

# 重要石虎棲地保育評析(2/2)

## Assessment of the Critical Habitat of Leopard Cat (*Prionailurus bengalensis*) (2/2)



計畫主持人：林良恭

研究人員：姜博仁、王豫煌

執行機關：東海大學熱帶生態學與生物多樣性研究中心

# 目錄

目錄 .....	I
圖次 .....	IV
表次 .....	V
摘要 .....	VI
ABSTRACT .....	VIII
一、 前言 .....	1
二、 前期成果 .....	4
三、 實施方法與步驟 .....	7
(一) 彙整並建置最新石虎出現點位資料庫 .....	7
(二) 石虎現地調查 .....	7
(三) 石虎重要棲地分析 .....	9
1. MAXENT 石虎適合棲地分析 .....	9
2. 核心族群與廊道分析 .....	10
(四) 召開 1 次專家會議統整討論 .....	10
(五) 研擬石虎重要棲地定期更新、分布調查監測之長期規劃 .....	10
四、 石虎分布現況 .....	12
(一). 石虎現地補充調查 .....	12
1. 苗栗新竹交界淺山區域 .....	12
2. 苗栗縣東北區台 3 線兩側過往調查無石虎紀錄之區域 .....	12
3. 苗栗公館鄉 .....	12
4. 苗栗縣後龍鎮海岸防風林 .....	12
5. 台中市太平區與霧峰區淺山 .....	15
6. 雲林縣林內鄉 .....	15
7. 雲林縣古坑鄉 .....	15
8. 嘉義縣淺山 .....	15
9. 嘉義縣台南市鹿寮溪水庫 .....	15

(二). 石虎最新分布現況.....	16
1. 前期計畫後新增之石虎紀錄.....	16
2. 民眾通報有石虎掠食養禽戶飼養家禽之監測確認.....	16
3. 石虎分布點現況彙整.....	17
<b>五、 石虎重要棲地與廊道分析.....</b>	<b>21</b>
(一) MAXENT 分析預測.....	21
1. 適合棲地分佈預測.....	21
2. 石虎棲地環境特徵.....	28
(1) 地形.....	28
(2) 植被與土地利用.....	28
(3) 人口密度與人工建物.....	29
(4) 道路.....	29
(二) 石虎可利用之適合棲地.....	30
(三) 石虎重要棲地.....	34
(四) 石虎棲地廊道分析.....	36
<b>六、 石虎族群數量與重要棲地保育對策.....</b>	<b>41</b>
(一) 棲地面積與石虎族群數量.....	41
(二) 石虎族群變動.....	42
(三) 重要棲地保育對策.....	42
1. 族群角度.....	42
2. 棲地角度.....	43
(四) 石虎重要棲地定期更新與公告.....	45
<b>七、 結論與石虎保育經營管理對策建議.....</b>	<b>47</b>
(一) 結論.....	47
(二) 石虎重要棲地保育與經營管理對策.....	48
1. 石虎保護區劃設與國土計畫法.....	48
2. 棲地保育與經營管理.....	49
3. 廊道保育與改善.....	50

4. 持續監測並定期更新與公告石虎重要棲地.....	51
5. 加強石虎保育研究.....	51
6. 石虎保育與生態教育中心.....	51
(三) 石虎重要棲地後續保育研究建議.....	52
<b>八、 參考文獻.....</b>	<b>54</b>
<b>附錄一、MAXENT 環境因子圖層產生方法 .....</b>	<b>57</b>
1. 地形.....	57
2. 森林覆蓋率.....	60
3. 土地利用.....	60
4. 村里人口密度.....	62
5. 道路系統.....	62
<b>附錄二、專家會議出席人員以及會議結論 .....</b>	<b>64</b>
<b>附錄三、MAXENT 分析之因子反應曲線 (RESPONSE CURVE) .....</b>	<b>66</b>
<b>附錄四、MAXENT 分析之因子貢獻度.....</b>	<b>67</b>

## 圖次

圖 1、1937 年高砂族調查書中描述於 1933 年調查山貓（石虎）狩獵價值總額（円），以圓圈大小與金額成比例顯示，中間白色區域為海拔 1,500M 以上山區，圓圈位置為部落位置，並非實際狩獵到山貓（石虎）之位置，狩獵石虎區域應為該部落傳統狩獵領域，且僅針對當時之『高砂族』部落進行調查.....	5
圖 2、前期分析之石虎重要棲地，包括關鍵棲地（紅色區域）與潛在區域（紫色區域），以及石虎可能棲地（綠色區域）(姜博仁等 2015).....	8
圖 3、2015 年補充調查 15 處自動相機點與 2016 年補充調查 62 處自動相機點	13
圖 4、左圖為近 20 年石虎出現地點（藍色圓點），紅色問號表示無座標之紀錄，只能呈現大約地點，右圖為將出現地點套用 3500M 緩衝範圍（藍色區域）。底圖為海拔，綠到棕到白為海拔由低到高.....	19
圖 5、450 處石虎出現點位之海拔分布，每一長條為 100M 海拔帶.....	20
圖 6、執行 100 次 MAXENT，RECEIVER OPERATING CHARACTERISTIC (ROC) 曲線.....	21
圖 7、執行 100 次 MAXENT，石虎出現機率平均值.....	22
圖 8、石虎適合棲地分佈範圍（綠色），依照 MAXIMUM TRAINING SENSITIVITY PLUS SPECIFICITY 準則。.....	25
圖 9、石虎適合棲地分佈範圍（綠色），依照 BALANCE TRAINING OMISSION, PREDICTED AREA AND THRESHOLD VALUE 準則。.....	26
圖 10、石虎適合棲地分佈範圍（綠色）套疊石虎出現樣點（紅點）。.....	27
圖 11、扣除人工建物與湖泊水庫不適合區域，石虎可利用之適合棲地分佈範圍。.....	32
圖 12、石虎可利用之適合棲地分佈範圍與石虎出現點.....	33
圖 13、石虎棲地分布，包括重要棲地（紅色區域）與潛在棲地（紫色區域），以及石虎可能棲地（綠色區域）.....	35
圖 14、石虎中高適合度(出現機率 $\geq 0.5$ )棲地分布.....	38
圖 15、石虎廊道分析主要族群位置.....	39
圖 16、石虎主要族群(綠色)廊道分析，紅色系表示阻力越小，藍色系則反之..	40

## 表次

表 1、1936 年高砂族調查書中於 1933 年調查山貓（石虎）狩獵販售金額，依照各州、廳彙整.....	4
表 2、2016 年補充調查 62 處自動相機座標(TWD97 座標系統).....	14
表 3、石虎出現紀錄資料來源統整 .....	18
表 4、台灣與其他國家之石虎密度估算 .....	41

## 摘要

回顧台灣石虎 (*Prionailurus bengalensis*) 分布文獻，台灣石虎過往分布全島海拔 1500m 以下山區，由於美麗的皮毛，持續面臨很高的皮毛交易與狩獵壓力，日治時期狩獵調查曾有一年近千隻的紀錄。推測於 1960 年代之後，面臨低海拔淺山棲地快速消失、及狩獵壓力以及中毒死亡，開始在台灣各地區陸續減少然後區域性滅絕，現今僅存苗栗、台中、南投與彰化四縣市淺山地區仍有石虎出沒，面臨(1)嚴重的棲地破碎化與消失以及(2)盜獵毒殺導致高死亡率兩大威脅，族群呈現逐年減少與分布萎縮的趨勢。如果保護區僅能在國有林班地設立，私有地石虎棲地一樣面臨開發壓力，而在盜獵與毒殺部分，如無具體保護區巡守以及法律執行作為來降低人為死亡率的話，石虎的族群恐怕一樣會繼續萎縮，然後消失，步上台灣雲豹 (*Neofelis nebulosa*) 絕種的後塵。

針對石虎主要棲地多是私有地而不易納入石虎保護區來保護棲地的困難，本計劃參考美國 Endangered Species Act 中的 critical habitat (關鍵棲地) 作法，進行瀕臨絕種保育類石虎劃設重要棲地分析。蒐集 450 個有座標的石虎出現地點，主要為自動照相機調查記錄，亦包含部分路殺、救傷與目擊記錄，涵蓋海拔範圍 0-1,427m，而 95.1% 都在海拔 800m 以下。將石虎分布點加上 3,500m (最大活動範圍直徑) 緩衝範圍為石虎出現範圍，透過 MAXENT 進行分析，產出石虎可利用之適合棲地範圍，與石虎分布範圍交集後產生僅包含石虎適合棲地的已知石虎分布區，也就是重要棲地 (面積 2,140km<sup>2</sup>)，並進而產出周遭可能還有石虎或可擴散利用的潛在棲地範圍 (面積 1,313km<sup>2</sup>)，兩者總計 3,453km<sup>2</sup>。石虎分布棲地範圍與過往廣泛分布比較，至少消失了 80% 以上。依照 MAXENT 分析，歸納低海拔連綿的和緩丘陵地、不太陡峭或海拔高低變化不會太大、具有一定森林覆蓋、鑲嵌的環境提供石虎多樣化與豐富的獵物，且道路密度不能太高，為目前台灣石虎主要出現的環境。

依據苗栗通宵的石虎密度估算值，推算重要棲地 (已知石虎分布區) 約有 468 - 669 隻石虎，但可能造成高估的因素包括假設石虎全區密度均質且是套用通宵地區相對較高密度數值、棲地連續不破碎且分析時有涵蓋周遭 178m 可能

非適合棲地的緩衝區域，而數量估算亦非有效繁殖族群，因此重要棲地內的石虎族群應低於最小可存活族群量建議範圍 500-1,000 隻，而現今石虎分布亦呈現逐漸縮減的趨勢，石虎族群很有可能正處於逐漸減少的處境。現階段保育目標應優先降低石虎遭盜獵與毒殺之死亡率，加強棲地保育與改善廊道，連接不同區塊族群，讓石虎族群恢復成長趨勢，並可以逐漸擴展到周遭潛在棲地都有石虎族群，假設在總計 3,453 km<sup>2</sup> 的石虎重要與潛在棲地中都能恢復有石虎分布，推測可以容納至少 755 - 1,079 隻石虎存活，或可避免石虎陷入滅絕漩渦。

根據棲地分析結果以及分布特性，以及關鍵棲地分析，提出族群與棲地兩種角度切入的石虎經營管理與保育策略供參考，後續應針對這些策略與需要加強部份，持續進行相關保育行動、調查監測與試驗研究，了解關鍵因子，方能進行有效的石虎保育工作。

關鍵字：石虎重要棲地、關鍵棲地、潛在棲地、族群數量、石虎保育



## ABSTRACT

Leopard cats (*Prionailurus bengalensis*) were once widely distributed throughout Taiwan at altitudes below 1,500m. Due to beautiful pelt, leopard cats experienced high pressure of hunting for pelt and were once documented nearly 1,000 leopard cats hunted in a year during the Japanese Colonial Period. It is suspected that the population started to decrease and extirpated in various areas after 1960s because of loss of habitat and over hunting. Now leopard cats occur only in lowlands of Miaoli, Taichung, Chunghua, and Nantou. Habitat fragmentation and loss plus the high anthropogenous mortality by hunting and poisoning are the 2 key factors threatening leopard cat population. Leopard cat population is decreasing and distribution range is shrinking. It is likely to become extinct if no further conservation actions are taken, particularly protection in private lands and reducing anthropogenous mortality.

Since leopard cat habitat occurs mostly in private lands, this project conducted preliminary analysis of critical habitats of leopard cats following the concepts of critical habitats from the U.S. Endangered Species Act. Total 450 leopard cat occurrence locations were collected. Most were from camera trapping with some from road kills, rescue, and sighting. Altitude ranges 0-1,427m with 95.1% below 800m. MAXENT was used to predict leopard cat suitable habitat. Areas of suitable habitat within 3,500m buffer of the leopard cat occurrence localities were the current known range of leopard cats and defined as critical habitat. The area of critical habitat is 2,140km<sup>2</sup>. The adjacent potential critical habitat is 1,313km<sup>2</sup>. The total area (leopard cat important habitat, LCIH), is 3,453 km<sup>2</sup>. Based on the MAXENT analysis results, the major leopard cat habitats are lowland gentle hills at altitudes lower than 1,500m with major characteristics of lower altitude changes, certain forest cover, some degree of mosaic landscapes providing more prey, and not too high density of roads.

The number of leopard cats was estimated to be between 449 and 662 based on the density estimate from radio tracking and camera trapping data in Miaoli Tunghsiao. This may be higher than the actual number as densities were assumed to be even and the habitat was continuous. In addition, density in Tunghsiao was likely higher than the other areas. The effective population size is likely even lower and may not meet the minimum viable population requirement. Investigations of leopard cat

populations in the potential critical habitats is urgently needed to confirm their occurrence. The current conservation goal is to turn the current leopard cat population into growing and capable of disperse to adjacent potential critical habitats. Thus, at least 755 – 1,079 leopard cats could survive in the 3,453 km<sup>2</sup> LCIH to avoid extinction vortex.

Management and conservation strategies were proposed based on the habitat analysis and current distribution in the aspects of population and habitat. Future researches and actions should be conducted following these suggestions to understand the critical factors so that conservation of leopard cats could be effective.

Keywords: Leopard cat important habitat, critical habitat, potential critical habitat, population size, leopard cat conservation

## 一、前言

石虎 (*Prionailurus bengalensis*) 於生態系食物鏈中屬於頂層的消費者，有極重要的生態與保育價值，為健全生態系之指標物種。過去在台灣普遍分布於全島低海拔山區(Kano 1929, 1930, 陳兼善 1956)，近年記錄更僅只於苗栗縣、台中市、南投縣仍有記錄，10~20 年前仍有石虎記錄的嘉義縣與台南縣已多年不再有任何石虎記錄，顯示此物種的分布範圍逐年縮小，族群日趨危急。行政院農業委員會於 1989 年將石虎公告為『珍貴稀有』保育類野生動物，於 2008 年再將石虎從原先之『珍貴稀有』保育類等級提升為第一級『瀕臨絕種』保育類。

然而石虎主要分布與利用棲地以低海拔淺山地區為主，並且相當靠近人類活動與居住地區，特別是農地與森林鑲嵌的環境，由於此種環境接近住家，加上附近環境天然，觀光業發展與農地買賣對石虎的棲地形成巨大的開發與買賣壓力，石虎棲地越來越壓縮與破碎化(裴家騏和陳美汀 2008)。現有保護區系統多集中於中高海拔山區，並非石虎主要棲地(Chiang 2007, 裴家騏和陳美汀 2008)，顯對石虎之保護相當不足。

新竹林區管理處於 2014 年委託屏東科技大學野生動物保育研究所裴家騏教授針對苗栗地區劃設石虎野生動物重要棲息環境進行相關工作。然而此計畫主要針對現有台灣石虎主要分布地區的苗栗地區進行劃設評估，尚未考量台灣石虎其他地區之族群，以石虎目前瀕臨絕種族群現況、面臨棲地消失威脅，每一個現有重要分布區域都應加以評估其保護與經營管理，另外法定保護區之劃設，私有地要納入法定保護區有極大之難度，但石虎主要之分布與棲息環境卻又多數屬於私有地，因此石虎保護區之努力，實應有不同之執行方式。國際鳥盟 (BirdLife International) 於 1980 年代中期提出「重要野鳥棲地」(Important Bird Areas, 簡稱 IBAs) 的概念，目的是保護全球對鳥類保育有關鍵性意義的地點。歐盟甚至規定，將國際鳥盟選出的 IBA，條列在歐盟的野生鳥類保育條款中，列為特殊保護區看待。1989 年在歐洲地區首創 IBA 計畫，目前已有兩千多個 IBA 據點。這些 IBA 遍佈歐洲、亞洲、非洲及美洲地區，台灣也於 1999 年由中華民國野鳥學會啟動，在農委會的協助下，將 IBA 的觀念引進國內，陸續完成台灣 59 處重要野鳥棲地 IBA 之劃設(社團法人中華民國野鳥學會 2008)。依 IBA 國際共用的劃設準則，共區分為四大類 (同一處 IBA 被劃設的準則可能多於一類)：

A1 準則：保護對象為全球性受威脅鳥種 (Globally Threatened Species)。

A2 準則：保護對象為侷限分布鳥種 (Restricted-range Species)。

A3 準則：保護對象為特定生態群系 (Biome-restricted Assemblages)。

A4 準則：保護對象為群聚性鳥種 (Congregations)，如大量過境或度冬的候鳥。

然而 IBA 準則是針對生態系或以鳥類群聚的角度去劃設，並非針對單一物種，以此石虎關鍵棲地的劃設準則，雖可參照民間劃設精神，但需針對瀕臨絕種物種的生態與永續存活來考量。

美國瀕危物種保育法（Endanger Species Act, ESA）中，針對瀕危物種所劃設的『關鍵棲地』（critical habitat），是針對受脅或瀕危物種所劃設公告，指的是『具有保育該物種基礎必要特徵而可能需要特殊管理與保育之地理區』，可以是該物種有分布之區域，但對於該物種恢復族群有其必要性之時，亦可將目前無該物種分布之區域劃設為關鍵棲地。ESA 關鍵棲地，並非法定之保護區，因此即使是私人擁有之土地亦可劃設納入關鍵棲地，其法律上僅對在該關鍵棲地上之任何有可能影響瀕危物種之行為且為聯邦所執行、聯邦預算或需聯邦政府核可，規定需與聯邦政府主管野生動物保育之機關進行諮詢，以減輕對瀕危物種之衝擊。雖然並未對劃設為瀕危物種關鍵棲地之私人土地上開發有任何限制，但大面積之伐木、採礦或開發行為，通常需要有聯邦政府之核准，因此亦必須遵守關鍵棲地相關法律規定，與主管野生動物保育機關進行諮詢，以降低對瀕危物種之影響。透過公告瀕危物種關鍵棲地的方式，且可以納入私人土地，僅規範與聯邦政府有關之開發行為，達到保育瀕危物種與兼顧私人地主權益的雙贏局面。美國瀕危物種保育法（Endanger Species Act, ESA）中，針對瀕危物種所劃設的『關鍵棲地』（critical habitat），最接近本計劃擬劃設的石虎關鍵棲地的概念。因台灣目前法律並無類似之設計與規範，因此，本計劃擬以重要野鳥棲地 IBA 的民間劃設精神，參考美國瀕危物種保育法（Endanger Species Act）中，針對瀕危物種所劃設的『關鍵棲地』（critical habitat）方式，經由專家學者會議討論，劃設石虎關鍵棲地，雖然不具有美國瀕危物種保育法（Endanger Species Act）中，針對瀕危物種所劃設的『關鍵棲地』的法律強制性，但卻可以提供作為未來任何於這些石虎關鍵棲地內之開發，相關生態影響評估應當加以納入對石虎衝擊之參考與考量，以減輕對石虎族群之影響，提供另外一層對石虎保育之幫助，並期待未來台灣野生動物保育法，能夠針對非保護區之『關鍵棲地』保育方式，進行修法的考量。

前期石虎重要棲地保育評析(1/2) (姜博仁等 2015)已經彙整相關石虎分布點，經過專家會議討論，完成石虎重要棲地階層佈局，並進行初步棲地分析，發現仍有許多地區應有石虎但是缺少調查資料，因此無法納入石虎關鍵棲地範圍，或者部分地區曾有石虎但已經多年未再紀錄，該區石虎族群現況不明（例如台南鹿寮水庫、台中大肚山等等）。前期計畫的快速評估，急需在缺少調查資料地區確認石虎現況，進行更全面的石虎分布資料收集，然後據以分析棲地，完整呈現石虎分布區域與關鍵棲地範圍，將此重要基礎資訊提供作為主管機關國土規劃與石虎保育所用。

本計劃目的為：

1. 彙整新的石虎出現資料，包括路殺與其他調查計畫資料。
2. 於第一期計畫發現之石虎資料缺乏地區，進行石虎現地調查，以齊備最新之石虎分布區。
3. 彙整所有石虎分布點以及本案調查資料，進行石虎重要棲地（包含關鍵棲地與潛在棲地）以及石虎可能棲地分析，提供作為範圍劃定資訊。
4. 研擬石虎重要棲地定期更新與監測之長期規劃以及評估相關執行之方式。
5. 召開 1 次專家會議，確認石虎重要棲地範圍，討論呈現與公告方式以及後續更新與監測方式，審訂研擬之石虎棲地相關保育建議，作為保育主管機關公告，進行石虎保育與國土規劃參考。

## 二、前期成果

前期石虎重要棲地保育評析(1/2)執行計畫(姜博仁等 2015)，已回顧台灣石虎 (*Prionailurus bengalensis*) 分布文獻，發現台灣石虎過往分布全島海拔 1500m 以下山區，由於美麗的皮毛，持續面臨很高的皮毛交易與狩獵壓力，日治時期狩獵調查(台灣總督府警務局理蕃課 1937)曾有一年販售山貓(石虎)價值總計 1,153 元的紀錄<sup>1</sup>，而根據在 1936 年『臺中州概觀』一書中描述東勢街上石虎皮每張 1.5 元(臺中州役所 1936)，若以當時約略毛皮價格來估算隻數，當年狩獵數量可能達 700~800 隻石虎，但實際上當時部落販售價值可能未達市場終端販售之毛皮價格，狩獵總隻數可能更高，這些被狩獵之石虎，分散全台各地山區原住民部落(圖 1、表 1)，而根據 1936 年 8 月 25 日臺灣日日新報，報導一則『竹山庄勞水坑人，欲捕山貓墜崖斃命』新聞，顯示不只是當時所統計之高山原住民(高砂族)，平地淺山應也有不小之山貓(石虎)狩獵壓力，可能都對區域性石虎族群有一定的衝擊與影響。因此，日治時期石虎仍然分布全島各地，但面臨相當大之狩獵壓力。推測於 1960 年代之後，在經濟發展的高強度開發下，石虎族群面臨低海拔淺山棲地快速消失、狩獵壓力以及滅鼠或農藥使用導致之中毒死亡，開始在台灣各地區陸續減少，在 1986-88 年的山產店調查中，中間商皆認為石虎很少，減少程度高居一、二位(王穎 1988)，當時石虎族群很有可能已經正在快速減少甚或區域性滅絕，2015 年調查僅苗栗、台中與南投三縣市淺山地區仍有石虎出沒(姜博仁等 2015)，石虎族群面臨(1)嚴重的棲地破碎化與消失以及(2)盜獵毒殺導致高死亡率兩大威脅，族群呈現逐年減少與分布萎縮的趨勢。如果保護區僅能在國有林班地設立，私有地石虎棲地一樣面臨開發壓力，而在盜獵與毒殺部分，如無具體保護區巡守以及法律執行作為來降低人為死亡率的話，石虎的族群恐怕一樣會繼續萎縮，然後消失，步上台灣雲豹 (*Neofelis nebulosa*) 絕種的後塵(Chiang et al. 2015)。

表 1、1936 年高砂族調查書中於 1933 年調查山貓(石虎)狩獵販售金額，依照各州、廳彙整

州、廳	地點	山貓(元)	州、廳	地點	山貓(元)
臺北州	蘇澳郡	128	高雄州	旗山郡	53
	羅東郡	35		屏東郡	12
	文山郡	35		潮州郡	26
新竹州	大溪郡	59		恆春郡	21
	新竹郡	7	臺東廳	大武支廳	7
	竹東郡	11		臺東支廳	4
	竹南郡	4		里壠支廳	153
	大湖郡	77	花蓮港廳	玉里支廳	85
臺中州	東勢郡	5		鳳林支廳	55
	能高郡	46	花蓮支廳	62	
	新高郡	52	研海支廳	216	

<sup>1</sup> 前期報告(姜博仁等 2015)誤植為隻數，總計應為當時幣值 1153 元，非 1153 隻，特此更正。

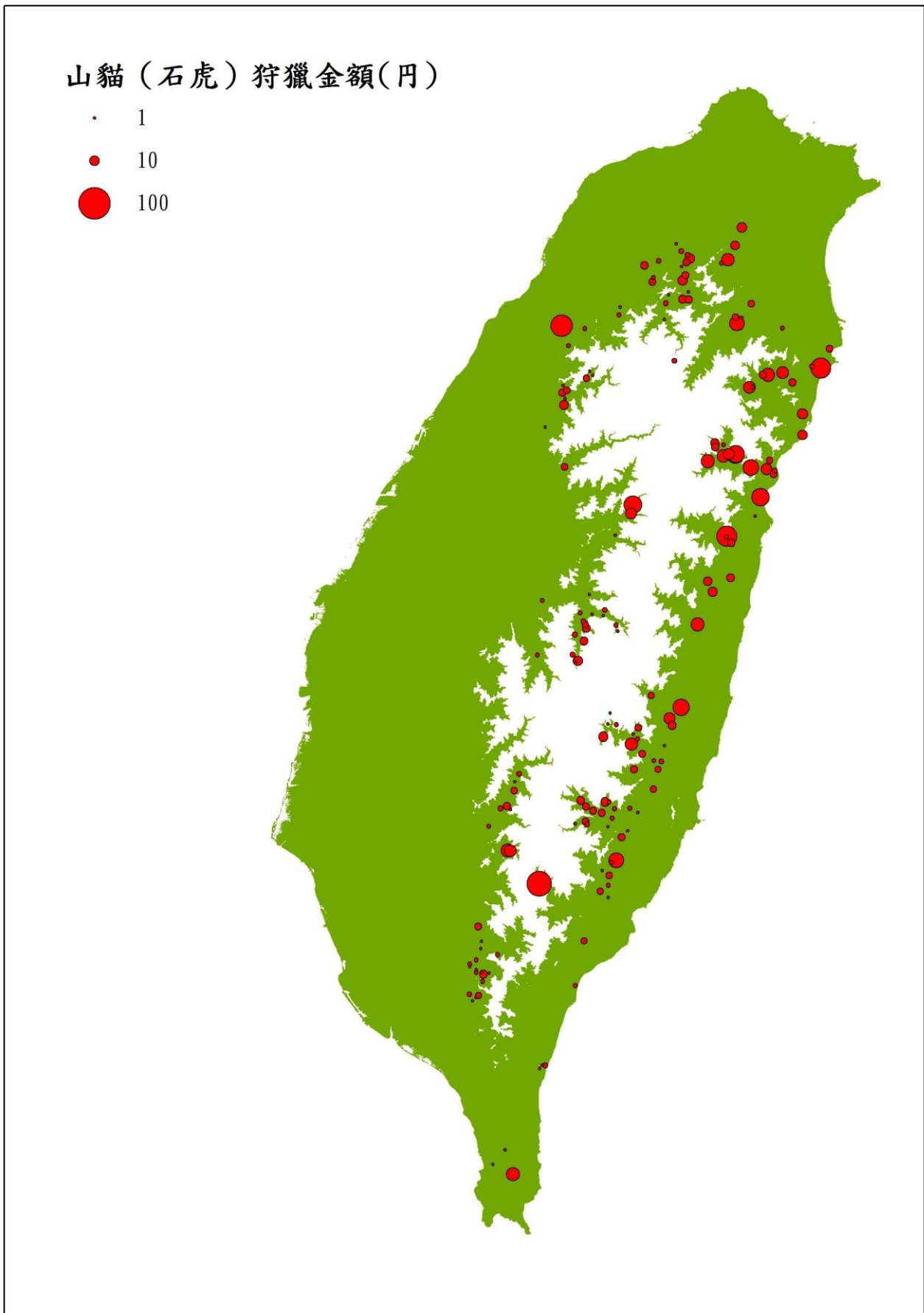


圖 1、1937 年高砂族調查書中描述於 1933 年調查山貓（石虎）狩獵價值總額（円），以圓圈大小與金額成比例顯示，中間白色區域為海拔 1,500m 以上山區，圓圈位置為部落位置，並非實際狩獵到山貓（石虎）之位置，狩獵石虎區域應為該部落傳統狩獵領域，且僅針對當時之『高砂族』部落進行調查

針對石虎主要棲地多是私有地而不易納入石虎保護區來保護棲地的困難，前期石虎重要棲地保育評析(1/2)計劃(姜博仁等 2015)參考美國 Endangered Species Act 中的 critical habitat (關鍵棲地)作法，進行瀕臨絕種保育類石虎劃設關鍵棲地前期分析。總共進行 3 次專家會議，討論劃設與分析方式，將石虎棲地階層布局定義為石虎重要棲地與石虎可能棲地，其中石虎重要棲地包括『關鍵棲地』以及『潛在棲地』，關鍵棲地即現有石虎分布區，潛在棲地為相鄰關鍵棲地，目前因缺乏調查而無石虎發現記錄，但很有可能還有石虎分布或可作為既有石虎族群成長往外擴散的棲地，石虎可能棲地則為石虎重要棲地之外，適合石虎生存的棲地。

蒐集 227 個有座標的石虎出現地點，主要為自動照相機調查記錄，亦包含部分路殺、救傷與目擊記錄，涵蓋海拔範圍 0-1,427m，僅有一筆超過海拔 1,000m，而 92.5%都在海拔 600m 以下。透過石虎分布點加上 3,500m (最大活動範圍直徑) 緩衝範圍之後的區域，定義為石虎出現範圍，但這亦納入了不適合棲地。因此，透過 MAXENT 進行分析，產出石虎可利用之適合棲地，與石虎分布範圍交集後產生僅包含石虎適合棲地的已知石虎分布區，也就是關鍵棲地 (面積 1,688km<sup>2</sup>)，並繼而產出潛在棲地 (面積 1,517km<sup>2</sup>)，總計 3,206 km<sup>2</sup> 的石虎重要棲地。依照 MAXENT 分析，歸納低海拔連綿的和緩丘陵地、不太陡峭或海拔高低變化不會太大、具有一定森林覆蓋、鑲嵌的環境提供石虎多樣化與豐富的獵物，且道路密度不能太高，為目前台灣石虎主要出現的環境。

依據苗栗通宵的石虎密度估算值，推算關鍵棲地 (已知石虎分布區) 約有 354 – 524 隻石虎，但可能造成高估的因素包括假設石虎全區密度均質與棲地連續，且涵蓋周遭 178m 可能非適合棲地的緩衝區域，但通宵地區的石虎卻是相對較高密度，而數量估算亦非有效繁殖族群，因此關鍵棲地內的石虎族群應低於最小可存活族群量建議範圍 500-1,000 隻，而現今石虎分布亦呈現逐漸縮減的趨勢，石虎族群很有可能正處於逐漸減少的處境。部分潛在棲地區域應該有石虎，但因為缺少調查，無法確認而未納入分布區面積基底，建議應儘速加強調查這些區域並加以評估，現階段保育目標應朝向讓石虎族群恢復成長趨勢，並可以逐漸擴展到這些潛在棲地都有石虎族群，假設在總計 3,206 km<sup>2</sup> 的石虎重要棲地中都能恢復有石虎分布，推測可以容納至少 673 – 994 隻石虎存活，或可避免石虎陷入滅絕漩渦。

根據棲地分析結果以及分布特性，以及關鍵棲地分析，提出族群與棲地兩種角度切入的石虎經營管理與保育策供參考，後續應針對這些策略與需要加強部份，持續進行相關保育行動、調查監測與試驗研究，了解關鍵因子，方能進行有效的石虎保育工作。



### 三、實施方法與步驟

#### (一) 彙整並建置最新石虎出現點位資料庫

彙整第一期所有石虎出現資料，以及新的紀錄與其他甫完成之新調查文獻，包括本案與其他調查案紀錄、路殺、救傷等，詳列最新之所有石虎出現紀錄，建置石虎出現點位資料庫，作為併入未來石虎重要棲地伺服器資料公開、查詢、更新之資料庫中。同時完備收集所有相關使用自動照相機調查之點位，包括委託研究、環境影響評估，以及聯絡相關研究學者詢問未發表的調查點位等，製作台灣石虎分布現況圖，並與石虎重要棲地套疊，以協助確認缺少調查之石虎可能分布區域，規劃後續調查重點區域。資料點位之使用與公開等，需符合原始資料使用權利之限制與要求，並建置原始資料提供者或單位之相關資訊。

#### (二) 石虎現地調查

石虎現地調查目的為確認久無石虎紀錄地區之石虎分布現況以及彌補現在石虎分布的空缺，調查潛在棲地應該還有石虎的區域，以完備石虎重要棲地之確認與劃設。根據前期石虎棲地分析（圖 2），重點區域即為之紫色區域以及部分紅色區塊，包括：

##### 1. 應有石虎分布區域，重點調查區域：

- (1). 苗栗東北淺山區域
- (2). 苗栗新竹交界淺山區域，協助評估苗栗石虎族群擴展到新竹淺山區域之現況與潛在阻礙，並作為地景分析之現場勘查資料之輔助。
- (3). 台中地區：台中地區扮演苗栗與南投石虎族群的交流廊道區，本計畫著重在快速調查石虎有無，以補充石虎重要棲地分析與劃設，而非分布趨勢或相對豐富度，評估第一期計畫中缺少石虎分布資料的台中地區潛在棲地，省略台中地區內已經劃入已知石虎分布區之石虎關鍵棲地的調查。
- (4). 南投與彰化雲林嘉義交界地區，此區調查有助協助確認石虎連續分布區之最南界。
- (5). 台南鹿寮水庫周遭（嘉義台南交界）：9年前仍有救傷紀錄，但為目前最南邊卻不與其他已知石虎分布區連接之隔離區塊，急需儘速確認現況。

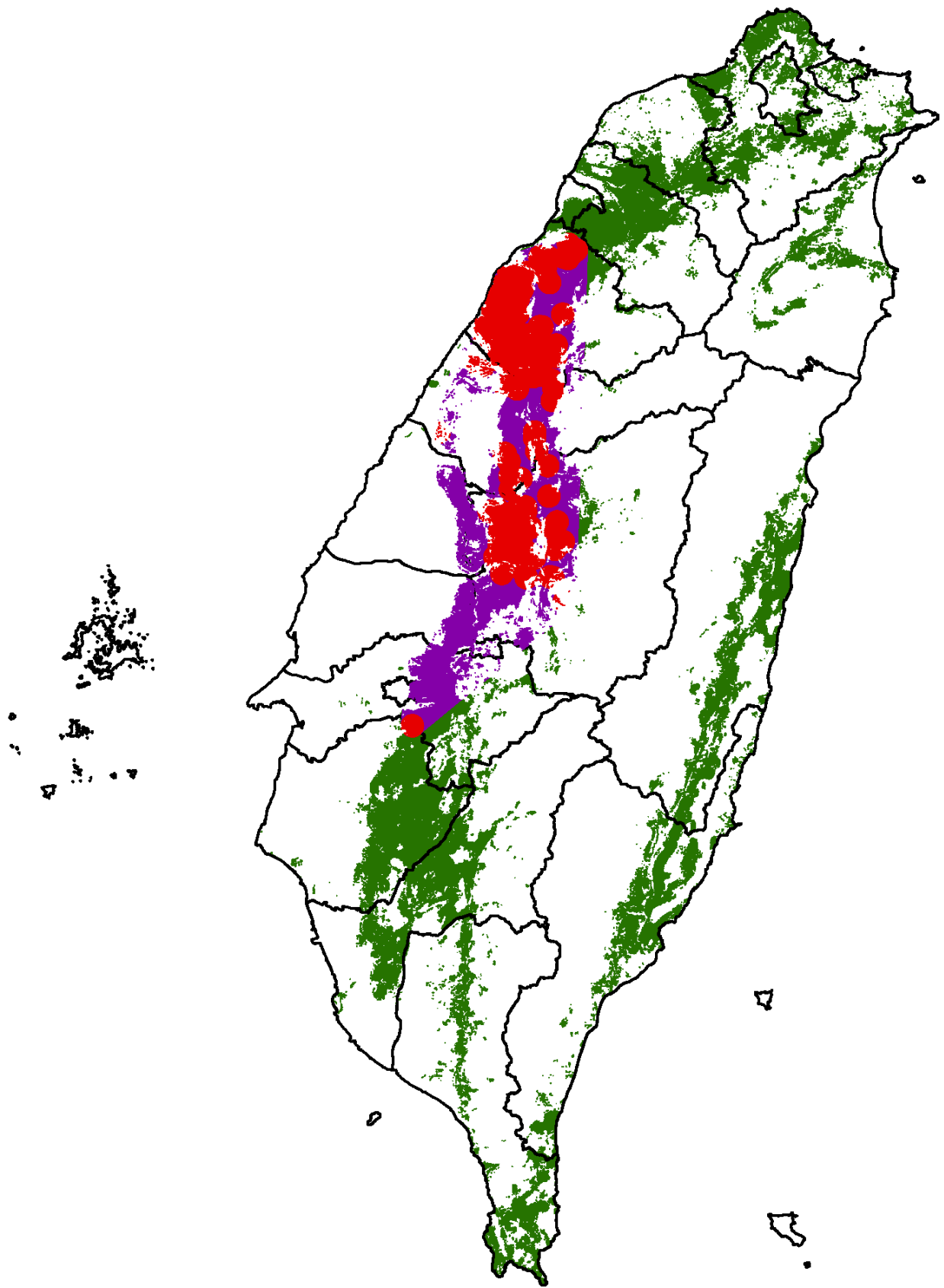


圖 2、前期分析之石虎重要棲地，包括關鍵棲地（紅色區域）與潛在區域（紫色區域），以及石虎可能棲地（綠色區域）(姜博仁等 2015)

2. 有可能還有石虎分布，但很少調查區域：

(1). 彰化縣境淺山，如八卦山

(2). 雲林、南投到台南鹿寮水庫之間的嘉義淺山地區

第 2 項之兩區域，近期並無石虎紀錄，因此本計畫調查區域優先以第 1 項所列區域(應有石虎分布區域，重點調查區域)為主，次而再以第 2 項(有可能還有石虎分布，但很少調查區域)兩區之調查為輔。

調查方法主要採用紅外線自動照相機確認目標調查區域是否有石虎，數位自動照相機主要使用的 Keepguard KG-780NV，少部分使用 Reconyx PC800、Keepguard KG-760NV 或 Bushnell Trophy Cam，相機使用被動式紅外線感應器，為熱與動作感應的形式，也就是在有感應到動物移動時才會觸發，以內建的鏡頭拍攝照片或錄製影片，但皆以照片模式或是先拍攝照片再錄影的模式以確保有較快的感應速度。配合感應器設計，拍攝獸徑動物的數位相機以低高度（約 30-50cm）架設，以 10~20 度略微朝下，水平感應穿越獸徑之動物(姜博仁等 2009)。於收回記憶卡時，檢查是否有拍攝到石虎。

根據苗栗與南投的調查石虎的自動照相機工作時建議(裴家騏和陳美汀 2006, 劉建男 2015)，每處樣點建議要有 2000-2500 工作小時，也就是應有 3 個月以上的工作天數，才比較可以拍到該區石虎，如此在有限的預算與時間下，實無法有足夠的自動相機與時間，可以涵蓋需要調查的範圍。現地調查主要目的為儘速確認石虎是否有分布，為縮短調查到石虎的時程，以及增加調查範圍，自動照相機樣點架設先搜尋是否有疑似石虎排遺，並在附近適合地點架設自動相機，並在確認拍到石虎之後，將相機移往新的調查區域進行調查，而根據關鍵棲地以石虎出現點的半徑 3500m 來規劃，至少距離 5km 以上另外尋找新的調查樣點，調查區域盡量涵蓋缺乏調查之區域。

### (三) 石虎重要棲地分析

#### 1. MAXENT 石虎適合棲地分析

延續前期計畫石虎重要棲地階層佈局以及分析方法，將石虎出現樣點，套入 MAXENT 進行分析(Phillips et al. 2006, Phillips et al. 2017)，所採用的環境因子包括地形、森林覆蓋率、土地利用、村里人口、道路系統等 5 類，共 46 個圖層；所有輸入

圖層的像元解析為 90 公尺，詳細產生方法如附錄一。

採用 80% training data vs 20% test (validation) data，進行模式分析與交互驗證，使用最新的 3.4.1 版本(Phillips et al. 2018)，並且採用 cloglog 轉換為 probability of presence，閾值準則採取兩種方式(Phillips et al. 2017)，分別是較為嚴苛的『Maximum training sensitivity plus specificity』，以獲得較佳的解釋性，閾值以上視為石虎適合棲地，轉換成出現有無之適合棲地分布範圍。另外一種方式為避免遺漏可能的石虎棲地，以較為保守的標準，採用『Balance training omission, predicted area and threshold value』，以涵蓋較多的石虎可能棲地，並保有一定的解釋性與預測性。

## 2. 核心族群與廊道分析

為進一步確認主要分布之核心族群，參考 Paviolo et al. (2016)分析美洲豹 (*Panthera onca*) 分析方式，將 MAXENT 預測出之適合棲地，透過 Maximum training sensitivity plus specificity 閾值準則，將出現機率為閾值以下視為石虎不適合棲地，閾值到 0.5 間為低度適合棲地、0.5~0.75 間為中適合度棲地、0.75~1.0 之間則為高適合度棲地。然後將中適合度與高適合度棲地合併，連續相連區塊面積較大者視為核心族群，然後使用 Linkage Mapper 1.1.0 軟體(McRae and Kavanagh 2011)，將預測機率之倒數做為 resistance，也就是出現機率越低者，阻力越大，越不適合做為遷移之廊道，Linkage Mapper 計算相鄰核心族群之間，累積的最小阻力廊道 (least cost linkages)，藉此探討現有石虎核心族群之連接性，以評估石虎重要棲地。

### (四) 召開 1 次專家會議統整討論

專家會議主要目的為針對分析結果進行修正，確認石虎重要棲地範圍，討論呈現與公告方式以及後續更新與監測方式，審訂石虎棲地相關保育建議，作為保育主管機關公告、進行石虎保育與國土規劃參考。

### (五) 研擬石虎重要棲地定期更新、分布調查監測之長期規劃

提出石虎重要棲地公告與更新之執行方式方案，包括持續的分布監測，石虎新出現樣點之

匯入等，以及負責單位與所需之伺服器與人力維護之預算需求，於專家會議時提出一併討論。

## 四、石虎分布現況

### (一).石虎現地補充調查

總計在苗栗縣、台中市、雲林縣、嘉義縣與台南市五個縣市，架設62處自動照相機樣點(圖3、表2)，以區域劃分如以下9個分區：

#### 1. 苗栗新竹交界淺山區域

主要為中港溪東北岸苗栗縣境內的三灣鄉與南庄鄉，隔著中港溪對岸為過往有石虎出現紀錄的苗栗縣三灣鄉永和山水庫區域。由於已知石虎的最北界為中港溪，因此藉有此調查再一次確認中港溪以北是否仍有石虎。此區沿著中港溪北岸淺山，架設7處樣點。

#### 2. 苗栗縣東北區台3線兩側過往調查無石虎紀錄之區域

包含三灣鄉、南庄鄉與獅潭鄉境內台3線兩側，中港溪以南淺山區域，總計架設14處樣點，但有1處樣點相機失竊，因此僅有13處有效的自動照相機樣點。

#### 3. 苗栗公館鄉

過往公館鄉境內並沒有石虎路殺或自動照相機拍攝的石虎紀錄，但很有可能是過往調查努力量不夠(早期此區採用底片式自動照相機，而後續並無繼續在此區進行石虎調查之研究計畫)，由於此區周遭鄉鎮皆有石虎，夾在既有石虎分布區內，公館鄉境內應該仍有石虎只是近年缺乏調查，因此架設了6處自動相機樣點，進行確認調查，但有1處樣點相機失竊，1處相機樣點整個坡面被挖除而相機遺失，因此公館鄉內僅有4處有效的自動照相機樣點。

#### 4. 苗栗縣後龍鎮海岸防風林

此為後龍鎮近海一處中港溪南岸的小塊丘陵地，由於中港溪為目前石虎分布的北界，因此在此處過往沒有調查過的沿海小丘陵地，架設1處自動相機樣點進行補充調查。

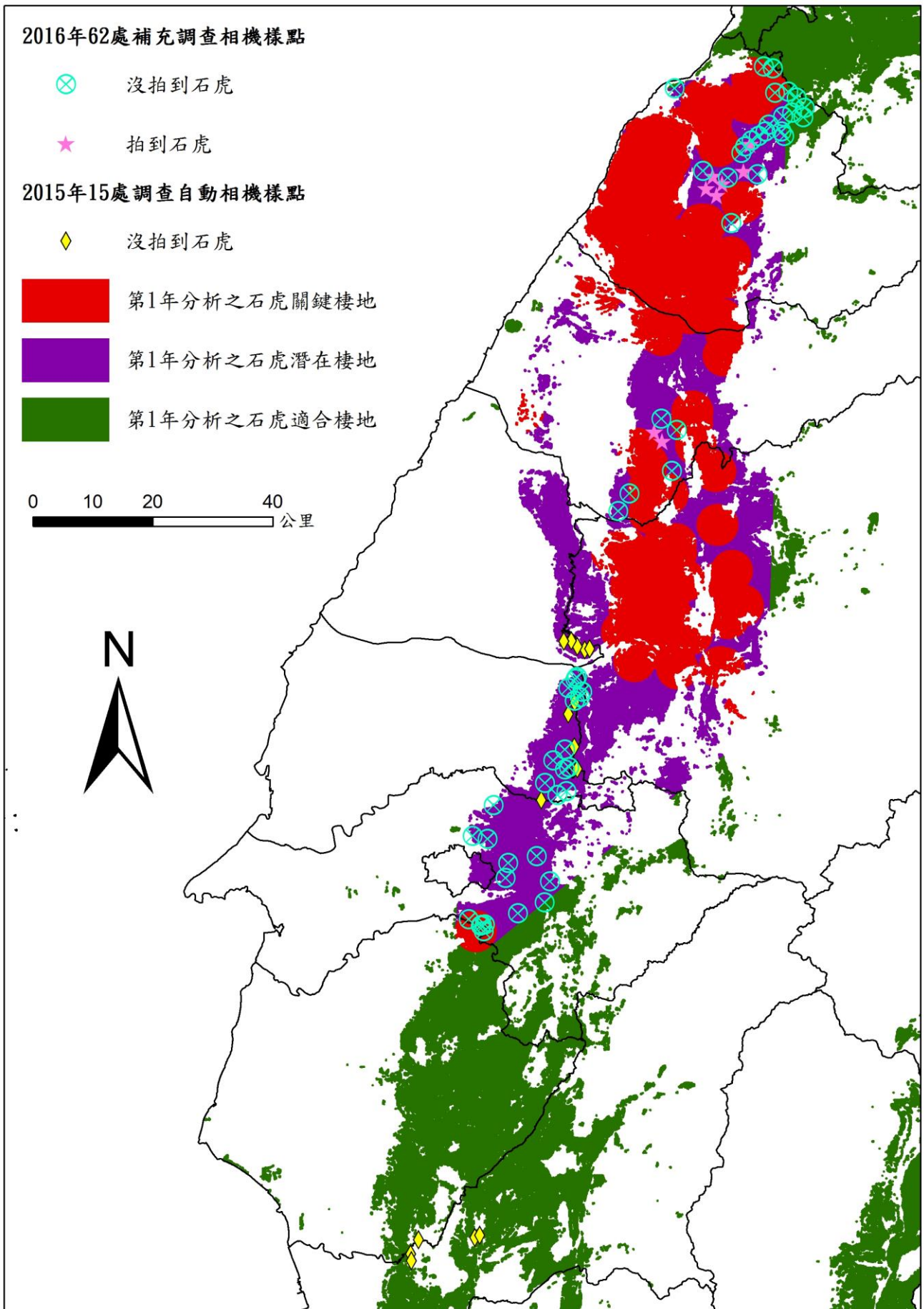


圖 3、2015 年補充調查 15 處自動相機點與 2016 年補充調查 62 處自動相機點

表 2、2016 年補充調查 62 處自動相機座標(TWD97 座標系統)

樣點編號	GPS_X	GPS_Y	海拔	備註	樣點編號	GPS_X	GPS_Y	海拔	備註
LCC02	199473	2608312	64		LCM23	249947	2726167	242	
LCC03	195996	2603181	83		LCM24	251377	2724476	220	
LCC04	198463	2602658	101		LCM25	251113	2722909	268	
LCC05	201895	2598624	102		LCM26	229620	2727748	25	
LCC06	206692	2599772	242		LCM27	249220	2723663	311	
LCC07	208847	2595590	444		LCM28	247708	2723044	175	
LCC08	201483	2596150	151		LCN01	198044	2588398	97	
LCC09	207996	2592091	329		LCN02	197843	2587257	94	
LCC10	203548	2590282	170		LCN03	195363	2589260	91	
LCM01	240790	2716958	389		LCN04	197319	2588201	108	
LCM02	242xxx	2718xxx	254	拍到石虎	LCN05	197553	2588340	91	
LCM03	241373	2718027	363	相機遺失	LCT01	220249	2657293	254	
LCM04	242472	2719034	156		LCT02	222114	2660187	186	
LCM05	243666	2719781	171		LCT03	226xxx	2670xxx	343	拍到石虎
LCM06	243473	2713409	385		LCT04	229184	2663989	354	
LCM07	244803	2720552	186		LCT05	227xxx	2668xxx	239	拍到石虎
LCM08	245313	2721639	141		LCT06	227470	2672649	355	
LCM09	236xxx	2713xxx	160	拍到石虎	LCT07	229998	2670788	446	
LCM10	237xxx	2711xxx	406	拍到石虎	LCY01	213103	2629329	229	
LCM11	238543	2712825	532	相機遺失	LCY02	213352	2629632	237	
LCM12	234xxx	2711xxx	215	拍到石虎	LCY03	211930	2627805	254	
LCM13	234392	2713943	137	相機遺失	LCY04	213845	2626214	303	
LCM14	236xxx	2709xxx	483	拍到石虎	LCY05	214260	2627169	221	
LCM15	247455	2720532	465		LCY06	212992	2625674	204	
LCM16	247927	2719786	532		LCY07	208060	2611994	330	
LCM17	241xxx	2713xxx	294	拍到石虎	LCY08	211346	2617512	292	
LCM18	239086	2705250	445		LCY09	209411	2615758	281	
LCM19	244542	2731346	83		LCY10	212066	2614597	422	
LCM20	246428	2726971	189		LCY11	211336	2614227	385	
LCM21	248619	2727171	154		LCY12	211587	2610576	857	
LCM22	246036	2731018	59		LCY13	210100	2610001	594	



## 5. 台中市太平區與霧峰區淺山

因台中市政府委託東華大學團隊調查台中市境內之石虎現況，因此本計畫補充調查以該台中市石虎調查計畫第一年度沒有涵蓋的太平區與霧峰區為補充調查範圍，且過往沒有石虎出現紀錄的區域為主，總計架設7處自動照相機樣點。本計畫並與東華大學團隊合作，互相分享資料，將東華大學團隊新調查到石虎在台中市境內的新分布點，一併加入石虎關鍵棲地分析。

## 6. 雲林縣林內鄉

由於湖山水庫已有較詳細的環評調查，但仍沒有石虎紀錄，因此雲林縣境內調查區域，其中一個區域選取湖山水庫北邊林內鄉東北區接鄰濁水溪與清水溪匯流處之淺山區域，架設6處自動照相機樣點，此處為距離既有南投仍有石虎出現的竹山鎮與集集鎮最近的淺山區域，但中間隔著清水溪河床與已經開發且人口密集的竹山鎮聚落與農地，對於石虎擴散很有可能是較有阻礙的環境，而竹山鎮東南側山區平均海拔較高，也可能是集集鎮周遭與竹山鎮境內東北角的石虎邊緣族群，往更南邊與往西南邊雲嘉南淺山擴散的可能障礙。

## 7. 雲林縣古坑鄉

湖山水庫南邊淺山，於1988年12月曾有報紙報導於古坑山區有民眾捕獲2隻(1公1母)石虎，因此在調查雲林縣林內鄉時，同步與古坑鄉架設7處自動照相機樣點進行調查。

## 8. 嘉義縣淺山

以嘉義縣大林鎮、民雄鄉、竹崎鄉與番路鄉淺山為調查區，此區的選擇，是以嘉義台南交界的鹿寮溪水庫的石虎分布點，要往北與南投石虎族群相連的淺山區域為考量，選取適合石虎的棲地環境，架設7處自動照相機樣點調查。

## 9. 嘉義縣台南市鹿寮溪水庫

鹿寮溪水庫於2006年5月23日有一隻救傷的公石虎，復原後並於原地野放，此筆石虎紀錄是苗栗台中南投以外的縣市，年代最近的一筆石虎紀錄，因此於嘉義縣水上鄉與台南市白河區交界的鹿寮溪水庫周遭架設5處自動照相機樣點，並延伸

到東側的嘉義縣中埔鄉的淺山區域額外架設 2 處自動照相機樣點，進行補充調查。

62處樣點，其中3處樣點自動照相機失竊或整個樣點因開發而被挖土機挖除而遺失，總計有59處有效自動照相機樣點，其中有8處樣點拍攝到石虎，包括6處在苗栗縣，2處在台中市，以補充調查成果而言，若再加上東華大學2017年台中的調查紀錄，已經可把苗栗縣與台中市石虎關鍵棲地過往缺少資料但應有石虎之區域補齊而加以相連，唯雲林縣、嘉義縣、台南市仍沒有發現石虎。

## (二).石虎最新分布現況

### 1. 前期計畫後新增之石虎紀錄

#### (1). 路殺或救傷紀錄

持續關注路殺事件，並收集這些新的石虎路殺或救傷事件之發生地點與座標，一併匯入石虎分布現況資料庫中。

#### (2). 自動照相機(其他研究調查計畫)

近兩年有其他團隊於苗栗、台中與南投之淺山區域有使用自動照相機進行研究調查監測，包括東海大學、特有生物研究保育中心、東華大學、野聲環境生態顧問有限公司、觀察家生態顧問有限公司、惠蓀林場等團隊，另外有陳美汀博士協助社區(竹森社區)或果農(裡山塾合作果農)等所進行的監測，這些團隊調查新發現的石虎出現點位，加上新竹林區管理處與東勢林區管理處提供其自動照相機拍攝到石虎之資料，一併彙整於關鍵棲地之分析。

### 2. 民眾通報有石虎掠食養禽戶飼養家禽之監測確認

由野聲環境生態顧問有限公司與陳美汀博士於養禽戶通報有石虎捕食飼養家禽，前往周遭架設自動照相機監測確認，將確認拍攝到石虎之記錄一併彙整，另外中港溪北岸三灣鄉境內之養雞損失事件，自動照相機則未拍攝到石虎，加上中港溪北岸目前皆無石虎紀錄，搭配現場觀察，應非石虎所為。

### 3. 石虎分布點現況彙整

綜整本計畫補充調查、其他團隊調查以及路殺救傷紀錄，考慮部分樣點彼此距離較近，將部分彼此距離較近樣點視作同一筆紀錄，目前總共有 450 筆石虎出現紀錄，2017 年新增加彰化縣八卦山石虎出現紀錄，石虎分布區目前涵蓋苗栗縣、台中市、南投縣、彰化縣與台南市境內，若不計入已超過 10 年沒有石虎紀錄且補充調查仍沒有發現石虎之鹿寮溪水庫周遭地區，石虎僅只有苗栗縣、台中市、南投縣與彰化縣境內在 10 年內仍然有石虎的出現紀錄(表 3)，而台中市大肚山地區與南投縣人倫林道，10 年內仍然沒有石虎再被發現，此兩區石虎可能已區域性消失或僅只是零星出沒經過之游離個體。值得注意的是惠蓀林場於 2016 年 12 月 26 日新拍攝到石虎出現，為目前全台灣 10 年內已知石虎出現點最東側的出現紀錄，2017 年 4 月 30 則於此地點西南西約 1.7km 處的投 80 鄉道新增一筆路殺紀錄，因此兩處往東即已逐漸轉為中央山脈較高海拔區域，此兩筆紀錄應是目前石虎分布範圍的邊緣區域，可能僅是偶發的零星游離個體，但惠蓀林場與既有石虎分布區中間的區域是否仍有石虎，或者南投區域的石虎族群已逐漸往外擴散，值得持續的監測與調查。

此次彙整記錄，有 3 筆在苗栗、台中、南投以外的石虎紀錄。第一筆為彰化縣境內八卦山東側山腳於 2017 年 9 月新記錄一筆石虎路殺個體，為近 20 年彰化縣境內第一次記錄，惟位置幾乎位於與台中市、南投縣界交接區域，且是年輕公石虎個體，很有可能是附近南投或台中石虎新生個體擴散到附近，第 2 筆同樣是八卦山區，為特有生物研究保育中心團隊於 2017 年 10 月透過自動照相機拍攝到石虎。另外一筆則是新北市淡水區南平農戶的捕捉紀錄，但因為懷疑是人為圈養過個體，因此不將新北市此筆紀錄列為自然分布點。

統計近 20 年石虎發現地點資料來源如次頁表 3，紀錄方式主要為自動照相機、路殺與救傷紀錄，因此多數都有精確座標，但部分救傷紀錄較為久遠或為輾轉送往收容單位或博物館之個體，因此並無座標，例如嘉義、南投之救傷紀錄並無確切座標，僅知大約區域。

依據座標，將已知石虎分布點呈現如圖 4，總共有 450 個有座標的出現地點，可以看出主要集中在苗栗、台中與南投地區。其中嘉義地區僅有救傷記錄，已超過 20 年都沒有再記錄，台南唯一一處地點鹿寮水庫則為 2006 年救傷記錄，當時由特有生物研究保育中心治療後於原地野放，並架設自動照相機監測調查，但並沒有拍

攝到石虎，後續本計畫於此區架設自動照相機也都沒有拍到石虎，因此鹿寮水庫周遭的石虎族群很有可能已經區域性消失。

人倫林道自動照相機拍攝紀錄為目前所知海拔最高分佈紀錄（1,427m）（林良恭 2008），其餘 5 筆新增海拔超過 1,000m 的石虎紀錄包括特有生物研究保育中心 2017 年度於南投縣較高海拔處增加 3 處、東華大學陳美汀台中石虎第一年度調查增加 1 處以及東勢林管處於裡冷林道增加 1 處，其餘已知出現海拔的石虎紀錄，都在海拔 1,000m 以下，且主要（95.1%）在海拔 800m 以下（圖 5）。

表 3、石虎出現紀錄資料來源統整

單位	提供者	地區	記錄方式
屏東科技大學	陳美汀、裴家騏	苗栗	自動照相機、捕捉
特有生物研究保育中心	林育秀、劉建男、張簡琳玟、林宗以	苗栗、台中、南投	自動照相機
東華大學	陳美汀、裴家騏	苗栗、台中	自動照相機
嘉義大學	劉建男	南投、苗栗、台中	自動照相機
救傷路死彙整	林育秀、余建勳、觀察家、陳美汀、林文隆、廖靖婷、姜博仁	苗栗、台中、南投、嘉義、台南	救傷路死（嘉義記錄沒有座標）
野聲環境生態顧問有限公司	姜博仁、李偉傑、王玉婷、曾威、蔡作明、蔡世超	苗栗、台中	自動照相機
觀察家生態顧問有限公司	劉威廷	苗栗、台中	自動照相機
中興大學	吳聲海	苗栗	自動照相機
新竹林管處	余建勳	苗栗大湖	自動照相機
東勢林管處	林君達	台中	自動照相機與農民通報獸銜紀錄
林業試驗所	王豫煌、郭智筌	南投蓮華池	自動照相機
台中市野生動物保育學會	林文隆	台中	自動照相機
東海大學	林良恭	人倫林道、苗栗	自動照相機
個人	陳怡成	苗栗	目擊抓小白鷺

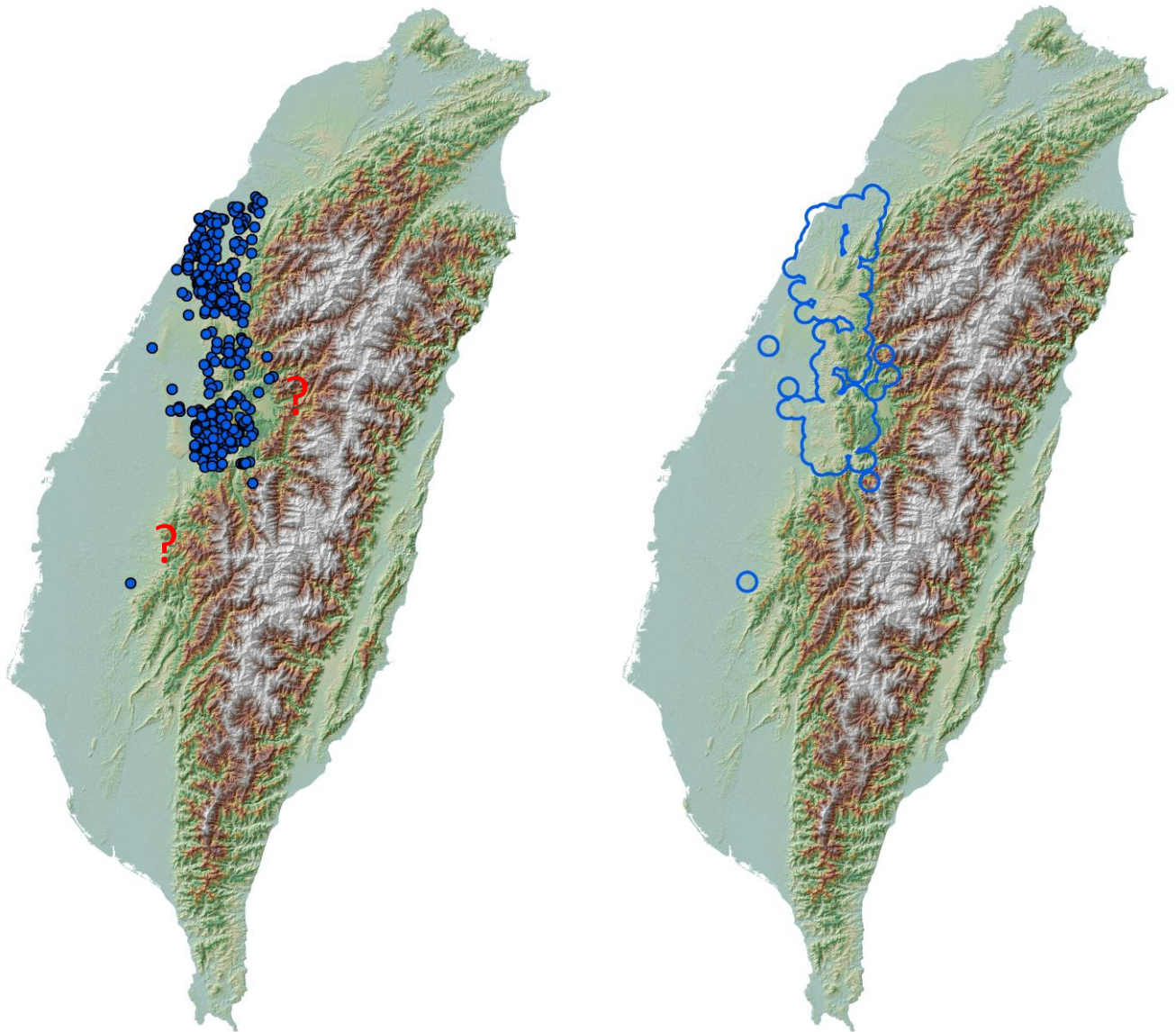


圖 4、左圖為近 20 年石虎出現地點（藍色圓點），紅色問號表示無座標之紀錄，只能呈現大約地點，右圖為將出現地點套用 3500m 緩衝範圍（藍色區域）。底圖為海拔，綠到棕到白為海拔由低到高

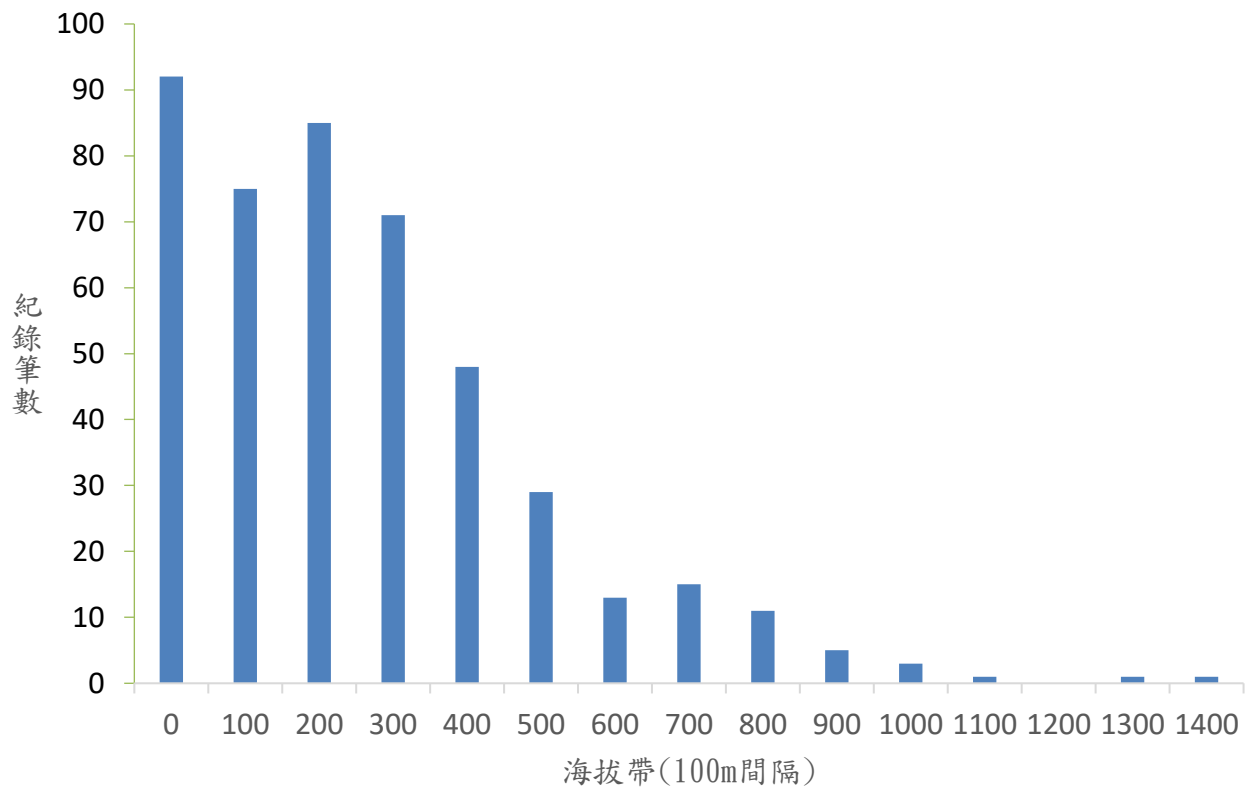


圖 5、450 處石虎出現點位之海拔分布，每一長條為 100m 海拔帶

## 五、石虎重要棲地與廊道分析

### (一) MAXENT 分析預測

#### 1. 適合棲地分佈預測

由於路殺地點非自然棲地，因此 MAXENT 分析不納入 53 處路殺樣點，將其餘 397 處石虎出現樣點，套入 MAXENT 進行分析，採用 80% training data vs 20% test (validation) data，進行模式分析與交互驗證，扣除距離相近而在同一網格樣點 (90mX90m)，總共有 373 個點納入 MAXENT 分析 (MAXENT 自動判斷)，依照比例，總計 299 處 Training data 以及 74 處 Test data。初步分析，移除解釋力弱與相關性高之因子，另外，國道與快速道路圖層因子亦不納入，因現今石虎僅分布西部，東部卻無快速道路，並非代表東部因為無快速道路所以無石虎，非石虎適合棲地。因為東部變成無分布與無適合棲地，如果使用國道與快速道路圖層會有很好預測力，只因為離快速道路最遠，但並不合理，因會將東部潛在石虎適合棲地歸類為不適合。最後用以預測分析之棲地因子有 32 個(附錄一標註\*者)。總計執行 100 次之 receiver operating characteristic (ROC) curve 如圖 6，area under curve(AUC) 平均值為 0.937，標準差為 0.008，顯示模式良好。

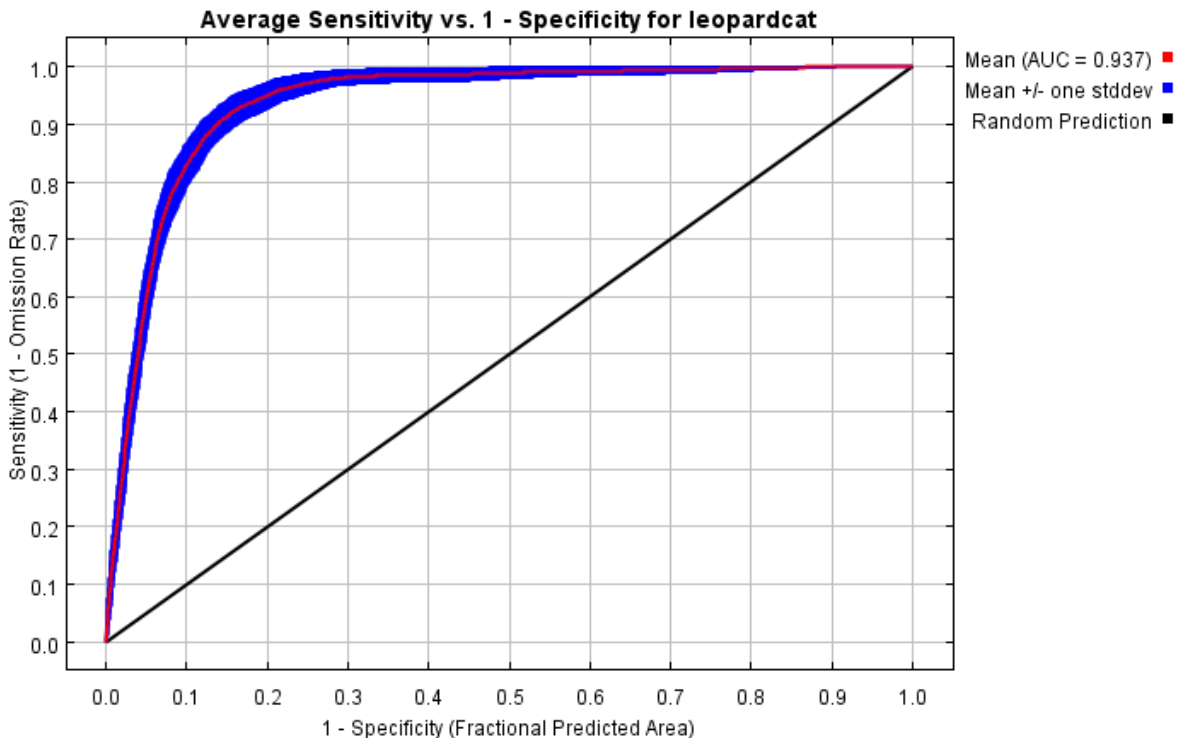


圖 6、執行 100 次 MAXENT，receiver operating characteristic (ROC) 曲線



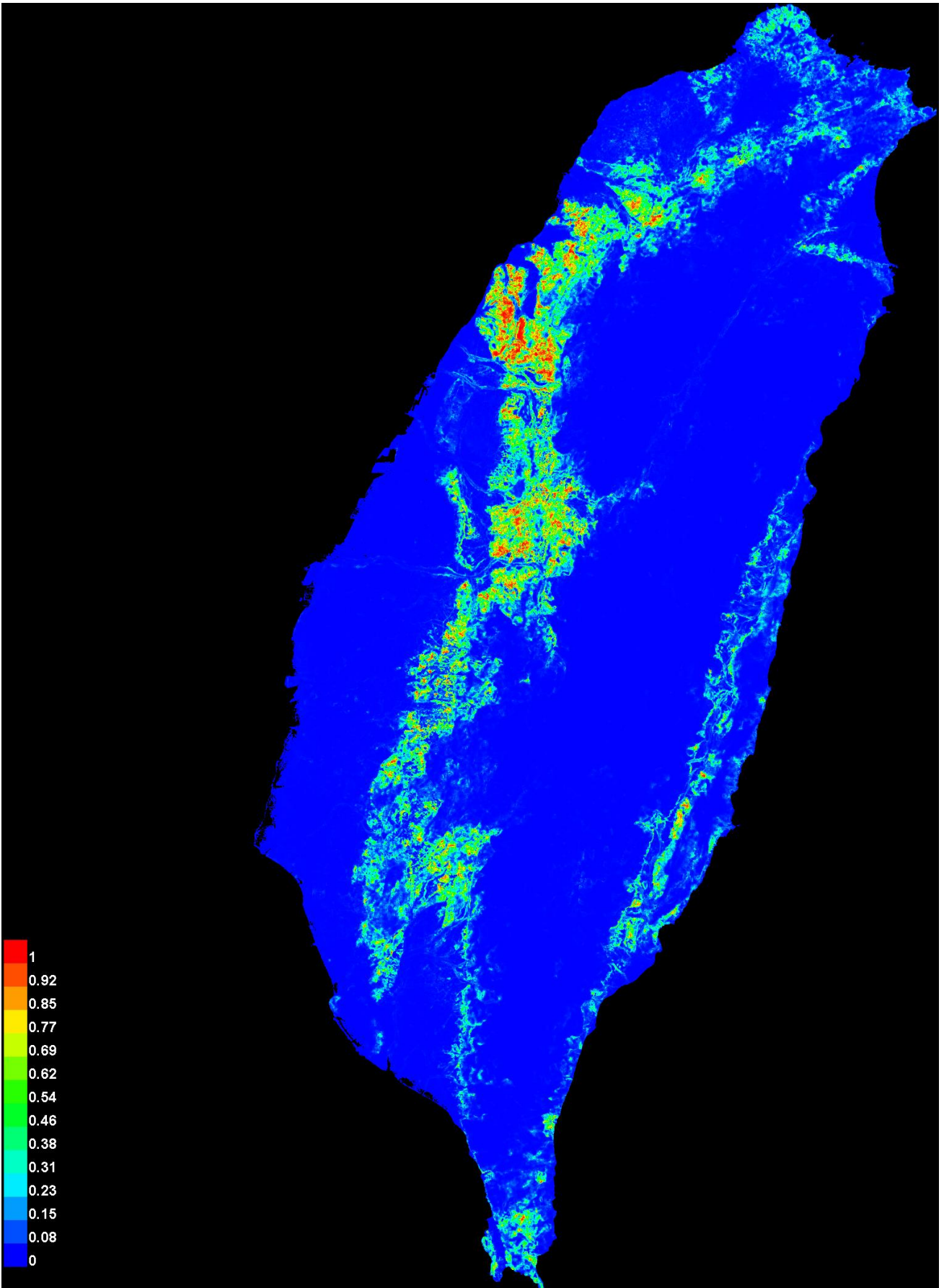


圖 7、執行 100 次 MAXENT，石虎出現機率平均值



100 次取得之石虎平均出現機率分布圖如上頁圖 7。閾值準則採取『Maximum training sensitivity plus specificity』(MTrSPS)，閾值以上視為石虎適合棲地，轉換成出現有無之適合棲地分布範圍(圖 8)。100 次 MAXENT 分析預測，以此 MTrSPS 準則，Training omission rate (用以分析的 80%，即 299 處石虎出現地點不在預測範圍內比例) 平均值為 4.96% (範圍 2.34 – 8.7%)，標準差為 1.1%，Test omission rate (用以交互驗證的 20%，即 44 處石虎出現地點不在預測範圍內比例) 平均值為 13.08% (範圍 4.05 – 21.62%)，標準差為 3.85%。

考量石虎的瀕臨絕種特性，為盡量涵蓋石虎棲地範圍，另外依照 Balance training omission, predicted area and threshold value 準則產出之石虎適合棲地分布圖如圖 9，100 次 MAXENT 分析預測，以此準則，Training omission rate (用以分析的 80%，即 299 處石虎出現地點不在預測範圍內比例) 平均值為 1.33% (範圍 0.67 – 1.67%)，標準差為 0.32%，Test omission rate (用以交互驗證的 20%，即 44 處石虎出現地點不在預測範圍內比例) 平均值為 3.27% (範圍 0– 8.11%)，標準差為 1.95%，顯示預測與解釋度良好，於此保守估計預測範圍套疊目前已知石虎出現點位如圖 10，涵蓋絕大多數石虎出現樣點，450 個樣點中有 9 處不在預測範圍內，包括：

- (1) 苗栗一筆台 6 線路殺，周遭為農地與較多的村落房舍鑲嵌，顯非適合棲地，加上為年輕的公石虎，推測應是擴散的個體，利用邊緣棲地。另外，53 筆路殺紀錄並未納入 MAXENT 分析，因此亦可能不會涵蓋此類環境。
- (2) 南投縣人倫林道，此區已有長時間自動照相機監測，自動照相機僅記錄這一筆石虎出現紀錄，顯示此區石虎數量相當少，可能是零星的年輕擴散個體。人倫林道為目前已知石虎分布海拔最高紀錄，顯示人倫林道應非石虎主要棲地，
- (3) 南投惠蓀林場則為 2017 年 12 月新紀錄，為目前已知石虎出現紀錄最東側，同樣在長期的自動照相機的監測中僅此一筆紀錄，惠蓀林場靠近中央山脈深山區域，應也非石虎主要棲地。
- (4) 台中市裡冷林道同樣位於石虎現在分布範圍的偏東側邊緣，靠近中央山脈深山區域，在東勢林管處之長期鼬獾監測計畫中，也僅此一筆紀錄，應也非石虎主要棲地。

- (5) 大肚山為 10 年前紀錄，大肚山區開發壓力大，棲地變化多，因此在棲地預測上，可能已無法反應呈現當時之大肚山區整體石虎棲地。
- (6) 2015/10/2 神岡區路殺，但此筆是輾轉訊息，座標僅是大約估算，誤差 500 以內，但 100m 內即有預測之適合棲地。
- (7) 2016/12/5 苗栗苑裡一隻被狗追的石虎，周遭是連綿的平坦農地，由於被狗追擊可能已經離開原本棲地一段距離，但附近有發現貓科動物排遺(可能是石虎，但也可能是家貓)。由於平坦農地幾乎沒有針對石虎的調查，加上平坦農地很難放置自動照相機，石虎在平坦農地的棲息，建議可逐步探究。
- (8) 2012/10/6 以及 2015/5/17 苗栗卓蘭鎮台 3 線 2 筆路殺，位置非常接近，同樣位於平坦農地，但是附近即有石虎是和棲地以及大安溪床，由於此種環境石虎要穿越道路，可能受限道路與環境型態，需選擇易於穿越的區域，亦不一定代表原本會利用的棲地。除此之外，近年研究逐漸紀錄石虎利用溪床環境，可能是狩獵或移動，目前這樣的紀錄點位還很少，因此亦無法反應在棲地的預測上，建議未來可加強溪床環境的石虎調查。

此 9 筆皆位於預測範圍邊緣之外側，已非良好棲地，或僅是年輕擴散個體，或者在較少調查資料的環境(如農地與溪床)，導致模式預測無法涵蓋此類石虎的潛在棲地。

因透過『Balance training omission, predicted area and threshold value』準則產出之適合棲地，可涵蓋 98% 的石虎出現點，其餘 9 處沒有涵蓋之出現點位多為路殺點非自然棲地、或是棲地外圍邊緣、零星年輕個體擴散等，因此以此準則產出之適合棲地作為石虎重要棲地的後續劃定分析，但依此較為寬鬆準則之棲地預測，有可能會涵蓋較多實際上並不適合石虎之棲地，可能略有高估的趨勢。

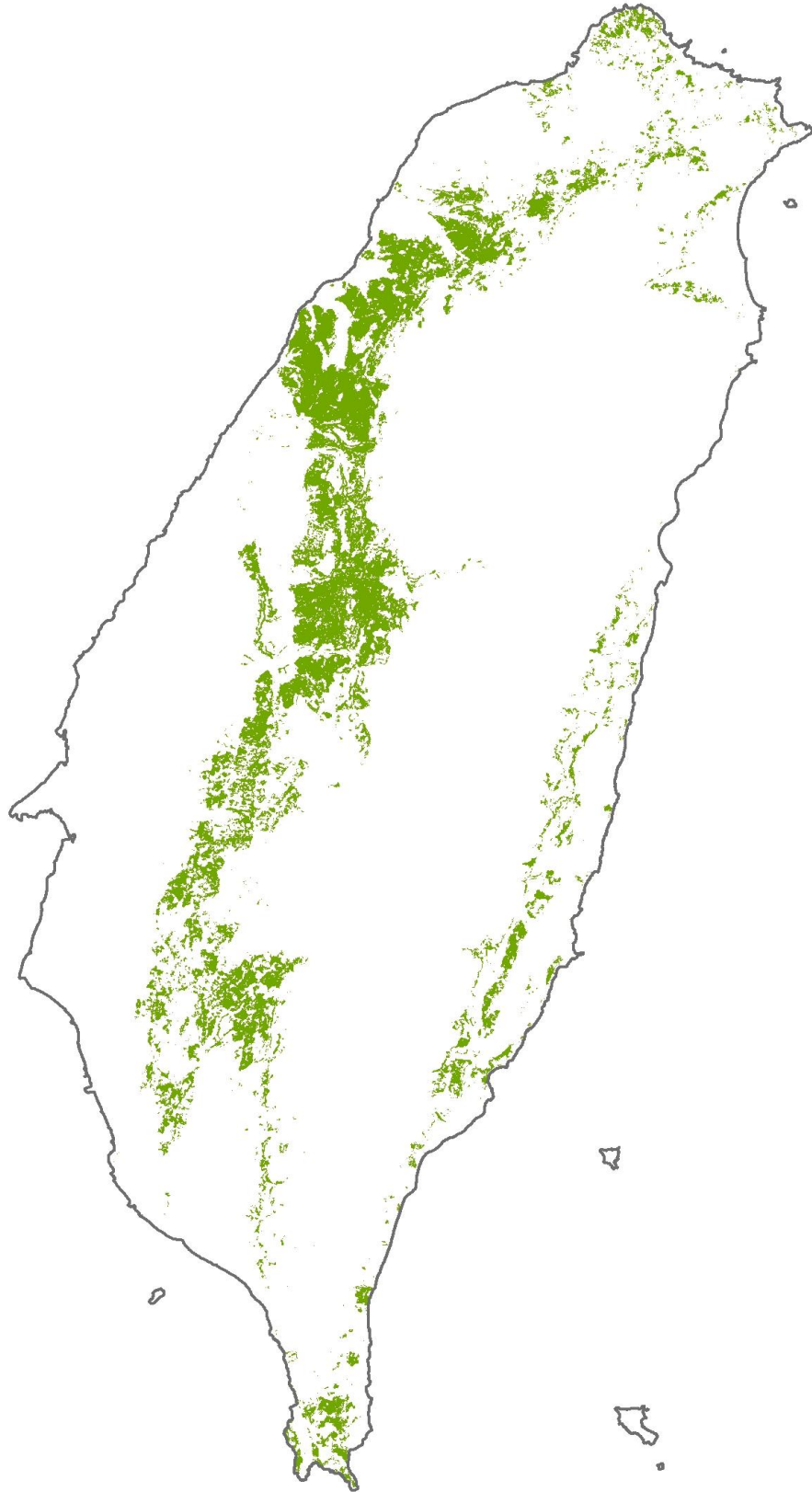


圖 8、石虎適合棲地分佈範圍（綠色），依照 Maximum training sensitivity plus specificity 準則。

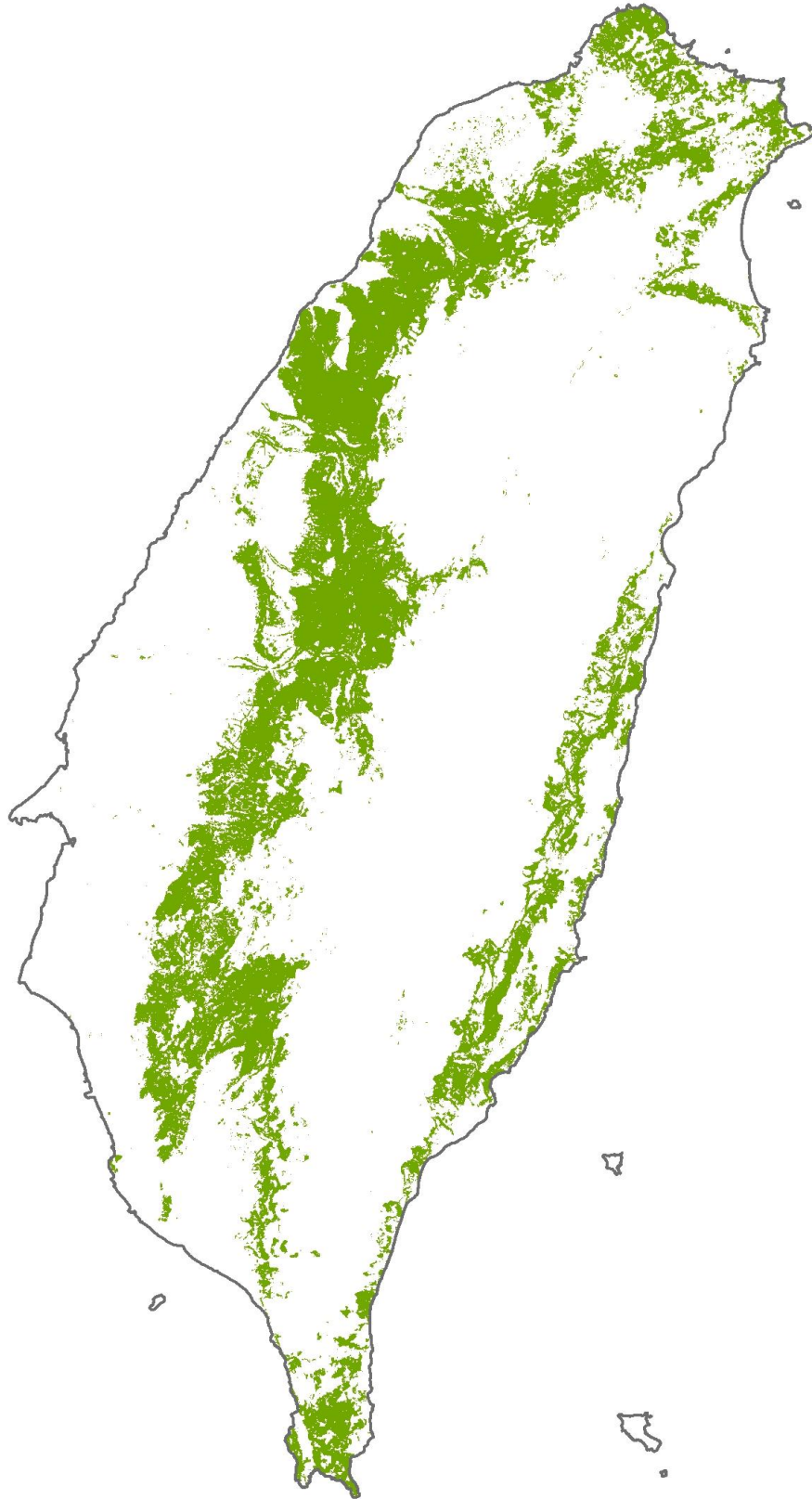


圖 9、石虎適合棲地分佈範圍（綠色），依照 Balance training omission, predicted area and threshold value 準則。

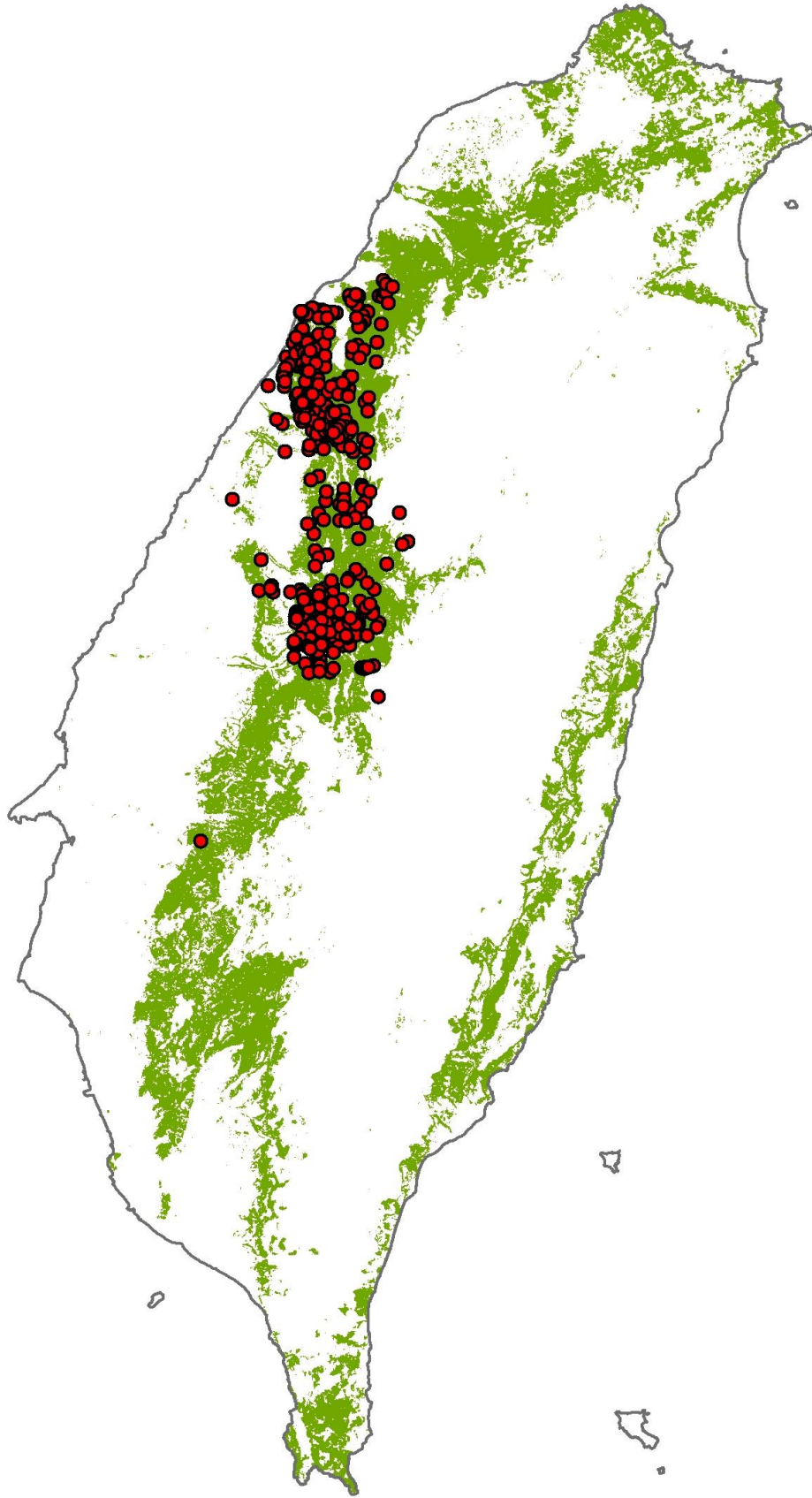


圖 10、石虎適合棲地分佈範圍（綠色）套疊石虎出現樣點（紅點）。

## 2. 石虎棲地環境特徵

根據 MAXENT 分析產出因子反應曲線 (response curve) (附錄三)，將棲地因子分為地形因子、植被因子、人口密度以及道路部分加以討論。各項因子都有一定的相關性，在棲地因子解釋上需小心判讀，因此討論上，將以彼此符合的趨勢下，切入討論。

### (1) 地形

以周遭範圍平均海拔低、海拔差異範圍小、最高海拔也低、海拔變異小，可分佈到海拔很低處，以陡峭度來看，則是平均坡度低且變異小，但稜線密度較高的環境，而在大範圍的平坦地出現機率低，可能與平坦地這類環境已被完全開發為農地或市鎮有關。海拔與坡度相關的地形因子，顯示石虎主要分布在連綿的低海拔丘陵地，但在周遭有高聳山脈的低海拔谷地或陡峭區域，分布機率低，此也符合需多中海拔區域中的低海拔谷地（如大武山自然保留區、雙鬼湖野生動物重要棲息環境內）並未有石虎的發現相符。石虎雖可利用平坦的環境，但目前多是利用丘陵地之間的平坦小谷地、河床等較少人為開發，保有部份自然棲地的環境，而非連綿的大片農地。

### (2) 植被與土地利用

必須有一定的森林覆蓋，低海拔的人工闊葉林或是次生林為適合環境，從農地、草生地與竹林等有不高的覆蓋鑲嵌環境，石虎仍會利用，同樣可以從衛星影像分析之森林覆蓋度因子(不管森林類型)呈現接近完全的森林覆蓋度(活動範圍尺度)的石虎出現機率逐漸降低，但小尺度(270m X 270m)卻略為呈現小區域密閉森林石虎仍是適合棲地，顯示石虎主要出現環境為森林、農地、竹林與草生地鑲嵌的環境，但仍需要有一定面積的森林覆蓋。天然林覆蓋越高但出現機率較低應與中高海拔地區並非石虎主要棲地但卻天然林覆蓋度高有關，根據經驗，低海拔的天然林石虎仍可利用，但連綿的低海拔天然林相對較少石虎紀錄，是與石虎調查資料較少有關，抑或是石虎偏好鑲嵌環境，或者是低海拔保有天然林之環境多數較為

陡峭，則需更多之研究。

活動範圍大小尺度偏向森林覆蓋變化較大環境，核心活動範圍尺度同樣偏向森林覆蓋變化較大環境但較高的森林覆蓋變化不見得有較高出現機率，顯示石虎還是主要出現在有森林的環境，但森林邊際可能提供狩獵的環境，卻不傾向太破碎而森林區塊面積太小的環境。

植被類型部分，活動範圍與核心活動範圍尺度內，天然林面積較小、但次生林或人工林的面積越大，而竹林、農地、草生地與灌叢面積較小有較高出現機率，但避免了森林（天然林、人工林與次生林，不含竹林）面積很小，或幾乎全部森林覆蓋的環境。石虎主要出現的低海拔地區，天然林已經很少，多已砍伐後次生或造林後次生，造林也較少為針葉樹造林，天然林的不偏好，不一定代表天然林是不喜棲地，可能僅是低海拔原始天然林面積已經很少，或既有的低海拔天然林多僅存在於陡峭的環境，若在棲地經營角度下，生物多樣性較高的天然林同樣能夠提供多樣化的獵物，但鑲嵌其他植被類型所形成的森林邊際，則提供邊際效應下更多的獵物來源。

### (3) 人口密度與人工建物

兩個尺度的人口密度是解釋變異最明顯的因子，人口密度只要稍微增加，石虎出現機率則迅速降低，此可能主要與棲地改變、捕獵、疫病、道路等等都有關係，而人工建物面積因子同樣可以看出，但呈現可與少量的人工建物共存，但人工建物面積一旦增加，石虎出現機率則迅速降低。

### (4) 道路

在道路部分，道路密度越高出現機率越低，但平均離道路距離，則是在約 1,500m 的尺度內，距離越遠有越高的出現機率，但之後則迅速降低，此與淺山丘陵道路密度高，但中高海拔地區非石虎適合棲地卻離道路很遠有關。石虎可在一定程度的道路密度以下，仍可利用，只要附近仍有天然的棲地，但以淺山丘陵適合的環境，還是偏向離道路較遠的環境。石虎可

於低密度開發的環境棲息，但這樣低密度開發的環境，石虎的存活率是否受影響，仍需要更多的生態研究，惟道路的開發，快速引進山坡地別墅、土地炒作、盜獵方便性以及路殺，則是更需要正視面對的問題，若以創造森林邊際提供石虎狩獵，但不過度減少森林面積下，友善石虎農作的生態、生產、生活三生一體的里山農業，應是對石虎最佳的方式。

以因子的貢獻度而言(附錄四)，以人口密度、森林覆蓋度與植群類型是最重要的因子，海拔、坡度與陡峭程度也有一定程度解釋度，整體而言即是低海拔連綿的和緩丘陵地、不太陡峭或海拔高低變化不會太大、具有一定森林覆蓋、鑲嵌的環境提供石虎多樣化與豐富的獵物，且道路密度不能太高，為目前台灣石虎主要出現的環境。

## (二) 石虎可利用之適合棲地

除距離主要棲地過遠之部分零星小塊區域，應非適合棲地，去除之應較為符合實際狀況。根據苗栗的石虎無線電追蹤資料中平均每日直線移動距離，其中平均日移動距離較遠的個體，其平均直線移動距離為 1.03 km，範圍 0.05 – 2.67 km，若是一日連續移動距離，最高的個體平均值為 3.63km，範圍 2.02 – 6.63 km(陳美汀 2015)。因此，採取以下準則將圖 9 之預測石虎適合棲地進行以下處理：

1. 以比較保守的方式，將最大一日連續移動距離 6.63km，取其一半為 3315m，但因 3,315m 與 3,500m 相當，因此與專家會議石虎分佈區準則一樣，統一採用 3,500m 做緩衝，將圖 9 預測範圍做 3500m 緩衝距離 (buffer) 之後，視為石虎可在一日之內，跨越不適合棲地並移動到另外一區適合棲地之範圍。
2. 所有經過 buffer 之後的區域範圍經過合併融合 (dissolve) 之後，所有不相連的隔離區塊，視為石虎無法在一日可移動的最大距離內，從一區適合棲地跳島式穿越不適合棲地移動到另一區適合棲地，且該區塊與任何適合棲地距離都太遠，因此石虎利用的可能性低，如此便可移除這些零星區塊。
3. 將圖 9 內適合棲地，僅留下包含在上述步驟 2 剩下來的區域範圍內棲地，也就是『石虎可在一日內，即使不相連的破碎棲地，假設石虎可穿越中間之不適合棲地 (不管何種土地利用類型)，在最高一日移動距離 7 km 的情況下，可以利用之適合



棲地』，但此作法並未考慮石虎可 1 日內連續移動超過 7 km，或利用 2 日以上時間穿越（中間在不適合棲地休息），或中間不適合棲地之土地利用類型實際上無法穿越（如都市）而必須迂迴繞路而增加移動距離的情況。

4. 專家會議建議以較大尺度的網格呈現，避免小尺度的誤差，而為避免納入過多不適合棲地，採用石虎的最小核心活動範圍約 100 公頃(陳美汀 2015)，因此以 100 公頃的尺度，重新處理石虎可利用之適合棲地。方法為半徑 178m 或使用 11x11 網格範圍內（面積約 100 公頃），只要有適合石虎棲地，即將該 100 公頃區域視為石虎可利用之適合棲地，轉換方式為直接將前項步驟 3 之後的適合棲地周遭 178m 內都納入（buffer），以盡可能納入因預測誤差卻未被納入的適合棲地，但此種方式，會將一部分周遭不適合棲地都納入（如市鎮），因此使用土地利用圖層，將土地利用型態歸類為人工建物與大面積湖泊水庫者加以去除，即為石虎所有可能棲地。去除的土地利用型態包括：鐵路、高鐵(不包含隧道段)、國道、省道、快速道路、港口設施、水庫、湖泊(II 級分類為蓄水池者)、水庫堰壩、第 I 級歸類為建築使用土地與公共設施使用土地者、文化設施與體育場所，這也避免了將私人擁有之人工建物納入石虎重要棲地的可能缺失。一般道路路寬較小，石虎也通常可以穿越，因此仍然保留，而遊樂場所土地利用型態(代碼 70202)在山區常是林場(如東勢林場)或是高爾夫球場，保有一定自然度，因此先加以保留為石虎可利用棲地。而銅鑼科學園區逐漸擴大開發，透過衛星影像圖，目前將已經開挖裸露或已經是人為建物的部分，加以剔除。但園區內的綠帶，仍然加以保留。
5. 由於有 9 處樣點並未包含在圖 9 之適合棲地範圍內，在加入 178m 的緩衝外圍區之後，仍有 8 處樣點並未包含，但大多數已經非常接近緩衝後的範圍內，考量石虎的瀕危特性，此 8 處地點仍有可能有石虎利用。因『Minimum Training Presence』閥值準則下可涵蓋幾乎所有出現樣點(僅苑裡那一筆被狗追的紀錄之外)，因此將以此準則產出之棲地分布圖，擷取此 8 處樣點半徑 3,500m 範圍內之棲地(依據專家會議決議)，並同樣移除範圍內之人工建物與湖泊之不適合棲地，與上述步驟產出之範圍合併，彙整為最新『石虎可利用棲地範圍』。

最終產出之石虎可利用棲地如圖 11，與已知所有石虎出現點套疊之後如圖 12。

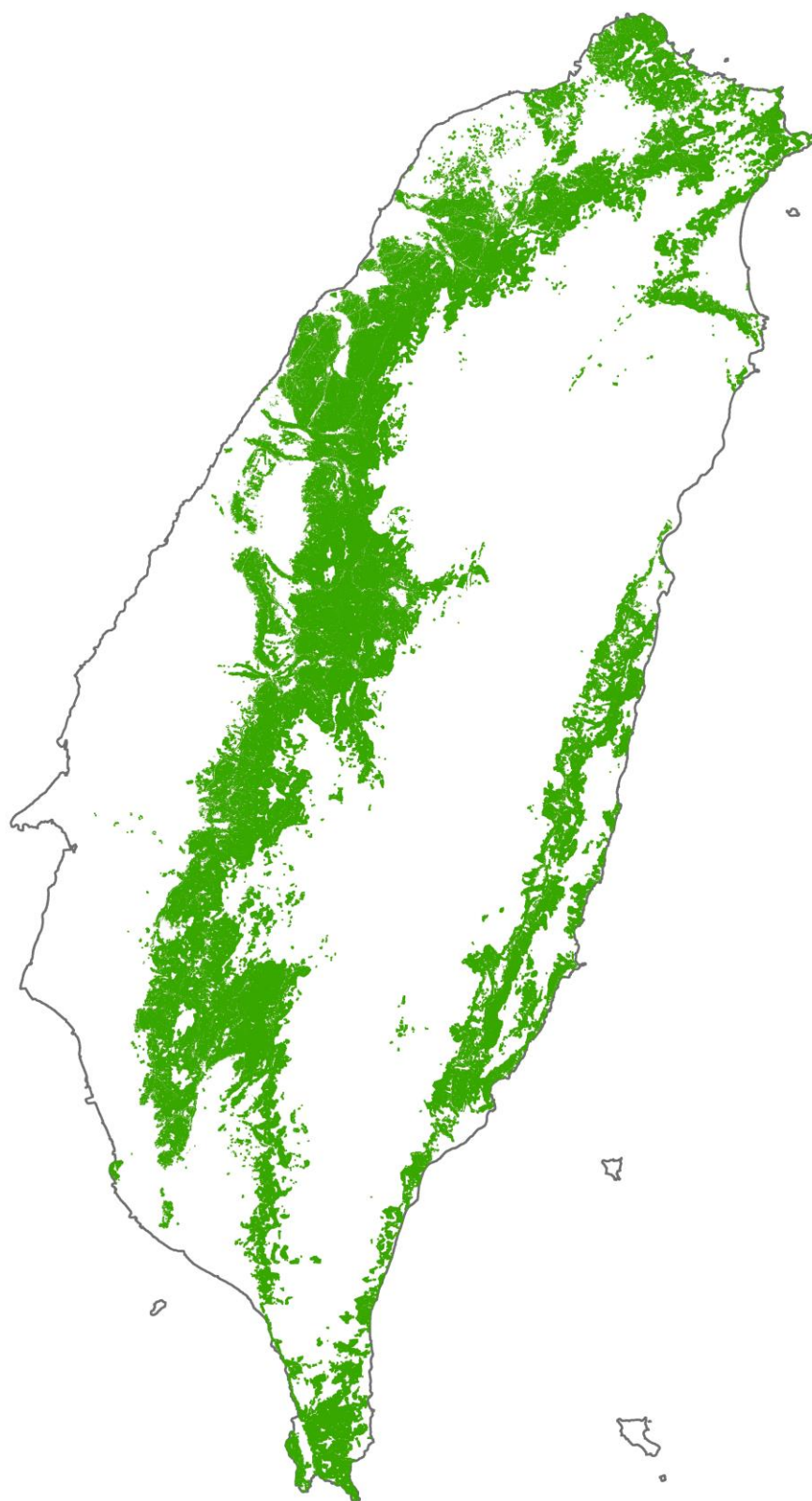


圖 11、扣除人工建物與湖泊水庫不適合區域，石虎可利用之適合棲地分佈範圍。

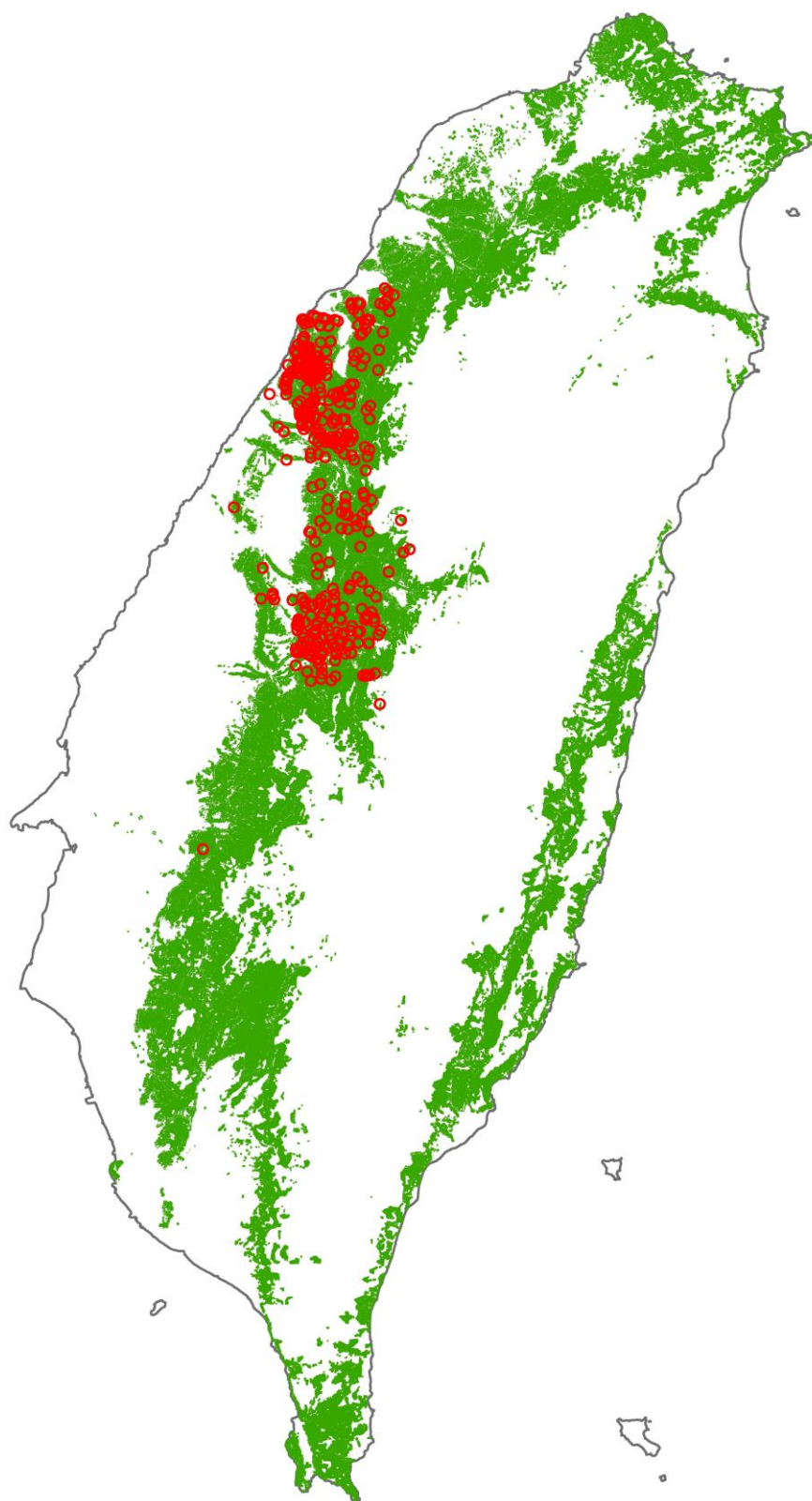


圖 12、石虎可利用之適合棲地分佈範圍與石虎出現點

### (三) 石虎重要棲地

依據專家會議決議，採用活動範圍直徑約 3,500m 作為緩衝 buffer，產出石虎已知分布範圍界線（圖 4 右），再將此範圍界線與石虎可利用之適合棲地（圖 11）做交集，即為已知石虎分布區。依據專家會議階層分類決議(姜博仁等 2015)，由於石虎瀕臨絕種現況，將目前確認石虎分布區劃定為石虎重要棲地（紅色區域）以及潛在棲地（紫色區域），石虎可能棲地則以綠色表示，結果如圖 13，其中重要棲地（紅色區域）面積約 2,140 平方公里，潛在棲地（紫色區域）面積約 1,313 平方公里。

雖然重要棲地有涵蓋中港溪北側部分棲地，但石虎的分布北界，目前並沒有越過中港溪，主要是因為永和山水庫附近的出現點，套疊 3,500m 緩衝範圍之後所納入，由於中港溪是苗栗石虎往北擴散到新竹縣境內的主要阻隔之一，此區是未來加強棲地阻隔改善，提高石虎擴散的重點區域。苗栗縣主要石虎分布區都已完整調查，由於台 3 線以東海拔漸高，石虎數量較少，因此記錄較為零星。

台中市石虎重要棲地主要有兩處空缺：

- (1) 石岡、新社與東勢交接區域，但是台中市第一年石虎於此區進行調查，仍沒有發現石虎。
- (2) 台中與南投之間主要缺乏調查但是很有可能還有石虎的區域為霧峰區與國姓鄉北側交接區域，由於霧峰區是台中市第二年石虎調查的目標區域，未來可根據最新調查資料，更新石虎重要棲地範圍。

由於台南鹿寮溪水庫的石虎很有可能已經區域性消失，濁水溪的支流清水溪則現在主要為目前石虎分布的最南邊界，重要棲地目前也僅跨過濁水溪一小部分的範圍，如果濁水溪對於石虎族群遷移擴散是一個不小的阻隔的話，則濁水溪南岸竹山鎮的石虎，很有可能也會逐漸消失。

八卦山區則是 2017 年下半年新增加的重要棲地，前期調查在八卦山最南側與南投可能有連接廊道的區域調查，但並未發現石虎，而根據此次最新的棲地分析，可以發現八卦山區與南投石虎族群主要透過貓羅溪交流，與台中石虎族群主要透過烏溪交流，由於貓羅溪流域水量較小，貓羅溪對於連接八卦山與南投石虎族群，扮演關鍵地位。

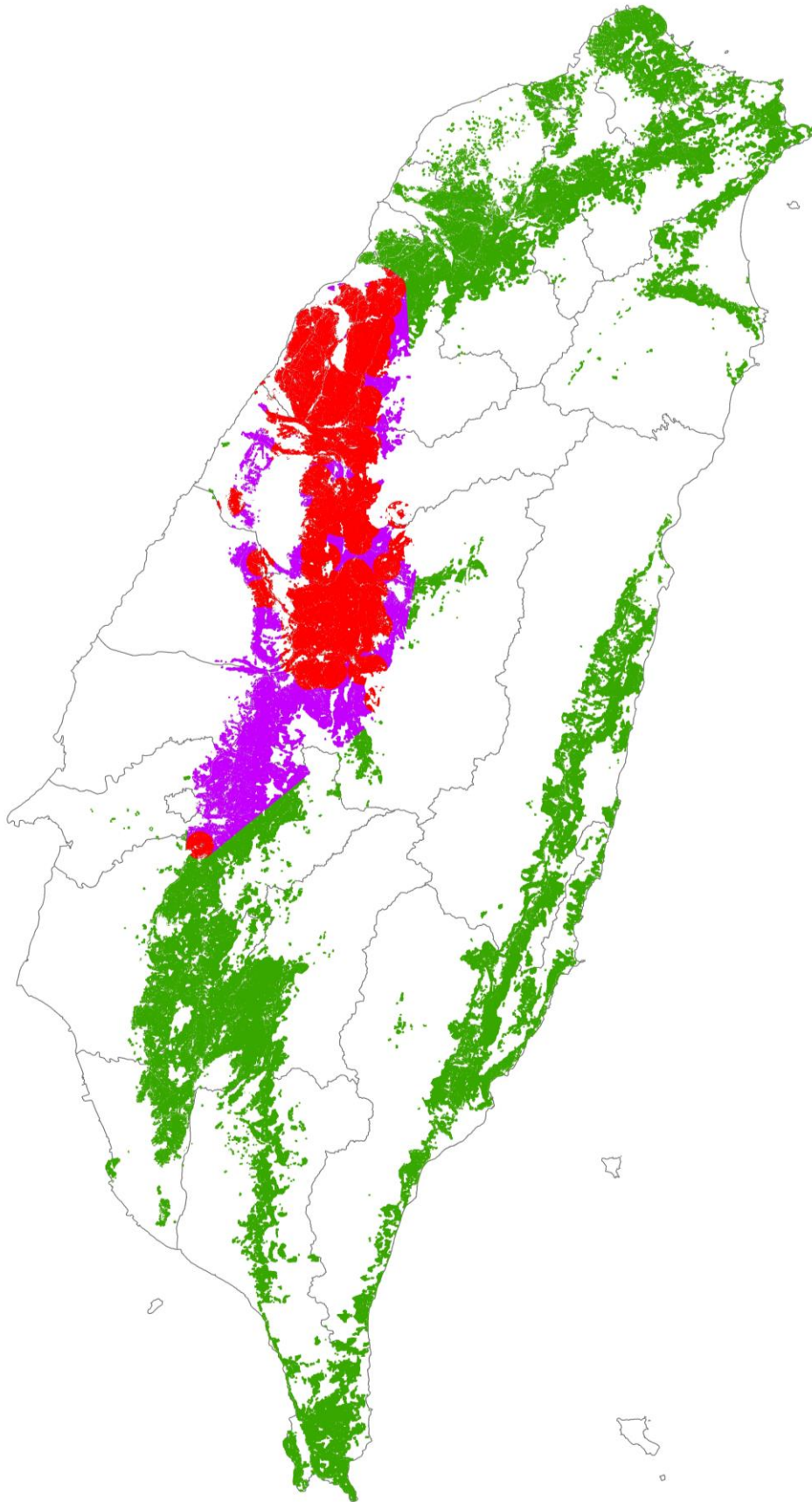


圖 13、石虎棲地分布，包括重要棲地（紅色區域）與潛在棲地（紫色區域），以及石虎可能棲地（綠色區域）

總結來說，大肚山與台南鹿寮溪水庫的石虎因為 10 年內皆沒有再記錄到，很有可能已經區域性消失，而台中市后里區與外埔區、裡冷林道以及南投最東側惠蓀林場附近應都屬邊緣棲地的族群，石虎主要族群分布在苗栗中港溪以南，以及南投濁水溪與清水溪以北。

#### (四) 石虎棲地廊道分析

綜觀石虎棲地，受道路、鐵路、高鐵、溪床阻隔與切割，加上開發造成之棲地破碎化，石虎族群實際上可能被分割為數個較小族群，視阻隔強度不同或者鐵公路之涵洞通道可及性，保有不同程度但卻有限的交流。依據圖 3 預測機率，擷取 $>0.5$  以上者為中高適合度，定義為核心族群棲地，同樣透過土地利用圖層，去除人工建物、水庫、湖泊、鐵路、高鐵(非隧道段)、國道與快速道路等(圖 14)，計算各個獨立隔離區塊面積，選取面積  $5\text{km}^2$  以上區塊，另外，台中與南投之間增加選取數處中繼區塊(依照專家會議決議)，而為增加對八卦山族群與其他區塊交流廊道位置的了解，亦將八卦山區小區塊納入廊道分析(圖 15)，經由 Linkage Mapper 分析之後的結果如圖 16，淺綠色是預測出現機率較高且面積較大或是廊道中途重要的關鍵棲地(即圖 15 中之區塊)，廊道由黃到紅，表示廊道的阻力，越紅表示阻力越小的廊道。

苗栗縣境內的族群，受到後龍溪、苗栗市、銅鑼與公館的市鎮的阻隔，形成一個不規則的 U 型，廊道分析顯示，穿越後龍溪的阻隔不小，但西湖溪由於溪床較小，市鎮開發較少，可以有阻隔較小的遷移廊道，同樣地，位於公館鄉、銅鑼鄉、大湖鄉交界附近的後龍溪上游，則是另外一個交流遷移廊道。苗栗最大區塊的石虎棲地，主要為從通霄、三義、銅鑼、大湖與卓蘭這一區塊，也應是目前石虎最大面積的相連棲地，但受國道 1、台 13、三義市鎮切割，逐漸隔離，交流受阻，由廊道分析，主要連接廊道位於三義的南北兩端。此一最大區塊，在鯉魚潭水庫西側，往后里區與東勢區交界，穿越大安溪床，與台中石虎族群交流，但需再穿越大甲溪床，受到部分石岡與豐原市鎮的阻隔，才能與新社、北屯等地丘陵淺山棲地相連。而大甲溪上游在新社龍安橋附近，則是另外一個台中市石虎族群因大甲溪隔離的交流遷徙熱區。由於台中市北屯、太平、霧峰淺山地區開發多，棲地較為破碎，交流遷徙的相對阻隔較高，與南投的族群，主要的溪床阻隔為烏溪，交流廊道主要位於草屯雙冬里與國姓鄉龜子頭北側的烏溪。



南投縣境內的石虎族群，主要受濁水溪床分為兩區，目前在濁水溪南側的竹山鎮，僅存較小塊的棲地。新紀錄的八卦山石虎族群，則主要在南北兩側透過濁水溪與大甲溪床，與南投與台中的石虎族群相連，形成較為隔離的小區塊，由於草屯與南投市鎮將八卦山與南投石虎族群隔離，石虎是否可以穿越，經由貓羅溪床交流遷移，由於目前溪床石虎的生態資料很少，模式無法反應石虎對於溪床的利用，這一部分則需要更多的研究，因此在廊道的解釋上需加以注意。例如，某些石虎個體可能選擇穿越危險的道路或是住宅區，以達到最短距離、較快遷徙的目的，但不一定會是最小阻力，如貓羅溪是南投個體要移動到八卦山區的最短距離廊道，但因為中間一區較密集的市鎮或是國道，卻有較高的風險(棲地預測適合度較低)，就不一定會在最小阻力廊道中顯現出此廊道，因此最小阻力廊道分析未呈現出之廊道，不一定代表就不是重要的交流廊道，由圖 13 可以看出，貓羅溪是南投石虎往八卦山目前已知石虎分布區的最短路徑，但卻不一定是最小阻力之交流廊道，加上模式預測受限石虎在溪床活動點位較少，因此無法呈現石虎對於溪床的利用，這是未來可加強研究的方向。

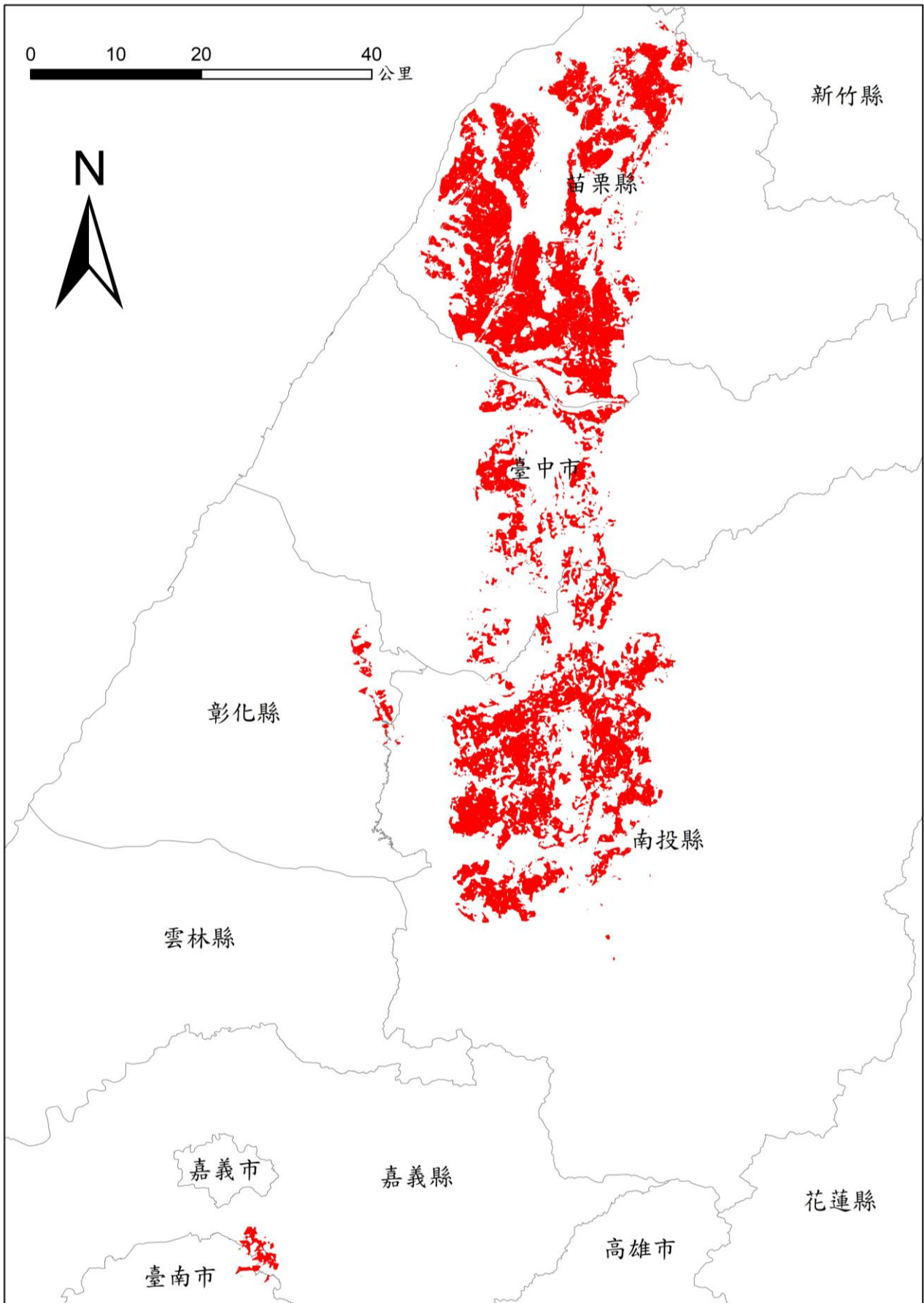


圖 14、石虎中高適合度(出現機率 $\geq 0.5$ )棲地分布



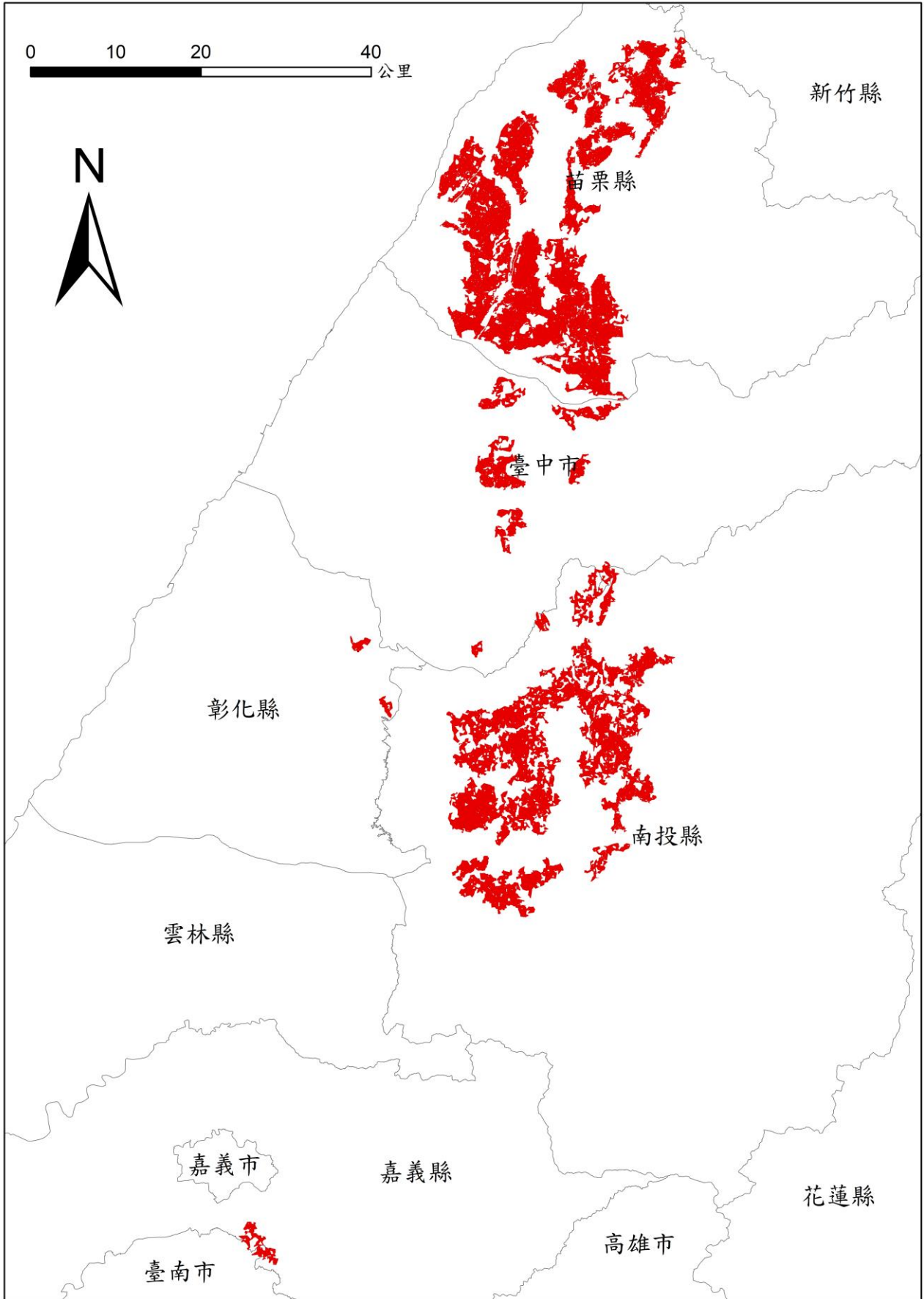


圖 15、石虎廊道分析主要族群位置

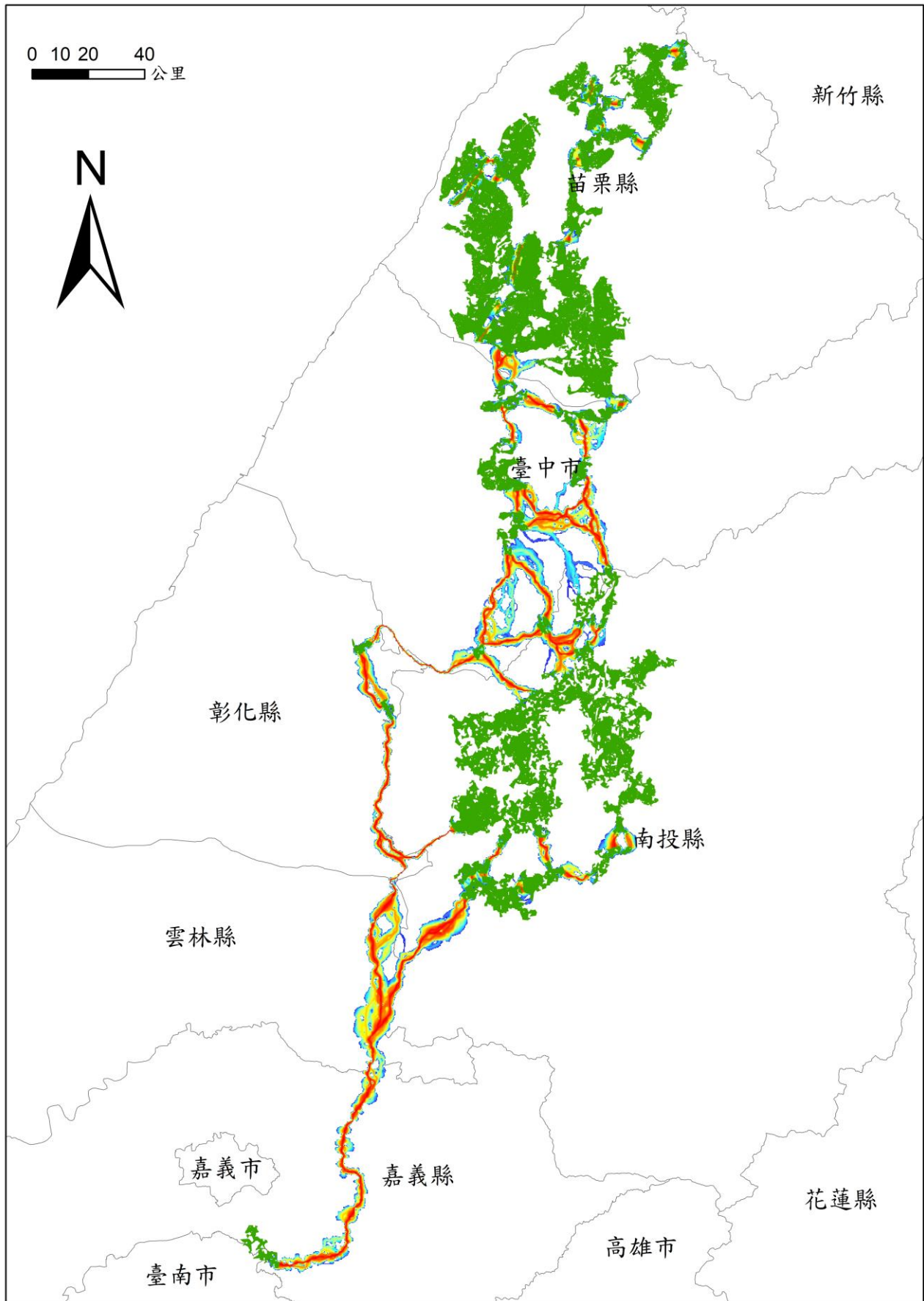


圖 16、石虎主要族群(綠色)廊道分析，紅色系表示阻力越小，藍色系則反之

## 六、石虎族群數量與重要棲地保育對策

### (一) 棲地面積與石虎族群數量

陳美汀根據 6 隻無線電追蹤的石虎以及自動照相機拍到的未被捕捉追蹤的其他個體，在苗栗通宵約 32 km<sup>2</sup> 的研究樣區內估計約有 7-10 隻個體（陳美汀私人通訊），換算石虎密度為 21-31 隻/100km<sup>2</sup>，與國外其他地區石虎密度相比（表 4）屬中密度。若以此密度估算，目前已知石虎分布區域面積約 2,140km<sup>2</sup>，約有 468 – 669 隻石虎，但這是假設已知石虎分布區中密度均質，且假設棲地是連續的狀況之下，也沒有將大肚山與鹿寮溪水庫應已經消失的族群扣除，以通宵石虎密度在苗栗地區，應屬較高密度（陳美汀私人通訊），且已知分布區有往周遭再納入 178m 緩衝區域，應有額外涵蓋不適合棲地，石虎族群數量可能更少。此密度估算並未考慮有效繁殖族群，以研究樣區範圍內可以記錄之石虎估算，若以有效繁殖族群（Ne）來看，實際上有效繁殖族群應更低。

表 4、台灣與其他國家之石虎密度估算

區域	密度	估算方法	資料來源
台灣/苗栗通宵	21 -31 / 100km <sup>2</sup> (7-10 / 32km <sup>2</sup> )	基於研究樣區有 6 隻無線電追蹤與未被追蹤之個體估算	陳美汀私人通訊
日本/Iriomote 西表島	35 -39 / 100km <sup>2</sup> (99-110/ 284km <sup>2</sup> )	無線電追蹤與自動照相機	(Izawa et al. 2009)
日本/Tsushima 對馬島	20 - 29 / 100km <sup>2</sup> (83-115/ 710km <sup>2</sup> )	無線電追蹤與自動照相機	(Izawa et al. 2009)
印度	17 ± 5.33 / 100km <sup>2</sup>	自動照相機個體辨識與 Capture-Resight 統計模式	(Bashir et al. 2013)
婆羅洲(DFR 樣區) 較為鬱閉森林環境	9.6 ± 1.7 / 100km <sup>2</sup>	自動照相機個體辨識與 Capture-Resight 統計模式	(Mohamed et al. 2013)
婆羅洲(TFR 樣區) 較為開闊森林環境	12.4 ± 1.6 / 100km <sup>2</sup>	自動照相機個體辨識與 Capture-Resight 統計模式	(Mohamed et al. 2013)
婆羅洲(SLFR 樣區) 較為開闊森林環境	16.5 ± 2 / 100km <sup>2</sup>	自動照相機個體辨識與 Capture-Resight 統計模式	(Mohamed et al. 2013)
婆羅洲	37.5 / 100 km <sup>2</sup>	基於 7 隻無線電追蹤個體活動範圍大小估算	(Rajaratnam 2000)

## (二) 石虎族群變動

日治時期，台灣石虎仍然全島分布，但因棲地消失、狩獵與皮毛交易、中毒（人為毒殺或滅鼠藥）、路殺等原因，族群逐漸減少。1986-1988 年的山產店調查，即已顯示石虎正在快速減少(王穎 1986, 1987, 1988)。根據文獻與剪報資料，推測石虎地區性消失的可能時間點，台東約 1968 年之後、台北山區約 1985 年之後、雲林約 1988 年之後、桃園臺地約 1992 年之後、嘉義山區約 1994 年之後、台南可能也在 2006 年之後消失，現在僅存苗栗、台中、南投與彰化四縣市仍有石虎出沒，但面臨嚴重的棲地破碎化與消失的威脅。

苗栗的族群近年仍然無法擴散到新竹，南投族群也無法補充擴散到雲林地區，嘉義台南的石虎也陸續消失，台灣石虎族群顯然仍處於下降的趨勢，換句話說，現今石虎面臨諸多威脅，其族群持續下降，分布逐漸萎縮。目前台灣石虎族群存續的關鍵因子應該主要有(1)棲地破碎化與消失(2)盜獵與毒殺造成石虎死亡之人為死亡率高，石虎族群呈現下降趨勢，以上兩個原因會讓族群形成更多的小族群，容易陷入滅絕漩渦(Gilpin and Soulé 1986)。

## (三) 重要棲地保育對策

### 1. 族群角度

若以最小可存活族群量 (minimum viable population, MVP) 的 500 – 1,000 隻建議(Franklin 1980, Thomas 1990, Franklin and Frankham 1998)，則重要棲地範圍內石虎族群數量很有可能少於 MVP 建議族群量，族群存續需要更多積極的保育措施以免滅絕。若能使潛在棲地的石虎族群恢復，則重要棲地加上潛在棲地的總面積 3,453km<sup>2</sup>，約可有 755 – 1,079 隻石虎，對於石虎族群的存活應能提供更多的保障，終極目標則應朝向所有可能棲地內，石虎族群可以恢復。

雖然對於 MVP 的建議數量有不同見解，而不同物種、不同區域可能也需要因地制宜來看待，但現在台灣石虎族群即使有 468 – 669 隻仍然處於持續下降的趨勢，顯見有其他造成族群下降與分布萎縮的原因。

石虎路殺近年引起許多媒體報導，也獲得相當程度的關注。在苗栗通宵的石虎無

線電追蹤，石虎活動範圍不傾向穿越較大之道路(陳美汀 2015)，2014-2015 年的野放小石虎無線電追蹤，雖然野放個體會穿越道路，但部分個體在部分路段，仍有不穿越道路的傾向(陳美汀等 2015)。路殺事件增多，是否因為石虎逐漸受到民眾關注，因此更會積極回報石虎路殺，亦或是因為許多石虎棲地正遭受破壞與消失(如大開發與山坡地大量的違法農舍別墅)，導致失去棲地的石虎擴大活動範圍或遷移而更為頻繁的穿越道路所導致？

然而，通宵地區 6 隻無線電追蹤的石虎，6 隻在一年內全部死於捕獵與毒殺(5 隻確認，1 隻無線電發報器於民宅後方發現而很有可能亦被捕捉或毒殺)，其中有 4 隻還是在半年內就死亡(陳美汀 2015)。事實上，這只是一個小地方有在追蹤的，且是 100% 死亡率，1 年內就有 5-6 隻死亡，應有更多被毒殺與盜獵而死亡的石虎是看不到的，在許多地方仍有盜獵與人虎衝突導致的毒殺持續發生下，每年死於盜獵與毒殺的死亡石虎個體，推測應有數十隻以上！

捕獸鈎、盜獵與毒殺造成的石虎死亡數量應遠遠大於路殺，只是看不到。以族群動態的角度切入，這是關鍵因子，如果因為路殺的新聞性，而把多數資源投入『路殺解決』，並不會有太大效果，路殺只是『道路』的表徵症狀，就像發燒，真正要解決的『病因』是『道路』，不是路殺；是道路開發引入的棲地切割、破碎、族群交流阻礙、甚至引入更方便的盜獵與更多的人虎衝突而有更多的毒殺，以及道路讓土地增值後的頻繁買賣、山丘上雨後春筍將整塊山坡地分割成一棟棟 2 分半別墅所造成石虎棲地的消失，以及更大的開發利益讓當地居民更討厭石虎的阻撓開發而惡性循環造成更多的人虎衝突(St. John et al. 2015)。

因此，道路與開發的問題，除了政策面由上而下的解決，在『由下往上』的策略中，解決盜獵與毒殺的迫切性遠遠大於路殺。現在的石虎族群仍在持續減少萎縮中，這樣的現象等於是說，如果盜獵與毒殺的死亡率維持原樣而不解決，即使現在沒有任何新的開發與農舍別墅，保護區也設立但卻無具體保護區巡守作為的話，石虎的族群恐怕一樣會繼續萎縮，然後消失，步上雲豹在台灣野外滅絕的後塵。

## 2. 棲地角度

目前石虎分布區，即本計劃產出之『重要棲地』，估算應有約 468-669 隻石虎，

而讓石虎可以逐漸擴張到周遭潛在棲地，讓石虎整體分布區面積可以達到 3,453km<sup>2</sup>，以支持 755 - 1,079 隻石虎，是很重要的石虎保育目標，終極目標則應朝向所有可能棲地內，石虎族群可以恢復。以此為目標，在棲地角度的經營管理與保育策略可以包括：

### (1) 重要棲地

在保育層面上，確保重要棲地內的石虎族群永續是最重要的工作，因此在範圍內有開發案需評估時，需進行石虎調查，並擬定石虎保育計劃書，提供主管機關進行開發審核。

確保關鍵棲地內的石虎族群不減少，並提高族群的密度與數量。棲地角度可以採取的策略與經營管理措施包括：

- a. 改善：改善棲地品質，提高棲地的石虎承載量。棲地的經營管理，透過 MAXENT 的分析提供部分巨觀的尺度方式，而微觀尺度的棲地具體作為，仍然有待進一步的操作性與試驗研究。
- b. 開源：創造新的良好石虎棲地
- c. 節流：避免石虎適合棲地面積消失

### (2) 潛在棲地

確保關鍵棲地的石虎族群新生與擴散個體，可以有擴散到周遭潛在棲地的廊道，例如苗栗族群要擴散到新竹的適合棲地，適合遷移的廊道（包括棲地類型、遮蔽、安全性等考量）位於何處，是否有破壞或消失的顧慮，是否可以改善廊道的品質等等。

潛在棲地的棲地品質，同樣需要確保可以適合石虎利用，減少或避免不必要之開發與棲地改變。範圍內有開發案需評估時，應建議針對石虎調查，調查努力量，每個自動照相機樣點至少需要連續工作 100 工作天以上，開發環境影響評估範圍內，自動照相機調查樣點至少每 100 公頃（石虎核心活動

範圍) 需有 3 處樣點以上，且全區開發區至少需要 10 處以上 (兩種計算樣點數方式取最大值)。一旦發現石虎，需回報主管機關並擬定石虎保育計劃書，提供主管機關進行開發審核。

### (3) 可能棲地

長期目標，則是逐漸擴展到其他可能棲地的棲地經營管理以及族群的保育措施。

### (四) 石虎重要棲地定期更新與公告

既有棲地圖層可以在隨時有新的紀錄點位時，重新進行一次 MAXENT 分析，依照同樣步驟，產生新的石虎重要棲地，因本次已經涵蓋多數石虎出現樣點，新的資料點位，通常不會改變結果太多，但是若是有以下情形的新資料，建議進行更新：

1. 若有在潛在棲地以及重要棲地與潛在棲地交界附近的新點位，因為會擴大石虎重要棲地，可直接套疊點位加上 3,500m buffer 之後的新棲地，直接涵蓋即可。此種更新，可以很快的完成，可隨時更新。
2. 既有石虎出現點位多位於森林或是森林邊界，較少空曠地、溪床、開墾農地、平坦農地等的棲地資料，後續若有新增較多此類棲地性質的出現點位，建議重新進行一次 MAXENT 分析，並套疊最新石虎出現點位，劃定石虎重要棲地。
3. 目前結果，於台中部分地區尚有資料不足，2018 年台中市石虎第二年度調查完畢以及南投的石虎調查新增資料之後，可再進行一次重新分析與更新，應能更完整的呈現石虎重要棲地。
4. 建議苗栗、台中、南投、彰化等地的環評調查報告，若有紀錄石虎出現，隨時通報負責更新石虎重要棲地之單位。
5. 後續定期更新，除非有顯著影響重要棲地範圍的新資料需隨時更新之外，可每 1~2 年進行一次即可，建議林務局可與台灣石虎保育協會及特有生物研究保育中心討論，會商出林務局、石虎保育協會與特生，共同更新與公告的方式。
6. 由於石虎族群瀕臨絕種，分布範圍亦無明顯擴增的跡象，建議應持續的擴大監測調

查，是否有石虎持續消失的區域，藉由持續的監測調查與更新，方可提供更為完善之石虎重要棲地，以利石虎保育。



## 七、結論與石虎保育經營管理對策建議

### (一) 結論

1. 石虎棲地多數位於私有地，在台灣既有保護區制度下，不易劃設為保護區以避免開發，因此難以在保護區的操作上達成有效的棲地保護成效。美國 Endangered Species Act 中的 critical habitat 關鍵棲地作法，提供瀕危物種在私有地保育的一種參考方式，也就是可以涵蓋私有地的關鍵棲地劃設，但並非保護區，而法律要求開發之前必須諮詢相關保育主管單位，提供了另外一種棲地保護的方式。但美國 ESA 關鍵棲地的作法，並無規範小面積以及與聯邦無關的開發計畫案，保護了地主的一定權益，但這樣的操作並無法解決現今苗栗與其他縣市淺山地區山坡地農舍別墅的炒作與興建，所造成的棲地消失與造成更多的人與石虎的衝突。後續可評估依據台灣民情修改操作模式，台灣也可考慮在未來修法，增加法源依據，並針對山坡地非農地農用的違法農舍別墅嚴加管理以及修訂相關法律與辦法。這樣的操作，除了石虎，對於生活在與人類活動區域高度重疊的低海拔瀕危物種如穿山甲、食蛇龜(*Cuora flavomarginata*)以及草鴉(*Tyto longimembris*)等物種，也很有幫助。
2. 依照 MAXENT 分析，歸納低海拔連綿的和緩丘陵地、不太陡峭或海拔高低變化不會太大、具有一定森林覆蓋、鑲嵌的環境提供石虎多樣化與豐富的獵物，且道路密度不能太高，為目前台灣石虎主要出現的環境。預測石虎可利用之適合棲地，在已知石虎分布範圍內有 2,140 km<sup>2</sup>，定義為重要棲地，而與重要棲地相鄰，可能還有石虎分布或可作為石虎族群成長擴散的棲地定義為潛在棲地，面積約有 1,313 km<sup>2</sup>，石虎可能棲地則有約 6,799 km<sup>2</sup>。
3. 現有關鍵棲地，也就是目前已知石虎分布區的面積 2,140 km<sup>2</sup>，僅佔所有石虎可利用之適合棲地面積 10,244 km<sup>2</sup> 的 20.9%，換句話說，石虎的族群與分布，不計入已經開發為市鎮之區域，近 50 年至少萎縮接近 8 成，若考量已經開發的區域，消失的棲地面積，至少 8~9 成以上。
4. 根據苗栗通宵的石虎無線電追蹤研究，估算重要棲地，也就是目前已知石虎分布區有 468 – 669 隻石虎，但此估算是假設已知石虎分布區中，密度均質，且假設棲地是連續的狀況之下，然後套用苗栗的通宵地區較高石虎密度去估算，有效繁殖族群(Ne)應該更低，若以最小存活族群量之 500-1,000 隻建議並不足，而目前台灣石虎的族群

也呈現下降的趨勢，因此，讓石虎族群可以成長並擴增到周遭潛在棲地，讓石虎整體分布區面積可以達到規劃之石虎重要棲地總面積 3,453 km<sup>2</sup>，以支持 755 - 1,079 隻石虎，並進一步改善棲地提高石虎棲地族群承載量，是很重要的石虎保育目標，終極目標則應朝向所有可能棲地內，石虎族群可以恢復。然而此計畫之石虎族群估算為相當粗略的估算，且假設所有已知石虎分布區密度皆為均質且都為等同苗栗通宵地區的較高密度狀況，有可能高估，未來應進行更為仔細的族群估算與動態研究，包括在考量棲地破碎、連接性等情況下，針對石虎的族族群 (metapopulation) 進行詳細的族群動態研究。

5. 台灣石虎現在僅存苗栗、台中、南投與彰化四縣市淺山地區仍有石虎出沒，面臨嚴重的棲地破碎化與消失以及盜獵毒殺導致高死亡率兩大威脅，族群呈現逐年減少與分布萎縮的趨勢，如果威脅持續，特別是盜獵與毒殺的死亡率維持現狀而不解決，即使現在沒有任何新的開發與農舍別墅，即使保護區設立但卻無具體保護區巡守作為的話，石虎的族群恐怕一樣會繼續萎縮，然後消失，步上雲豹的後塵。

## (二) 石虎重要棲地保育與經營管理對策

### 1. 石虎保護區劃設與國土計畫法

由於私有地劃入保護區範圍有一定難度，對於私有地的開發，可參考美國瀕危物種法劃設關鍵棲地的做法，透過本研究，公告石虎重要棲地並週知相關主管機關、環評與開發事業單位，針對開發對石虎的衝擊，進行仔細的評估。而國土計畫法的功能分區，建議將本研究產出之石虎重要棲地範圍，特別是面積較大以及重要地區的區塊，以及交流遷徙廊道經過的區域，若未能劃入石虎之保護區，應劃入較高保護或限制等級的國土計畫功能分區。

保護區的劃設，建議不應只考量苗栗範圍內區域，應從目前石虎重要棲地整體範圍內去進行劃設，至少應盡量將石虎重要棲地範圍內之國有土地劃設為保護區。保護區劃設並無法完全保育石虎，有限的面積雖只能提供少數個體存活，但只要周遭的棲地並未遭到大面積的開發，以及積極減緩其他致死原因，保護區可扮演一部份的石虎避難所的功能。

因此，在保護區的劃設建議上，亦必須搭配積極保育巡守的經營管理措施，方能有效抑止保護區內的盜獵與毒殺行為。現今諸多石虎的盜獵與毒殺行為，應尚未有任何的具體法律判例，民眾可能仍存有僥倖之心，取締盜獵與人和石虎衝突的毒殺事件，除了法律面的執行之外，考量不同的執行方式（如社區保育、里山農業等）以減少當地民眾的反感，多管齊下或較能減緩石虎的人為死亡率，以幫助石虎族群恢復為逐漸成長的趨勢。

## 2. 棲地保育與經營管理

### (1) 石虎重要棲地開發評估

針對石虎重要棲地內的開發案，應針對石虎進行詳細的調查與影響評估，若有開發必要，應有完善的生態補償方案。補償方案應考慮開發棲地導致周圍石虎棲地品質劣化，並且以補償新棲地為原則，而非在既有石虎棲地上劃設補償範圍。而道路的開發，線形的開發，導致的切割效應大，補償並非單從道路面積，而需考量切割與阻隔效應，加上引入的開發壓力與狩獵壓力等，進行必要且足夠的補償與阻隔減緩。

### (2) 核心族群與關鍵棲地

石虎重要棲地範圍內面積較大、廊道處、獨立特殊區(如八卦山)等的棲地，可以視作核心族群，可進一步以更強化的『關鍵棲地』來劃定之，考慮納入保護區或更高限制的國土計劃功能分區。

(3) 棲地可以更為積極的做法來進行，如改善棲地的品質或者創造適合石虎的棲地等，而這有賴針對棲地經營管理的操作性與試驗研究。另外，石虎分布區內之國有林班地內的出租林地與伐木造林等，是否對石虎有害？怎樣的規模與尺度操作才能降低對石虎的衝擊或對石虎有利？是否有可能與改善石虎棲地經營管理工作結合，例如不適合石虎利用之植被林型的改善等等。這些棲地經營管理的整體評估與進行，建議可清查既有出租林地與伐木的區域與石虎分布區的重疊性，並搭配適當的檢討、評估與監測機制，以了解石虎族群與生物多樣性與這些林業經營關係。

### 3. 廊道保育與改善

石虎棲地的破碎化以及交流廊道的評估，有助於釐清族群擴散是否有因為棲地阻隔造成的困難，例如苗栗的石虎若要往北擴散到新竹或往南與台中族群交流，或者南投族群往雲林與彰化八卦山擴散是否有阻礙？主要的交流廊道在何處？這些交流廊道是否需要積極的經營管理與保育措施等等，都是有助保育石虎的棲地與族群的後續調查與研究。透過本研究產出的廊道位置，可進一步搭配現場勘查，進行更仔細的廊道研究與改善計畫，增加石虎的族群交流以及往南北擴散的可能性。

通霄區塊有密集的鐵路、高鐵、兩條國道與快速道路，隔離與破碎化嚴重，也因為交通方便，面臨的棲地開發與別墅農舍的開發壓力也最大，本區的棲地保育，以及廊道、通道的改善研究，應優先以此區作為盤點與研究改善區域。

而從此區延伸到三義、大湖與卓蘭，應是目前石虎最大面積的相連棲地，但受國道1、台13、三義市鎮切割，逐漸隔離，交流受阻，隨銅鑼科學園區的開發、三義市鎮因應觀光的发展、新興的社區興建、周遭新的開發案如裕隆擴廠、木雕園區等等，都集中在此區塊的中心區域，一刀切開，逐漸讓此最大面積區塊分割隔離，未來此區的棲地保育，可說是石虎棲地保育最主要的重點區塊。

竹山鎮的石虎棲地位於最南，由於面積較小，加上北有濁水溪的可能阻隔效應，而竹山鎮東南側山區平均海拔較高，也可能是竹山鎮境內東北角的石虎邊緣族群，往更南邊與往西南邊雲嘉南淺山擴散的主要障礙。因此這一個區域的棲地改善，濁水溪與清水溪與周遭的棲地廊道交流改善，可能可以作為石虎族群擴散的保育思考作為之一，目標在提高竹山鎮石虎的族群數量與改善棲地，也同時加強竹山鎮石虎與北側族群的交流連接。如果濁水溪的阻隔效應過大，則竹山鎮的石虎族群，是一個需要加以注意，以避免這一區域石虎族群持續減少而消失。集集攔河堰上下游對於石虎交流遷徙的影響，是未來可以加強研究與保育的方向。

新紀錄的八卦山石虎族群，則主要在南北兩側透過濁水溪與大甲溪床，與南投與台中的石虎族群相連，形成較為隔離的小區塊，由於草屯與南投市鎮將八卦山與南投石虎族群隔離，石虎是否可以穿越，經由貓羅溪床交流遷移，由於目前溪床石虎的生態資料很少，模式無法反應石虎對於溪床的利用，這一部分則需要更多的研究。因此，

這些廊道與貓羅溪的開發與堤防施作，都可能對八卦山石虎族群有顯著的影響。

八卦山區與竹山鎮的石虎族群，分別位於最南側與邊緣，溪床周圍的開發、潛在阻隔加上堤防的施作，都可能使此兩小族群的交流廊道有很大的衝擊，如果未加注意，此兩區的石虎很有可能快速消失。

#### 4. 持續監測並定期更新與公告石虎重要棲地

本研究之主要目標，即在克服私有地難以劃設保護區的限制，透過公告與更新石虎重要棲地，並且持續的監測石虎族群變化，讓在石虎重要棲地的開發，可以據以進行更詳細的評估或必要的生態補償，減緩對石虎的衝擊。

#### 5. 加強石虎保育研究

石虎經營管理與保育策略，需以從族群與棲地角度同時切入，但相關調查研究仍遠遠不足，包括部分區域仍缺少調查、石虎族群實際估算研究、族群動態與模擬、關鍵死亡率、棲地改善、棲地地景生態、棲地廊道生態資訊缺乏或深入資訊不足，難以釐清影響石虎族群的關鍵因子，並在有限資源下操作具體經營管理與保育措施，未來宜針對這些議題深入研究，並據以提出石虎保育行動綱領。

#### 6. 石虎保育與生態教育中心

日本西表山貓的保護可以成功，除了數十年持之以恆的投入經費在相關保育研究，以了解西表山貓的保育關鍵點之外，主要在於多數居民已經形成共識，西表山貓也成為西表島的觀光象徵之一，因此西表山貓主要的威脅反而是路殺，與台灣的石虎受威脅狀況以及主要棲地在私有地上差異很大。而西表島上的石虎保育解說中心，同時執行相當多的石虎保育與監測工作，包括養雞戶雞舍修繕與宣導、環境教育、石虎族群監測等，可以作為台灣執行的參考，例如將火炎山生態教育館轉型作為石虎保育與生態教育中心。這樣的中心，可負責石虎族群監測、養禽戶衝突解決與友善防治宣導、石虎生態保育推廣、社區保育、失怙小石虎照養野放等，亦可包括石虎重要棲地的更新與公告。

### (三) 石虎重要棲地後續保育研究建議

1. 本研究主要針對棲地，但石虎保育亦需要從族群角度切入，因此針對造成石虎死亡的關鍵原因，同樣重要，不可忽略，目前因養禽戶衝突所造成的石虎死亡，應是目前最大的死亡率，應優先解決。而路殺造成的死亡，建議從棲地與廊道切入，探討石虎族群與棲地的破碎化與隔離，從加強隔離小族群的交流與廊道的研究與改善，避免族群破碎萎縮，也可同步達到減緩路殺的效益，本研究建議，應進行治本的族群與棲地廊道研究、保育與改善，而非僅有治標的路殺減緩，也就是通道的意義在連接石虎的族群與棲地。
2. 雖然已經收集 450 個石虎出現點位，並且產出已知石虎分布區以及石虎重要棲地，但仍有一小部分區域可能有石虎，卻因為缺少調查而未能納入石虎重要棲地，僅歸類在潛在棲地之中，不只在棲地的保護要求較弱，在族群數量估算上也無法納入，因此有必要針對這些地區儘快調查，以確認分布。在台中市石虎第二年調查以及南投縣石虎持續調查之下，應能涵蓋這些可能遺漏區域。然而新發現的八卦山石虎，尚未有石虎加強調查計畫，加上監測石虎擴散的可能性，建議以下 3 個區域進行加強調查：
  - (1) 八卦山區，以及南投與八卦山區之間
  - (2) 中港溪以北，調查苗栗石虎是否有往新竹擴散
  - (3) 南投竹山鎮，調查竹山鎮石虎是否有往南擴散
3. 本次收集的石虎出現點位，除了路殺與救傷之外，多是依靠自動照相機調查資料，因此多偏向有森林覆蓋的環境，因此模式預測上可能會偏向有森林覆蓋的棲地。近期研究，發現石虎也會利用較為開闊的環境，例如河床、草生地等等，因此針對自然度較高的大片農地(如後龍、苑裡)，溪床用以狩獵與遷徙的利用等，缺乏資料，對於後續的重要棲地與廊道分析都可能造成偏差。溪床的廊道與農地的石虎利用，需要更多的研究，對於堤防、溪床的遷移利用，對於廊道分析與保育，可能會有與本報告廊道分析結果有些不一樣的面向。但這類環境很難透過自動照相機調查，無線電與 GPS 追蹤石虎利用天然林、溪床、開墾農地，並在後續納入重要棲地與廊道分析，對於後續石虎保育會是很重要的資訊。
4. 不同的農業或產業型態（如不同種類之果園）、用藥強度與季節性、滅鼠強度與季節性等不同產業會有的差異，可能都與石虎本身存活、石虎的獵物豐富度或狩獵掩蔽有關，這是未來可以進一步探討研究並進一步改善的層面，特別是在與石虎主要活動區

域相鄰的環境。

5. 增加國有林班地範圍內，較大區塊森林的石虎利用調查，不只是評估是否出現，還必須包括繁殖、存活率、繁殖率等族群參數，這樣的森林環境，即使族群密度較低，但卻可能提供較高的存活率與繁殖率，扮演族群存續與避難所的關鍵地位。
6. 建議針對棲地經營管理部分，進行長期專案研究計畫，透過研究分析以及試驗操作，搭配長期監測，才能釐清與確認有效的棲地維護、復育、改善等之棲地經營管理策略。
7. 台南鹿寮水庫以南的大片台南淺山地區，因距離既有已知石虎分布區較遠，並未歸類於潛在棲地，但因面積較大而連續，且調查量也少，亦建議進一步加強調查。即使調查之後發現沒有石虎，亦可以作為石虎復育的很好棲地，在調查石虎之時，同步評估石虎消失的可能原因，若能解決石虎在該區消失的原因，台南淺山可作為未來石虎族群成長擴散，或是野放復育候選區域。
8. 南投往東(惠蓀林場)以及台中市東勢往東之山區(如裡冷林道)或許是少數石虎個體擴散或避難所，雖然該區調查少，但深山地區面臨開發壓力小，與其他石虎主要棲地淺山地區相較，現階段反而並無在該區調查監測與保育的急迫性，石虎可在自然情況下擴散利用該區棲地，若以石虎族群擴散、增加石虎棲地與分布範圍的角度來看，八卦山區、竹山往西南的擴散、苗栗跨過中港溪往新竹的中港溪廊道點，需要進一步的現場調查、阻隔調查與改善計畫。

## 八、參考文獻

- 王穎. 1986. 台灣地區山產店對野生動物資源利用調查(I). 75年農委會生態研究第11號, 農委會, 台北.
- 王穎. 1987. 台灣地區山產店對野生動物資源利用調查(II). 76年農委會生態研究第21號, 農委會, 台北.
- 王穎. 1988. 台灣地區山產店對野生動物資源利用調查(III). 77年農委會生態研究第17號, 農委會, 台北.
- 台灣總督府警務局理蕃課. 1937. 高砂族調查書:第二編、生活. 台灣總督府警務局理蕃課.
- 林良恭. 2008. 人工林不同疏伐強度作業對脊椎動物族群及群聚組成之影響. 國科會成果報告, 計畫編號 NSC 96-2621-Z-029-001.
- 社團法人中華民國野鳥學會. 2008. 重要野鳥棲地 (IBAs) 永續執行計畫. 行政院農業委員會林務局 97 林發—03.1—保—16, 台北, 台灣.
- 姜博仁, 朱祐璽, 鄭蕙如, 和林宗億. 2009. 塔塔加地區野生動物自動化監測可行性評估. 玉山國家公園叢刊編號 1186 號, 玉山國家公園管理處, 南投縣水里鎮.
- 姜博仁, 林良恭, 和袁守立. 2015. 重要石虎棲地保育評析(1/2). 行政院農業委員會林務局 104-林發-07.1-保-30, 東海大學熱帶生態學與生物多樣性研究中心.
- 陳美汀. 2015. 台灣淺山地區石虎 (*Prionailurus bengalensis*) 的空間生態學. 博士論文. 國立屏東科技大學, 屏東縣內埔鄉.
- 陳美汀, 裴家騏, 和廖靖婷. 2015. 104 年苗栗縣小石虎野放監測計畫. 新竹林區管理處 104 竹保(勞)字第 03 號, 國立屏東科技大學, 新竹.
- 陳兼善. 1956. 臺灣脊椎動物誌. 開明書局, 台北.
- 臺中州役所. 1936. 臺中州概觀(6 冊). 成文出版社.
- 裴家騏和陳美汀. 2006. 新竹、苗栗之淺山地區小型食肉目動物之現況與保育研究 (1/3). 行政院農業委員會林務局保育研究系列 94-05 號, 行政院農業委員會林務局.
- 裴家騏和陳美汀. 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.
- 劉建男. 2015. 南投地區石虎族群調查及保育之研究委託計畫 (1/2). 行政院農業委員會林務局保育研究系列 103-05 號, 南投.



- Bashir, T., T. Bhattacharya, K. Poudyal, S. Sathyakumar, and Q. Qureshi. 2013. Estimating leopard cat *Prionailurus bengalensis* densities using photographic captures and recaptures. *Wildlife Biology* **19**:462-472.
- Chiang, P.-J. 2007. Ecology and conservation of Formosan clouded leopard, its prey, and other sympatric carnivores in southern Taiwan. Ph.D. dissertation. Virginia Tech, Blacksburg, Virginia, U.S.A.
- Chiang, P.-J., K. J.-C. Pei, M. R. Vaughan, C.-F. Li, M.-T. Chen, J.-N. Liu, C.-Y. Lin, L.-K. Lin, and Y.-C. Lai. 2015. Is the clouded leopard *Neofelis nebulosa* extinct in Taiwan, and could it be reintroduced? An assessment of prey and habitat. *Oryx* **2**:261-269.
- Franklin, I. R. 1980. Evolutionary change in small populations. Pages 135-140 *in* M. E. Soule and B. A. Wilcox, editors. *Conservation biology: an evolutionary ecological perspective*. Sinauer Associates, Sunderland, Mass.
- Franklin, I. R., and R. Frankham. 1998. How large must populations be to retain evolutionary potential? *Animal Conservation* **1**:69-70.
- Gilpin, M. E., and M. E. Soulé. 1986. Minimum Viable Populations: Processes of Species Extinction. Pages 19-34 *in* M. E. Soulé, editor. *Conservation Biology: The Science of Scarcity and Diversity*. Sinauer, Sunderland, Mass.
- Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, and J. R. G. Townshend. 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. Data available on-line from: <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>. *Science* **342**:850-853.
- Izawa, M., T. Doi, N. Nakanishi, and A. Teranishi. 2009. Ecology and conservation of two endangered subspecies of the leopard cat (*Prionailurus bengalensis*) on Japanese islands. *Biological Conservation* **142**:1884-1890.
- Kano, T. 1929. The distribution and habit of mammals of Formosa (1). *Zoological magazine* **41**:332-340.
- Kano, T. 1930. The distribution and habit of mammals of Formosa (2). *Zoological magazine* **42**:165-173.
- McRae, B. H., and D. M. Kavanagh. 2011. *Linkage Mapper Connectivity Analysis Software*. The Nature Conservancy, Seattle WA.
- Mohamed, A., R. Sollmann, H. Bernard, L. N. Ambu, P. Lagan, S. Mannan, H. Hofer, and A. Wilting. 2013. Density and habitat use of the leopard cat (*Prionailurus bengalensis*) in three commercial forest reserves in Sabah, Malaysian Borneo. *Journal of Mammalogy* **94**:82-89.

- Paviolo, A., C. De Angelo, K. M. P. M. B. Ferraz, R. G. Morato, J. Martinez Pardo, A. C. Srbek-Araujo, B. d. M. Beisiegel, F. Lima, D. Sana, M. Xavier da Silva, M. C. Velázquez, L. Cullen, P. Crawshaw Jr, M. L. S. P. Jorge, P. M. Galetti, M. S. Di Bitetti, R. C. de Paula, E. Eizirik, T. M. Aide, P. Cruz, M. L. L. Perilli, A. S. M. C. Souza, V. Quiroga, E. Nakano, F. Ramírez Pinto, S. Fernández, S. Costa, E. A. Moraes Jr, and F. Azevedo. 2016. A biodiversity hotspot losing its top predator: The challenge of jaguar conservation in the Atlantic Forest of South America. *Scientific Reports* **6**:37147.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson, M. Dudík, R. E. Schapire, and M. E. Blair. 2017. Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography* **40**:887-893.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson, and R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* **190**:231-259.
- Phillips, S. J., M. Dudík, and R. E. Schapire. 2018. [Internet] Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). Available from url: [http://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/).
- Rajaratnam, R. 2000. Ecology of the leopard cat (*Prionailurus Bengalensis*) in Tabin Wildlife Reserve, Sabah, Malaysia. PhD. dissertation. Fakulti Saing Dan Teknologi University.
- St. John, F. A. V., C.-H. Mai, and K. J. C. Pei. 2015. Evaluating deterrents of illegal behaviour in conservation: Carnivore killing in rural Taiwan. *Biological Conservation* **189**:86-94.
- Thomas, C. D. 1990. What do real population dynamics tell us about minimum viable population sizes? *Conservation Biology* **4**:324-327.

附錄一、MAXENT 環境因子圖層產生方法

建立石虎分布預測模型所採用的環境因子包括地形、森林覆蓋率、土地利用、村里人口、道路系統等 5 類，共 46 個圖層(標註\*為最後用以產出出現機率之環境因子)；所有輸入圖層的像元解析為 90 公尺。產製各項環境因子圖層的原始資料來源及計算方法，分別詳述如下：

1. 地形

SRTM 數值地形模型原始影像(ASTER GDEM 第二版為基礎數位高程圖層，下載來源：中央研究院人社中心地理資訊科學研究專題中心，<http://gis.rchss.sinica.edu.tw/qgis/?p=1619>)，像元解析約 28.8 公尺；採用最近臨域法(nearest neighbor)重新取樣產生 90 公尺像元解析的數值地形模型(DTM)，並以此圖層為基礎計算 3x3 和 9x9 網格範圍的海拔最高值、平均值、落差、標準偏差、坡度平均值與標準偏差，及至溪流距離、半徑 500 和 1000 公尺範圍內的溪流密度與稜線密度。

圖層	產生方法
alt_max33.asc alt_max99.asc*	3x3 與 9x9 網格範圍最高海拔 將 90 公尺解析的 DTM 分別採用 3x3 與 9x9 網格 moving window 取最大值計算產生圖層。
alt_mean33.asc* alt_mean99.asc	3x3 與 9x9 網格範圍平均海拔 將 90 公尺解析的 DTM 分別採用 3x3 與 9x9 網格 moving window 取平均值計算產生圖層。
alt_range33.asc alt_range99.asc*	3x3 與 9x9 網格範圍海拔落差 將 90 公尺解析的 DTM 分別採用 3x3 與 9x9 網格 moving window 取值域(range)計算產生圖層。
alt_std33.asc alt_std99.asc*	3x3 與 9x9 網格範圍海拔標準偏差 將 90 公尺解析的 DTM 分別採用 3x3 與 9x9 網格 moving window 取標準偏差計算產生圖層。

圖層	產生方法
slope_percent. asc*	<p>坡度百分比</p> <p>以 90 公尺解析的 DTM 計算產生坡度百分比(slope percent)圖層。</p>
slope_mean33. asc slope_mean99. asc*	<p>3x3 與 9x9 網格範圍坡度平均值</p> <p>將坡度百分比圖層分別採用 3x3 與 9x9 網格 moving window 取平均值計算產生圖層。</p>
slope_std33. asc slope_std99. asc*	<p>3x3 與 9x9 網格範圍坡度標準偏差</p> <p>將坡度百分比圖層分別採用 3x3 與 9x9 網格 moving window 取標準偏差計算產生圖層。</p>
slope_cv33. asc slope_cv99. asc*	<p>3x3 與 9x9 網格範圍坡度變異係數</p> <p>將 3x3 與 9x9 網格範圍坡度標準偏差分別除以 3x3 與 9x9 網格範圍坡度平均值計算產生圖層。</p>
stream_eudis. asc*	<p>至溪流直線距離</p> <p>由 DTM 計算至溪流距離必須先計算產生溪流向量圖層，其計算步驟如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) 採用 fill function 產生修補(fill sinks and remove peaks) DTM 圖層(fill_dtm)；</li> <li>b) 以修補 DTM 圖層(fill_dtm)採用 flow direction function 計算輸出流向圖層(flow_dir)；</li> <li>c) 以流向圖層(flow_dir) 採用 flow accumulation function 計算流入每個網格的上坡網格數，輸出匯流圖層(flow_acc)；</li> <li>d) 以匯流圖層(flow_acc)為輸入圖層，設定數值大於或等於 25 的匯流網格(上坡面積大於或等於 20.25 公頃)形成水系支流(stream_net)；</li> <li>e) 以 stream_net 為輸入圖層，採用 Stralher 方法決定水系支流級數，建立水系網路圖層(stream)</li> <li>f) 將 stream 網格圖層轉換為簡化向量(simplified vector)shp 溪流網路圖層；</li> <li>g) 以溪流網路向量圖層計算任何一點至最近溪流的直線距離</li> </ol>

圖層	產生方法
	(Euclidean distance)；輸出網格像元解析為 90 公尺。
streamden500.asc* streamden1000.asc	半徑 500 與 1000 公尺範圍溪流密度 以溪流網路向量圖層，分別計算以每個網格為圓心，半徑 500 和 1000 公尺範圍內，每個網格每平方公里的溪流長度(公里)；輸出網格及涵蓋範圍鎖定對齊 DTM 圖層，像元解析為 90 公尺。
ridgeden500.asc* ridgeden1000.asc*	半徑 500 與 1000 公尺範圍稜線密度 由 DTM 計算稜線密度必須先產生稜線向量圖層，其計算步驟類似產生溪流圖層，描述如下： a) 採用 fill function 產生修補(fill sinks and remove peaks) DTM 圖層(fill_dtm)； b) 以修補 DTM 圖層(fill_dtm)乘以-1，產生反向修補 DTM(filldem_neg) c) 以反向修補 DTM(filldem_neg)，採用 flow direction function，並強制所有相鄰網格向外溢流，計算輸出外溢流向圖層(flowdir_out)； d) 以外溢流向圖層(flowdir_out)採用 flow accumulation function 計算流入每個網格的上坡網格數，輸出整數值匯流圖層(flow_acc)； e) 以匯流圖層(flow_acc)為輸入圖層，設定數值大於或等於 25 的匯流網格(上坡面積大於或等於 20.25 公頃)形成水系支流(stream_net)； f) 以 stream_net 為輸入圖層，採用 Stralher 方法決定水系支流級數，建立水系網路(憶及稜線)圖層(ridge)； g) 將 ridge 網格圖層轉換為簡化向量(simplified vector)shp 稜線網路圖層； h) 以稜線網路向量圖層，分別計算以每個網格為圓心，半徑 500 和 1000 公尺範圍內，每個網格每平方公里的稜線長度(公里)；輸出網格及涵蓋範圍鎖定對齊 DTM 圖層，像元解析為 90 公尺。

## 2. 森林覆蓋率

森林覆蓋原始資料為 Hansen 2014 全球森林覆蓋資料(Hansen et al. 2013)，擷取涵蓋台灣的部分，座標轉換為 TWD92 二度分帶投影座標系統後，像元解析約 28 公尺，原本的像元數值代表網格中的森林覆蓋率。經 3x3 網格 moving window 取平均值，以最近臨域法(nearest neighbor)重新取樣為像元解析 90 公尺，網格及涵蓋範圍鎖定對齊 90 公尺 DTM 的影像圖層，做為產生以下圖層的輸入資料。

圖層	產生方法
fc_mean33.asc	3x3 與 9x9 網格範圍森林覆蓋率平均值
fc_mean99.asc	以重新取樣為像元解析 90 公尺的森林覆蓋率圖層，分別採用 3x3 與 9x9 網格 moving window 取平均值計算產生圖層。
fc_std33.asc	3x3 與 9x9 網格範圍森林覆蓋率標準偏差
fc_std99.asc	以重新取樣為像元解析 90 公尺的森林覆蓋率圖層，分別採用 3x3 與 9x9 網格 moving window 取標準偏差計算產生圖層。

## 3. 土地利用

土地利用圖層原始資料為 2012 年發布的全國第二次土地利用調查資料向量圖層，經網格化轉換為像元解析 28 公尺的影像圖層，再將此影像圖層依各土地利用類型重新編碼(recode)分別萃取出天然林(natural forest, nf)、人工與次生林(plantation and secondary forest, psf)、竹林(bamboo forest, bf)、農地(agricultural land, agr)、草地灌叢(grass and bush land, gs)，建築物等六種類別圖層；其中，建築物圖層包含原本土地利用分類第一級代碼 05 與 06、第三級代碼 070101-070103 與 070202、070203 各類利用型。各圖層中的像元數值為 1 者，表示該像元為此類土地利用類型，為 0 者，則為非此土地利用類型。這幾類圖層，再採用 Aggregate function，以 3 倍像元總和(sum)計算，並鎖定對齊 90 公尺像元解析的 DTM 圖層網格和涵蓋範圍，重新取樣為像元解析 90 公尺的各類土地利用型圖層；像元數值最大值為 9，表示像元完全為此類土地利用型覆蓋，最小值為 0，表示像元完全無此類土地利用行覆蓋。這些 90 公尺像元解析的土地利用型圖層將用以計算以下圖層。

圖層	產生方法
11_nf_sum33.asc* 11_nf_sum99.asc*	3x3 與 9x9 網格範圍天然林總像元數 以 90 公尺像元解析的天然林圖層分別採用 3x3 與 9x9 網格 moving window 取總和(sum)計算產生圖層；3x3 網格圖層的像元數值最大值為 81，最小值為 0；9x9 網格圖層的像元數值最大值為 729，最小值為 0。
12_psf_sum33.asc* 12_psf_sum99.asc*	3x3 與 9x9 網格範圍人工與次生林總像元數 以 90 公尺像元解析的人工與次生林圖層分別採用 3x3 與 9x9 網格 moving window 取總和(sum)計算產生圖層；3x3 網格圖層的像元數值最大值為 81，最小值為 0；9x9 網格圖層的像元數值最大值為 729，最小值為 0。
13_bf_sum33.asc* 13_bf_sum99.asc*	3x3 與 9x9 網格範圍竹林總像元數 以 90 公尺像元解析的竹林圖層分別採用 3x3 與 9x9 網格 moving window 取總和(sum)計算產生圖層；3x3 網格圖層的像元數值最大值為 81，最小值為 0；9x9 網格圖層的像元數值最大值為 729，最小值為 0。
14_agr_sum33.asc* 14_agr_sum99.asc*	3x3 與 9x9 網格範圍農地總像元數 以 90 公尺像元解析的農地圖層分別採用 3x3 與 9x9 網格 moving window 取總和(sum)計算產生圖層；3x3 網格圖層的像元數值最大值為 81，最小值為 0；9x9 網格圖層的像元數值最大值為 729，最小值為 0。
15_gs_sum33.asc 15_gs_sum99.asc*	3x3 與 9x9 網格範圍草地灌叢總像元數 以 90 公尺像元解析的草地灌叢圖層分別採用 3x3 與 9x9 網格 moving window 取總和(sum)計算產生圖層；3x3 網格圖層的像元數值最大值為 81，最小值為 0；9x9 網格圖層的像元數值最大值為 729，最小值為 0。

圖層	產生方法
16_bld_sum33.asc* 16_bld_sum66.asc*	以 90 公尺像元解析的建築區圖層分別採用 3x3 與 9x9 網格 moving window 取總和(sum)計算產生圖層；3x3 網格圖層的像元數值最大值為 81，最小值為 0；9x9 網格圖層的像元數值最大值為 729，最小值為 0。

#### 4. 村里人口密度

村里人口密採用交通部數值路網圖的村里界向量圖層，及內政部村里人口統計資料，計算各村里人密度(人數/平方公里)屬性資料，再將村里界圖層和人口密度屬性資料網格化為像元 90 公尺解析的影像圖層，輸出網格和範圍鎖定對齊 90m 網格 DTM 圖層。

圖層	產生方法
pop_den33mean.asc* pop_den99mean.asc*	3x3 與 9x9 網格範圍村里人口密度 以 90 公尺像元解析的村里人口密度影像圖層，分別採用 3x3 與 9x9 網格 moving window 取平均值計算產生圖層。

#### 5. 道路系統

道路系統原始資料採用交通部運輸研究所之台灣數值路網向量圖層，將國道、快速道路、省道、縣道陸網合併為一向量圖層(road12.shp)，此圖層再合併鄉道和產業道路形成另一向量圖層(road14.shp)。

圖層	產生方法
road12_eudis.asc	至國道、快速道路、省道、縣道直線距離 以國道、快速道路、省道、縣道陸網路向量圖層計算任何一點至最近道路的直線距離(Euclidean distance)，輸出網格及涵蓋範圍鎖定對齊 DTM 圖層，像元解析為 90 公尺。



圖層	產生方法
road12den500.asc road12den1000.asc	半徑 500 與 1000 公尺範圍國道、快速道路、省道、縣道密度 以國道、快速道路、省道、縣道陸網路向量圖層，分別計算以每個網格為圓心，半徑 500 和 1000 公尺範圍內的每個網格每平方公里的道路長度(公里)；輸出網格及涵蓋範圍鎖定對齊 DTM 圖層，像元解析為 90 公尺。
road14_eudis.asc*	至國道、快速道路、省道、縣道、鄉道、產業道路直線距離 以國道、快速道路、省道、縣道、鄉道和產業道路陸網路向量圖層計算任何一點至最近道路的直線距離(Euclidean distance)，輸出網格及涵蓋範圍鎖定對齊 DTM 圖層，像元解析為 90 公尺。
road14den500.asc* road14den1000.asc*	半徑 500 與 1000 公尺範圍國道、快速道路、省道、縣道、鄉道、產業道路密度 以國道、快速道路、省道、縣道、鄉道和產業道路陸網路向量圖層，分別計算以每個網格為圓心，半徑 500 和 1000 公尺範圍內每平方公里的道路長度(公里)；輸出網格及涵蓋範圍鎖定對齊 DTM 圖層，像元解析為 90 公尺。

附錄二、專家會議出席人員以及會議結論

地點：東海大學

主持人：林良恭

出席專家：吳聲海、劉建男、陳美汀、郭榮信、林育秀、劉威廷、姜博仁等 7 位專家

林務局代表：王中原

簽到單：

	單位	人員	簽名
1	東海大學	林良恭 老師	林良恭
2	東海大學	袁守立 博士	袁守立
3	中興大學	吳聲海 老師	吳聲海
4	嘉義大學	劉建男 老師	劉建男
5	東華大學	陳美汀 博士	陳美汀
6	苗栗縣自然生態學會	郭榮信 理事長	郭榮信
7	特有生物研究保育中心	林育秀 老師	林育秀
8	觀察家生態顧問有限公司	劉威廷 老師	劉威廷
9	野聲環境生態顧問有限公司	姜博仁 老師	姜博仁
10	林務局	王中原	王中原
11			
12			
13			
14			

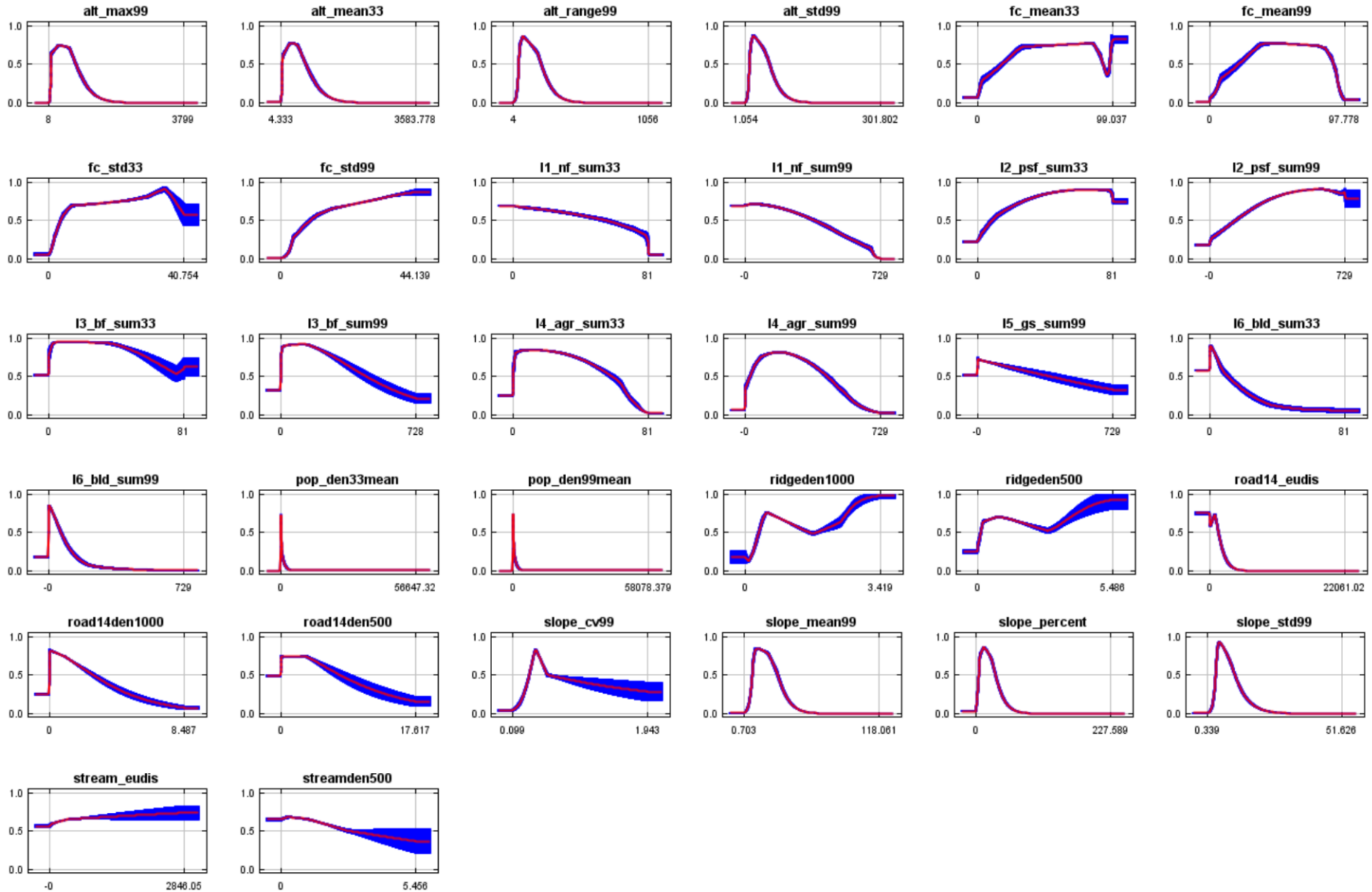
主要結論：

1. 預測棲地，建議加入專家後端審核，修正部分零碎區塊或遺漏區塊，以提供較為完整的石虎重要棲地範圍。
2. 廊道分析，建議核心族群面積從 10km<sup>2</sup> 再縮小，納入台中市範圍內較小之區塊。

3. 石虎重要棲地的後續更新，建議委託相關單位，進行持續的更新。
4. 石虎重要棲地圖層與相關報告，建議提供給分布範圍縣市政府與中央相關主管機關參考，並開放下載，石虎分布地點可透過模糊化處理開放閱覽，詳細點位則可提供環評調查單位與開發單位，透過正式申請取得，以利進行更詳細之環境影響評估。

附錄三、MAXENT 分析之因子反應曲線 (Response Curve)

僅單獨包含該因子之 MAXENT 模式預測機率 (紅色為平均值，藍色範圍為正負 1 標準差)。



附錄四、MAXENT 分析之因子貢獻度

Variable	Percent contribution	Permutation importance
pop_den99mean	15.8	9
pop_den33mean	14.1	6.8
fc_mean99	14	6.8
l2_psf_sum33	12.5	0.7
l4_agr_sum99	7.5	5.8
l2_psf_sum99	6.5	2.8
fc_mean33	3.6	6.2
l4_agr_sum33	2.4	7
fc_std99	2.4	3.3
alt_std99	2.3	0.8
slope_mean99	2	6.2
l1_nf_sum99	1.8	12.3
l1_nf_sum33	1.8	1.4
alt_max99	1.6	5.1
l3_bf_sum99	1.4	1.2
l6_bld_sum99	1.3	2.3
fc_std33	1.2	2.9
slope_cv99	1.2	0.4
l6_bld_sum33	0.8	2
road14_eudis	0.7	2.3
alt_mean33	0.7	3.9
slope_std99	0.6	1.7
road14den1000	0.6	1.6
l5_gs_sum99	0.5	1.5
l3_bf_sum33	0.5	0.4
road14den500	0.4	1.1

alt_range99	0.4	1.6
ridgeden1000	0.4	0.9
ridgeden500	0.3	0.6
stream_eudis	0.3	0.5
streamden500	0.3	0.2
slope_percent	0.1	0.7