

「苗栗縣石虎族群數量與分布調查」
委託專業研究調查服務案（後續第 2 次
擴充）

成果報告書

提案單位：苗栗縣義勇消防總隊協會

負責人：李運金理事長

共同主持人：裴家騏、賴玉菁

中華民國 110 年 12 月 24 日

摘要

石虎 (*Prionailurus bengalensis*) 是臺灣僅存的野生貓科動物，族群現況為瀕臨絕種，極待建立正確性高的族群分布模式與密度資訊，以作為復育的基礎。本計畫分兩年度 (2019/8/21~2020/10/20、2020/12/30~2021/12/21) 完成苗栗縣境內海拔 1,000m 以下地區的石虎全區普查，繪製石虎分布，估計族群密度，以及苗 128 縣道 4 路殺點調查、苗 29 鄉道 10 個石虎友善通道之使用監測、和苗 140 縣道 9 個路殺點調查和火炎山隧道口動物通道的使用調查。

利用網格系統樣區 (2km × 2km) 完成之全區普查顯示，石虎為苗栗海拔 1,000 公尺以下之普遍分布物種，並無特定連續之高密度區塊，但東北區石虎密度明顯較低。同時，因為本計畫的網格面積為 4km²，小於一隻石虎平均的活動範圍 (5km²) (Chen et al. 2016)，因此，所呈現的分布模式，將比任何動物分布模式以小樣本運算所得到的分布模式要精準。不過，如欲完成更完整的石虎分布圖，任何補充調查都可以增加對牠們的認識，因此應該將任何其他新的記錄資訊納入整合，隨時更新，以獲得更即時、更正確的分布現況。

例如，所有小於系統網格 (4km²) 的開發案，如所座落的網格為「有石虎紀錄」網格時，則應該要求提出適當的石虎保育措施，而如果座落在「無石虎紀錄」網格中時，則應於要求開發前於案場所在地點進行石虎活動狀況的補充性調查，以避免誤判，若發現確實有石虎的利用，則應要求提出適當的保育措施，以降低對定居個體之影響。為確實達到石虎保育的目標，前述保育措施的規劃與施作項目，都應針對該目標，擬定確實、可行的效益評估方案，持續監測並定期檢討修正。

在石虎族群密度估算方面，本計畫選擇不同石虎相對豐度的五處 16 km² 密度估計樣區，密度樣區分散在苗栗縣各地，各樣區內相機組間的平均最小距離在 500m 到 800m 之間。總計自 2021 年 1 月 6 日至 2021 年 8 月 5 日止，五個密度樣區總工作小時數 708,654 小時，每個相機樣點平均工作 4,429 小時。五個樣區的有效照片數介於 11 張到 390 張之間，可以判釋的個體數則介於 3 隻到 22 隻之間。有效照片數與各樣區在第一年的平均 OI 值呈顯著的正相關，顯示第二年所選取的密度樣區具相當程度的代表性。根據可判釋個體被重複拍照的次數及位置，再透過 spatially explicit capture-recapture (SECR) 模型的演算 (Density 5.0)，獲得五個樣區的族群密度估計值 (±SEM)，分別為：(1) 0.7831±0.2856、(2) 0.3232±0.2008、(3) 0.4664±0.2462、(4) 0.5519±0.2491、(5) 0.0701±0.0861。與第一年各樣區的平均 OI 值所產生的最佳線性迴歸方程式為： $Y = 0.1642 X + 0.1719$ ($R^2 = 0.5656$)，其中 Y 為密度估計值、X 為

平均 OI 值。使用此方程式所推估獲得全苗栗縣最可能的定居石虎數量，是在 339.9 隻到 362.6 隻之間。以此方程式估計兩處無線電追蹤結合自動照相機的研究樣區（通霄、卓蘭），結果所估算的石虎密度都落於兩處研究人員所估計個體數的範圍內，顯示此方程式具實務應用性。後續建議重複本計畫的密度估計作法，再增加樣區數量，以及增加低密度樣區的面積，並與其他密度估計方法進行比較，以產生更具代表性的數量估計結果。

在 128 縣道路殺點定點調查共架設 6 個樣點，累積總工作時數為 35,381 小時，總計共調查到中小型地棲物種 9 科 11 種，判釋石虎個體 5 隻。調查資料顯示，本路段所在區域物種豐富度高，是重要的淺山生態系統。路殺記錄的位置，確為重要之石虎使用與道路穿越位置。苗 29 鄉道共完成動物友善通道自動相機使用監測 322,660 工作小時，累計共記錄石虎影像 524 隻次，判釋個體 11 隻。整體而言，苗 29 鄉道的動物通道在施工干擾結束後約數月至一年，會有不同個體陸續使用但使用效率低。不同通道的使用頻度有異，有賴個體追蹤的資料分析協助釐清和強化友善通道的成效。但須注意的是，動物通道除提供石虎穿越外，也同時提供了犬隻行走，有可能提高犬虎衝突。本計畫於苗 140 縣道共完成 9 處路殺監測樣點，自動相機總工作小時為 121,004 小時，4 個涵洞通道持續監測樣點，自動相機總工作小時為 36,431 小時。累計共記錄石虎影像 78 隻次，判釋個體 11 隻。苗 140 縣道的路殺調查資料顯示，區域內石虎密度高且普遍使用道路兩旁的棲地，沒有特定的穿越道路位置，持續積極的夜間車輛超速取締，是該路段路殺案件持續減少的重要關鍵。道路調查與監測結果顯示，友善設施之成效，會因區域之地形地貌、該道路之設計、棲地特質與土地利用，以及當地石虎之族群密度、石虎個體行為等，而有所不同。所有道路之石虎友善設計，都需先設定清楚之目標，再依此一目標，完成可行之減輕措施規劃，並必須針對友善設施所欲達成之目標進行實質的效益評估，並據以調整友善設施。

目錄

目錄.....	I
圖目錄.....	II
表目錄.....	IV
壹、目標.....	1
貳、計畫工作項目與內容.....	1
參、執行方法.....	2
肆、結果.....	12
一、苗栗縣近十年內石虎出現記錄盤點.....	12
二、2km × 2km 網格系統普查樣區補充調查之 200 個樣點資料收集.....	16
三、五處 4km × 4km 族群密度樣區的族群密度估算.....	23
四、加強點位之苗 128 縣道路殺改善建議分析及苗 29 鄉道友善環境動物通道改善工程 施工中暨完工後動物利用情形監測，及苗 140 縣道改善工程施工中暨完工後動物利 用情形監測.....	29
伍、討論與建議.....	57
陸、參考文獻.....	65
附件一 第二年度族群密度估計所架設的相機位置資訊	
附件二 2km × 2km 網格系統樣區背景補充調查之 200 個石虎樣點編號與座標	
附件三 系統樣區背景補充調查 200 個樣點之石虎記錄與相對豐度 (OI 值)	
附件四 個體記錄資訊	
附件五 道路環境改善通道監測樣點座標與架設時間	
附件六 道路監測石虎判釋成果記錄	
附件七 契約修訂協議書	
附件八 第二年度細部計畫書審查會議意見回覆	
附件九 第二年擴充期初第二次相機架設成果報告審查會議意見回覆	
附件十 第二年擴充期中報告審查會議意見回覆	
附件十一 第二年擴充工作小組會議意見回覆	
附件十二 第二年擴充期末報告審查會議意見回覆	

圖目錄

圖 1 苗栗縣境內本計畫工作範圍（海拔 1000 公尺以下）圖。.....	1
圖 2 系統樣區背景補充調查海拔 1,000m 以下所規劃的 264 個網格（有編號者），以及本計畫所架設 200 台自動相機樣點（紅色點位）的網格位置。.....	4
圖 3 本計畫第二年度選取的 5 處 4km × 4km 石虎密度估計樣區的分布圖。密度估計樣區編號從 1 到 5，分別代表所涵蓋各網格第一年度石虎的平均出現頻度（OI 值）由高到低。.....	7
圖 4 本計畫彙整 2010-2020 年間苗栗縣境內曾有石虎出現記錄的點位分布（N=229）。.....	15
圖 5 彙整本計畫收集之所有石虎調查資料（253 個樣點）之石虎記錄有（粉紅色，n=161）、無（灰色，n=92），及所在網格之分布。.....	18
圖 6 調查網格之石虎相對豐度等級（OI 值分級）分布。.....	19
圖 7 調查網格之貓隻相對豐度等級（OI 值分級）分布。.....	20
圖 8 調查網格之犬隻相對豐度等級（OI 值分級）分布。.....	20
圖 9 Chen et al. (2016) 於苗栗通霄進行石虎活動範圍研究的樣區（彩色區塊）與本計畫 200 普查網格的套疊圖。著色網格為運算平均 OI 值（=0.77）網格。.....	27
圖 10 賴玉菁等（2020）在苗栗卓蘭進行石虎活動範圍研究的樣區（彩色區塊）與本計畫 200 普查網格的套疊圖。著色網格為運算平均 OI 值（=0.26）的網格。..	27
圖 11 五個石虎密度樣區在全縣普查所產生之平均 OI 值（X）以及各樣區 7 回合天數、Multi Live 的條件下，所產生 Maximum Likelihood 的最佳密度估計值（Y）間的迴歸線。實心圓為本計畫運算所產生的迴歸線分析資料，空心圓為引用自兩個其他研究的檢測資料。.....	28
圖 12 石虎路殺通報密集路段。.....	30
圖 13 苗 128 縣道調查樣點位置圖。.....	32
圖 14 苗 128 縣道調查樣點 MRK27 和 MRK28 所在地形地貌。.....	37
圖 15 苗 29 鄉道友善環境動物通道改善工程之施作成果。.....	39
圖 16 2021 年新增 4 個苗 29 鄉道友善環境動物通道與監測樣點。(1a)為 0.5K 重力水閘門北端出口；(1b)為 0.5K 重力水閘門南端出口；(2a)為 0.7K 重力水閘門北端出口；(2b)為 0.7K 重力水閘門南端出口；(3)為 2.3K 涵管北端（河岸端）出口；(4)為 2.8K 箱涵北端（河岸端）出口。.....	40
圖 17 苗 29 鄉道友善環境的 10 個動物通道及樣點配置。.....	41
圖 18 苗 29 鄉道石虎判釋個體 R29_LC01 之判釋影像記錄位置。.....	45
圖 19 苗 29 鄉道石虎判釋個體 R29_LC02 之判釋影像記錄位置。.....	47
圖 20 苗 29 鄉道石虎判釋個體 R29_LC02 判釋影像之記錄時間頻度。.....	47

圖 21 苗 29 鄉道石虎判釋個體 R29_LC02 判釋影像之通道通過方向與時間。	48
圖 22 苗 29 鄉道石虎判釋個體 R29_LC03 之判釋影像記錄位置。	49
圖 23 苗 29 鄉道石虎判釋個體 R29_LC03 判釋影像之記錄時間頻度。	50
圖 24 苗 29 鄉道石虎判釋個體 R29_LC03 判釋影像之通道通過方向與時間。	50
圖 25 苗 140 縣道卓蘭段區間測速與道路圍籬設施位置圖。	52
圖 26 苗 140 縣道卓蘭段路殺監測樣點位置圖。	52
圖 27 苗 140 縣道火炎山段新增監測樣點位置圖。	53
圖 28 苗 140 縣道石虎判釋個體 R140_LC01 之判釋影像記錄位置。	55
圖 29 苗 140 縣道石虎判釋個體 R140_LC03 之判釋影像記錄位置。	56

表目錄

表 1 苗栗縣五個石虎密度估計樣區之石虎資訊與相機間隔距離。.....	7
表 2 本計畫之苗栗縣石虎出現記錄盤點，各單位之石虎相關資料索取概況。.....	14
表 3 本計畫可辨識之個體於不同網格被重複記錄的案例及重複記錄地點間的直線距離。.....	22
表 4 苗栗縣五個石虎密度調查樣區的運作及石虎記錄資訊。.....	24
表 5 苗栗石虎 5 個樣區 SECR (Density 5.0) 密度估計各種條件下之最佳估計值。.....	25
表 6 本計畫以 $Y = 0.1642X + 0.1719$ ($R^2 = 0.5656$) 族群密度推估方程式所推估之苗栗縣海拔 1,000 公尺以下非都會區環境中的石虎數量。.....	29
表 7 石虎路殺通報資料彙整統計表。.....	31
表 8 苗 128 縣道路路殺定點監測樣點紅外線自動相機調查物種名錄。.....	34
表 9 苗 128 縣道路路殺定點監測樣點紅外線自動相機調查物種相對豐度與出現頻度。.....	35
表 10 苗 128 縣道路路殺定點監測樣點石虎與犬貓記錄表。.....	36
表 11 苗 29 鄉道六處持續監測通道的石虎使用記錄型態與次數。.....	42
表 12 苗 29 鄉道友善環境動物通道犬隻、貓隻、石虎之使用日數。.....	43
表 13 苗 140 縣道監測樣點編號與記錄表。.....	54

壹、 目標

依「苗栗縣石虎族群數量與分布調查」委託專業研究調查服務案服務建議書之需求，本計畫之目標為「產出公正客觀之石虎 (*Prionailurus bengalensis*) 在苗栗縣的族群數量與分布數據，協助擬定各區位之保育計畫，開發同時兼顧保育，並使本縣石虎族群數量恢復穩定」。

貳、 計畫工作項目與內容

本計畫工作地點為苗栗縣境內海拔 1,000 公尺以下之範圍（圖 1）。

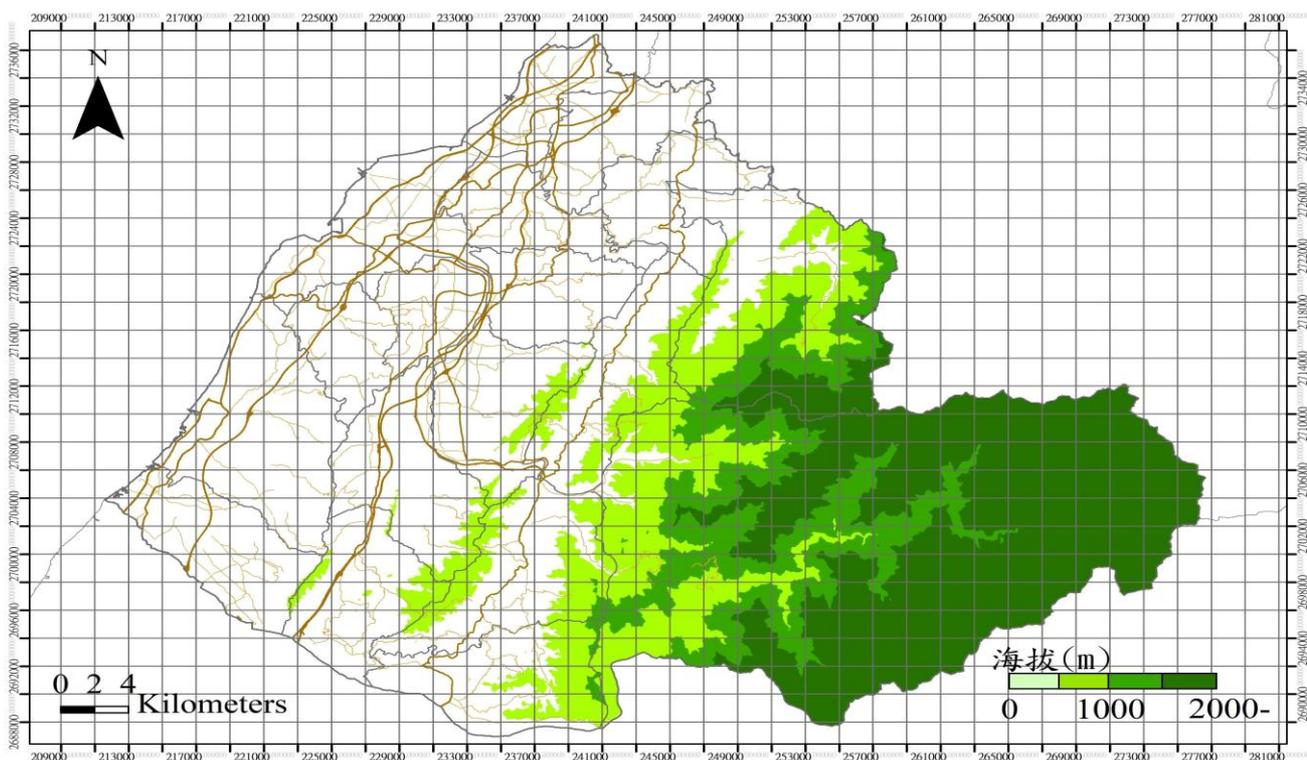


圖 1 苗栗縣境內本計畫工作範圍（海拔 1000 公尺以下）圖。

依「苗栗縣石虎族群數量與分布調查」委託專業研究調查服務案服務建議書之需求，並經細部計畫書審查會議審定，本計畫之工作項目與內容包括：

- 一、苗栗縣近 10 年內石虎記錄盤點。
- 二、2km × 2km 網格系統樣區背景補充調查確認。
- 三、樣點設計。
- 四、族群密度估算。完成五處 16km² 網格族群密度樣區進行調查，取樣三處密度樣區進行族群密度估算¹。
- 五、加強點位之苗 128 縣道路殺改善建議分析及苗 29 鄉道友善環境動物通道改善工程施工中暨完工後動物利用情形監測，及苗 140 縣道改善工程施工中暨完工後動物利用情形監測。

其中，第一年度（2019/8/21~2020/10/20）須完成項目 1~3 及項目 5 等四項。第二年度（2020/12/30~2021/12/21）則須完成項目 4 及項目 5 之苗 29 鄉道友善環境動物通道改善工程完工後動物利用情形監測及苗 140 縣道改善工程施工中暨完工後動物利用情形監測等二項。

同時，全程調查期間配合蒐集犬（*Canis familiaris*）、貓（*Felis catus*）出現記錄，並提供相關記錄及建議。

參、執行方法

本計畫外業工作由苗栗縣義勇消防總隊協會下各區域的分隊會員執行，自動相機樣點現勘、資料判讀與分析則委聘執行科技部「臺灣石虎永續存活的生態及威脅評析」計畫之專業團隊完成。第一年度選訓 37 位分隊會員，經培訓後直接參與計畫的執行，定期執行自動照相機記憶卡回收與電池替換等工作，並協助社區溝通協調與狀況即時處理。執行的分隊會員涵蓋所有鄉鎮，並依各鄉鎮的調查樣區數量，以及當地地形地貌的難易程度分配員額。所有執行的分隊會員都接受石虎調查監測相關基本技能的訓練與實習，包括：導航至特定地區、架設自動照相機並學習相關維護保養技術、自動相機記憶卡回收與電池替換等。第二年度並就

¹ 本計畫第二年度原預定完成 3 處 5×5 km 網格的族群密度估算，但有鑒於苗栗地區石虎分佈非常的不均，為避免密度樣區數量太少，影響後續全縣數量推估的可信度，因此在期初審查時，審查委員一致同意將密度估計樣區改成 5 處 4×4 km。如此的調整，除了增加密度估計的樣區數量外，更可以直接運用第一年度所產生的 4 km² 網格的 OI 值資訊來選取密度估計樣區，增加產生石虎密度估計值與石虎 OI 值間相關性的機會。

第一年參與執行之分隊會員中，篩選野外作業穩定者進行進階培力，接續執行族群估計的相關野外作業。

一、苗栗縣近十年內石虎記錄盤點

本計畫彙整近十年來，苗栗縣境內各項專案計畫、研究計畫、調查計畫、路殺記錄、急救傷或其他經確認無誤（例如雞舍危害通報）的發現與出現記錄，並探討其資訊品質與內涵。為達資料彙整之完整性，本計畫彙整過去 10 年（2010-2020）間，苗栗縣境內與石虎相關之政府機關公開資料的時間與位置資訊，其中包括：政府統計之路殺與救傷資料；研究報告中石虎調查資訊，如自動相機、痕跡調查的座標位置；以及石虎危害養禽戶友善防治示範場域之場址座標、環境影響說明書，或其他機關研究捕捉、救傷收容資訊等。

二、2km × 2km 網格系統樣區背景補充調查確認與樣點設計

為了確認石虎在苗栗縣的分布現況，本計畫第一年度使用自動相機於苗栗縣內進行石虎全面普查，以收集境內石虎出現資訊。林良恭（2016）曾彙整文獻資料取得臺灣近 20 多年來的石虎出現記錄總計 450 筆，記錄中只有 6 筆記錄是在海拔 1,000m 以上，這 6 筆資料應該都不是定居個體外，也都不在苗栗縣境內，而在 1,000m 以下的 444 筆記錄中，有 96.4% 都在海拔 800m 以下，且苗栗縣境內所有已知紀錄都在 800m 以下（林良恭 2016）。由於苗栗海拔 1,000m 以下之非都會區應該已經涵蓋石虎在苗栗最主要的分布海拔範圍，所以此一範圍所獲得之族群分布與數量估計的資訊，應已具全縣定居石虎數量的代表性。考量計畫之執行效益與經費限制，以及苗栗縣內海拔 1,000~1,500 公尺之間多為細窄分布之陡坡並呈指狀伸入於海拔 1,000 公尺以下之區域，單獨一方格內單純為 1000~1500 公尺之網格較少（圖 2），經細部計畫審查會議核定，本計畫的網格系統樣區涵蓋範圍，以主要分布地區（1,000 公尺以下）為主，並視需求完整配置全區樣點。

為了有系統的進行分布調查，將前述範圍劃分成 2km × 2km 的網格，進行系統取樣。除去都會區與開發用地（城市、住宅、建築物群等）不適合石虎生存的環境後，苗栗低於海拔 1,000 公尺以下範圍共劃分 264 個網格（圖 2）。為能均勻配置樣點並涵蓋全縣，在這 264 個網格中優先選用非本團隊 2017-2020 年執行過自動相機調查的其他 224 格網格。這 224 格網格中再刪除現地無適宜架設地點之網格（如建物密集或連續大面積無遮陰之農地）共 8 格。再

刪除地形陡峭或無道路難以到達的 10 個網格；不過，為避免資料闕漏，均確保在這 10 個網格所在相同嶺線上的相鄰網格中，會有相機樣點設置，因此，於同一嶺線活動的石虎個體亦有可能被記錄。最後在剩餘之 206 格網格中，找出 6 個大面積均質土地利用區塊，這些均質區塊均涵蓋多於 2 個網格，本計畫再刪除其中一個同質網格。為確保資料的完整性，每一均質區塊只於兩相鄰網格中刪除一格網格。經此原則進行 200 個樣點配置後，實際上現地可以架設樣點的網格都架設了自動相機，而所有可能有石虎的位置，其活動範圍內必有一個調查網格。

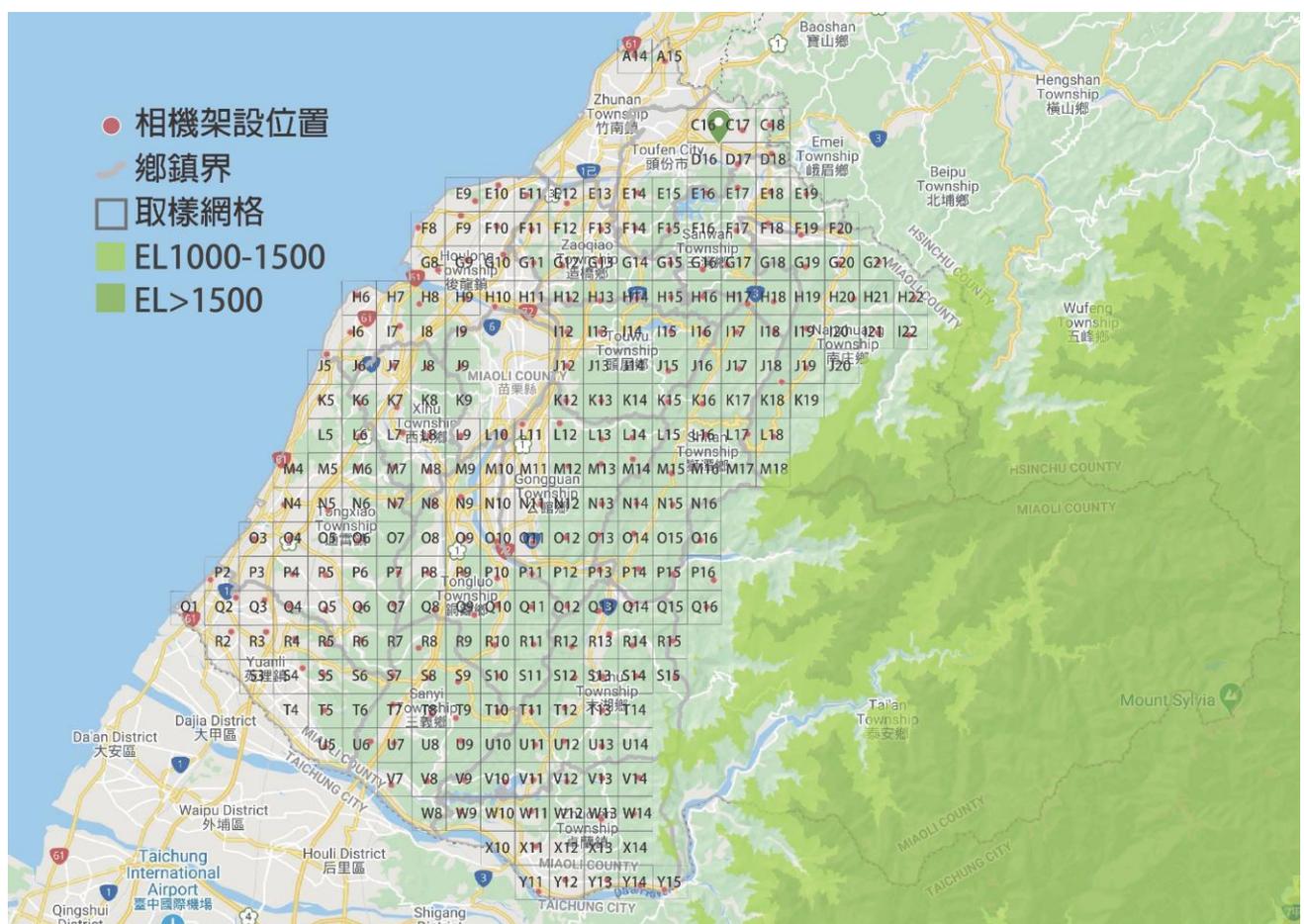


圖 2 系統樣區背景補充調查海拔 1,000m 以下所規劃的 264 個網格（有編號者），以及本計畫所架設 200 台自動相機樣點（紅色點位）的網格位置。

在 200 個網格內，以每格 1 台自動相機的方式，架設在每個網格內盡量中間位置的適合環境下，連續收集石虎在當地的出沒資訊 6 個月。自動相機由科技部整合型計畫「臺灣石虎永續存活的生態及威脅評析」之專業野外工作人員進行架設，苗栗縣義勇消防總隊協會下各

區域的分隊會員，就近參與樣點的設備維護與資料回收工作。義消分隊工作人員先至各自負責的網格進行踏查，選擇 2~3 個可能架設樣點的位置，再與專業野外工作人員共同到點現勘，選擇最適網格樣點位置後，由專業野外工作人員架設自動相機，自動相機架設完畢後，於現場確認義消工作人員器材維護與資料回收之操作無誤後，交由各樣點的分隊負責人員進行後續器材維護與資料回收。每 1 個半月回訪樣點一次。如有特殊狀況如相機失能，各樣點的分隊負責人員須即時到點排除。如有失竊則除於警方備案外，並盡快補齊。

系統樣區背景補充調查完成後，本計畫利用調查結果，首先以出現與否製作出現網格分布圖。除出現與否網格分布外，本計畫也利用相對豐度指數（RAI: Relative Abundance Index; 單位工作努力量之記錄照片數，參見 Wearn & Glover-Kapfer 2017）來產生石虎族群相對豐度的分布圖。本計畫石虎 RAI 指數之計算採用臺灣歷年石虎調查常用的 OI 值計算公式（occurrence index；裴家騏等 1997；裴家騏 2004），該公式計算基準為該樣點每 1000 小時的石虎有效照片數，有效照片數的定義為 1 個小時以內同物種個體的連拍只視為 1 張有效照片。OI 值雖非石虎族群數量之估算，但在相同之調查器材與計算基準下，可以與其他前期研究進行比較。

$$\text{OI 值} = (n/T) * 1000$$

OI: 相對豐度指數

n: 石虎在該樣點的有效照片數

T: 該樣點的有效工作時數

由於本計畫所採用的普查網格面積（4 km²）略小於石虎平均活動範圍的 5 km²（Chen et al. 2016）。就取樣設計上，如此之規劃可視為是較密集的取樣，也因為有可能於相近的網格中，紀錄到同一隻個體，因此，單一相機樣點的 OI 值不宜獨立探討石虎的豐度，而應該結合周邊網格的 OI 值，共同討論區域內的石虎豐度。例如，應該以多個（建議至少 4 個）網格的平均 OI 值，來代表豐度的差異性較佳，適度增加所涵蓋的面積，將可增加平均 OI 值的代表性。同時，其他研究團隊在苗栗縣所獲得的石虎 OI 值，不一定可以與本計畫相互比較。本計畫採用系統取樣，所產生之 OI 值或其平均值的高或低，為本計畫相機樣點間之比較。至於其他團隊的資料是否可以與本計畫所得之 OI 值進行比較，需視其他計畫所採用的取樣設計與配

置、相機機型、架設點位選擇原則、相機架設方式、架設季節和拍攝時間長短等因素而定。當前述因素間的差異性大或具有明顯差異時，跨計畫之 OI 值或其平均值之比較並不合適。

三、五處 4km × 4km 密度估計樣區之選取與設置

從第一年普查結果的 OI 值級別分布來看，苗栗縣 1,000 m 以下地帶，除了東北邊與北邊有比較連續的低豐度網格外，其他地方多為中、高、低豐度交錯分布的情形。有鑒於苗栗地區石虎分布非常的不均，為避免密度樣區數量太少，影響後續全縣數量推估的可信度，因此設置了 5 處 4km × 4km 的密度估計樣區。如此的規劃，除了預期有夠多的密度估計樣區數量外，更可以直接運用第一年度所產生的 4 km² 網格的 OI 值資訊來選取密度估計樣區，增加產生「石虎密度估計值」與「石虎 OI 值」間相關性的機會，也可比較精確的估計全苗栗的石虎數量。

本計畫利用第一年度之普查資料，針對族群密度估算選擇了 5 處 16 km² 的密度估計調查樣區（圖 3）。五處調查樣區分散座落在苗栗縣海拔 1,000m 以下的範圍內，行政分區上牽涉了 10 個鄉鎮。每個調查樣區各涵蓋了 4 個第一年度計畫中的 4 km² 網格，各調查樣區的第一年普查 OI 平均值分別代表石虎相對豐度由高到低的五個分級樣區，平均 OI 值分別在 0.228 到 3.365 之間（表 1）。每一個調查樣區在第一年度所記錄過的可判釋個體數量在 5 隻到 13 隻之間，判釋個體數顯示相對豐度（即平均 OI 值）越高的樣區，判釋個體也越多，與相對豐度的定義相符（表 1）。

為收集到足夠多的石虎重複拍照（捕捉）資料，以確保族群密度估計的正確性，本計畫在每個樣區設置了 16 個 1km × 1km 取樣網格，5 個樣區總網格數 80 個（= 5×16）取樣網格。在每一取樣網格中架設 2 台一組、對向拍攝的自動相機，以紀錄同一隻石虎的左側及右側影像，提供個體的判釋。總計第二年度於五樣區共架設 80 組雙相機樣點、160 台自動相機（圖 4；樣點編號與位置詳附件一），各調查樣區內的雙相機樣點兩兩間的最短距離平均僅 500-800m（表 1），此距離遠小於一隻石虎平均活動範圍（5 km²）的直徑（約 2,500m）。換句話說，以此一配置進行族群密度估算，則在同一隻定居個體的活動範圍內，會有多組雙相機樣點的配置，可以提高在短期內重複記錄到同一隻定居個體的機會，有助於提高密度估計的正確性。

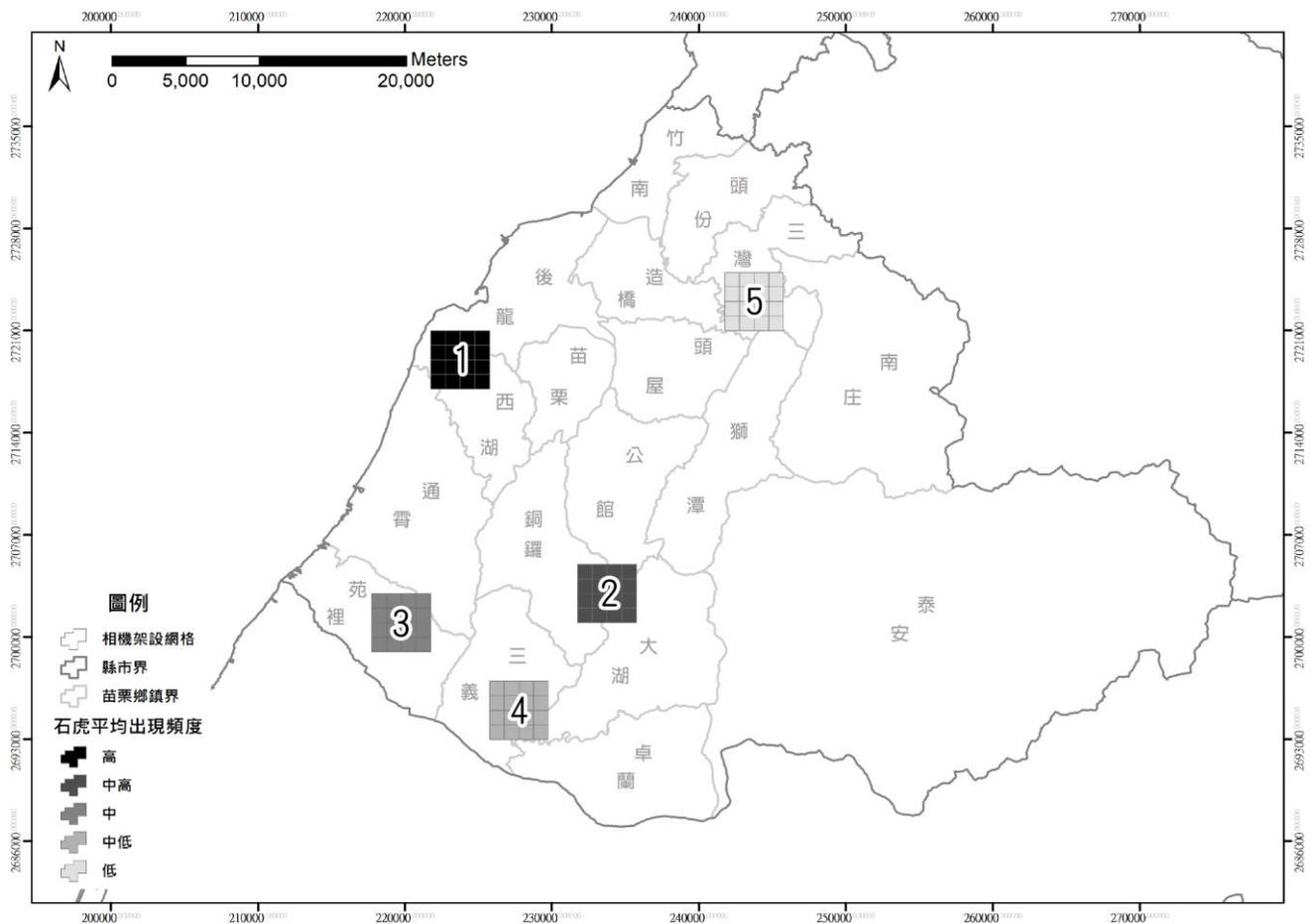


圖 3 本計畫第二年度選取的 5 處 4km × 4km 石虎密度估計樣區的分布圖。密度估計樣區編號從 1 到 5，分別代表所涵蓋各網格第一年度石虎的平均出現頻度（OI 值）由高到低。

表 1 苗栗縣五個石虎密度估計樣區之石虎資訊與相機間隔距離。

樣區編號	相對豐度等級	第一年度相機台數	第一年度石虎 OI 值		第一年度石虎記錄結果		相機最短間隔距離(m)	
			範圍	平均±SD	有效照片數	最大判釋個體數	範圍	平均
1	高	4	0.17~9.81	3.365±4.496	73	13	366~1125	660
2	中高	4	1.15~4.69	2.065±1.750	42	13	218~1213	600
3	中	4	0.00~4.68	1.695±2.066	35	12	232~1051	558
4	中低	4	0.17~1.56	0.775±0.584	16	8	300~1126	770
5	低	4	0.18~0.35	0.228±0.082	5	5	331~1170	666

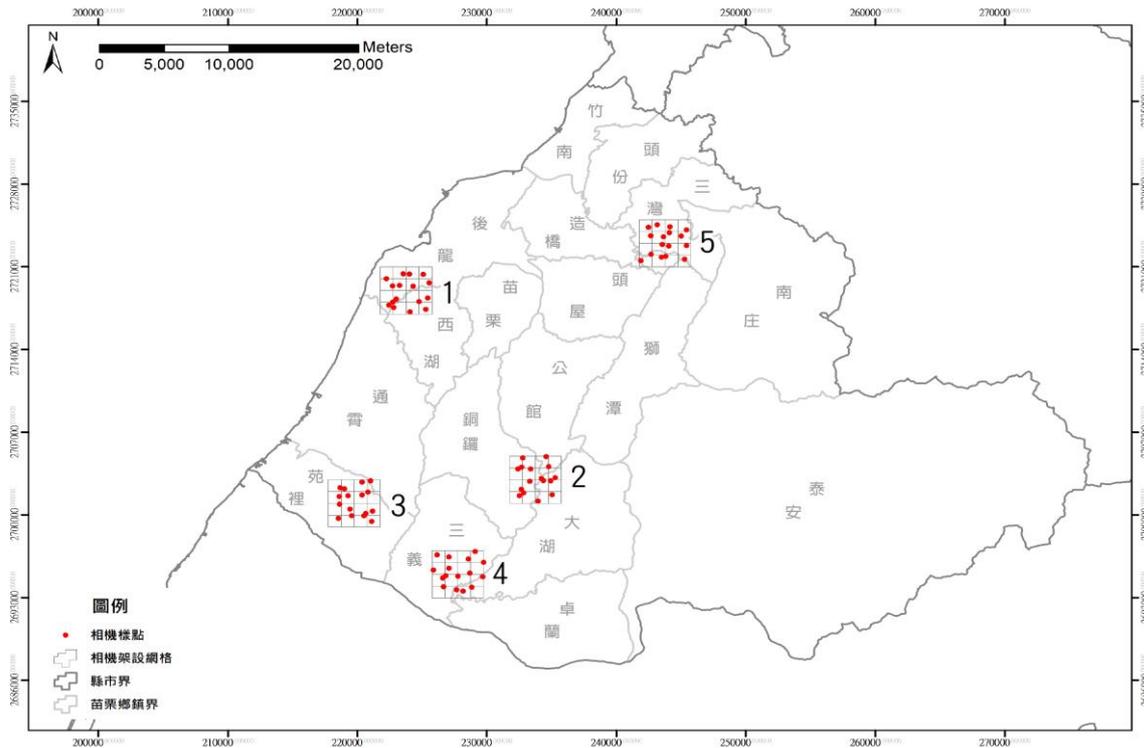


圖 4 第二年度計畫之五處石虎密度估計樣區、總共 80 組雙相機樣點在苗栗低海拔鄉鎮的分布圖。

最後，為收集到足夠的重複捕捉資料，以及不違反封閉族群的假設前提（Wearn & Glover-Kapfer 2017），本計畫於 2021 年 1 月至 8 月共完成 7 個多月的自動照相機影像記錄工作，每 2 個月至現場收集一次資料。根據本團隊在苗栗的觀察經驗，上半年為石虎個體移動（尋找配偶、擴散或播遷）較不頻繁的季節，此時期進行族群密度估計，較符合「封閉族群」的條件需求。

四、石虎族群密度估算

本計畫將石虎密度估計調查樣區所記錄的資料，使用 Density 5.0 軟體，建立 SECR 模型進行石虎族群密度的估算（Dillon & Kelly 2008；Brodie & Giordano 2012；Srivathsa et al. 2015）。模型建立使用最大概似法（Maximum Likelihood），以較嚴格的 Multi live 條件²建立多個密度估算模式，並依 AIC（Akaike information criterion）準則選擇統計模型擬合優良性

² 在 Multi live 的設定下：同一隻個體，在同一回合中，無論被多少相機樣點記錄過，都只視為 1 次記錄。另外一個設定為 Proximity，此設定將同一個體，在同一回合中，在不同相機樣點記錄的資料視為不同的重複記錄資料。

(Goodness of fit) 最優 (AIC 值最低) 的密度估計模型。計算時採用 1/2 Mean Maximum Distances Moved (MMDM; Rich et al. 2014) 當作相機樣點偵測區域半徑。1/2 MMDM 估算方式為計算可判釋個體在不同監測點被拍攝的記錄，加總所有個體之最遠發現距離後取其平均值，以此平均值之 1/2 距離做為每台自動照相機之監測範圍的半徑，而所有自動相機所涵蓋之監測範圍即為該樣區之有效面積。

五、加強點位之苗 128 縣道路殺改善建議分析、苗 29 鄉道友善環境動物通道改善工程施工中暨完工後動物利用情形監測，以及苗 140 縣道改善工程施工中暨完工後動物利用情形監測

本計畫所需執行之道路改善相關事宜，包括苗 128 縣道路殺改善建議分析、苗 29 鄉道友善環境動物通道改善工程施工中暨完工後動物利用情形監測，以及苗 140 縣道改善工程施工中暨完工後動物利用情形監測。三條道路的現況有所不同，因此所需執行之工作項目與期程也有所差異。其中，苗 128 縣道於本計畫執行前已完成初期的路殺點定點調查，在本計畫執行中完成「128 線通霄至銅鑼段道路拓寬改善工程」之初步規劃 (2021 年 1 月)，目前尚未排定施工計畫，也沒有任何路殺改善規劃之設計；苗 29 鄉道友善環境動物通道改善工程於本計畫執行前已完成第一期工程，在本計畫執行中完成二期工程 (2020 年 8 月) 並於 2021 年 6 月再完成另行新增之友善通道工程；苗 140 縣道改善工程於本計畫執行前正在進行前期調查與規劃設計，在本計畫執行中陸續完成部分路段之夜間降速、區間測速與道路圍籬等。

本計畫所需執行之道路工程相關作業包括：1) 定點調查、2) 滾動式調整之動物利用長期監測、3) 新增友善設施完成後之動物利用情形調查。定點調查的目的在完整收集特定位置的資料以做為決策之依據，調查樣點需要一致，因此本計畫皆於原調查樣點持續架設自動相機進行調查。滾動式調整之長期監測主要應用在施作效益評估，在已施工完畢的路段，彙整分析前期調查資料，並依分析結果調整監測方式與位置，滾動式完成施作效益評估。新增友善設施完成後之動物利用情形調查，則必須針對友善設施所欲達成之目標進行調查設計，精準評估友善設施造成之期初效益。

道路兩旁相近時間所拍攝的影像，除非能確認是同一隻石虎，否則無法判定是穿越道路。動物通道兩端所記錄的石虎影像亦同。此外，除非能確認個體，否則動物通道所記錄的石虎影像，無法知道是定居個體的持續使用，還是移動個體的偶發穿越。因此，除隻次分析外，

本計畫亦分析判釋個體的使用位置與頻度，以確認石虎道路穿越，並完成友善設施效益的精準評估。但因施工前狀況在施工後再也無法追溯，為比較施作前後的個體使用，本計畫唯一可以採行的方式是整理檢視前期調查的所有石虎個體照片，重新判讀並進行所有影像的個體判釋。

六、石虎個體判釋與識別檔建置

個體的判釋與識別個體建檔，是執行物種普查、SECR 模式重複捕捉運算，以及精準評估石虎通道使用效益的關鍵資訊，判釋的品質將直接影響分布模式、密度估計和通道效益評估的正確性與可信度。個體判釋技術已發展多年並已被使用在許多物種的生物生態研究，尤其是與重複捕捉相關的研究（Karanth 1995；Kelly et al. 2008；Harihar et al. 2010），是一個成熟並受國際承認的操作。此一技術也已被應用在石虎的個體判釋與族群密度估計（Cheyne & Macdonald 2011；Bashir et al. 2013）。

具皮毛紋路的物種，不同個體會有不同的體紋特徵（mark, pattern），因此可以藉由體紋特徵的判讀（interpretation）來完成個體辨釋(pattern recognition)。描述單一個體特有的體紋特徵，建立此個體的體紋判釋準則並給予識別碼（ID, identification）建立身分識別檔，如此即可完成個體判釋。單一個體的體紋特徵左右不同，因此必須同時收集同一個體的左右側影像，才可完成此一個體的個體判釋。體紋特徵通常包括位置、形狀、大小、配置...等。不同部位如頭、頸、背、四肢的體紋特徵都可用來作為判釋的依據，但此一特徵，須明顯可歸納描述可供建立身分識別。單一個體的描述特徵一定要超過 3 個以上，越多描述特徵越好，並以分布不同部位為佳。身分識別檔中應包含個體的左右清晰影像、判釋特徵準則、藉以完成判釋的影像記錄位置與時間、以及識別碼。

本計畫石虎原始影像資料判釋作業流程為：1) 選擇清晰可判釋之影像；2) 判釋並記錄影像之個體特徵；3) 比對識別檔個體資料；4) 更新識別資料庫。為求資訊精確，個體判釋須從嚴認定，凡有部分可辨釋特徵但無法進行全個體特徵判釋的影像，皆視為無法判釋之個體影像。於結果分析中，凡有石虎影像的錄影稱為一段影像記錄。已建立個體身分識別檔者稱為判釋個體。隻次之計算與 OI 值之有效照片定義相同，凡於一小時內重複出現的個體影像不論多少段影像記錄皆為一隻次。由於區域內歷年的自動相機調查只計算傳統的有效照片張數，這樣的資料並無法完成精準評估，為建立完整的石虎個體資料庫，本計畫已向縣府取得歷年

調查的所有有效石虎照片，逐張進行影像判釋並建立身分識別檔。所有石虎個體的判釋工作，均由荷蘭籍助理 Dullemont Johannes 領導兩位資深助理（吳杰龍、林濬諒）共同執行，並以 Dullemont Johannes 的判釋結果視為最完整的資訊。Dullemont Johannes 從 2012 年至今都是辛巴威國家獵豹保育計畫（Cheetah Conservation Project, Zimbabwe）的主要野外獵豹個體辨釋者，對於體表具斑點花紋的貓科動物個體判釋經驗非常豐富，加以本計畫之所有個體的重複紀錄皆從嚴認定（亦即：比對時完全沒有疑慮者，才會被視為同一隻個體的重複紀錄），因此所得之個體判釋資料，在提供相關分析使用時，均為有效的參數。

肆、結果

一、苗栗縣近十年內石虎出現記錄盤點

本計畫行文相關單位以獲得相關的資訊。表 2 為本計畫行文之相關單位與回覆狀況，其中，苗栗縣政府、林務局、新竹林管處表示同意提供或揭露已屏蔽資料；高速公路局表示對已屏蔽石虎相關座標不予開放查詢；第二河川局與公路總局苗栗工務段第二區養護工程處表示並未有石虎相關出現記錄資料。因為苗栗縣政府石虎統計資料中，已包含特有生物中心之救傷資料，故特有生物中心之救傷資料不另行列出。

截至 2020 年 9 月為止，由上述單位同意使用、或可公開查詢的石虎出現記錄，共計 231 筆，其中有座標點位的記錄為 229 筆。這些資料顯示在苗栗縣範圍內，僅山區面積廣大的南庄鄉、泰安鄉和高度人為開發的竹南鎮沒有記錄外，其他鄉鎮都或多或少有過石虎出現的記錄（圖 4）。茲將目前石虎出現記錄收集概況，依資料屬性羅列如下：

1. 自動相機及痕跡調查石虎出現樣點

本計畫收集過去 10 年內各政府機關研究調查計畫中，苗栗縣境內自動相機有拍攝到石虎，以及有石虎痕跡記錄的調查樣點。參考資料來自高速公路局之「營運階段國道永續發展環境復育改善研究計畫」（黃于玻等 2011）、「國道沿線生態課題調查與友善措施評估計畫」（黃于玻等 2014）、新竹林管處之「苗栗地區社區參與石虎保育工作推動計畫」（裴家騏等 2014），林務局之「重要石虎棲地保育評析(2/2)」(林良恭等 2016)，苗栗縣政府之「苗栗縣大尺度之路殺風險評估」（姜博仁 2019）等。截至 2019 年 12 月止，5 個石虎相關研究計畫調查結果顯示苗栗縣境內共計 101 個自動相機樣點及 3 個痕跡樣點有石虎出現記錄（MCT001-101；MLS001-003），佔有座標點位的 229 筆中的 45.4%。這些記錄來自於不同目的的研究計畫，除了 3 筆痕跡資訊外，其他所使用的工具雖然都是自動相機，但不一致的相機廠牌、研究設計、取樣方法和努力量，因此，以這些資料進行空間或時間上的量化比較或分析時，仍有待方法學上之探討。

2. 友善防治示範雞場資訊

新竹林管處推動的「石虎危害養禽戶友善防治示範場域」計畫，其目的為補助受石虎侵害的養雞場，進行圍網防治。截至 2019 年 11 月止，本項目共計苗栗縣境內有養雞場座標資

訊 14 筆（新竹林管處提供）（MPF001-014），佔有座標點位記錄的 6.1%。不過，由於這類型資料來自於農友的主動通報，其完整性無法掌握或估計，因此以這些資料進行空間或時間上的量化比較或分析時，仍有待方法學上之探討。

3. 石虎路殺資料

本項目資訊主要來自為苗栗縣政府保育科統計資料（苗栗縣政府提供）。自 2012 年 3 月 11 日起至 2020 年 9 月 8 日止，苗栗縣境內的路殺資料共計 82 筆（MRK001-080），其中 80 筆有座標記錄（佔有座標點位資料的 34.9%），而無座標的 2 筆路殺記錄（MRK009、MRK065），僅有大致的發現日期和地點描述。

所有 82 筆石虎路殺資料之位置涵蓋 12 個鄉鎮，記錄由多至少分別如下：卓蘭鎮（18 筆）、後龍鎮（14 筆）、造橋鄉（11 筆）、通霄鎮（9 筆）、三義鄉（6 筆）、苑裡鎮（6 筆）、西湖鄉（5 筆）、銅鑼鄉（5 筆）、苗栗市（4 筆）、大湖鄉（2 筆）、三灣鄉（1 筆）、頭屋鄉（1 筆）。若分為 5 筆之級距來看，則可發現過去 10 年石虎路殺記錄多在後龍—造橋至卓蘭間的中、西部鄉鎮，後龍—造橋以北的竹南鎮、頭份市與東部的公館鄉、獅潭鄉、南庄鄉、泰安鄉則未有石虎路殺記錄。

不過，因為路殺都是民眾的通報記錄，而非出於系統性或努力量標準化後的調查結果，因此以這些資料進行空間或時間上的量化比較或分析時，仍有待方法學上之探討。而未來若使用作為評估道路環境改善的成效，則建議需要透過正確的研究或評估設計（例如：標準化的取樣、足夠數量的取樣或重複、對照組的設計…等），以正確釐清各種環境因素對路殺數量改變的影響，也才可以據此研擬正確且有效的保育措施。

4. 環境影響說明書

本項目資訊來源為近 10 年之環境影響說明書。自 2010 年起至 2020 年止，苗栗縣境內的開發案環境影響說明書共計 53 案，其中 10 案有石虎點位座標記載（名稱、案號參見參考文獻），案號 1080021F 與 1090141F 兩案之開發基地同，故樣點來源記錄為 1080021F，10 案共計有石虎點位座標 30 筆（佔有座標點位資料的 13.1%）。

5. 其他資訊（研究捕捉、雞舍危害通報等資訊）

本項目為收集上述項目之外的石虎出現記錄。目前此項目僅有 1 筆記錄，為養雞場遭危害後所捕捉到的石虎個體（陳貞志提供）（MOC001）。

表 2 本計畫之苗栗縣石虎出現記錄盤點，各單位之石虎相關資料索取概況。

行文機關	資料種類	回覆狀況	提供文獻、資料
苗栗縣政府	計畫內容公開，惟石虎相關座標屏蔽；路殺、救傷屬於不公開資料。	同意提供。	姜博仁。2019。苗栗縣大尺度之路殺風險評估暨縣道140改善建議分析。苗栗縣政府研究報告。 2019-2020。石虎路殺、救傷統計資料。
林務局	計畫內容公開，惟石虎相關座標屏蔽。	同意提供。	林良恭。2016。重要石虎棲地保育評析(2/2)。行政院農業委員會林務局研究報告。
新竹林管處	計畫內容公開，惟石虎相關座標屏蔽，其他資料不公開。	同意提供。	裴家騏、盧道杰、黃美秀、趙芝良。2014。苗栗地區社區參與石虎保育工作推動計畫。新竹林管處研究報告。 新竹林管處。2019。石虎危害養禽戶友善防治示範場域統計資料。
高速公路局	計畫內容公開，部分計畫石虎座標資料屏蔽	已屏蔽資訊不提供，惟 2014 計畫中石虎相關座標並無屏蔽。	黃于坡、黃榮堯。2011。營運階段國道永續發展環境復育改善研究計畫。行政院交通部臺灣區國道高速公路局研究報告。
特有生物保育中心	救傷資料屬主管機關（林務局）。	提供資料同苗栗縣政府救傷統計資料。	-
公路總局苗栗工務段 第二養護工程處	計畫內容不公開，承辦人員須調閱計畫內容擷取資訊。	無相關資料。	-
第二河川局	無石虎相關發現記錄。	無相關資料。	-

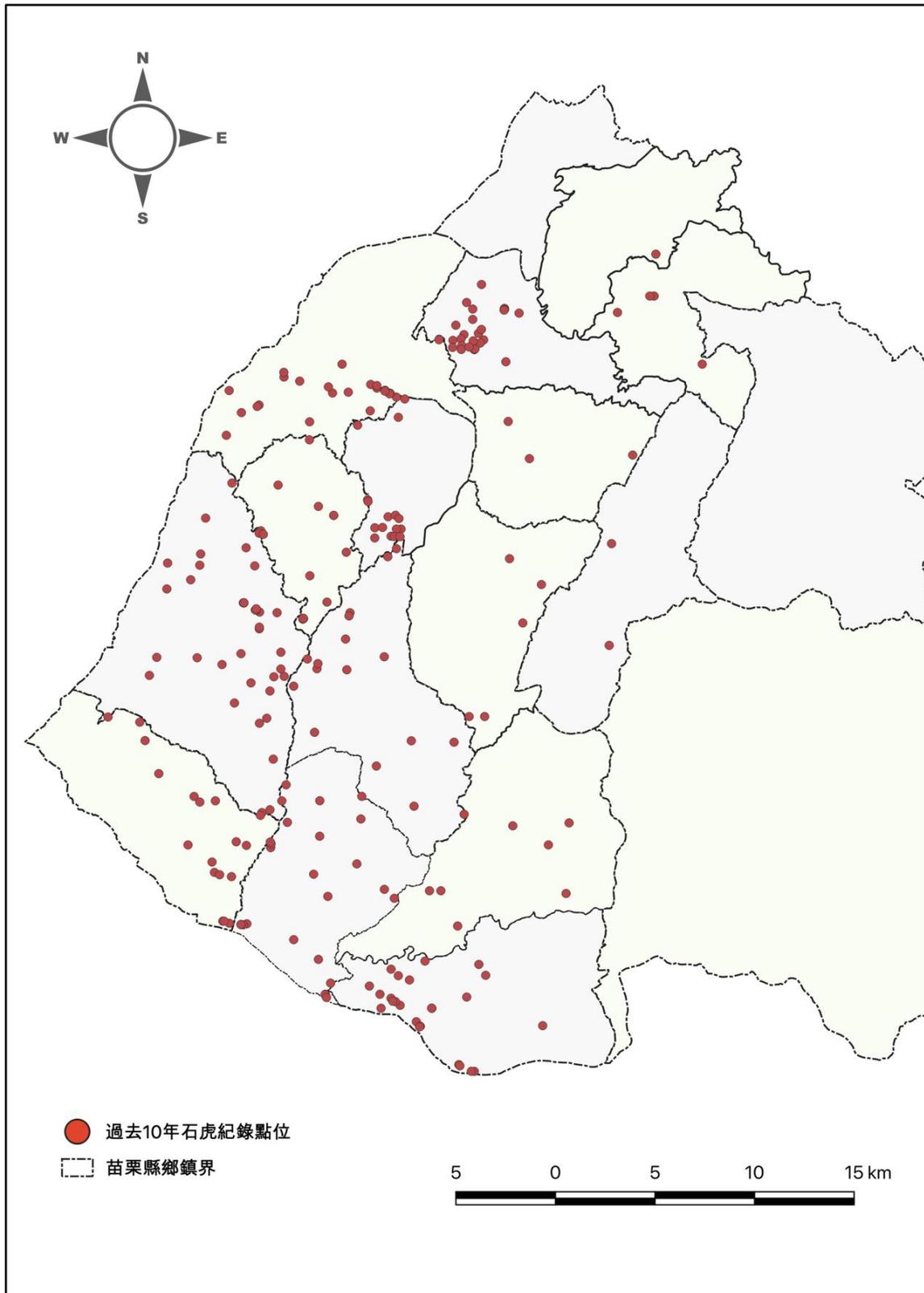


圖 4 本計畫彙整 2010-2020 年間苗栗縣境內曾有石虎出現記錄的點位分布 (N=229)。

二、2km × 2km 網格系統普查樣區補充調查之 200 個樣點資料收集

為有效執行系統樣區背景補充調查，本計畫將前述之 2km × 2km 網格的系統樣區（以下簡稱系統樣區），依序編號，自苗栗縣界最西端之網格為 1，由西向東依序編號至最東的 25 號網格；最北之網格列為 A，由北向南依序編號至最南的 Y 網格。將此一系統網格套疊至 Google Map 建置一個手機操作之行動作業平台，此一行動作業平台可以提供義消各分隊工作人員確定點位與移動到點時導航使用，並作為樣點架設進度、相機維護與資料回收的管控之用。義消分隊人員只需使用手機進入行動作業平台後，滑動螢幕放大縮小即可看到網格範圍、中心點位置以及相關地圖。所有鄉鎮的網格以當地的義消分隊隊員負責為原則，困難地形以及無人認領的網格，則由山搜分隊承接，總計共有 41 名義消協會隊員參與執行。因鄉鎮面積與所在地形及土地利用現況，各鄉鎮設置之樣點數有所差異，但所有網格皆有負責之分隊工作人員，分別進行相機維護與資料回收，並由執行管控與資料彙整的人員，定期確認資料的收集與現場失常狀況的及時排除等工作。

自 2019 年 10 月 17 日第一組樣點啟動開始收集資料至 2020 年 7 月 3 日最後一組樣點資料收集完成，所有相機皆滿足設滿架設 6 個月，並完成至少 1,000 工作小時之基本要求（樣點編號與位置詳附件二）。苗栗石虎普查 200 台自動相機樣點的平均工作小時數為 5,179 小時，最短工作時數為 1,648 小時，最長工作小時數為 6,143 小時。總計本計畫於苗栗縣共拍攝得 2,221,839 張影像，判釋並彙整此兩百二十多萬張影像共得 66,684 張有效照片；其中，石虎照片總共有 10,593 張，整理後得石虎有效照片共 845 張。系統樣區（200 網格）的全面普查中，有石虎個體記錄的網格共有 105 個網格（附件三）。有石虎記錄之樣點中，最小石虎有效照片數為 1 張，最大石虎有效照片數為 129 張，有石虎記錄樣點的平均有效石虎照片數為 8.05 張。平均石虎相對豐度（OI 值）為 0.80，最低有石虎網格的相對豐度為 0.17，最高為 23.69（附件三）。十八個鄉鎮市中只有竹南鎮和泰安鄉沒有石虎記錄，其他 16 個鄉鎮市皆有石虎記錄。

以有記錄到石虎的樣點進行分析，平均第一次拍攝到石虎照片的時間約為 1,197 小時，最短在架設後 13 個小時即拍攝到石虎，最長要到 5,489 小時後才會拍到第一張石虎照片。檢視所有樣點第一次拍攝到石虎的時間，普查樣點第一次拍攝到石虎的時間長度從低到高是一個連續變化，並沒有獨立數據或極端值。計算所有調查樣點一個石虎影像與下一個石虎影像的

時間間隔，同一台相機的石虎記錄間隔日數之中位數（median）為 7 天。因此，在使用 Density 5.0 進行石虎密度估計的運算時（請見後段），7 天可能為較佳的每回合（occasion）天數。

1. 苗栗縣海拔 1000m 以下的石虎紀錄網格分布圖

本計畫繪製石虎在苗栗有紀錄網格之分布圖作為經營管理之用。將近年有紀錄過石虎之網格視為「有石虎記錄」網格，沒有紀錄過石虎之網格視為「無石虎記錄」網格，則彙整本計畫收集之所有石虎出沒資料，含：本計畫執行之系統樣區普查、道路監測、路殺、科技部「石虎如何與道路共存？石虎對破碎棲地的行為反應與路殺風險改善」計畫、光電案場生態監測、「苗栗離岸風力發電廠興建計畫環境影響評估」計畫、「苗栗天花湖水庫預定地石虎族群監測」計畫等，總計近 5 年內曾執行石虎調查的樣點共落在本計畫所劃設的 253 個 2km × 2km 的網格中，而其中有石虎記錄的網格共有 161 個（63.6%；圖 5）。有超過六成如此高的調查網格在近年都有紀錄過石虎，正顯示除了北部高開發地區和東部山區外，石虎在苗栗縣確實是普遍存在的物種，也突顯出苗栗縣在瀕臨絕種石虎的復育上，所扮演角色的重要性。同時，如此高的石虎存在與分布現況，也顯示在苗栗淺山環境內的土地利用或開發，將很難迴避石虎保育的議題。

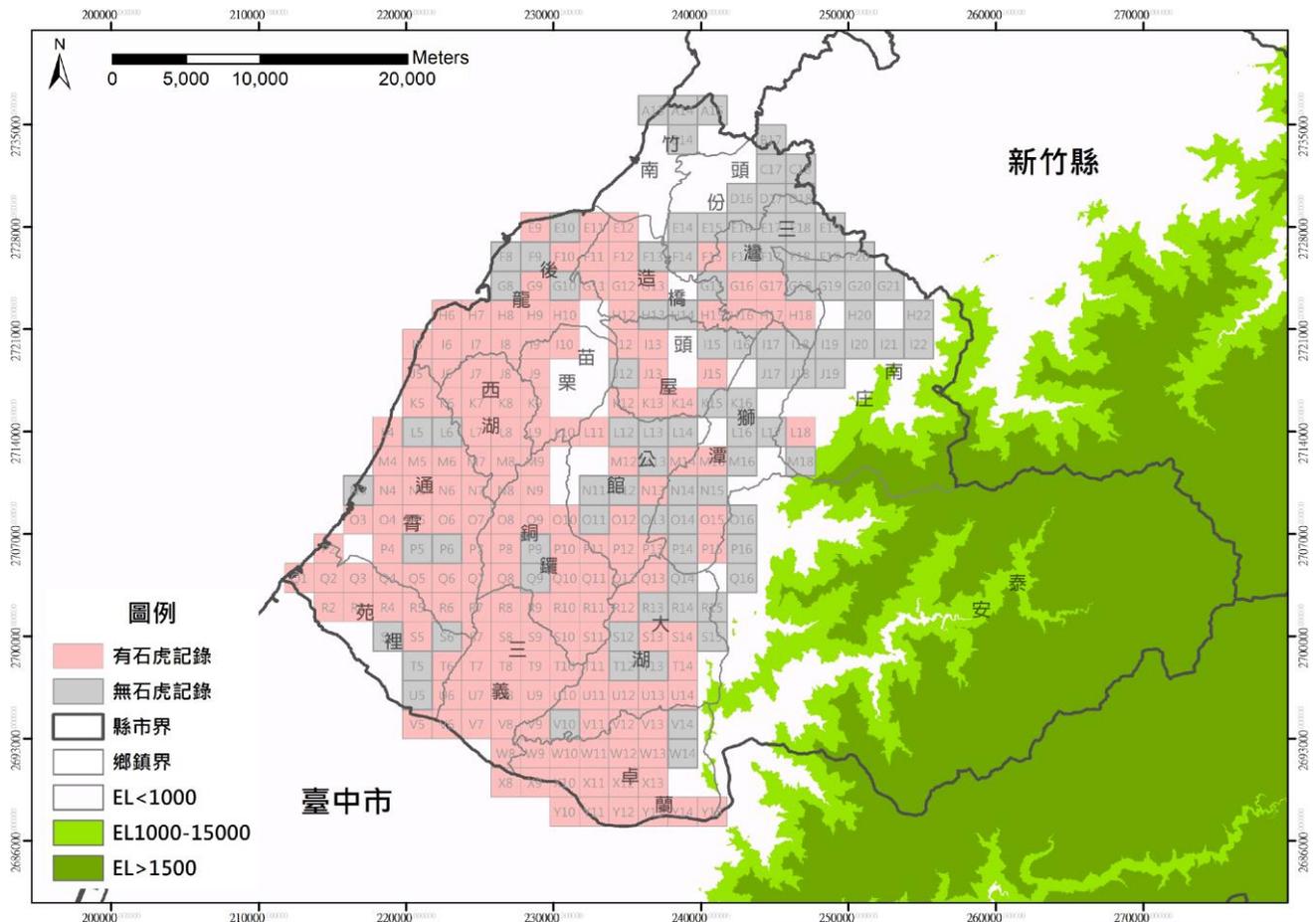


圖 5 彙整本計畫收集之所有石虎調查資料（253 個樣點）之石虎記錄有（粉紅色，n=161）、無（灰色，n=92），及所在網格之分布。

2. 苗栗縣海拔 1000m 以下的石虎、貓和犬的相對豐度等級分布現況

彙整本計畫系統樣區 200 個樣點以及本團隊 2018-2020 年科技部「石虎如何與道路共存？石虎對破碎棲地的行為反應與路殺風險改善」計畫 40 個樣點的 OI 值，分別繪製出石虎、貓隻、犬隻的相對豐度分布圖；其中，石虎有記錄網格數為 133（55%）格，貓隻有記錄網格數為 149（62%）格，犬隻有記錄格數為 189（79%）格。不過，如前所述，為避免過度或不當解釋單一網格的 OI 值所代表的豐度，本計畫先將 OI 值級別化後，再產生豐度級別的分布現況圖。級別化係將這三種物種的有記錄樣點依 OI 值的「總平均值」和「標準差（Standard Deviation=Std. Dev.）」以級別呈現物種相對豐度的分布狀況：將某物種在各樣點的相對豐度，分為「 $< -0.50 \text{ Std. Dev.}$ 」、「 $-0.50 \sim 0.5 \text{ Std. Dev.}$ 」、「 $0.50 \sim 1.5 \text{ Std. Dev.}$ 」、「 $1.50 \sim 2.5 \text{ Std. Dev.}$ 」，以及「 $> 2.5 \text{ Std. Dev.}$ 」等，依序代表低、中低、中、中高、高的五個相對豐度級別。

相對豐度級別圖顯示，苗栗縣 1,000 公尺以下的石虎相對豐度，除了東北邊與北邊有比較連續的低豐度網格外，其他地方的石虎相對豐度多為低、中、高豐度等級交錯分布的情形，並沒有大面積連續同一豐度等級的區塊，也沒有從一個熱區向外逐漸遞減的狀況（圖 6）。相對於石虎，犬貓在苗栗縣海拔 1,000 公尺以下的分布則較為連續與平均。貓隻零散但普遍分布於苗栗全縣，熱區多在人類密集處，呈區域熱點向外逐漸遞減的分布（圖 7）。犬隻高豐度且普遍分布於苗栗全縣，相對豐度等級圖顯示犬隻的低豐度區域很少，有大面積的連續中高豐度區域，熱區多在人類密集處且位置與貓隻一致（圖 8）。整體而言，自由活動的貓隻和犬隻在苗栗的分布都比石虎要更廣泛、也更分散。犬隻的高豐度連續分布現況，尤其在人類密集區，應會造成極高的犬虎衝突。

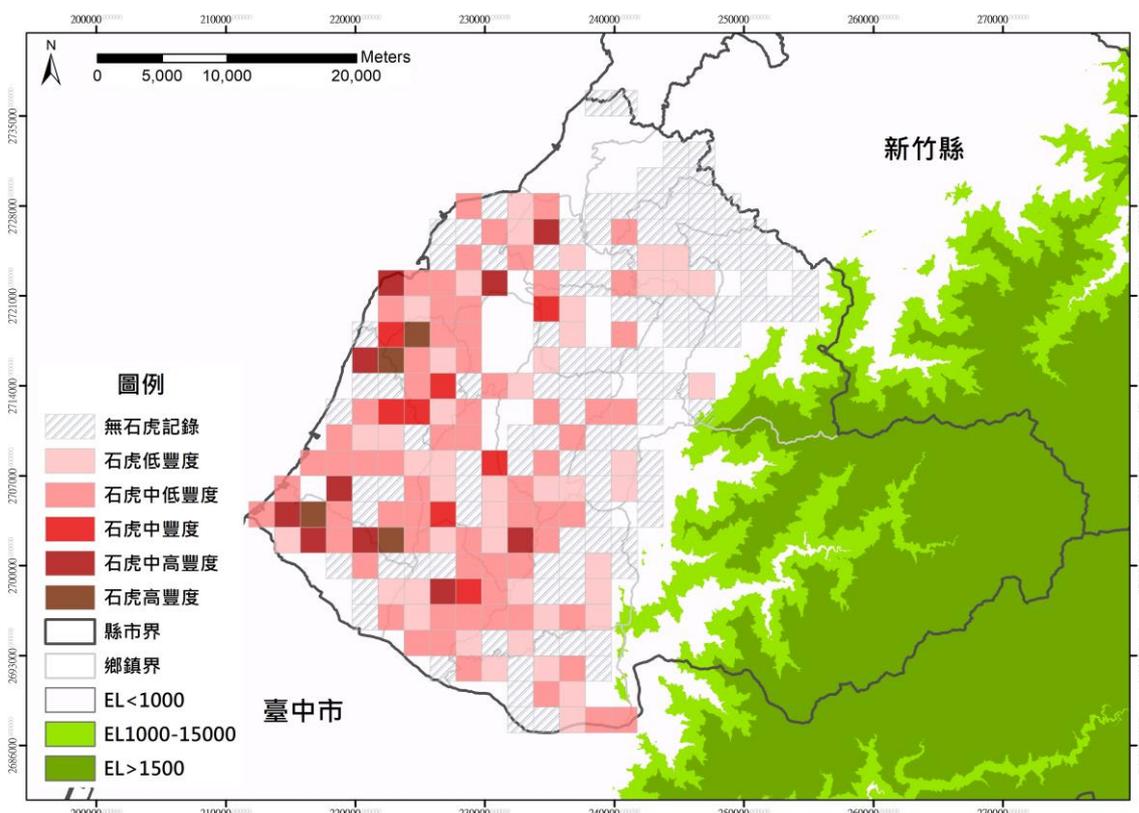


圖 6 調查網格之石虎相對豐度等級 (OI 值分級) 分布。

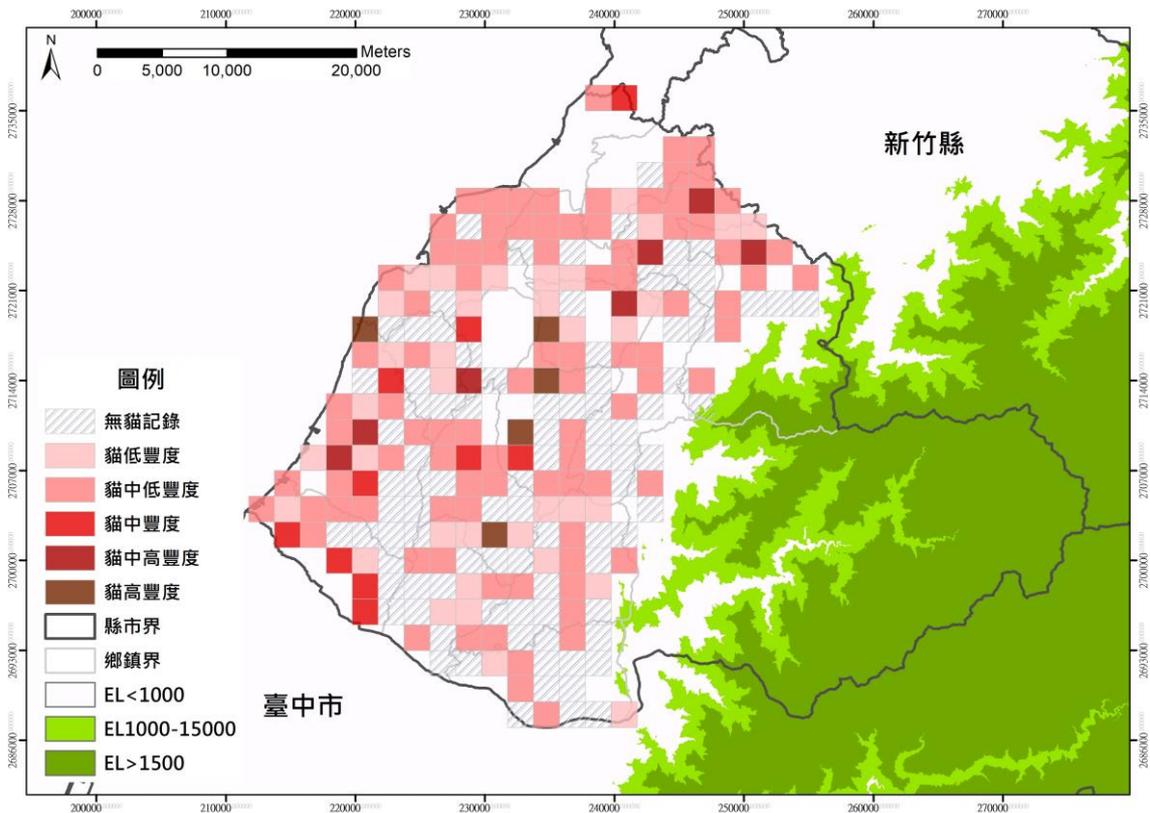


圖 7 調查網格之貓隻相對豐度等級 (OI 值分級) 分布。

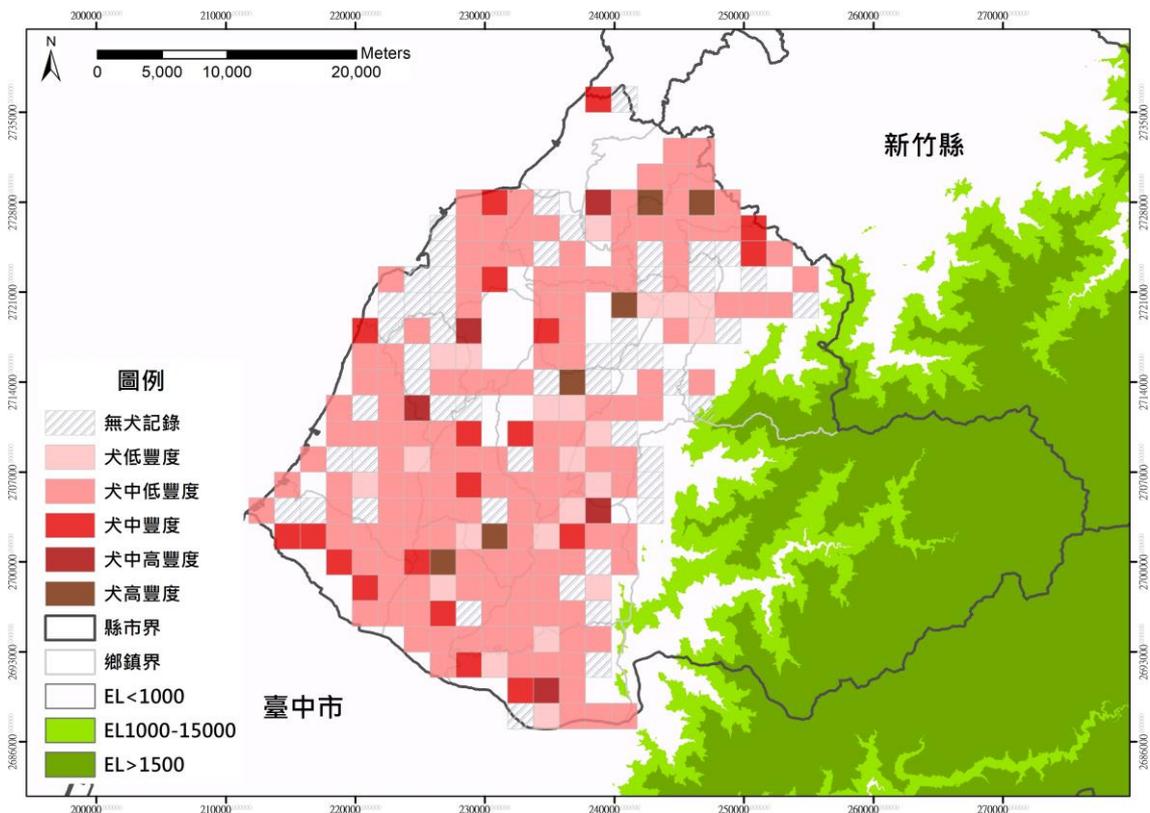


圖 8 調查網格之犬隻相對豐度等級 (OI 值分級) 分布。

3. 石虎的個體辨釋與跨網格重複紀錄的案例

雖然本計畫 200 網格的普查均採取單相機設置的方式，每次僅能獲得該隻石虎的單側照片，但所得的 10,593 張石虎的照片中，仍然有高達 7,448 (70.3%) 張石虎照片的品質足以辨釋 (pattern recognition and image interpretation) 照片中個體的特徵。要獲得高品質的影像資訊，除了使用高規格的自動相機外，適當的選點與架設方法也是關鍵因素。

在普查成果中，總共辨釋到 187 隻個體，其中 27 隻個體先後紀錄到左右兩側的體表特徵，並已建立識別 (identify) 個體的檔案，這些可視為區域中已確定記錄之個體數。另外，還有 66 隻只有明確的左側特徵記錄，有 94 隻只有右側特徵記錄，這些個體僅分別建立左右兩邊單側識別個體檔案；由於僅能確認單側的特徵，而左右兩側又無法配對，因此在這些單側特徵記錄中，有可能出現同屬一隻個體的兩側獨立記錄的情形。同時，有 22 個村里雖然有石虎記錄，但因為照片品質不佳、無法辨釋體表特徵，不過，由綜合體表與體型特徵可以判斷這些村里應該至少分別各有 1 隻石虎存在。因此整體而言，本計畫過程中所記錄到的個體數極可能是在 143 隻 (=27+94+22 隻；也就是假設所有僅辨釋出單側特徵之個體，全部均為重複記錄到同一隻個體的左右兩側) 到 209 隻 (=27+66+94+22 隻；也就是假設所有僅辨釋出單側特徵之個體，均為不相同個體的單側記錄) 的範圍之間，此個範圍可視為苗栗縣 1,000m 以下地區最少的現存個體數。

另外，在所有可辨識的個體中，有 9 (=33.3%) 隻個體確定被不同的兩台相機先後記錄過，而相機點位間的距離在 1.42km 到 4.28km 之間，其中更有 7 (=77.8%) 隻個體的重複記錄距離超過 2km，最遠距離甚至超過 4.28km (表 3)，顯示本計畫所使用的 2km x 2km (= 4km²) 網格，確實因為小於平均活動範圍的 5km²，而對少數活動範圍較大的個體而言，此取樣面積太小，並可能使得樣點間的獨立性出現疑慮。

表 3 本計畫可辨識之個體於不同網格被重複記錄的案例及重複記錄地點間的直線距離。

案例	被記錄過的網格 (自動相機) 編號	兩台自動相機間 的直線距離 (km)
1	G17, H18	3.43
2	T8, T9	1.43
3	Y14, Y15	1.42
4	J6, K6	2.09
5	N9, O10	3.31
6	O10, P10	2.15
7	P4, Q3	2.25
8	Q13, R11	4.28 (不相連網格)
9	R11, R12	2.21

4. 其他成果

本計畫配合義勇消防組織針對特定動物進行普查。由於義消組織成員為苗栗縣政府依消防法編組之當地居民，加上其保護居民為民服務的工作特質，在地深耕基層扎根深厚，與當地居民溝通較外來人員更為有效。計畫執行至今，結果顯示義消組織成員比外來人員更能藉由談天方式使當地居民更容易認同石虎保育工作。此外，由於義消組織人員皆為當地居民且因工作範圍為轄區全區，因此熟知全區之現場狀況。操作過程中，透過義消人員進行事前之樣點勘察效率極高，且當地居民參與感明顯上升，多數對石虎態度較為友善。部分樣點架設位置甚至為果園、菜園、茶園、圈養禽舍旁以及民宅旁等私人土地區域，這些位置都是透過義消事前、當場或事後溝通協商，才得以進入架設。其中，最嚴重的衝突事件為 2019 年 11 月 13 日上午計畫助理收到苗栗縣通霄鎮埔口派出所警員通報，於通霄鎮樣點網格 K5 架設位置之地主，由於不明紅外線自動相機架設目的，遂報警處理。經警方通知後透過義勇消防總隊協會與苗栗縣政府農業處自然生態保育科的協助，於第一時間電洽地主，並委由通霄分隊義消直接與地主見面溝通，詳細說明後化解衝突同意放置相機。此一事件顯示了在地社群在全縣系統普查業務執行時的重要性。雖然部分義消隊員對於石虎保育觀念與一般民眾相同，會有如「為什麼不乾脆用飼養的？」等保育相關的疑問，然透過共同工作過程中專業野外工作人員的講解說明，通常可以更進一步瞭解石虎保育工作的考量，並協助傳達相關的訊息。

三、五處 4km × 4km 族群密度樣區的族群密度估算

總計自 2021 年 1 月 6 日至 2021 年 8 月 5 日止，五個密度樣區總工作小時數 708,654 小時，每台相機平均工作 4,429 小時，最大 5,037 小時，最小 3,364 小時（表 4）。高豐度樣區的有效照片數和判釋個體數都最高（390 張，22 隻），反之，低豐度樣區的有效照片數和判釋個體數都最低（11 張，3 隻）（表 4）。結果顯示，相對豐度越高的樣區，判釋個體也越多，與原取樣設計之預設目標相符，也顯示第一年全縣 200 個網格所獲得的石虎 OI 值，確實可以運用來產生全縣石虎的密度和數量。判釋個體中大部分皆有多個重複紀錄（附件四），符合密度計算需要具有多次重複捕捉（即本計畫的重複拍照）紀錄的前提。

根據可判釋個體被重複拍照的次數及位置，進行各密度樣區的密度估算。為滿足封閉族群的前提假設，並得到較高的重複捕捉資料，本計畫使用從 2021 年 2 月 1 日到 2021 年 7 月 31 日之間所獲得的石虎記錄資料，將運算涵蓋時間分成 2 個月（2-3 月、3-4 月、4-5 月、5-6 月、6-7 月）、3 個月（2-4 月、3-5 月、4-6 月、5-7 月）、4 個月（2-5 月、3-6 月、4-7 月）、5 個月（2-6 月、3-7 月）和 6 個月（2-7 月）等 15 種狀況；運算所涵蓋的月份越少，越符合封閉族群之運算要求。本計畫並將石虎重複記錄資料分成每 3 天、每 5 天或每 7 天一回合（occasion）等三種設定；當特定連續天數中，若有 1 次或以上的石虎有效記錄，則將該日期段落視為「記錄（detection）」回合，該回合的石虎記錄歷史為「1」，若該特定連續天數中都沒有記錄到石虎，則將該日期段落視為「無記錄（non-detection）」回合，該回合的記錄歷史為「0」；而如果該連續天數內，都沒有記錄到石虎，但有超過 2 天因為任何原因造成該自動相機的工作不正常，則將該段落視為「缺資料（missing data）」。使用 Density 5.0 分別進行密度估計的 SECR 模式建立，五個樣區總共進行了 225（=5x3x15）組的運算。

表 4 苗栗縣五個石虎密度調查樣區的運作及石虎記錄資訊。

樣區 編號	相對豐度 等級	第二年度 相機台數	起迄日期		第二年度 石虎記錄結果				
					有效 照片數	總石虎 照片數*	可判釋個體 照片數**	不可判釋個體 照片數***	最大判釋 個體數
1	高	32	2021/1/21	2021/7/27	390	5,587	3,791	1,796	22
2	中高	32	2021/1/14	2021/7/28	112	1,052	597	455	11
3	中	32	2021/1/13	2021/8/4	63	583	364	219	8
4	中低	32	2021/1/6	2021/8/4	82	621	371	250	11
5	低	32	2021/1/21	2021/8/5	11	220	118	102	3

*總石虎照片數：80 個樣點 160 台相機所記錄石虎照片加總。

**可判釋個體照片數：80 個樣點 160 台相機可判釋個體之石虎照片加總。

***不可判釋個體照片數：80 個樣點 160 台相機不可判釋個體之石虎照片加總。

1. 五個樣區族群密度估算

最適封閉族群所涵蓋月份各密度樣區略有不同（表 5）。不過，除了第 5 密度樣區可能是因為重複記錄個體太少，以涵蓋 3 個月的資料結果較佳外，其他密度樣區的最佳密度估計值均是出現在涵蓋 2 個月資料條件下，這個結果與國外計算石虎族群密度文獻（Bashir et al. 2013）所使用的涵蓋月數相同。使用 AIC 進行最優模型選擇，所有密度樣區之最優模式皆為每回合 7 天（表 5），此一結果與普查資料所建議的回合日數（石虎記錄平均間隔日數之中位數為 7 天）相符（見前文）。

利用 SECR 建立之最優族群密度模型計算各密度樣區之族群密度，五個密度樣區中的族群密度（隻/km²）由高到低分別為 0.7831、0.3232、0.4664、0.5519 和 0.0701（表 5）。

表 5 苗栗石虎 5 個樣區 SECR (Density 5.0) 密度估計各種條件下之最佳估計值。

樣區	回合天數	涵蓋月份	估計密度 (隻/km ²)	密度 SEM	AIC
1	3	4-5	0.8108	0.2963	211.63
	5		0.8156	0.3067	175.90
	7		0.7831	0.2856	166.25
2	3	5-6	0.3453	0.2161	106.13
	5		0.3334	0.2077	95.36
	7		0.3232	0.2008	89.11
3	3	2-3	0.4788	0.2495	116.00
	5		0.4758	0.2515	99.16
	7		0.4664	0.2462	91.26
4	3	6-7	0.4981	0.1970	179.78
	5		0.5068	0.2064	155.52
	7		0.5519	0.2491	130.63
5	3	5-7	0.0731	0.0897	54.28
	5		0.0716	0.0880	50.10
	7		0.0701	0.0861	47.10

2. 非樣區族群密度推估方程式

由於五個密度樣區的有效照片數，與樣區的平均 OI 值呈顯著的正相關（Spearman's Rank Correlation Coefficient $R_s = 0.9$ ， p (2-tailed) = 0.037），顯示所選取的密度樣區極具代表性。為能充分利用五密度樣區所得之資訊，來推估苗栗其他區域之族群密度，故以五密度樣區之最優族群密度估計值，和該樣區在全縣普查所獲得的平均 OI 值進行迴歸分析，得到苗栗縣海拔 1,000 公尺以下環境之族群密度推估方程式：

$$Y = 0.1642X + 0.1719$$

Y: 族群密度

X: OI 值

為評估使用此方程式來推估苗栗縣其他區域族群密度的可行性，本計畫利用近年在苗栗執行過的兩個石虎活動範圍研究計畫，來比較方程式所推算之族群密度和該兩計畫所調查之石虎密度間的差異。其一，Chen et al（2016）在通霄研究樣區 32 km²面積中，推估有 7-10 隻石虎（引用自林良恭，2016），族群密度為 0.22-0.31 隻/km²，中位數為 0.265 隻/km²（圖 9）。此一密度也曾被運用來作為全台石虎總數量的估計（林良恭，2016）。其二，賴玉菁等（2020，科技部「石虎如何與道路共存？石虎對破碎棲地的行為反應與路殺風險改善」）在卓蘭 46 km² 的研究範圍內，記錄到定居石虎約有 7-14 隻³，族群密度為 0.15-0.30 隻/km²，中位數為 0.225 隻/km²（圖 10）。由於兩研究計畫均採用頻繁的無線電追蹤定位，搭配自動照相機拍攝進行資料收集，兩項的研究人員也對在地石虎個體極為熟悉，因此所推估的石虎密度資訊可信度高。將兩研究樣區套疊本計畫第一年度全縣普查的網格，計算得通霄研究樣區的平均 OI 值為 0.77，卓蘭研究樣區的平均 OI 值為 0.26。將平均 OI 值帶入族群密度推估方程式，得到通霄樣區的密度估計值為 0.298 隻/km²；卓蘭樣區的密度估計值為 0.215 隻/km²。

檢測結果顯示，此一苗栗海拔 1,000 公尺以下區域的族群密度推估方程式與研究人員的判斷一致（圖 11），應可提供 3-5 年內實務上的應用，但前提為苗栗的石虎族群在這段時間內不會出現顯著的變動。

³ 此處定居石虎數量記錄包括：7 隻至少有連續 8 個月記錄的定居個體，以及另外 7 隻短期（3 個月以下）架設的自動相機所記錄到的可辨釋個體；本計畫假設所有短期相機樣點所記錄到的 7 隻個體也都有可能是定居個體，因此最高可能的定居石虎數量（14 隻）可能為高估值，換句話說，此樣區內定居石虎數量的高值，極可能低於 14 隻。

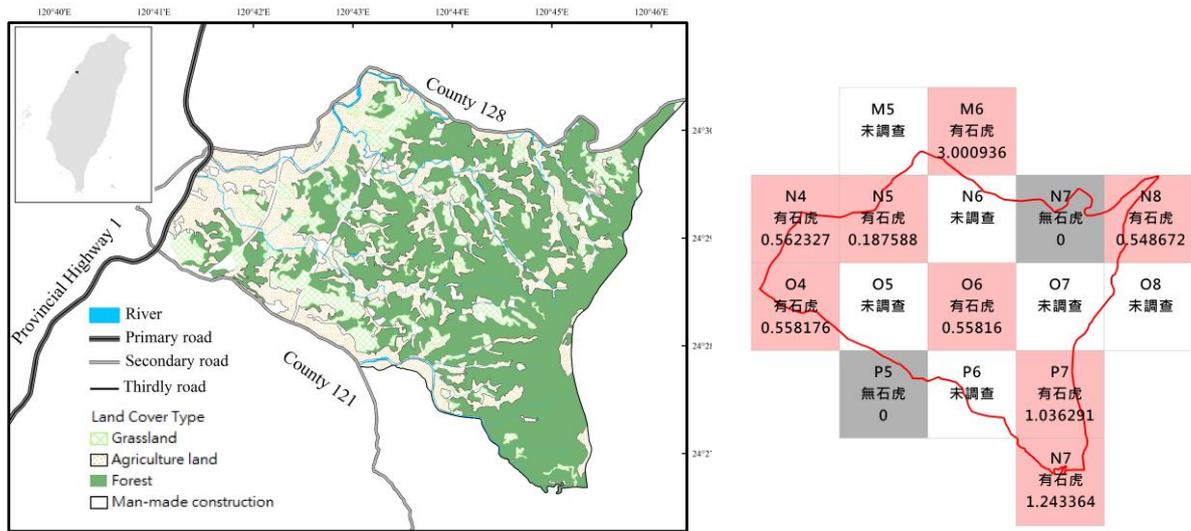


圖 9 Chen et al. (2016) 於苗栗通霄進行石虎活動範圍研究的樣區（彩色區塊）與本計畫 200 普查網格的套疊圖。著色網格為運算平均 OI 值 (=0.77) 網格。

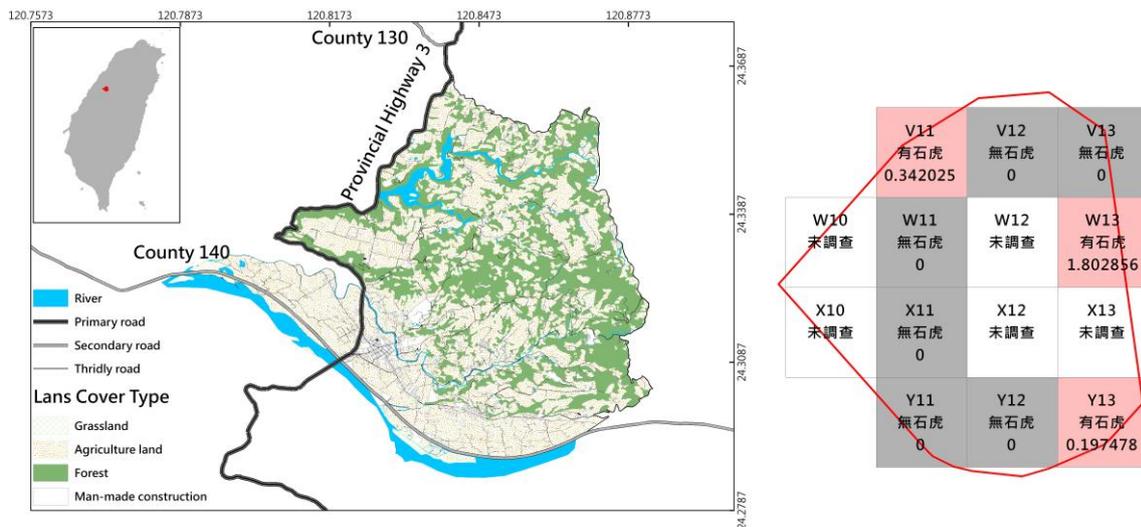


圖 10 賴玉菁等 (2020) 在苗栗卓蘭進行石虎活動範圍研究的樣區（彩色區塊）與本計畫 200 普查網格的套疊圖。著色網格為運算平均 OI 值 (=0.26) 的網格。

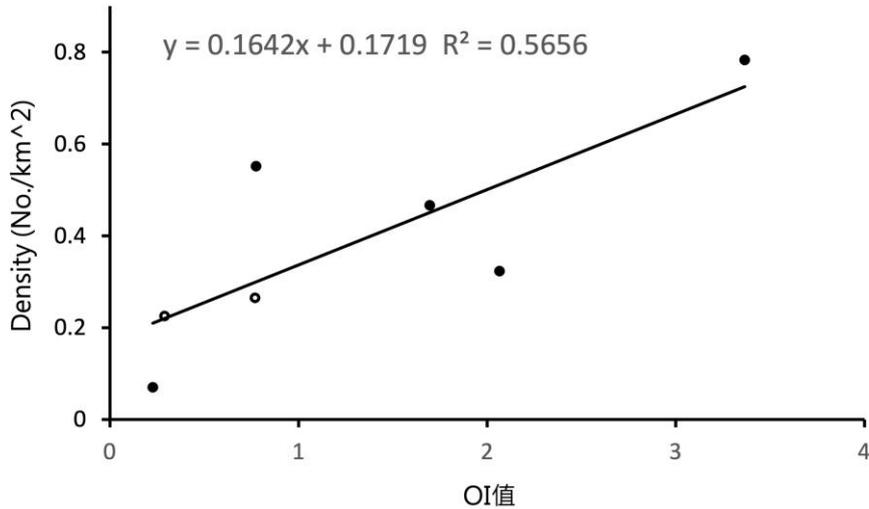


圖 11 五個石虎密度樣區在全縣普查所產生之平均 OI 值 (X) 以及各樣區 7 回合天數、Multi Live 的條件下，所產生 Maximum Likelihood 的最佳密度估計值 (Y) 間的迴歸線。實心圓為本計畫運算所產生的迴歸線分析資料，空心圓為引用自兩個其他研究的檢測資料。

3. 苗栗縣海拔 1,000 公尺以下非都會區環境之推估石虎數量

本計畫應用前述五密度樣區所得之方程式 ($Y = 0.1642X + 0.1719$)，推估苗栗縣海拔 1,000 公尺以下非都會區環境的石虎數量。本計畫以兩種方式推估全縣的石虎數量 (1) 先以本計畫第一年普查結果產生各鄉鎮的平均 OI 值，帶入方程式估計各鄉鎮的數量，再加總產生全縣的估計值；(2) 直接以本計畫第一年普查結果產生全縣的平均 OI 值 ($=0.8$ ； $N=200$)，帶入方程式產生全縣的數量估計值。各鄉鎮或全縣的石虎棲地面積均以扣除都會區之面積納入運算；本計畫同時估計海拔 800m 以下的數量，與 1,000m 以下的數量，並以這兩個數量作為全縣石虎數量估計值的低、高範圍 (附件四)。其中海拔 800m 以下是苗栗縣已知的石虎分布範圍，而海拔 1,000m 以下是全台接近所有已知石虎的分布範圍。

如表 6 所示，先推估各鄉鎮之石虎數量後加總，則苗栗縣區域內最可能的石虎數量是 340.5-353.8 隻，如以苗栗縣的全縣普查平均 OI 值推估數量，則為 339.9-362.6 隻，兩者僅些微的差異，建議優先使用後者，因為其估計過程所使用的面積較大。同時，由於歷史記錄顯示，苗栗石虎只分布在海拔 800m 以下的非都會區環境，故以苗栗海拔 800m 以下非都會區面積所推估之石虎數量 (也就是前述的低值)，應該較接近實際的數量。

表 6 本計畫以 $Y = 0.1642X + 0.1719$ ($R^2 = 0.5656$) 族群密度推估方程式所推估之苗栗縣海拔 1,000 公尺以下非都會區環境中的石虎數量。

	海拔 800 公尺以下	海拔 1,000 公尺以下
以各鄉鎮平均 OI 值換算各鄉鎮密度 X 各鄉鎮面積後再加總數量	340.5	353.8
以 200 台相機平均 OI 值 (0.80) 換算全縣密度 X 全縣面積	339.9	362.6

四、加強點位之苗 128 縣道路殺改善建議分析及苗 29 鄉道友善環境動物通道改善工程施工中暨完工後動物利用情形監測，及苗 140 縣道改善工程施工中暨完工後動物利用情形監測

本計畫分別於苗 128 縣道架設 6 個紅外線自動相機監測樣點、苗 29 鄉道架設 30 個紅外線自動相機監測樣點、苗 140 縣道架設 13 個紅外線自動相機監測樣點，總計共架設路殺定點調查或道路環境改善通道監測樣點 49 個（附件五）。所有調查監測樣點的資料除用來統計分析各道路環境改善設施或路殺位置的石虎使用頻率外，本計畫另針對所有調查監測樣點之石虎原始影像資料進行個體判釋，以確認個體道路穿越及通道使用行為。

1. 石虎路殺記錄彙整

彙整本計畫苗栗縣近十年內石虎出現記錄盤點成果、相關公開資料如新聞報導、以及縣府提供之石虎路殺處理案例，自 2012 年至 2020 年共記錄有 82 筆石虎路殺，其中 80 筆石虎路殺資料有明確座標。路殺記錄所在道路共包含兩條國道（國道 1 號、3 號）；4 條縣道（縣道 121、128、130、140）、6 條省道（省道臺 1、臺 3、臺 6、臺 13、臺 13 甲、臺 61）；與 10 條鄉道（苗 8、苗 28、苗 29、苗 30、苗 33、苗 34-2、苗 49-1、苗 52、苗 60-1、苗 121）；以及防汛道路、農路、市區道路與便道等（表 7）。平均每年石虎有路殺記錄 9.1 次，路殺記錄最多之年份為 2019 年的 24 筆，路殺記錄最少之年份為 2012 年的 3 筆（表 7）。若將路殺回報記錄分段來看，2012-2016 年之間總共路殺通報次數為 32 次，平均每年為 6.4 (SD=2.7) 次，而 2016-2019 年之間總共路殺通報次數為 41 次，平均每年為 13.7 (SD=9.0) 次。至於這兩段期間之間的差異原因，以及 2019 路殺頻度較高的原因，則由於缺乏相關背景資訊（例如：車速趨勢、交通量趨勢、關心者人數變化、石虎數量的變動），尚無法進行深入的探討。路殺通報記錄數量最高者為縣道 140（13 筆；16%），其他占有路殺記錄 5% 以上者則分別為

省道臺 13 甲（7 筆；9%）、縣道 128（7 筆；9%）、省道臺 3（6 筆；8%）、省道臺 61（5 筆；6%）、省道臺 1（4 筆；5%）、省道臺 13（4 筆；5%）、鄉道苗 29（4 筆；5%）（表 7）。

依路殺位置之空間分布來分析，則石虎路殺通報較密集路段可大約分為臺 13 甲接鄰臺 1 線造橋段、苗 29 後龍段、臺 6 號後龍段、臺 61 後龍段、苗 128 接鄰臺 13 通霄經西湖到銅鑼路段、苗 130 苑裡段、與苗 140 接臨苗 52 與臺 3 的三義至卓蘭路段（圖 12）。



圖 12 石虎路殺通報密集路段。

表 7 石虎路殺通報資料彙整統計表。

路殺路段	涵蓋鄉鎮	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020/1/1~2020/9/8	路殺記錄累計	百分比
縣道 140	三義鄉、卓蘭鎮				1	3	1		7	1	13	16%
省道臺 13 甲	造橋鄉		2					3	2		7	9%
縣道 128	通霄鎮、西湖鄉	2			2	1		1	1		7	9%
省道臺 3	三灣鄉、卓蘭鎮	1	1	1	1	1		1		1	7	8%
省道臺 61	後龍鎮			2		1	1	1			5	6%
省道臺 1	通霄鎮、造橋鄉、西湖鄉								3	1	4	5%
省道臺 13	銅鑼鄉				1	1	1		1		4	5%
鄉道苗 29	苗栗市、後龍鎮		1		1			1	1		4	5%
國道 3 號	通霄鎮、苑裡鎮			1			2				3	4%
省道臺 6	苗栗市、後龍鎮						1		1	1	3	4%
縣道 130	苑裡鎮								3		3	4%
鄉道苗 52	三義鄉、卓蘭鎮				1	1		1			3	4%
國道 1 號	造橋鄉、頭屋鄉		1	1							2	3%
縣道 121	苑裡鎮									1	1	1%
鄉道苗 8	造橋鄉								1		1	1%
鄉道苗 28	苗栗市						1				1	1%
鄉道苗 30	苗栗市								1		1	1%
鄉道苗 33	後龍鎮		1								1	1%
鄉道苗 34-2	西湖鄉								1		1	1%
鄉道苗 49-1	三義鄉						1				1	1%
鄉道苗 60-1	大湖鄉									1	1	1%
鄉道苗 121	通霄鎮							1			1	1%
防汛道路	卓蘭鎮、銅鑼鄉				1				1		2	3%
農路	通霄鎮、三義鄉				1					1	2	3%
市區道路	後龍鎮								1		1	1%
便道	後龍鎮				1						1	1%
	總計	3	6	5	10	8	8	9	24	5	80	

2. 加強點位之苗 128 縣道路殺改善建議分析

在苗 128 縣道路段，計畫之主要工作重點在完成前期之路殺點定點調查。依據「苗栗縣大尺度之路殺風險評估暨縣道 140 改善建議分析」結案報告書，前期調查共架設 7 台紅外線自動相機，分別為 MRK07、MRK08、MRK09、MRK21、MRK26、MRK27 和 MRK28。7 個樣點中，MRK08 和 MRK09，以及 MRK27 和 MRK28 分別為在道路相對兩側，希望藉由道路兩側的相機，記錄個體穿越道路的狀況。本計畫評估並與前期執行單位討論後決定，原架設之 7 台相機中延續前期調查樣點 5 處，另依路殺記錄調整前期調查狀況不佳且原架設樹林已消失之樣點 MRK26 至更接近路殺位置並編號為 MRK26-2。此外，前期樣點 MRK07 因拍攝位置為一懸空獨立的涵洞，經前期調查確認石虎不會利用，且相距 10 公尺以內之鄰近樣點 MRK09 有記錄石虎，故撤除不再架設樣點。總計本計畫於苗 128 縣道共架設 6 個調查樣點（圖 13），其中 5 個於前期調查原址，屬持續調查之樣點，1 個調查樣點因原址受到干擾於鄰近區域另擇適合位置重新架設，因仍為原樣點之鄰近可用棲地，屬樣點之調整。為便於後續比較分析，樣點編號沿用前期調查之編號。其中，樣點 MRK28 因有較多石虎記錄，因此於 2020 年 8 月 14 日開始架設雙相機收集個體兩側體紋進行個體判釋，雙相機中，同一樣點的第二相機只用來作為個體判釋與行為觀察之用，並不用來計算 OI 值。



圖 13 苗 128 縣道調查樣點位置圖。

總計苗 128 縣道路殺點定點調查自 2019 年 12 月 28 日起至 2020 年 10 月 14 日止，共架設 6 個樣點，累積總工作時數為 35,381 小時，平均工作時數為 5,897 時，最短工作時數為 3,788 小時，最長工作時數 6,884 小時。總計共調查到中小型地棲物種 9 科 11 種，除目標物種石虎外，另有如臺灣獼猴 (*Macaca cyclopis*)、臺灣野兔 (*Lepus sinensis formosanus*)、赤腹松鼠 (*Callosciurus erythraeus*)、鼬獾 (*Melogale moschata*)、麝香貓 (*Viverricula indica taivana*)、白鼻心 (*Paguma larvata taivana*)、食蟹獾 (*Herpestes urva formosanus*)、貓、犬等哺乳動物及鳥類的臺灣竹雞 (*Bambusicola thoracica*) (表 8)。其中，石虎為第一類瀕臨絕種保育類野生動物，麝香貓為第二級珍貴稀有保育類野生動物，食蟹獾為第三類其他應予保育類野生動物。除臺灣野兔只出現在一個樣點之外，其他物種都平均出現於調查樣點中，赤腹松鼠、鼬獾、白鼻心和臺灣竹雞更在所有樣點中都有記錄 (表 9)。

目標物種石虎共記錄 126 段影片得有效照片 83 張，分別出現於 MRK09、MRK21、MRK27 和 MRK28 等 4 個調查樣點。4 個記錄樣點中，樣點 MRK28 有效照片數最多，共記錄有 62 張有效照片，佔所有照片的 75%，第一筆記錄日期為 2019/12/30，最後一筆記錄日期為 2020/10/9，為常態性使用位置。次多者為樣點 MRK27，共記錄有 16 張有效照片，佔所有照片的 19%，第一筆記錄日期為 2020/1/4，最後一筆記錄日期為 2020/9/26，因此亦為常態性使用位置。其他樣點則都只有零星記錄。但須注意的是，此路段之 6 個調查樣點只位於本路段的 4 個里程數地點，因此並不表示本路段其他非監測範圍非石虎利用路段。但受限於自動相機的調查特質，如欲取得完整的棲地使用和道路穿越資訊，仍有賴個體追蹤，自動相機只能得到片段資訊無法取得全面資料。

貓在這個路段的出現頻率極高且分布均勻，共拍攝有 262 張有效照片，6 個樣點中有 5 個樣點都有記錄，其中，MRK21 和 MRK26-1 兩樣點的記錄最高，有效照片數佔所有照片的 41% 和 35%。犬共拍攝有 168 張有效照片，記錄位置在 MRK08、MRK09、MRK21、MRK28 四個樣點，但高度集中在 MRK28 (91%)。在 6 個路殺樣點中，有 3 個樣點石虎、犬、貓三個物種皆有記錄，MRK26-2 有極高貓記錄但沒有石虎和犬，和 MRK27 有較高石虎記錄但沒有犬貓，MRK08 有犬貓記錄但沒有石虎。至於 MRK28 同時有很高次數的石虎和犬的紀錄，顯示這兩種動物在此地點遭遇的機會極高，若在此地點設置石虎通道，也極可能會形成石虎的生態陷阱 (Ecological trap)，因此需要更精細的友善設施規劃與設計。

表 8 苗 128 縣道路路殺定點監測樣點紅外線自動相機調查物種名錄。

目	科	中文名	學名	保育等級*
靈長	獼猴	臺灣獼猴	<i>Macaca cyclopis</i>	
兔形	兔	臺灣野兔	<i>Lepus sinensis formosanus</i>	
嚙齒	松鼠	赤腹松鼠	<i>Callosciurus erythraeus</i>	
食肉	貂	鼬獾	<i>Melogale moschata subaurantiaca</i>	
	靈貓	麝香貓	<i>Viverricula indica taivana</i>	II
		白鼻心	<i>Paguma larvata taivana</i>	
	獐	食蟹獐	<i>Herpestes urva formosanus</i>	III
	貓	石虎	<i>Prionailurus bengalensis</i>	I
		貓	<i>Felis catus</i>	
	犬	犬	<i>Canis familiaris</i>	
雞形	雉	臺灣竹雞	<i>Bambusicola thoracica</i>	

* I-瀕臨絕種保育類野生動物；II-珍貴稀有保育類野生動物；III-其他應予保育類野生動物。

表 9 苗 128 縣道路路殺定點監測樣點紅外線自動相機調查物種相對豐度與出現頻度。

樣點	總工作時	石虎	貓	犬	臺灣獼猴	臺灣野兔	赤腹松鼠	鼬獾	麝香貓	白鼻心	食蟹獾	臺灣竹雞	物種數
MRK08	3788.23	0.000	10.559	2.640	0.000	0.000	3.168	26.398	2.640	7.919	0.792	5.543	8
MRK09	5998.27	0.333	1.667	0.167	0.000	0.000	1.667	25.007	0.834	1.667	1.334	2.167	10
MRK21	6353.17	0.472	16.842	0.630	0.157	0.000	2.833	8.027	0.000	0.472	0.157	2.991	11
MRK26-2	6883.67	0.000	13.510	0.000	0.000	0.000	0.145	39.369	0.000	4.794	0.000	25.422	6
MRK27	6840.55	2.339	0.000	0.000	0.146	0.146	0.585	7.602	0.146	2.924	0.000	3.801	10
MRK28	5517.17	11.238	2.175	27.732	0.544	0.000	3.806	2.900	1.088	15.044	5.438	3.081	11
平均 OI 值		2.397	7.459	5.195	0.141	0.024	2.034	18.217	0.785	5.470	1.287	7.168	
有效照片數		83	262	168	5	1	66	640	22	179	42	271	1861
出現樣區數		4	5	4	3	1	6	6	4	6	4	6	
出現頻度		66.67	83.33	66.67	50.00	16.67	100.00	100.00	66.67	100.00	66.67	100.00	

表 10 苗 128 縣道路路殺定點監測樣點石虎與犬貓記錄表。

樣點	石虎		貓		犬		物種數
	有效照片數	%	有效照片數	%	有效照片數	%	
MRK08	-	-	40	0.15	10	0.06	2
MRK09	2	0.02	10	0.04	1	0.01	3
MRK21	3	0.04	107	0.41	4	0.02	3
MRK26-2	-	-	93	0.35	-	-	1
MRK27	16	0.19	-	-	-	-	1
MRK28	62	0.75	12	0.05	153	0.91	3
有效照片數	83		262		168		
出現樣區數	4		5		4		

檢視前期調查所有石虎原始影像資料以及本計畫調查影像，分析得本路段之可判釋個體共有 5 隻，其中一隻編號 R128_O_LC01 的個體於前期監測中有一次判釋記錄（MRK21），後來在本計畫執行期間未再有判釋記錄（附件六）。另外 4 隻為本計畫執行期間新增之記錄個體，分別編號為 R128_LC01、R128_LC02、R128_LC03 和 R128_LC04。R128_LC01 共有可判釋影像 49 段 28 隻次，主要在樣點 MRK28 共記錄有 19 隻次，第一次記錄時間為 2020/1/18，最後一次記錄時間為 2020/10/9。R128_LC02 共有可判釋影像 7 段（2020/1/03~2020/3/11），皆在同一個樣點（MRK28）（附件六）。R128_LC03 於 2020/3/9 和 2020/3/18 共有 2 次可判釋影像，位置皆在樣點 MRK28（附件六）。R128_LC04 共有可判釋影像 13 段 5 隻次（2020/9/13~ 2020/10/09），分別在 MRK27 和 MRK28（附件六）。

五隻個體中，R128_LC01 因記錄時間跨越 3 個月，應可視為定居個體。此個體記錄影片中有 4 段影片（2020/1/18、2020/1/30、2020/8/27、2020/9/12）連續於道路兩側樣點有記錄，因此可確認為穿越馬路，其他影像則因無連續道路兩側樣點記錄，無法確認是否穿越道路或只是於道路一側活動（附件六）。結果顯示，定居個體在苗 128 以往有路殺記錄的位置中，主要會在 MRK27-MRK28 這個里程數的位置穿越馬路。其他非定居個體，在有路殺記錄的位置中，也都只在這個里程數位置活動。然此一位置，犬隻的有效照片數高，活動極為密集，由調查結果可以推測，在樣點 MRK28 位置，會有較高的石虎與犬隻的衝突事件。如前所述，若在此處建置石虎友善設施，需考慮犬隻的衝擊。

調查資料顯示，本路段所在區域物種豐富度高，是目前少有的低海拔重要的淺山生態系統，應該擬定社區參與式的環境政策，加以保護並減少破壞與干擾。從判釋個體分析顯示，原有路殺記錄的位置，確為重要之石虎使用與道路穿越位置。所有調查樣點中，樣點編號

MRK27 與 MRK28 分別記錄有 16 與 62 隻次，也是目前判釋的 4 隻個體的共同記錄位置，這兩個樣點位於道路同一公里數之左右兩側，是此路段關鍵的石虎通道。當地地勢為一緩坡嶺線盡頭通過道路後銜接另一緩坡嶺線的位置（圖 14），兩旁多天然林夾雜農耕地，天然林夾雜農耕地是石虎重要的棲地，而相連之緩坡嶺線則是石虎移動時偏好使用的地形，因此本路段為極重要的石虎棲地與穿越廊道，不但會有定居個體，也會有擴散、移動個體利用。



圖 14 苗 128 縣道調查樣點 MRK27 和 MRK28 所在地形地貌。

3. 苗 29 鄉道友善環境動物通道改善工程施工中暨完工後動物利用情形監測

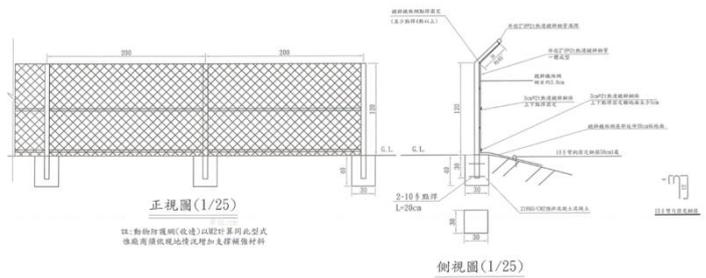
本計畫於苗 29 鄉道主要之主要工作項目為滾動式調整之動物利用長期監測。「苗 29 鄉道友善環境動物通道改善工程」之主要施作項目為動物防護網（後文簡稱「道路圍籬」）之架設及動物通道之現況改善。道路圍籬依地形地況分別設計有 120 公分、150 公分、170 公分、180 公分、230 公分、270 公分、350 公分等不同高度與形式之防護網架設於道路兩旁，以防止石虎穿越（圖 15a、圖 15b）。動物通道之施工則包括重力單向排水閘門（後文簡稱「水閘門」）新增人工閘門開啟設施（圖 15c）、以及排水箱涵（後文簡稱「箱涵」）或排水涵管（後文簡稱「涵管」）（圖 15d）前方的雜草清除。重力單向排水閘門原設計為利用重力原理，當排水溝渠水量較大時，可利用水壓推開水閘門，排水入溪流，於溪流暴漲時，則可因溪流洪泛水壓而自動關閉閘門。為利用原有重力單向排水閘門完成石虎通道之目的，因此於閘門處新增一人工閘門開啟設施，平日利用開啟設施維持閘門開啟，但須於洪泛時期以人工關閉閘門，以免洪泛成災。改善工程共完成包括 0.5K 水閘門（1.7m×2.2m，寬×高，以下同）、0.7K 水閘門（1.7m×2.2m）、1K 水閘門（2.6m×1.6m）、1.3K 水閘門（4.6m×1.8m）、1.5K（1.6m×1.6m）、1.6K（2.6m×1.6m）、1.8K 箱涵（1m×1m）、2K 箱涵（3m×1.5m）、2.3k 涵管（直徑 1m）、2.8k 箱涵（1.7m×2.2m）等 10 個動物通道。

苗 29 鄉道友善工程第一期施作與完工日期為 2018/12/18~2019/2/28，主要施作項目為(1) 1.9K~2.3K 防護網架設、(2) 1.8K、2.0K 箱涵現況改善、和(3) 1.0K、1.3K 單向水閘門的通道改善。第二期施作時間為 2020/5/12~2020/8/7，主要施作項目為(1) 1.0K~2.6K 防護網架設（範圍跨越第一期施作的路段）、和(2) 1.5K、1.6K 單向水閘門的通道改善。由於後龍溪左岸本路段共有 13 個水門（4 個方型箱涵、2 個圓型涵管和 7 個單向水閘門），在初步完成動物通道監測分析後，為能完整瞭解區域內水門利用的可能性，經與管理單位討論後，另於 2021/6/17 增加 4 個無常態性積水水門的動物通道施作，包括(1) 2.3K 箱涵與 2.8K 涵管前方雜草清除、和(2) 0.5K、0.7K 單向水閘門新增人工閘門開啟設施（圖 16）。新增通道完成後，本路段之無常態性積水水門皆已完成動物通道改善。累計苗 29 鄉道友善工程共完成防護網 2,984.5m、箱涵與涵管改善 4 座（1.8K、2.0K、2.3K、2.8K）與單向水閘門 6 座（0.5K、0.7K、1.0K、1.3K、1.5K、1.6K）。其中，前期執行單位已完成施工前、第一期施工中與第一期施工後 4 處動物通道的監測，本計畫則自 2019/12/21 接續進行第一期施工後的監測並開始第二期施工後的監測。為充分瞭解個體使用狀況，在兩期工程的 6 個動物通道皆之兩端開口處，各架設一組雙紅外線自動相機組，每一通道共四台紅外線自動相機，以記錄使用個體之斑紋特徵、確認是

否穿越通道，以及動物移動的方向。2021 年 6 月才新增的 4 個動物通道，初期於 2 個水閘門（即 0.5K 和 0.7K）的南北端出口各架設一台自動相機，於 2 個涵洞（即 2.3K 和 2.8K）的河岸端出口各架設 1 個自動相機，待確定有個體穩定穿越後，又於兩處樣點增加架設雙相機進行個體判釋及通道使用模式。總計共於 10 個通道架設 30 個相機樣點（圖 17），各相機樣點以所在公里數及方位編號。



(a) 道路圍籬



動物防護網型式(一)施工詳圖(1/25)

(b) 動物防護網施工圖（摘自「苗 29 線第二期有善環境工程動物通道工程施工圖」）



(c) 動物通道-重力單向排單向水閘門



(d) 動物通道-排水箱涵

圖 15 苗 29 鄉道友善環境動物通道改善工程之施作成果。



(1a) 0.5KN



(1b) 0.5KS



(2a) 0.7KN



(2b) 0.7KS



(3) 2.3KN



(4) 2.8KN

圖 16 2021 年新增 4 個苗 29 鄉道友善環境動物通道與監測樣點。(1a)為 0.5K 重力水閘門北端出口；(1b)為 0.5K 重力水閘門南端出口；(2a)為 0.7K 重力水閘門北端出口；(2b)為 0.7K 重力水閘門南端出口；(3)為 2.3K 涵管北端（河岸端）出口；(4)為 2.8K 箱涵北端（河岸端）出口。



圖 17 苗 29 鄉道友善環境的 10 個動物通道及樣點配置。

第一期完工的 4 個持續監測通道的 16 個樣點，自本計畫開始執行至 2021 年 10 月 06 日，累計共執行 225,063 工作小時，樣點平均工作小時數為 14,066 小時。第二期友善工程增加之 2 個持續監測通道 8 個樣點，自完工後開始監測至今（2020/7/5~2021/10/06），總工作小時數為 80,518 小時，樣點平均工作小時數為 10,065 小時。2021 年 6 月新增 4 個通道 6 個樣點，而為能瞭解樣點的調查效益並確認石虎出現的狀況，以及時反應現場狀況進行調整，所以在監測初期，較頻繁的進行資料回收和判讀，自 2021 年 6 月 24 日至 2021 年 11 月 13 日共完成總工作小時數 17,079 小時，樣點平均工作小時數為 2,846 小時。由於 6 個持續監測通道的完工啟用時間不同且道路圍籬完成長度差異極大（1.9K~2.3K、1.0K~2.6K），為客觀比較通道之使用效益，於通道使用分析時，另以第二期（II）完工日期（2020/7/5）為臨界點，將調查時期切分為 I、II 兩階段。第 I 階段只有約 400 公尺長的道路圍籬和 4 個友善動物通道開通，且 4 個通道中只有 2.0K 箱涵位於道路圍籬正中央位置，其他通道都與道路圍籬距離較遠。第 II 階段 6 個友善動物通道都已啟用，且全路段的道路圍籬皆已完工。

分析石虎的通道使用，六個持續監測的通道，共記錄石虎影像 243 次使用（表 11），使用次數之定義為 10 分鐘內於通道內記錄到影像視為一次移動行為。石虎使用次數以 1.3K 水

閘門和 1.0K 重力水閘門較高，是石虎較常使用的通道，而對其他 4 個通道的使用則明顯少了許多（表 11）。友善工程第二期在 2020 年 8 月 7 日完工後，增加的兩重力水閘門通道（1.5K、1.6K），首次記錄到石虎的日期均為 2020 年 9 月 14 日，經過個體判釋確認為相同個體（R29_LC06），這兩個通道後續亦持續有石虎的利用記錄（附件六），但以 1.6k 水閘門利用率略高。總括而言，所有通道都在全路段道路圍籬完工後，才有較高的使用率。四個完工較久的通道中，水閘門類型的使用次數明顯較涵洞為高，且在第一階段兩涵洞皆無使用記錄，一直到第二階段才有少量記錄；如單就第 II 階段的通道使用來看，涵洞的使用率仍小於水閘門，石虎對完工較久的 2 個水閘門使用次數，均明顯高於第 II 階段完工的水閘門（表 11）。

表 11 苗 29 鄉道六處持續監測通道的石虎使用記錄型態與次數。

通道類型	工期	使用通道 不含觀察 之總計	穿越			單側出入			進入後折返		
			總計	I*	II*	總計	I	II	總計	I	II
1.0K 水閘門	I	100	46	7	39	53	7	46	1	0	1
1.3K 水閘門	I	94	61	26	35	33	7	26	0	0	0
1.8K 箱涵	I	7	6	0	6	1	0	1	0	0	0
2.0K 箱涵	I	12	5	0	5	4	0	4	3	1	2
1.5K 水閘門	II	10	7	-	7	2	-	2	1	-	1
1.6K 水閘門	II	20	16	-	16	4	-	4	0	-	0
		243	141	33	108	97	14	83	5	1	4

*I：第 I 階段（2019/12/21~2020/7/4）

**II：第 II 階段（2020/7/5~2021/8/13）

至於 2021 年 6 月才加入監測的 4 個新增通道中，0.5K 重力水閘門南端出口（陸域端），在完工後第 105 天（2021/9/30）於通道內首次記錄到石虎影像，為定居個體 R29_LC03。0.7K 水閘門則於北端（河岸端），在完工後 25 天（2021/7/12）首次於通道前方記錄到石虎影像，但該個體當次並未進入或穿越通道，之後於 2021/8/19 05:20 再次記錄到石虎個體自河岸進入 0.7K 水閘門向陸域方向移動。另外 2 個新增的箱涵與涵管則尚未記錄到石虎。

由於自由犬隻活動時，常有成群或定點駐留的習性，因此，為比較石虎與犬貓的通道使用狀況，另以使用天數進行比較分析，以避免高估犬隻使用通道的頻率。檢視目前的通道使用天數，使用通道的石虎記錄天數以 1.3K 重力水閘門和 1.0K 重力水閘門較高，其他通道的使用則明顯少了許多（表 12）。自由犬隻則明顯集中使用 2.0K 箱涵，但對其他 5 個通道亦有

少量的使用（表 12）。貓隻對通道的使用率則與石虎類似，也是以 1.3K 重力水閘門和 1.0K 重力水閘門較高，而犬隻利用度極高的 2.0 箱涵，貓隻的使用天數最低。

表 12 苗 29 鄉道友善環境動物通道犬隻、貓隻、石虎之使用日數。

通道位置	通道型態	記錄日數*		
		石虎	犬	貓
1.0K	水閘門	81	17	213
1.3K	水閘門	86	25	255
1.5K	水閘門	11	8	97
1.6K	水閘門	20	16	102
1.8K	箱涵	8	5	78
2.0K	箱涵	11	176	37
總計		179	211	422

*2019/12/21~2021/8/13 共 602 日

檢視分析自動相機所獲得之石虎影像，本計畫監測過程中，可判釋個體共有 11 隻。其中編號 R29_LC01 的個體於前期監測中有約 8 個月可判釋的出沒記錄，但於本計畫執行期間都沒有出沒的判釋記錄；R29_LC02~R29_LC11 這 10 隻個體則為本計畫新增判釋個體。其中，R29_LC02 與 R29_LC03 這兩隻都有跨距超過 1 年的判釋記錄，應可確認為本區之定居個體。至於編號 R29_LC04 到 R29_LC11 等 8 隻個體的記錄位置與次數都很少，須待後續持續累積之資料，以確認牠們對本區的利用狀況。

R29_LC04 在通道區域共記錄有一天 2 次的使用記錄，於 2020/3/5 的 18:45 使用 1.3K 重力水閘門，由北（河岸）向南移動，並於同日使用同一個水閘門，由南向北移動。此一個體於後龍溪北岸 2km × 2km 網格系統樣區的 H10 樣點有持續記錄，應該是在枯水期穿越河床到南岸活動，可能為偶發之行為記錄。

R29_LC06 在通道區域共記錄有 14 天 30 段可判釋影像（2020/9/14~2020/12/11，橫跨約 3 個月的時間）（附件六），期間平均每 6 天使用一次。記錄位置主要在 1.0K 水閘門（7 次）和 1.6K 水閘門（6 次），1.3K 水閘門和 1.5K 水閘門只有 1、2 次的使用（附件六）。此一個體雖然有約 3 個月的記錄時間，但自最後一次記錄以來都沒有在任何通道有記錄，可能為擴散個體，或鄰近個體的探索活動，後續需持續監測此一個體的出現情形。

R29_LC07 在通道區域共記錄有 8 天 11 段可判釋影像，（2021/1/16~2021/3/8，近 2 個月），期間平均每 7 天使用一次。記錄位置在 1.6K 單向水閘門（4 天 7 段）和 1.8K 箱涵（4 天 4 段）（附件六）。此一個體是在所有友善工程完工約半年後，開始有第一次記錄。由於此個體的影像記錄時間相當短，後續應持續監測，確認此一個體是否繼續使用通道。

R29_LC08 在通道區域共記錄有 4 天 12 段可判釋影像，（2021/5/10~2021/6/3），有 3 次 1.0K 水閘門和 1 次 1.3K 水閘門穿越記錄（附件六），可能為區域新進入的個體，後續應確認此一個體是否有持續記錄。

R29_LC09 在通道區域共記錄有 8 天 17 段可判釋影像，（2021/4/24~2021/5/27，約一個月）（附件六）。除了 1 次使用 2.0K 水閘門外，其他 7 次使用記錄位置都在 1.3K 水閘門，可能為本區域新進入的個體，後續同樣應確認此一個體是否有持續記錄。

除以上個體外，其他判釋個體如 R29_LC05、R29_LC10、R29_LC11 都只有零星記錄，很可能為新進入的個體，或擴散個體的單次使用，後續同樣應確認這些個體是否有持續記錄（附件六）。

判釋個體之行為解釋乃基於可判釋照片影像而進行。所有無法判釋之照片，有可能為尚未建檔識別之個體，或是已建檔識別個體之不可判釋影像，因此不宜將所有無法判釋照片一併當作判釋個體外之石虎。此外，為免過度解釋，判釋個體之利用行為，應只以累積資料量較大，活動模式較為穩定的定居個體進行分析，其他判釋個體之資訊，只作為部分利用行為的參考。以下為定居石虎個體對通道利用的整理與描述：

R29_LC01

判釋個體 R29_LC01 於前期監測共有 16 天 17 段的可判釋影像記錄（2019/1/7~2019/8/11，橫跨約 8 個月的時間）（附件六），所有可判釋影像記錄位置都在圍籬範圍內的 2.0K 箱涵通道處（圖 18）。扣除獨立的 1 日（1/7）2 段記錄影像，R29_LC01 在 2019/5/7~2019/8/11 期間使用 2.0K 箱涵共有 15 次的密集記錄，平均約每週使用一次（附件六），記錄時間主要在 18:00~23:00 之間的上半夜。如以記錄影像中個體朝向方向為行進方向，則所記錄的影像皆為由南向北，即由陸地向河岸方向移動（附件六）。

第 1 期工程施作的圍籬跨距約 400m，2.0K 箱涵的位置約在圍籬的中段。通道記錄資料顯示，R29_LC01 個體，在工程施做過程中，曾於 2019/1/7 嘗試使用箱涵一次，之後則不再使用，

直到 4 個月後才又開始低頻度的使用此新建圍籬下的箱涵，此個體在夜間活動開始時，利用箱涵向河岸移動，進入河灘地活動。由於此一個體在設施施作完畢約 5 個月（即 2019/8/11）之後，不再有使用此一箱涵的記錄，之後也沒有對其他持續監測通道的利用記錄，研判應已不存在此一區域，或活動範圍有所遷移。



圖 18 苗 29 鄉道石虎判釋個體 R29_LC01 之判釋影像記錄位置。

R29_LC02

判釋個體 R29_LC02 為目前區域中主要的定居個體，自前期監測至本計畫 2020 年止，共有 23 天 52 段（2019/4/28~2020/6/18，橫跨約 1 年 2 個月的時間）的可判釋影像（附件六）。記錄影像位置涵蓋 1.0K 單向水閘門、1.3K 單向水閘門和 1.8K 涵洞（圖 19）。

檢視記錄樣點，此個體影像在 2019 年的前期監測期間有 4 天的單日影像記錄，分別在 4/28、7/5、8/1、和 8/16 月，主要在 1.8K 箱涵，只有一次（2019/8/16）使用 1.3K 單向水閘門的記錄。於本計畫監測期間，R29_LC02 於 2020 年 1 月 25 日在臺 6 線 6k 路段車禍受傷，經特有生物中心收容救傷後，在 2020 年 2 月 25 日配掛 GPS 項圈，原地野放並開始追蹤（此頸圈在 2020/5/14 之後 GPS 開始定位失敗，下載後均無點位資料，並於 2020/6/3 無法追蹤到個體）。

本計畫則於 2020 年 3 月 22 日第一次在監測樣點記錄到配掛項圈之 R29_LC02。之後，R29_LC02 開始連續使用通道，並於 2020/6/18 獲得最後一次影像記錄。

R29_LC02 在本計畫期間的 2020/3/22~2020/6/18 連續記錄共有 19 天 47 段可判釋影像，平均約 4.9 天使用一次，在連續記錄期間，只使用 1.0K 和 1.3K 兩通道，記錄時間以 18:00~23:00 與 3:00~5:00 時段為多（圖 20）。如以記錄影像中個體朝向方向為行進方向，則所記錄的影像以由南向北（河岸）移動較多，北向南較少（圖 21）。不同移動方向的記錄時間有明顯的差異，南向北移動集中在上半夜（18:00~0:00），北向南移動則集中在下半夜（0:00~8:00）（圖 21）。

過去的通道記錄資料顯示，R29_LC02 個體在 2019 年 4 月底（約第一期工程完工後 2 個月）開始至同年 8 月中，嘗試使用圍籬外的 1.8K 箱涵通道 4 次，每次間隔較前次縮短。8 月中旬之後有約 5 個月沒有通道使用的記錄，後又因車禍收容救傷留置了 2 個月，一直到救傷野放後約 1 個月（約第一期完工一年後），此個體才又開始連續使用通道。此時使用的通道向西偏移到離圍籬更遠的 1.0K 和 1.3K 重力水閘門，不再使用 1.8K 箱涵。R29_LC02 會在夜間活動開始時，利用通道向河岸移動，進入河灘地活動，在清晨時利用通道向陸地移動。在使用三個多月後，約在第二期圍籬施作完工後（2020/7/12），則不再有使用通道的記錄。由於此一個體在最後一次通道使用記錄至今已超過一年，研判應已不存在此一區域，或活動範圍有所遷移。



圖 19 苗 29 鄉道石虎判釋個體 R29_LC02 之判釋影像記錄位置。

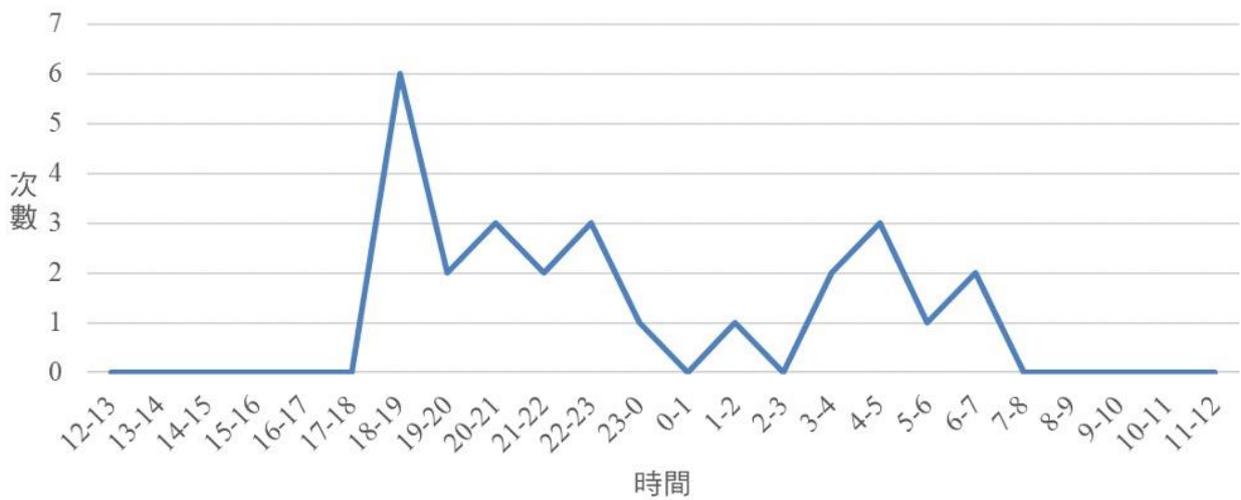


圖 20 苗 29 鄉道石虎判釋個體 R29_LC02 判釋影像之記錄時間頻度。

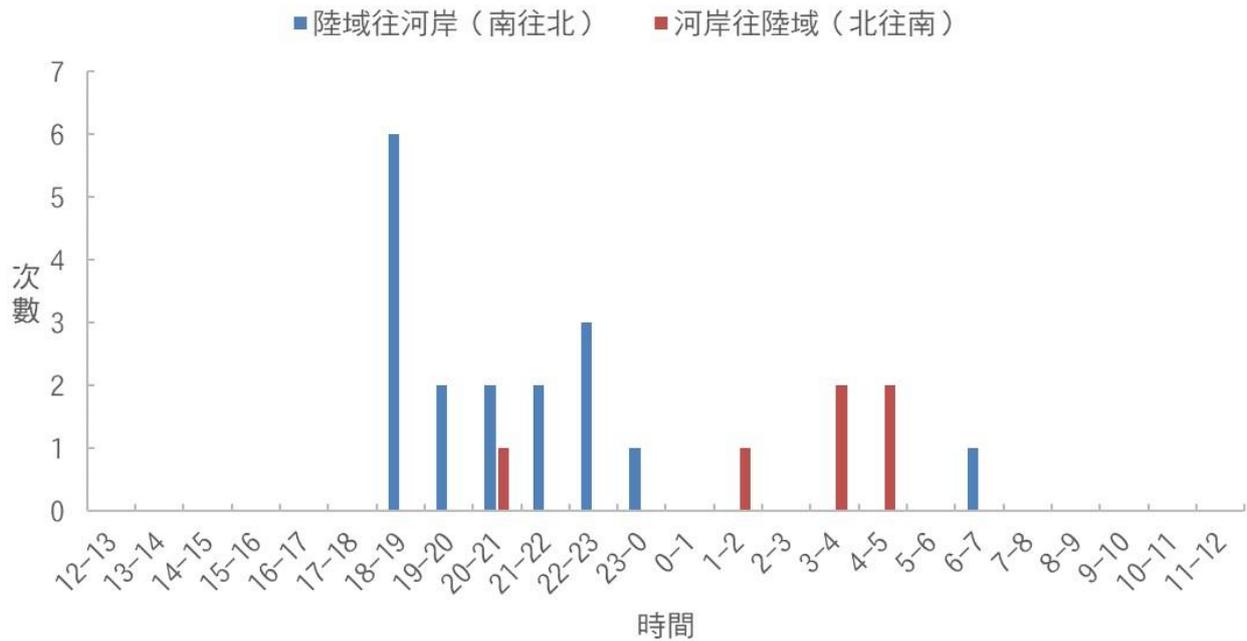


圖 21 苗 29 鄉道石虎判釋個體 R29_LC02 判釋影像之通道通過方向與時間。

R29_LC03

R29_LC03 亦為區域中之定居個體，在前期監測並無記錄，從本計畫開始在持續監測之通道共有 72 日 163 段（2020/1/28~2021/10/26，橫跨約 1 年 9 個月的時間）的影像記錄（附件六）。記錄位置主要在 1.0K 單向水閘門、1.3K 單向水閘門、1.5K 單向水閘門和 1.6K 單向水閘門（圖 22），但於新通道啟用後，在 2020/9/30 首次使用 0.5K 水閘門，並於 2021/10/26 在 0.7K 水閘門有一次記錄。檢視樣點記錄頻度，從 2020/1/28（第一期完工後約 11 個月）開始的一個月期間，此個體有 4 天 5 次（1/28、2/4、2/5、2/23）記錄，此期間只使用 1.3K 重力水閘門。暫停使用 6 個月之後，個體自 2020/8/29 開始持續使用通道至今，持續使用期間平均每 5.7 天使用 1 次，會使用 4 個通道，以 1.0K 通道為主（38 日，59.4%），其次是 1.3K（21 日，32.8%）通道，至於 1.5K（7 日，10.9%）和 1.6K（4 日，6.3%）通道的使用頻率較低。可判釋影像之記錄時間以 18:00~21:00 及 4:00~7:00 為較密集記錄的時段（圖 23）。如以記錄影像中個體朝向方向為行進方向，則不同移動方向的記錄時間有明顯差異，南向北移動多在上半夜（18:00~0:00），北向南移動則多在下半夜（0:00~8:00）（圖 24）。

通道記錄資料顯示，R29_LC03 個體在 2020 年 1 月（約第一期工程完工後 11 個月）後開始嘗試使用通道，但似乎只使用圍籬盡頭且在圍籬範圍外的 1.3K 水閘門。嘗試使用 4 次之後，有長達 6 個月沒有使用通道。之後此個體在第二期工程施作完畢後，再度開始持續使用通道

至今，此時圍籬從原來的 400m 延伸到全路段，R29_LC03 使用的通道也從原來的 1.3K 通道向西和東共增加為 4 個通道，使用的通道數和範圍都增加了，原來已開啟但沒有使用的 1.0K 通道也開始納入使用，且是所有通道中使用頻率最高的。雖然 1.5K 和 1.6K 水閘門較晚啟用，但至今啟用也已約一年，同時，R29_LC03 最常使用的 1.0K 水閘門則是位於道路圍籬的最末端。後續應嘗試瞭解水閘門使用頻率的差異是因為啟用時間的長短，還是通道位置所致。



圖 22 苗 29 鄉道石虎判釋個體 R29_LC03 之判釋影像記錄位置。

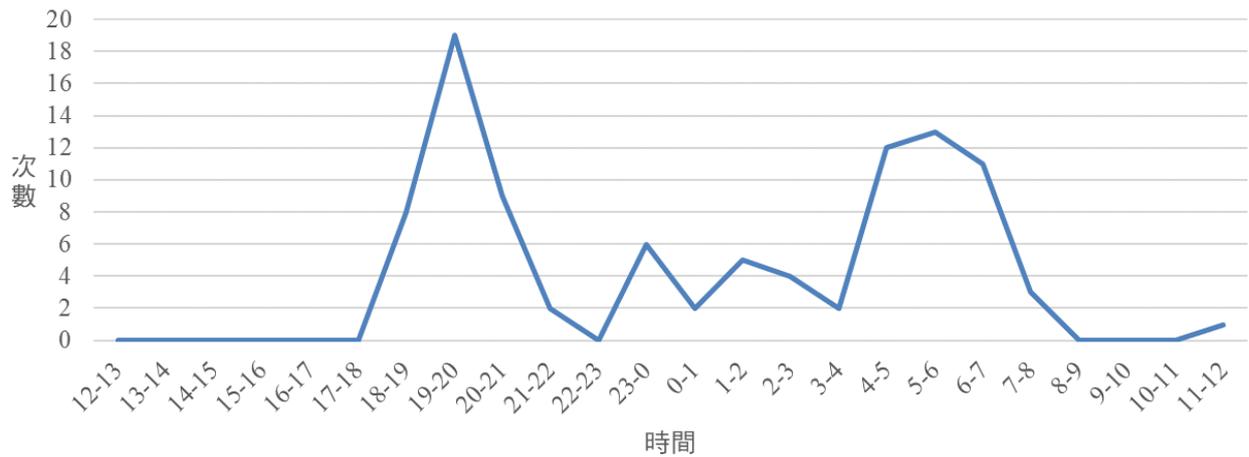


圖 23 苗 29 鄉道石虎判釋個體 R29_LC03 判釋影像之記錄時間頻度。

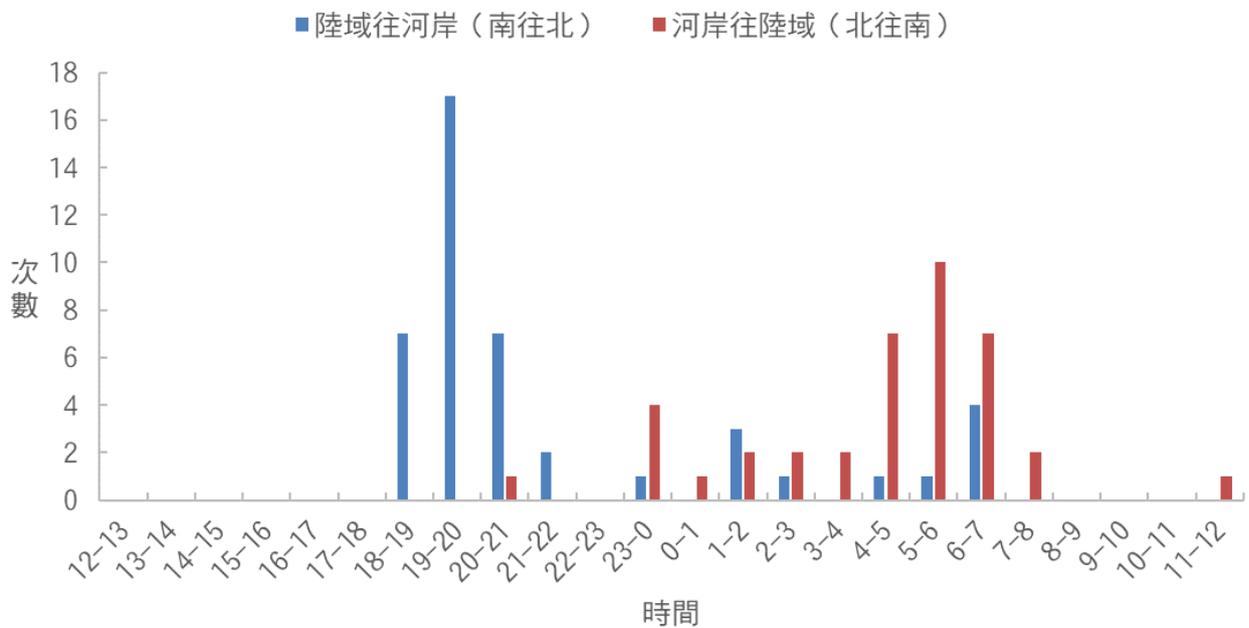


圖 24 苗 29 鄉道石虎判釋個體 R29_LC03 判釋影像之通道通過方向與時間。

4. 苗 140 縣道改善工程施工中暨完工後動物利用情形監測

由於苗 140 縣道已由前期執行單位完成路殺分析、規劃建議及前期調查，並於 2020 年陸續完成改善工程，因此在苗 140 縣道路段，本計畫主要工作執行重點在延續前期路殺樣點之定點調查，並執行新增動物通道改善工程的動物利用監測。目前苗 140 縣道除等距清除路旁綠籬，和加寬路中間紐澤西護欄的間距外，已執行之道路改善項目還包括：夜間降速公告

(速限 50 公里)、區間測速設施架設，和道路圍籬架設等三項主要工程，三項工程主要施工位置都在卓蘭段(圖 25)，並清除一處現有涵洞作為動物通道。夜間降速已自 2020/1/1 開始執行至今。區間測速實施範圍為 16k~25k，此一改善工程工期為 2020/3/5~2020/6/30，工程已施作完成，原定於 2021/1/1 啟用，但目前因中央實施新度量衡制度，因此須待經濟部標準局完成檢測後才能啟用。道路圍籬共架設 2 段，分別為縣道 22.6k~23.1k 卓蘭段(施工日期 2020/04/17~2020/8/14)與 12.3k~13.9k 火炎山段(施工日期 2020/4/17~2020/8/14)。2020/8/14 則完成苗 140 縣道 13.1K 火炎山隧道東側出口外，既有箱涵洞的淤泥清理，作為新增的動物通道。

本計畫共於苗 140 縣道架設 13 個樣點，其中於卓蘭段共架設 9 個路殺定點調查樣點(圖 26)，5 個為前期延續樣點，1 個為調整樣點，3 個為卓蘭段新增樣點。並於火炎山隧道動物通道完工後新增 4 個動物利用監測樣點(圖 27)。為充分瞭解個體使用狀況，於通道之兩端分別架設左右兩台紅外線自動相機，每一通道共四台紅外線自動相機，以記錄使用個體之左右兩側影像，並進行個體判釋。為便於後續比較分析，樣點編號沿用前期調查之編號，新增之樣點編號亦依前期調查之樣點編號邏輯編碼。監測樣點中，ML15 因原架設林地遭剷除因此於 2020 年 9 月 12 日撤除。此外，路殺樣點 MRK14 與通道監測樣點 R140_13.1KSE 與 R140_13.1KSW 於 2021 年 8 月 7 日上午 8 時因盧碧颱風遭土石流掩沒，其中，MRK14 因鄰近已無可架設樣點，因此撤除，通道樣點 R140_13.1KSE 與 R140_13.1KSW 則經搜索後找回相機，於隧道口重新架設。



圖 25 苗 140 縣道卓蘭段區間測速與道路圍籬設施位置圖。

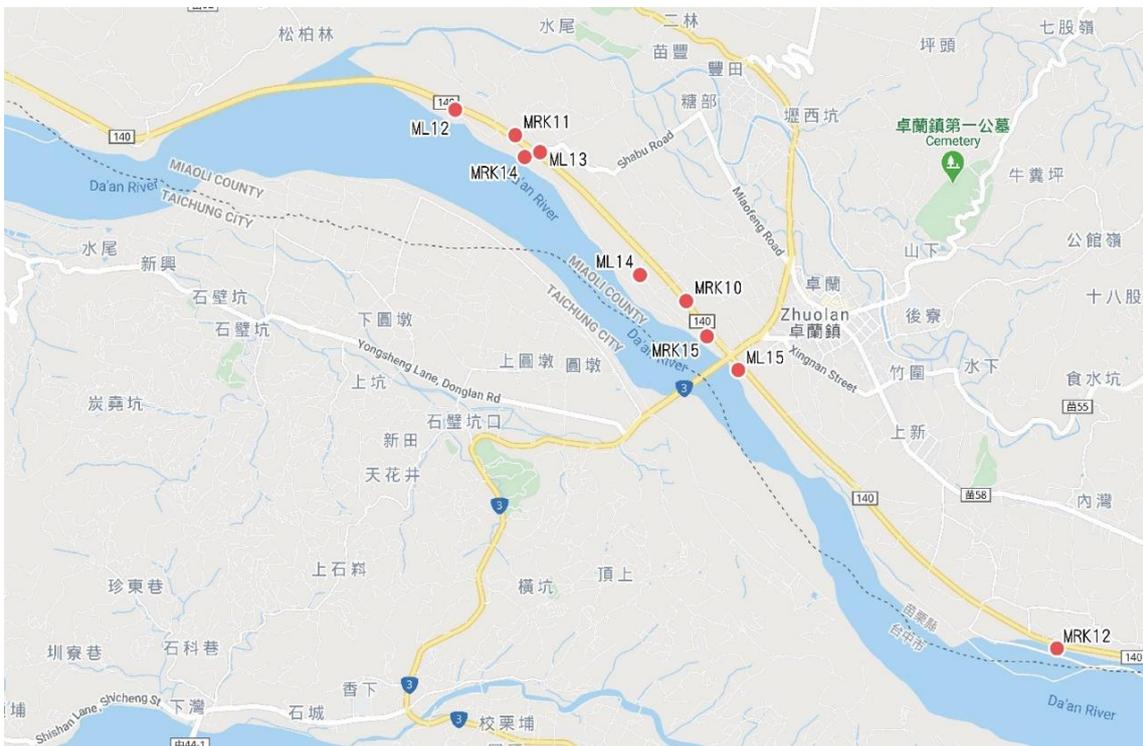


圖 26 苗 140 縣道卓蘭段路殺監測樣點位置圖。



圖 27 苗 140 縣道火炎山段新增監測樣點位置圖。

總計苗 140 縣道改善工程動物利用情形監測 9 處路殺監測樣點，2020 年（2019 年 12 月 21 日起至 2021 年 1 月 6 日止）總工作小時為 85,380 小時，2021 年（2021 年 1 月 6 日起至 2021 年 10 月 08 日止）總工作小時為 72,055 小時，累計自 2019 年 12 月 21 日起至 2021 年 10 月 08 日止，總工作小時為 157,435 小時。如扣除本計畫撤回樣點 ML15 的 5,782 工作小時，則其餘 8 處持續路殺監測樣點，最短工作時數為 12,259 小時，最長工作小時數為 15,423 小時，樣點平均工作小時數為 14,403 小時。四個涵洞通道持續監測樣點，自 2020 年 8 月 19 日至 2021 年 10 月 08 日止，總工作小時為 36,431 小時，平均工作小時數為 9,108 小時。監測期間累計共記錄有石虎影像 78 隻次（含 2020 年 36 隻次及 2021 年 42 隻次）（表 13）。路殺監測樣點的記錄隻次差異極大，所有路殺監測樣點中，以 ML12（16 隻次）、ML14（15 隻次）、MRK11（11 隻次）的記錄隻次最高（表 13）。2020 年與 2021 年記錄隻次變化較大的樣點為 ML14，從 2020 年的 13 隻次降為 2 隻次（表 13）。樣點 ML14 樣點在 2021 年調查期間，樣點 5m 外林地因火燒焚毀，樣點所在環境成為火燒遺跡地，石虎可能因此而迴避樣點周邊，造成記錄頻率大幅降低。

表 13 苗 140 縣道監測樣點編號與記錄表。

樣點類型	樣點編號	總工作 小時	第一年 工作小時	第二年 工作小時	總記 錄隻次	第一年 隻次	第二年 隻次	架設 日期	結束 日期
路殺	ML12	15,165	8,549	6,616	16	9	7	2020/01/05	-
	ML13	13,999	8,501	5,498	3	2	1	2020/01/05	-
	ML14	14,376	8,381	5,994	15	13	2	2020/01/05	-
	ML15	5,782	5,782	-	0	0	-	2020/01/05	2020/9/12
	MRK10	15,423	8,806	6,616	0	0	0	2019/12/21	-
	MRK11	13,967	8,529	5,438	11	4	7	2019/12/21	-
	MRK12	14,722	8,107	6,616	9	1	8	2019/12/21	-
	MRK14	12,259	7,749	4,510	4	3	1	2019/12/21	2021/7/12
	MRK15	15,312	9,174	6,138	10	3	7	2019/12/21	-
	小計	121,004	73,578	47,426	68	35	33		
通道	R140_13.1KNE	9,290	3,341	5,948	1	0	1	2020/8/19	-
	R140_13.1KNW	9,342	2,728	6,614	1	0	1	2020/8/19	-
	R140_13.1KSE	8,117	2,392	5,725	2	0	2	2020/8/19	-
	R140_13.1KSW	9,682	3,341	6,340	6	1	5	2020/8/19	-
	小計	36,431	11,803	24,628	10	1	9		
	總計	157,435	85,380	72,055	78	36	42		

除改善工程之動物利用監測外，本計畫檢視前期執行單位所記錄之所有石虎原始影像資料以及本計畫調查記錄影像，判釋分析得路殺監測樣點之可判釋個體共有 11 隻，其中 2 隻判釋個體為前期監測計畫記錄個體，後來在本計畫執行期間未再有判釋記錄，分別編號為 R140_O_LC01 (2019/02/19) 和 R140_O_LC02 (2019/04/07)。另外 9 隻為本計畫執行期間新增之記錄個體，分別編號為 R140_LC01 到 R140_LC09 (附件六)。9 隻新增個體中，R140_LC04、R140_LC05、R140_LC06 只有單次記錄，R140_LC02、R140_LC08、R140_LC09 只有兩次記錄，R140_LC07 只有三次記錄；只有 R140_LC01 和 R140_LC03 有較長的記錄時間與次數，可能為定居個體。R140_LC01 共有 7 天 18 段可判釋影像 (2020/04/02~2021/06/17，橫跨約 1 年 2 個月的時間)，記錄樣點包含 MRK11、ML12、ML14 等 3 個樣點 (圖 28，附件六)。R140_LC03 共有 3 天可判釋影像記錄 (2019/11/29~2020/09/23，橫跨約 10 個月的時間)，記錄樣點包含 ML12 和 ML13 兩個樣點 (圖 29)。

由於每隻判釋個體的記錄影像平均分散在各月份和所有監測樣點，且從前期至今已記錄有至少 7 隻個體出沒過，顯示此區域為重要之石虎棲地，且區內個體持續穩定使用道路兩旁棲地。



圖 28 苗 140 縣道石虎判釋個體 R140_LC01 之判釋影像記錄位置。



圖 29 苗 140 縣道石虎判釋個體 R140_LC03 之判釋影像記錄位置。

伍、 討論與建議

一、 普查資料顯示石虎在苗栗為普遍分布之物種，並沒有特定高族群密度區。建議應使用網格之石虎記錄有無所呈現的分佈圖，作為決策之應用。

本計畫為首次以網格狀系統取樣的方式，對苗栗縣 1,000m 以下地區進行全區石虎普查，是截至目前為止最全面最完整的資訊。當普查樣點記錄到石虎時，即表示該網格為至少一隻石虎的活動範圍。不過，自動相機雖然是一個優良的稀有物種調查工具，但其對任何野生動物（包括常見物種）的偵測機率都不會達到 1（= 100%），而且會隨著動物稀有程度的增加，逐漸降低其偵測率。也因此，針對如石虎這種又稀有、又瀕危的物種而言，未記錄到的地區較正確的說法應該是「尚未紀錄到」，尤其是那些與「有石虎記錄」相鄰的「無石虎記錄」網格，實際上有石虎出沒的可能性極高。

普查 OI 值級別分布顯示，樣點 OI 值雖有高中低之分，但夾雜分散於全區，並無連續高密度的區域，只有明顯密度較低的北區和東北地區。這個結果與 2006 年以來單一計畫的調查結果相同（裴家騏、陳美汀 2008；裴家騏 2014；賴玉菁 未發表資料）。一般而言，在無法執行全區普查的狀況下，棲地模式常是被用來推估分布的取代方法。棲地模式使用特定區域的單一調查結果，推測可能之環境變數來產生棲地模型後，再以棲地模型來計算全區的棲地適合度，並以棲地適合度分布來代替族群分布（例如：林良恭 2016）。然特定區域的單一調查結果有其侷限，而環境變數並無法涵蓋所有變因，因此所產生的棲地模式並不能代表所有棲地類型也不等同於物種族群的分佈現況。

因為本計畫的執行，苗栗縣實質上已完成海拔 1,000 公尺以下之高精度普查，可不用遷就於棲地模式所模擬的棲地適合度分布。同時，因為本計畫的網格面積為 4km^2 ，小於一隻石虎平均的活動範圍（ 5km^2 ）（Chen et al. 2016），因此，所呈現的分布模式，將比任何動物分布模式以小樣本運算所得到的分布模式要精準。不過，如欲完成更完整的石虎分布圖，任何補充調查都可以增加吾人對牠們的認識，因此應該將任何其他新的記錄資訊納入整合，隨時更新，以獲得更即時、更正確的分布現況。同時，由於石虎為瀕臨絕種的動物，每一隻都有保育上的重要性，而不應該僅著重高豐度地區的保護，因此建議採用本計畫所產出的「有石虎紀錄」的分布圖（圖 5），作為縣府短期（3-5 年）內評估土地利用對石虎影響時的重要參考藍圖。

例如，所有小於系統網格（4km²）的開發案，如所座落的網格為「有石虎紀錄」網格時，則應該要求提出適當的石虎保育措施，而如果座落在「無石虎紀錄」網格中時，則應於要求開發前於案場所在地點進行石虎活動狀況的補充性調查，以避免誤判，若發現確實有石虎的利用，則應要求提出適當的保育措施，以降低對定居個體之影響。為確實達到石虎保育的目標，前述保育措施的規劃與施作項目，都應針對該目標，擬定確實、可行的效益評估方案，持續監測並定期檢討修正。

如前所述，依圖 5 的分布現況來看，在苗栗淺山區域內的任何土地利用或開發都很難迴避石虎保育的議題，因此也建議需要針對個案的狀況，發展與石虎共存（甚至共榮）的有效方案。當然，短期間內如果苗栗淺山環境發生巨大的變遷，則需要重新檢視本報告中圖 5 的適用性。

二、本計畫執行之網格面積對部分分析而言不夠大，當後續再實施類似作業時，建議適度增加網格的尺寸。

首先，在全縣的石虎普查方面，本計畫之結果顯示 2km x 2km 的普查網格（亦即相機與相機的間距約為 2km）是不夠大的，因此產生同一個體會在不同網格被記錄到的現象，雖然案例只有 9 個（表 3），但仍然使得各個樣點在資料收集時的獨立性被質疑，也將會限縮普查資料的衍伸性應用，相當可惜。建議未來採用 3km x 3km 的網格（亦即相機與相機的間距約為 3km），作為定期（例如每 3-5 年一次）普查的網格面積。根據本計畫的結果顯示，將近七成（67%）的跨網格紀錄的距離是在 3km 以下，因此，3km x 3km 的網格的普查規劃將可大量減少跨網格的紀錄。同時，普查網格面積的擴大，代表可配置的網格數量將會減少，本計畫在苗栗縣海拔 1,000m 以下可配置 264 個 2km x 2km 的普查網格，若改為 3km x 3km 的網格，將仍然可以配置約 120 個網格，就全縣普查的目的而言，如此的網格數量所獲得的石虎分布模式的解析度，應該還是可以作為具科學性的經營管理藍圖。

當然，若將普查網格放大成 4km x 4km（亦即相機與相機的間距約為 4km），雖然幾乎排除了所有跨網格紀錄的可能性（在 9 個石虎跨網格紀錄的案例中，僅 1 例的距離超過 4km；表 3），而且在普查所需的人力與物力也預期可以更大幅度的降低，但在同樣的海拔範圍內，卻僅能配置 66 個網格，如此少的分區與樣點所產生結果的正確性與應用性，勢必會有所損失。

尤其已知苗栗石虎族群的豐度分布模式呈現明顯的高、低鑲嵌 (mosaic) 模式 (圖 6)，樣點選擇時的短距離差異，就有可能產生截然不同的分布結果。更且，因為與本計畫的網格面積差異太大，兩者所產生的結果是否能跨時間軸相互比較，將有明顯的疑慮，也可能無法據此判斷石虎族群數量的變遷模式，喪失普查的用意。因此，不建議比 3km x 3km 更大的普查網格面積。

其次，在密度估計方面，本計畫所產生的密度和數量估算，雖然與其他兩項研究 (Chen et al. 2016；賴玉菁等 2020，科技部「石虎如何與道路共存？石虎對破碎棲地的行為反應與路殺風險改善」) 的結果一致性很高，具應用性，但仍有待與其他密度估計方法 (例如：Random Encounter Method, Rowcliffe et al. 2008；Mark-recapture Method, Garshelis 1992) 進行比較，才能完全確認其品質。同時，低密度 (OI 值小於 1.0) 樣區的密度推估品質也仍待加強。建議後續可以採用與本計畫同樣的 6 個月 (2-7 月) 時間，再重複今年的族群估計工作，另外選擇同樣具 OI 值差異的樣區數個，以增加樣本數的方式，增加 SECR 方法的品質，而對於 OI 值小於 1.0 的樣區，建議使用更大面積的樣區 (例如：6km x 6km 以上的樣區面積)，可以因為增加所涵蓋的個體數量，而增加密度估計的精度 (Wearn & Glover-Kapfer 2017)。當然，其他適合低密度族群估計的方法，例如：搭配無線電追蹤的重複捕捉法，以及也是使用自動相機的隨機遭遇法 (Random Encounter Method) 等，也可以嘗試使用，以建立可信度更高的族群數量監測方法。

三、苗栗石虎族群密度與 OI 值間的相關方程式與數量之估計應具代表性，可作為後續保育策略擬定時之使用

以近年兩個在苗栗所進行的石虎活動範圍研究樣區檢測顯示，本計畫所產生之密度估計方程式 (密度估計值 = $0.1642 \times \text{平均 OI 值} + 0.1719$)，在經營管理的實務上可以運用，未來若有新的證據顯示其誤差，亦可透過科學方法調整。同時，本計畫結果也顯示，自動相機的豐度指標應該可以作為定期石虎數量估計的簡易作法，以確保能夠持續監測苗栗石虎族群量的增減趨勢，並在保育措施上採取必要的因應方案。

同時，前述方程式也可以應用在區域管理上。例如，苗栗縣若有大面積 ($> 4\text{km}^2$) 土地利用案提出時，可將該利用案基地套疊本計畫的 2km x 2km 網格，在獲得涵蓋範圍內的平均

OI 值後（請參考圖 9、圖 10 的作法），帶入前述方程式，則可產生基地所在位置的石虎密度及數量估計值。此估計值可供管理單位在擬定政策或做成決定時之參考。不過，此方程式因為是本計畫所產生的，具人力素質、設備條件和環境組成的獨特性，不宜在未經評估的情形下，運用在其他縣市的石虎保育工作上。

四、苗 128 線所經過區域是重要的低海拔生態系統，路殺記錄位置是重要的石虎通道，建議停止道路拓寬計畫。如需拓寬道路，應提出引導車流避免穿越石虎通道的方案（例如：關鍵路段高架）。

苗 128 縣道路殺點所在區域物種豐富度高，是重要的淺山生態系統，建議擬定社區參與式的環境管理機制（例如：生態給付方案），除完成淺山生態系統保育外，亦可嘗試利用社區共管機制討論當地自由犬隻的管理，減低石虎存活之壓力。

原有常見路殺記錄的位置，確為重要之石虎使用與道路穿越位置。不但會有定居個體，也會有擴散、播遷的移動個體利用。如有可能，建議停止道路拓寬計畫。如因道路使用之必需而須完成道路拓寬工程，建議不可使用道路圍籬和動物通道作為路殺改善計畫，以免切割定居個體重要的棲地，或阻斷移動個體重要的通道，甚至創造石虎的生態陷阱。建議在本路段可採用高架道路設計避免改變原有地形地貌，引導穿越車流使用高架道路不進入平面道路，以維持原有道路之最小干擾。若高架路面有其困難性，則建議考慮連接道路兩側的緩坡嶺線，創造平面道路上方的石虎及其他有生動物的空中跨越通道，使道路車流從創造的通道下穿越，不與石虎通道相交。不過因為路殺位置是重要的穿越通道，如果要採用空中跨越通道的方法減低道路的衝擊，則所創造之通道，需要模擬相同地形地貌與植生，形成一個連接道路兩端的延續嶺線，而不是一個簡單之水泥高架通道。同時，持續監測石虎及其他野生動物對此空中跨越道路的通道的使用情形，也是必要的工作，以持續強化跨越通道的條件與貢獻。

五、石虎會利用苗 29 鄉道的動物通道移動，使用的頻率依通道形式和啟用時間而有差異，但均偏低。建議進行個體追蹤，以瞭解區域內石虎的活動模式，並完成有效的石虎保育計畫。

本計畫結果顯示，苗 29 鄉道區域內之個體只有在有道路圍籬限制平面移動的狀態下，才會較高頻率的使用道路下方的通道。就 6 處監測時間較久的通道來看（表 11），石虎對大的水閘門使用頻率高於小的涵洞，啟用時間較久的通道使用的頻率也較高，似乎需要一些適應期，才會開始常態性、連續性的使用通道。至於 4 個 2021 年 6 月才新增監測的通道因為建置時間尚短，後續需持續觀察記錄石虎對這些通道的利用狀況。除此之外，資料顯示貓和石虎對不同通道的使用模式相當接近，顯示兩者在通道微環境的選擇條件上有高相似性（表 12）。但若是排除石虎和犬隻都少用的三個通道（1.5K、1.6K、1.8K），這兩種動物對其他三個通道的使用頻度則明顯呈現負相關（表 12）。

而形成這種現象的原因有以下兩種可能，其一是石虎和犬隻對通道類型或微環境條件的偏好不同，例如：石虎偏好且會高度使用的是水閘門，而犬隻則較喜好使用箱涵。其二，也可能是因為犬隻頻繁使用 2.0K 通道，而造成石虎少用，亦即出現「天敵迴避（predator avoidance）」現象。天敵迴避是一種當被掠食者（或被攻擊者）察覺到天敵的威脅時，所採取在活動時間或空間上的迴避行為；而察覺天敵存在所依賴的線索（cue）一般有：氣味、目擊和耳聞（Coss 2019）。由於，石虎和犬隻雖然都是全日活動型的動物，但前者明顯偏夜行性，而後者明顯偏日行性，在活動時間上原本就有所區隔，因此，本計畫所觀察到的通道使用差異（空間區隔）現象，最可能是由犬隻氣味所引發的。當然，也有可能這兩種原因同時都存在，也就是說：水閘門不是犬隻喜歡的通道類型（棲地偏好），而石虎少用 2.0K 箱涵通道是因為犬隻喜歡使用（天敵迴避）。

本計畫的觀察樣本不夠多，建議持續增加觀察樣本（水閘門、箱涵）的數量，才可能釐清石虎和犬隻對通道使用差異的成因。如果是因為棲地偏好，則後續為石虎所做的友善通道，都可以參考 1.0K、1.3K 的水閘門形式，且因為石虎喜歡使用、犬不喜歡使用，較不易形成石虎的生態陷阱。但如果是天敵迴避現象，則在後續石虎友善通道的設計上，除了仍然可以參考 1.0K、1.3K 的形式與構造外，在設計上還需要防範犬隻大量的使用。自由活動的犬隻對石虎的威脅除了直接的攻擊外，還會傳染疾病（例如：犬瘟熱病毒、犬小病毒、條蟲及蛔蟲）而降低石虎的存活率（Chen et al. 2019），因此必須受到重視。

至於石虎和犬隻都少用的通道，因為剛好都位於道路圍籬的中段、遠離圍籬兩端的位置，後續也應該把通道所在圍籬的相關位置，納入通道使用率的探討，以期更增加友善設施的效益。

其次，如果與日間休息（日棲）地點位於河岸的石虎個體比較，本地區的定居石虎使用通道穿越道路的頻度並不高，因為，日棲於河畔的石虎，幾乎每天入夜後（即上半夜）都需要穿越沿溪道路（例如苗 140 鄉道）前去覓食或活動，並在清晨之前（即下半夜）再度穿越道路回到溪畔休息，穿越道路的次數不但每夜都會發生，甚至每夜高達 2-4 次的穿越需求（科技部「石虎如何與道路共存？石虎對破碎棲地的行為反應與路殺風險改善」成果報告，2020）。不過，從苗 29 鄉道圍籬路段的定居個體使用通道的時機與方向來看，牠們幾乎都是於上半夜穿越通道向河岸移動、進入河灘地活動，之後再於下半夜或清晨時，穿越通道向陸地方移動。此一利用模式顯示這些個體的日棲位置應該並非位於河畔，而是在監測路段南方的農地、山林地景中（與前述苗 140 鄉道沿線定居石虎相反），牠們於夜間開始活動時，進入後龍溪南岸的河灘地獵捕覓食或做其他的活動。如果確實如此，以 1 隻石虎活動範圍有數百公頃來看，龍溪南岸的河灘地應該只是牠們活動範圍的一部分，甚至是一小部分，這也可以解釋為何這些在地的石虎個體，穿越通道的間隔時間會有數天之久。

不同的棲地利用模式，會影響區域個體的道路穿越模式，是動物友善通道設計成效的關鍵。依據現有通道監測資料來看，苗 29 鄉道圍籬路段區域內石虎個體的棲地利用模式，與本團隊在 140 縣道的無線電追蹤個體有所不同，道路穿越的頻率亦有不同，因此應該確認是否即為本區石虎活動的普遍模式。然此一活動模式需要對定居個體進行捕捉追蹤，才能確認並據以修正現有的友善設施。所幸，區域內主要定居個體 R29_LC02，於 2020/2/25-2020/5/14 期間因交通部公路總局執行之道路監測計畫，已完成個體追蹤。如果可以瞭解此一個體追蹤期間的定位點座標和時間，或有助於初步瞭解區域內個體的活動模式。不過，由於該追蹤計畫的執行單位為交通部公路總局，因此資料之取得有賴公部門間的協力互助才能完成，本計畫無法取得此一資料，因此無法進行任何更進一步的分析。可惜的是，由於 R29_LC02 可能已經不在本區活動了，過去的資訊或許幫助有限，因此，仍然建議應該要針對目前其他在地個體進行個體追蹤，以提供更有價值的資訊。

六、路段內石虎穿越頻繁且沒有特定位置。要減少苗 140 縣道的石虎路殺，有賴本路段夜間行車超速行為的管理。建議不要使用道路圍籬和動物通道，以免切割定居個體重要的棲地，或阻斷移動個體重要的廊道。

苗 140 縣道地形平緩，周邊農地與次生林夾雜，為重要之石虎棲地，區內個體持續穩定使用道路兩旁棲地，而且沒有特定的道路穿越位置。由於路殺調查樣點皆為歷年路殺記錄位置且接緊鄰縣道 140，因此所有調查樣點所記錄的石虎個體，穿越道路的機率極高。記錄個體中，R140_LC05 於 2019/8/21 已因車禍死亡，更顯示苗 140 縣道降低路殺的工作應加強執行。本區域之定居個體的棲地涵括陸域農田、丘陵次生林與河岸濱溪帶，因此建議不要使用道路圍籬和動物通道作為路殺改善計畫，以免切割定居個體重要的棲地，或阻斷移動個體重要的廊道。要快速且有效的降低路殺，應該還是有賴本路段夜間行車超速行為的管理。所幸本路段強化夜間超速取締已自 2020/1/1 公告，夜間車輛速限也從原來的 60km 降低到 50km。而苗 140 縣道 16k-25k 的區間測速工程亦已施作完成。自 2020 年的 2 月迄今，甚至沒有新的路殺案件發生，顯示這些作為，加上路旁景觀植物後退、路中間紐澤西護欄缺口加寬，確實可以有效減少石虎的路殺案件。然原規劃之 16k-25k 的區間測速，雖然工程已施作完成（工程工期為 2020/3/5~2020/6/30），原定於 2021/1/1 啟用，但目前因中央實施新度量衡制度，因此須待經濟部標準局完成檢測後才能啟用，至今仍未啟動，實為可惜。後續應繼續切實執行車速管理，以維持石虎路殺清零的難得成果。

不過，近來當地居民多次提案要求恢復夜間車速為 60km（苗栗縣道安會議紀錄），則帶來隱憂。根據 2021 年 10 月 21 日到 11 月 16 日之間，在苗 140 縣道上所做的車速監測紀錄（苗栗縣政府）顯示，在夜間石虎活動高峰（18:00-05:59）期間，目前車輛的超速仍然普遍，且以 60-89km 為主（圖 30）。如前所述，車速管理現況再加上道路設施的改善，應該是過去近兩年來石虎 0 路殺的主因，但如果夜間速限提高 10km，而夜間超速也同步增加到以 70-99km 為主，則石虎路殺非常可能再度出現，甚至頻繁的發生。建議若恢復夜間速限為 60km，則應該同時加強沿線的超速取締，以要求用路人的車速維持在 70km 以下。除了強化執法之外，也應該採取必要的預警措施，一但本道路沿線石虎車禍再次發生，就要即刻檢討此車速政策，甚至立即恢復夜間 50km 速限的規定。

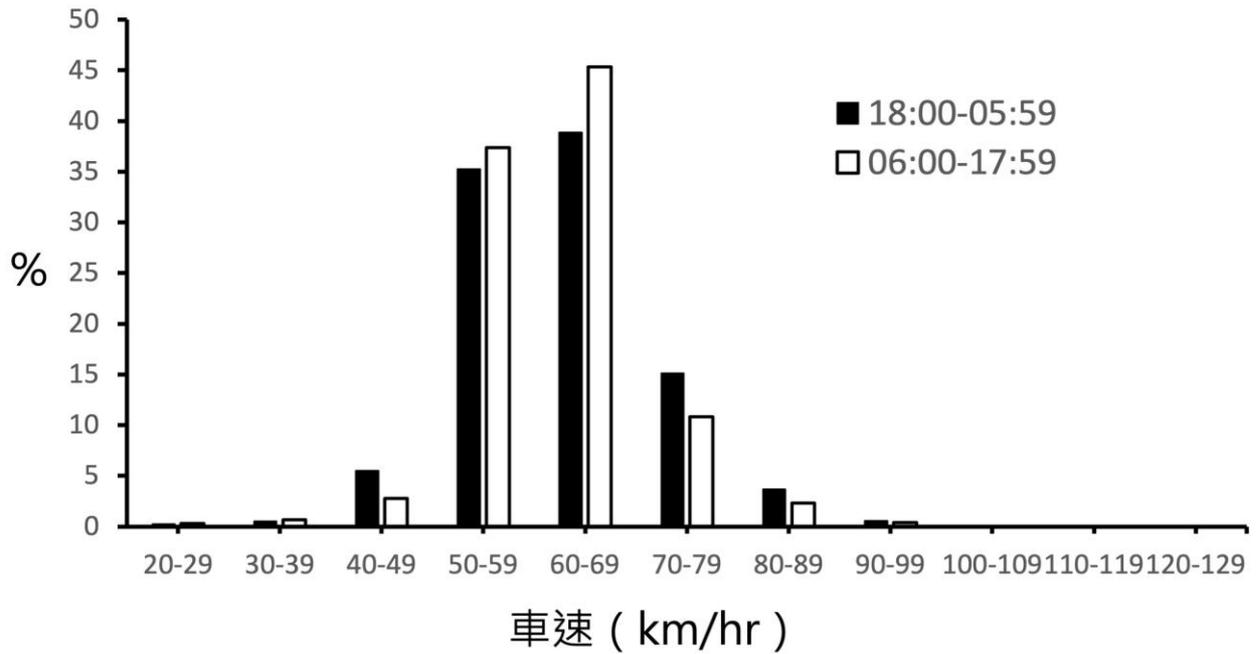


圖 30 苗 140 縣道行車車速之分布。苗栗縣政府提供。資料收集時間為 2021 年 10 月 21 日-11 月 16 日，總共紀錄 113,207 輛摩托車、汽車、客運、大貨車等各式車輛的行駛車速，其中 95% 為汽車。

七、道路的石虎友善設計應因地制宜，才能有效達成目標。

道路調查與監測結果顯示，友善設施之成效，會因區域之地形地貌、該道路之設計、棲地特質與土地利用，以及當地石虎之族群密度、石虎個體行為等，而有所不同，因此無法一概而論。所有道路之石虎友善設計，都需先對當地石虎的族群密度與行為模式，進行完整的調查，並分析道路周邊的地形特徵與石虎隊道路使用的型態後，設定清楚之目標，再依此一目標，完成可行之減輕措施規劃。同時，工程之設計需允許友善設施有調整之空間，完成後，必須針對友善設施所欲達成之目標進行實質的效益評估，並據以調整友善設施。

陸、 參考文獻

- Ancrenaz, M., Hearn, A.J., Ross, J., Sollmann, R., Wilting, A. (2012) Handbook for wildlife monitoring using camera-traps. BBEC II Secretariat c/o Natural Resources Office, Sabah, Malaysia.
- Andresen, L., Everatt, K.T., Somers, M.J. (2014) Use of site occupancy models for targeted monitoring of the cheetah. *Journal of Zoology*, 292: 212-220.
- Bashir, T., Bhattacharya, T., Poudyal, K., Sathyakumar, S., Qureshi, Q. (2013) Estimating leopard cat *Prionailurus bengalensis* densities using photographic captures and recaptures. *Wildlife Biology*. 19(4): 462-472.
- Berkel, T. (2014) Expedition field techniques, Camera trapping. Royal Geographical Society, London, United Kingdom.
- Borchers, D., 2012. A non-technical overview of spatially explicit capture–recapture models. *J Ornithol* 152, 435-444.
- Brodie, J., Giordano, A.J. (2012) Density of the Vulnerable Sunda clouded leopard *Neofelis diardi* in a protected area in Sabah, Malaysian Borneo. *Oryx*, 46: 427-430.
- Carbone, E., S. Christie, T. Coulson, N. Franklin, J. Ginsberg, M. Griffiths, J. Holden, K. Kawanishi, M.Kinnaird, R. Laidlaw, A. Lynam, D.W. Macdonald, D. Martyr, D. McDougal, L. Nath, T. O'Brien, J. Seidensticker, D. Smith, M. Sunquist, R. Tilson, and W.N.W. Shahrudin. 2001. The use of photographic rates to estimate densities of tigers and other cryptic mammals. *Animal Conservation* 4:75-79.
- Chen, C.-C., A.-M. Chang, T. Wada, M.-T. Chen, Y.-S. Tu. 2019. Distribution of Carnivore protoparvovirus 1 in free-living leopard cats (*Prionailurus bengalensis chinensis*) and its association with domestic carnivores in Taiwan. *PLoS One* 14(9): e0221990.
- Chen, M., Liang, Y., Kuo, C., Pei, J. (2016) Home ranges, movements and activity patterns of leopard cats *Prionailurus bengalensis* and threats to them in Taiwan. *Mammal Study*, 41: 77-86.
- Cheyne, S.M.&Macdonald,D.W. 2011:Wild felid diversity and activity patterns in Sabangau peat-swamp forest, Indonesian Borneo. - *Oryx* 45: 119-124.
- Coss, R.G. 2019. Predator avoidance: Mechanisms. In: Choe, J.C. (Ed.), *Encyclopedia of Animal Behavior*, (2nd ed.). vol. 4, pp. 283–291. Elsevier, AcademicPress.
- Dillon, A., Kelly, M.J. 2008. Ocelot home range, overlap and density: comparing radio telemetry with camera trapping. *Journal of Zoology*, 275: 391-398.

- Garshelis D.L. 1992. Mark-Recapture Density Estimation for Animals with Large Home Ranges. Page 1098-1111 In: McCullough D.R., Barrett R.H. (eds) Wildlife 2001: Populations. Springer, Dordrecht.
- Guillera-Arroita, G., B. J. T. Morgan, M. S. Ridout and M. Linkie. 2011. Species Occupancy Modeling for Detection Data Collected Along a Transect. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics* 16: 301–317.
- Harihar, A., Ghosh, M., Fernandes, M., Pandav, B. & Goyal, S.P. 2010: Use of photographic capture-recapture sampling to estimate density of Striped Hyena (*Hyaena hyaena*): implications for conservation. - *Mammalia* 74: 83-87.
- Jhala, Y.V., Qureshi, Q., Nayak, A.K. 2019. Status of tigers, co-predators and prey in India 2018. Summary Report (Dehradun, National Tiger Conservation Authority, Government of India, New Delhi & Wildlife Institute of India).
- Karanth, K.U. 1995: Estimating tiger *Panthera tigris* populations from camera-trapping data using capture-recapture models. - *Biological Conservation* 71: 333-338.
- MacKenzie, D. I., J. D. Nichols, G. B. Lachman, S. Droege, J. A. Royle and C. A. Langtimm. 2002. Estimating site occupancy rates when detection probability rates are less than one. *Ecology* 83:2248–2255
- MacKenzie, D. I., J. D. Nichols, J. E. Hines, M. G. Knutson and A. B. Franklin, 2003, Estimating site occupancy, colonization and local extinction probabilities when a species is detected imperfectly. *Ecology* 84: 2200-2207.
- MacKenzie, D.I., L.L. Bailey and J.D. Nichols. 2004. Investigating species co-occurrence patterns when species are detected imperfectly. *Journal of Animal Ecology* 73:546–555.
- McKelvey, K.S. & Pearson, D.E. (2001) Population estimation with sparse data: the role of estimators versus indices revisited. *Canadian Journal of Zoology* 79: 1754-1765.
- O'Brien, T.G., M.F. Kinnaird, and H.T. Wibisono. 2003. Crouching tigers, hidden prey: Sumatran tigers and prey populations in a tropical forest landscape. *Animal Conservation* 6:131-139.
- O'Connell, A. F. and L. L. Bailey. 2011. Inference for occupancy and occupancy dynamics. In: O'Connell, A. F., J. D. Nichols and K. U. Karanth (eds.), *Camera Traps in Animal Ecology Methods and Analyses*. New York: Springer. Pp. 191-206.
- Rich, L. N., M. J. Kelly, R. Sollmann, A. J. Noss, L. Maffei, R. L. Arispe, A. Paviolo, C. D. De Angelo, Y. E. Di Blanco, M. S. Di Bitetti. 2014. Comparing capture-recapture, mark-resight, and spatial mark-resight models for estimating puma densities via camera traps. *Journal of Mammalogy* 95(2): 382-391.
- Rowcliffe JM, Field J, Turvey, and ST. Carbone C. 2008. Estimating animal density using camera traps without the need for individual recognition. *Journal of Applied Ecology* 45:1228–1236.

- Rovero, F. and A. R. Marshall. 2009. Camera trapping photographic rate as an index of density in forest ungulates. *Journal of Applied Ecology* 46: 1011-1017.
- Royle, J A; A K Fuller, C Sutherland 2016. Spatial capture–recapture models allowing Markovian transience or dispersal. *Population Ecology*, 58, 53-62.
- Shannon G, Lewis JS, Gerber BD. 2014. Recommended survey designs for occupancy modelling using motion-activated cameras: insights from empirical wildlife data. *PeerJ* 2: e532.
- Srivathsa, A., Parameshwaran, R., Sharma, S., Karanth, K.U. (2015) Estimating population sizes of leopard cats in the Western Ghats using camera surveys. *Journal of Mammalogy*, 96: 742-750.
- USGS, US Department of the Interior. 2005. Occupancy Models to study Wildlife. USGS Fact Sheet 2005-3096.
- USGS, US Department of the Interior. 2017 Spatial capture-recapture models to estimate abundance and density of animal populations. USGS project 2017.
- Wearn, O.R., Glover-Kapfer, P. 2017. Camera-trapping for conservation: a guide to best-practices. WWF Conservation Technology Series 1(1). WWF-UK, Woking, United Kingdom.
- 中興工程顧問公司。2021。烏溪鳥嘴潭人工湖-湖區工程設計及施工諮詢期末報告。經濟部水利署中區水資源局（計畫編號：D29-110-001-1）。
- 古馥宇。2018。台灣水鹿（*Rusa unicolor swinhoii*）之相對族群量指標開發與評估。國立屏東科技大學碩士論文。
- 呂佳家。2011。苗栗通霄淺山地區自由活動家貓之活動範圍與活動模式。屏東科技大學野生動物保育研究所碩士論文。70頁。
- 林良恭。2015。重要石虎棲地保育評析(1/2)。行政院農業委員會林務局研究報告。
- 林良恭。2016。重要石虎棲地保育評析(2/2)。行政院農業委員會林務局研究報告。
- 姜博仁。2019。苗栗縣大尺度之路殺風險評估暨縣道140改善建議分析。苗栗縣政府研究報告。
- 梁又仁。2005。梅蘭林道地區水鹿（*Cervus unicolor swinhoei*）與山羌（*Muntiacus reevesi micrurus*）食物品質與族群的季節變化。國立屏東科技大學碩士論文，90頁。
- 黃于玻、黃榮堯。2011。營運階段國道永續發展環境復育改善研究計畫。行政院交通部臺灣區國道高速公路局研究報告。
- 黃于玻、劉威廷、蘇維翎。2014。國道沿線生態課題調查與友善措施評估計畫。行政院交通部臺灣區國道高速公路局研究報告。
- 黃于玻、劉威廷、蘇維翎。2016。國道生態資源調查暨淺山環境復育研究計畫。行政院交通部臺灣區國道高速公路局研究報告。

- 裴家騏。2004。墾丁國家公園較大型哺乳類動物的現況及保育。台灣林業科學 19(3)：199-214。
- 裴家騏。2014。苗栗地區社區參與石虎保育工作推動計畫。行政院農業委員會林務局保育研究計畫系列 100-02-08-02。115 頁。
- 裴家騏。2020。石虎如何與道路共存？石虎對破碎棲地的行為反應與路殺風險改善。科技部補助研究計畫 MOST 108-2313-B-020-019-。
- 裴家騏和姜博仁。2004。大武山自然保留區和周邊地區雲豹及其他中大型哺乳動物之現況與保育研究（三）。行政院農委會林務局保育研究 92-02 號, 行政院農委會林務局, 臺北, 臺灣。
- 裴家騏、陳美汀。2008。新竹、苗栗之淺山地區小型食肉目動物之現況與保育研究（3/3）。行政院農業委員會林務局保育研究系列 96-01 號, 行政院農業委員會林務局, 台北, 台灣。
- 裴家騏、陳朝圳、吳守從、滕民強。1997。利用自動照相設備與地理資訊系統研究森林野生動物族群之空間分布。中華林學季刊 30 (3)：279-289。
- 裴家騏、盧道杰、黃美秀、趙芝良。2014。苗栗地區社區參與石虎保育工作推動計畫。行政院農業委員會林務局新竹林管處研究報告。
- 劉彥芳。2003。南仁山地區赤腹松鼠（*Callosciurus erythraeus*）族群和棲地利用之研究。國立屏東科技大學碩士論文，48 頁。