	36
圖 3-6 前端影像監測系統實體俯視圖 .....	37
圖 3-7 前端影像監測系統實體封裝圖 .....	37
圖 3-8 主核心控制之主機板 PCB 上層及下層圖 .....	38

圖 3-9 LED INDICATOR 各種燈號示意圖 .....	40
圖 3-10 DS1302 電路設計 .....	41
圖 3-11 電源管理開關電路 .....	41
圖 3-12 MAX3245 電路設計 .....	42
圖 3-13 C628 數位相機模組實體圖及系統內部區塊圖 .....	43
圖 3-14 系統韌體程式核心架構圖 .....	47
圖 3-15 系統韌體程式核心架構立體示意圖 .....	47
圖 3-16 前端影像傳輸主機板系統流程圖 .....	48
圖 3-17 C628 相機模組運作程式流程圖 .....	49
圖 3-18 3G/GPRS 行動通訊模組程式流程圖 .....	50
圖 3-19 從核心電源控制板之程式流程概要 .....	51
圖 3-20 回傳最小單位封存格式示意圖 .....	52
圖 3-21 後端發送指令封包格式示意圖 .....	52
圖 3-22 補傳指令詳細格式 .....	55
圖 3-23 後端影像封包解析及合成程式流程圖 .....	57
圖 3-24 後端 LABVIEW 影像合成頁面 .....	58
圖 3-25 後端 LABVIEW 控制指令發送頁面 .....	59
圖 3-26 燕鷗生態即時影像網頁服務 .....	60
圖 3-27 微氣象監測站系統架構圖 .....	62
圖 3-28 微氣象監測站實體圖 .....	62
圖 3-29 微氣象監測站周邊模組架構圖 .....	63
圖 3-30 本微氣象監測站所使用的中央微處理機 .....	64
圖 3-31 GSM 可將感測資料利用 SMS 服務送回遠端資料庫 .....	65

圖 3-32 實時晶片 DS1302 可提供系統現實世界時間 .....	65
圖 3-33 SHT71 可提供本氣象監測站溫溼度等重要數據 .....	66
圖 3-34 TX-12U 風速計與 TX-10U 雨量計.....	67
圖 3-35 TX-10U 風速計的 6P4C 接腳 .....	68
圖 3-36 風速/風向感測器資料封包格式 .....	68
圖 3-37 今年增購之數位式紅外線自動相機 .....	70
圖 3-38 架設於假鳥附近之兩種自動照相機 .....	71
圖 3-39 蛇山 G6 機台、自動照相機、氣象站與假鳥(D 字位置)擺設位置圖 .....	71
圖 4-1 前端影像監測站於蛇山佈建情形 .....	74
圖 4-2 北竿鄉周圍 2G(左)及 3G(右)訊號強度圖(國家通訊傳播委員會, 2011).....	74
圖 4-3 G6 一日內隨選四張圖片集.....	75
圖 4-4 2012/5/23 下午 15:00 記錄到第一群大鳳頭燕鷗 .....	76
圖 4-5 2012/05/25 上午 10:00 首次發現黑嘴端鳳頭燕鷗.....	77
圖 4-6 2012/05/26 下午 15:00 確認黑嘴端鳳頭燕鷗停棲在蛇山.....	77
圖 4-7 2012/06/17 下午 13:30 發現鏡頭前的繁殖族群有棄巢狀況.....	78
圖 4-8 2012/06/18 下午 17:30 畫面中只剩假鳥還在巢區內.....	78
圖 4-9 上圖為下坡第二組假鳥位置，下圖為上坡處第一組假鳥位置 .....	81
圖 4-10 自動攝影機拍攝到的黑嘴端鳳頭燕鷗.....	82
圖 4-11 上圖為鳳頭燕鷗的巢蛋位置，下圖為黑嘴端鳳頭燕鷗的巢位 .....	83
圖 4-12 自動相機的畫面中常可見鳳頭燕鷗停棲在假鳥上方 .....	84
圖 4-13 今年度又再次記錄到帶有足旗的鳳頭燕鷗 .....	84
圖 4-14 蛇山氣象監測站.....	85
圖 4-15 微氣象監測站程式流程.....	86
圖 4-16 由上至下分別為三月、四月與五月的每十分鐘溫度變化資料 .....	88

圖 4-17 由上至下分別為三月、四月與五月的每十分鐘雨量變化資料.....	89
圖 4-18 由上至下分別為三月、四月與五月的每十分鐘相對濕度變化資料.....	90
圖 4-19 由上至下分別為三月、四月與五月的每十分鐘風速變化資料.....	91
圖 4-20 鉛蓄電池並未受潮，太陽能板也維持正常運作.....	92
圖 4-21 攝影鏡頭被鳥糞沾染與海鹽結晶的情形.....	92
圖 4-22 遭強風吹倒而進水的自動照相機.....	93
圖 4-23 GM-44 提供之 GPS 時間以及 RTC 電路提供之時間對照.....	95
圖 4-24 不同壓縮率下回傳圖片的比較.....	97
圖 4-25 連續拍攝照片及回傳週期測試實驗.....	98
圖 4-26 固定速率下連續傳輸照片之封包遺失量.....	99
圖 4-27 前端影像監測系統週期耗能圖.....	101
圖 4-28 前端影像監測系統上傳影片(1740 KB)耗能圖.....	102
圖 4-29 前端影像監測系統上傳影片(2760 KB)耗能圖.....	102

---

## 表目錄

表 2-1 中島鷗科鳥類數量列表 .....	8
表 2-2 鐵尖鷗科鳥類數量列表 .....	9
表 2-3 白廟鷗科鳥類數量列表 .....	9
表 2-4 三連嶼鷗科鳥類數量列表 .....	10
表 2-5 蛇山鷗科鳥類數量列表 .....	10
表 2-6 2000-2010 年馬祖列島燕鷗保護區的黑嘴端鳳頭燕鷗(CCT)與鳳頭燕鷗(CT, 括弧內資料) 繁殖族群變化(資料來源為馬祖野鳥學會與台北市野鳥學會) .....	11
表 2-7 2012 年中島植群覆蓋度與高度列表 .....	26
表 2-8 2012 年 10 月中島植群覆蓋度與高度列表 .....	27
表 2-9 2012 年 4 月鐵尖植群覆蓋度與高度列表 .....	28
表 2-10 2012 年 10 月鐵尖植群覆蓋度與高度列表 .....	29
表 2-11 2012 年 4 月蛇山植群分布圖 .....	30
表 2-12 2012 年 10 月蛇山植群分布圖 .....	31
表 2-13 2011 年 4 月中島植群覆蓋度與高度列表 .....	15
表 2-14 2011 年 4 月鐵尖植群覆蓋度與高度列表 .....	16
表 2-15 2011 年 4 月蛇山植群分布圖 .....	17
表 2-16 2011 年 10 月中島植群覆蓋度與高度列表 .....	19
表 2-17 2011 年 10 月鐵尖植群覆蓋度與高度列表 .....	20
表 2-18 2011 年 10 月蛇山植群覆蓋度與高度列表 .....	21
表 3-1 MSP430F5438 主要功能規格列表 .....	39
表 3-2 C628 數位相機模組相關規格 .....	44
表 3-3 主要流程五種旗標之各項參數 .....	錯誤! 尚未定義書籤。
表 3-4 後端各項控制指令表 .....	54

表 3-5 FTP SERVER 四大優點以及缺點 .....	56
表 3-6 二進制與十六方位轉換表 .....	69



# 壹、緒論

## 一、前言

近年來由於地球環境變遷人類活動與生物動態開始產生變異且日益漸增，然而因環境變遷對於生物界所造成的災難性影響更是時有所聞。為何環境變遷會造成如此的影響，人類開始尋找答案，野生動物的生態監測遂成為人類了解生態環境變化的最佳工具。傳統的監測野生動物生態環境的方法包含定期人力檢測與紀錄，然而人力成本預算有限，且人力檢測無法連續性的檢測紀錄。因此，人類開始以自動化的監測技術減少人力預算與連續性檢測紀錄。慶幸今日計算機技術及網際網路日新月異，使得自動化監測技術臻至成熟，已可將遠端感測資訊自動回傳至後端伺服器。自動化監測系統除了被使用在野生動物的生態監測上，更已在各種應用領域嶄露頭角，無論是電子電機、醫療保健、農業領域等皆受重視。

田野伺服器(Field Server)為近年來新興的野外監測設備，主要功用在於可代替傳統耗費人力的監測方式，利用機電整合技術及網路傳輸來達到自動化資料收集的目的。針對監測目標的不同，田野伺服器亦可結合不同的周邊模組，包含紅外線攝影、雨量、風速、風向、環境溫度、濕度等感測器。利用田野伺服器之概念，本計畫擬定建立一套影像追蹤系統。此系統擬結合無線通信技術操控前端監測系統。

目前，大多數的野生動物監測系統多以被動式監測為主(現地記錄型)。然而以被動式監測的方式有下列缺點：監測方式不具有即時性，此類型系統須於建置一段時間後，再由研究人員前往監測地點取回以資進行資料分析，可視為使用歷史資料進行分析與研究。因此，此類系統僅適用於紀錄資料、追究成因以供未來參考，無法有效提供研究人員第一時間之資訊，進而群策最佳對應方案。以今日計算機技術及網際網路技術之成熟，被動式監測的腳步系統已無法跟上資訊科技(Information Technology, IT)如此進步的今日。

於野外環境運作之系統需於佈建時選定適當之監測地點，亦或於佈建系統前掌握監測地足夠相關背景知識，亦需考量系統對監測對象的影響程度。以影像監測系統為例，因監測對象的動態行為不可預知，系統的架構方式下列二種方式：1：於監測地點大量佈建系統，使用高覆蓋率達到擷取監測對象資料來達成監測手段。然而，此方法耗費大量成本亦增添佈建難度，同時造成許多冗贅之資料。2：確認監測對象所在位置後，至監測地點佈建系統。然而，當監測對象並非為靜止不動之目標物，研究人員需於對象移動之際即前往調整系統，造成不必要的人力資源浪費。綜觀以上論述，可知影像監測系統最佳佈建方法為於監測對象預定活動區域找尋具最大觀測優勢之地點，建立可改變監測模式之影像監測系統，同時提供可遠端改變各項監測模式之功能，方能同時達到降低佈建難度、減少所需人力資源及獲取有效影像資訊。

生態監測所需面臨之最大挑戰為電池續航力，監測所需之資料為長時間且連續的，故提供適當的電力來源有其必要性。此外，耐候性和持久性亦為影響系統生命週期的另兩大重要因素。耐候性為系統於氣候變化劇烈的嚴苛環境中正常運作的能力；持久性與系統耗能程度有所關連，如系統有穩定供電來源，則無此問題存在。但是，野外環境並不常有穩定供電來源，此時系統的耗能特性就顯得格外重要。

本計畫以臺灣馬祖列島燕鷗自然保護區之燕鷗生殖群聚為監測對象。燕鷗是具有長途遷徙習性之海鳥，於每年夏日時分至臺灣馬祖地區尋找棲息地以行產卵及孵育等行為。本計畫將以微處理器以及數位攝影技術建構影像監測暨追蹤系統，並使用行動通信技術將影像回傳至後端伺服器，其中微處理器之低耗能特性及無線傳輸之即時性為此系統架構的重要特點。此外，本計畫亦將建構一完善交握機制，以使後端控制平台能利用行動通信技術來傳輸指令，進而控制前端系統改變拍攝各項參數。希冀以此低耗能、具有可控性及即時性之影像監測系統提供有效資訊，以利加強野生動物生態保育及管理。

鳥類生態與習性的研究，需經由觀察其歇息、飛行、行走及溝通等動作來達成研究目標，因此需要實地訪查或以照片為判斷依據，實地訪查太過於耗費成本，且研究人員無法長時間於該地進行觀察任務，故需要以照片為研究之輔助工具，現今被動式攝影機已商業化，將裝置置於監測地點並於一段時間後取回並讀出照片，但此種方式無法即時的將影像資料回傳，常使研究無法抓住先機。對此，本計畫擬建置一遠端控制與監測之攝影系統，期能將當下的監測地區情況回傳至資料庫供研究人員使用。

## 二、計畫目標與時程

### (一)工作目標

本計畫具體工作目標如下：

1. 建置影像監測系統
2. 分析各種自動化監測設備的應用成效，及其對島上燕鷗群聚及行為的可能影響
3. 分析燕鷗生殖行為與周邊微環境之關係
4. 根據監測資訊，分析棲地環境變化情形
5. 擴大保護區之監測範圍

## (二) 工作流程

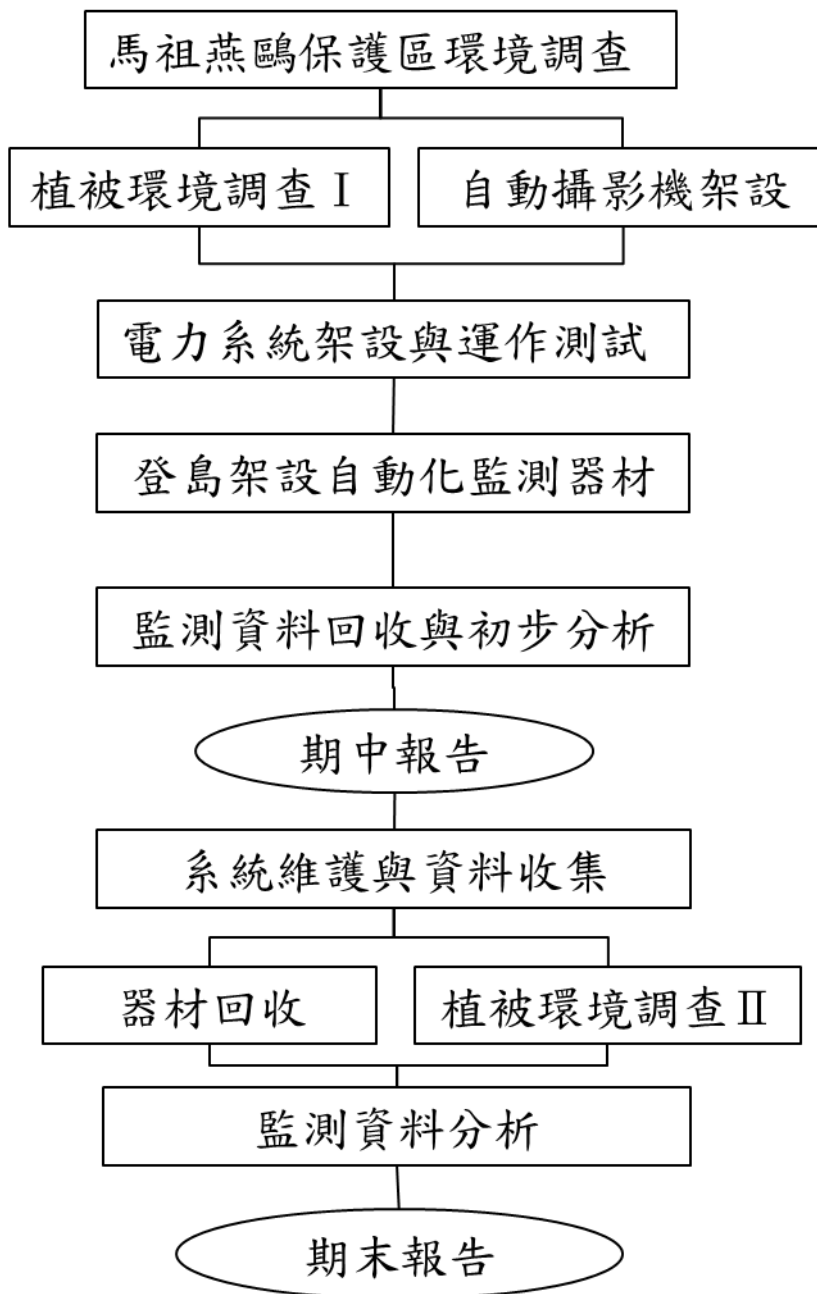


圖 1-1 工作流程圖

### (三)工作人員配置

工作團隊由台灣大學生物多樣性研究中心組成，主要成員森林環境暨資源學系袁孝維教授與邱祈榮助理教授，與生物機電系江昭皚教授、莊欽龍博士，其分工情形如下圖所示：

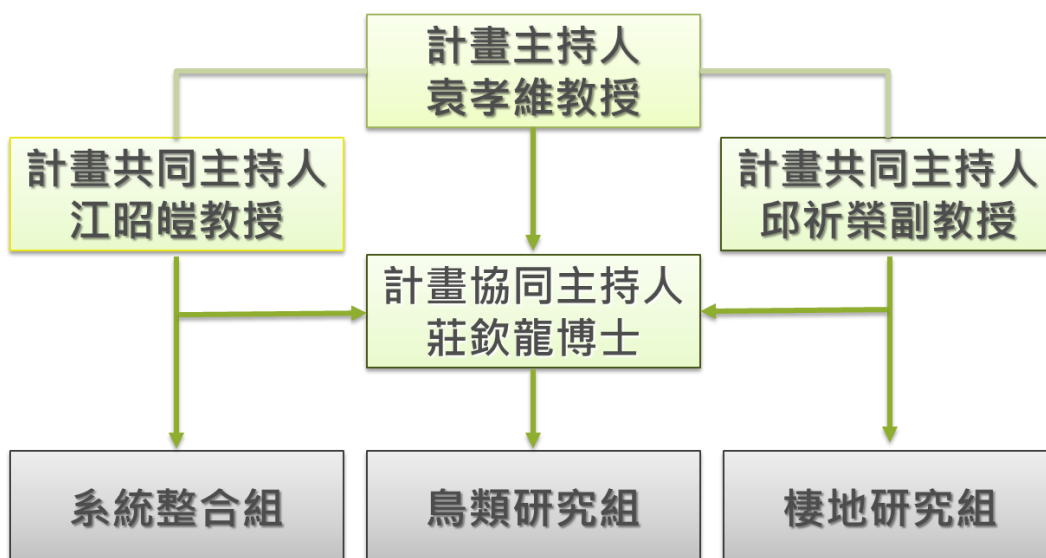


圖 1-2 計畫人員配置圖

#### 1. 鳥類研究組

由袁孝維教授團隊負責，其成員如下表所示：

姓名	職稱	專長	研究年資
洪崇航	博士班研究生	鳥類行為觀察及分析	6
張樂寧	碩士班學生	鳥類行為觀察及分析	1

## 2. 系統整合組

由江昭皚教授團隊負責，其成員如下表所示：

姓名	職稱	專長	研究年資
莊欽龍	協同主持人	無線感測網路	7
陳家榜	博士後研究員	無線感測網路	5
林子翔	博士班研究生	無線感測網路	3

## 3. 棲地研究組

由邱祈榮副教授團隊負責，其成員如下表所示：

姓名	職稱	專長	研究年資
林政道	博士班研究生	植群分類	7

## 貳、馬祖燕鷗保護區環境分析

馬祖列島燕鷗保護區依野生動物保育法成立於民國 89 年，總共包括四鄉中的 8 座島嶼，即北竿鄉的鐵尖島、白廟、三連嶼、中島、進嶼，南竿鄉的劉泉礁、東引鄉的雙子礁以及莒光鄉的蛇山，相對地理位置如下圖：

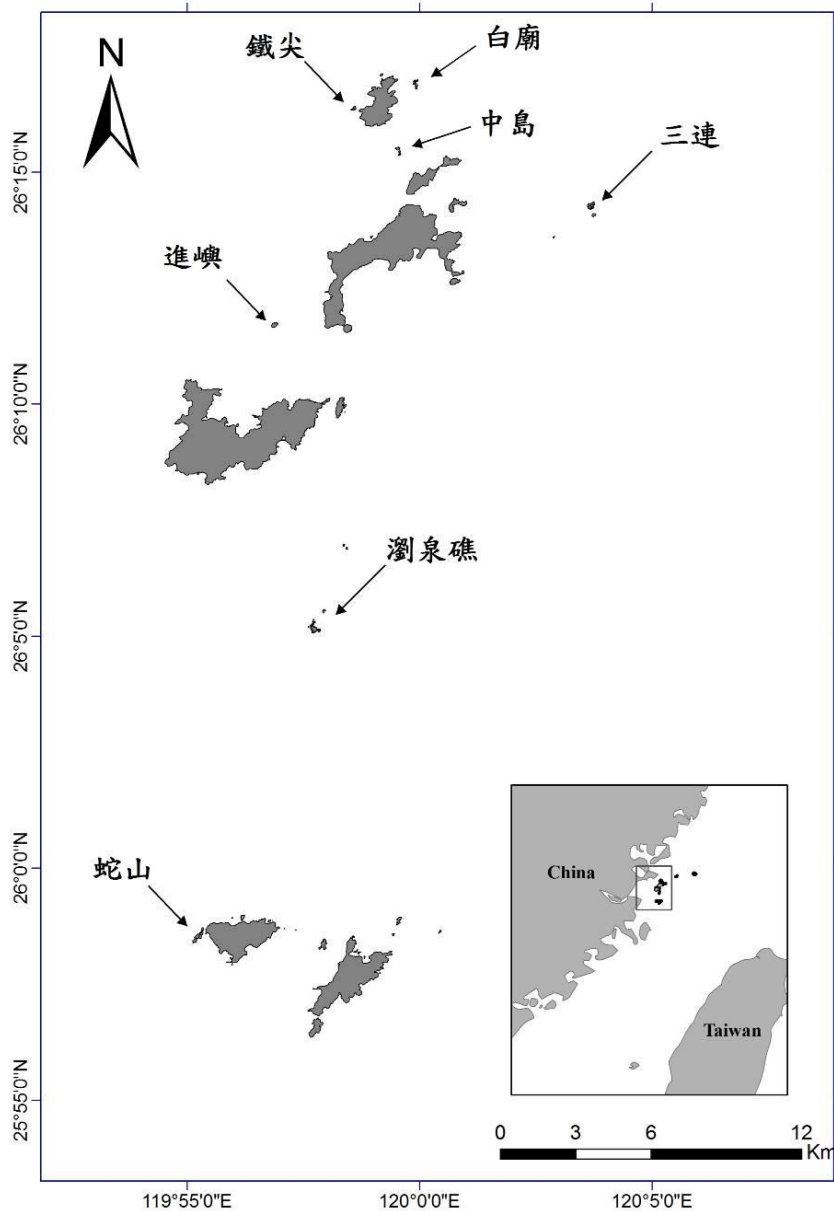


圖 1-3 馬祖燕鷗保護區各島位置圖

## 一、 燕鷗保護區鳥況調查

本團隊自今年 4 月起每月與台北鳥會一同至馬祖燕鷗保護區，租船出海調查保護區各列島之鳥況。今年 5 月 19 日在蛇山海域上觀察到第一筆黑嘴端鳳頭燕鷗的紀錄，也在 5 月 22 日確認鳳頭燕鷗與黑嘴端鳳頭燕鷗於蛇山上開始進行繁殖。在 6 月 13 日的調查發現蛇山的鳳頭燕鷗族群已達一千隻以上，也透過單筒望遠鏡確定有兩對黑嘴端鳳頭燕鷗於蛇山頂端區域築巢。可惜的是在 6 月 20 日間泰利颱風過後，蛇山的鳳頭燕鷗繁殖族群大幅下降，至 7 月間已無觀察到尚在繁殖的族群。比對 2000 年至 2011 年的資料(表 2-6)也發現今年為歷年來繁殖族群量最低的一年。

表 2-1 中島鷗科鳥類數量列表

調查日期	5/23	6/27	7/11	7/26	8/8
白眉燕鷗	70	17	250	210	130
紅燕鷗					
蒼燕鷗	10	10		3	2
鳳頭燕鷗	260			1	4
黑嘴端鳳頭燕鷗	2				



表 2-2 鐵尖鷗科鳥類數量列表

調查日期	5/23	6/27	7/11	7/26	8/8	9/13
白眉燕鷗		4	40	15	27	14
紅燕鷗	10	2				
蒼燕鷗	27	14	16	1		
鳳頭燕鷗	26			1		
黑嘴端鳳頭 燕鷗						

表 2-3 白廟鷗科鳥類數量列表

調查日期	5/23	6/27	7/11	7/26	8/8	9/13
白眉燕鷗	290	40	450	140	70	150
紅燕鷗						
蒼燕鷗	1	12	20	4		
鳳頭燕鷗	8				2	
黑嘴端鳳頭 燕鷗						

表 2-4 三連嶼鷗科鳥類數量列表

調查日期	5/23	6/27	7/11	7/26	8/8	9/13
白眉燕鷗	190	110	340	610	500	150
紅燕鷗		2				
蒼燕鷗		8				
鳳頭燕鷗						
黑嘴端鳳頭 燕鷗						

表 2-5 蛇山鷗科鳥類數量列表

調查日期	5/22	6/13	6/24	7/10	7/25	8/7	9/13
白眉燕鷗	250	78	30	110	146	300	150
紅燕鷗	210	47	4	2	2		
蒼燕鷗	4	15	12	9	12	7	
鳳頭燕鷗	16	1130	570	18	400	250 <sup>1</sup>	
黑嘴端鳳頭 燕鷗		4	2		1	2	

<sup>1</sup> 8/7 當日觀察到 5 隻鳳頭燕鷗幼鳥

<sup>2</sup> 在馬祖地區應為漢氏綾鯢(*Thryssa hamiltonii*) 與黃鯽(*Setipinna taty*)

表 2-6 2000-2010 年馬祖列島燕鷗保護區的黑嘴端鳳頭燕鷗(CCT)與鳳頭燕鷗(CT, 括弧內資料)繁殖族群變化(資料來源為馬祖野鳥學會與台北市野鳥學會)

年份	中島	蛇山	進嶼	三連嶼	鐵尖	白廟	瀾泉礁	總計		CT
								CCT 成鳥	幼鳥	
2000	12(2440)							8	4	2440
2001	1		(590)					1	0	590
2002		9(2130)						6	3	2130
2003			1(680)				1(1470)	2	0	2150
2004					16(2150)	2(1250)		12	6	3400
2005				2(1823)				2	0	1823
2006		(380)	(450)	10(2350)				7	3	3180
2007		12(2370)	(250)	3(450)				10	5	3070
2008					20(3000)			15	5	3000
2009				7(2500)		1(56)		6	2	2556
2010	13(5500)							10	3	5500
2011	(90)				7(3000)			7	2	3090

## 二、 燕鷗保護區植被調查

馬祖燕鷗保護區主要為火成岩及其變質岩所構成的小島，土壤化育不易，成為影響植群分布的主要因素。馬祖全年盛行東北風，尤以冬季盛行之東北季風更為強勁，但因缺乏地形阻擋，東北季風並未帶來豐沛的降水。而保護區之小島腹地狹小，地形陡峻，難以蓄含淡水資源，因此植物的生長全仰賴霧氣與降水。

目前植群調查資料較為完整的中島、鐵尖以及蛇山三個小島上，以鐵尖的物種最為豐富，植群的多樣性也最高，既有蔓性灌叢，疏生灌叢、非禾草草地，也有各種不同高度的禾草地；其他兩座島主要則以低矮草地與疏生灌叢為主要的植群形相。

島上的植群分布大致上有一致的趨勢。在潮間帶及島嶼下坡處，因土壤保蓄差，且鹽份極高，受到潮汐的干擾大，幾乎沒有維管束植物可以生存，而形成裸岩；島嶼中坡處地是仍然陡峻，但因微地形的變化，使得土壤層的厚度產生差異，土壤層厚而背風處通常也較為潮濕，因此能有較茂密的植被覆蓋與較高大的植物個體，相對的如果土壤淺薄，則會以疏生灌叢與低矮草地為主；島嶼頂端通常地形較為平緩，土壤也較為深厚，但缺乏地形屏障，長年受到風衝，加上此區域為主要大鳳頭燕鷗之繁殖區域，常有大規模的擾動，因此植群類型主要是低矮草生地或疏生灌叢。

### (一)2010 與 2011 年植被狀況

在 2010 年與 2011 年的調查結果顯示，大部分島上的植群型年間變化並不大，但季節變化明顯，如番杏 (*Tetragonia tetragonoides* (Pall.) Kuntze.)、變葉藜 (*Chenopodium acuminatum* Willd. subsp. *virgatum* (Thunb.) Kitam.)、日本前胡 (*Peucedanum japonicum* Thunb.)、紅花石蒜 (*Lycoris radiata* Herb)、綿棗兒 (*Barnardia japonica* (Thunb.) Schultes & J. H. Schultes) 等一年生植物、地中植物、半地中植物的物候特性，使得不同季節的植群形相有所差異。

由繁殖季前的春季調查中，可發現大鳳頭燕鷗選用之巢區皆為靠近島頂的平緩地，且植被高度低於 30 cm 之低矮草生地或疏生矮灌叢，顯示地形位置與植被覆蓋是影響大鳳頭燕鷗選擇巢區的因素，與林于凱 (2007) 在澎湖的研究結果相似；相對的小灌木如紅仔珠 (*Breynia vitis-idaea* (Burm. f.) C. E. C. Fisch.)、菱葉捕魚木 (*Grewia rhombifolia* Kanehira & Sasaki)、細葉饅頭果 (*Glochidion rubrum* Bl.) 等、大型藤本植物如武靴藤 (*Gymnema sylvestre* (Retz.) Schultes)、山葡萄 (*Ampelopsis brevipedunculata* (Maxim.) Traut.) 等、大型草本植物如桔梗蘭 (*Dianella ensifolia* (L.) DC.)、芒 (*Miscanthus sinensis* Anders.) 等、或有刺灌叢如紅梅消 (*Rubus parvifolius* L.)、菝葜 (*Smilax china* Linn.) 等植物分布的生育地便不適於大鳳頭燕鷗繁殖使用。

然而在中島與鐵尖 2011 年的調查資料中，發現大鳳頭燕鷗的巢區植群在繁殖季結束後出現明顯的變化。中島之巢區於 2010 年與 2011 年都有大鳳頭燕鷗進行繁殖，在 2010 年繁殖季後，中島巢區仍有蘄艾 (*Crossostephium chinense* (L.) Makino) 與華南狗娃花 (*Aster ciliolus* (Turcz.) Hand.-Mazz.) 之疏生灌叢，然而在 2011 年繁殖季前的春季調查中，可以發現華南狗娃花已經幾乎消失，而蘄艾的數量也明顯減少，乃至 2011 年繁殖季後之調查，巢區已經幾乎沒有任何植被覆蓋；而鐵尖在 2011 年繁殖季後，拂子茅 (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth.) 草生地已幾乎完全枯死。

2011 年在中島繁殖之大鳳頭燕鷗於 6 月 15 日棄巢離開中島，而秋季調查日期為 10 月 14 日，在這四個月間，大鳳頭燕鷗的巢區內完全沒有任何植物個體入殖，土壤完全裸露，毫無植被覆蓋，顯示大鳳頭燕鷗連續兩年使用該巢區已經造成嚴重的植群劣化，而且難以復原；而鐵尖的拂子茅草生地也因為大鳳頭燕鷗的繁殖，導致拂子茅之地上部與地下部都死亡殆盡，但在秋季調查時已經有少數天門冬 (*Asparagus cochinchinensis* (Lour.) Merr.) 與細葉麥門冬 (*Liriope graminifolia* (L.) Baker) 之小苗入殖，顯示該生育地已有天然復育之機制，但可能短時間內難以復原成繁殖季前的樣貌。



圖 2-1 2011 年鐵尖拂子茅草原在燕鷗繁殖季前(左圖)後(右圖)的對比情形



圖 2-2 2011 年中島頂端巢區在繁殖季前(左圖)後(右圖)的植群變化情形

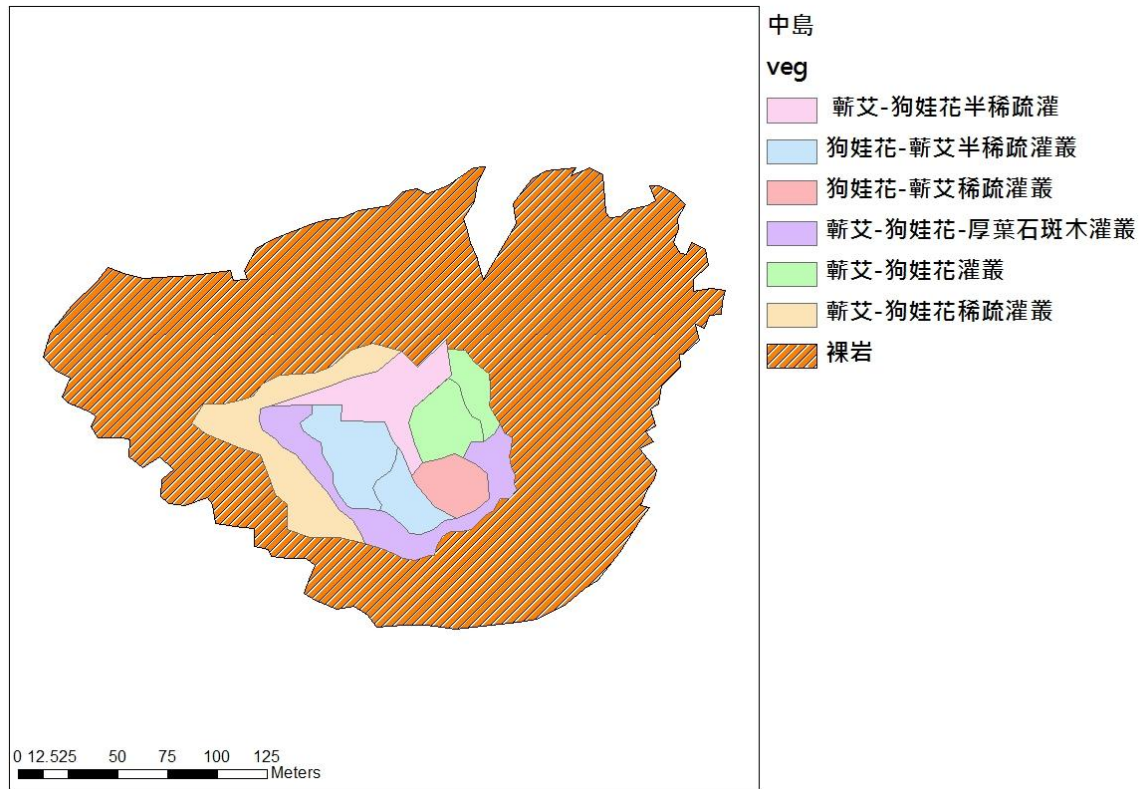


圖 2-3 2011 年 4 月中島植群分布圖

表 2-7 2011 年 4 月中島植群覆蓋度與高度列表

植群種類	高度(m)	覆蓋度(%)
蘆荻稀疏灌叢	0.3	35
厚葉石斑木-蘆荻半稀疏灌叢	0.5	50
蘆荻-狗娃花稀疏灌叢	0.3	40
蘆荻-變葉藜-狗娃花稀疏灌叢	0.3	70
番杏-變葉藜草坡	0.3	80
變葉藜-番杏稀疏草坡	0.2	25
變葉藜-番杏-狗娃花草坡	0.3	75
蘆荻-番杏灌叢	0.4	85

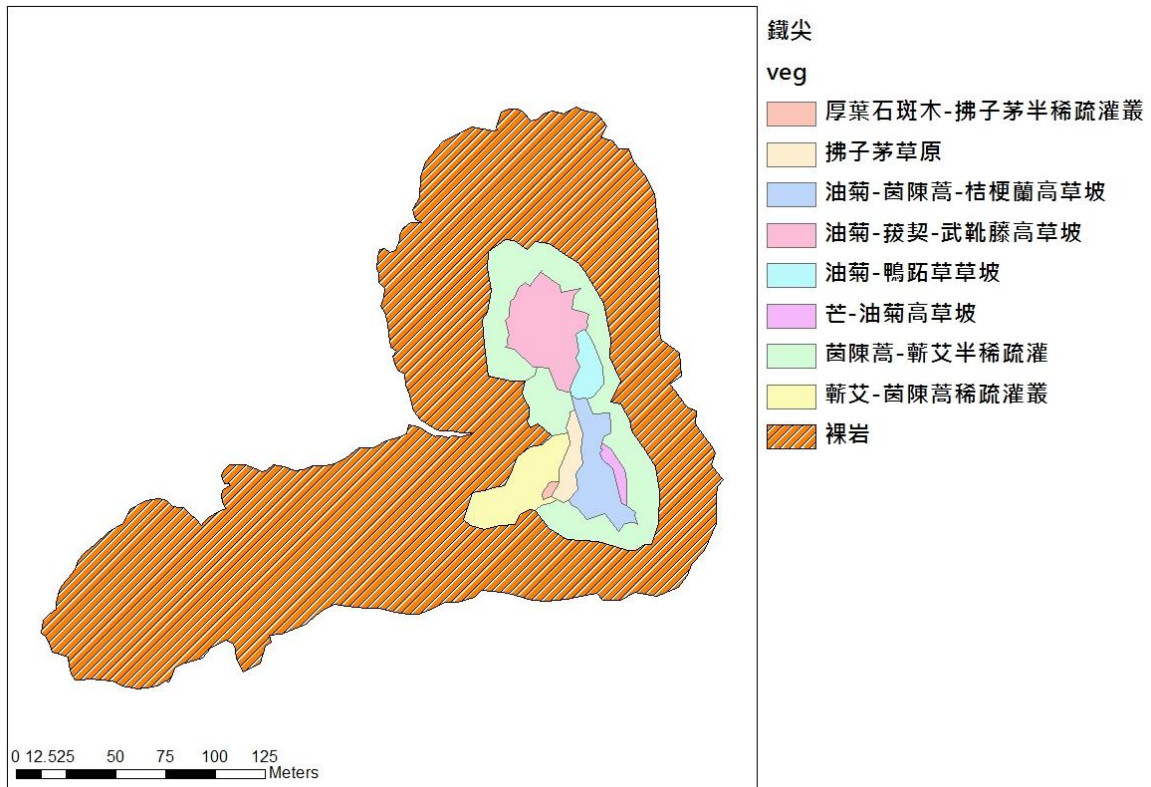


圖 2-4 2011 年 4 月鐵尖植群分布圖

表 2-8 2011 年 4 月鐵尖植群覆蓋度與高度列表

植群種類	高度(m)	覆蓋度(%)
茵陳蒿稀疏草坡	0.2	45
蘄艾-油菊半稀疏灌叢	0.3	60
桔梗蘭-紅梅消灌叢	0.8	80
芒-桔梗蘭草本及蔓性灌叢	0.6	85
拂子茅草生地	0.3	90
變葉藜-茵陳蒿稀疏草坡	0.3	40
菝葜-桔梗蘭蔓性灌叢	0.7	90
厚葉石斑木-海桐灌叢	1.2	65



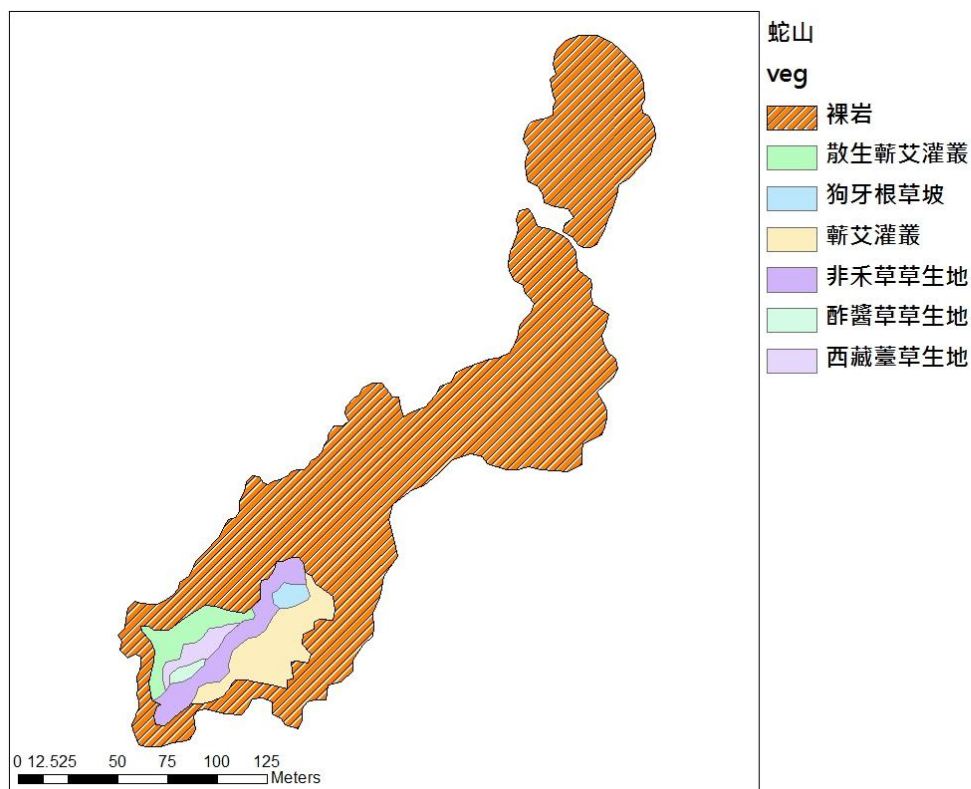


圖 2-5 2011 年 4 月蛇山植群分布圖

表 2-9 2011 年 4 月蛇山植群分布圖

植群種類	高度(m)	覆蓋度(%)
散生蘄艾灌叢	0.4	25
狗牙根草坡	0.2	95
蘄艾灌叢	0.4	75
非禾草草地	0.3	85
酢醬草草地	0.1	80
西藏薹草地	0.3	80

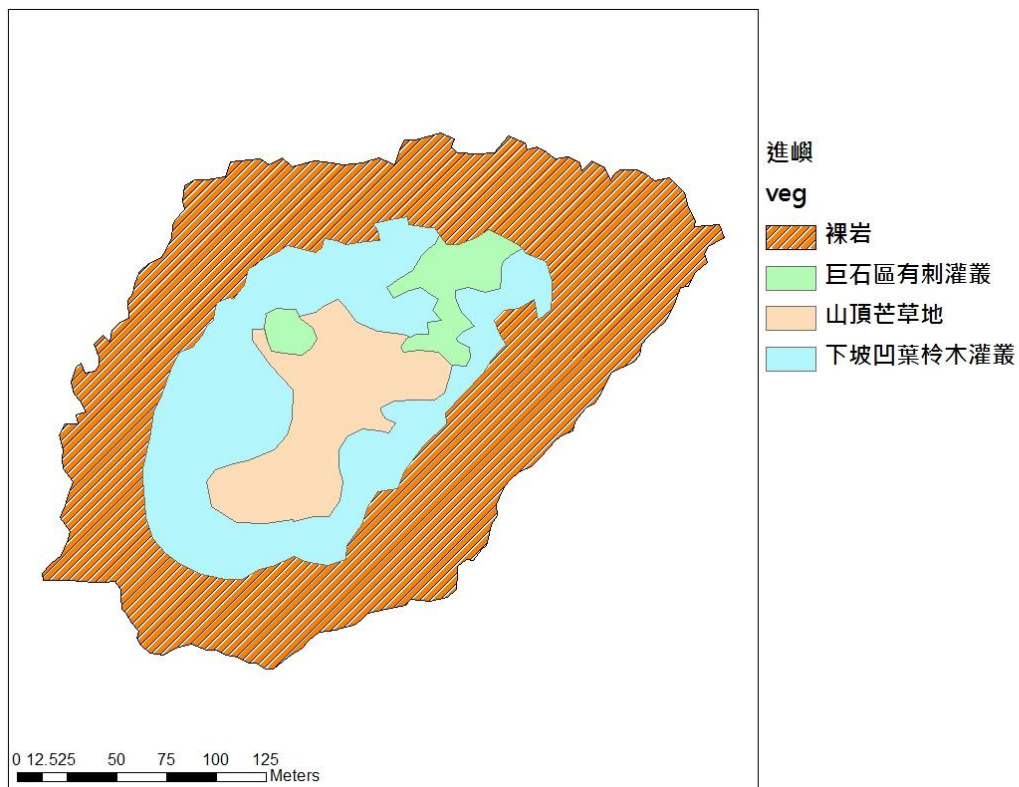


圖 2-6 2011 年 4 月進嶼植群分布圖

表 2-10 2011 年 4 月進嶼植群覆蓋與高度列表

植群種類	高度(m)	覆蓋度(%)
巨石區有刺灌叢	0.3	90
山頂芒草地	1.5	75
下坡凹葉柃木灌叢	2.1	85

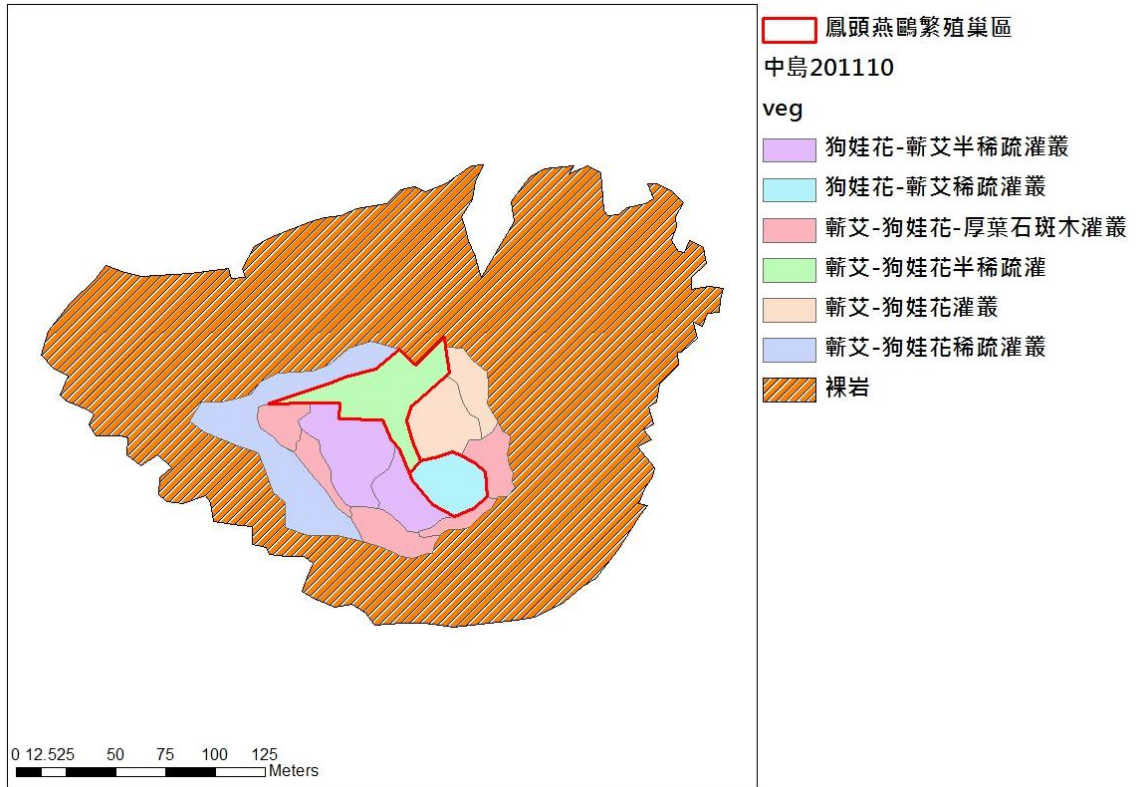


圖 2-7 2011 年 10 月中島植群分布圖(紅框處為該年巢區)

表 2-11 2011 年 10 月中島植群覆蓋度與高度列表

植群種類	高度(m)	覆蓋度(%)
蘆荻-狗娃花灌叢	0.9	85
蘆荻-狗娃花-厚葉石斑木灌叢	0.3	70
狗娃花-蘆荻半稀疏灌叢	0.3	30
狗娃花-蘆荻半稀疏灌叢	0.25	8
蘆荻-狗娃花稀疏灌叢	0.35	25
狗娃花-蘆荻稀疏灌叢	0.15	10
蘆荻-狗娃花半稀疏灌叢	0.2	30

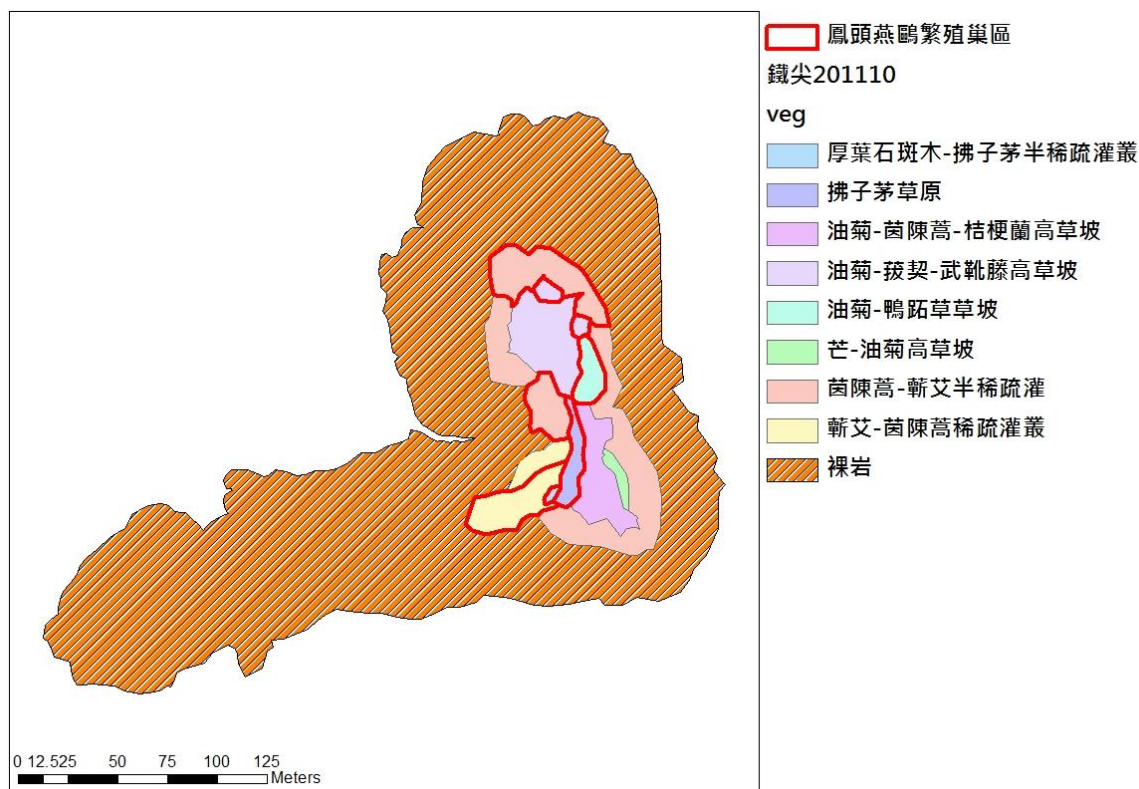


圖 2-8 2011 年 10 月鐵尖植群分布圖(紅框處為該年巢區)

表 2-12 2011 年 10 月鐵尖植群覆蓋度與高度列表

植群種類	高度(m)	覆蓋度(%)
油菊-茵陳蒿-桔梗蘭高草坡	1	90
油菊-鴨跖草草坡	0.25	85
拂子茅草原	0.3	20
厚葉石斑木-拂子茅半稀疏灌叢	0.9	90
蘆荻-茵陳蒿稀疏灌叢	0.2	30
芒-油菊高草坡	1.2	90
油菊-菝契-武靴藤高草坡	0.8	85
茵陳蒿-蘆荻半稀疏灌叢	0.3	45

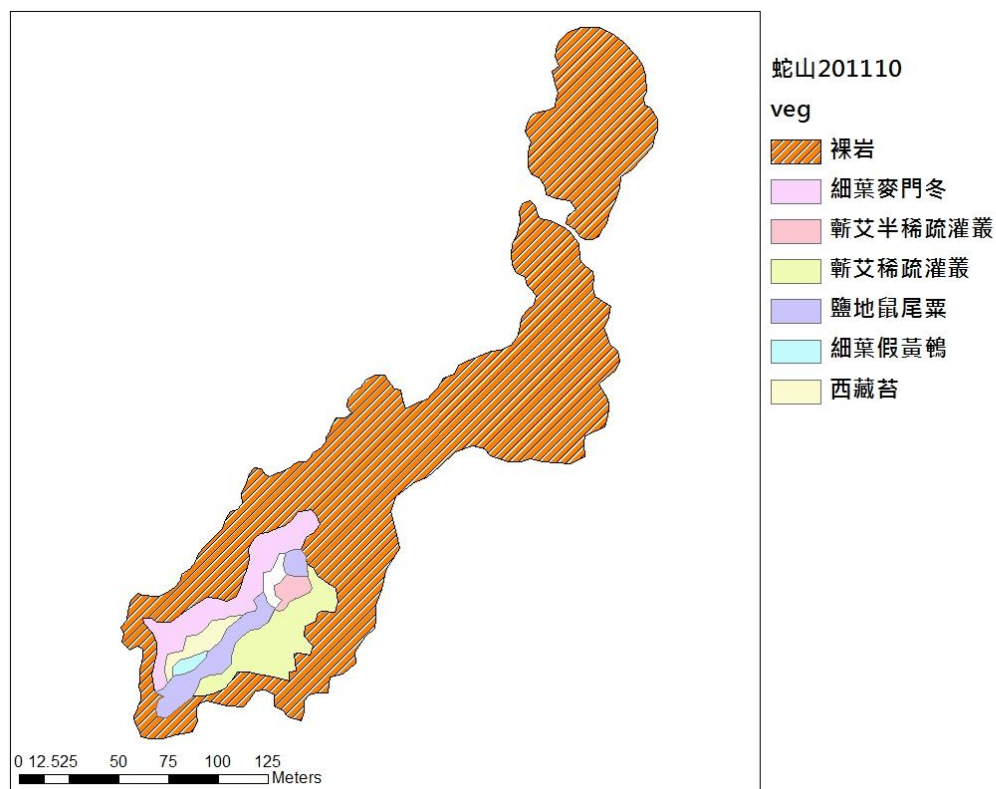


圖 2-9 2011 年 10 月蛇山植群分布圖

表 2-13 2011 年 10 月蛇山植群覆蓋度與高度列表

植群種類	高度(m)	覆蓋度(%)
細葉麥門冬	0.2	60
蘄艾半稀疏	0.4	60
蘄艾稀疏灌	0.35	25
鹽地鼠尾粟	0.1	85
細葉假黃鶴	0.1	45
西藏苔	0.3	80

## (二)2012 年植被狀況

在 2012 年度的調查中發現 2011 年鳳頭燕鷗繁殖利用過的中島與鐵尖兩島嶼的巢區植被種類與覆蓋度都與去年明顯不同。中島的巢區在去年原為草本植物變葉藜與番杏為主，今年度轉變為以南方山芫荽為主的植被環境。鐵尖在 2011 年繁殖季後，拂子茅草生地幾乎完全遭到移除，在今年度已轉換為羊蹄與酢醬草為主要優勢種的草坡。蛇山上一次有鳳頭燕鷗繁殖的紀錄是在 2009 年，過去兩年的調查顯示蛇山的植被主要為高覆蓋度的低矮草本植物為主。以過去調查經驗而言是相當適合鳳頭燕鷗的繁殖地，今年度的鳳頭燕鷗築巢地點也集中在島嶼頂端坡度較平緩的酸模(*Rumex acetosa* L.)番杏草原。

整體而言，三個調查的小島（中島、鐵尖以及蛇山）的植群與 2011 年的植群組成差異不大，陡峭的礁岩坡面主要還是高優勢度的蘆艾所形成的灌叢。坡度較緩的禾草地、非禾草草生地的植物組成受到季節性的影響較大，一年生的草本在春季時於島上腐植質較厚、土壤較厚的區域大量擴張，例如番杏、酸模、羊蹄(*Rumex crispus* L. var. *japonicus* (Houtt.) Makino)、變葉藜(*Chenopodium acuminatum* Willd. subsp. *virgatum* (Thunb.) Kitam.)、龍葵(*Solanum nigrum* L.)等，例如在 2012 年春季中島上的變葉藜-番杏草原及南方山芫荽-變葉藜草原、鐵尖上之羊蹄-酢醬草草坡及薤白-苦滇菜草原、蛇山的酸模-番杏草原等。而秋季則為濱刀豆(*Canavalia rosea* (Sw.) DC.)、紅花石蒜、細葉假黃鶴菜(*Crepidiastrum lanceolatum* (Houtt.) Nakai)等取代。

相較於其他小島的植物組成，鐵尖的植物及植群多樣性較高，但鐵尖具有較多的灌叢及大型藤本、大型草本植物覆蓋，例如厚葉石斑木(*Rhaphiolepis indica* (L.) Lindl. ex Ker var. *umbellata* (Thunb. ex Murray) Ohashi)、紅仔珠(*Breynia officinalis* Hemsley)、柘(*Cudrania tricuspidata* (Carrière) Bureau ex Laval)、細葉饅頭果(*Glochidion rubrum* Bl.)、武靴藤(*Gymnema sylvestre* (Retz.) Schultes)、桔梗蘭(*Dianella ensifolia* (L.) DC.)等覆蓋，較不適合燕鷗進駐繁殖。在 2012 年秋季調查時，老荊藤(*Callerya reticulata* (Benth.) Schot)、土防己(*Cyclea gracillima* Diels)以及武

靴藤在原本的油菊-厚葉石斑木高草坡大量覆蓋，擴張，使得與其鄰近邊緣的薤白-苦滇菜草原被取代，而原本薤白-苦滇菜草原為大鳳頭燕鷗之巢區之一。另外 2012 春季調查時的羊蹄酢醬草草坡，在秋季調查時，一年生的羊蹄幾乎枯死，轉而變成龍葵優勢的草原，地表裸露比例明顯比春季時更高。

中島的植被與春季時相比較，巢區附近的植群型變化較大，2012 春季原本為南方山芫荽-變葉藜草原，一年生的變葉藜在秋季調查時幾乎死亡，被龍葵所取代掉，但龍葵的生長狀況十分差，幾乎已經枯死大半。另外春季調查的變葉藜-番杏草原，在秋季完全被濱刀豆草原所取代，和變葉藜、番杏相比，濱刀豆覆蓋度高，葉子質地較硬，是否適合鳳頭燕鷗繁殖利用，仍待未來更進一步的觀察與研究。此外，蘄艾稀疏灌叢及半稀疏灌叢在秋季時，華南狗娃花覆蓋度增加，比起 2011 年秋季時覆蓋面積較為增加，有緩慢回復的趨勢。

蛇山是三個小島上植群變化較大的，相較起中島與鐵尖的面積，蛇山可作為燕鷗巢區的面積十分小，主要是在島上最高的平坦地或較緩之坡面，陡峭坡面、礁岩上的蘄艾灌叢整體而言並無太大的變動，只有秋季開花的細葉假黃鵪菜優勢度較高。而 2012 年春季調查時，巢區的酸模番杏草原已被取代。土壤最厚、最平緩之處為蘄艾番杏草原，原本一年生的酸模已幾乎死亡。緩坡處則是由高度約 30-50 cm 的布氏宿柱臺(原本未開花鑑定誤以為是西藏臺)、狗牙根、土防己草本等優勢植物所覆蓋，更陡一些的坡面則是細葉假黃鵪菜蘄艾灌叢。另外坡度 30-40 度的東南向坡之處，2012 春季原本是馬尼拉芝天門冬草原，秋季時變為狗牙根布氏宿柱臺草原，主要優勢物種為狗牙根、布氏宿柱臺、馬尼拉芝等禾草及莎草。



圖 2-10 2012 年蛇山繁殖季前(左圖)後(右圖)植群變化

綜觀以上，燕鷗的繁殖對於植被的影響相當明顯，而植被可能也可以提供巢區遮蔽以及巢位固定的功能，進而提高燕鷗的繁殖成功率。繁殖巢區內常因高密度的燕鷗繁殖族群聚集於此，植被大多呈現枯死的狀態，與 Langham and Hulsman (1985) 在澳洲的 One Tree Island 發現的情形相似。參考林于凱(2007)在澎湖小白沙嶼對鳳頭燕鷗的研究，鳳頭燕鷗主要也是利用平坦(坡度小於 15 度)的短草地繁殖，顯示植被高度與地形可能是鳳頭燕鷗選擇繁殖棲地的重要因子。

燕鷗造成植被的枯死現象應是透過物理性與化學性兩個管道 (Gillham 1956; Hall and Williams 1981)。所謂物理性的移除是透過踐踏、遮蔽陽光或其他物理性的方式，導致植物直接受到傷害、死亡，或間接



造成不適於植物存活的環境，導致植物死亡；化學性的移除則主要是由於燕鷗的排遺、遺骸或食物殘渣等有機物質，造成土壤化學性質改變，如 pH 值、氮、磷、鉀含量等，造成植物無法生存(Iason et al. 1986; Wainright et al. 1998; Vidal 1998)。從上述的觀察，或許物理性的移除確實存在，但是從地下部死亡殆盡、繁殖季隔年春季的植被沒有復原的跡象與棄巢後四個月寸草不生的狀況看來，化學性的移除造成更嚴重的影響，也阻礙了生育地自然復育的機制。然而化學性移除背後的機制還需後續土壤分析才能更加釐清。在國外相關文獻的研究上，Vidal 等(2000)在法國東南岸數個石灰岩地質的小島(面積 2 至 95 公頃)上，研究島嶼上的 30 年至 60 年的植被演替與黃腳鷗(*Larus cachinnans*)繁殖密度的關係。結果顯示黃腳鷗的繁殖密度與島嶼上羣落的翻轉強度(turnover intensity)呈正相關，且在黃腳鷗繁殖過後的棲地因鳥類排遺成的高養分土壤，使得先進駐的植物種類是以環境耐受度較高的原生先驅植物為主。

繁殖造成的植被劣化需要時間復原，因此了解巢區植被對於燕鷗的干擾強度與頻度的耐受能力以及釐清植被狀況對於燕鷗巢區選擇以及繁殖成功率的影響是相當值得研究的議題。未來對於應持續監測燕鷗繁殖利用過的巢區植被情形，了解其恢復情形，為避免不適燕鷗繁殖的植被類型入侵已劣化的巢區，導致適合繁殖的區域縮減，或土壤裸露因降水沖刷而流失，建議未來能評估適當的棲地管理辦法，藉由適度的經營手法以避免棲地劣化，並加速劣化棲地的復原。

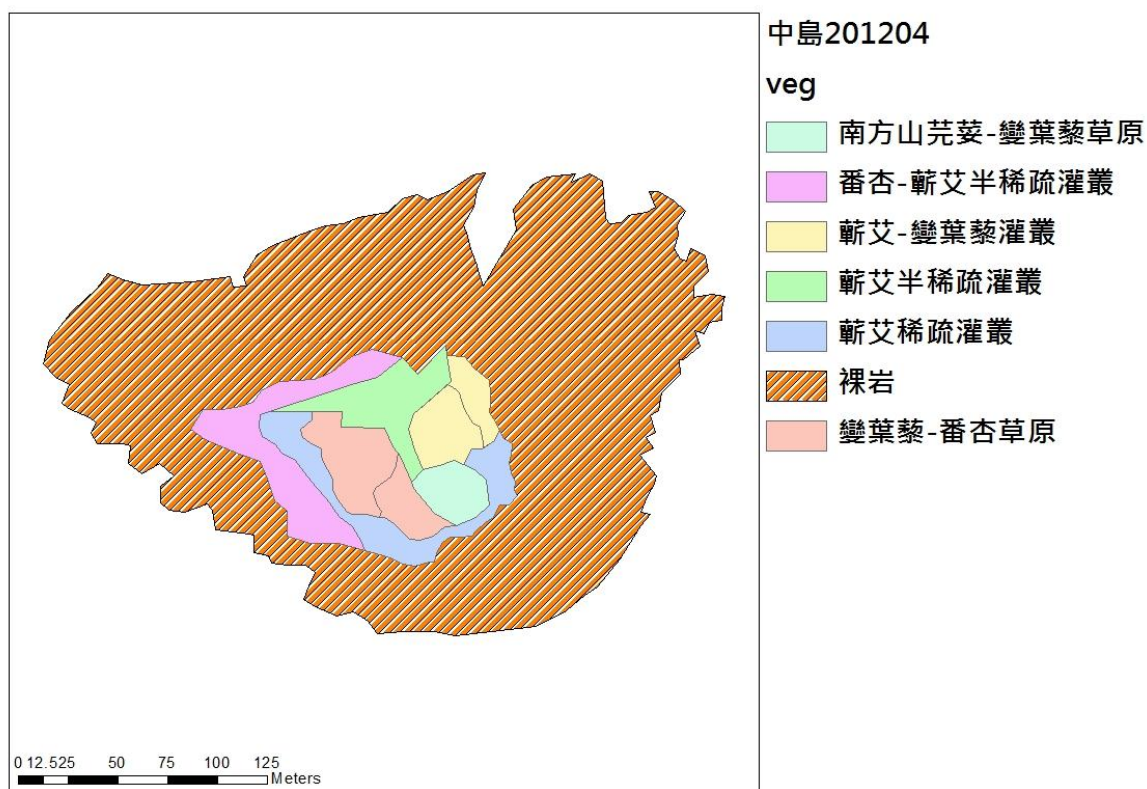


圖 2-11 2012 年 4 月中島植群分布圖

表 2-14 2012 年中島植群覆蓋度與高度列表

植群種類	高度(m)	覆蓋度(%)
番杏蘄艾半稀疏灌叢	0.5	80
蘄艾稀疏灌叢	0.6	40
變葉藜番杏草原	0.4	80
<b>南方山芫荽變葉藜草原</b>	<b>0.2</b>	<b>70</b>
<b>蘄艾半稀疏灌叢</b>	<b>0.6</b>	<b>70</b>
蘄艾變葉藜灌叢	0.5	90

(紅色字體部分為 2010 與 2011 年燕鷗繁殖巢區)

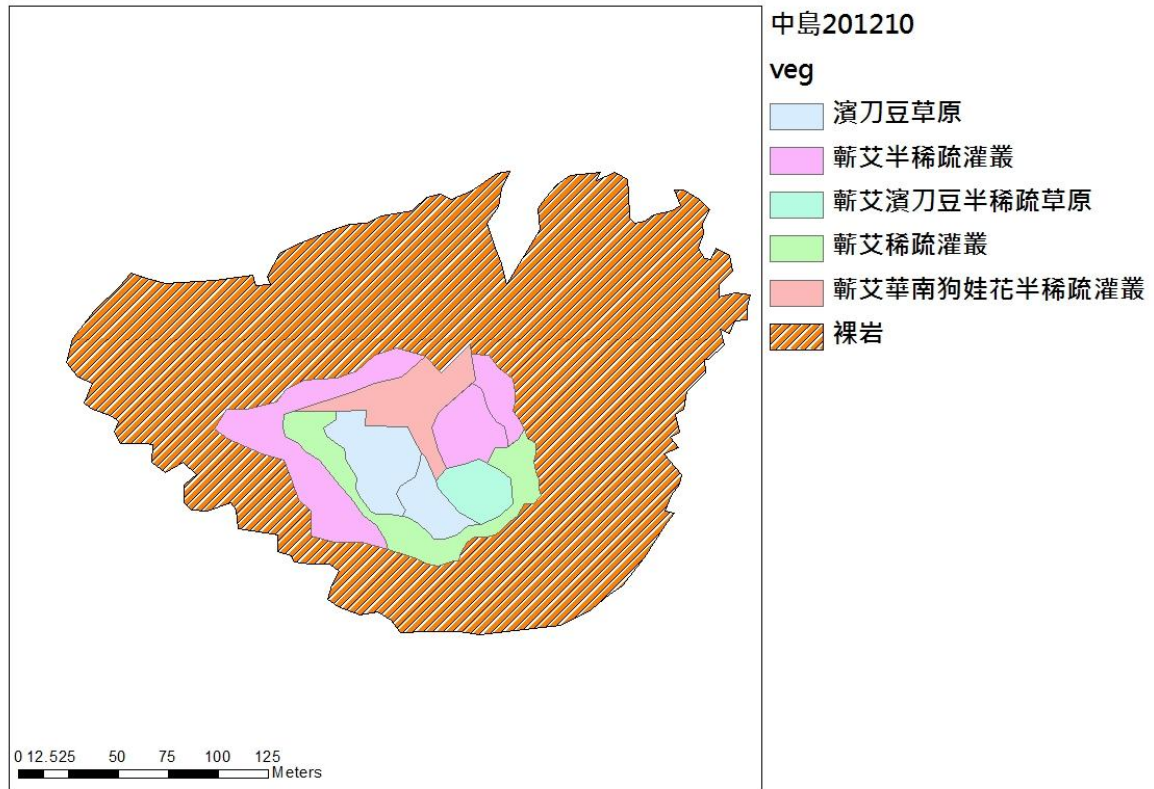


圖 2- 12 2012 年 10 月中島植群分布圖

表 2- 15 2012 年 10 月中島植群覆蓋度與高度列表

植群種類	高度(m)	覆蓋度(%)
蘆艾半稀疏灌叢	0.4	50
蘆艾稀疏灌叢	0.6	40
濱刀豆草原	0.3	80
<b>蘆艾濱刀豆半稀疏草原</b>	<b>0.6</b>	<b>50</b>
<b>蘆艾華南狗娃花半稀疏灌叢</b>	<b>0.5</b>	<b>70</b>

(紅色字體部分為 2010 與 2011 年燕鷗繁殖巢區)

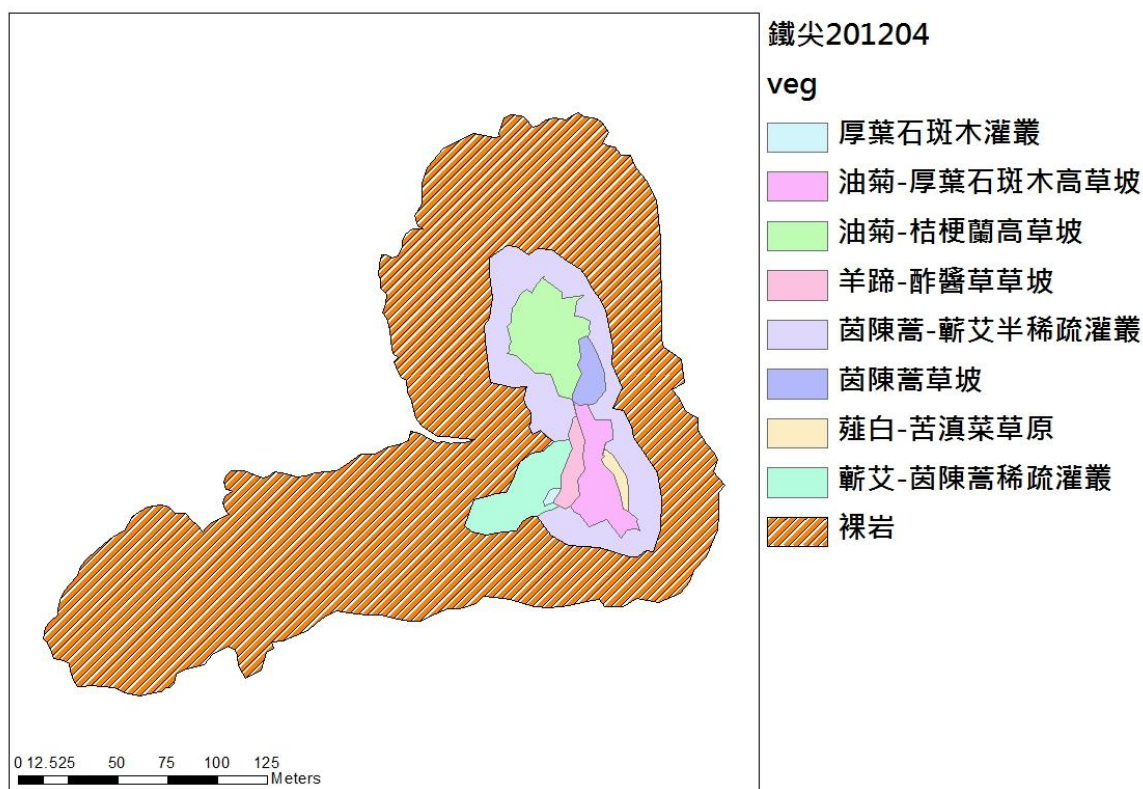


圖 2-13 2012 年 4 月鐵尖植群分布圖

表 2-16 2012 年 4 月鐵尖植群覆蓋度與高度列表

植群種類	高度(m)	覆蓋度(%)
茵陳蒿蘄艾半稀疏灌叢	0.3	30
薤白苦滇菜草原	0.5	90
<b>油菊桔梗蘭高草坡</b>	<b>1.1</b>	<b>85</b>
<b>茵陳蒿草坡</b>	<b>0.3</b>	<b>40</b>
油菊厚葉石斑木高草坡	1.5	85
<b>羊蹄酢醬草草坡</b>	<b>0.8</b>	<b>55</b>
蘄艾茵陳蒿稀疏灌叢	0.3	30
厚葉石斑木灌叢	1.5	70

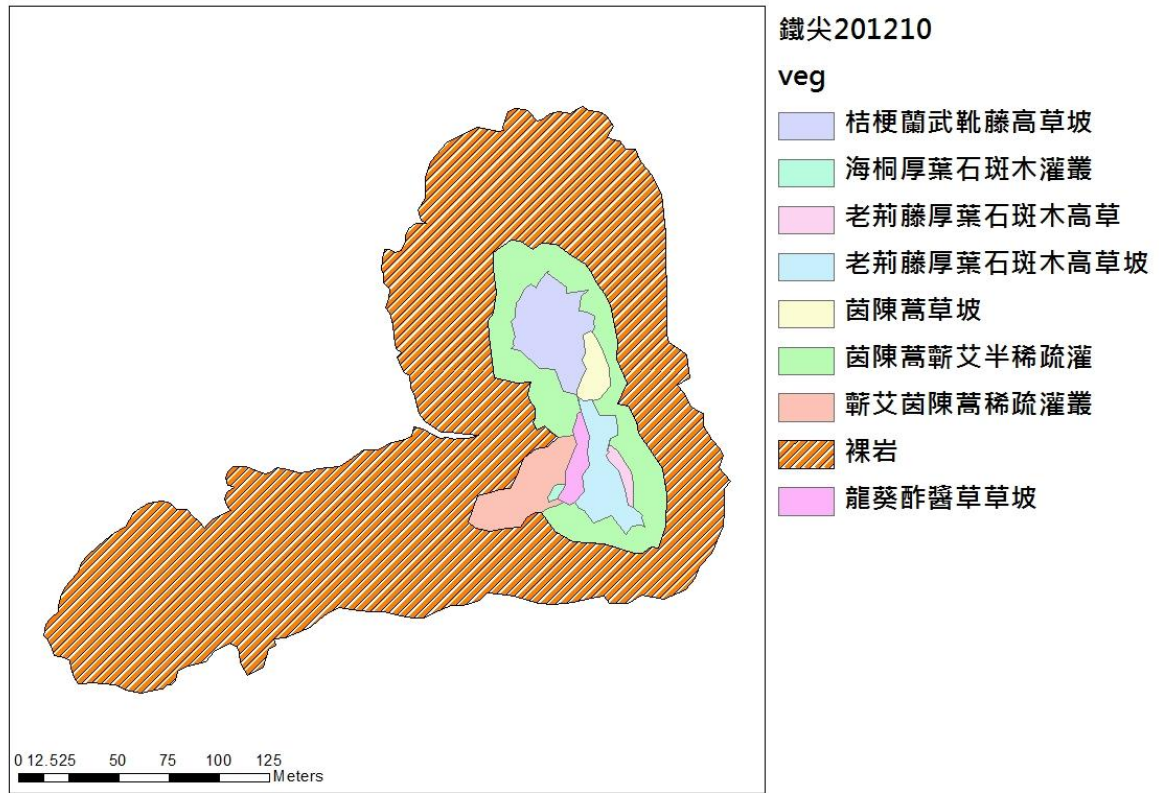


圖 2- 14 2012 年 10 月鐵尖植群分布圖

表 2- 17 2012 年 10 月鐵尖植群覆蓋度與高度列表

植群種類	高度(m)	覆蓋度(%)
茵陳蒿蘄艾半稀疏灌叢	0.5	40
<b>桔梗蘭武靴藤高草坡</b>	<b>0.7</b>	<b>90</b>
<b>茵陳蒿草坡</b>	<b>0.35</b>	<b>50</b>
老荊藤厚葉石斑木高草坡	1.5	85
<b>龍葵酢醬草草坡</b>	<b>0.5</b>	<b>60</b>
蘄艾茵陳蒿稀疏灌叢	0.6	30
海桐厚葉石斑木灌叢	1.5	80

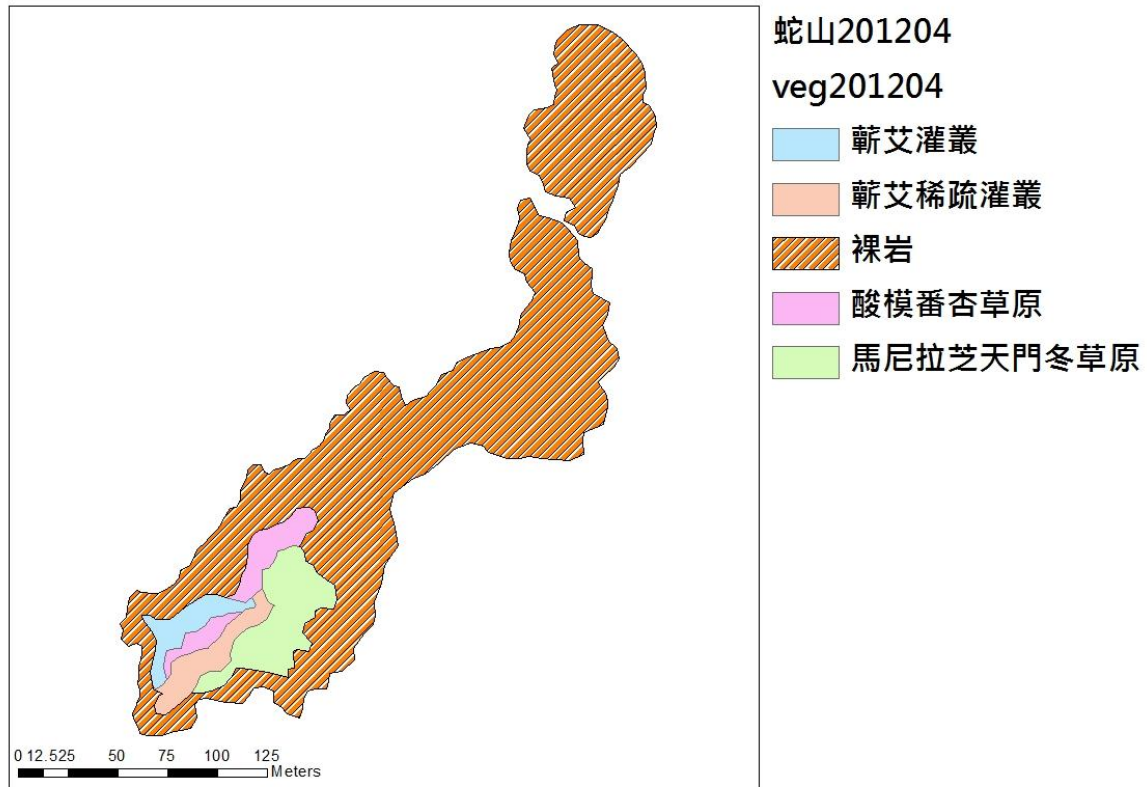


圖 2-15 2012 年 4 月蛇山植群分布圖

表 2-18 2012 年 4 月蛇山植群分布圖

植群種類	高度(m)	覆蓋度(%)
蕪艾稀疏灌叢	0.5	40
<b>酸模番杏草原</b>	<b>0.7</b>	<b>60</b>
蕪艾灌叢	0.5	70
馬尼拉芝天門冬草原	0.5	70

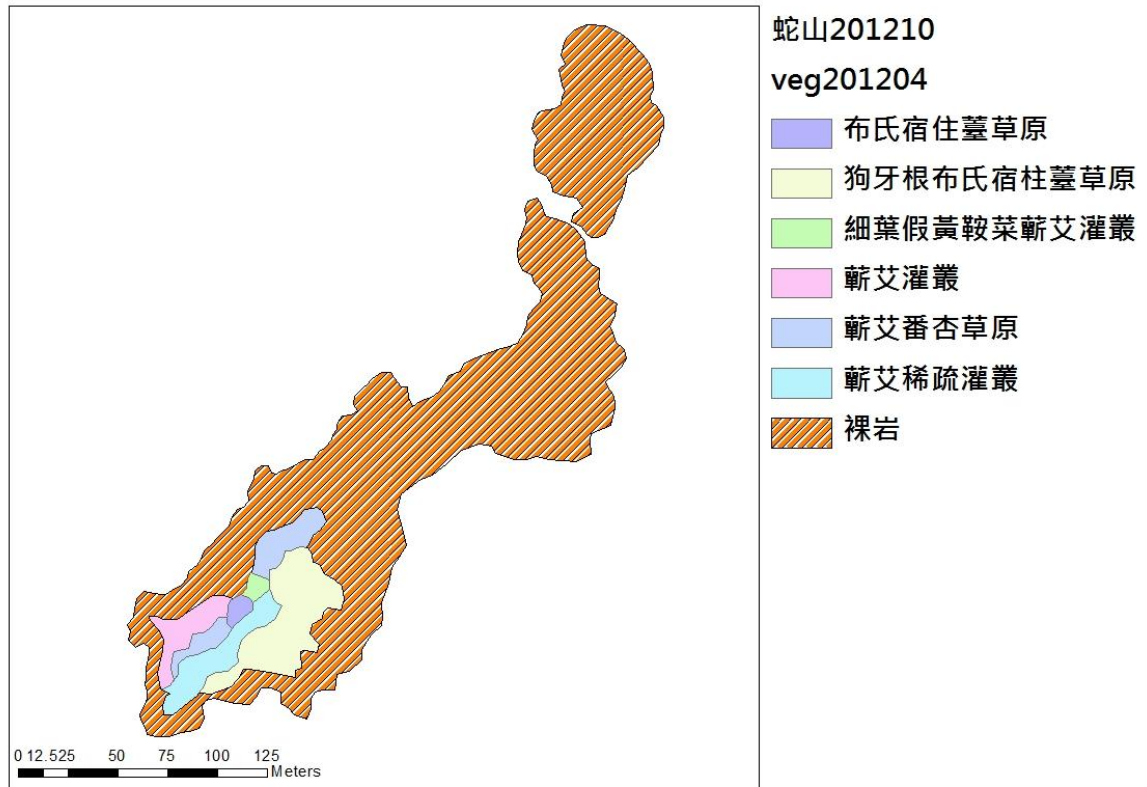


圖 2- 16 2012 年 10 月蛇山植群分布圖

表 2- 19 2012 年 10 月蛇山植群分布圖

植群種類	高度(m)	覆蓋度(%)
蕪艾稀疏灌叢	0.5	40
<b>蕪艾番杏草原</b>	<b>0.3</b>	<b>50</b>
蕪艾灌叢	0.5	60
狗牙根布氏宿柱臺草原	0.3	80
<b>布氏宿柱臺草原</b>	<b>0.2</b>	<b>70</b>
<b>細葉假黃鞍菜蕪艾灌叢</b>	<b>0.3</b>	<b>70</b>





## 參、自動化監測設施之設置

### 一、即時影像監測系統

對於馬祖即時影像監測系統部分，硬體電路方面可以分成兩個部分。第一：定時重置電路，第二：影像核心電路。本計畫將透過此兩部分電路板來組合而成本次的馬祖鳳頭燕鷗即時影像監測電路。

#### (一)馬祖即時影像監測系統

##### 1. 重置電路部分

從核心控制之電源控制板，其主要功能為監控影像的核心電路是否正常運作並供應主機板主要電源輸入，其 PCB 電路板如圖 3-1 所示。大幅元件與影像的核心電路使用雷同，僅 RS-232 Transceivers 改用 MAX232 (Texas Instruments, 2004)，因電源控制板不需像影像的核心電路複雜之功能，亦僅設計一組串列埠供擴充使用，故採用 MAX232 以符合使用。其中最大差異為採用一個機械式繼電器來達成電源開關的功能，且負載端使用之電量相對下較高，使用機械式繼電器既可使用小電流輸入開關大電流輸出，減少電源開關所造成的電量損耗，而機械式繼電器生命週期相對於 MOS 開關長上許多，以上優點均是優先考量，以下會一一介紹重置的電源管理以及機械式繼電器的電路設計。

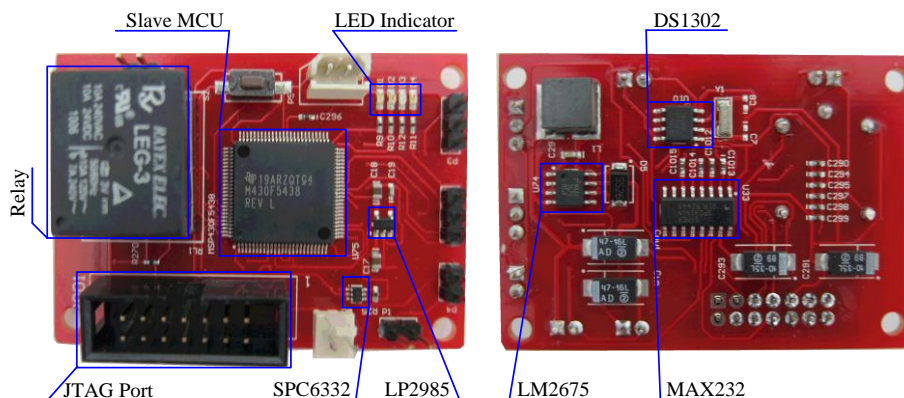


圖 3-1 從核心控制之電源控制板 PCB 上層及下層圖

### i. 電源轉換方面

在電源轉換方面，本計畫使用 LM2675-5.0 (封裝 SO-8) 5 Volt 穩壓型降壓 IC，此 IC 在穩壓上是採用電力電子的原理，運用(Pulse Width Modulation ,PWM)訊號來達到穩壓效果，藉由本身的回授電路來做到輕重載時，以內部振盪器輸出的責任週期(duty-cycle)來作電壓調整，使工作電壓持續在連續電流模式(Continuous Current Mode ,CCM)。在電源輸入方面，採用(47uF/25 Volt)鉭質電容，其優點有高低溫穩定、高導電性、低內阻、體積小、具有長耐久性，適用於高頻的電路設計使用。輸出端電路方面的電容具有大容量的特性，亦具有更佳的溫度和 DC 偏壓特性，適合與 SMD 電感搭配作濾波使用，能減少輸出電壓的漣波效應，可由  $\Delta V_{ripple} = V_{out} * 1\%$  公式表示。本團隊所設計的轉壓裝置其轉換效率為 91.5%~95.3% 相較市售的 7805 轉壓 IC 轉換效率高出 20%~40% 電源電路設計如圖 3-2 所示。

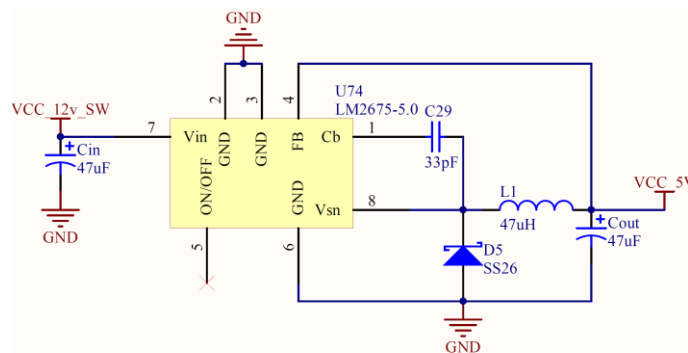


圖 3-2 電源電路設計

### ii. LP2985-3.3 轉壓電源

由上述所設計的轉壓電源將可以提供整體電路上的運作，由於重置電路跟影像核心電路一樣採取以 MSP 為核心的處理器，所以將必須額外提供所需的 3.3 Volt 位準的電壓供應。因此，此位準將以線性穩壓(Low Drop Out Linear Regulator, LDO)的方式達成，所採用的晶片為 LP2985-3.3 (封裝 SOT-23) 最大可提供 150 mA 的電流。由於此部份將只對 MSP 晶

片做供應，所以對於功率的消耗是非常低的，轉壓效率可達到 85% 以上。LDO 電源設計如圖 3-3 所示。

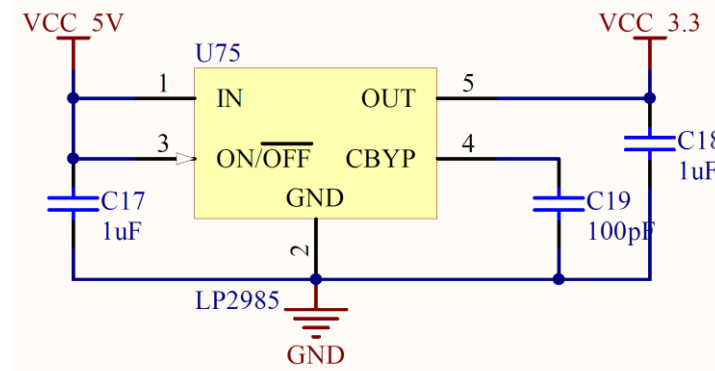


圖 3-3 LDO 電源設計

### iii. 繼電器開關

對於先前提到的時間晶片 DS1302 會透過定時電期的方式去對繼電器來做開關，並透過下圖的 P11 腳位把主電源 12 Volt 供應到影像核心監測電路上，其中主要的是透過 MSP-P6.2 的腳位來對繼電器作觸發，並達到主電源開關控制的功能，其中繼電器電路設計如下圖所示。

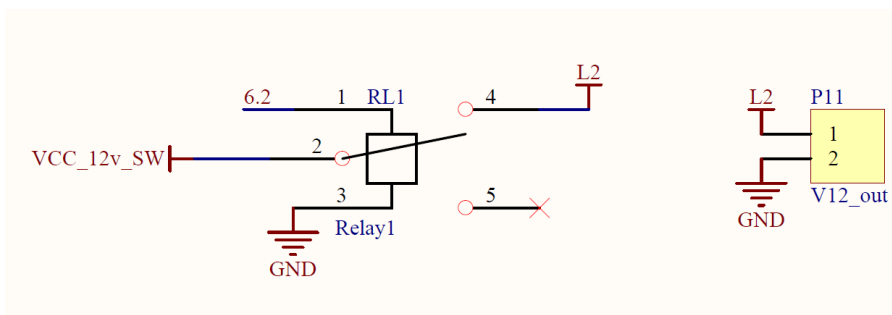


圖 3-4 繼電器開關電路

## 2. 影像核心電路

影像監測系統硬體規劃將介紹本研究需架設之前端影像監測系統架構，並且詳細介紹系統使用之模組及元件，包括系統核心晶片、數位相機模組以及行動通信模組。本計畫利用德州儀器(Texas Instruments, TI)研製之 MSP430 系列低耗能微處理器作為系統核心晶片，使用其中通用

型之輸入輸出 (General Purpose Input/ Output, GPIO)以及 通用同步/非同 步 傳 送 接 收 系 統 (Universal Synchronous/ Asynchronous Receiver-Transmitter, USART)與電源開關電路、Real-Time Circuit、數位相機模組以及行動通信模組進行資料及指令傳輸。前端影像監測詳細架構見圖 3-5，電源供應組成為太陽能電池及 12 Volt 鉛蓄電池，系統由兩顆 MSP430 F5438 分別作為主、從核心，以及各項所需模組以達到系統預期效能。主核心透過介面電路設計達到與各種模組溝通而不互相干擾，可經由電源開關電路將無需運作之模組關閉，並定時與從核心溝通，從核心可依此作為依據判斷主核心是否正常運作，如否，則將主核心重新致能，達到監督及自我修復之功能。

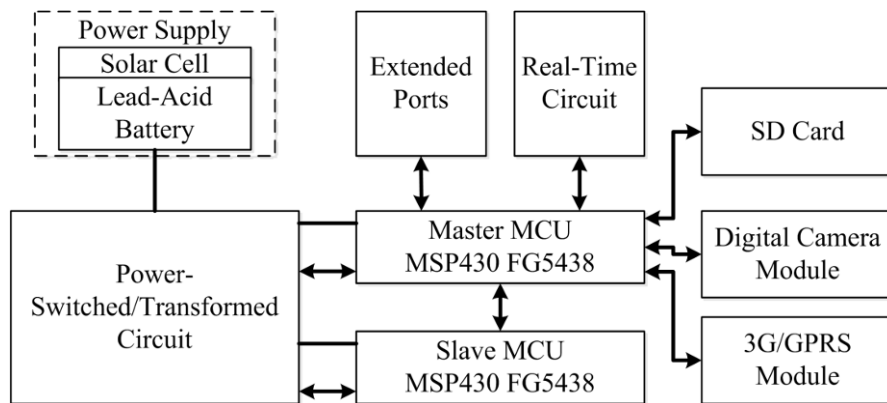


圖 3-5 前端影像監測系統架構圖

前端影像監測系統實體系統架構圖如圖 3-6 所示，吾人設計之電路板劃分為兩大主要區塊，分別為影像監測主機板(由主核心控制)以及電源控制板(由從核心控制)，負責一切系統流程及維持各項模組正常運作。其圖 3-6 中 C628 相機模組及廣角鏡頭，負責拍照、攝影與資料壓縮等工作，(3<sup>rd</sup>-generation, 3G)/(General packet radio service, GPRS)模組透過行動通信技術將資料傳輸至後端伺服器，圖 3-7 中即為系統實體封裝圖，左側圖為封上鐵殼之前景照，右側圖為覆上帆布套之側拍圖，提供固定、保護、以及防潮防曬功能。

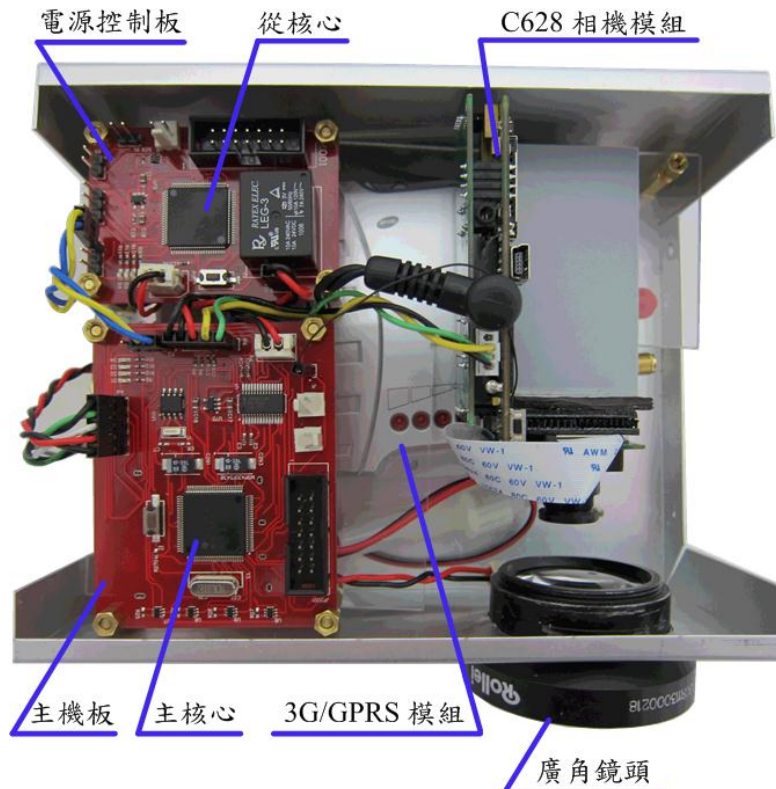


圖 3-6 前端影像監測系統實體俯視圖

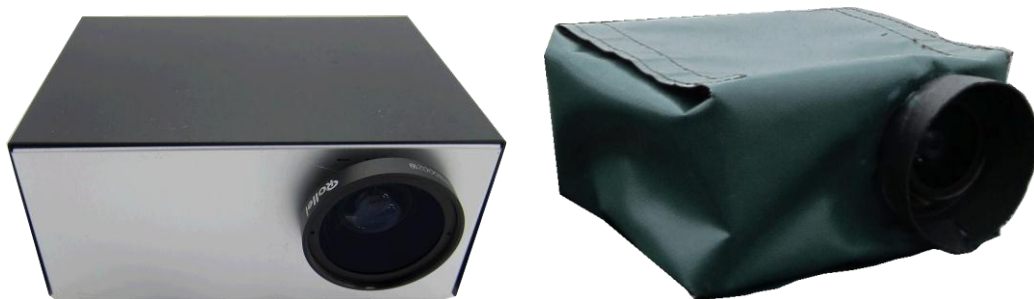


圖 3-7 前端影像監測系統實體封裝圖

本系統係以野生動物觀測為目的，克服野外環境之各種條件為系統硬體規劃重點，如氣溫變化、高濕度、日曬雨淋以及無穩定電源供應均為對電子儀器影響甚鉅之不利條件。以此為由，本系統硬體設計著墨之三大要素可劃分：選擇適當之低耗能元件(耗電量低、特別規格 IC 之選用)、規劃妥善之電源管理(太陽能電池及電源管理 IC)以及設計防風防雨之封裝。

由主核心控制之主機板，其主要功能為與周邊模組溝通，完成所有主要功能及動作，其 PCB 板圖如圖 3-8 所示：JTAG Port 提供開發者於 (Microcontroller Unit ,MCU)上進行編譯、燒錄、以及除錯等功能，更可保護源碼，不虞被下載竄改。SD Card Port 提供額外記憶體擴充，由於核心 MCU 僅含 256 KB 之 Flash 以及 16 KB 之 RAM，欲傳輸占較大記憶體之圖片及影片便將不敷使用，擴充記憶體即成可靠選擇，下文將介紹各項 IC 選用之緣由。

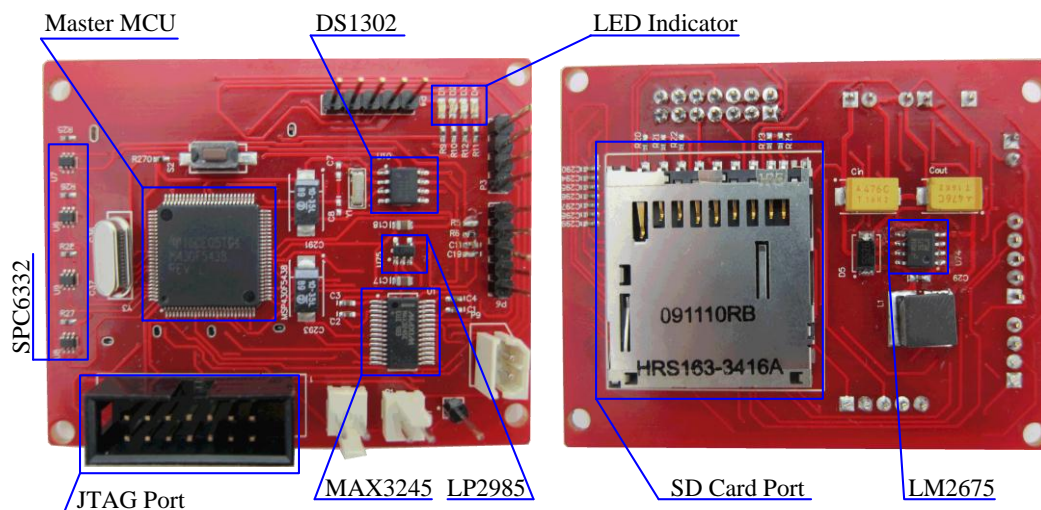


圖 3-8 主核心控制之主機板 PCB 上層及下層圖

### i. 系統核心晶片

本研究使用之 MSP430F5438 微處理器儘管具有 100 pins 的腳位，封裝後仍只有 1.5 cm × 1.5 cm，其係以低耗能特性著名，在 3.0 Volt 輸入下，可分為三種運作狀態：主動模式，消耗電流為，312  $\mu$ A；待機模式，2.6  $\mu$ A；休眠模式，1.69  $\mu$ A。由此低消耗電能的特性可看出 MSP430F5438 相當適合作為野外無室電的環境監測系統之核心晶片，其詳細規格如表 3-1。18 MHz 的處理速率已足夠作為微處理器使用，稍嫌不足之記憶體容易造成系統擴充不易，DMA 此微處理器技術可有效解決此問題。於此有項微處理器技術能有效解決此問題，即是直接記憶體存取 (Direct Memory Access, DMA)。此功能可使微處理器外接記憶體裝置，並且跳過 MCU 處理，直接將資料寫入外接記憶體，即可有效解決內建記憶體

不足之缺陷。其中 USART 為支援同步及非同步之串列通訊技術，非同步為全雙工，可同時接受和傳送；同步則為半雙工，傳送與接受無法同時進行。通用串列通訊介面(Universal Serial Communication Interface, USCI)具有 8 組：可支援增強型 UART(自動偵測鮑率)、紅外線通訊技術(Infrared Data Association, IrDA)、四線制串列匯流排介面(Serial Peripheral Interface, SPI)、及 I<sup>2</sup>C(I-Squared-C)等溝通介面，使得本系統與市面上已開發模組之相容性大幅增加，多種溝通介面且互不影響。16-bit Timer 的精準度亦使得系統在計算延遲時間或是程式區塊運作時間相當準確，12-bit 之 ADC (Analog to Digital Convertor)除卻其高解析度，更是使系統在與類比訊號元件整合之時更為方便，且容易使用。微處理器中著名之看門狗技術(Watchdog)亦有所支援，此功能可有效防止系統於可預測之情況下的當機事件發生。綜觀以上優勢，使用此微處理器作為系統核心晶片為明智之舉。

表 3-1 MSP430F5438 主要功能規格列表

Parametric		Parametric	
Frequency(MHz)	18	Flash(KB)	256
SRAM(KB)	16	GPIO	87
Timers - 16-bit	3	USART	4
USCI	8	SPI/I <sup>2</sup> C	4

## ii. LED Indicator

許多電子儀器設備傾向使用 LCD (Liquid Crystal Display)作為顯示設備目前工作情形以及運作狀況，提供開發者以及使用者瞭解目前設備狀態。然而 LCD 屬耗電量高之電子元件，並不適用於無穩定電源供應之野外環境使用，即便提供熱插拔服務(Hot Plugging，可在不斷電情形下安裝或移出硬體)，當系統處於當機(Crash)狀態時，LCD 仍然無法提供設備相關資訊。考量耗電量以及開發及維修效率，本系統採用 LED 指示器作為設備相關資訊，其燈號指示如圖 3-9 所示，由於本系統提供之功能較為單純，包含拍照及攝影、檔案上傳、以及讀取檔案等。4 顆 LED 指示燈總共可提供之 16 種燈號已足夠使用。根據本系統所設計 8 種燈號，

其中較為特別為紅色燈號，當紅色燈號亮起時代表系統出現錯誤，由此設計提供使用者簡易明瞭之資訊，更可提供開發者當系統出現錯誤時可供參考之資訊。

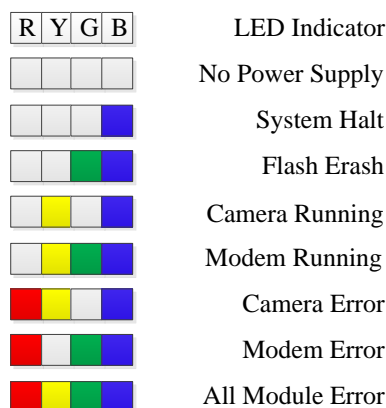


圖 3-9 LED Indicator 各種燈號示意圖

### iii. DS1302 – Timekeeping Chip

(Real-time clock ,RTC) 提供系統正確時間，其中 DS1302 (Trickle-Charge Timekeeping Chip) 作為核心，輔以 32.768 KHz 之振盪器以及一顆 3.3 Volt 的鈕扣電池(鋰二氧化錳電池)。提供之時間格式為年/月/日/時/分/秒，可有效供給正確日期至西元 2100 年，閏年及各月份之天數等設定均已在 IC 封裝中已完成。系統核心晶片 MSP430FG5438 與 DS1302 (封裝 SOIC) 以 3 pins 的 GPIO 相連，組成 3 隻腳位功用分別為：CE (Chip Enable)，係微處理器致能 DS1302 使用，處於高電位時 DS1302 才能與 MSP430FG5438 溝通，反之低電位則為關閉狀態；CLK (Clock)，作為 MSP430FG5438 與 DS1302 溝通之頻率標準，僅由微處理器端輸出訊號；I/O (Input/Output)，正如其名，是為雙向資料傳輸之腳位，利用此溝通方法可寫入時間亦可讀取目前模組運作時間。在穩定的電源輸入條件下，DS1302 內部時間將持續計數，然而 DS1302 在 3.3 Volt 輸入時耗費電流於 180 nA 以內，故相當適宜做為本系統 RTC 之核心，其中 DS1302 電路設計如下圖所示。



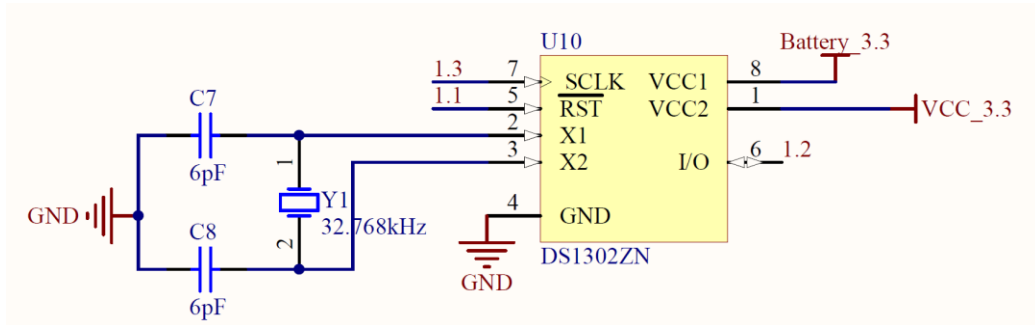


圖 3-10 DS1302 電路設計

#### iv. SPC6332 – N & P Pair Enhancement Mode MOSFET

電源管理係為本系統設計之要點，各項模組在不使用時關閉其電源輸入是一項必要功能。SPC6332 (封裝 SOT-363) 為一顆於筆記型電腦常見之電源管理 IC (Sync Power, 2011)，是一顆專門為電源切換設計之 IC，除常用於筆記型電腦外，常見的便攜型設備、電池電源管理、DC/DC 整流器以及負載切換器等均可使用此類 IC。其高電為切換以及低電流消耗之特性更為符合本系統所需，僅只需使用系統核心晶片 MSP430F5438 一隻 GPIO 給予高電位或低電位即可切換電源開關；低電流消耗特性是使用 nA 為單位計數，可將系統待機狀態之時耗電量降低許多，故選用此類 IC 作為各項模組負載切換是為十分合適，因此在本次電路透過此類晶片中所組成的 N & P MOS 來達到電源開關的功能，其中電路設計如下圖所示。6.1 為 MSP 的觸發腳位，當 MSP-6.1 給予高位準，將會使 L1 輸出 5 Volt 的電壓值。

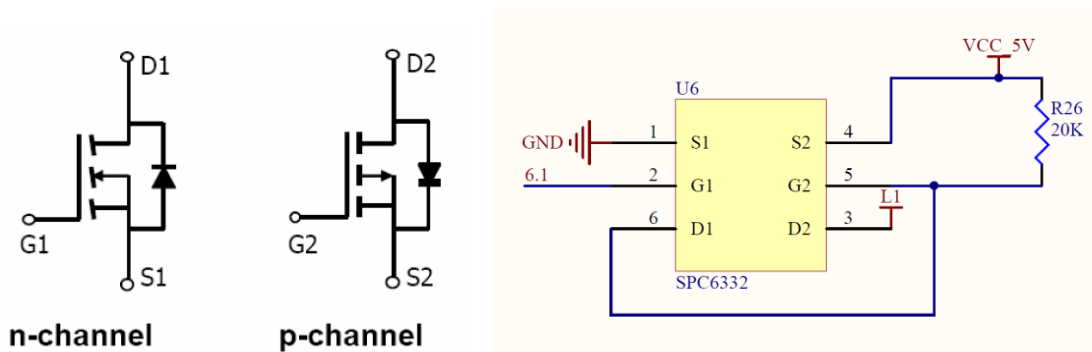


圖 3-11 電源管理開關電路

## v. MAX3245 – RS-232 Transceivers

微處理器與各項模組最常使用之通訊介面即為 RS-232，然而 RS-232 在與微處理器溝通之時會有電壓準位不同之問題，常為因類比 IC 與數位 IC 不同而導致，故需使用 RS-232 Transceivers 將電壓準位相應調整成雙方適應之形式。MAX3245 (封裝 SSOP) 預設有 3 組串列阜可使用 (Maxim Integrated Products, 2005)，更可擴充為 5 組串列阜，本系統使用之數位相機模組以及 3G/GPRS 模組均為開發成熟之模組，其通訊介面均可支援 RS-232，除達到與此二模組溝通外，保留多餘通道以供未來擴充使用，並擁有 3 組串列阜之 MAX3245，適合本研究開發。MAX3245 亦提供 Chip Select 之功能，當不需使用 RS-232 溝通時，將會透過 MSP 來觸發取消 MAX3245 致能，可有效調節電量使用。AutoShutdown 更是一項優異功能，當此功能開啟之時，通訊介面在設計之時間內無訊號傳輸，MAX3245 即可自動關閉通訊功能，直至下次訊號傳輸。基於以上優勢本系統採用此類 IC 作為 RS-232 Transceivers，其中 MAX3245 – RS-232 Transceivers 電路設計如圖 3-12 所示。

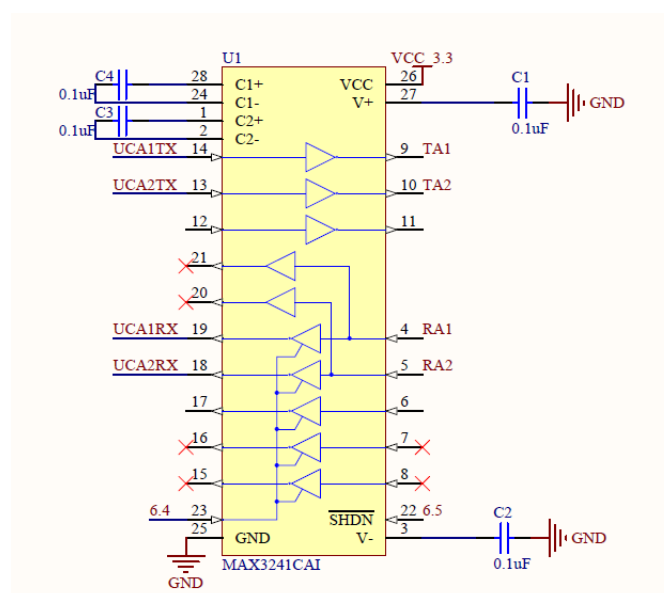


圖 3-12 MAX3245 電路設計

## vi. LM2674 電源管理

其中本此的電源管理部份，一樣與重置電路一樣是採用 PWM 的方式來產生 5 Volt 的穩壓電源，並以 LM2674-5.0 (封裝 SO-8)設計降壓穩壓電路。此顆 IC 最大可提供的輸出電流為 5 Volt/500mA。

## vii. 數位相機模組

本研究係用康大科技有限公司開發之 C628 數位相機模組，其模組實體圖及系統區塊如圖 3-13 所示，係為一完整之嵌入式影像拍攝模組，提供數種傳輸介面，並可藉由擴充記憶體來增加系統監測資料儲存量，可提供拍照、攝影、調整解析度以及檔案壓縮率等功能，相當適合用於整合及延伸新系統。本研究係使用 UART 與此數位相機溝通，然而在傳輸檔案之際，即改用 SPI，UART 提供同步鮑率功能，可降低溝通不良問題發生，SPI 為 MSP430 F5438 最高速之傳輸介面，可將傳輸速率提高至系統時脈之一半，故使用此兩種介面作為溝通與傳輸是為上選。

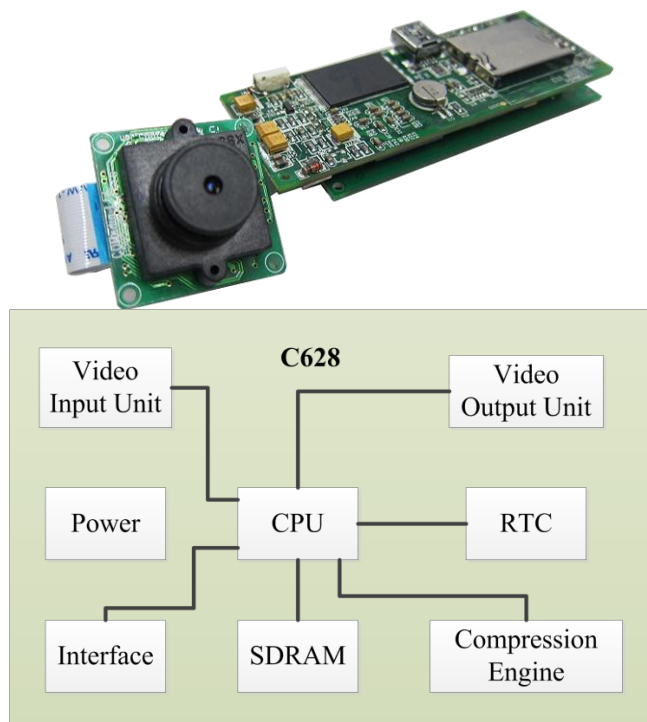


圖 3-13 C628 數位相機模組實體圖及系統內部區塊圖

C628 之詳細規格見 表 3-2，除具備基本拍照功能，亦提供攝影功能，並且有多種模式可供調控。此模組係使用 UART 進行各式指令控制，如：白平衡、影像壓縮程度、解析度、拍照次數、拍照或是錄影以及下載圖片和影片等。由上述功能可知整合 C628 於本研究之系統，可使後端對於前端可控制性之增加，促使整個系統發展的彈性更大。然而此模組亦存在著設計瑕疵，儘管利用 UART 同步協定相當方便，此模組在同步指令規劃上並不是每次嘗試都會成功，同步指令共五碼，每碼必須依照次序發送至相機模組，但相機並無起始同步訊號，亦無嵌入式系統常用 Chip Select 功能可用，故在發送同步指令經常出現同步失敗現象。此失敗現象於 Comedia 公司提供之電腦軟體端亦相當容易出現，故本系統於同步設計中需有相應措施，目前規劃如下，每次同步指令在間隔 10 ms (Comedia 公司提供之規格)連續發送 25 次，如失敗則重新致能相機模組，共嘗試 5 分鐘。

表 3-2 C628 數位相機模組相關規格

項目	內容
影像感測器	Mega Pixels CMOS Sensor
影像處理器	ZORAN COACH-6E
內建記憶體	64Mb
外接記憶體	16MB NAND Flash
影片規格	640 × 480 (30 fps) 320 × 240 (30 fps) 無錄影上限時間，由可用記憶體大小決定影片容量大小。
圖片規格	1280 × 960, 640 × 480 JPEG 型別
白平衡	一般/ 夜晚/ 鎢絲燈下/ 螢光燈下/ 多雲昏暗
串列傳輸速率	115200, 57600
USB 介面	USB 1.1
電源供應	DC 5 Volt

## (二) 影像監測系統韌體規劃

本研究之影像監測系統之韌體係由 IAR SYSTEMS 推出之 IAR Embedded Workbench 中使用 C 語言進行測試及撰寫，此套軟體為開發嵌入式系統專用，除支援本研究使用之 MSP430 系列微處理器外，亦同時支援許多家公司所開發之微處理器，其中包含較低階之 8051 系列及 Atmel AVR 系列、以及較高階之 ARM 處理器等。使用之程式語言包含組合語言(Assembly Language)、C 語言及 C++ 等(IAR SYSTEMS, 2011)，泛用性相當高。軟體同時包含編譯、除錯、及燒錄等功能，故在開發專案時是為可靠且方便。

本節著墨於前端影像監測系統開發，本系統將採用模組化設計，使用市面上已發展成熟的組件進行系統整合。僅當系統需使用時此功能再將此模組或組件呼開啟使用即可，並透過即時自動化排序行程、記憶體分配以及資源管理，構成主軸韌體。各組件或模組之程序或是溝通協定，將分別做成函式，僅定義其輸入與輸出介面，提升模組及韌體程式的可攜性與可塑性，由圖 3-14 系統韌體程式核心架構圖可知韌體程式建置觀念之大概，係由系統核心為基礎往外擴張，越往內部表示越接近系統核心，而最外層部分代表各功能性模組。中間灰色條紋部分為系統核心 MSP430 原先預設之 Library、Interrupt、以及 Memory，供開發者使用，但不可更動，其外圍 Schedule、Priority Management、Memory Management、Module Subroutine 才為此韌體設計之重點，其中相關性為交集處，如 Memory Management 並未與 Interrupt 有所交集，表示 Memory Management 並無使用到內建 Interrupt 之功能。依此韌體開發觀念研製出彈性高，簡化複雜程序、以及函式(模組)移植簡易之韌體設計。亦可由圖 3-15 系統韌體程式核心架構立體示意圖詳見韌體核心架構，自系統底層繪至系統最上層，底部兩層為系統核心提供，上方三層即為本研究韌體之主要分類，交界處表示存取關係。屬 Schedule 之韌體函式可存取 Interrupt、Memory、以及 Library，依此方式閱讀此架構圖，各層詳要敘述如下文：

**Memory Management:** 包含 MSP430 F5438 內建 Flash 以及擴充 SD Card 兩者記憶體之管理：內建 Flash 為韌體程式燒錄之位置，此部分記憶體不可寫入亦不可讀出，剩餘記憶體在寫入時則需特別注意此位址是否已被使用，在已被使用的狀態下，必須先執行抹除動作才可再行寫入。SD Card 的管理則使用 16 位元的 FAT(File Allocation Table)作為儲存檔案之依據，此方式可有效使現今計算機系統均可存取此 SD Card 存放之檔案。

**Schedule:** 排程負責判斷以及安排系統之執行序，由於本系統之排程為可遠端控制及改變，如無排程管理易導致系統發生運作失措，甚至導致系統當機現象，故排程管理對於本系統為十分重要之功能。

**Priority Management:** 執行序之優先度管理，主要用於管理個模組子函式，部分模組子函式為可單獨運行，有些為串聯使用，必須具備相對應的執行順序。在排程和記憶體管理確認後，再經由優先度管理處理出各項子函式執行序，進而完成系統指定作業。

**Module Subroutine:** 各個模組子函式，在本研究中包含數位相機模組、以及行動通信模組兩大主要子函式，均以 C 語言撰寫，除移植容易之特性，擴充性高以及維護簡易均為此函式撰寫之優勢。將各個子函式獨立開發，定義清楚所有輸入及輸出，使模組可獨立正常作業亦可共同作業、互不影響。

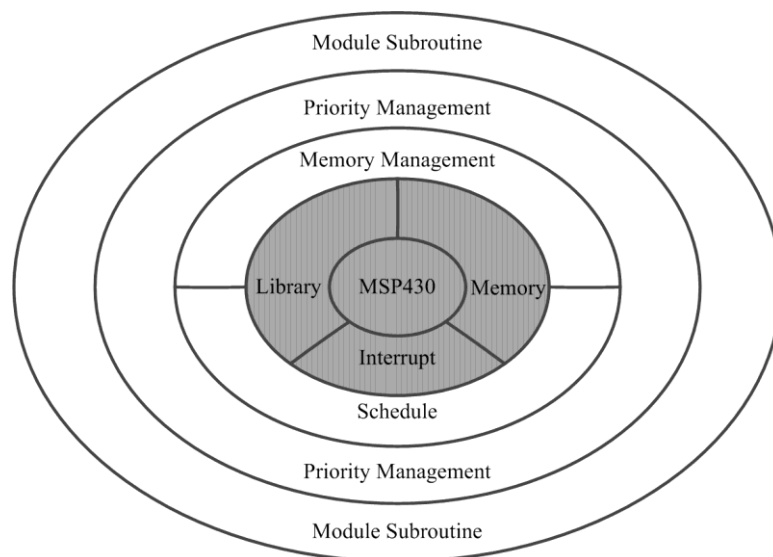


圖 3-14 系統韌體程式核心架構圖

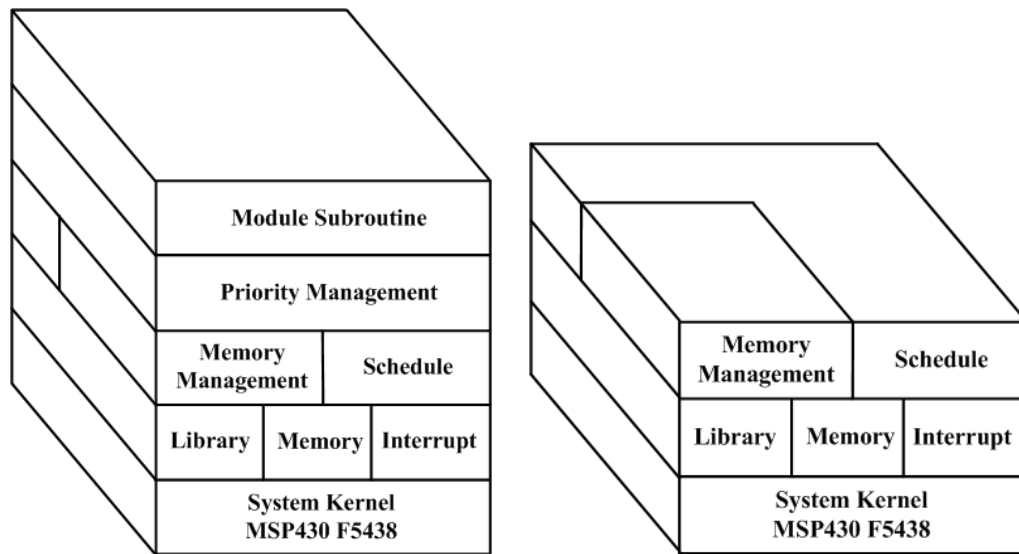


圖 3-15 系統韌體程式核心架構立體示意圖

### 1. 影像監測系統主核心韌體程式流程概說

本研究係使用 C 語言完成整個系統流程，採用事件觸發之模式滿足系統需要之功能。由於系統為架設於野外，且無穩定市電供應，故使用事件旗標為達成低功耗條件之有效方法，主機板系統流程可見圖 3-16 前端影像傳輸主機板系統流程圖，其中包含五種事件旗標：資料補傳旗標(Data-resume Flag)、影片上傳旗標(Video-upload Flag)、擷取照片旗標(Snapshot Flag)、錄製影片旗標(Video-record Flag)、以及讀取指令旗標(Command-read Flag)。事件旗標包含四種參數：優先序(Priority)、累進式執行序(Queue)、相機相關旗標(Camera-related flag)、以及行動通信相關旗標(Modem-related flag)，此四項參數對於程式流程執行具有十分之影響力，亦是使系統流程順暢之要素。主核心之主要流程解說如下：系統起始便與從核心溝通，使其得知主核心已在工作狀態，接著讀取 RTC 之時間，並依序判斷何種旗標已被致能，由流程可知：資料補傳旗標和影片上傳旗標具有最優先和第二優先執行序，當此二旗標被致能時將優先執行指定事件。而擷取照片旗標、錄製影片旗標、以及讀取指令旗標則為累進式執行序，此三項旗標可同時被觸發，亦可僅觸發單一旗標，其後

依序判斷是否為相機相關指標和行動通信相關指標，判斷結束才進入執行事件流程。事件旗標執行結束後系統便再次與從核心溝通，使其得知主核心仍在工作狀態，依此循環執行整套主流程。

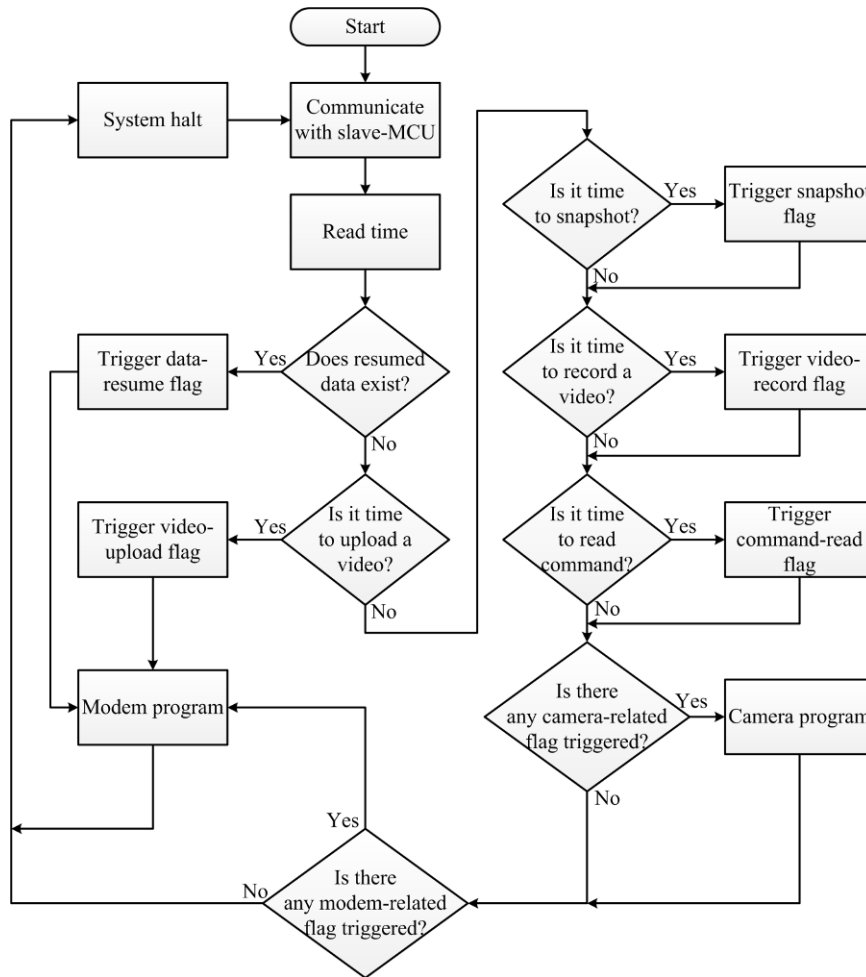


圖 3-16 前端影像傳輸主機板系統流程圖

### i. Camera Program

在主流程中提到的 Camera Program 係以系統核心 MSP430F5438 與 C628 相機模組溝通之子程序，其程式流程描述如圖 3-17，C628 相機模組每次通電後均需同步，此步驟並非每次均會成功，確認同步失敗後，系統將 C628 相機模組重新致能後再度同步，此流程重複之閾值為 5 次。



確認同步成功後，系統將依主流程之事件旗標判斷此次事件為拍攝照片、錄製影片、或者資料補傳，並在事件旗標結束後將資料下載至主機板之 SD Card，結束 C628 相機模組，返回主要流程。

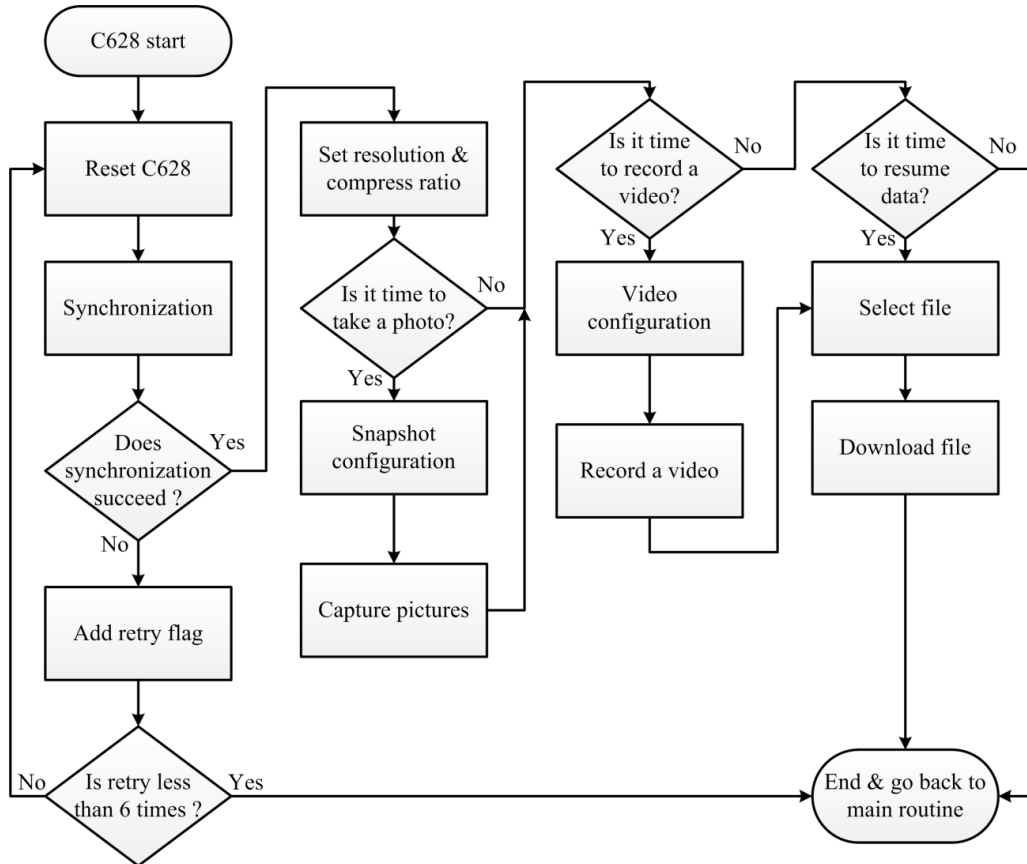


圖 3-17 C628 相機模組運作程式流程圖

## ii. Modem Program

Modem Program 裡即是主核心 MSP430F5438 與 3G/GPRS 行動通信模組溝通之子程序，其程式流程如圖 3-18，在此流程中影響因素最大為行動通信訊號強弱，然而電信公司並不會於曠無人煙的地方架設基地台，故在野外環境中訊號十分微弱外，更容易遭受氣候變化影響。在訊號微弱的情形中，即使連線已經成功，並開始上傳資料，仍有可能發生斷線現象，在如此嚴苛的環境條件下，發展一套可靠之行動通信連線機制是為十分重要。在流程圖中可見此連線機制提供最大三次初始化 (initialization) 的嘗試，此處初始化係指開啟 3G/GPRS 行動通信服務，

並搜尋其訊號；連結(connection)是指連線上遠端 FTP(File Transfer Protocol)伺服器，在每次初始化成功後均有 3 次連結的嘗試機會；其後便依主流程之事件旗標判斷此次事件是為上傳(upload)或是下載(download)事件，再依序完成所指定之事件；最後關閉(closure)與 FTP Server 遠端連線以及 3G/GPRS 行動通信服務，並返回主要流程。

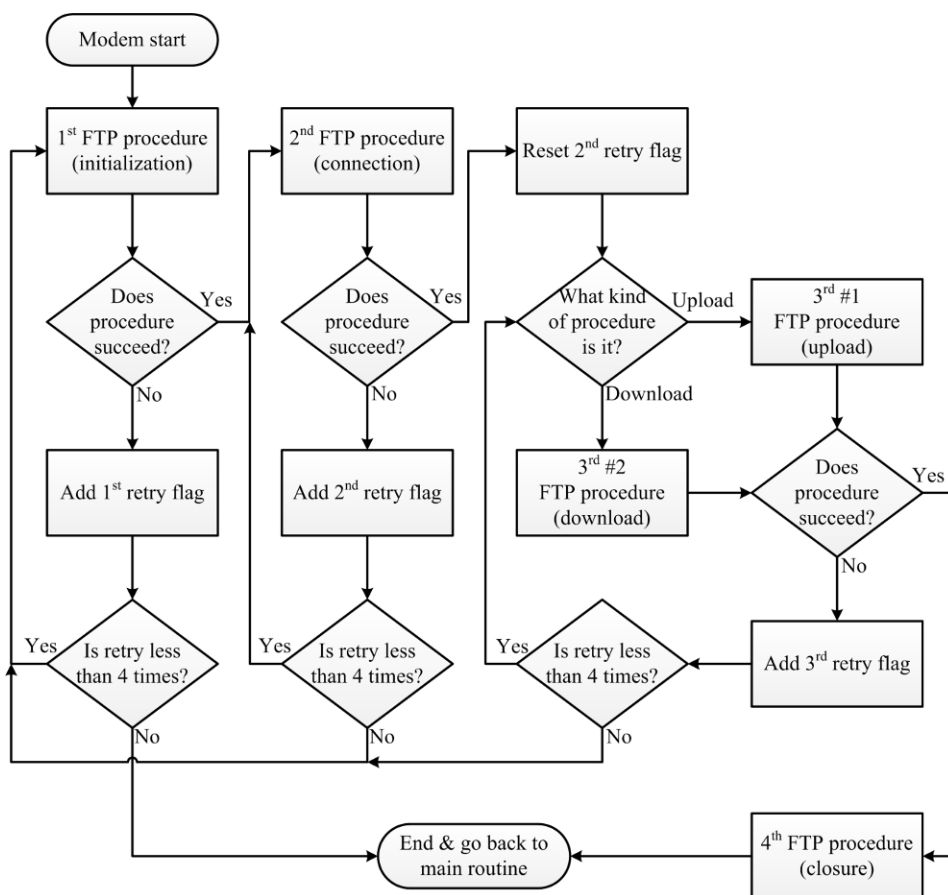


圖 3-18 3G/GPRS 行動通訊模組程式流程圖

## 2. 影像監測系統從核心韌體程式流程概說

相較於主核心，從核心程式流程架構簡要許多，其工作性質單純，僅需監督主機板是否正常運作，並適時開啟電源或關閉電源。從核心程式流程可由圖 3-19 一窺大概：系統主要設定為凌晨 0:00 至早上 6:00 主機板為關機狀態，此時系統無需拍攝照片、錄製影片、以及上傳資料。其餘時間當主機板被致能時，從核心將建立一 time-flag，由此旗標判定主核心是否超時未與從核心溝通，進而將主機板重新致能。為防從核心

干擾主核心各種動作，在主核心與從核心溝通之間僅為單向傳輸，其中主核心發出之資訊共有三種：(1) OK，系統運作正常、(2) NG，將主機板重新致能、(3) OFF，關閉主機板，從核心依此資訊完成各項指示。

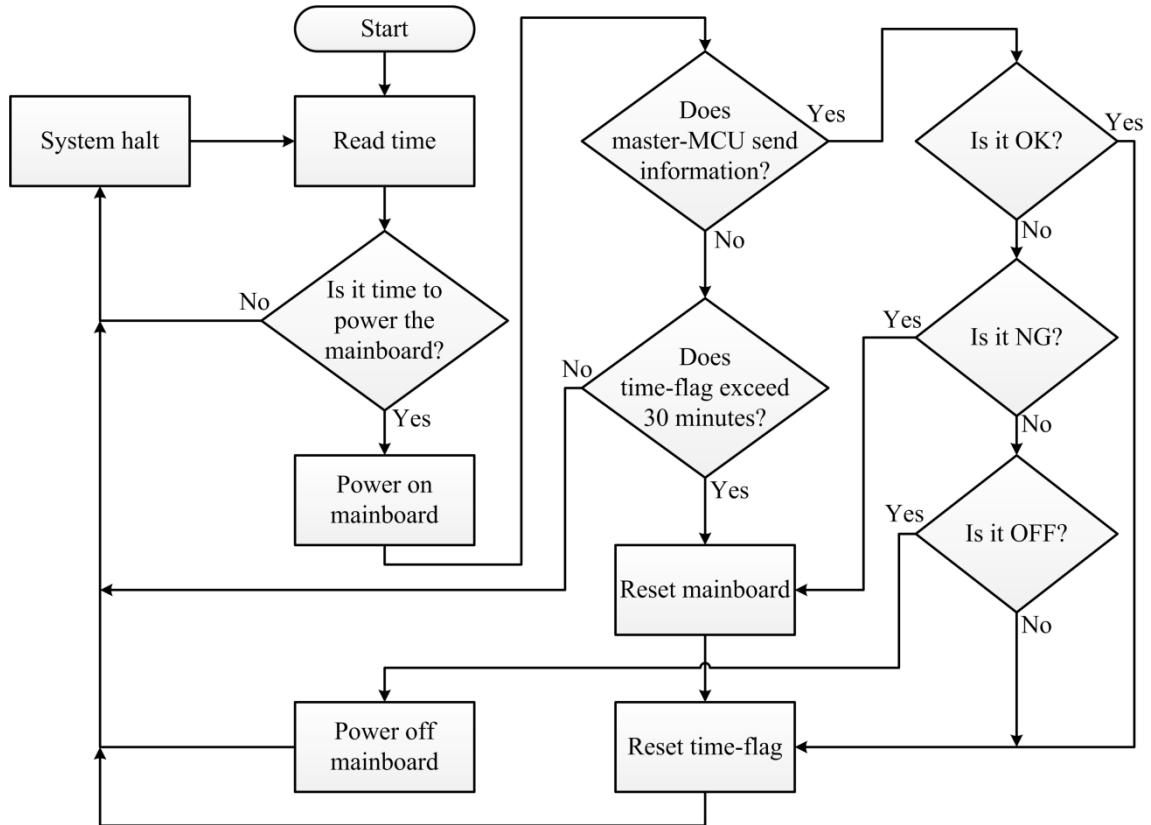


圖 3-19 從核心電源控制板之程式流程概要

### (三) 影像監測系統前端與後端交握機制

在介紹後端軟體之前，先行介紹系統前端與後端之間的交握機制，其中含：回傳封包格式、後端指令格式、以及補傳機制等。由於此三項要素為前端及後端的重要橋樑，完善及完備之規畫將有利整套系統運作。

#### 1. 回傳封包格式

此節探討的是前端傳回之照片及影片之資料格式，其中前端機台自啟動開始每張照片及影片編號為累進制，爾後前端將一張照片或是一部影片劃分成數個到數十個分割檔，以.txt 檔的形式存入 FTP Server，其中

每個.txt 檔大小預設值為 30720 Bytes，為使後端軟體易於檢查回傳封包是否正確，將 30720 Bytes 再依 1024 Bytes 為最小單位封存，如圖 3-20 所示，在每個最小單位的開始及結尾各有一個 Start Byte 以及 End Byte，且在 End Byte 之前有 2 個 Bytes 並非資料封包，而是供給後端伺服器判斷此段資料是否為正確之檢查碼，可確保每一個編碼均為正確，如不正確即可保留圖片(影片)編號、.txt 編號、以及單位編號完整記錄有缺失之封包處。

Start Byte	$P_1$	$P_2$	$D_1$	$D_2$	..... $D_i$	$C_1$	$C_2$	End Byte
------------	-------	-------	-------	-------	-------------	-------	-------	----------

圖 3-20 回傳最小單位封存格式示意圖

$P_1, P_2$ : 單位編號； $D_1 \sim D_i$ : 資料封包，共 1024 Bytes； $C_1, C_2$ : 檢查碼。

## 2. 後端指令格式

系統亦規畫由後端可遠端改變前端相關流程，控制方式為於 FTP Server 中指定位置創建指令，指令格式需依照圖 3-21 發布，採用 16 進位編碼，前後各使用兩個開始及結束碼，用以簡易確保指令內容設定無虞。圖中方格寬度表示字節大小，其中每個指令長度不一致，指令與指令中間以間隔碼分隔，供給前端確認單一指令結束，間隔碼、起始碼、以及結束碼均為一個字節長度(1 Byte)。相對於使用普通字元作為指令格式，16 進位編碼擁有較高之安全性以及較小的字節使用量。

Start Byte 1	Start Byte 2	Cmd 1	Intervals	Cmd 2	End Byte 1	End Byte 2
--------------	--------------	-------	-----------	-------	------------	------------

圖 3-21 後端發送指令封包格式示意圖

Cmd: 指令內容，指令內容長度不一，1 ~ 4 Bytes。Intervals: 區隔 Cmd。

相關指令列表請參照表 3-3，指令均由 16 進位編碼，如 Head 中標示之每個特別指令的主要編碼。每個指令由主要編碼(Head)及細節編碼(Contents)組成，各指令長度不一，並擁有不相同之潛規則，如指令未依潛規則發布，將造成控制指令無效化，進而無法改變前端硬體運作模式。表中第一欄為照片拍攝週期以及拍照張數設定，主要編碼(Head)為固定值，前端係由 Head 判別此串指令屬於何種類型，其中潛規則有：單次拍照張數不可大於 5 張、拍照時間間隔需大於 15 分鐘、以及拍照結束時間需晚於起始時間，違反其中任一潛規則，即會造成此段指令失效。假設今發一指令 A 為 1 (0x01)、P<sub>c</sub> 為 30 (0x28)、H<sub>cs</sub> 為 6 (0x06)、以及 H<sub>ce</sub> 為 19 (0x13)，括弧處為 16 進位編碼形式，此段指令表示自 6 點開始至 19 點每隔 30 分鐘拍攝 1 張照片。各項指令之潛規則可於韌體程式中更改，其中有些潛規則係配合目前硬體架構及應用目的，如上傳檔案大小係配合整體記憶體控制之考量，以及影片拍攝拍攝上限為 15 秒，影片之檔案大小較照片大上許多，考量系統架設於外海無人島上，人員無法於短期內登島更換 SD Card，故限制影片拍攝長度。以及影片拍攝模式不似照片模式可於一個指令下連續拍攝多部影片，亦是考量系統記憶體大小所致，假若系統之應用性不同，韌體程式僅需小改，即可完成連續拍攝影片甚或長度較長影片之功能。

表 3-3 後端各項控制指令表

Function	Length	Head	Contents	Rules	Notes
<b>Snapshot</b>	1+4	P 0x50	<u>A</u> <u>P<sub>c</sub></u> <u>H<sub>cs</sub></u> <u>H<sub>ce</sub></u>	$A \leq 5$  $P_c \geq 15$  $H_{ce} > H_{cs}$	<u>A</u> : Amount <u>P<sub>c</sub></u> : Period of snapshot <u>H<sub>cs</sub></u> : Hour that snapshot starts <u>H<sub>ce</sub></u> : Hour that snapshot ends
<b>Video-record</b>	1+4	A 0x41	<u>P<sub>r</sub></u> <u>M<sub>r</sub></u> <u>H<sub>r</sub></u> <u>H<sub>u</sub></u>	$P_r \leq 15$  60 24 24	<u>P<sub>r</sub></u> : Length of video <u>M<sub>r</sub></u> , <u>H<sub>r</sub></u> : Time that record a video (Minute & Hour) <u>H<sub>u</sub></u> : Time that upload a video
<b>Picture resolution</b>	1+3	S 0x53	<u>E<sub>s</sub></u> <u>R</u> <u>C</u>	$E_s \in \{1, 0\}$  $R \leq 1$  $C \leq 45$	<u>E<sub>s</sub></u> : Enable this or not <u>R</u> : Resolution <u>C</u> : Compression ratio
<b>Video resolution</b>	1+3	R 0x52	<u>E<sub>r</sub></u> <u>R</u> <u>C</u>	$E_r \in \{1, 0\}$  $R \leq 1$  $C \leq 45$	<u>E<sub>r</sub></u> : Enable this or not <u>R</u> : Resolution <u>C</u> : Compression ratio
<b>Command-read</b>	1+3	T 0x54	<u>P<sub>b</sub></u> <u>H<sub>bs</sub></u> <u>H<sub>be</sub></u>	$P_b \leq 15$  $H_{bs} < H_{be}$	<u>P<sub>b</sub></u> : Period of command <u>H<sub>bs</sub></u> : Hour that command starts <u>H<sub>be</sub></u> : Hour that command ends
<b>Transmit speed</b>	1+1	U 0x55	<u>Th</u>	$Th \leq 60$	<u>Th</u> : Threshold for speed
<b>Packet size</b>	1+1	F 0x46	<u>F<sub>s</sub></u>	$F_s \in \{10, 20, 30, 60\}$	<u>F<sub>s</sub></u> : Uploading packet size

### 3. 補傳機制

在 3.3.1 節中提到之回傳封包格式中含有檢查碼，當檢查碼與資料檢驗值不同之時，後端系統將暫存圖片(影片)編號、.txt 檔案編號、單位編號，此三項編號作用除確認資料正確性以及影像合成用途外，更提供了

補傳資料之先行要素。後端伺服器依錯誤以及遺漏的三項編號編制為一特殊指令，其封存方式仍然與 3.3.2 節提到之方法相同，而其詳細內容如圖 3-22 所示，由於 1 個 Byte 最大值為 255，當圖片編號或檔案編號超過時將不敷使用，故使用 2 個 Bytes，將 2 個 Bytes 合成即可還原成原來之編號，其中單位編號並非為連續編號，而是僅補傳有錯誤以及遺漏的編號。

$N_{hi}$	$N_{lo}$	<b>Pati- tion</b>	$T_{hi}$	$T_{lo}$	<b>Pati- tion</b>	$U_1$	$U_5$	.....
----------	----------	-----------------------	----------	----------	-----------------------	-------	-------	-------

圖 3-22 補傳指令詳細格式

$N$ : 圖片(影片)編號。 $T$ : .txt 檔案編號。 $U$ : 單位編號。

#### (四) 影像監測系統後端規劃

影像後端系統包含兩大要項，FTP Server 以及網頁服務，下文將細述系統選用 FTP Server 的主要原因以及後端影像處理暨控制程式各項細節及流程。

##### 1. FTP Server

FTP 為一個 8 Bit 的客戶端與伺服器的協定，主要用以於網路中進行文件傳輸的一套標準協議，屬於網路傳輸協定中的應用層。在表 3-4 中可見其主要優點和缺點，其第一項優點可供給後端進行多重服務，無論是資料及數據分析，或是網頁分享均十分合宜；第二項優點在於開發後端軟體程式時可於各處進行編譯以及除錯；第三項優點更能安全保護存放於伺服器中的檔案，不虞被遠端使用者輕易得知不同主機間之交流；最後一項對於前端系統具有十分有利之條件，依此協定進行可靠且高校的傳輸。在各項缺點中，由於傳送之資料格式係屬加密，並且需排列嚴謹才可獲得完整資訊，不似未處理的資料一經竊聽即所有資訊一覽無遺；FTP Server 只需更改為被動模式，即可供使用者更加流暢使用；第三項缺點為造成伺服器本身負擔，故須考量一台伺服器不可同時轄過多

前端設備；由於前端並非同時傳輸多個小檔案，最後一個缺點可忽略不計。依以上分析可了解選用 FTP 作為伺服器協定為可靠解決方案。

表 3-4 FTP Server 四大優點以及缺點

	優點	缺點
第一項	促進文件共享	容易遭受竊聽
第二項	遠端桌面使用方便	主動模式下流量受限
第三項	文件存取系統細節隱蔽	隨時保存連接阜供給連線
第四項	可靠且高校的傳輸數據	傳輸數量多、檔案小時效率不高

## 2. 後端影像處理程式規劃

系統後端軟體設計係以 LabVIEW 8.6(National Instruments, 2012)完成，鑒於 LabVIEW 強大的 GUI (Graphical User Interface) 介面，以及在微軟(Microsoft)之作業系統下與各種程式相容性極高，故選擇此軟件作為系統後端主要應用軟體。系統流程規劃與前端交握機制息息相關，其影像合成機制如圖 3-23 後端影像封包解析及合成程式流程圖流程所示：系統至起始便不斷地搜尋 FTP Server 的指定資料夾內是否仍有未合成之照片及影片，在確認完上傳結束之 OK 檔後，即開始進行解碼、編碼、以及驗證等動作，確認圖片合成完畢即將分割檔移至另指定資料夾，如處理過程中發現分割檔含錯誤封包及遺失封包便記錄其圖片(影片)編號、.txt 檔編號，以及封包單位編號於指定資料夾中，以待補傳。



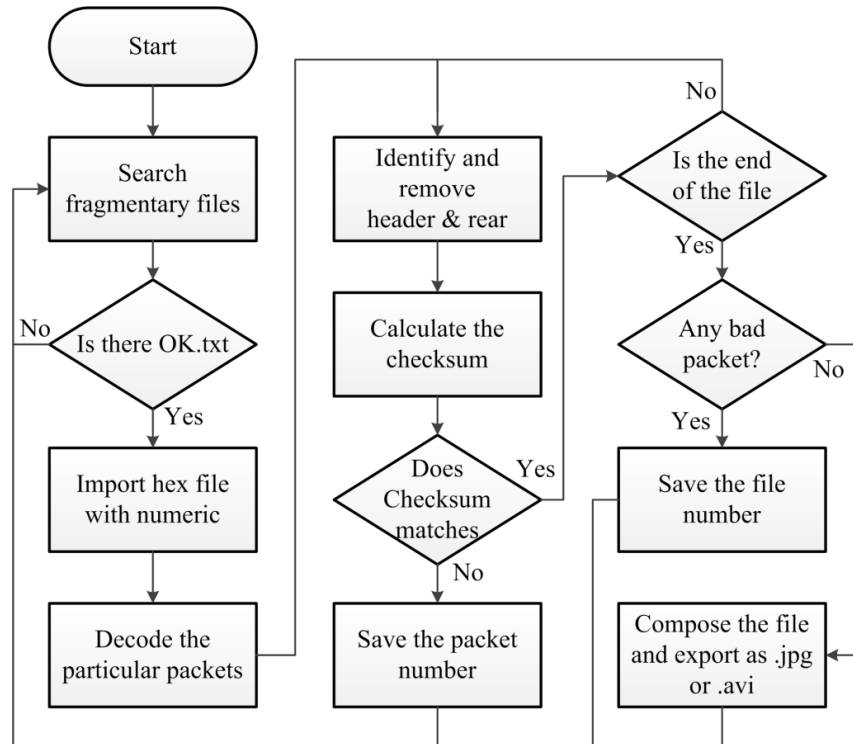


圖 3-23 後端影像封包解析及合成程式流程圖

圖 3-24 為此影像合成程式之前頁面，頁面可改變分割檔儲存資料夾之路徑，亦可得知該分割檔至起始傳輸時間至結束傳輸時間的耗時，其中可見其檔名，檔名名稱是指影像系統編號、照片(影片)編號、照片(影片)拍攝日期與時間點、以及.txt 檔的分割編號，此頁面可即時提供最新一張合成出的影像。



圖 3-24 後端 LabVIEW 影像合成頁面

圖 3-25 為 LabVIEW 中後端控制程式之主頁面，控制程式無須考量程式流程，因前端與後端交握機制之設計完善，控制程式僅需製造符合控制指令格式之.txt 檔即可。由圖中可見各項可控制參數：照片設定、影片設定、讀取設定、立即指令、.txt 檔大小、以及上傳速率調節，有效及彈性控制這些指令才可有效發揮前端系統功能。

The screenshot shows a LabVIEW control panel with the following sections:

- 機台編號**: A dropdown menu for selecting the station number.
- 照片設定**:
  - A-拍攝張數**: Spin box set to 0.
  - H<sub>cs</sub>-起始時間(時)**: Spin box set to 0.
  - P<sub>c</sub>-間隔時間(分)**: Spin box set to 0.
  - H<sub>ce</sub>-結束時間(時)**: Spin box set to 0.
  - R-照片解析度**: Radio buttons for 1280\*960 (selected) and 640\*480.
  - C-照片壓縮比**: Spin box set to 0.
- 影片設定**:
  - P<sub>r</sub>-拍攝秒數(15秒)**: Spin box set to 0.
  - H<sub>r</sub>-拍攝時間(時)**: Spin box set to 0.
  - M<sub>r</sub>-拍攝時間**: Spin box set to 0.
  - H<sub>u</sub>-傳送時間(時)**: Spin box set to 0.
  - R-影片解析度**: Radio buttons for 320\*240 (selected) and 640\*480.
  - C-影片壓縮比(45x)**: Spin box set to 0.
- 讀取指令時間**:
  - H<sub>os</sub>-起始時間(時)**: Spin box set to 0.
  - P<sub>b</sub>-讀取時間間隔**: Spin box set to 0.
  - H<sub>oe</sub>-結束時間(時)**: Spin box set to 0.
- 錯誤封包編號記錄**: Input field with a search icon.
- 記錄failure檔案**: Input field with a search icon.
- 紀錄影像錯誤檔案**: Input field with a search icon.
- backend\_command (folder)**: Input field with a search icon.
- 立即指令**:
  - 拍攝類型**: Radio buttons for 照片 (selected) and 影片.
  - 立即拍攝張數**: Spin box set to 0.
  - 立即拍攝秒數**: Spin box set to 0.
- F<sub>s</sub>-文字檔大小(Bytes)**: Spin box set to 10 bytes.
- Th-傳輸速度調節(Kbps)**: Spin box set to 10 (0-20).

圖 3-25 後端 LabVIEW 控制指令發送頁面

### 3. 網頁服務

在結合 FTP Server 之後端設計下，其方便之存取功能，致使本研究在後端設計彈性相當寬廣，圖 3-26 為本研究初步設計之燕鷗生態即時影像網頁服務，其網址為 <http://140.112.94.60/mazu>。在點入的頁面中，可於首頁看見各系統於不同島上擺放位置以及鏡頭朝向方位，其下簡易分類每日一頁，每行中均有各系統之連結可點選，點選不同系統即會出現該系統於當日拍攝及回傳之影像，點選各影像小圖均可放大觀看。目前網頁規劃不含遠端控制服務部分，由於網頁服務係公開且透明，遠端控制服務仍僅限於研究人員方能下達指令。

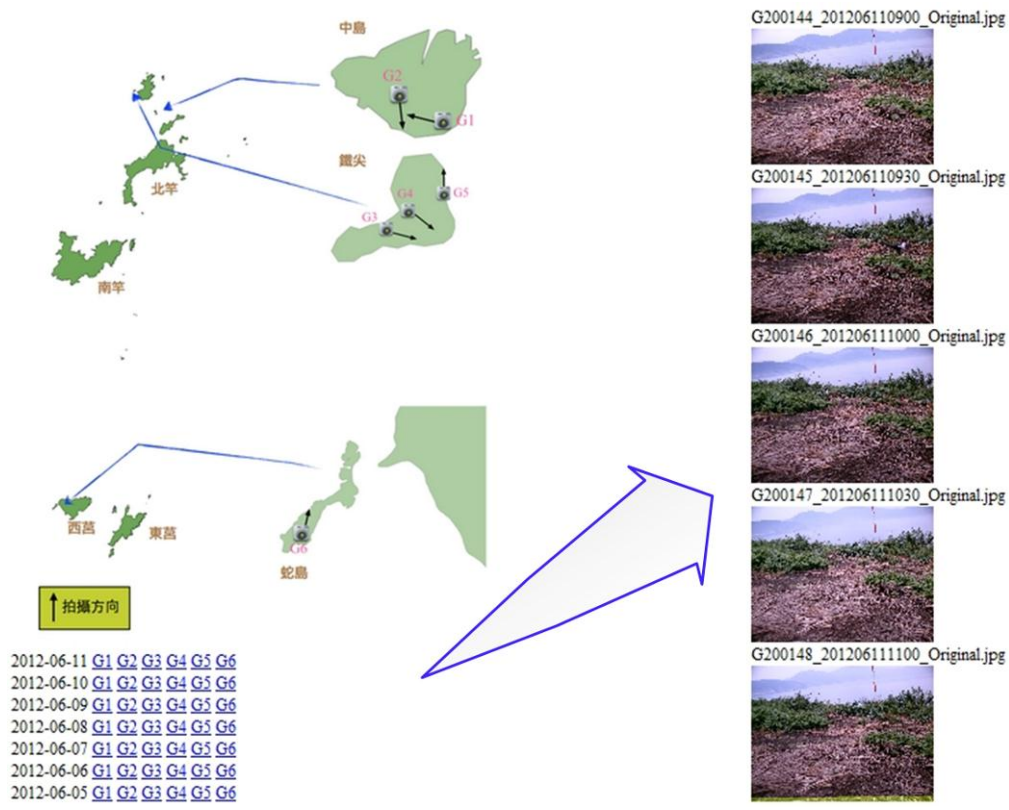


圖 3-26 燕鷗生態即時影像網頁服務

## 二、 微型氣象監測站

位於台灣西北邊的馬祖地區屬亞熱帶海洋型氣候，其氣候受到季風、洋流、地理位置等因素所影響，具有分明的四季天氣，冬天寒冷且潮濕，夏天雖氣候宜人但多霧。但馬祖地區靠近中國大陸的大陸型氣候，其氣溫相較於台灣平均溫度低，且早晚溫差大。每當六至八月夏季來臨，霧季結束，馬祖與台灣本島飛往的飛機班次頻繁且便利，遊客紛紛慕名燕鷗之名來到馬祖列島觀賞燕鷗，燕鷗觀光季為馬祖帶來碩大的經濟效益。

主要棲息於馬祖列島的燕鷗有許多種，例如黑尾燕、白眉燕鷗、紅燕鷗、蒼燕鷗、鳳頭燕鷗，甚至是有”神話之鳥”別稱的黑嘴端鳳頭燕鷗。因馬祖列島海產豐富、過去又是軍事保護區，在沒有人為干擾的狀況下，使這些無人島成為燕鷗繁殖的最佳處所。燕鷗居住地隨氣候遷移，他們隨著氣候變遷而飛行至溫暖地區繁殖、覓食。本研究團隊為了解黑嘴端鳳頭燕鷗的繁殖與當地氣候之間的關係，本研究團隊前往位於馬祖列島中的三處燕鷗保護區—中島、鐵尖島及蛇山，在每座島分別架設一台自行研發之微氣候氣象監測站，用以監測島上的氣候條件，例如溫度、相對濕度、風向、風速及雨量。以下將會介紹本研究團隊所放置之微氣候監測站之硬體架構、程式流程、架設情況、數據分析及結論。

本研究團隊自行研發之微氣候監測站具有監測島上溫度、相對溼度、風速、風向及雨量等之功能，冀望能了解黑嘴端鳳頭燕鷗其繁殖條件與當地氣候之關係，並且歸納出牠們繁殖與生態的習性。本監測站的系統架構如圖 3-27 所示。

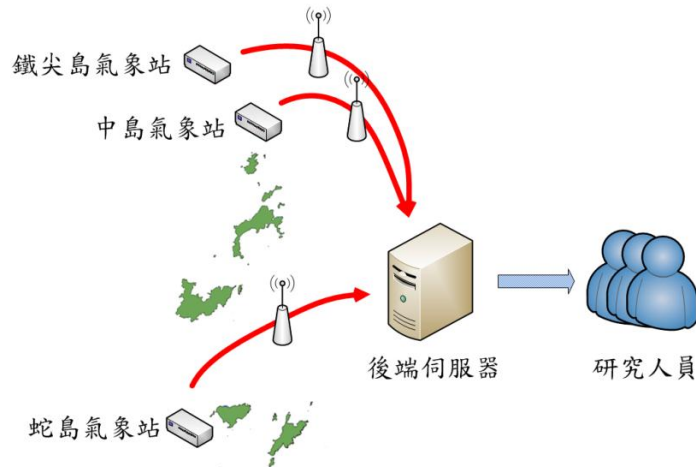


圖 3-27 微氣象監測站系統架構圖

本研究團隊放置監測站的中島、鐵尖島及蛇山，皆為四面環海且長期無人居住的島嶼，並無穩定電源可供氣象監測站所使用。為使本監測系統長期穩定運作於無人島上，本研究團隊於各監測站使用自給式電源供應模組，並配合所開發之低耗能導向微氣候監測站，期望在供電不易的無人島上穩定地運作，以提供研究人員珍貴的實驗數據。低耗能導向微氣候監測站(如圖 3-28 所示)採用 MSP430-F449 微控制晶片微處理核心，並使用周邊模組來取得氣候數據(溫度、相對溼度、風速、風向、雨量)，其周邊模組架構圖如圖 3-29 所示。

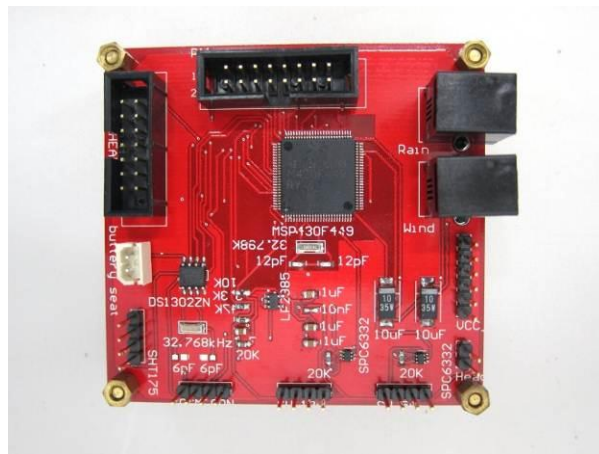


圖 3-28 微氣象監測站實體圖

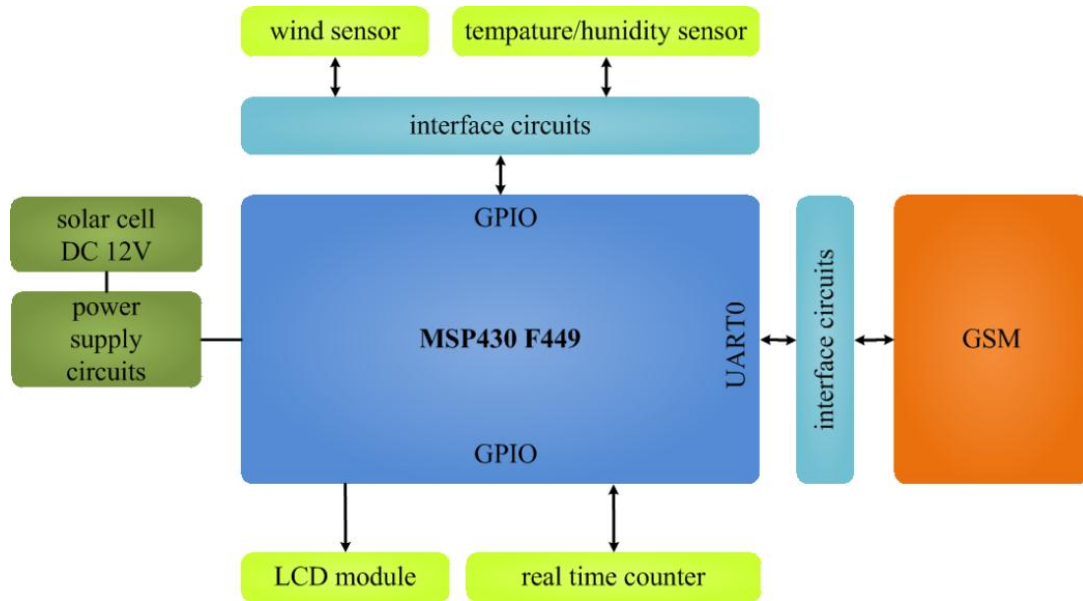


圖 3-29 微氣象監測站周邊模組架構圖

### (一) 自給式電源供應模組

位於野外的監測系統安裝有別於一般室內環境的監測系統，野外地區多半難以取得固定式電源，大部分的感測設備必須仰賴電池裝置供電。近年來有賴於太陽能光電模組的快速發展，野外的監測設備才得以有更便利的解決方案，監測設備可仰賴太陽能光電模組持續運作於戶外。但太陽能光電模組使用時，吾人為避免島上鳥類受驚嚇，必須將板子放置於靠近地面處，並且避免日照時有障礙物遮蔽。太陽能光電模組所產生的電力透過充電控制器可將電力直接充入蓄電池內，當電池電壓過低時充電控制器可中斷電力輸出，藉此保護電池避免過度放電，待太陽能光電模組持續對蓄電池充電至可輸出電壓位準時，才會重新輸出電力。

### (二) 中央微處理機 MSP430-F449

本次計畫所使用核心晶片為德州儀器所開發的微處理機晶片，型號為 MSP430-F449 如圖 3-30 所示，MSP430-F449 擁有一百隻接腳，其中有八

十隻接腳為通用型輸入輸出(General Purpose I/O, GPIO)，並且晶片上另有兩組串列埠(Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, UART)，所以本研究團隊利用 MSP430-F449 所開發出的微氣象站可利用其上述功能與周邊模組進行資料交換，以達到我們蒐集資料的目標。MSP430-F449 的另一特點為低功率消耗，工作狀態時只需要 400  $\mu\text{A}$  之電流，在待機狀態下只需使用 1.3  $\mu\text{A}$  之電流，此外微處理機更提供休眠模式，在這模式下所消耗的電流為 0.22  $\mu\text{A}$  來等待命令，使本微氣象監測站達到低功耗的目的。



圖 3-30 本微氣象監測站所使用的中央微處理機

### (三)GSM 全球移動通訊系統

本次計畫之氣象站與後端伺服器溝通主要是透過 GSM 全球移動通訊模組，本研究團隊所使用之 GSM 通訊模組是為增你強公司所代理型號 WAVECOM FASTRACK SUPREME 20 之 GSM 工程無線通訊模組(如圖 3-31 所示)，使用歐洲通訊技術委員會(European Telecommunication Standards Institute, ETSI)所公定之 AT 指令來操作 GSM 之收發功能。本次所架設之氣象站在使用傳送簡訊會使用 AT 指令選擇回傳簡訊之電信業者，如果選擇成功則發送封包，不成功則不回傳，以避免使用國際漫遊的方式傳送封包，會使用如此選擇功能是因為本次計畫氣象站所布置地點在離島，由於距離的問題導致氣象站與基地台間通訊不穩定，氣象站可能透過 GSM 選擇其他家電信業者以國際漫遊方式傳回封包，導致封包單價過高。





圖 3-31 GSM 可將感測資料利用 SMS 服務送回遠端資料庫

#### (四)實時晶片 DS1302

本次計畫之氣象站所使用之實時晶片為 DS1302(如圖 3-32 所示),可提供氣象站現實世界中的時間,使用 GPIO 與 MSP430-F449 進行資料溝通,其操作電壓彈性相當大,可操作於 2.5-5.5V,並且 2.5V 操作時僅需 300nA。DS1302 需外接一個 3V 的備用鋰電池,其鋰電池的目的在於,當 DS1302 失去主電源時,備用鋰電池電源可持續為 DS1302 供電,使內部震盪器可持續運作,以保持晶片能維持在實際時間上。DS1302 經由程式初始化後可以提供實時及日曆的功能,氣象監測站讀取晶片的時間後,蒐集其周邊模組的氣象資料後,並經由整理後將資料送至後端資料庫,以提供研究人員隨時間相關的氣象數據。



圖 3-32 實時晶片 DS1302 可提供系統現實世界時間

### (五)溫溼度感測器

溫度及相對溼度對於研究人員是相當重要的數據，許多大自然物理現象至生物生理反應皆與溫度及相對溼度有關。我們為了解黑嘴端鳳頭燕鷗其繁殖行為及變遷情形，我們將溫濕度微感測器整合於氣象監測站以提供溫度及相對溼度等數據。所使用的溫濕度微感測器型號為 Sensirion SHT71 (如圖 3-33 所示)，它具有可靠度高、長期使用穩定性極佳且價格合理等優點，可提供生態環境監測中所必須連續無中斷的資料。本感測器消耗電能僅  $80\mu\text{W}$ ，對於電源供應有限的島上相當適合。另外為了保證感測器不會受到水氣而影響其正常運作，本研究團隊亦於溫溼度感測器外包覆一層防水透氣膜，以確保溫濕度微感測器有良好的正確率及反應時間。

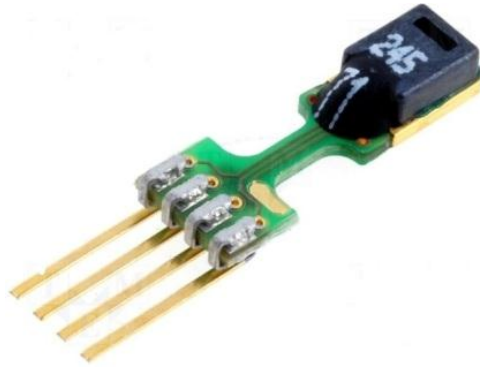


圖 3-33 SHT71 可提供本氣象監測站溫溼度等重要數據

### (六)風向/風速感測器及雨量感測器

本研究團隊今年度所使用之氣象模組與以往所使用的不同，以往所使用的為潤泰公司所代理之 MFJ-196RC 氣象模組。此氣象模組包含一個顯示螢幕，風向風量感測器及雨量感測器，但此氣象模組需要以  $5\text{ V}$  為額定電壓，考慮到監測站長期放置於電源供應有限的無人島上，並且無人看守，顯示螢幕並無功用且耗電。故本研究團隊更進一步使用功耗更低的感測器代替 MFJ-196RC 氣象模組。本監測站的風速計使用的是潤泰

公司所代理的 TX-12U(如圖 3-30 所示)，及型號為 TX-10U(如圖 3-35 所示)的雨量計。



圖 3-34 TX-12U 風速計與 TX-10U 雨量計

TX-12U 風速計具有四根接腳，如圖 3-35 所示，從右至左依序為棕色、紅色、綠色及黃色四根接腳，其功能分別為：

- 棕：資料傳輸線(Transmit Data line, TxD)
- 紅：電壓輸入端(可接受電壓為 3.3 V~5 V)
- 綠：資料準備線(Data Terminal Ready line, DTR)
- 黃：接地線



圖 3-35 TX-10U 風速計的 6P4C 接腳

當 MSP430 利用 GPIO (General Purpose I/O) 功能將資料準備線的電位降為 0 V 時，風速計會從資料傳輸線中每兩秒輸出一筆感測風速/風向的資料封包，其資料封包格式如圖 3-36 所示：

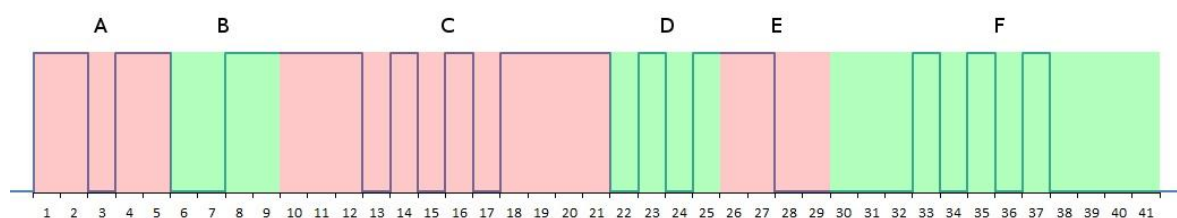


圖 3-36 風速/風向感測器資料封包格式

如上圖所示為風向/風速計封包資料。當資料傳輸線為高電位時，可視為此位元為 1；當資料傳輸線為低電位時，此位元為 0，依此規則每個不同電位高低的位元間隔 1.2 毫秒排列出一組二進制資料。吾人利用 MSP430 的 GPIO 接腳讀取資料傳輸線之不同電位高低的二進制資料，藉以取得此風向/風速感測資料。此封包可分為 A~F 部分，每部分皆有各自重要的功能，以下將描述之。

A 部分為封包標頭，擁有五個位元，強制為 11011，用以告知 MSP430 此資料封包的開頭。

B 部分為風向資料，擁有四個位元，將其二進制資料轉換為十進制資料後可獲得十六風向方位，如表 3-5 所示。

表 3-5 二進制與十六方位轉換表

二進制	十進制	風向
0000	0	北
0001	1	北北東
0010	2	北東
0011	3	東北東
0100	4	東
0101	5	東南東
0110	6	南東
0111	7	南南東
1000	8	南
1001	9	南南西
1010	10	南西
1011	11	西南西
1100	12	西
1101	13	西北西
1110	14	北溪
1111	15	北北西

C 部分為風速資料，擁有十二個位元。其中後三個位元強制為 1，而前九位元將其反運算後再前後對調，可得其二進制風速資料，在將其二進制資料轉換為十進制後，可得實際風速值的十倍。例如：當風速資料為 111010101111，將後九位元 111010101 反運算及前後對調後可得 010101000，將其轉換為十進制之值為 168，即風速值為 16.8 公尺/秒。

D~F 部分為校驗碼，用來校驗風速及風向值是否正確，而其存在規則為二進制風向及風速之值做反運算之結果。

雨量計構造較為簡單，為傾倒式雨量計。當雨滴落下時會連帶引起內部槓桿作動，使其內部電路訊號由開路轉成導通狀態的傾斜開關。吾人利用 MSP430 的 GPIO 功能偵測內部電路是否呈現導通狀態，當出現一次導通狀態表示雨量計偵測到 0.5 mm 之雨量。

### 三、 自動攝影機系統

團隊今年除使用自動影像紀錄器(Brinno, GardenWatchCam)外，為加強夜間監視能力在也增購 KG-680V 型數位式紅外線自動相機。其主要功能：(1)八百萬畫素，內建 2 吋彩色 LCD 螢幕和面板可進行設定和預覽拍攝結果；(2)日間拍攝彩色影像，夜間使用 28 顆紅外線 LED 拍攝黑白影像。可選擇錄影或拍攝相片；(3)內建 32MB 記憶體，另 SD 卡插槽可選擇使用 SD 或 SDHC 記憶卡，相容記憶卡最大容量為 16GB，可用 USB 傳輸；(4)使用 8 顆 3 號電池，使用鹼性電池可連續工作至少 4 個月，具防水功能。

今年度 3 月 25 日團隊也至蛇山架設兩種自動攝影機進行測試，並在 4 月間進行初步資料回收確認攝影機系統運作正常，並在 10 月初登島回收相機。



圖 3-37 今年增購之數位式紅外線自動相機



圖 3-38 架設於假鳥附近之兩種自動照相機

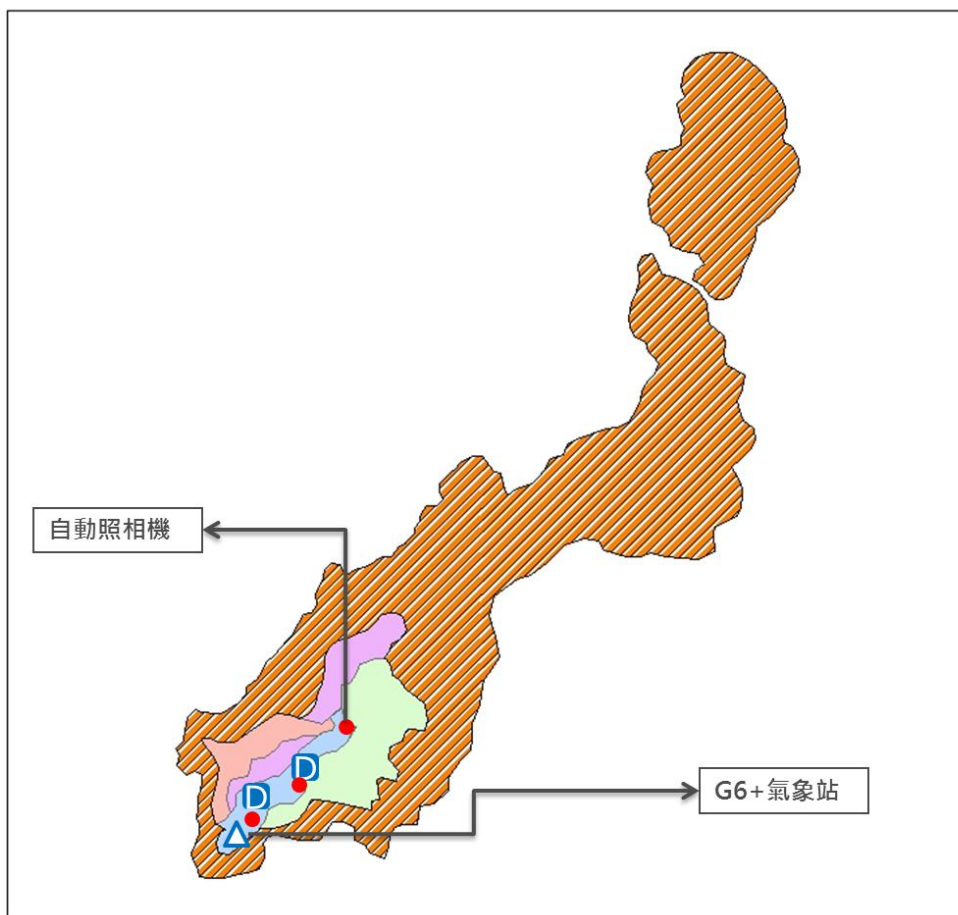


圖 3-39 蛇山 g6 機台、自動照相機、氣象站與假鳥(D 字位置)擺設位置





## 肆、監測資訊結果分析

### 一、即時影像監測系統

本研究於 2012 年 3 月下旬開始前往馬祖列島燕鷗保護區進行現地佈建，以求於燕鷗產卵及孵育期到來之前先行測試系統強健性以及穩定性。佈建規劃除考量島嶼上腹地大小，亦參考往年燕鷗產卵及孵育位置。臺北鳥會亦於蛇山進行假鳥誘引實驗，放置人工假鳥於棲地，藉以誘引燕鷗於此棲地進行孵育行為。蛇山位於莒光鄉，如圖 4-1，西莒之西南邊，距離西莒甚近，故可由圖 4-2 得知其 2G 以及 3G 訊號均為所有系統表現最佳之地方。G6 於 2012/4/24 登島架設，相對於中島與鐵尖島，蛇山地形較為狹隘、腹地較為狹小、且地勢陡峭危險，於此處進行架設系統，需將每顆重達 10 Kg 之鉛蓄電池一一運上島上最高處是為架設期間最具挑戰之處。G6 拍攝方向亦為朝向北方，故可預期其拍攝照片品質較為一致，不易發生背光現象。

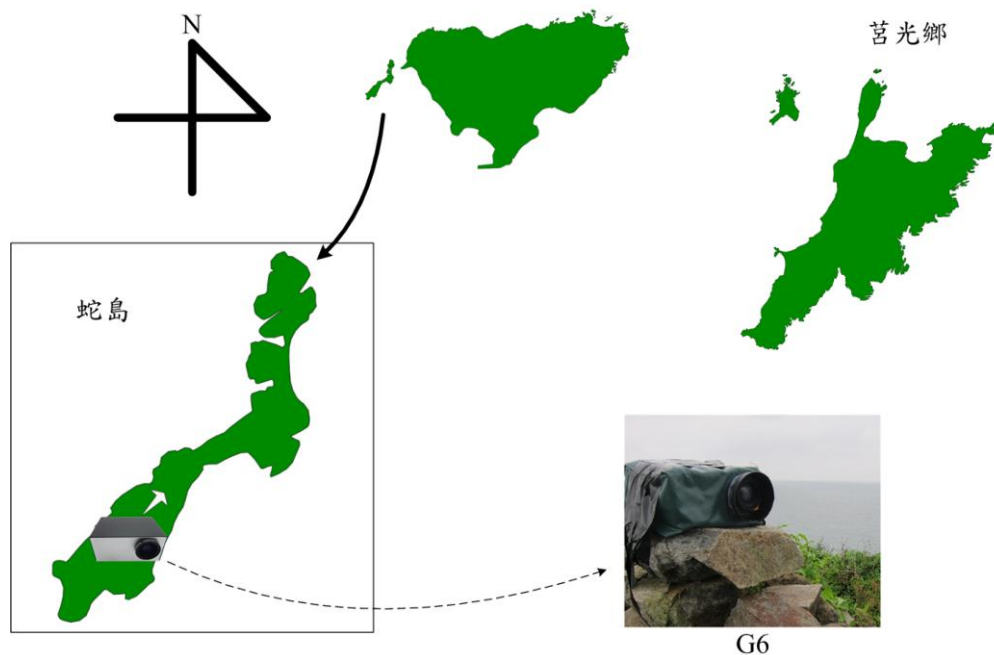


圖 4-1 前端影像監測站於蛇山佈建情形

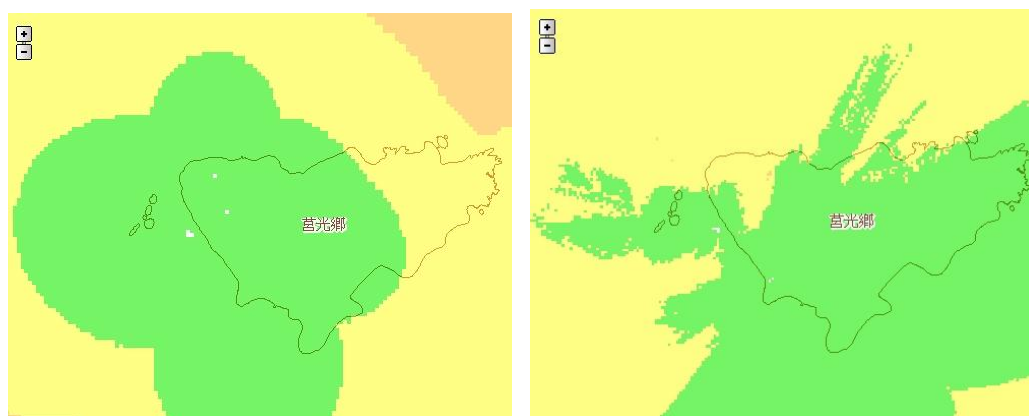


圖 4-2 北竿鄉周圍 2G (左)及 3G (右)訊號強度圖(國家通訊傳播委員會, 2011)

G6 為第一組於野外增設廣角鏡頭之系統，圖 4-3 可見其優異表現，右下角圖為下午 06:30 時分拍攝，故較為黯淡，圖中可明顯得知西莒距離近得許多。然而 G6 在運作第三日時發生系統時間錯亂，傳送照片至後端伺服器可發現相片拍照時間與回傳時間不符合，由其回傳照片觀測出其鏡頭內部起霧，得知廣角鏡頭在封裝時密閉性不夠，導致內部受潮。



圖 4-3 G6 一日內隨選四張圖片集

透過5月23日上午蛇山機台(G6)傳回的即時影像確認今年第一筆鳳頭燕鷗落腳於假鳥周圍的紀錄，研究團隊再次證實台北鳥會今年度放置假鳥誘引鳳頭燕鷗前來繁殖的成功。也透過即時影像發現在當日下午鳳頭燕鷗族群數量便已陸續增加至20隻左右，隔天的影像中族群量已增加至50隻左右，且地上已可見到剛產下的蛋，在影像中也見到鳳頭燕鷗展示求偶的姿態。5月25日在影像上方發現黑嘴端鳳頭燕鷗的行蹤，此為今年度的第一筆紀錄資料。但可惜的是在6月17日開始便發現有部分鳳頭燕鷗並未在巢中孵卵，且棄巢的情形持續擴大至18日傍晚在鏡頭中已不見鳳頭燕鷗蹤影。



圖 4-4 2012/5/23 下午 15:00 記錄到第一群大鳳頭燕鷗



圖 4-5 2012/05/25 上午 10:00 首次發現黑嘴端鳳頭燕鷗



圖 4-6 2012/05/26 下午 15:00 確認黑嘴端鳳頭燕鷗停棲在蛇山



圖 4-7 2012/06/17 下午 13:30 發現鏡頭前的繁殖族群有棄巢狀況



圖 4-8 2012/06/18 下午 17:30 畫面中只剩假鳥還在巢區內

表 4-1 鳳頭燕鷗於各時間紀錄點的棲地行為

時間	事件說明
2012/5/23 10:00	六號機第一次紀錄到大鳳頭燕鷗
2012/5/23 15:30	蛇山棲地上的大鳳頭燕鷗數目明顯增加
2012/5/24 17:00	大鳳頭燕鷗佔滿了六號機前之棲地
2012/5/26 15:00	六號機第一次紀錄到清楚之黑嘴端鳳頭燕鷗影像
2012/5/26 17:30	六號機鏡頭遭到燕鷗排泄物遮蔽
2012/5/27 17:00	觀察到鳳頭燕鷗巢蛋
2012/5/28 11:00	黑嘴端鳳頭雁出現在鏡頭前
2012/5/28 14:00	六號機的鏡頭再度遭到燕鷗排泄物侵襲
2012/6/16 06:30	六號機鏡頭前部分燕鷗開始棄巢
2012/6/17 07:00	鏡頭前僅餘最遠方的燕鷗，其餘燕鷗均不見蹤影
2012/6/18 10:30	棄巢的燕鷗數量增加中
2012/6/18 17:30	六號機於此塊棲地紀錄下最後一隻棄巢的燕鷗
2012/6/24 11:35	數隻大鳳頭燕鷗返回此塊棲地
2012/6/24 13:00	六號機紀錄下最後一隻重返並離開的大鳳頭燕鷗

## 二、 自動攝影機影像

研究團隊在 10 月初登島回收相機後，藉由相機內部影像確定今年度鳳頭燕鷗於蛇山落腳的時間約在 5 月 24 日上午九點左右，地點在攝影機前方的第二組假鳥旁。且族群數量在中午時擴散到位於上坡處的第一組假鳥處(圖 4- 9)。上坡處相機並在 5 月 24 日下午 2 時拍到第一張確認隻黑嘴堆鳳頭燕鷗的蹤影(圖 4- 10)。且在 5 月 24 日傍晚 6 點的影像便可清晰見到鳳頭燕鷗已將蛋產下，並在 25 日觀察到疑似黑嘴端鳳頭燕鷗的作巢位置(圖 4- 11)。另外，藉由回收的影像也可見到鳳頭燕鷗與假鳥互動的一些有趣畫面(圖 4- 12)，且今年也在影像中觀察到一隻帶有 2008 年於鐵尖繫放隻鳳頭燕鷗成鳥(圖 4- 13)。





圖 4-9 上圖為下坡第二組假鳥位置，下圖為上坡處第一組假鳥位置



圖 4-10 自動攝影機拍攝到的黑嘴端鳳頭燕鷗



圖 4- 11 上圖為鳳頭燕鷗的巢蛋位置，下圖為黑嘴端鳳頭燕鷗的巢位



圖 4-12 自動相機的畫面中常可見鳳頭燕鷗停棲在假鳥上方



圖 4-13 今年度又再次記錄到帶有足旗的鳳頭燕鷗

### 三、 微氣象監測站系統

#### (一)微氣象監測站程式流程及架設情況

本研究團隊於今年 3 月 24 日上午 9 時完成位於蛇山的 14 號氣象監測站(如圖 4-14)。每座氣象監測站在每十分鐘回傳一筆感測資料至後端資料庫，其感測資料具有溫度、相對溼度、風速、風向及雨量等數據。



圖 4-14 蛇山氣象監測站

由於島上植被分布鬆散且矮小，考慮到本研究團隊所使用的微氣象監測站放置於島上顏色會略顯突兀，深怕驚動燕鷗來島棲息及繁殖，故本研究團隊將氣象監測站機台與供應 12V 電池放置於防潮箱，並且防潮箱使用綠色防潮袋包覆著，使本氣象監測站放置於島上時，顏色可融入於島上環境，防止鳥類認為島上無法進行繁殖及棲息的現象。另外島上植被高度皆不高，為避免風向/風速計高度過高會影響到鳥類棲息，又為為了避免過低而無法量測到島上真正風向及風速，故將風向/風速計放置於略高於植被的高度。

如圖 4-15 所示為本氣象監測站程式流程圖。由於實時晶片 DS1302 以及風速/風向計具有一定標準的初始化動作，故於程式最剛開始寫入標準初始化用函式，確保實時晶片 DS1302 及風向/風速計可正常運行。氣象機台程式運行時，隨時讀取 DS1302 所提供的現實時間，每隔十分鐘將會觸發進入讀取氣象資料之程序，並接著將所感測的氣象資料送回至後端資料庫提供研究人員參考。並且在本氣象監測站具有可程式化節能流程，因為 GSM 額定電壓為 12 V，其所消耗的功佔了氣象監測站絕大部分，吾人必須減少 GSM 的電源使用量，故使用可由 MSP430 控制的 12 V 電源開關提供 GSM 使用，當需要使用 GSM 將感測資料回傳至後端前，將開關打開，待傳送完感測資料後，在將 GSM 所使用的 12 V 電源關閉，如此可減少 GSM 造成的能量消耗。

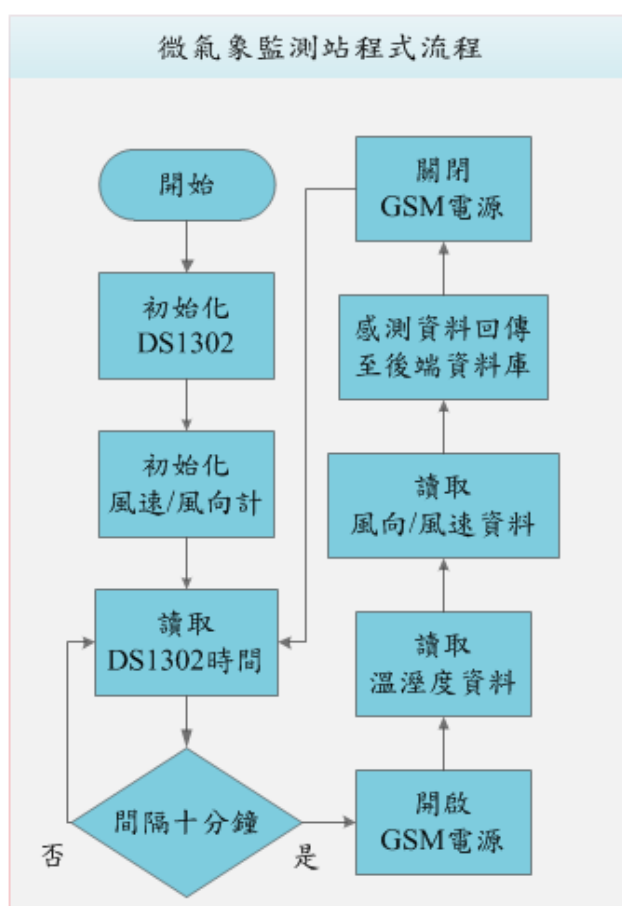


圖 4-15 微氣象監測站程式流程

## (二)微氣象監測站數據分析

本研究團隊於今年 3 月 24 日架設蛇山氣象監測站，氣象站每十分鐘持續回傳溫度、濕度、雨量、風速與風向等資料回台大的資料處理中心，直至 5 月 25 日因不明原因停擺，共計回傳 20896 筆資料。由圖 4-16 的溫度資料可發現由於蛇山的地理位置獨立於西莒的西南面海域，直接遭受東北季風的吹襲，在三四月間島上日夜溫度變化相當大，在夜間溫度可達 15°C 以下，直到五月中旬溫度才回升。雨量資料在圖 4-17 中可見在三月至五月間降雨量並不高，比對中央氣象局資料在這三個月的平均降雨量分別為 8.25、10.9、9.71 mm，大致符合氣象局在南竿設立的氣象觀測站資料。值得注意的是由於蛇山地形相較其他保護區島嶼較為低矮、陡峭，島上環境易受浪潮影響而顯得相當潮溼。在圖 4-18 可見相對濕度都在 50%~90% 之間變動，在五月初的連續幾日降雨影響下，相對溼度連日都高達 85% 以上，對島嶼上的電子器材而言屬相當惡劣的環境。在風速變化部分，由於三四月間尚有東北季風影響，在夜間風速數次高達 40m/s 以上，依照蒲福風級 (Beaufort wind scale) 分類已屬 6 級以上強風。

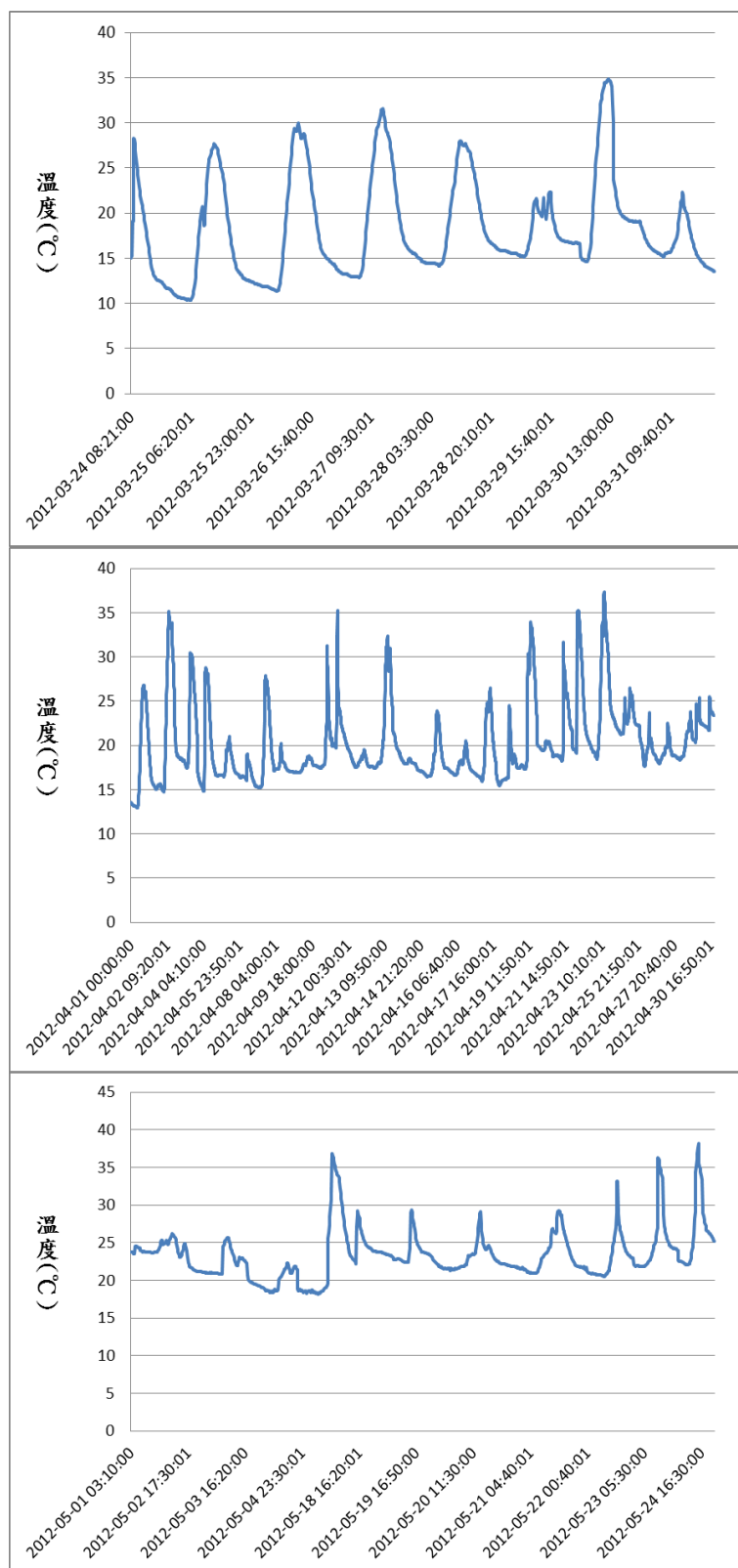


圖 4-16 由上至下分別為三月、四月與五月的每十分鐘溫度變化資料



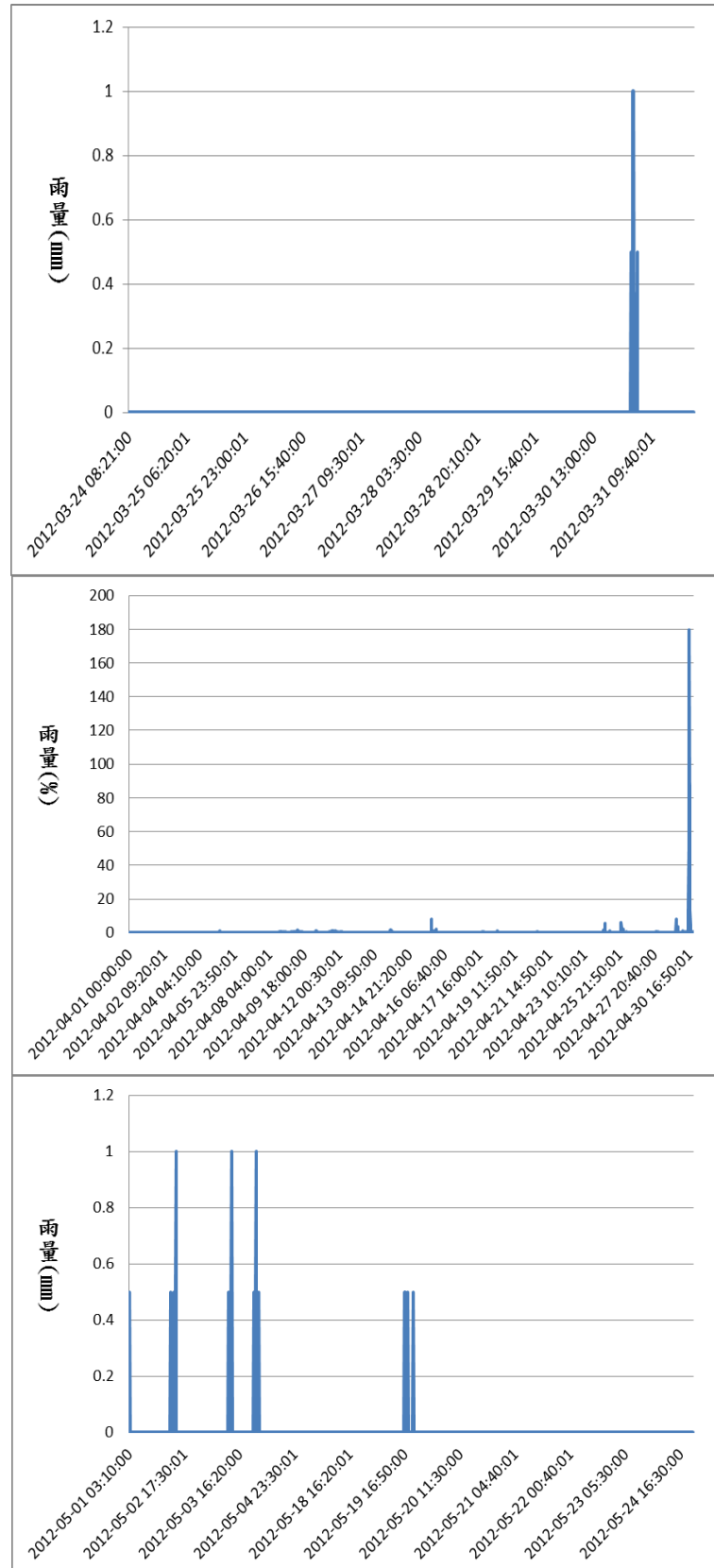


圖 4-17 由上至下分別為三月、四月與五月的每十分鐘雨量變化資料

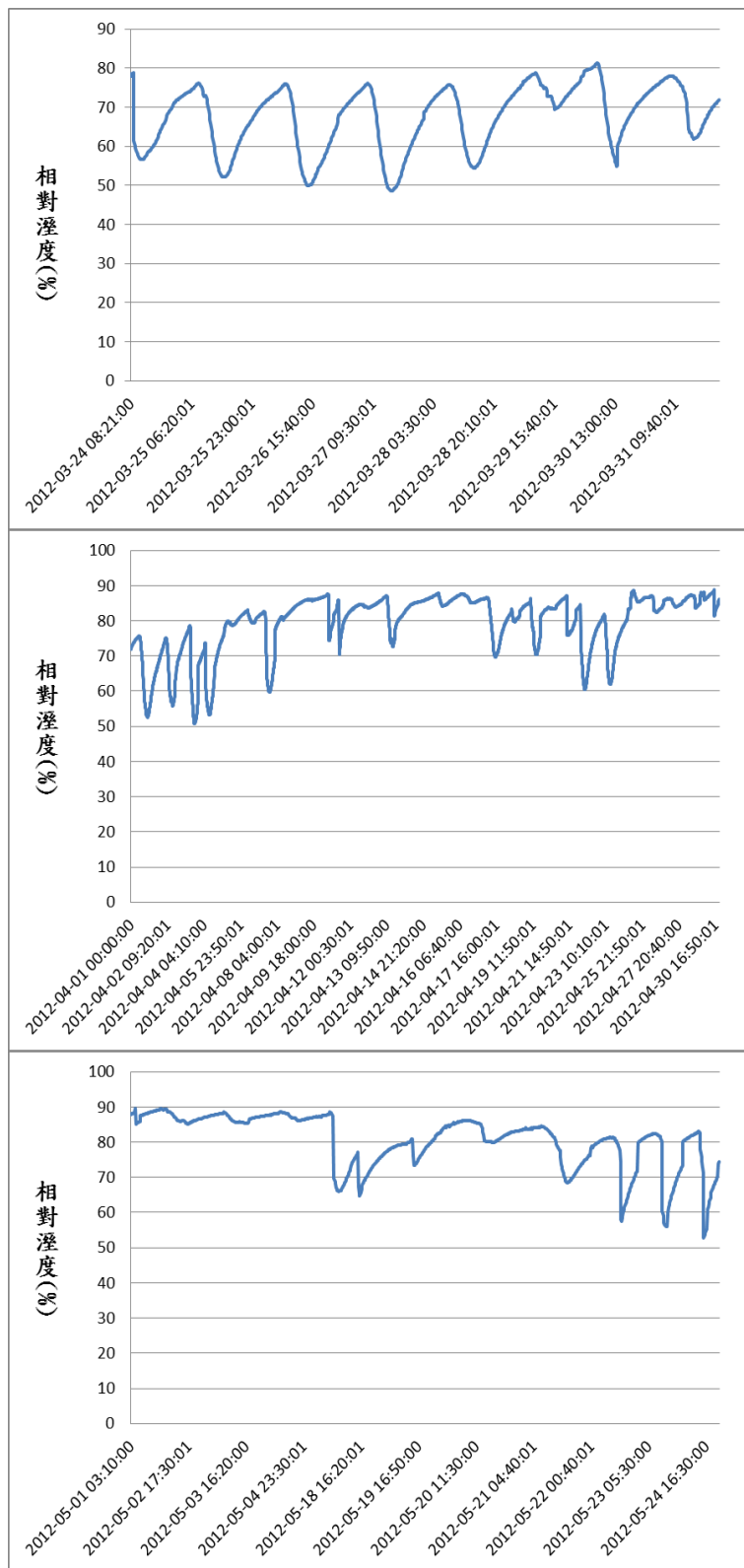


圖 4- 18 由上至下分別為三月、四月與五月的每十分鐘相對濕度變化資料

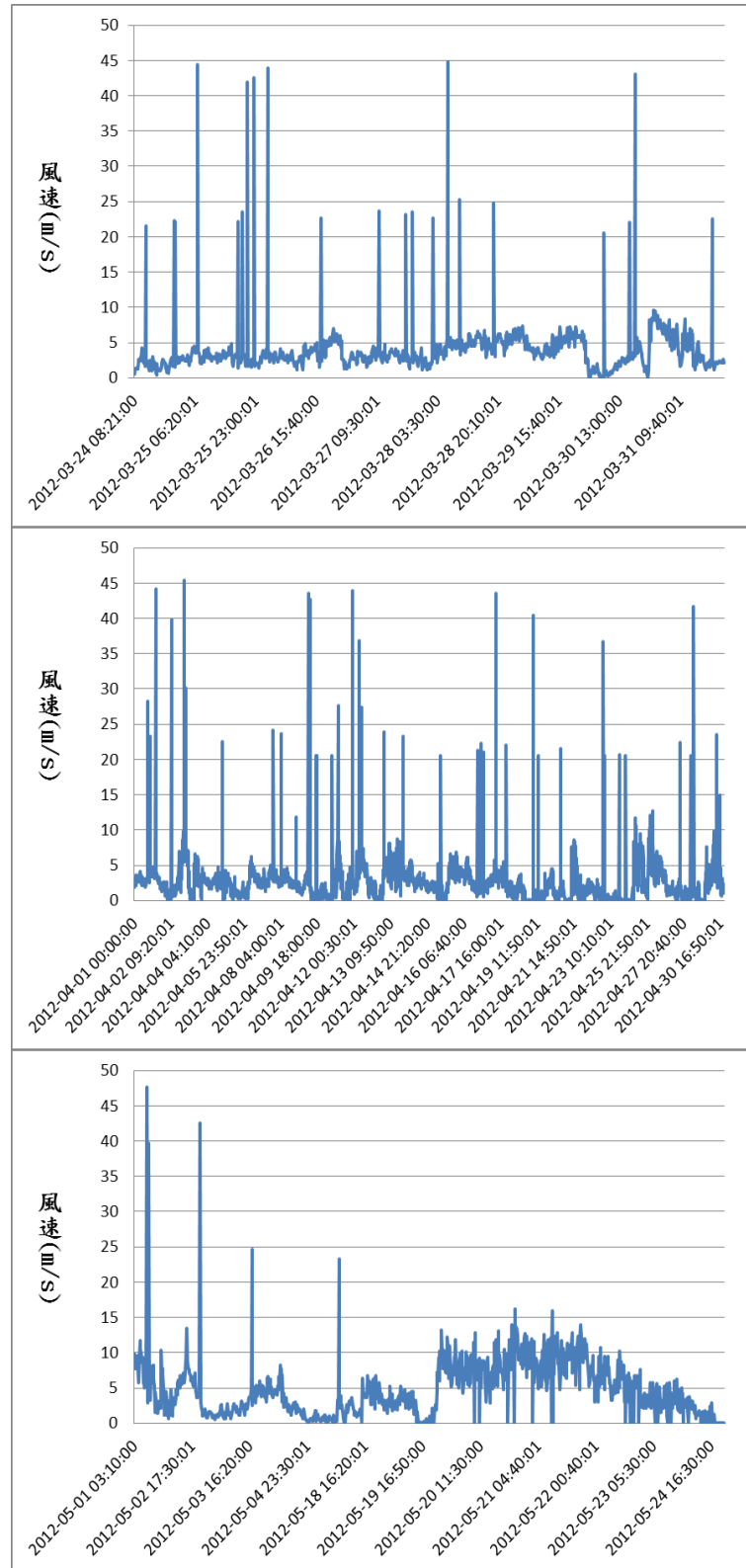


圖 4- 19 由上至下分別為三月、四月與五月的每十分鐘風速變化資料

#### 四、 裝備撤收情形

本計畫自 2012 年 5 月底時，在燕鷗確定停棲於蛇山後就為避免干擾，便未再登島查看自動化攝影系統與微氣候監測站之工作情形。直至今年 10 月初時，團隊研究人員前往蛇山撤收島上之監測系統。檢視即時監測系統各項元件，除鏡頭沾染鳥糞與海鹽外，並無其他重大損傷與損壞，太陽能板也因放置位置離巢區較遠而未因覆蓋鳥糞而影響其發電效率。但其中一台自動相機則因遭強風吹襲而傾倒，進而導致水分自後方防水能力較弱的備用電池部位滲入，雖相機鏡頭已毀損但所幸記憶卡內資料並未受損。

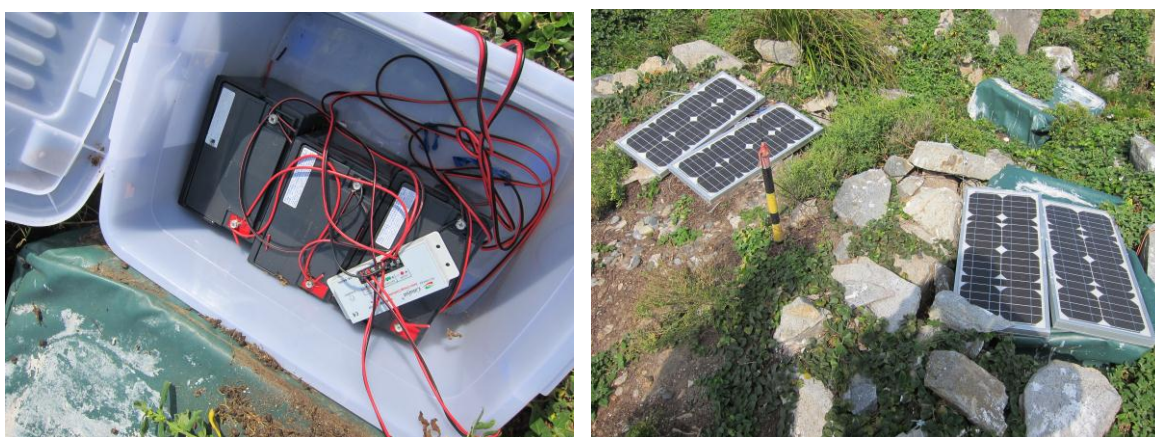


圖 4-20 鉛蓄電池並未受潮，太陽能板也維持正常運作

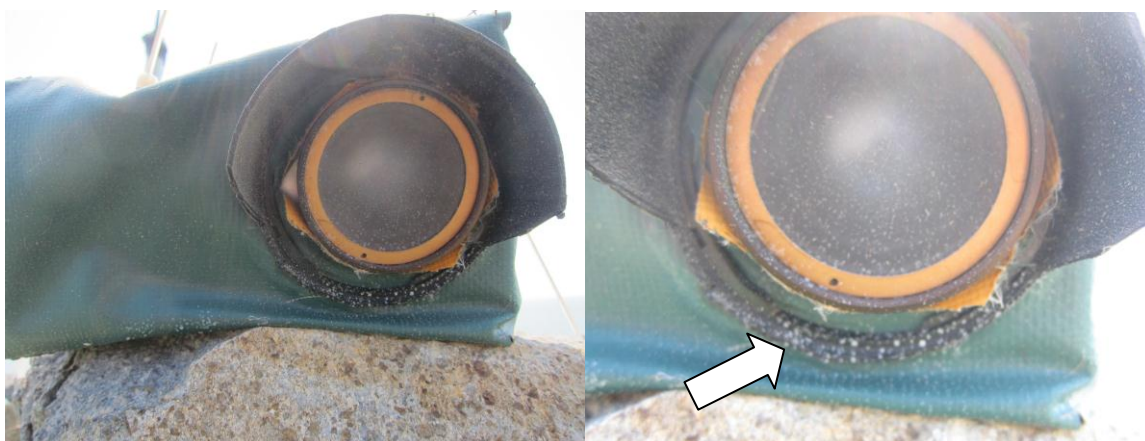


圖 4-21 攝影鏡頭被鳥糞沾染與海鹽結晶的情形



圖 4-22 遭強風吹倒而進水的自動照相機

## 五、系統穩定性分析

以下基於本報告第參節所述之設計核心概念，將即時監測系統之各個模組分開測試並進行整合。設計時將訂定相同之執行程序架構與介面，使得各個模組具有高度之相容性，以便整合應用。本計畫將進行系統耗能分析，有助於了解系統於正常運作下耗能分布情形。依照耗能情形，本計畫可彈性調節系統運作時間，進而延長系統整體生命週期。本計畫並計畫進行長期系統運作實測，使用鉛蓄電池供應前端影像監測系統運作，同時測試後端影像平台連續工作情形，並依照實驗結果進行前端及後端細節調校。由於燕鷗產卵及孵育期約於五月中旬開始，本系統的實地佈建已完成於 2012 年 4 月展開。本計畫於馬祖列島燕鷗自然保護區中之蛇山進行實地佈建，共佈建 1 台前端影像監測系統，進行實地測試、實驗、以及效能分析，並於後端進行影像處理及資料分析。

### (一)系統之整合實驗及效能分析

本計畫目前已完成行動通信模組的通信封包發送、接受測試、RTC 時間誤差測試、影像拍攝之參數測試、系統效能分析、以及系統長期運作情形分析，以下將介紹各實驗內容。

### (二)行動通信模組 RTC 及測試

本實驗利用 RTC 與 San Jose Technology 公司推出之 GM-44 之 GPS 模組進行時間誤差實驗。透過電腦程式初始化後，GM-44 始能正常抓取衛星訊號。吾人利用實驗試圖修正 RTC 之時間誤差，並於系統內運作韌體中加入時間誤差補償機制。此實驗分別撰寫 RTC 及 GPS 模組之韌體程式，於 MSP430FG5438 單晶片中運行，每半小時讀取此兩模組之時間並透過簡訊傳送至後端伺服器。後端伺服器將兩組時間分別寫入資料庫中，進行誤差實驗測試。由下圖可知，此實驗自 2011/10/11 12:00 開始運作，至實驗結束已正確運作 100 小時以上，並且無大幅時間誤差之出現。

id	gps_time	timer	id	gps_time	timer
1263	2011-10-15 12:00:12	2011-10-15 12:00:11	1243	2011-10-15 02:00:11	2011-10-15 02:00:10
1262	2011-10-15 11:30:10	2011-10-15 11:30:09	1242	2011-10-15 01:30:09	2011-10-15 01:30:08
1261	2011-10-15 11:00:08	2011-10-15 11:00:07	1241	2011-10-15 01:00:07	2011-10-15 01:00:06
1260	2011-10-15 10:30:06	2011-10-15 10:30:05	1240	2011-10-15 00:30:05	2011-10-15 00:30:04
1259	2011-10-15 10:00:04	2011-10-15 10:00:03	1239	2011-10-15 00:00:03	2011-10-15 00:00:02
1258	2011-10-15 09:30:02	2011-10-15 09:30:01	1238	2011-10-14 23:30:01	2011-10-14 23:30:00
1257	2011-10-15 09:00:00	2011-10-15 08:59:59	1237	2011-10-14 23:00:12	2011-10-14 23:00:11
1256	2011-10-15 08:30:11	2011-10-15 08:30:10	1236	2011-10-14 22:30:10	2011-10-14 22:30:09
1255	2011-10-15 08:00:09	2011-10-15 08:00:08	1235	2011-10-14 22:00:08	2011-10-14 22:00:07
1254	2011-10-15 07:30:07	2011-10-15 07:30:06	1234	2011-10-14 21:30:06	2011-10-14 21:30:05
1253	2011-10-15 07:00:05	2011-10-15 07:00:04	1233	2011-10-14 20:30:02	2011-10-14 20:30:01
1252	2011-10-15 06:30:03	2011-10-15 06:30:02	1232	2011-10-14 19:30:11	2011-10-14 19:30:10
1251	2011-10-15 06:00:01	2011-10-15 06:00:00	1231	2011-10-14 18:30:07	2011-10-14 18:30:06
1250	2011-10-15 05:30:12	2011-10-15 05:30:11	1230	2011-10-14 17:00:01	2011-10-14 17:00:00
1249	2011-10-15 05:00:10	2011-10-15 05:00:09	1229	2011-10-14 16:30:12	2011-10-14 16:30:11
1248	2011-10-15 04:30:08	2011-10-15 04:30:07	1228	2011-10-14 21:00:04	2011-10-14 21:00:03
1247	2011-10-15 04:00:06	2011-10-15 04:00:05	1227	2011-10-14 20:00:00	2011-10-14 19:59:59
1246	2011-10-15 03:30:04	2011-10-15 03:30:03	1226	2011-10-14 19:00:09	2011-10-14 19:00:08
1245	2011-10-15 03:00:02	2011-10-15 03:00:01	1225	2011-10-14 18:00:05	2011-10-14 18:00:04
1244	2011-10-15 02:30:00	2011-10-15 02:29:59	1224	2011-10-14 17:30:03	2011-10-14 17:30:02

圖 4-23 GM-44 提供之 GPS 時間以及 RTC 電路提供之時間對照

由實驗結果可看出，RTC 時間之精準度吻合本系統對於時間誤差之容許範圍。今 RTC 於第五天發生 1 秒之誤差，即一年將產生 1.3 分鐘左右之誤差。然而，一年 1.3 分鐘的誤差在燕鷗孵育期間三個月中約莫造成數十秒之誤差，對長時間定期野外監測並無太大之影響。

### (三)數位相機模組測試

本計畫已完成數位相機模組之韌體程式，所有溝通協定均已撰寫完成。此項實驗係由韌體控制數位相機模組的各種調控機制後，再經由電腦將影像輸出。預設格式為像素 1280 × 960 pixels 以及壓縮率 18 倍，檔案大小為 210164 Bytes。雖然，相機之焦距為手動調整，然而調整至無

窮遠對焦時，仍可得到清晰之照片，已足以作為野生動物監測資料分析使用。

透過實驗可知核心晶片已可與數位相機模組完成所有預設之調控，包含同步指令、調整影像解析度和壓縮比、選擇運作模式、拍照、以及下載圖像等，表 4-2 顯示出：當調整不同壓縮率和像素時，將會造成檔案大小之改變，檔案大小改變相對地將會縮短或延長傳輸時間，此指令可應用於兩種不同情形：需要在短時間內收集到多張影像或是特定位置需要特別清晰之影像時，彈性調節各項指令可獲得不同情境下需要之分析資料。吾人今發送指令至影像監測系統，原本預設拍攝 1920 × 960 以及 18 倍壓縮率下之照片，經由指令更改成 640 × 480 以及 18 倍壓縮率。系統於此指令下運作三個小時，每 6 分鐘傳回一張圖片，共拍攝並回傳 30 張圖片。由圖 4-24 可見兩種回傳圖片的明顯差異，儘管圖片解析度變差，仍可輕易判別圖片並非只是單純的背景圖。

表 4-2 調整壓縮率及像素造成之影像檔案尺寸改變

Compression Ratio	1x	9x	18x	27x	36x
1920 × 960	769 KB	406 KB	207 KB	108 KB	80 KB
640 × 480	242 KB	115 KB	59 KB	32 B	25 KB





圖 4-24 不同壓縮率下回傳圖片的比較

#### (四) 系統整合測試及分析

此項測試為連續性測試拍照上傳，並未輔以電源控制板監督主機板運作。實驗時，以半小時為間隔，以 21.68 Kbps 傳輸速率上傳檔案，每張圖片平均大小為 182.5 KB。本次實驗除測試韌體程式強健性外，尚可了解後端影像處理程式於判讀封包錯誤以及影像合成機制是否有所缺陷。

圖 4-25 為主機板連續運作 148.5 個小時，共運作 297 個回合，每個回合傳送一張圖片。縱坐標表示主機板自開啟相機、拍照、下載相片、

以及上傳至 FTP 伺服器一個週期所耗費時間，平均週期耗時為 233.7 秒，最大週期耗時達 544 秒，最低僅有 172 秒。其中平均檔案傳輸時間為 69 秒，故可知整個週期為相機同步所耗費的時間最不一致，拍照時間比預定時間慢了 1~3 分鐘，但並不影響系統正常運作。由此結果亦看出主機板韌體程式可獨立連續運作，無發生當機情形。

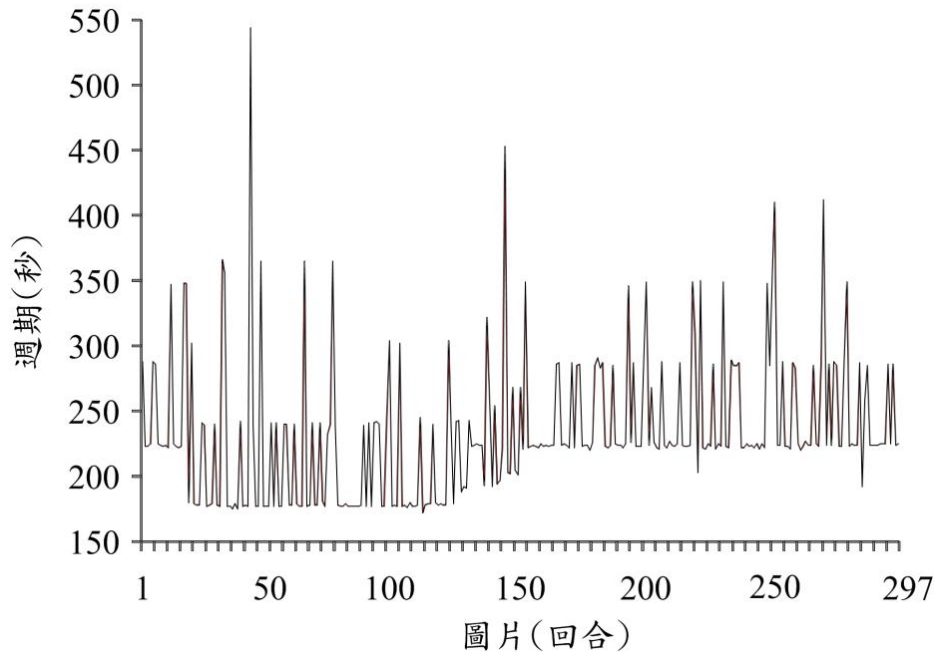


圖 4-25 連續拍攝照片及回傳週期測試實驗

圖 4-26 為此次實驗中封包遺失率，在 297 張照片中，含封包遺失之照片共有 61 張，包含無法合成之照片有 21 張，合成失真之照片有 22 張，其中 18 張仍可合成之圖片顯示容錯率僅為 0.2 %，當封包遺失率超過此閾值即造成照片失真以及無法合成等狀況。而封包遺失率與傳輸速率有較大的相關性，使用行動通信技術連上 FTP 伺服器最大的缺點為無續傳功能。當訊號強度轉弱時，使用相同的傳輸速率將造成封包遺失率上升，故適宜的傳輸速率才可有效減少封包遺失發生。下一項實驗即包含本計畫另開發之調節傳輸速率之機制。

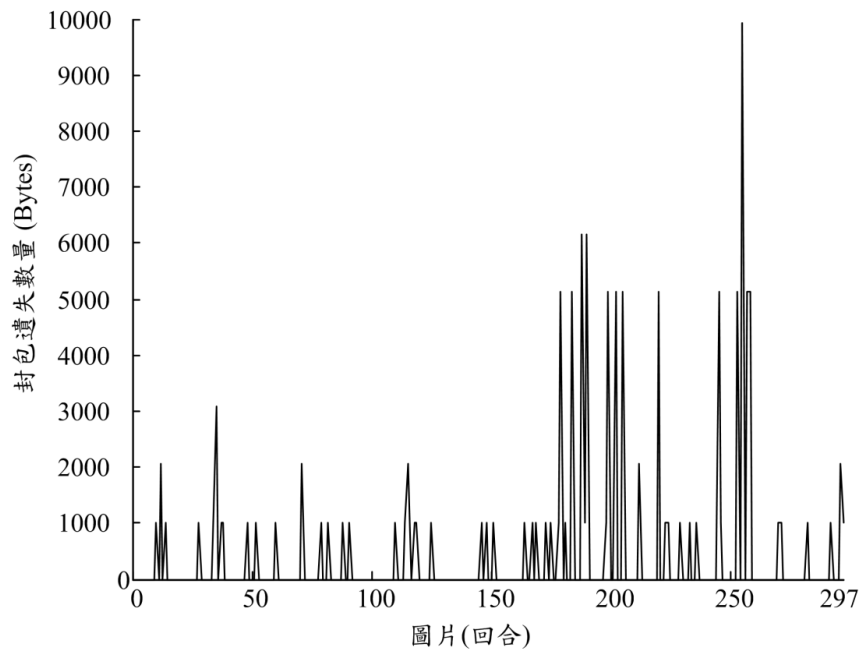


圖 4- 26 固定速率下連續傳輸照片之封包遺失量

### (五)前端影像監測系統耗能分析

在野外環境下進行自動化監測，有許多需克服之嚴苛條件，其中無穩定電源供應更是必要克服之難題。在系統硬體及軟體設計下，整體系統在不同工作狀態下耗能如表 4- 3 所示：休眠(Sleep)表示於系統處於不進行拍照、不進行攝影、以及不進行上傳及下載等事件，此時主機板為關機狀態，故系統耗能可降至最低值 8.6 mA ( $E_s$ )。本計畫預設此種系統狀態一天執行 8 小時(22:00~06:00)。待機(Halt)則為主機板等待事件旗標觸發的待命階段，系統此時平均耗能為 52.1 mA ( $E_h$ )，通常一天待機時間為 6.3 小時。拍照及攝影(Capture/Record)於預設系統狀態下一天花費 0.6 小時，平均耗能 135.43 mA ( $E_c$ )。上傳及下載(Upload/Download)於預設系統狀態下一天花費 9.1 小時，平均耗能 280.63 mA ( $E_m$ )。因此，預估一天

總耗電量約為 3.032 Ah，以系統自給式電源供應設計，當太陽能模組完全無發電時，系統於鉛蓄電池總計 216 Ah 的電力儲存之供應下可運作 71.2 天。如僅以太陽能模組發電量計算，依歐等人之研究，連江縣(馬祖地區)年平均日照量為 3.2 kWh/m<sup>2</sup> day，係指平均一天有 3.2 小時的日照量，故 2 片 20 W 之太陽能模組平均每日可發電 128 Wh。但是，本系統於 12 伏特供應下每日僅消耗 36.38 Wh，足見此設計供給電量遠大於消耗電量。使用此種方法係提防太陽能模組因多重因素導致發電效益低落，如燕鷗產卵孵育期間之大量排泄物覆蓋太陽能模組，爾後如無雨水沖淨，導致發電量遽減。為增加本系統在此種情況下的運作時間，使用價格低廉且容量大的鉛蓄電池為妥當的選擇。

表 4-3 前端影像監測系統於 12 伏特輸入下各種操作狀態的耗能

Status	Main Board	Modem	C628	Energy Consumption
Sleep	Off	Off	Off	8.6 mA ( $E_s$ )
Halt	On	Off	Off	52.1 mA ( $E_h$ )
Capture/Record	On	Off	On	135.43 mA ( $E_c$ )
Upload/Download	On	On	Off	280.63 mA ( $E_m$ )

圖 4-27 為本系統由待機、拍照、上傳、至讀取指令的一個週期之耗能圖。階段 I 為相機致能開始拍照至下載圖片至核心晶片中的過程；階段 II 打開行動通信模組瞬間拉高電流消耗量。當下降至 150 mA 左右處

開始進行連線，連線完成時會達到系統較高的耗能點，其後進行連續上傳一張 200 KB 之圖片。最後，階段 III 為讀取後端指令的耗能變化情形。

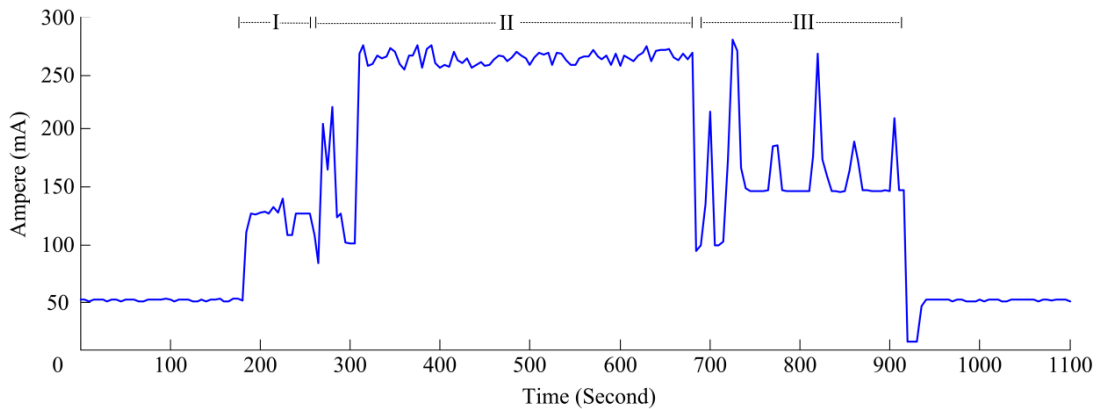


圖 4- 27 前端影像監測系統週期耗能圖

由週期耗能實驗中，吾人得知系統最高耗能为開啟行動通信模組上傳圖片時。階段 III 與階段 II 的比較更得知上傳檔案比下載檔案消耗更多的能量。階段 III 之後的一個波谷為主核心與從核心溝通時，系統進入休眠並亮起指定的 LED 燈號，以讓使用者得知核心之間溝通正常的機制。圖 4- 28 為系統上傳影片耗能時間變化圖。此項測試所上傳之影片大小為 1740 KB，傳輸速度 6 Kbps，反覆上傳 20 次，每 5 秒紀錄一次系統總電流，然後依紀錄繪出此圖。虛線框 a 處為上傳影片機制的第一個特殊設計，其做法是當系統當次連線完成五個上傳封包檔案，即重新連線至 FTP Server，預防訊號微弱而自行斷線。第二個設計為虛線框 b 處，在上述設計五個循環後重新致能行動通信服務，即圖中約 1100 秒、以及 2300 秒處，亦是為了避免由於訊號強度微弱而增設之機制。

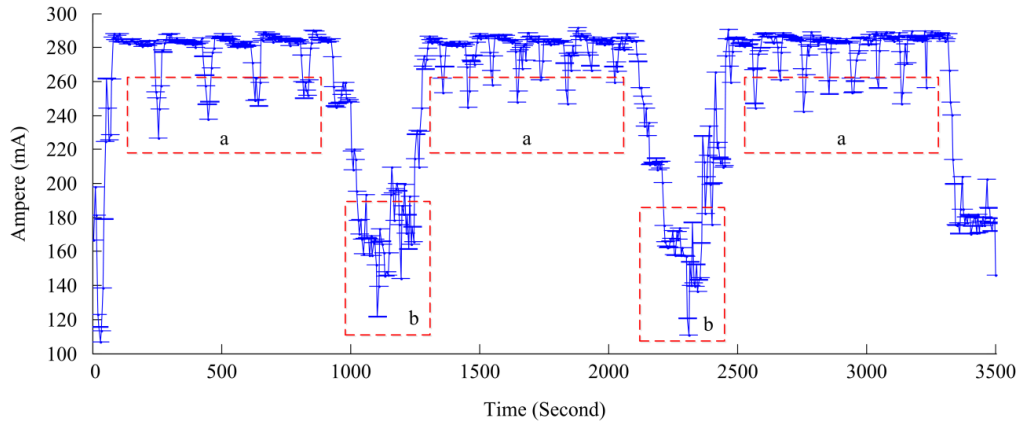


圖 4-28 前端影像監測系統上傳影片(1740 KB)耗能圖

圖 4-29 為影片上傳實驗中出現不預期斷線之特例，其中上傳之影片大小為 2760 KB，傳輸速度選擇 11 Kbps。圖中所示 a 點為重新連線至 FTP 伺服器，b 點為重新致能行動通信模組，d 點為進入休眠狀態。較為特別的是 c 點，在此處發生了不預期之斷線現象。在本計畫設計中，當發生此現象將會重新致能行動通信模組並連線至 FTP 伺服器。然而，系統並不會由斷線處之封包檔繼續傳輸，而是由下一封開始傳輸，遺漏之封包則由系統另一設計「封包補傳」進行回傳。

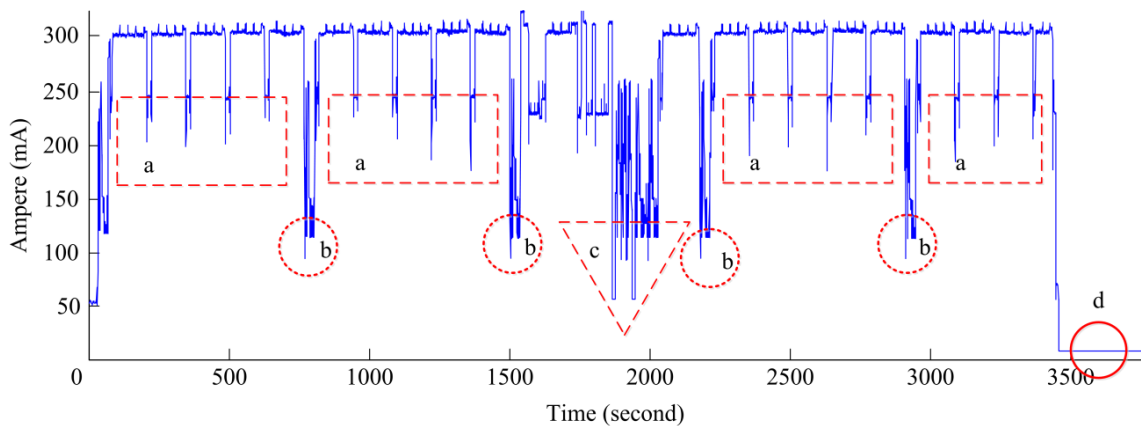


圖 4-29 前端影像監測系統上傳影片(2760 KB)耗能圖

藉由影像預設機制、各種狀態耗能、以及可控制之傳輸速率，吾人推測各種情況下系統一天總電量  $E_{total}$  (Wh)，其公式推導如下方五個式子，其中假設一張圖片為 200 KB 以及一段影片每拍攝 1 秒為 1 MB。

$$T_c = \frac{1}{60} \left( \frac{60(H_{ce} - H_{cs})}{P_c} + P_r \right) \quad (1)$$

$$T_h = (H_{ce} - H_{cs}) - \left( \frac{27.3}{S(V_{Th})} + 0.02 \right) \left( \frac{60(H_{ce} - H_{cs})}{P_c} \right) - \frac{P_r}{60} \quad (2)$$

$$T_m = \left( \frac{27.3}{S(V_{Th})} + 0.02 \right) \left( \frac{60(H_{ce} - H_{cs})}{P_c} \right) + \frac{2.33P_r}{S(V_{Th})} + 0.113P_r \quad (3)$$

$$T_s = 24 - \left( \sum_{j=c,h,m} T_j \right) \quad (4)$$

$$E_{total} = \sum_{i=c,m,h,s} T_i \times E_i \quad (5)$$

$T_c$ ：數位相機於一天內開啟之總時數。

$T_h$ ：系統於一天內待機之總時數。

$T_m$ ：行動通信模組於一天內開啟之總時數。

$T_s$ ：系統於一天內休眠之總時數。

$E_{total}$ ：系統在已知運作模式下預估一日消耗總電量

$H_{cs}$ ：系統起始拍攝照片之時間。

$H_{ce}$ ：系統結束拍攝照片之時間。

$P_c$ ：系統拍攝照片之間隔時間。

$P_r$ ：系統拍攝影片之秒數。

$S(V_{Th})$ ：傳輸速率。

$V_{Th}$ ：傳輸速率之控制閥值。各項  $E$  值即為各種主要狀態平均消耗電量。

其中  $H_{cs}$ 、 $H_{ce}$ 、 $P_c$ 、 $P_r$  以及  $S(V_{Th})$  均可由後端發布控制指令去修改前端影像監測機台之運作模式，這些可控制之參數進而影響各  $T$  值。所有變數均為已知且可控制，故一日總耗能已可進行預估。



## 伍、結論與建議

野生鳥類的生態監測一直以來都是倚靠人力調查的方式進行，不僅耗費許多人力資源，且取得的資料有限。為了突破這些問題，本研究利用機電整合、無線傳輸、太陽能供電等科技在馬祖燕鷗生態保育區內建置了無線即時影像傳輸系統與微型氣象監測站系統，透過這些設備全天候的監測燕鷗保護區內的燕鷗的蹤跡以及其棲地環境參數。

本研究團隊歷經三年來的努力，已掌握在嚴苛的海島環境中建置這套監測系統的關鍵技術與相關寶貴經驗。在該環境下，電力與無線通訊品質是兩大重要關鍵因素。本團隊自 2011 年開始利用太陽能系統進行電力供應。實驗結果顯示以太陽能的供電方式確實可行，且可透過將電力系統與設備分開的方式解決遭鳥糞覆蓋的問題。另外，由於在海島中行動通訊的訊號時常不穩，「如何在訊號不穩定時仍能將資料回傳」一直是本團隊系統設計的重要目標之一。因此，本研究在今年針對這樣的通訊問題增加了管控機制，進以提升資料傳輸的穩定性。試驗結果也證實了這樣的機制確實可提升資料傳輸的成功率，所建置的影像監測系統在整個燕鷗繁殖季間也都運作正常。對人員不易到達的離島保護區環境而言，這套系統提供了全天候的觀察資料可供研究人員或主管單位即時查詢，突破了以往在經費與人力上的許多限制。台灣四面環海，離島型的保護區就有三處(北方三島、馬祖列島燕鷗保護區、澎湖貓嶼海鳥保護區)，國家公園也包含了以設立的東沙環礁國家公園與規劃中的北方三島與澎湖南方四島，本研究三年來累積的研發經驗與成果相信值得主管機關在未來繼續推廣與深入研究。

藉由團隊架設的微氣象監測站的資訊讓研究人員得以了解各個島嶼的微氣候環境，加上團隊累積至今已收集了兩年的各島植群資料，而燕鷗繁殖族群與島嶼植群演替的關係尚未明朗。未來若能延續植群與微氣候環境資料的收集，相信能幫助主管機關掌握保護區內各島嶼生態的變動，並即早防範棲地劣化於未然。

今年度利用無線傳輸與自動照相機等設備搭配放置假鳥進行測試，結果在蛇山內成功紀錄到黑嘴端鳳頭燕鷗與鳳頭燕鷗的繁殖影像，並明確的紀錄到兩者登島與開始繁殖的時間點。而在 6 月間發生的大批棄巢事件，藉由即時影像傳輸系統團隊研究人員判斷了事件發生的時間點應是在 6 月 16 日的夜間至 18 日之間，藉由氣象資料初步排除泰利颱風造成的影響(圖 8-1)。而棄巢時間點接近大潮(6 月 19 日)，是否有漁民接近蛇山撿拾貝類而造成干擾情事？雖過去有目擊漁民登島釣魚情事(圖 8-2)，但由於缺乏直接證據尚無法證實。藉由影像資料與過去的紀錄(圖 8-3)，在繁殖期間燕鷗皆在假鳥與監控器材周圍正常活動，目前也排除研究器材造成燕鷗驚擾的問題發生。

台北鳥會方面訪談蛇山與北竿數位漁民，發現今年度兩地在鯷魚<sup>2</sup>與白巾魚<sup>3</sup>的補貨量都相當少，可能是近來最少的一年。加上根據鳥會調查成果在近三年來除黑尾鷗外，紅燕鷗、白眉燕鷗、蒼燕鷗與鳳頭燕鷗的族群數量都呈現下降現象，進而提出馬祖周圍海域燕鷗食物資源枯竭的問題可能是造成棄巢的原因。國外在南非已有研究證實食物資源(鯷(鯷科與鯡科魚類)與鳳頭燕鷗的繁殖族群量有顯著的相關性(Crawford 2003)，在其他研究也指出食物資源的缺乏確實會對水鳥繁殖成功率或繁殖族群量造成影響(Monaghan et al. 1992; Furness and Tasker 2000)。雖然大陸方面在近年開始執行季節性的禁漁，但事實上仍常見到大陸船隻越界進入保護區內放置漁網甚至於海巡休息或夜間進行捕撈(張壽華 2008)。除來自對岸的漁民外，馬祖地區漁民捕撈的魚獲也與與大型鷗科鳥類如鳳頭燕鷗與黑嘴端鳳頭燕鷗的主食重疊，在劉用福(2008)的論文便提及過去漁民常利用觀察海面上的燕鷗聚集覓食行為來判斷魚群的位置。然而由於目前仍缺乏眾多基礎生態資料如黑嘴端鳳頭燕鷗的主要食物偏好、繁殖期間的能量需求、覓食範圍等，再加上馬祖與大陸僅一水之隔，如何共同管理與保育海域資源仍是一大課題。無論

<sup>2</sup> 在馬祖地區應為漢氏鯷(*Thryssa hamiltonii*) 與黃鯷(*Setipinna taty*)

<sup>3</sup> 應是島嶼小公魚(*Stolephorus insularis*)，魚種資料來源為程建中等(2007)

連續兩年的棄巢原因為何，由於群聚性的海鳥都有藉由今年度自己與鄰近同種的繁殖經驗判斷來年繁殖地的習性，連續兩年的繁殖成功率低迷讓人相當憂心。而藉由三年來的研究成果，我們也提出燕鷗保護區之經營管理建議如下：

### 1. 繁殖棲地營造

在馬祖燕鷗保護區內繁殖的五種燕鷗除黑嘴端鳳頭燕鷗外，在國內已有數篇關於其繁殖棲地需求的研究文獻(鄭謙遜，2006；林于凱，2007；張壽華，2008)可供參考。根據團隊三年來的植被調查資料顯示，保護區內各座島嶼的植被環境隨季節、氣候與燕鷗繁殖擾動有相當大的變化。以進嶼為例，在過去曾有數次鳳頭燕鷗停棲繁殖的紀錄，但在這幾年的調查發現島上植被多為帶刺的高大灌叢，已明顯不利於鳳頭燕鷗繁殖。故建議未來在繁殖季前應持續在各島嶼進行簡易的植被環境調查，若發現環境不利於燕鷗繁殖利用(如植被高度過高、坡度過陡、植物種類不適宜燕鷗進駐等)，可利用小型器具進行小規模的棲地營造。但值得注意的是，覆蓋度與高度較高的灌叢或天然的岩縫通常也是燕鷗幼雛躲避天敵的避難所，營造規模與範圍的拿捏還需仔細評估經營目標與現地調查資料。

### 2. 移除捕食者

在 2011 年的棄巢事件後，多方猜測可能是中島上的鼠輩橫行或遊隼造成親鳥與巢卵傷亡而導致棄巢。在 2012 年的鼠類移除工作中也在中島捕獲多達 25 隻小黃腹鼠，顯示中島上的鼠類族群已有相當大的數量，且其數量也在繁殖季後達到高峰。雖目前尚未有直接目擊或錄影證實鼠類確實對燕鷗族群造成直接傷害，但在國外已有數篇研究證實隨著人類活動入侵的鼠類對在島嶼上繁殖的海鳥而言是一重大威脅(Knowlton et al. 2007; Jones et al. 2008; Howald et al. 2010)。以中島如此密集的鼠類族群而言，未來若需再進行移除工作，建議可採用設置毒餌站方式進行移除。在使用毒餌部分為避免毒物殘留或是其他鳥禽誤食，應採用可自然降解的天然素材或植物萃取物為主之殺鼠劑如：雷公

藤滓取物、Natrocell Technologies Ltd.d 研發之 EradiRat®，EradiMouse®，Rode-trol®等。

### 3. 增設野外監測系統

本計畫所研發之系統在過去兩年提供了相當多的即時資訊給予研究人員與主管單位，唯其後續開發、維護與故障排除所需之專業門檻相對較高，可能不利於地方管理機關獨自操作並持續執行。但對於黑嘴端鳳頭燕鷗如此珍稀與敏感的保育動物而言，繁殖季間的持續監測資訊為掌握保育現況與受脅評估之重要工具。未來建議可增購成本較低廉之自動影像紀錄器或自動聲音紀錄器，並提前在繁殖季前放置於島嶼上，在繁殖季間或繁殖季後再登島回收資料。有鑑於保護區各島嶼高濕度、高鹽度、高風速的環境，依本團隊之經驗建議各器材除本身需具有防水防潮功能外，尚需另外製作防水膠盒輔以黃油油封接縫處並使用鋼釘固定於岩縫間方可確保器材正常運作無慮。

### 4. 食物資源調查

馬祖地區受限於地理人文因素，在過去並無整合性的漁獲資料可供查詢。而國外在南非地區已有研究證實食物資源(鯷科與鯡科魚類)與鳳頭燕鷗的繁殖族群量有顯著的相關性(Crawford 2003)，在其他研究也指出食物資源的缺乏確實會對水鳥繁殖成功率或繁殖族群量造成影響(Monaghan et al. 1992; Furness and Tasker 2000)。雖然大陸方面在近年開始執行季節性的禁漁，但事實上仍常可見到大陸船隻越界進入保護區內放置漁網甚至於海巡休息或夜間進行捕撈(張壽華 2008)。除來自對岸的漁民外，馬祖地區漁民捕撈的魚獲也有多種與大型鷗科鳥類如鳳頭燕鷗與黑尾鷗的主食重疊，建議未來除鳥類族群數量外，可再增加魚類資源的調查項目於保護區環境監測計畫中。

### 5. 燕鷗繫放與追蹤研究

大陸方面 Liu 等(2009)在山東地區沿岸島嶼的調查指出，過去此區域曾發現過黑嘴端鳳頭燕鷗的島嶼都已因人為開發而未再見其蹤跡。而

目前韭山列島與馬祖列島的黑嘴端鳳頭燕鷗的繁殖族群，可能是目前世上唯二的繁殖地(Chen et al. 2009)，黑嘴端鳳頭燕鷗在兩繁殖地之間的族群動態，遷徙路徑與其他重要的過境、度冬地的確認，都是值得進一步研究以應用在保育上的課題。在 Chen 等(2008)提出的黑嘴端鳳頭燕鷗保育行動計畫也指出遷徙的研究與度冬地的確認是在短期內(2008-2013)應該著手進行的研究。過去台北市野鳥學會曾於 2008 年在鐵尖繫放 5 隻鳳頭燕鷗並繫上衛星發報器，雖發報器價值不菲但根據當年的資料也清楚的指出其度冬地應在越南南端海岸與菲律賓中部群島。

每年在馬祖地區繁殖的鳳頭燕鷗數量約在 1000 至 3000 隻左右，而過去累積至今有被研究人員標記繫放過的數量不超過 70 隻個體。但在團隊研究人員過去三年的海面調查與自動照相機的影像資料中，每年都有多筆觀察到帶有足旗的鳳頭燕鷗紀錄，顯示鳳頭燕鷗於馬祖地區的繁殖地忠誠度相當高。考量衛星發報器成本過高，建議未來可使用重量更輕、價錢較便宜、功能更多元的記錄器(Geolocational data logger，簡稱 Geocator)收集遷徙資料。但因 Geocator 資料非即時回傳，所以必須於來年在繁殖地再次捕捉該鳥才能回收資料。目前國外已有多篇研究利用上述不同種類的記錄器研究水鳥的覓食範圍、活動力、代謝能力等資料(Hyrenbach et al. 2002; Shaffer et al. 2006; Furness et al. 2006; Burger and Shaffer 2008)，亦可作為未來繫放之參考。

## 6. 加強生態保育環境教育與宣導

連江縣政府與馬祖國家風景管理處自 2000 年起每年 6 至 8 月間均辦理賞鷗生態旅遊活動，歷年的賞鷗人數由 200-1800 人次不等。而觀光賞鷗活動是否對燕鷗棲息造成影響，還有待持續性的調查研究來評估(歐陽忻憶 2005; 劉用福 2008)。未來建議可利用相關環境教育場所如規畫中的燕鷗展示館，於遊客出海前進行生態解說教育。除遊客外，馬祖地區磯釣活動相當盛行，偶可見到釣客於保護區內島礁上活動。故建議相關課程可將對象推廣至渡礁船隻之船員及從事導覽、導遊之地方居民。





圖 8-1 泰利颱風路徑圖與行經馬祖的時間



圖 8-2 研究人員於蛇山調查時發現有地方漁民登島釣魚



圖 8- 3 圖為去年度繁殖成功的巢區與器材放置位置之環境照，上圖為鐵尖，下圖為中島



## 參考文獻

AlteraDEO User Manual, Available:

[http://www.terasic.com.tw/cgi-bin/page/archive\\_download.pl?Language=Taiwan&No=371&FID=2e5748f80234ac6aa23cca010894248b](http://www.terasic.com.tw/cgi-bin/page/archive_download.pl?Language=Taiwan&No=371&FID=2e5748f80234ac6aa23cca010894248b),  
Accessed: 2011-07-25

Burger, A. E., and S. A. Shaffer (2008) Application of tracking and data-logging technology in research and conservation of seabirds. *The Auk* 125(2):253–264

Chan, S., S. H. Chen., and H. W. Yuan (2008) International Action Plan for the conservation of Chinese Crested Tern (*Sterna bernsteini*). 15th Meeting of the CMS Scientific Council.

Chen, S. H., S. H. Chang, Y. Liua, S. Chan, Z. Y. Fana, C. S. Chen, C. W. Yen, and D. S. Guo (2009) A small population and severe threats: status of the Critically Endangered Chinese crested tern *Sterna bernsteini*. *Oryx* 43:209-212

Crawford, R. J. M. 2003. Influence of Food on Numbers Breeding, Colony Size and Fidelity to Localities of Swift Terns in South Africa's Western Cape, 1987-2000. *Waterbirds* 26(1):44-53.

Del Hoyo, J., A. Elliott, J. Sargatal (1996) Handbook of the Birds of the World. Vol. 3. Hoatzin to Auks. Lynx Edicions, Barcelona.

FileZilla Specification, Available: <http://filezilla-project.org/>, Accessed: 2011-07-25

Furness RW. and M. L. Tasker (2000) Seabird-fishery interactions: quantifying the sensitivity of seabirds to reductions in sandeel abundance, and identification of key areas for sensitive seabirds in the North Sea. *Marine Ecology* 202:253–264

- Furness, R. W., and M. L. Tasker (2000) Seabird-fishery interactions: quantifying the sensitivity of seabirds to reductions in sandeel abundance, and identification of key areas for sensitive seabirds in the North Sea. *Marine Ecology* 202:253–264
- Furness, R. W., J. E. Crane, S. Bearhop, S. Garthe, A. Käckelä, R. Käckelä, A. Kelly, U. Kubietski, S. C. Votier, and S. Waldron (2006) Techniques to link individual migration patterns of seabirds with diet specialization, condition and breeding performance. *Ardea*, 94(3):631-638
- Gillham ME. (1956) Ecology of the Pembrokeshire islands. V. Manuring by the colonial seabirds and mammals, with a note on seed distribution by gulls. *J Ecol* 41:84–99
- GM-44-UB Mobile GPS Receiver Specification, Available: [http://www.sanav.com/gps\\_receivers/gps\\_locators/GM-44-UB.htm](http://www.sanav.com/gps_receivers/gps_locators/GM-44-UB.htm), Accessed: 2011-07-25
- Hall KJ, Williams AJ. (1981) Animal as agents of erosion at sub-Antarctic Marion island. *S Afr J Antarct Res* 10/11:18–24
- Howald, G., C.J. Donaln, K.R. Faulkner, S. Ortega, H. Gellerman, D.A. Croll and B.R. Tershy (2010) Eradication of black rats *Rattus rattus* from Anacapa Island. 2010. *Oryx* 44(1): 30 - 40.
- Hyrenbach, K. D., P. Fernández, and D. J. Anderson (2002) Oceanographic habitats of two sympatric North Pacific albatrosses during the breeding season. *Marine Ecology Progress* 233:283–301.
- Iason GR, Duck CD, Clutton-Brock TH (1986) Grazing and reproductive success of red deer: the effect of local enrichment by gull colonies. *J Anim Ecol* 55:507–515
- IRF540N Datasheet, Available:

IRF9530 Datasheet, Available:

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/IRF9530.pdf>,

Accessed: 2011-07-25

Jones, H.P., B. R. Tershy, E.S. Zavaleta, D.A. Croll, B.S. Keitt, M.E.

Finkelstein, and G.R. Howald (2008) Global review of the effects of invasive rats on seabirds. *Conservation Biology*. 22:16-26.

Kurle, C.M. and C.J. Gudmundson (2007) Regional differences in foraging of young-of-the-year Steller sea lions *Eumetopias jubatus* in Alaska: stable carbon and nitrogen isotope ratios in blood. *Marine Ecology Progress Series* 342: 303 - 310.

Langham, N. P. and K. Hulsman. 1985. The Breeding biology of the Crested Tern *Sterna bergii*. *Emu* 86:23-32.

Liu, Y., D.S. Guo, Y. L. Qiao, E. Zhang, and B. F. Cai (2009) Regional Extirpation of the Critically Endangered Chinese Crested Tern (*Thalasseus bernsteini*) from the Shandong Coast, China? *Waterbirds* 32(4):597-599

LMC-SSC2D16-01 User Manual, Available:

[http://www.100y.com.tw/pdf\\_file/LMC-SSC2D16DLYY.pdf](http://www.100y.com.tw/pdf_file/LMC-SSC2D16DLYY.pdf), Accessed: 2011-07-25

Monaghan P., Uttley JD. and Burns MD. (1992) Effect of changes in food availability on reproductive effort in Arctic Terns *Sterna paradisaea*. *Ardea* 80: 71-81.

Monaghan, P., J. D. Uttley, and M. D. Burns (1992) Effect of changes in food availability on reproductive effort in Arctic Terns *Sterna paradisaea*. *Ardea* 80: 71-81.

MSP430FG4619 Datasheet, Available:

<http://www.ti.com/lit/gpn/msp430fg4619>, Accessed: 2011-07-25

NI LabVIEW Specification, Available:

<http://www.ni.com/labview/zht/?nipkw=labview&nicam=Taiwan-VISoftware&nigrp=LabVIEW&nisrc=Google&niurl=&ninet=search>,  
Accessed: 2011-07-25

PCMM10 Specification, Available:

<http://pro.sony.com/bbsc/ssr/cat-audio/resource.latest.bbsscms-assets-cat-audio-solutions-pcmm10.shtml>, Accessed: 2011-07-25

Quintana, F., and P. Yorio. 1997. Breeding Biology of Royal and Cayenne Terns at a Mixed-Species Colony in Patagonia. *The Wilson Bulletin*, 109(4):650-662

Shaffer, S. A., Y. Tremblay, H. Weimerskirch, D. Scott, D. R. Thompson, P. M. Sagar, H. Moller, G. A. Taylor, D. G. Foley, B. A. Block, and D. P. Costa (2006) Migratory shearwaters integrate oceanic resources across the Pacific Ocean in an endless summer. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 103:12799–12802

SHT11 - Digital Humidity Sensor Specification, Available:

[http://www.sensirion.com/en/01\\_humidity\\_sensors/02\\_humidity\\_sensor\\_sht11.htm](http://www.sensirion.com/en/01_humidity_sensors/02_humidity_sensor_sht11.htm), Accessed: 2011-07-25

SHT71 - Digital Humidity Sensor Specification, Available:

[http://www.sensirion.com/en/01\\_humidity\\_sensors/05\\_humidity\\_sensor\\_sht71.htm](http://www.sensirion.com/en/01_humidity_sensors/05_humidity_sensor_sht71.htm), Accessed: 2011-07-25

TRDB-D5M User Guide, Available:

[http://www.terasic.com.tw/cgi-bin/page/archive\\_download.pl?Language=Taiwan&No=282&FID=296513fce2cc16a241b8c9998f7485c2](http://www.terasic.com.tw/cgi-bin/page/archive_download.pl?Language=Taiwan&No=282&FID=296513fce2cc16a241b8c9998f7485c2),  
Accessed: 2011-07-25

- Vidal E, Médail F., Taton T., Bonnet V. (2000) Seabirds drive plant species turnover on small Mediterranean islands at the expense of native taxa. *Oecologia* 122:427–434
- Vidal E, Médail F., Taton T., Roche P., Vidal P. (1998) Impact of gull colonies on the flora of the Riou archipelago (Mediterranean islands of S.E. France). *Biol Conserv* 84:235–243
- Wainright SC, Haney JC, Kerr C, Golovkin AN, Flint MV (1998) Utilization of nitrogen derived from seabird guano by terrestrial and marine plants at St.Paul, Pribilof Islands, Bering Sea. *Mar Biol* 131:63–71
- WAVECOM FASTRACK M1306B User Guide, Available:  
[http://www.sendsms.cn/download/Fastrack\\_M1306B\\_User\\_Guide\\_rev003.pdf](http://www.sendsms.cn/download/Fastrack_M1306B_User_Guide_rev003.pdf), Accessed: 2011-07-25
- WS-2300 Specification, Available:  
<http://www.lacrossetechnology.com.au/WS2300.html>, Accessed: 2011-07-25
- 吳尹文，2005。連江縣及金門縣小型動物體外病媒與潛在病原體關係之研究。國立臺灣大學昆蟲學研究所博士論文。
- 林于凱。2007。澎湖小白沙嶼三種燕鷗巢位選擇與孵化成功之研究。中山大學生物科學系碩士論文。
- 社團法人中華民國野鳥學會。2010。馬祖列島燕鷗保護區內野鼠調查計畫。連江縣政府委託計畫期末報告。
- 社團法人台北市野鳥學會。2008。馬祖列島燕鷗保護區海鳥資訊監測衛星追蹤計畫。連江縣政府委託計畫期末報告。
- 社團法人台北市野鳥學會。2010。馬祖鳥類資源調查。連江縣政府委託計畫期末報告。

- 徐爾烈、吳尹文，2007。農田野鼠偵察調查。農委會動植物防檢局，台北市。
- 張壽華。2008。馬祖地區鳥類資源暨其生態旅遊之研究。臺灣海洋大學環境生物與漁業科學研究所碩士論文。
- 許建平，Available: <http://hscs.cs.nthu.edu.tw/project/>, Accessed: 2011-07-25
- 郭全寶、汪誠信、鄧址、馬壯行、王酋之、柳樞，1982。中國鼠類及其防治。農業出版社，北京
- 陳水華、顏重威、范忠勇、陳蒼松、張方鋼。2005。浙江韭山列島的黑嘴端鳳頭燕鷗繁殖群調查初報。動物學雜誌 Chinese Journal of Zoology 40(1):96-97
- 程建中、邱郁文、張學偉。2007。馬祖列島燕鷗保護區海域生物調查分析成果報告。連江縣政府
- 劉用福。2008。馬祖列島燕鷗保護區經營管理之研究。臺灣海洋大學環境生物與漁業科學研究所碩士論文。
- 歐陽忻憶。2005。馬祖賞鷗生態旅遊經營管理之研究。世新大學觀光學系碩士論文。
- 鄭謙遜。2006。澎湖雞善嶼燕鷗巢位選擇與繁殖生態學研究。中山大學生物科學系碩士論文。

## 附錄一 期中審查意見回覆

委員意見	處理情形
<p>有關今年度燕鷗主要繁殖區為蛇山，依照片顯示大鳳頭燕鷗又有棄巢現象，是否說明棄巢原因？或是該設備儀器（氣象設備、儀器音波電磁波、太陽能板等因素）影響導致棄巢原因請說明。</p>	<p>棄巢原因與台北鳥會討論後，出不可排除賞鷗船、研究人員與鼠類侵擾問題，但是否有其他人員登島、其他捕食者或食物資源等問題目前尚缺乏相關證據以證實。至於研究器材部分團隊檢視過去照片資料顯示鳳頭燕鷗與器材間的互動情形並無異樣(見本報告討論部分)，應可排除研究器材造成燕鷗驚擾的狀況。</p>
<p>有關旨揭儀器是否有其他國家測試成功案例，並於期末報告後呈現。</p>	<p>利用即時影像監測鳥類繁殖情況並上網公開實況的研究目前有以下幾個案例：</p> <p>愛沙尼亞的魚鷹  <a href="http://www.looduskalender.ee/forum/viewtopic.php?f=56&amp;t=402">http://www.looduskalender.ee/forum/viewtopic.php?f=56&amp;t=402</a>)</p> <p>英國的魚鷹  <a href="http://www.ospreys.org.uk/webcam/">http://www.ospreys.org.uk/webcam/</a>)</p> <p>英國的遊隼  <a href="http://derbyperegrines.blogspot.tw/">http://derbyperegrines.blogspot.tw/</a>)</p> <p>目前隨著繁殖季結束，這些實況網站都已收播</p>
<p>旨揭計畫主要是自動照相設備為主，因今年鏡頭遭受燕鷗排遺攻擊，導致相片模糊不清，日後是否能爭加功能將鏡頭自動清潔納入設計考量內。</p>	<p>本系統目前最大優勢為其省電與傳輸效率之平衡，雖今年度鏡頭臟鳥糞噴濺而髒污，未來應可藉由特殊材質之遮光罩或鏡面處理已排除此問題，增設其他自動清潔系統恐增加電力耗損或其他機械故障問題屆時將難以遠端進行障礙排除。</p>

## 附錄二 期末審查意見回覆

委員意見	處理情形
有關旨揭計畫所購買的設備請於結案報告後送至本府列管	感謝委員意見，遵照辦理。
請於結案後將自動化監測照片及島上自動相機內照片列冊送至本府歸檔。	感謝委員意見，遵照辦理。
島上設風速器是否影響鳥類行為	以本計畫使用之風速計與目前文獻上探討較多的風力發電機之葉片對鳥類干擾情況相較甚遠，應無干擾鳥類行為之情事發生。
請說明自動化監測系統故障原因，如何排除。	今年度五六月間的故障皆為外力因素如海鹽與鳥糞遮蔽鏡頭或訊號不佳而需移動機台位置，皆須派遣研究人員至現地維護方能排除故障問題。
保護區內野鼠問題，是否與燕鷗繁殖等關係？	根據中華鳥會(2010)與本研究的調查結果顯示，中島上的鼠類族群數量都在燕鷗繁殖季後達到高峰，除了兩者的繁殖季節重疊之外，也可能代表這段時間對鼠類而言是食物資源充足的時段而大量繁殖。但由於目前尚未有充足之證據證明鼠類侵擾造成保護區內之燕鷗繁殖成功率低落現象，尚無法釐清兩者之關係。
植物種類，是否影響燕鷗棲地的選擇？	根據林于凱(2007)在澎湖的研究指出鳳頭燕鷗偏好平坦(坡度小於15度)且低植被覆蓋度的土坡，與Langham and Hulsman (1985)在澳洲的One Tree Island發現的情形相似。檢視各篇文獻並無發



	<p>現燕鷗對植物種類之偏好情況，應只對植物是否帶刺或過於堅硬不便產卵有反應。而一年生的各種低矮草本植物對鳳頭燕鷗而言應是較為適宜的繁殖棲地。</p>
<p>收集燕鷗保護國內外文獻資料。</p>	<p>感謝委員意見，遵照辦理，相關文獻以補充於各章節與討論中。</p>