



# 無人機結合熱像儀於離島生物調查 之實作與探討-以馬祖地區為例



農林航空測量所  
資源調查課  
葉堃生



# 大綱

- ▶ 熱像儀原理概敘
- ▶ 農航所UAV型號及搭載熱像儀規格
- ▶ 實作與探討
  - 資料蒐集
  - 影像處理
  - 熱影像比對
  - 分析與討論
- ▶ 結論

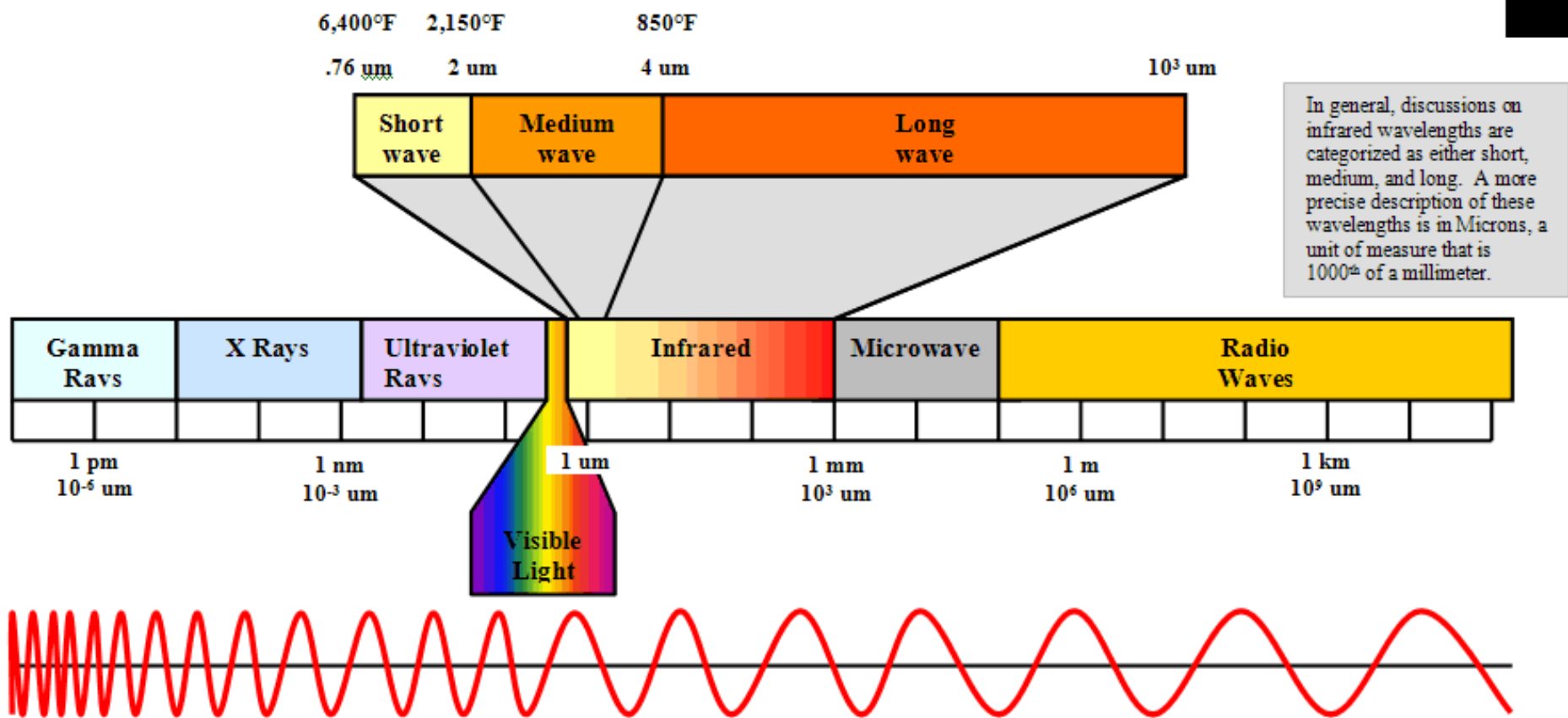


# 熱像儀原理概敘

- ▶ 一種對物體散發出的紅外線進行感光成像的設備
- ▶ 有光子探測和熱探測兩種不同的原理
  - 利用光子在半導體材料上產生的電效應進行成像，敏感度高，但探測器本身的溫度會對其產生影響，因而需要降溫
  - 將光線引發的熱量轉換為電信號，敏感度不如前者同時無需制冷(降溫)
- ▶ 常用感光材料：硫化鉛、硒化鉛、碲化銮、碲錫鉛、碲鎢汞、摻雜鍺和摻雜矽



# 熱像儀原理概敘



# 熱像儀原理概敘

## ▶ 應用領域

- 軍事：於夜間發現發動中的機具、士兵
- 醫學：腫瘤偵測
- 工業：元件檢測
- 建築：抓漏、蒸氣管線偵測
- 消防：尋找熱源、救援應用
- 礦業：溫泉探測
- 電力：太陽能板巡檢
- 農業：植物病蟲害偵測
- 生態：動物分布、夜行性動物偵測
- 狩獵？



# 農航所UAV型號及感測器規格



# 搭載熱像儀規格

|                |                             |                        |
|----------------|-----------------------------|------------------------|
| 熱成像系統類型        | 非制冷氧化釩 ( VOx ) 微測輻射熱計       |                        |
| FPA / 數字視頻顯示格式 | 640 × 512                   | 336 × 256              |
| 像元間距           | 17 μm                       |                        |
| 全幀頻            | 30 Hz (NTSC)<br>25 Hz (PAL) |                        |
| 靈敏度 (NEΔT)     | <50 mK at f/1.0             |                        |
| 照片格式           | JPEG (8 bit) TIFF (14 bit)  |                        |
| 影片格式           | MP4                         |                        |
| 數字變焦           | 2x, 4x, 8x                  | 2x, 4x                 |
| 可選鏡頭           | 7.5mm, 9mm, 13mm,           | 6.8mm, 9mm, 13mm, 19mm |
| 測溫形式/測溫精度      | 任意點測溫/±10°C~±5°C            | 螢幕中心點測溫/±20°C          |



# 搭載光學相機規格

|        |                                                                                                                                               |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 鏡頭     | DJI MFT 15mm/1.7 ASPH                                                                                                                         |
| 傳感器    | CMOS · 4/3"<br>有效畫素：2080萬                                                                                                                     |
| FOV    | 72° ( 配合DJI MFT 15mm/1.7 ASPH )                                                                                                               |
| 電子快門速度 | 8至1 / 8000秒                                                                                                                                   |
| ISO範圍  | 影片：100至6400<br>照片：100至25600                                                                                                                   |
| 圖像解析度  | 4:3    : 5280×3956<br>16:9   : 5280×2970                                                                                                      |
| 雲台參數   | 角度抖動量：±0.01°                      安裝方式：可拆式<br>可控轉動範圍：俯仰+30°至-90° 平移±320°<br>結構設計範圍：俯仰+50°至-140° 平移±320° 橫滾+90°至-50°<br>最大控制轉速：俯仰90°/s 平移90°/s |





# 實作與探討





# 目的

- 
- ▶ 測試熱像儀(XT)對野生動物感應之特性
    - 環境溫度因素
    - 動物種類差異
  - ▶ 評估熱影像製圖之可行性





# 資料蒐集



# 熱像儀影像蒐集

- 環境溫度：

- 黃昏：背景溫度較高
- 清晨：背景溫度較低

- 動物種類

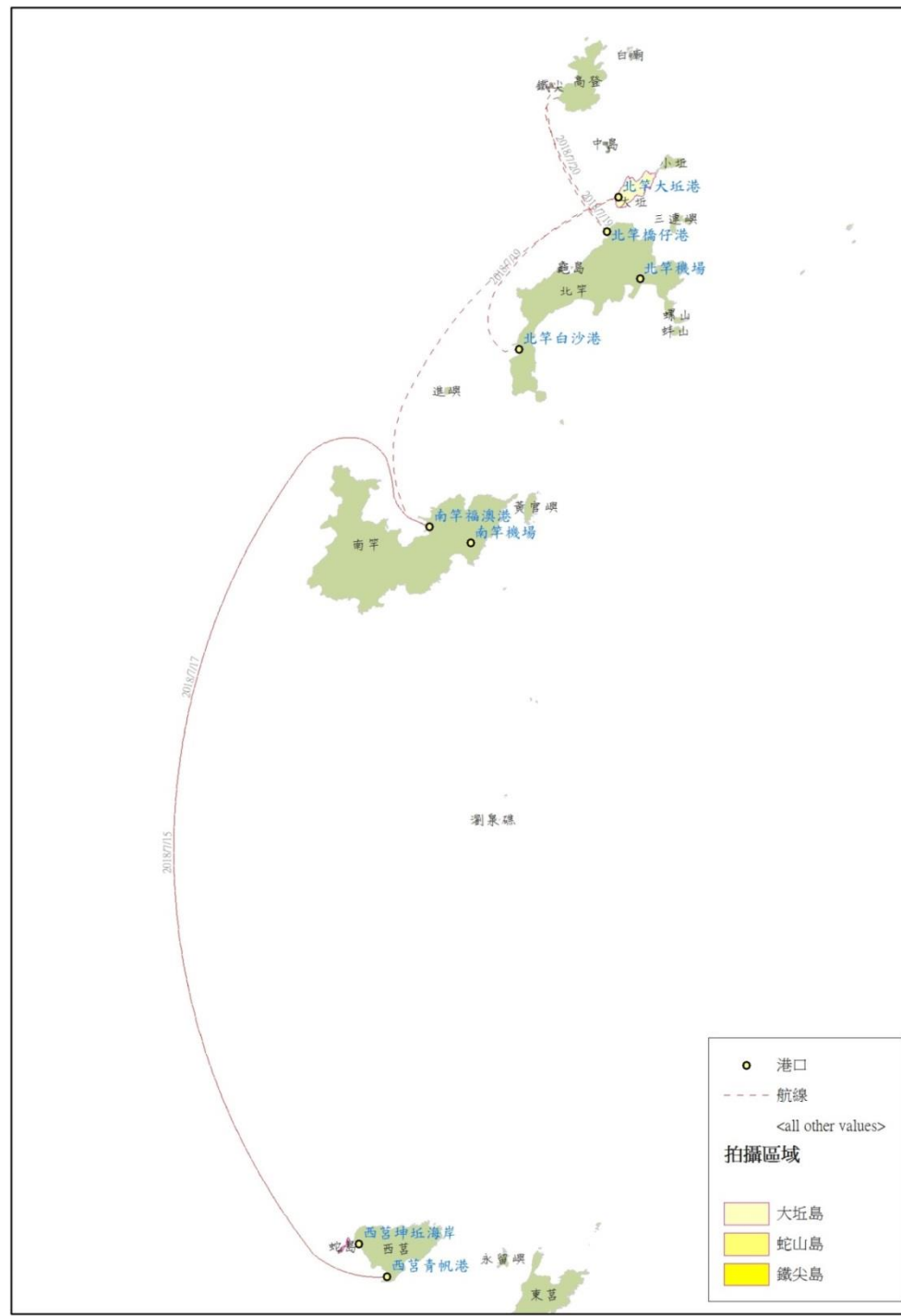
- 哺乳類：梅花鹿(大型哺乳類動物，體長約150cm)
- 鳥類：大鳳頭燕鷗(大型燕鷗，翼長32cm)、白眉燕鷗(翼長24cm)



# 熱像儀影像蒐集

- ▶ 調查地點：西莒鄉蛇山島、北竿鄉大坵島及鐵尖島
- ▶ 調查時間：107年7月15日至7月21日
- ▶ 空拍人力：農航所4員，連江縣政府支援塔台進駐1員
- ▶ 現場調查協助：臺灣大學森林環境暨資源學系袁孝維老師團隊
- ▶ 天氣說明：
  - 瑪麗亞颱風於7月11日影響馬祖地區。
  - 7月16~17日受山神颱風外圍環流影響，平均風速達 $9\text{m/s}$ 以上，最大陣風達 $12\text{m/s}$ 以上。





# UAV拍攝作業



## ▶ 台灣梅花鹿UAV空拍規劃

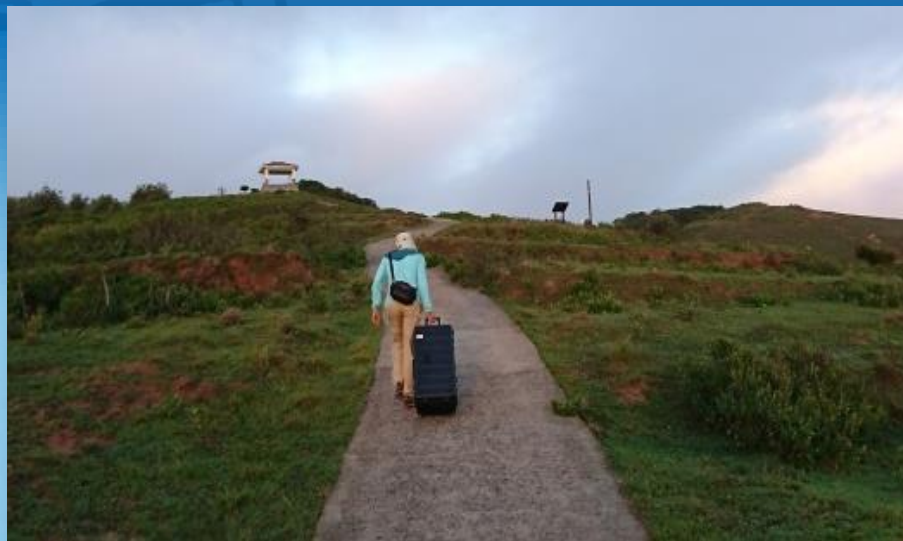
- 地點：北竿鄉大坵島
- 可見光影像：航高100m(解析度2cm)
- 熱影像：航高76m(解析度10cm)、50m(解析度6.5cm)

## ▶ 燕鷗UAV空拍規劃

- 地點：西莒鄉蛇山島、北竿鄉鐵尖島
- 可見光影像：航高70m(解析度1.5cm)、50m(解析度1.1cm)

◦ 熱影像：50m(解析度6.5cm)





大坵島作業



鐵尖島作業



**07/15 17:20**

預計拍攝時間

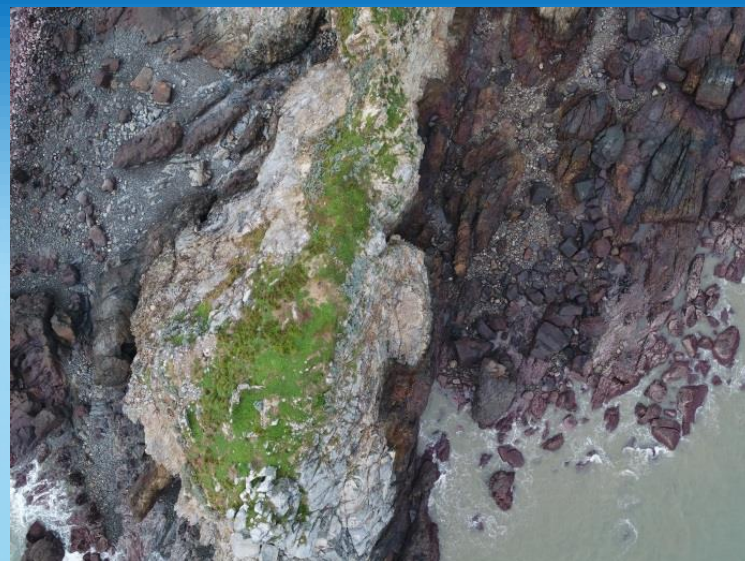
7 分 14 秒

飛行航程

2,511m

平均風速

7.7<sup>m</sup>/s



**07/16 05:25**

預計拍攝時間

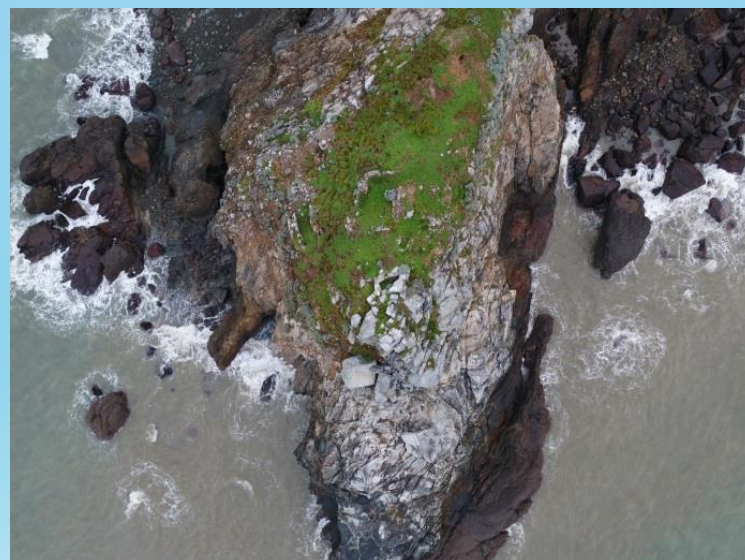
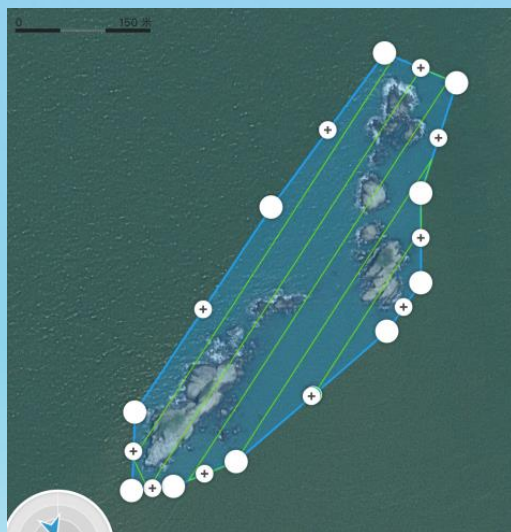
7 分 14 秒

飛行航程

2,511m

平均風速

7.7<sup>m</sup>/s



**07/15 18:49**

預計拍攝時間

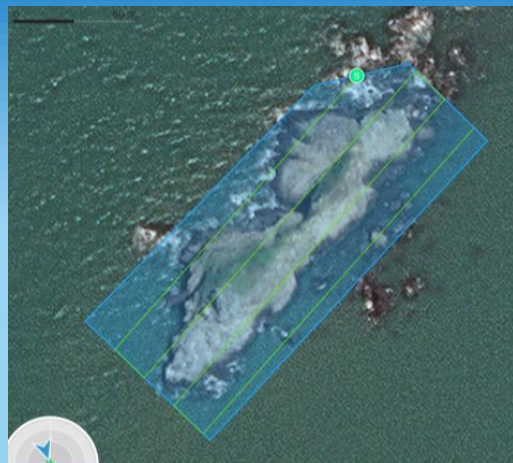
6 分 44 秒

飛行航程

752m

平均風速

9.3<sup>m</sup>/s



**07/16 04:55**

預計拍攝時間

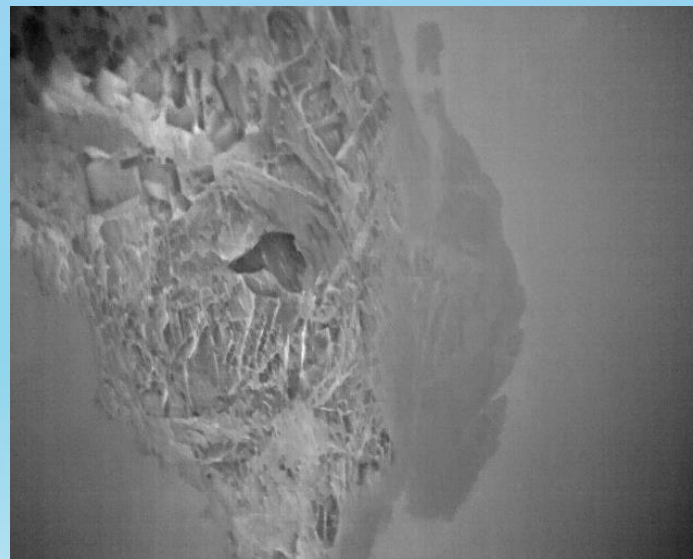
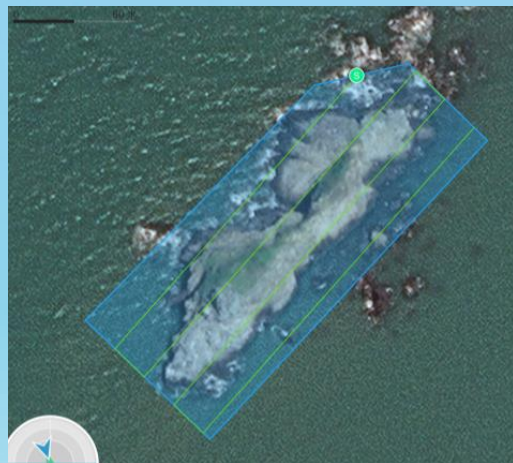
6 分 44 秒

飛行航程

752m

平均風速

8.6<sup>m</sup>/s



# 拍攝成果彙整

| 地點  | 對象    | 時段                         | 光學影像+熱影像<br>數量 |
|-----|-------|----------------------------|----------------|
| 蛇山島 | 燕鷗    | 0715黃昏<br>0716清晨           | 909個檔案         |
| 大坵島 | 台灣梅花鹿 | 0718清晨<br>0718黃昏<br>0719清晨 | 1634個檔案        |
| 鐵尖島 | 燕鷗    | 0719黃昏<br>0720清晨           | 416個檔案         |





# 影像處理



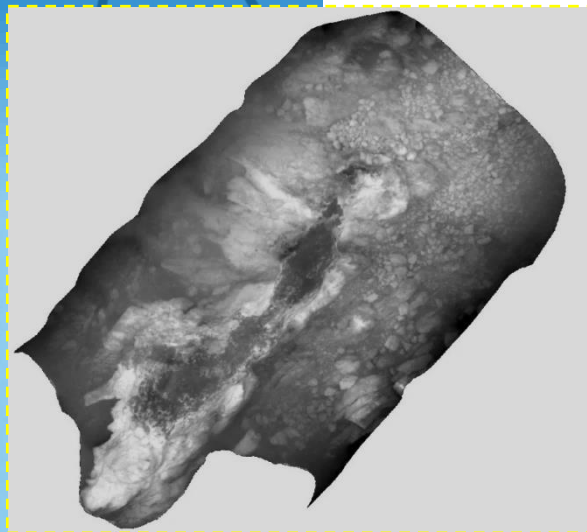
# 影像處理

## ▶ 空三與正射糾正

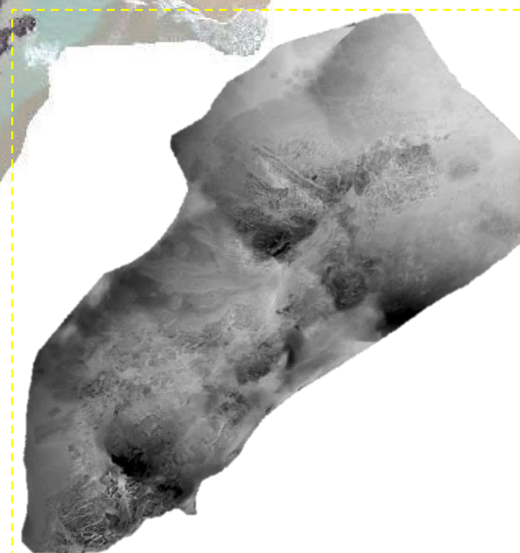
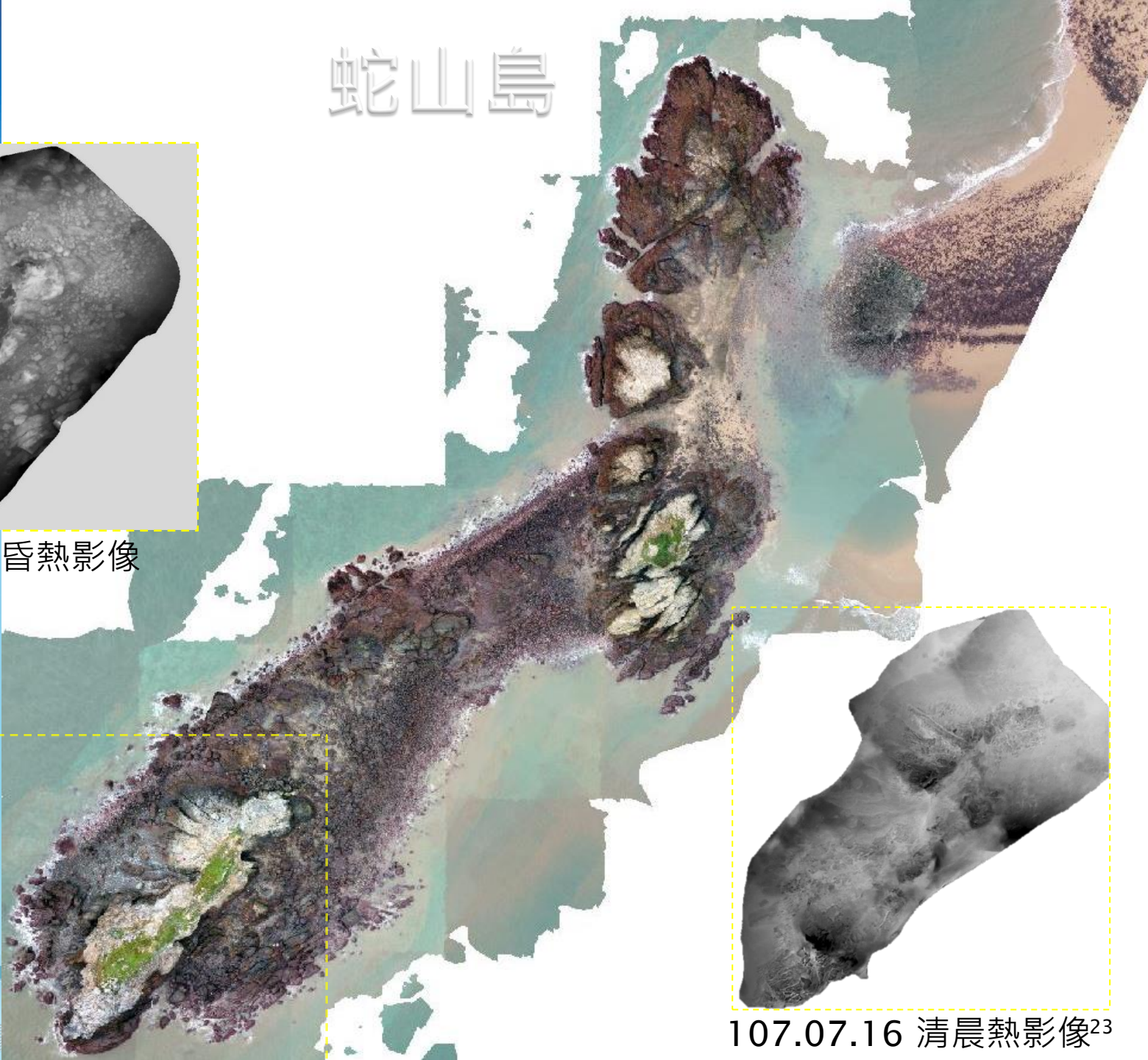
- 軟體：Bentley Context Capture Master三維建模軟體
- 處理項目：
  - 影像自動匹配及方位計算
  - 點雲匹配及立體模型組建
  - 真正射影像(True Ortho)產製



# 蛇山島



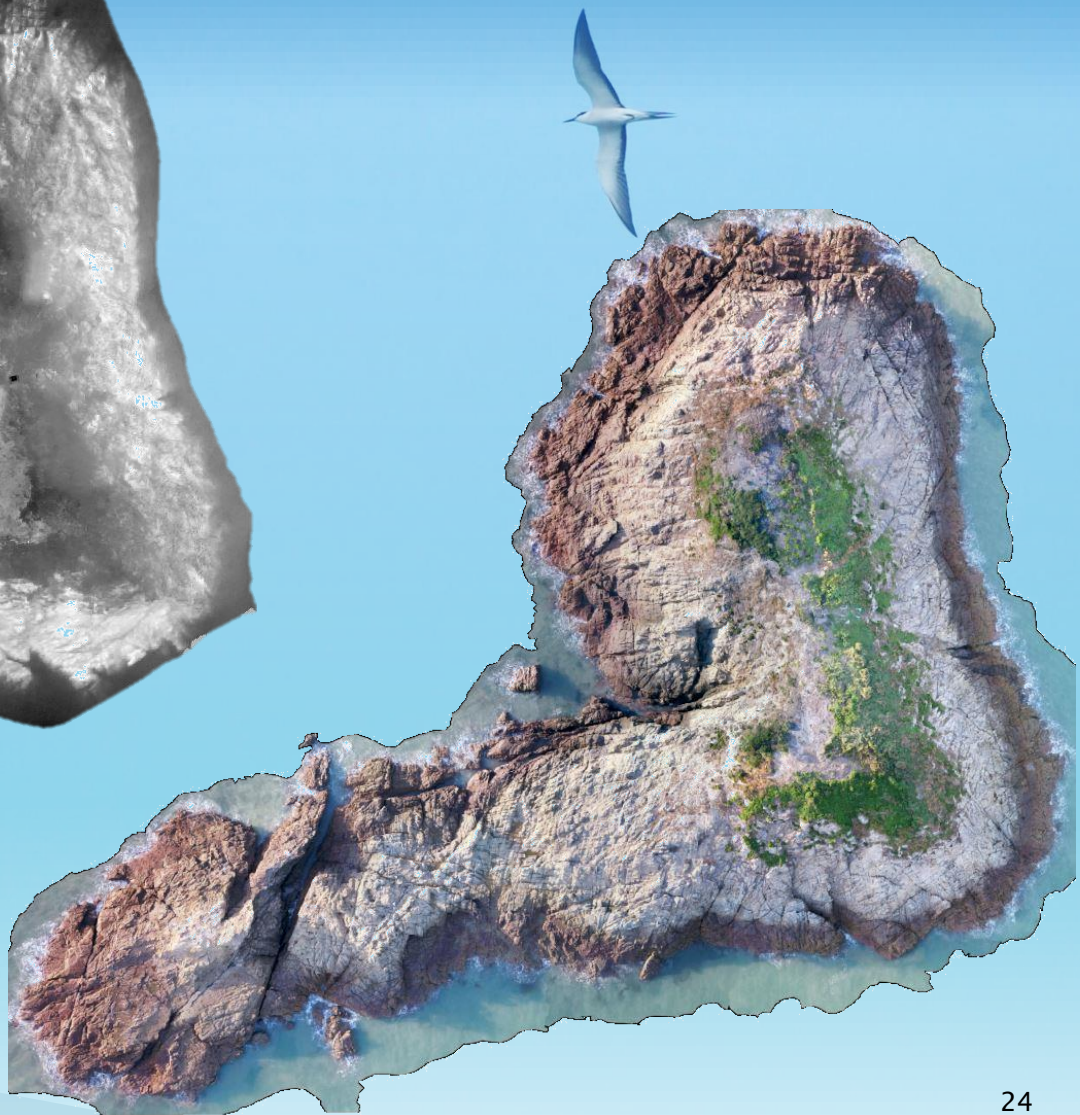
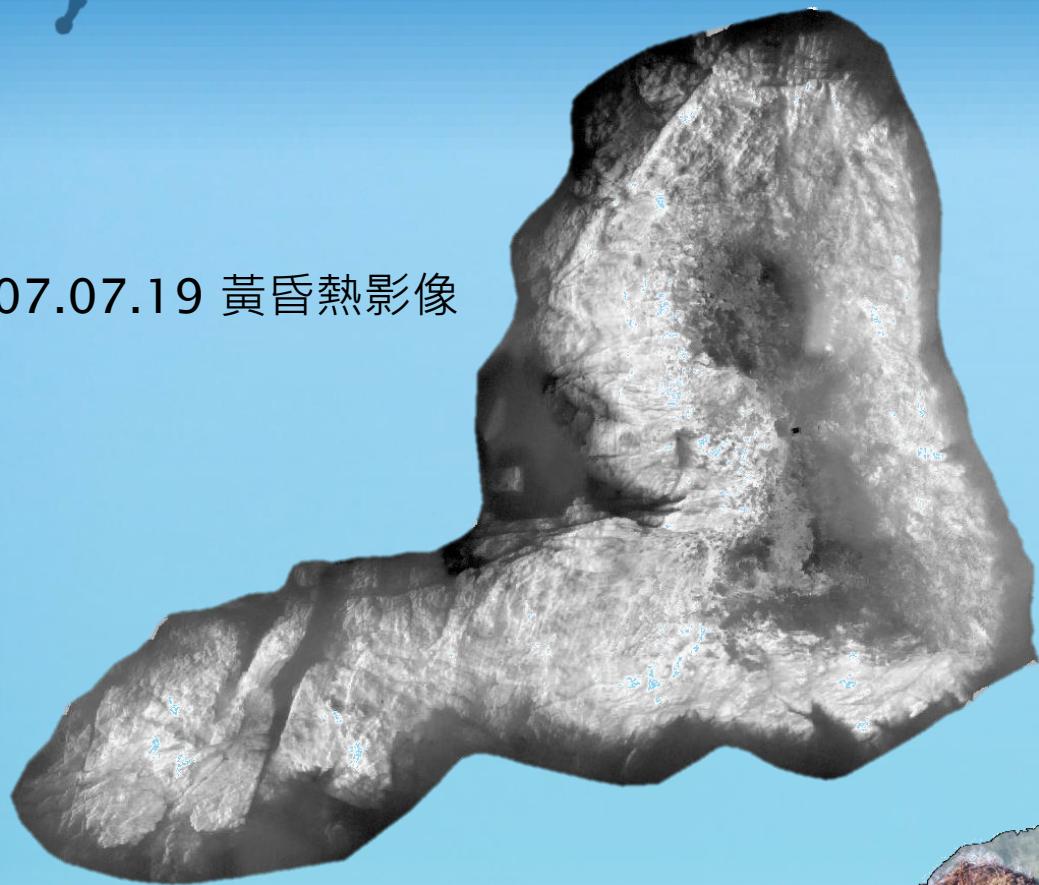
107.07.15 黃昏熱影像



107.07.16 清晨熱影像<sup>23</sup>

# 鐵尖島

107.07.19 黃昏熱影像



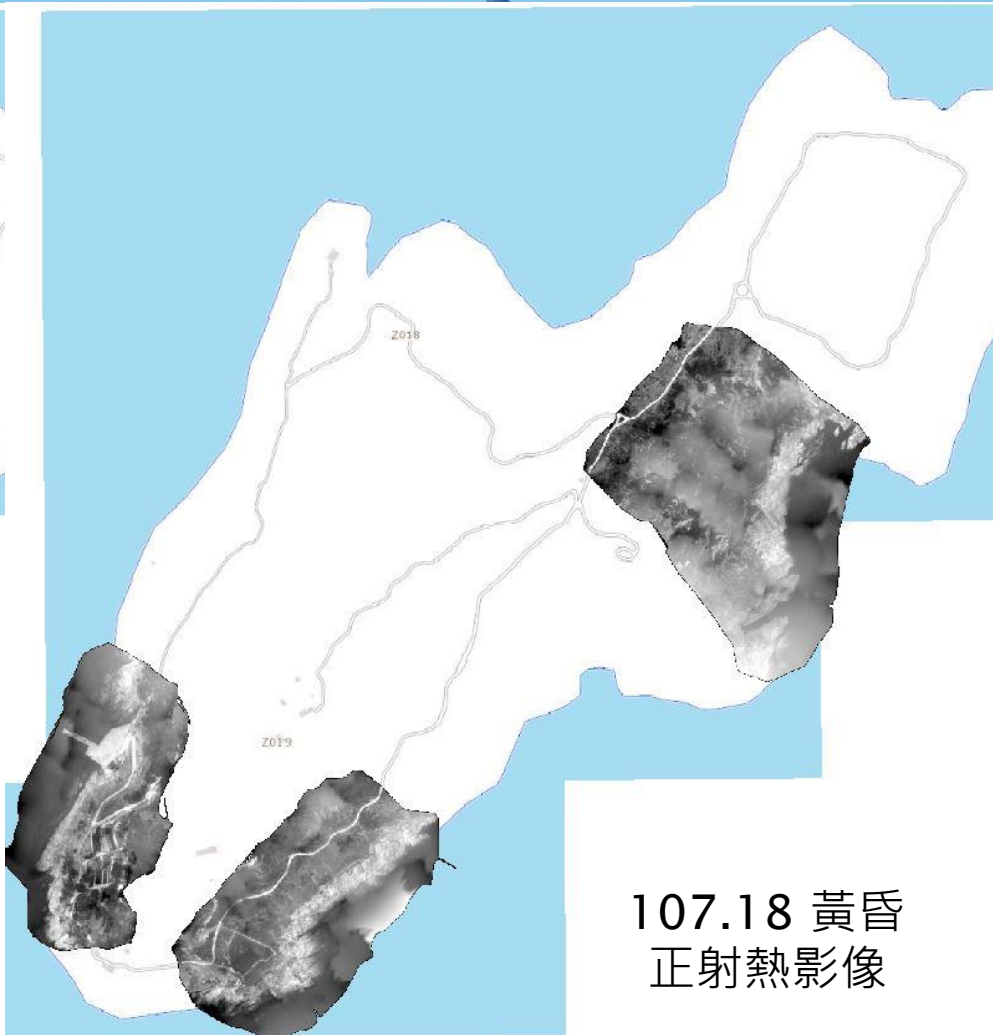
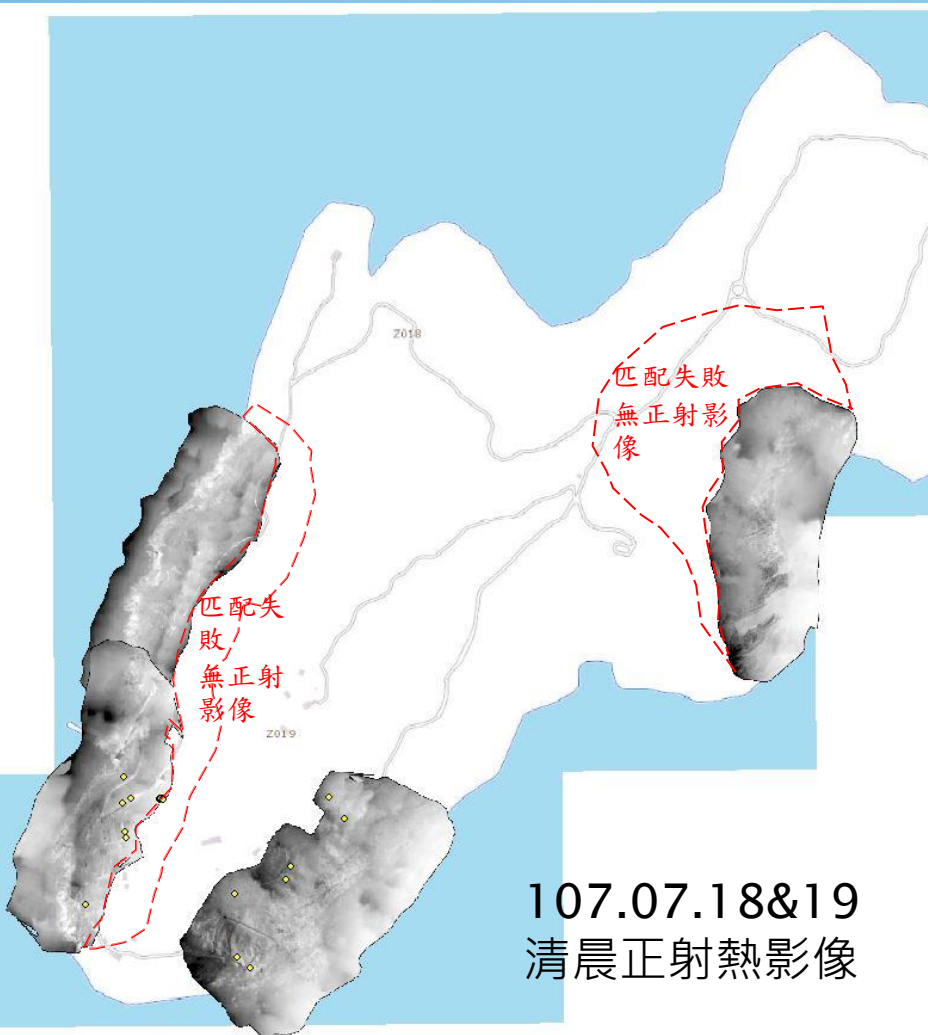
# 大坵島



107.07.18&19 清晨光學影像



# 大坵島





| 項目                          | 時段 | 光學影像 |     |     | 熱影像 |     |     |
|-----------------------------|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                             |    | 蛇山島  | 大坵島 | 鐵尖島 | 蛇山島 | 大坵島 | 鐵尖島 |
| 自動匹配及<br>方位計算               | 清晨 | ◎    | ◎   | ◎   | ◎   | △   | ◎   |
|                             | 黃昏 | ◎    | ◎   | ◎   | ◎   | ◎   | ◎   |
| 點雲匹配及<br>立體模型組建             | 清晨 | ◎    | ◎   | ◎   | ◎   | △   | ◎   |
|                             | 黃昏 | ◎    | ◎   | ◎   | ◎   | ◎   | ◎   |
| 真正射影像<br>(True Ortho)產<br>製 | 清晨 | ◎    | ◎   | ◎   | ◎   | △   | ◎   |
|                             | 黃昏 | ◎    | ◎   | ◎   | ◎   | ◎   | ◎   |
| ◎：成功<br>△：部分成功              |    |      |     |     |     |     |     |
|                             |    |      |     |     |     |     |     |

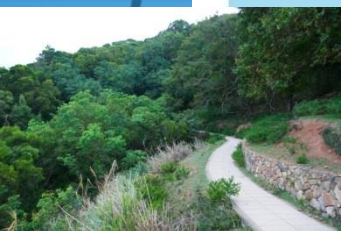




# 熱影像比對



# 熱影像比對-梅花鹿



107.07.18&19 清晨光學影像

# 熱影像比對-梅花鹿



# 熱影像比對-梅花鹿

梅花鹿  
區  
灌木及草生地

清晨07/18 05:02、05:18



黃昏07/18 17:07、16:59



# 熱影像比對－梅花鹿

梅花鹿B區單純草生地

清晨07/18 05:53、06:05



黃昏07/18 17:53、17.43



# 熱影像比對-梅花鹿

梅花鹿C區人工建物

清晨07/18 06:31、06:42



黃昏07/18 18:36、18:13



# 熱影像比對-梅花鹿

梅花鹿口區喬木

清晨07/19 05:17、05:31



黃昏

訊號異常無法拍攝

訊號異常無法拍攝



# 熱影像數值化量測判讀

► 工具：FLIR Tools直接測定

Sp1：梅花鹿  
Sp2：梅花鹿  
Sp3：電線桿



# 熱影像比對結果-梅花鹿

| 拍攝時段          | 影像來源 | 各區梅花鹿數量 |    |    |    |
|---------------|------|---------|----|----|----|
|               |      | A區      | B區 | C區 | D區 |
| 7月18、19<br>清晨 | 可見光  | 18隻     | 2  | 4  | ×  |
|               | 熱影像  | ×       | 7  | 11 | ×  |
| 7月18<br>黃昏    | 可見光  | 33      | 33 | 10 | —  |
|               | 熱影像  | ×       | ×  | ×  | —  |

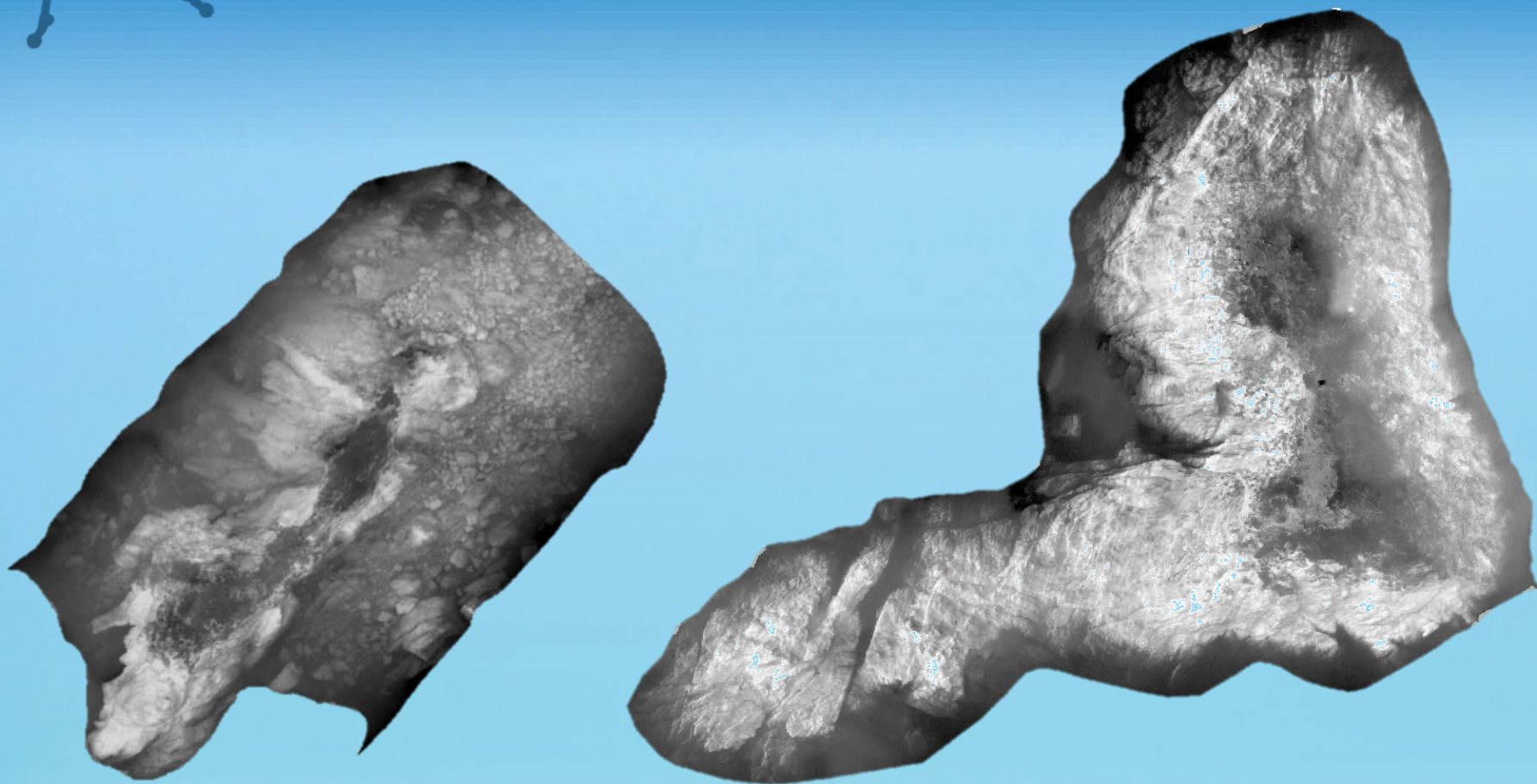
\* 無正射糾正熱影像

\*\* 經量測溫度值，梅花鹿與植被相近，無法明確判讀

— 未拍攝



# 熱影像比對-燕鷗



# 熱影像比對-燕鷗(蛇山島)

- 107.07.15下午尚有燕鷗活動，至傍晚則無活動跡象
- 107.07.16 清晨亦無活動跡象



# 熱影像比對-燕鷗(鐵尖島)

107.07.19 黃昏有白  
眉燕鷗活動，未觀察到  
大鳳頭燕鷗

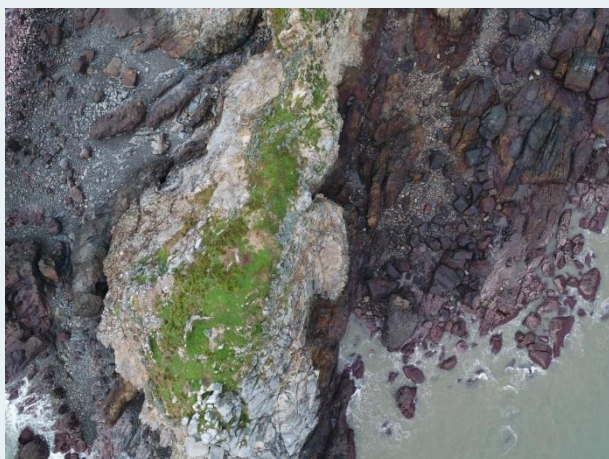
107.07.20 清晨有燕  
鷗活動



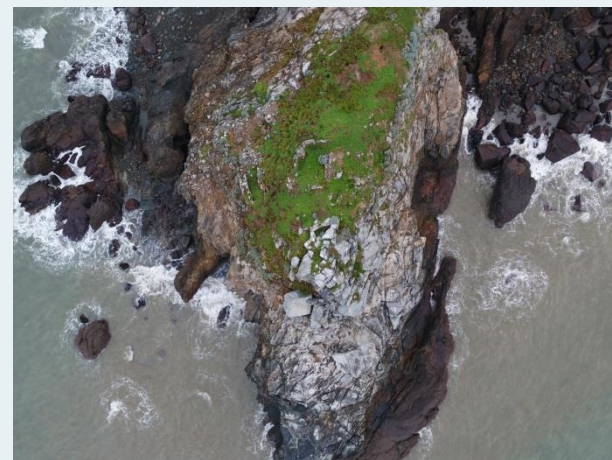
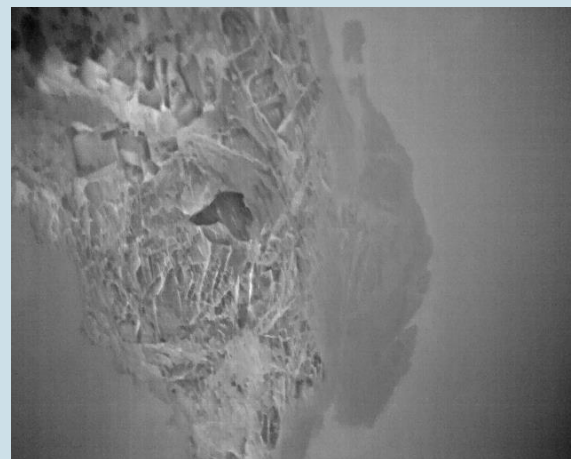
# 熱影像比對－燕鷗

燕鷗  
蛇山島

07/15 17:20、18:49



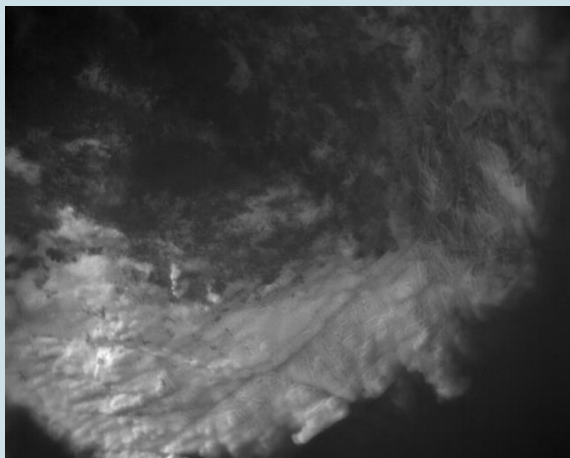
07/16 05:25、04:55



# 熱影像比對－燕鷗

燕鷗  
鐵尖島

07/19 17:57、05:31



07/20 清晨

訊號異常無法拍攝

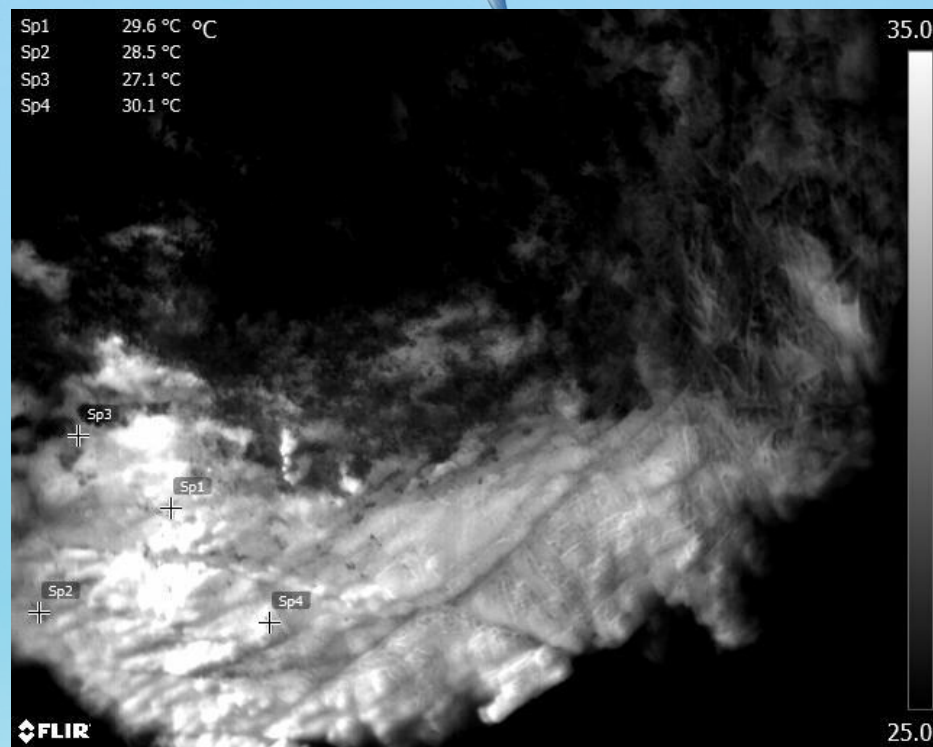
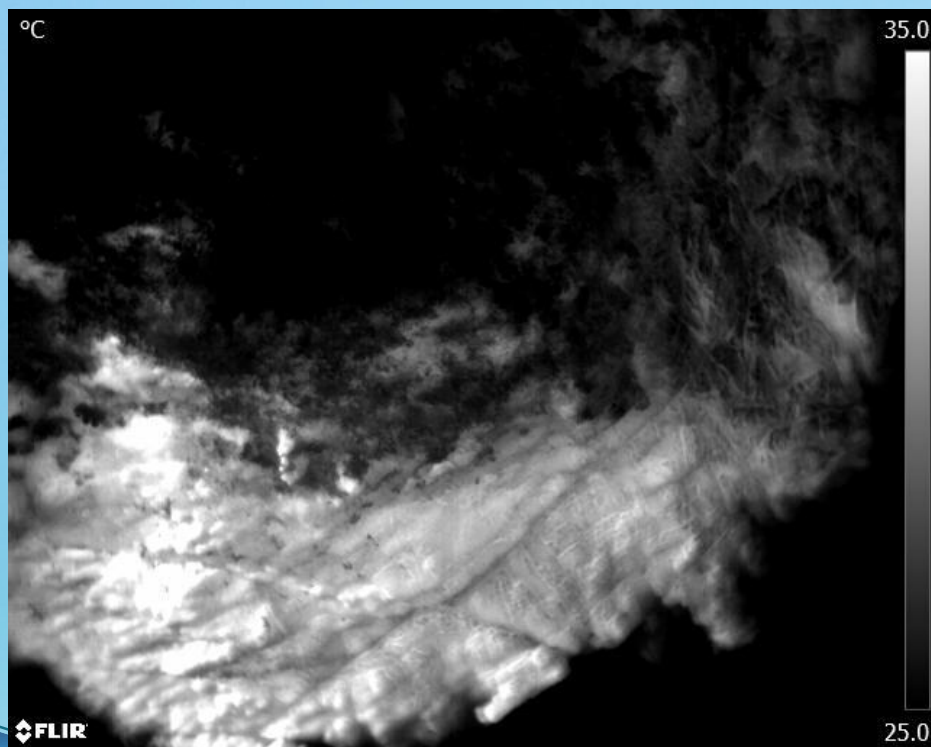
訊號異常無法拍攝



# 熱影像數值化量測判讀

► 工具：FLIR Tools直接測定

Sp1：燕鷗 29.6℃  
Sp2：燕鷗 28.5℃  
Sp3：燕鷗 27.1℃  
Sp4：燕鷗 30.1℃  
地面均溫：41℃





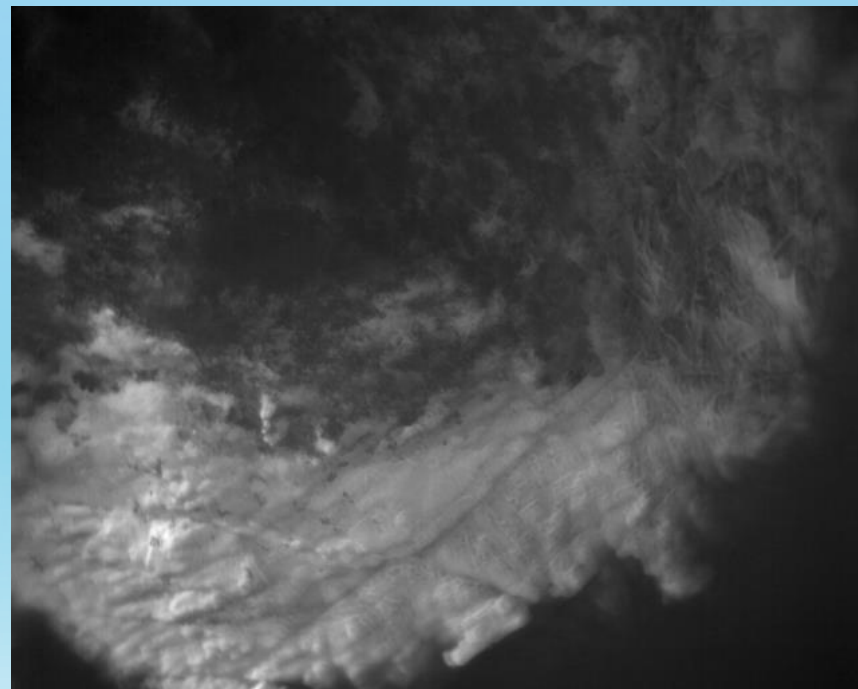
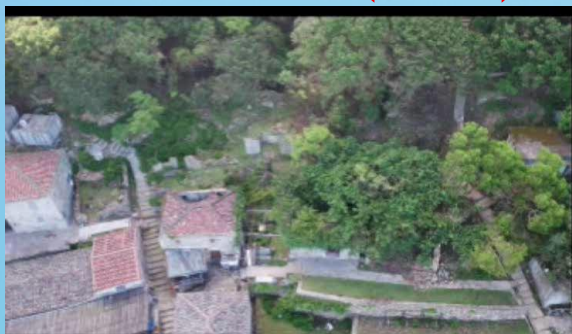
# 分析與討論



# 分析與討論

## ▶ 動物種類偵測能力：

- 梅花鹿(哺乳類)：未遮蔽情形下，判斷為個體之較具確定性
- 燕鷗(鳥類)：未遮蔽情形下，判斷為個體之不確定性高



# 分析與討論

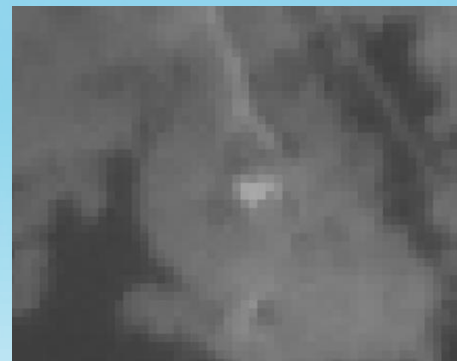
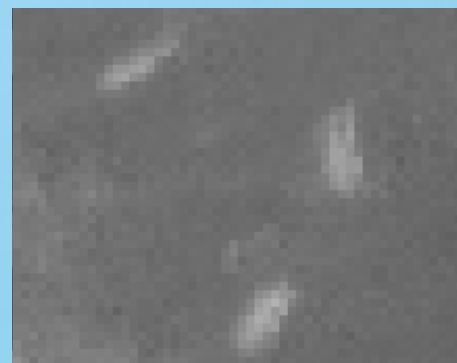
## ▶ 體型

### ◦ 梅花鹿：

- 體型較大，以梅花鹿體長150公分而言，在50公尺航高之熱影像，成像約占23個像元，寬度亦可超過5個像元，部分熱影像可辨認出其體型。

### ◦ 燕鷗

- 翼長約24~35cm，在熱影像上約3~4個像元(航高50m)，未展翅時體型更小，不易被確認
- 嘗試降低航高時，燕鷗開始騷動，無法再取得更



# 分析與討論

## ▶ 環境溫度與拍攝時段的影響：

### ◦ 梅花鹿：

- 在清晨時（尤其是未受陽光照射干擾），體溫與環境溫度差可達 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ ，較易判別
- 黃昏岩石經整日曝曬吸熱後，容易誤判為大型野生動物

### ◦ 燕鷗：

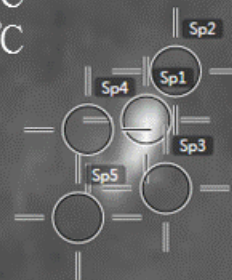
- 無論清晨或黃昏，皆無法具體確認，體溫與環境溫度差異不明顯，曾以白鷺鷥為目標測試，結果亦同
- 推測為鳥類因為羽毛的保溫效果，無法讓體溫外溢而與環境溫度產生明顯差異





Sp6(梅花鹿) : 30.3℃  
Sp7(周圍) : 27.5℃  
Sp8(周圍) : 27.7℃  
Sp9(周圍) : 27.8℃  
Sp10(周圍) : 27.8℃

Sp1(梅花鹿) : 31.8℃  
Sp2(周圍) : 27.2℃  
Sp3(周圍) : 27.7℃  
Sp4(周圍) : 27.9℃  
Sp5(周圍) : 27.4℃



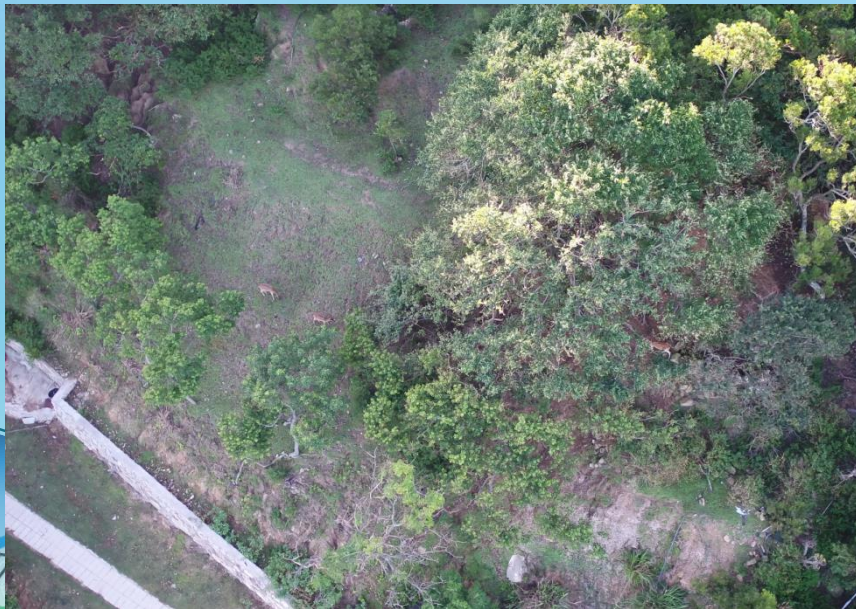


# 分析與討論



## ▶ 遮蔽對熱穿透的影響：

- 建物、草生地、灌木、道路區域可偵測到梅花鹿
- 密林：即使現場地面觀察到梅花鹿個體分布，亦無法在高空中以熱成像偵測到梅花鹿，但林冠孔隙間仍有機會拍到局部個體



# 分析與討論

## ▶ 影像處理及製圖

- **清晨**熱影像各區皆存有局部匹配失敗之情形，**黃昏**熱影像製圖效果較佳。
- 經檢視比對後，發現失敗區域皆位於密林區，**清晨**熱影像所呈現皆為無特徵均調區，推測此為造成匹配失敗之原因





# 結論



# 結論

- ▶ 熱像儀偵測動物種類能力：
  - 大型哺乳類動物效果較明顯
  - 鳥類推測因羽毛保溫效果，無法讓體溫外溢而與環境溫度產生明顯差異而被偵測出
- ▶ 環境溫度與拍攝時段的影響：
  - 岩石吸熱後，容易誤判為野生動物
  - 清晨時段（尤其是未受陽光照射干擾）較易判釋出大型哺乳動物
  - 建議以光學為主、熱成像為輔較為可靠，避免誤計其他哺乳類動物
- ▶ 熱影像以黃昏前之製圖效果較佳，清晨在植生區較無紋理。
- ▶ 建議未來再針對熱像儀與熱源的距離進行測試





敬請指教

