

國立屏東科技大學野生動物保育研究所

碩士學位論文

台灣黑熊棲息地利用及分布預測模式

Habitat Use Predicted Model of Formosan Black Bear
(*Ursus thibetanus formosanus*)

指導教授：黃美秀 博士

共同指導：李培芬 博士

研究生：吳尹仁

中華民國九十六年六月二十八日

摘要

學號：M9317008

論文題目：台灣黑熊之棲息地利用及分布預測模式

總頁數：100 頁

學校名稱：國立屏東科技大學

所別：野生動物保育研究所

畢業時間及摘要別：95 學年度第 2 學期碩士學位論文摘要

研究生：吳尹仁

指導教授：黃美秀博士

論文摘要內容：

棲息地的喪失及破碎化為現今保育和經營管理大型食肉目動物最主要的議題，有效的經營管理野生動物遂繫於瞭解動物對棲息地的需求和預測其分佈。台灣黑熊 (*Ursus thibetanus formosanus*) 為亞洲黑熊 (*Ursus thibetanus*) 於台灣之特有亞種，也是瀕臨絕種的保育類動物。本研究旨在收集近年來 (1990~2006) 發現台灣黑熊的紀錄，搭配台灣地區生態與環境因素資料庫，以瞭解黑熊棲息地利用特色，並進一步利用基因演算 (Genetic algorithm for rule-set prediction, GARP) 法和邏輯回歸分析 (Logistic regression)，建立台灣黑熊分佈預測模式。

本研究總計收集 589 筆台灣黑熊紀錄點位資料，涵蓋 344 個 1*1 公里網格 (簡稱“有熊格”)。於本島除高雄市及臺北市以外海拔一百公尺以上的研究樣區中，黑熊紀錄出現地所屬的環境因素，包括海拔、坡度、植生指標、離溪流最近距離、自然度指標、道路密度、離道路最近距離，皆與樣區呈現顯著差異 (Mann-Whitney U test, $p < 0.001$)，黑熊對於這些棲地因素亦皆具特殊之選擇性 (chi-square test, $p < 0.05$)。

與研究樣區相較之下，黑熊偏好海拔 1000~3500 公尺地區，並對於 < 1000 公尺的低海拔利用程度偏低。在國有林地區，台灣黑熊則偏向出現

於針葉林與針闊葉混合林(39.79% vs.29.41%)，且植生指標(Normalized Difference Vegetation Index)大於0.4(69.77%)之區域。台灣黑熊對於坡度15~45度，以及距溪流較>2500公尺區域的利用程度亦比預期中的高，而較少利用接近溪流<500公尺的區域。在人為干擾因素方面，黑熊會避開人為活動頻繁地區，偏好自然度指標高的原始森林，以及離道路>1公里的區域，而迴避道路密度>3公尺/公頃的區域。

台灣黑熊記錄出現於高山型國家公園以外的地區，於上敘七項環境因素屬性與樣區皆呈顯著差異($p < 0.001$, X^2 皆>29.04);然於國家公園內，黑熊出現地所屬的環境特性，僅於坡度、植生指標、距溪流或道路之最近距離因素，與樣區呈現顯著差異($p < 0.001$, X^2 皆>7.13)。台灣黑熊在較缺乏經營管理之國家公園以外的地區的整體環境選擇程度較國家公園內高，顯示人為干擾因素對於黑熊棲地選擇之重要影響。

台灣黑熊分佈預測模式中，邏輯迴歸法因為沒有熊出現紀錄的精準度較低，預測結果與實務經驗為基礎的預期分佈差距頗大，無法提供合理的預測結果。反之，基因演算法的預測能力較邏輯迴歸分析高(sensitivity=0.893, Kappa=0.360);此模式預測結果顯示，台灣黑熊主要分佈於中央山脈，隔離的海岸山脈亦有零星分佈。利用切點0.525預測的黑熊潛在棲息地為9587平方公里，佔台灣本島25.5%，並有45.34%於國家公園內，突顯出加強非國家保護區系統棲息地的經營管理，對於保育使小族群物種的重要性。

本研究顯示台灣黑熊與早期研究的地理分佈上有縮減的趨勢，其棲息地的選擇除了受到食物資源豐富度以及相關物候環境影響之外，人為干擾因素更是關鍵因素。故建議未來的預測模式，除了應該加強建立有熊及無熊資料庫的精準度之外，同時應該整合人類活動類型及位置，尤其是非法狩獵壓力、食物豐富度(包括植物及動物)，以及不同類型道路系統，以達更精確的分佈預測。

關鍵詞：台灣黑熊、分佈、棲息地選擇、環境因素、基因演算法、模式

Abstract

Student ID : M9317008

Title of Thesis : Habitat Use and Distribution Model of Formosan Black Bears (*Ursus thibetanus formosanus*)

Total Page : 100

Name of Institute : Institute of Wildlife Conservation, National Pingtung University of Science and Technology

Graduate Date : 2007

Degree Conferred : Master

Name of Student : Yin-Jen Wu

Adviser : Dr. Mei-Hsiu Hwang

The contents of abstract in this thesis :

Habitat loss and fragmentation have become the primary issues for conserving and managing large carnivores. Successful wildlife management depends on understanding habitat requirement and predicting distribution of these animals. Formosan black bears (*Ursus thibetanus formosanus*), the endemic subspecies of Asiatic black bears in Taiwan, are listed as an endangered species locally. The study objective was to collect occurrence records of Formosan black bears throughout the island during 1990~2006, and then integrate the ecological and environmental database to understand the characteristics of bear habitat use. Moreover, the Logistic regression and the Genetic algorithm for Rule-set Prediction (GARP) were also applied to establish predictive models for the geographic distribution of this species. I collected 589 bear locations, including 344 1*1 km grids, i.e., bear presence grids. Compared with the study area (> 100 m in elevation but except for

Taipei and Kaohsiung cities), bear presence grids in all seven environment variables used, including elevation, slope, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), shortest distance to river, natureness, road and road density, showed significant differences (Mann-Whitney U test, $p < 0.001$). The result also indicated bears showed specific preference toward these environment variables (chi-square test, $p < 0.001$).

Formosan black bears preferred areas of elevations of 1000~3500 m, but used areas < 1000 m than expected. Within national forests, bears preferred broad-leaved and coniferous mixed forests and coniferous forests (39.79% vs. 29.41%), along with areas with Normalized Difference Vegetation Index > 0.4 (69.77%). They also preferred regions with slopes of 15~45 degree, distance to roads > 2500 m, and distance > 2500 m away from rivers, but seemed to avoid areas close to rivers (< 500 m). Copying with human disturbances, bears avoided areas with frequent human activity, preferred areas with high natureness index of natural forests, and > 1 km away from roads, but avoided areas of high road density, i.e., > 3 m/ha.

Outside the mountainous national parks, there were significant differences between bear presence grids and the study area for all the seven environment variables used. However, within the mountainous national parks, significant differences between bear presence grids and the study area only occurred in slope, NDVI, and shortest distance to roads and rivers, respectively. Bears showed a relatively higher level of habitat selectiveness outside the national parks which generally with less management, than within national parks, indicating that the critical impact of human disturbance on habitat selection of Formosan black bears.

Due to biased bear absence data used in the logistic regression model, the predictive distribution model extremely differed from empirical observation of bears, and could hardly provide reasonable results.

Alternatively, the GARP resulted in relatively high prediction accuracy (sensitivity =0.893, Kappa=0.360). This model predicted that bears mainly occurred along the Central Mountain Ranges, and few in the isolated Eastern Coastal Mountain Range. By applying the cut-point of 0.525, the model also indicated 9587 km² of potential bear habitat, i.e., 25.5 % of the Taiwan island, and 45.34% was within national parks. This indicated the importance of enhancing habitat management among areas outside the national parks for preserving the small population of Formosan black bears throughout the island.

The result indicated the decreasing geographic distribution of Formosan black bears. Moreover, their habitat use is not only limited by food abundance and related physical environmental factors, but also human disturbance. The study suggests that in addition to improving the accuracy of bear presence-absence data, types and locations of human activities, especially illegal hunting, food abundance, and various road networks should be incorporated into the distribution model of Formosan black bears for better prediction.

Keywords: *Ursus thibetanus formosanus*, distribution, habitat selection, environmental variables, logistic regression, Genetic Algorithm for Rule-set Prediction, model

誌謝

從面對電腦敲敲打打的職場生活，轉換到截然不同領域的學生生活，其中從資料的搜集、相關文獻報告的搜尋、地理資訊系統軟體的熟悉、到論文的撰寫，實在要感謝許多人的支持與鼓勵。謝謝黃美秀老師對於生物背景較弱、似乎少根筋的我大大的包容，耐著性子的教導與指正，促成這篇研究論文的撰寫；台大李培芬老師，提供技術上的指導以及分析上不可或缺的環境資料；林業試驗所林朝欽博士與王穎老師撥空參加口試及提供論文寶貴的建議。

資料的蒐集上，要謝謝東華大學吳海音老師提供辛苦研究得來的資料，研究室中翎的大力協助，沒有她我可能還繼續在跟來至四面八方的黑熊紀錄搏鬥中，也謝謝林務局的工作人員的配合，以及不曾謀面而提供資訊的好心人士、讓黑熊紀錄資料庫更加齊全、完善。GIS 方面，要跟森林系的瑋利、玉管處保育課的張慧玲以及台大空間生態研究式的小耍說聲謝謝，沒事就被我打擾。研究期間，多虧有同學-雨岑、依蓉、孝宇、麗紋的解悶和鼓勵，還有熊窟的助理-珈慈協助處理出差事宜，熊窟學弟妹們的加油與打氣。

最後當然要感謝家人的支持與鼓勵，接受我再次成為”米蟲”，讓我安心和放心的當個學生，更要謝謝親愛的阿姐，陪我熬夜寫報告的日子、給我論文撰寫的意見，更要好好犒賞家裡的霸老頭，負責娛樂及替我解悶。



阿仁



目 錄

摘要.....	I
Abstract	III
誌謝.....	VI
目錄.....	VII
圖表目錄.....	IX
壹、前言.....	1
貳、研究樣區.....	7
參、材料與方法.....	9
一、黑熊分布資料庫.....	9
二、黑熊紀錄資料之轉換及整合.....	11
三、黑熊棲地選擇之變因.....	12
四、台灣黑熊分布預測模式之建立.....	14
五、預測分布模式之評估.....	16
六、資料分析.....	17
肆、結果.....	19
一、黑熊紀錄資料庫.....	19
二、台灣黑熊地理分布.....	19
三、台灣黑熊棲息地利用及選擇.....	20
四、台灣黑熊於國家公園內外之棲地利用比較.....	24
五、台灣黑熊預測分布模式之建立.....	27
伍、討論.....	30
一、台灣黑熊地理分布.....	30
二、棲息地利用.....	32
三、研究應用與限制.....	37
陸、結論.....	40
參考文獻.....	41
附錄 1、發現台灣黑熊調查問卷.....	89

附錄 2、林務局第三次資源調查國有林林型代號對照表與本研究重新 定義之林型代碼.....	97
附錄 3、台灣黑熊出現於 1995~2006 年之動物相文獻調查資料.....	98
附錄 4、於 1995~2006 年之動物相文獻調查報告中，未曾出現台灣黑熊 紀錄之報告.....	99
作者簡介.....	100

圖表目錄

圖 1、台灣本島現有之保護區系統及研究樣區示意圖.....	52
圖 2、台灣黑熊紀錄收集後，不同形式資料的轉換及分析流程圖.....	53
圖 3、自 1991 以來，發現台灣黑熊紀錄以及過去調查未發現黑熊的記錄 ，與保護區系統地理分布圖.....	54
圖 4、有熊格與研究樣區內之海拔分布百分比例.....	55
圖 5、國有林區及發現台灣黑熊紀錄所對應之林相類型百分比.....	56
圖 6、有熊格與研究樣區內之植生指標分布百分比例.....	57
圖 7、有熊格與研究樣區內之坡度分布百分比例.....	58
圖 8、有熊格與研究樣區內之離溪流最近距離分布百分比例.....	59
圖 9、有熊格與研究樣區內之自然度指標分布百分比例(1-2:城市、漁 塭，3-4:農地、果園，5-6:造林地，7-8：山毛櫸，以及二葉松 和玉山箭竹之次生林，9-10：針葉及闊葉之原始林).....	60
圖 10、有熊格與研究樣區內之道路密度分布百分比例.....	61
圖 11、有熊格與研究樣區內之離道路最近距離分布百分例.....	62
圖 12、國家公園內、外樣區，以及有熊格於其間之海拔分布百分比例....	63
圖 13、國家公園內、外樣區，以及有熊格於其間之植生指標分布百分 比例.....	64
圖 14、國家公園內、外樣區，以及有熊格於其間之坡度分布百分比例....	65
圖 15、國家公園內、外樣區，以及有熊格於其間之距溪流遠近分布百 比例.....	66
圖 16、國家公園內、外樣區，以及有熊格於其間之自然度指標分布百分 比例.....	67
圖 17、國家公園內、外樣區，以及有熊格於其間之道路密度分布百分比 例.....	68
圖 18、國家公園內、外樣區，以及有熊格於其間之離道路遠近分布百 分比.....	69

圖 19、以邏輯迴歸分析法所建立之台灣黑熊分布預測機率圖，預測 方程式為 $Y = (-1.3284) + 0.0212 * \text{坡度} + 0.000276 * \text{離溪流}$ 最近距離.....	70
圖 20、利用基因演算法，以海拔、坡度、植生指標、自然度指標、 道路密度、離道路最近距離七項環境變因，所建立的台灣黑 熊分布機率預測模式，以及與黑熊紀錄點位式資料之相對 分布關係.....	71
圖 21、基因演算法所預測之台灣黑熊地理分布圖，橘紅色表示預 測分布機率大於 0.525 而歸類為”黑熊會出現”的 1*1 公里網格..	72
圖 22、台灣黑熊 1*1 公里網格分布預測，以及全島海拔示意圖.....	73
圖 23、台灣黑熊 1*1 公里網格分布預測，以及全島自然度指標示意圖.	74
圖 24、台灣黑熊 1*1 公里網格分布預測，以及全島道路密度示意圖...	75
圖 25、台灣黑熊 1*1 公里網格分布預測，以及全島離道路最近距離 示意圖.....	76
圖 26、預測熊會出現地區以及有熊紀錄之海拔分佈百分比例.....	77
圖 27、台灣黑熊 1*1 公里網格分布預測，以及利用林務局座談資料 推估之範圍以及利用黑熊出現紀錄所估計之保守台灣黑熊 分布範圍.....	78
圖 28、台灣黑熊 1*1 公里網格分布預測，以及全島離溪流最近距離 示意圖.....	79
圖 29、自 1990 年之黑熊點位紀錄(n=589)，以及全島林道、步道之分 布圖.....	80
表 1、分析影響台灣黑熊出現之自然及人為環境因子列表及說明.....	81
表 2、評估預測分佈模式準確性之誤差矩陣.....	82
表 3、利用文獻回顧、訪談、林務局座談會、問卷等方法所蒐集到 1990 ~2006 年間所紀錄的台灣黑熊點位資料(n=589).....	82
表 4、有熊格與研究樣區所對應的環境屬性比較.....	83
表 5、國家公園內外之有熊格所對應的環境屬性比較.....	84
表 6、有熊格(n=344)與無熊格(n=499)所對應環境屬性之差異.....	85

表 7、以海拔、植生指標、坡度、離溪流最近距離、自然度指標、 道路密度和離道路最近距離等七個環境變因，利用 stepwise logistic regression 進行五次預測，所建立之邏輯迴歸預測模 式.....	86
表 8、以海拔、植生指標、坡度、離溪流最近距離、自然度指標、 道路密度和離道路最近距離等七個環境變因，利用基因演算 法進行三種不同變因組合，所得之預測模式.....	87
表 9、有熊格(n=344)與預測熊會出現格(n=9587)所對應的環境屬性 比較.....	88

壹、前言

棲息地喪失及破碎化儼然已成為世界上保育和經營管理大型食肉動物最主要的兩個挑戰 (Peyton *et al.*, 1999)。棲息地喪失不僅包含了適合生境面積的減少，也涉及供養動物族群的環境品質降低，其中非法狩獵不僅直接造成該個體死亡或受傷，也可能減少食肉目動物的獵物的生物量，從而影響物種的存活和生殖潛力。棲息地破碎化則可能導致小而隔離的族群，從而增加滅絕的速度和機率 (Wilcove, 1987)。這些威脅也明顯地反映於現今亞洲黑熊 (*Ursus thibetanus*) 的種群處境，而其分佈於台灣的族群也不例外。

有效的經營管理野生動物繫於能夠瞭解和預測動物對棲息地的需求。棲息地是動物居住、生活的地方，也是滿足物種存活及繁衍後代的區域。棲息地的環境包括所有的自然環境因素 (食物、水、溫度、雨量、競爭者等)，及人為干擾因素。因此，對於保育瀕危物種，如台灣黑熊而言，需採取的積極保育行動便是瞭解現有種群的地理分佈範圍，可能進行棲地復育的地區及方式，以及評估各種開發或環境變化對於種群的潛在影響 (Palma *et al.*, 1999)。

一、台灣黑熊

台灣黑熊 (*Ursus thibetanus formosanus*) 為亞洲黑熊於台灣的特有亞種 (Nowak, 1991)，也是台灣唯一的原生熊類。台灣黑熊於 1989 年被列入文化資產保存法中的珍貴稀有動植物，也是野生動物保育法明訂的「瀕臨絕種」保育類動物。於國際上，亞洲黑熊被列為華盛頓公約 (CITES) 附錄 I 的保育類動物，即除非特殊情況下，禁止國際間的貿易；牠們也是世界保育聯盟 (IUCN) 紅皮書中的易受害物種 (vulnerable species)，顯示此物種不僅在台灣極受威脅的種群現況，也反應出在世界其他地區受人關注的保育等級。

早期的紀錄顯示台灣黑熊曾廣泛的分佈在台灣本島，主要於台灣全島

海拔 100~2000 公尺的森林地區（堀川安市，1932; Kano, 1940, cited by Wang, 1999）。然而，近年來由於急遽工商業發展所導致的棲息地破壞、人為干擾和過度獵捕，除了使得台灣黑熊數量大幅縮減之外，種群的活動範圍也有日漸縮小的趨勢，似乎有被迫往海拔較高、人為活動較少的區域活動的趨勢(Wang, 1999)。

台灣黑熊雖然為瀕危的物種，但有關於台灣本島的分佈資料，卻十分有限。有關台灣黑熊地理分佈的研究，始於王穎等人於 1988 年到 1993 年間所做的研究調查（王穎，1988；王穎等，1989；王冠邦，1990；王穎等 1992），初步地提供了黑熊於本島分佈概況以及棲息地特色。該調查結果指出黑熊主要分佈於中央山脈地區，集中於三個高山型國家公園和兩個自然保留區，顯示保護區對於台灣黑熊的重要性。然而，這些資料主要來源是訪談，調查結果明顯地受到抽樣方法、小樣本數，以及人為（包括調查者及受訪者）可及區域的限制，而影響到結果的準確度。此外，此報告距今已約有 15 餘年，恐較難適當地反應此物種現今的詳細分佈情況。

近年來較密集的台灣黑熊生態習性之研究在玉山國家公園進行（1998 至 2002；Hwang, 2003；吳煜慧，2004），研究者在園區捕抓繫放及無線電追蹤台灣黑熊；結果顯示台灣黑熊個體活動範圍廣泛（27~202 平方公里），約佔玉山國家公園的 1/5，並且會移動到國家公園外圍區域活動，顯示保護區系統似乎無法有效地保護此活動廣泛的物種，該研究同時發現研究所捕抓繫放的 15 隻黑熊，有 8 隻因為曾誤中獵人陷阱而導致的斷掌或斷趾的情況，顯示非法狩獵對於此物種存續的威脅不容忽視。該研究侷限於玉山國家公園，研究結果仍無法全面地提供瞭解台灣黑熊在本島的整體分佈及保育狀況。

事實上，台灣黑熊除了數量稀少之外，其於生態上及保育上所扮演的功能和角色，不僅攸關此物種於本島的保存，更影響更大尺度的生物多樣性保育。台灣黑熊活動範圍廣大，涵蓋了各種不同的生態環境梯度(Hwang, 2003; 黃美秀等，2006a)，而且也是生態上潛在的種子播遷者

(seed disperser, Sathyakumar and Viswanath, 2003)。此外，牠們也由於晚熟型的生活史特性，以及低繁殖率，使其相對性地較容易受到傷害 (vulnerability)，加上本身具有相當高的社會經濟價值 (socioeconomic importance)，因此台灣黑熊兼具有保育學上的地景物種 (landscape species) 以及庇護物種 (umbrella species) 的角色 (Caro and O'doherty, 1999; Coppolillo *et al.*, 2004)。是以有效地保護該目標物種以及其所需的棲息地，將可同時保護到台灣全島大範圍的生態系及所屬生物多樣性。因此，瞭解此物種之地理分佈及棲息地利用模式，無疑應該列為當前保育台灣黑熊及生物多樣性的優先重要課題。

二、熊類之棲息地利用

影響動物對於棲息地的使用，通常不是只由單一環境因素所決定，熊類亦無例外。在美洲，與黑熊於台灣生態功能相當的美洲黑熊 (*Ursus americanus*) 的分佈，受到許多因素影響，其中自然環境因素包括海拔、坡度、坡向、食物資源豐富度及分佈、植被覆蓋類型、離溪流的距離、森林覆蓋度、自然度、多樣性指標度等因素 (Clark *et al.*, 1993; Van Manen, 1997b; Clark *et al.*, 1998; Stratman *et al.*, 2001; Fecske *et al.*, 2002)；而人為活動也是另一重要的因素，包括人為干擾源或道路系統，以及與之距離 (van Manen, 1997a)。另一世界性廣被研究的棕熊 (*Ursus arctos*)，其對棲息地的利用也有類似美洲黑熊的情況 (McLellan and Shackleton, 1989; Mace *et al.*, 1999; McLellan and Hovey, 2001; Nielsen *et al.*, 2002; Nielsen *et al.*, 2004; Preatoni *et al.*, 2005)。這些棲地生境除了提供生存其間的動物足夠的水源和食物來源之外，也提供適當的隱蔽場所，避免不利生存或生殖的各種人為或自然 (包括生物性及非生物性) 的干擾。

相對於北美洲的熊類，在亞洲有關亞洲黑熊的棲息地選擇或分佈預測的研究則十分有限。零星的報告指出日本的亞洲黑熊出沒於海拔 600~3000 公尺的山區，棲息地的利用有季節性的差異，有些個體於夏季會較其他季節活動於較高海拔的高山地區，並常於樺樹林、雪崩後的通道覓食，而秋天則多出現於較低海拔的落葉森林 (Izumiyama, 2004)。魯

慶彬等（2003）分析影響中國大陸岷山地區亞洲黑熊的棲息地選擇，發現主要因素為食物豐富度、人為干擾因素、地形、氣候和海拔等。事實上，亞洲黑熊棲地利用的資訊匱乏或描述不完整，多少是因為這些動物在很多地區因為過去長期人為活動之影響，現今不是殘存族群數量稀少，便是大多棲息於地形崎嶇，人為不易到達之處，造成調查技術的應用和資料的收集受到很大的限制。

三、預測動物分佈模式及棲地利用

動物的分佈一般並非呈現隨機分佈的型態，而是與棲息地中的環境因素之間存在著某種程度的關係。此關係可有兩個推論：（1）動物和棲息地之間有一定的關係，此關係可以用模式（model）描述；（2）動物對棲息地的選擇行為是可以預測的，即當棲息地中的環境因素有所變化時，可以預測動物的反應（Noon, 1986）。

傳統的調查方式常受研究環境、人力、物力、財力、時間上等因為限制，故很難在短時間之內完成有關物種大範圍分佈的全面野外調查，以提供完整的動物地理分佈資料，尤其是密度低或活動範圍廣大的種類，例如熊科動物。所以，近年來許多研究者遂使用各種數學統計方式，利用若干重要的環境因素建立野生動物的棲息地模式（habitat model），預測該物種在尚未調查地區的可能分佈情形。此法不僅可以彌補野外調查研究的不足，也及時地提供了野生動物保育和經營管理的決策上的重要資訊（Clark *et al.*, 1993; Guisan and Zimmermann, 2000; Kobler and Admic, 2000; Glenz *et al.*, 2001; Mclellan *et al.*, 2001; Feria and Peterson, 2002）。

在動物分佈模式中，Multiple logistic regression 則為生物學者最常採用的方法，包括熊類研究（Mace *et al.*, 1996; Mace *et al.*, 1999; Kobler and Admic, 2000; Nielsen *et al.*, 2002; Naves *et al.*, 2003; Mattson and Merrill, 2004; Nielsen *et al.*, 2004; Gaines *et al.*, 2005）。因為此法主要使用於反應變數為二元性資料，例如「成功」或「失敗」，優點是假設因變數對自變

數的反應為 S 型而非線性的，此特性較接近生物對環境因素的反應。例如，Glenz (2001) 利用此法發現城市面積、人口密度、農耕地大小、最低海拔、西南方曝曬比例、野生偶蹄類豐富度指數等六項因素為影響灰狼 (*Canis lupus*) 的出現與否，並預測瑞士史瓦邦地區有 19% 為適合灰狼居住的環境。在經營管理上，該研究進一步建議加強規劃灰狼出現頻率較高的區塊，以降低人狼群的衝突，達到保護該物種之目的。在台灣，研究者利用邏輯回歸分析發現台東縣赫氏角鷹 (*Spizaetus nipalensis nipalensi*) 的出現與海拔、坡度、城鎮開發有顯著差異，並建立其空間分佈模式，推導出該區赫氏角鷹出現機率等級分佈圖，模式準確性達 69% (何錦尚, 2006)。

另有研究者使用多變數方法搭配地理資訊系統，建立雌性美洲黑熊 (*Ursus americanus*) 棲地模式，結果顯示雌性美洲黑熊於夏季會移動至中高海拔地區，而冬季則下降到較低的海拔區域，並且較少出沒於東南方及南方，以及距離溪流超過 600 公尺以外的地區 (Clark, 1993)，也有研究發現道路對雌性美洲黑熊有負面的影響 (Gaines, 2005)。

近年來發展出許多用來建立物種生態區位元 (niche) 的模式，基因演算法 (genetic algorithm for rule-set prediction, GARP)，係以人工智慧為基礎，每一種演算法分別用來找出各組成 (環境因素) 之間的規則，接下來用這些規則去決定該物種出現於何種生態區位上 (Stockwell *et al.*, 1992; Stockwell *et al.*, 1998)。一般而言，GARP 的預測能力比其他的模式都要來得高；例如 Peterson (2001) 利用北美鳥會調查資料，發現 34 種鳥類的試驗皆呈現高度顯著差異 ($P < 0.0001$)，顯示建立的模式具極高的預測能力。在台灣，李培芬等 (2006) 探討八色鳥 (*Pitta nympha*) 之棲息地喜好與分佈，比較五種預測模式能力，發現 GRAP 模式準確度高達 85%。

因此，本研究旨在收集過去十五年來 (1990~2006 年)，台灣黑熊出沒的直接和間接的各種紀錄 (包括訪談、林務局座談、問卷、文獻回顧)，以達下述三項目標：(1) 利用黑熊出現與否及該地環境特徵資料，分析

台灣黑熊的棲息地利用模式。因此，本研究測試之虛無假說（null hypothesis）為台灣黑熊依照樣區環境中各類棲地的可得性（availability），等比例的使用該棲地（Allredge and Ratti, 1986）。這些棲地屬性包括海拔、坡度、植被-植生指標、自然度指數、離溪流最近距離，道路密度、離道路的最近距離等。（2）利用基因演算法和邏輯回歸分析，建立台灣黑熊的分佈預測模式，推估台灣黑熊潛在的地理分佈範圍及棲息地特性，並進一步討論數值統計分析方法於研究小族群台灣黑熊的應用和限制。（3）藉由分析黑熊紀錄於國家公園內外的差異，以及二者的棲地環境屬性的比較，探討現有國家公園保育台灣黑熊的功效。

貳、研究樣區

台灣本島總面積為 35915 平方公里，地理位置跨越東經 120°E 至 122°E，以及北緯 22°N 至 25°N 之間。全島形狀呈南北狹長（最長 394 公里，最寬處為 144 公里），北部屬於亞熱帶，南部屬於熱帶，而以北回歸線為區隔，全年年均溫為 20 度左右，全年平均雨量為 2500 毫米（台灣省農林廳林務局，1995）。

主要山脈為南北走向，中央山脈由北到南縱貫全島，是台灣東、西部河川的分水嶺，河川多發源於此。山區地形崎嶇，全島平均高度 660 公尺，平均坡度為 14 度，3000 公尺以上的高峰也有 258 座之多。豐富的地理條件創造出獨特的生物多樣性，其中陸域哺乳動物總計 8 目 19 科 70 餘種（祁偉廉，1998）。

臺灣本島中，森林佔了 59%，非森林地 41%，林務局所管轄之事業區林班之國有林為 15691 平方公里，森林地面積為 14569 平方公里（93%），包括天然林（73%）、人工林（20%）和竹林（7%）。隨著海拔高度變化其相對應的森林型態也不相同，從低海拔到高海拔分別為：熱帶季風林、亞熱帶闊葉林、暖溫帶闊葉林、溫涼帶針闊葉混合林、冷溫帶針葉林、亞高山針葉林和高山寒原（台灣省農林廳林務局，1995）。

為了保護野生動物及其棲息地，自民國 80 年代起陸續設立了許多不同等級的保護區，包括依據野生動物保育法而公告的台灣野生動物重要保護區和農委會自民國 84 年自今公告的野生動物重要棲息環，再加上於民國 71 年文化資產保存法中公告自然保留區以及國家公園等，位於本島者目前總計面積約 7300 平方公里，以保護台灣的生物多樣性。

本研究中採用台灣地區生態與環境因素資料庫（李培芬等，1997），環境因素圖層都為 1*1 公里網格，台灣共有 37552 個網格。為了瞭解台灣黑熊對於棲息地的選擇，找出黑熊可能會利用的地區作為研究樣區，根據台灣黑熊最低出現的海拔於玉山國家公園無線電追蹤的 301 公尺

(Hwang, 2003)，本研究選取海拔高度大於 100 公尺的 1 公里網格，並且主觀去除網格距離海邊小於 2 公里者，以及移除屬於臺北市以及高雄市的 1 公里網格，再將零碎小區塊（未與中間大區塊連接的部份以及與中間區塊連接面小於 2 公里）去除掉，遂得研究樣區共 24260 個 1*1 公里網格（圖 1）。

參、材料與方法

一、台灣黑熊分佈資料庫

台灣黑熊出沒紀錄有直接證據包括目擊與捕獲紀錄，而間接的證據則是台灣黑熊活動所留下的痕跡，比如爪痕、排遺、食痕、熊窩等。台灣黑熊習性隱蔽，可獲得的直接證據十分有限，所以本研究採用文獻回顧、訪談、林務局座談會以及問卷等方法，收集過去十五年（1991~2006年）的黑熊紀錄。

（一）文獻回顧及訪談

回顧 1994~2006 年間的國內動物調查相關的研究報告，搜尋其中有發現台灣黑熊的紀錄，包括目擊、痕跡、自動照相機記錄、無線電追蹤等資料等。由於這些記錄資料的精確度不一，故必要時則進一步追蹤資料來源，聯絡資料提供者以確認資料，之後僅使用證實動物為黑熊，而且地點資訊精確度足夠（1*1 公里網格）的紀錄來建立資料庫（黃美秀，2006a）。

在沒有台灣熊紀錄方面，若調查報告指出於 1994~2006 沒有於該調查樣區內發現台灣黑熊的蹤跡則屬之。如果該樣區沒有座標點位，則利用調查樣區的涵蓋區域範圍及調查路線，搭配台灣地理人文全覽圖（五萬分之一比例，上河文化股份有限公司，2002）以及 1x1 公里網格圖層，對應出沒有熊出沒的網格，再列入網格式資料庫。

（二）林務局座談會

為了有系統且效率的收集全國性的台灣黑熊分佈記錄，藉由林務局的業務系統，搜尋曾經發現台灣黑熊或其痕跡的林業工作人員，以協助資料之收集。第一階段旨在有效地尋訪曾目擊或發現台灣黑熊活動痕跡的林班工作人員，於 2006 年 1 月行文並分別寄出 40 份「國有林台灣黑熊

現況調查」問卷（黃美秀等，2006a），至八個林區管理處（羅東、新竹、東勢、南投、嘉義、屏東、台東、花蓮）與其轄區內的 34 個工作站，針對林務局人員進行全面性問卷調查。

第二階段的「台灣黑熊生態及保育全省巡迴座談會」於 2006 年 4 至 5 月在全省林管處或工作站舉辦。座談會包含台灣黑熊研究者介紹座談會目的以及台灣黑熊活動痕跡辨識課程，以協助與會者釐清及確認個人所發現之黑熊記錄，受訪者歷時約半小時。與會者分小組（5 至 7 人一組）與研究人員現場討論，說明發現台灣黑熊或其痕跡之相關細節，並於研究者準備的事業區地圖或台灣地理人文全覽圖（上河文化股份有限公司，2002）中指出確實地點，研究者當場登錄點位或網格座標資料於問卷或資料庫內。

（三）問卷

研究者另設計了一份「發現台灣黑熊」的調查問卷，十頁的內容包括調查目標介紹、個人發現黑熊或痕跡的狀況、由北至南共四區的 4×4 公里網格地圖。調查資料除涵蓋回答者之個人基本資料之外，主要包括發現黑熊的日期、時間、地點、植被環境、海拔等。

1. 「發現台灣黑熊」紙本問卷

於 2005 年 12 月事先聯繫並郵寄「發現台灣黑熊」問卷（附錄 1）至相關政府單位（林務局林管處和高山型國家公園）、登山用品店、大學登山社團、保育等相關民間團體和組織，以及學術相關單位之研究者。

2. 網路問卷

於 2006 年 3 月將「發現台灣黑熊」問卷的內容設計成網路版，網址 <http://tve.npust.edu.tw/project/meibear/Chinese/iwc>，利用網路的便利性，方便大眾填寫，並增加台灣黑熊和問卷本身流通的機會，也將含有問卷簡

介與網址的電子信函，寄給相關學術研究人員、鳥會和其他環境相關的民間組織，同時於各保育或登山協會的留言版、大學登山社的 BBS 版發表此問卷調查的訊息。問卷廣告回信和網路問卷收集後，設法聯絡到填寫問卷當事人，以確認所提供資料之可信度。若最後依然無法聯絡上當事者，則暫不採用該資料。

二、黑熊紀錄資料之轉換及整合

(一) 台灣黑熊活動紀錄整合

為了避免於同一地點重複計數台灣黑熊活動紀錄而導致高估，受訪者若於同一次上山行程中，在一平方公里內發現新舊相似的台灣黑熊活動痕跡，則視為同一筆資料，但若明顯是不同時期或是不同的活動痕跡，則視為不同的有台灣黑熊紀錄。另外，由於玉山國家公園東部園區為全台密集研究調查台灣黑熊的區域 (Hwang, 2003; 吳煜慧, 2004)，避免研究資料重複計算，高估台灣黑熊於該區域出現的機率，所以經由以下特殊規則整合。(1) 自動照相機以及目擊資料，視為單獨事件，(2) 同年所記錄到的無線電追蹤、活動痕跡和捕或資料，若位於同一個 1*1 公里網格者，視為單一筆資料。

(二) 台灣黑熊活動紀錄資料轉換

由於有各種不同形式的台灣黑熊紀錄，其尺度包含精確的點位、1*1 公里和 4*4 公里網格，將這些紀錄轉換成點位式和網格式兩種資料庫，作為後續以不同的預測分佈模式方法之使用。資料轉換與整合步驟如下 (圖 2):

1. 確認資料的精確度，是否為具精確的座標值。

是 → (1) 納入點位式資料庫。

(2) 利用 ArcInfo 對映功能 (identify)，對應到 1*1 公里的網格代碼，將其對應出的網格，納入網格式資料庫中。

- 否 → 2.。
2. 判定沒有精確座標值，再經判定是否為精細到 1*1 公里網格。
是 → (1) 將該網格代碼納入網格資料庫中。
(2) 算出該網格中心座標，代表該筆資料的點位資料，將其點位紀錄納入點位式資料庫中。
否 → 表示資料精確度大於 1*1 公里，該筆資料不納入分析。
 3. 把利用文獻回顧所整理出來沒有熊出現的網格，合併至網格式資料庫內。
 4. 為避免取樣分佈不一，彙整網格式資料，不考慮台灣黑熊出沒頻度，所以將重複的網格移除；同一個網格代碼，不同的衣料來源同時指出有熊和沒有熊的紀錄時，以有熊的為主，也就是說，假設網格代碼 25793 同時出現在有熊以及沒有熊的紀錄時，整合後 25793 只會出現在有熊的資料庫中。
 5. 將整理完成的網格式資料庫中，分別將台灣黑熊出沒以及沒有台灣黑熊出現網格所屬的環境因素對應出來。
 6. 轉換完畢後，每筆黑熊紀錄都有相對應的點位式座標、1*1 公里網格代碼及網格所對應的環境因素屬性。

三、黑熊棲地選擇之變因

研究者於檢視相關報告所提及影響熱帶至溫帶地區熊類對棲息地利用的各種因素，以及考量相關環境因素圖層資料的可得性之後，選出七種與熊出沒相關的因素，分為自然因素及人為干擾因素。前者包括海拔、坡度、植被-植生指標、離溪流最近距離，後者包括道路密度、離道路的最近距離和自然度指標，作為分析台灣黑熊棲息地利用與建立台灣黑熊預測分佈模式的環境變因。本研究利用台灣地區生態與環境因素資料庫(李培芬等, 1997), 各環境因素來源及說明(表 1)。

(一) 自然因素

海拔變化會影響氣溫及降水量等環境因素，從而影響到植被及動物分

佈 (Terborgh, 1971)。圖層由內政部所發行的五萬分之一地形圖，每 100 公尺數劃一條等高線，建成 Arc/Info 檔案，再轉成網格系統，再於 SAS 計算每一 1*1 公里網格內平均海拔高度。

坡度，代表動環境中平緩陡峭程度，除了可能影響植物分佈之外，也影響動物的活動性，此圖層則利用上述所得的海拔高度，再於 IDRISI 計算坡度。

植被，最常用來分析動物棲息地的因素，但目前全島僅有林務局第三次資源調查(台灣省農林廳林務局, 1995)的報告資料，且僅限於國有林部份，故以植生指標 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 代表植物因素對黑熊棲地利用可能的影響。植生指標為定量計算衛星影像綠度之變化，研究顯示植生指數與生態系的狀態有明顯的關係，尤其是能反應植物生長、生態系活力與生產力等，可以用來評估植物生長狀態，其值範圍為 1 至-1，值越大表示地表植生生育旺盛植被復蓋佳 (Jensen, 2005)。此圖層資料取自美國地質調查所 (USGS) 的網站，每個月三張影像，代表月初、中、末的植物的生長狀況，資料取得後經過地理位置較校正或轉換投影方式後，與網格系統套疊所得(李培芬等, 1997)。

影響動物存活的另一重要因素就是食物，此包括水源，同時影響植物生長以及滿足動物生理需求，解渴。所以將距離溪流的遠近以納入考慮。此圖層資料數化行政院農委會編制的「台灣地區台灣集水區分佈圖」，此圖僅提供台灣三級以上重要河流 (孫志鴻, 1988)，以 Arc/Info 數化後，再轉為網格式資料，載入 IDRISI 作距離分析，將結果轉回 Arc/Info，以 dBase 檔案格式儲存。

(二) 人為干擾

人為活動通常會某種程度或方面影響野生動物生活的區域品質，也將動物居住的環境被切割成較小的區塊。道路密度 (公尺/公頃)，與人為開發程度有關，並且可能影響人對該地區的可及度；其圖層資料資來源為

1994年農委會編制的「台灣地區道路交通圖」，包含國道、省道、縣道以及一般道路。為進一步釐清人為干擾空間上對於動物可能產生的影響，本研究將離道路的遠近列入分析因素，選取道路密度大於0的網格的中心座標代表，再計算全台1*1*公里的網格中心座標與其最近距離。

自然度指標採用徐國士（1984）年所使用的自然度之概念，利用台灣植被圖將土地利用型態（landuse）或土地覆蓋度（landcover），依原始的程度分為十級，給予1至10不同的數值，其中原始森林的自然度指標最高，而人為開發地的自然度指標最低（李培芬等，1997）。1~10各值表示如下：1：城市、2：漁塭、3：農地（稻田、茶園、甘蔗園）、4：果園（低海拔果園、溫帶果園）、5：造林（相思樹造林、雜林、竹林）、6：柳杉造林、8：次生林（二葉松林、玉山箭竹）、9：山毛櫸、10：原始林（冷杉林、鐵杉林、針葉混合林、櫟林、楠儲林、榕樹林、紅樹林）。

四、台灣黑熊分佈預測模式之建立

本研究採用兩種不同的預測分佈模式，包括邏輯迴歸分析（logistic regression）和基因演算法（Genetic algorithm for Rule-set Prediction, GARP；Stockwell and Noble, 1992; Stockwell and Noble, 1998）。前者需要物種出現以及沒有出現（presence and absence）的資料，後者僅需物種出現（presence only）的點位資料。

1. 邏輯迴歸分析（Logistic regression）

邏輯迴歸分析被認為能對許多生態現象，提供較佳的解釋模型，其假設因變數對自變數的反應呈現S型曲線，較接近生物反應環境因素變化的特性（Morrison *et al.*, 1998）。邏輯迴歸公式為：

$$\text{logit}(p) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$$

$$\text{logit}(p) = \log\left(\frac{p}{1-p}\right)$$

$$p = \frac{1}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n)}$$

p ：預測該事件發生的機率

β_i ：邏輯分析係數

X_i ：影響物種出沒的變因

本研究就台灣黑熊有無出現為依變數，以各個環境因素為自變數。將有台灣黑熊出沒以及沒有記錄到有熊的紀錄，分為兩部分：其中一組（training data）用來建立預測模式，此部份利用 SAS 統計軟體，撰寫 stepwise logistic regression 程式，以逐步選擇法（stepwise selection）從輸入的環境變因中挑選適當的變因進入迴歸式。之後再由所建立的迴歸式建立台灣黑熊棲息地利用方程式，並估算全台灣每一 1*1 km 網格內的黑熊出現機率。另一組資料（test data），則用來評估預測模式的準確性。

2. 基因演算法（Genetic algorithm for Rule-set Prediction，GARP）

基因演算法於計算上均以以GARP演算法為基礎的套裝軟體Desktop GARP進行，此於生物多樣性和生態研究上，可以用來預測分析野生物動物的分佈（Peterson, 2001; Fera and Peterson, 2002; Hidalgo *et al.*, 2004）。Desktop GARP可由<http://www.lifemapper.org/desktopgarp>免費下載，操作分為兩個部份：Data Manager將欲分析的因素，整合成一.dxl檔案，於執行Desktop GARP時載入；Desktop GARP則是用來載入物種出現的點位資料、讀取整合後的因素檔、設定參數和真正執行的部分。

本研究利用點位式資料庫，利用亂數表將台灣黑熊出現點位資料逢機分成兩組：

1.training data: 用來建立預測模式，找出最佳模式後，再將所有的組合累加後除以總共有幾個最佳模式，就是預測該物種出現的機率值，也就是假設選定 10 個最佳模式後，利用 GIS 中 ArcToolbox\Conversion Tools\To Raster\ASCII to Raster 的轉換功能，將每一模式 (.asc)轉成 raster 檔，再利用 ArcMap\Spatial Analyst\Raster Calculator 功能，累加所有的模

式再除以 10，就是該網格預測物種出現的機率值。

2.test data: 隨機選出沒有台灣黑熊出現及有台灣黑熊出沒的資料，用來驗測已建立模式的準確性。先用七個環境變因建立第一次的預測分佈模式，將衍生的變因(離道路最近距離)拿掉，以六個環境進行第二次預測，第三次將離溪流最近距離移掉後進行預測，選取三次不同變因組合中最佳模式。

五、預測分佈模式之評估

本研究以隨機選取台灣黑熊出現的點位資料(439 筆)建立預測分佈模式，利用海拔、坡度、植生指標、離溪流最近距離、道路密度、離道路最近距離和自然度指標等因素進行預測。評估模式精確度則利用資料庫中其他的 150 筆有熊資料，加上隨機選取的 150 筆沒有熊出現的網格中心點座標資料，共 300 筆評估模式準確性。

為了驗證模式的準確度及方便闡釋結果，研究者常將生物分佈的資料依據一適當的切點(cut point)做分類，將預測分佈值大於切點者，視為物種會出現的區域，而預測值小於切點者，視為該物種不會出現的位置。

切點的選擇通常有以下幾種方法：(1) 平均值-1*標準差，即預測機率的平均值減去標準差，所得即為切點。(2) 平均值-0.5*標準差，即預測機率的平均值減去半個標準差，所得即為切點。(3) 期望值法，將樣區所有網格的預測機率加總作為期望值，再將所有的網格依照預測機率大小排列，以排名相當於期望值的網格機率，即為切點(Buckland *et al.*, 1993)。

本研究採用平均值-1*標準差的方法選定切點後，建立誤差矩陣(confusion matrix、error matrix，表 2)，用來評估預測分佈模式準確性。其中 a 代表該物種實際上有出現，而預測也是呈現有出沒；d 則是實際上

不存在，而預測也是呈現該物種不會出現的結果。a 和 d 皆是屬於正確預測的部份；b 則屬於 commission error (false positives, overprediction)，即實際上沒有出現的地方，卻預測有該物種出沒；c 屬於 omission error (false negatives, underprediction)，即物種實際上有出現的，卻預測該物種不存在。

利用 sensitivity 和 Kappa 作為評估的指數，其中 sensitivity 為「實際上有出現且預測也為出現」的機率；而 Kappa 的選用乃是因為此值和物種分佈廣泛程度的相關性較低，相對地較能反應物種對於棲地環境的高選擇性 (Manel *et al.*, 2001)。Kappa 值介於 0-1 之間，Kappa 值大於 0.75 表示預測模式準確性極好，當 Kappa 值介於 0.40 和 0.75 之間表示很好，如果 Kappa 值小於 0.4 表示預測能力很差 (Landis and Koch, 1977)。Kappa 值計算公式如下：

$$Kappa = \frac{(a+b+c+d)*(a+d) - [(a+b)*(a+c) + (c+d)*(b+d)]}{(a+b+c+d)^2 - [(a+b)*(a+c) + (c+d)*(b+d)]}$$

六、資料分析

以地理資訊系統 (ArcGIS 9.2) 為基礎模組分析黑熊資料，黑熊出現點位的棲息地屬性，則利用 40*40 公尺解析度的數值地形模型 DTM (Digital Terrain Model)，搭配 ERDAS IMAGINE 8.5 萃取出該點所對應的海拔，並以第三次台灣森林資源及土地利用調查 (台灣省農林廳林務局，1995) 中的林型屬性，依照林型特性重新分類 (附錄 2)，再萃取出熊資料點位所對應的林型。

本研究利用台灣地區生態與環境因素資料庫 (李培芬，1997)，將研究樣區內、發現台灣黑熊記錄和沒有台灣熊出現紀錄對應出網格所屬的環境變因屬性，以分析台灣黑熊棲息地利用模式，探討可能影響台灣黑熊棲息地選擇的相關環境因素。

欲瞭解台灣黑熊於保護區系統的差異，台灣本島中的國家公園，以三個高山型國家公園－雪霸、太魯閣和玉山國家公園，而其成立時間分別為民國 81 年、75 年和 74 年，距今 15~22 年，與本研究發現台灣黑熊紀錄符合，陽明山與墾丁國家公園沒有黑熊出現紀錄，於本研究不列入分析，其他自然保留區和野生動物重要棲息地等保護區，其成立時間不一以及成立時間較國家公園系統短，恐較無法釐清保育台灣黑熊的功效，故本研究將台灣黑熊紀錄於國家公園內外對應網格所屬的環境變因，分析其利用差異。

資料分析則利用 SAS 9.1，檢定影響黑熊分佈之各項環境變因之間的差異，則採用無母數統計中的 Mann-Whitney U test；為求得各環境變因之間的可及性 (availability) 和使用性 (use) 是否有顯著差異，將各變因分類後，利用卡方分析檢定。

肆、結果

一、台灣黑熊紀錄資料庫

利用文獻回顧（附錄 3）、訪談、林務局座談會、問卷等方法所收集的資料，發現台灣黑熊活動的各類型紀錄包括捕獲 24 筆資料、無線電追蹤 233 筆資料、目擊 173 筆、自動照相機 43 筆、活動痕跡 567 筆，總計 1040 筆資料。為了避免重複計算小範圍內或可能由同一個體所留下黑熊活動紀錄，遂利用玉山國家公園東部規則進一步篩選資料（黃美秀等，2006b），即同一次上山於同一個 1*1 公里網格內發現新舊相似的活動紀錄，視為同一筆；經此篩選整合之後，遂將其中 441 筆資料合併成 93 筆資料，共得 692 筆資料，其中不乏只有較大尺度的 4*4 公里的資料，遂再將此資料移除，最後共得尺度 1*1 公里網格以內的 589 筆點位資料（表 3）。

這些發現台灣黑熊紀錄的點位資料轉換成網格式資料，得到有台灣黑熊出現的網格共有 344 個 1*1 公里網格（簡稱為“有熊格”）。所有資料類型以活動痕跡佔最高百分比（56.20%，n=589），其次為目擊（22.92%）、無線電追蹤（12.90%）、自動照相機（7.30%）、捕獲（0.68%）。利用文獻回顧所匯整出沒有台灣黑熊出現的紀錄（附錄 4），共有 499 個網格（簡稱為“無熊格”）。

二、台灣黑熊地理分佈

台灣黑熊點位紀錄主要分佈於中央山脈山系（n=585），包括中央、玉山、雪山、阿里山，海岸山脈僅有 4 筆紀錄。有熊格則有 99% 於中央山脈，1% 位於海岸山脈，範圍最北邊位置為桃園縣復興鄉的南插天山與拉拉山一帶；最南的地方則為屏東縣泰武鄉的南、北大武山區域；西邊則是北半部的台中縣和平鄉的鳶嘴山和稍來山山區；海岸山脈則出現於花蓮玉裏及成功，為海拔 385 公尺的安通山至 814 公尺的開眼山山區。

有熊格有 64.2% (n=344) 位於保護區系統內，其中國家公園佔 71%，29% 位於非國家公園的保護區；而國家公園中以玉山園區的出現比例最高，78% (n=156)。於保護區系統中，有熊格的最北處為插天山自然保留區南側的北橫公路沿線附近，南邊則位於大武山自然保留區中部 (圖 3)。自 1994 以來相關的動物相調查中，未曾發現台灣黑熊的紀錄於全島的分佈十分不平均，此結果與收集發現台灣黑熊紀錄的動物相文獻報告中於某些特定的區域相符。此外，除了大武山自然保留區南側沒有出現發現台灣黑熊的紀錄之外，無熊格大多混雜於有熊紀錄的地區 (圖 3)。

三、台灣黑熊棲息地利用及選擇

有熊格與研究樣區的各環境因素皆呈現顯著差異 ($p < 0.001$ ，表 4)，各環境因素說明如下：

1. 海拔

有現場紀錄台灣黑熊出沒所在的海拔高度的資料 (n=533 筆) 顯示，台灣黑熊出沒的海拔主要位於 1000-1500 公尺範圍 (34.9%)。自此海拔梯度以上，分佈百分比隨海拔高度增加而遞減 (2000~2500 公尺:14.65%，2500~3000 公尺:9.04%，3000~3500 公尺:3.98%，3500~4000 公尺:0.36%)，並且自此海拔梯度以下，分佈百分比也隨著海拔高度降低而遞減 (1000~1500 公尺:25.86%，500~1000 公尺:9.95%，<500 公尺:1.27%)。

有熊格的平均海拔為 1862 ± 644 公尺 (範圍 385~3678 公尺，n=344)，大於研究樣區的平均海拔 (1117 ± 814 公尺，範圍 100~3707 公尺，n=24260)。有熊格以 1500~2000 公尺的出現比例最高 (34.88%)，其次為 2000~2500 公尺 (22.38%)、1000~1500 公尺 (15.41%)，以及 2500~3000 公尺及 500~1000 公尺 (皆 10.76%)，而出現於 3000 公尺以上的比例僅有 5.23%，並以低於 500 公尺的比例最低 (圖 4)，顯示台灣黑熊最常出現於中海拔 1500~2500 公尺地區 (57%)，並出現頻度自此隨海拔遞增或

遞減而分別遞減。

有熊格的海拔分佈與研究樣區內的海拔呈現顯著差異 ($X^2=325.37$, $p<0.0001$, $df=7$, 圖 4)。在樣區內, 隨著海拔梯度增加, 所佔比例隨之遞減, 從 0~500 公尺的 30.70% 降至 3500~4000 公尺的 0.06% (圖 4)。就網格平均海拔而言, 台灣黑熊於 1500 公尺以上各海拔梯度出現的比例皆高於樣區的相對比例, 顯示黑熊對此區域之相對偏好; 反之台灣黑熊於 1500 公尺以下各海拔梯度出現的比例皆低於樣區的相對比例, 此差異在 500 公尺以下的低海拔區域尤為明顯。

2. 植生指數

根據受訪者所指出發現台灣黑熊活動所在的林相類型 ($n=322$ 筆資料), 針闊葉混合林發現黑熊紀錄的比例為最高 (42.86%), 其次為溪流湖泊 (17.70%)、闊葉林 (15.84%)、針葉林 (13.35%), 箭竹地 (3.11%)、草地 (2.48%)、裸露地 (1.24%)、農地 (0.31%)、其他 (3.11%), 以及 10 筆於山屋、工寮附近發現台灣黑熊的紀錄。

除了 11 筆有熊點位記錄位於國有林以外的範圍之外, 本研究利用國有林植被圖層萃取熊點位所對應的林型, 與國有林區內的林型比例相較, 台灣黑熊在國有林區出現的植被類型以針葉林為最高 (39.79%, $n=578$), 其次為針闊葉混合林 (29.41%), 二者皆大於該植被類型於國有林區的相對比例 (24%、19%); 黑熊紀錄於闊葉林的比例 (22.49%), 則不及國有林區比例 (46.44%) 的一半。其他較少記錄到台灣黑熊的植被包括裸露地 (3.63%)、箭竹地 (2.60%)、草地 (1.21%)、溪流湖泊 (0.87%)、農地 (0%), 其中前二者的比例則較國有林區的相對值略高 (2.13%、1.08%, 圖 5)。

有熊格的植生指標皆大於 0.15, 平均為 0.44 ± 0.08 (範圍 0.15~0.64), 與研究樣區之平均值生指標為 0.44 ± 0.11 (範圍 0.65~0.00) 有顯著差異。有熊格的植生指標以 0.3~0.6 的比例最高 (93.02%), 但有熊格於植生指

標 ≥ 0.4 比例最高 (69.77%)，大於樣區 (50.48%)，而於植生指標 0~0.4 之間的有熊格比例 (30.23%) 則皆小於樣區 (49.52%) ($X^2=68.66$ ， $p<0.0001$ ， $df=7$ ，圖 6)，顯示台灣黑熊偏好植生指標大於 0.4，而避免低於此值的環境。

3. 坡度

台灣黑熊出現的平均坡度為 21 ± 9 度 (範圍 1~46)，大於樣區的平均坡度 16 ± 10 度 (範圍 0~61)，有熊格的坡度與研究樣區分佈呈現顯著差異 ($X^2=68.12$ ， $p<0.0001$ ， $df=4$ ，圖 7)。其中有熊格以 15~30 度的比例最高 (54.94%)，其次為 0~15 度 (28.78%)、30~45 度 (15.99%)、45~60 (0.29%)。台灣黑熊出現於 15~30 度及 30~45 度皆高於樣區的坡度比例 (39.89%、9.18%)，但相對地，熊出現於較緩坡 (0~15 度) 及陡坡 (45~60 度) 區域的比例，則皆較樣區的坡度比例低 (50.28%、0.63%)。

4. 距溪流遠近

距離溪流方面，樣區內平均距溪流最近距離為 2032 ± 1607 公尺 (範圍 0~10.05 公里)，有熊格平均離溪流最近距離為 2356 ± 1615 公尺 (範圍 0~8 公里)，二者呈顯著差異 (Mann-Whitney U test, $X^2=66.24$, $p<0.001$)。有熊格於距溪流最近距離 < 500 公尺的比例 (9.59%) 低小於樣區格 (16.65%)；反之，有熊格於距溪流最近距離 > 2500 公尺的比例 (4.07%~23.84%)，則皆大於樣區格的比例 (3.66%~18.36%， $X^2=325.37$ ， $p<0.0001$ ， $df=7$ ，圖 8)。此結果顯示台灣黑熊對於太接近 (< 500 公尺) 溪流的地區有相對較低的利用性，而偏好使用對於距溪流較遠 (> 2500 公尺) 的區域。

5. 自然度指標

台灣黑熊出現區域中，平均自然指標為 9.04 ± 1.77 (範圍 3~10)，大於樣區的平均值， 7.42 ± 2.76 (範圍 1~10)，二者呈顯著差異 (Mann-Whitney

U test, $X^2=168.19$, $p<0.001$, 表 5)。有熊格的自然度指標以代表針葉樹, 及闊葉樹之原始林的 9~10 最高 (84.30%), 並隨指標減少而比例遞減, 即 7-8 (山毛櫸, 以及二葉松和玉山箭竹之次生林): 6.9%, 5-6 (柳杉等造林地及雜木林): 6.99%, 3-4 (農地、果園): 2.33%, 此與研究樣區之百百分比分佈呈現顯著差異 ($X^2=199.60$, $p<0.0001$, $df=4$, 圖 9)。台灣黑熊出現於 9-10 和 7-8 的比例分別為樣區所佔比例的 1.6 倍及 2.8 倍, 至於人為干擾較為頻繁的區域, 自然度指標 5-6 和 3-4, 黑熊出現的比例則明顯地小於樣區的相對比例。此結果顯示台灣黑熊對於原始森林、山毛櫸, 以及二葉松和玉山箭竹之次生林之偏好, 並會避開人為活動頻繁或人工種植的區域。

6. 道路密度

有熊格的平均道路密度為 3 ± 7 公尺/公頃 (範圍 0~65), 為樣區內平均道路密度 9 ± 18 公尺/公頃 (範圍 0~266) 之三分之一, 二者呈顯著差異 (Mann-Whitney U test, $X^2=66.24$, $p<0.001$)。有熊格道路密度之百分比與樣區不同 ($X^2=61.77$, $p<0.0001$, $df=4$), 到路密度為零的比例最高 (81.69%), 大於樣區內的比例 (57.7%); 但密度大於 3 者 (16.28%) 則小於樣區格 (35.92%) (圖 10); 道路密度大於 0 至 3 公里, 在有熊格及樣區的比例則相差不多, 分別為 2.03%、2.70%。此結果顯示台灣黑熊傾向於避開道路密度過高 (>3 公尺/公頃) 的區域, 並對於無道路經過的區域有較高程度之利用。

7. 離道路最近距離

有熊格離道路的最近距離平均為 3.5 ± 2.94 公里 (範圍 0~12.37), 高於樣區內所有網格之平均值, 2.14 ± 2.77 公里 (範圍 0~16.3 公里, Mann-Whitney U test, $X^2=108.61$, $p<0.001$)。其中離道路不到 1 公里的區域, 有熊格僅佔 29.07%, 幾乎僅為樣區百分比 (56.09%) 的一半, 顯示黑台灣熊對於道路附近地區的驅避反應。有熊格及樣區格離道路 1~2 公里的比例則相近 (10.20%、10.76%), 但離道路 2 公里以上的區段, 有

熊格的比​​例皆大於樣區格，範圍分別為 6.69~15.12%、2.9~8.36% ($X^2=125.49$, $p<0.0001$, $df=7$, 圖 11)，顯示台灣黑熊對於離道路較遠 (>2 公里) 的區域有較​​高程度的利用。

四、台灣黑熊於國家公園內外之棲地利用比較

三個高山型國家公園，包括太魯閣、雪霸和玉山國家公園，簡稱為國家公園。國家公園涵蓋 2505 1*1 公里網格，佔研究樣區的 10.32%，而有熊格有 45.34% 落於國家公園內 (圖 3)。各環境因素皆呈現顯著差異 ($p<0.01$, 表 5)；有熊格於國家公園內外，除了海拔和離溪流最近距離變​​因之外，在其餘 5 項環境因素上，皆呈現顯著差異 ($p<0.05$, 表 5)。

國家公園內的樣區與有熊格，坡度、植生指標、離溪流最近距離和離道路最近距離因素皆呈現顯著差異 ($p<0.001$)，其餘環境因素並沒有顯著差異；而國家公園外的樣區與有熊格，於所有環境因素上，則皆有顯著差異 (表 5)。各環境因素說明如下：

1. 海拔

保護區的平均海拔為 1905 ± 699 公尺，為非保護區 (773 ± 592 公尺) 得兩倍，發現黑熊的海拔於非保護區其百分比與該樣區呈現顯著差異。國家公園網格的平均海拔為 2153 ± 665 公尺，為國家公園外 (998 ± 742 公尺) 的 2.1 倍；國家公園外，海拔高度隨海拔越高百分比越低，與國家公園內海拔梯度成鐘型趨勢分佈不同 (圖 12)。

於非國家公園樣區，發現台灣黑熊的平均網格海拔 (1805 ± 575 公尺) 將近為該區域海拔分佈的 2 倍，兩者百分比分佈呈現顯著差異 ($X^2=245.67$, $p<0.0001$, $df=6$, 圖 12)，發現台灣黑熊的百分比於 1500 公尺以上的海拔梯度皆較該區域的百分比高；反之，於海拔 <1500 公尺，發現黑熊的海拔梯度皆較該區域的百分比高。於國家公園內發現黑熊的海拔 (1931 ± 716 公尺)，與國家公園外記錄到黑熊的海拔相近；

然其於 500~2000 公尺之海拔梯度的分佈百比例 (8.97%、16.67%、32.69%)，則皆較國家公園內該海拔的比例 (4.83%、11.62%、21.28%) (圖 12)。

2. 植生指標

保護區的平均植生指標大於非保護區，分別為 0.43 ± 0.09 、 0.38 ± 0.11 ，有熊記錄於保護區的平均植生指標 (0.40 ± 0.07)，則小於非保護區 (0.42 ± 0.08 , $p<0.001$)。國家公園內的平均植生指標大於國家公園外，分別為 0.42 ± 0.08 、 0.39 ± 0.10 ，然而有熊紀錄於國家公園的平均植生指標 (0.41 ± 0.08)，則小於國家公園外 (0.46 ± 0.07 , $p<0.001$, 表 5)。在國家公園內，台灣黑熊對於植生指標 0.2~0.3 以及 0.4~0.5 使用比預期高，所利用百分比例分佈與樣區呈現顯著差異 ($X^2=15.42$, $p<0.05$, $df=6$, 圖 13); 在國家公園外，台灣黑熊對於植生指標 >0.4 者，使用比預期高，且對植生指標 >0.4 的區域使用則皆比預期高 ($X^2=81.15$, $p<0.0001$, $df=7$, 圖 13)。

3. 坡度

保護區的平均坡度大於非保護區，分別為 21 ± 10 和 14 ± 10 ，有熊記錄於保護區的平均坡度 (19 ± 8) 小於非保護區 (21 ± 10)，並呈現顯著差異 ($X^2=643.59$, $p<0.0001$)。國家公園內平均坡度大於國家公園外樣區，分別為 23 ± 10 、 15 ± 10 ，然有熊紀錄於保護區的平均坡度 (19 ± 8)，則小於非保護區 (21 ± 10)，並呈現顯著差異 ($X^2=643.59$, $p<0.0001$)。有熊紀錄於國家公園內的平均坡度 (22.7 ± 9.3)，則大於國家公園外的紀錄 (18.9 ± 8.4)，並呈顯著差異 ($X^2=12.92$, $p<0.0001$, 表 5)。台灣黑熊在國家公園內外，0~15 度之間以國家公園外的所佔百分比例大於國家公園內 (53.44% vs. 22.87%)，在 15~45 度，國家公園內大於國家公園外 (75.09% vs. 46.09%)。台灣黑熊於國家公園內，於 30~45 度之間使用比預期高，反之在國家公園外 15~30 及 30~45 度，使用比預期高 ($X^2=28.25$, $p<0.0001$, $df=7$, 圖 14)。

4. 離溪流最近距離

保護區的平均離溪流最近距離略大於非保護區，分別為 2179 ± 1704 、 1968 ± 1558 公尺；有熊紀錄於保護區和非保護區的離溪流最近距離則無顯著差異，分別為 2425 ± 1512 、 2317 ± 1672 公尺 ($X^2=1.173$, $p=0.279$)。國家公園內網格平均離溪流最近距離大於國家公園外，分別為 2247 ± 1727 、 2007 ± 1590 公尺。有熊紀錄於國家公園內和國家公園外的離溪流最近距離則無顯著差異，分別為 2261 ± 1604 、 2435 ± 1625 公尺 ($X^2=1.072$, $p=0.3$ ，表 5)。相對於樣區的分佈比例，台灣黑熊在國家公園內對於 <2000 公尺和 >2500 公尺離溪流最近距離呈現較高的使用偏好 (55.13% vs. 55.09% ; 37.82% vs. 36.53%) 呈現顯著差異 ($X^2=46.87$, $p<0.0001$, $df=7$ ，圖 15)。台灣黑熊於國家公園外，與樣區比較，呈現顯著差異，在 <2000 公尺使用皆比預期低，在 >2000 公尺則皆比預期高 ($X^2=46.87$, $p=0.014$, $df=7$ ，圖 15)。

5. 自然度指標

保護區的平均自然度指標大於非保護區，分別為 9.62 ± 1.15 、 6.46 ± 2.71 ，有熊紀錄於保護區的平均植生指標 (9.70 ± 0.98)，則略大於非保護區 (8.92 ± 1.99 , $p<0.001$ ，表 5)。國家公園內的平均自然度指標大於國家公園外，分別為 9.73 ± 0.98 、 7.15 ± 2.77 ，有熊紀錄於國家公園內的平均植生指標 (9.67 ± 1.07)，則略大於國家公園外 (9.22 ± 1.71 , $p<0.01$ ，表 5)。台灣黑熊在國家公園內以及在國家公園外的自然度指數皆以 9~10 的比例最高，分別為 89.74% 、 79.79% (圖 16)。在國家公園外，台灣黑熊對於自然度指標 ≥ 7 者，則皆呈現較高的利用程度，比如對於原始林(指數值 9~10) 的利用比例大於國家公園外 (79.79% vs. 46.62%)，但對於對植生指標 ≤ 6 的區域的利用程度則偏低 ($X^2=121.01$, $p<0.001$, $df=4$ ，圖 16)。國家公園內的台灣黑熊亦有相似的利用趨勢 ($X^2=29.33$, $p<0.001$, $df=2$ ，圖 16)，唯與預期值的差異較台灣黑熊國家公園外的情況小。

6. 道路密度 (公尺/公頃)

非保護區的平均道路密度(公尺/公頃)為 12 ± 20 ，明顯的大於保護區， 1 ± 5 。有熊紀錄於非保護區的平均道路密度 (4.13 ± 7.69) 為保護區 (1.49 ± 5.06) 的 2.8 倍 ($p < 0.001$ ，表 5)。國家公園外的平均道路密度(公尺/公頃)為 9.94 ± 18.4 ，明顯的大於國家公園內 (1.37 ± 4.6)。有熊紀錄於國家公園外的平均道路密度 (3.2 ± 7.0) 為國家公園內 (1.5 ± 5.1) 的 2.1 倍 ($p < 0.001$ ，表 5)。台灣黑熊出現在國家公園內、外的道路密度皆以 0 的比例最高，分別為 88.38%、58.27% (圖 17)。相對於樣區的分佈比例，黑熊在國家公園內對於道路密度並沒有顯示出特別的選擇性 ($X^2=1.08$ ， $p=0.879$ ， $df=4$ ，圖 17)；但在國家公園外，台灣黑熊對於道路密度 < 0 則呈現較高的利用程度，但對於對密度 > 3 的區域的利用程度則偏低 ($X^2=25.66$ ， $p < 0.0001$ ， $df=4$ ，圖 17)。

7. 離道路最近距離

保護區的平均離道路最近距離為 4357 ± 3327 公尺，明顯的大於非保護區 1172 ± 1776 公尺。有熊紀錄於保護區平均離道路最近距離為 4300 ± 2938 公尺，約為非保護區 (2186 ± 2437 公尺) 的 2 倍 ($p < 0.001$ ，表 5)。國家公園的平均離道路最近距離為 4114 ± 3217 公尺，明顯的大於國家公園外 1911 ± 2626 公尺。有熊紀錄於國家公園內平均離道路最近距離為 4091 ± 2769 公尺，比國家公園外 (3091 ± 3017 公尺) 多了 1000 公尺 ($p < 0.001$ ，表 5)。相對於樣區的分佈比例，台灣黑熊在國家公園內對於 < 2 公里離道路最近距離使用比預期低，而在 > 3 公里則皆比預期高 ($X^2=51.71$ ， $p < 0.0001$ ， $df=7$ ，圖 18)；在國家公園外，台灣黑熊對於離道路最近距離 < 1000 公尺的區域，則呈現較低的利用程度 (59.88% vs. 36.70%)，但對於大於此距離的區域的利用程度則偏高 ($X^2=35.01$ ， $p < 0.0001$ ， $df=7$ ，圖 18)。

五、台灣黑熊預測分佈模式之建立

(一) 邏輯迴歸法

比較有熊格與無熊格於各環境變因的差異，結果顯示植生指標、道路密度、離道路最近距離三項並無顯著差異 ($X^2=0.08\sim 2.15$, p 皆 >0.05 ，表 6)，海拔、坡度、離溪流最近距離及自然度指數則有顯著差異 ($X^2=8.2\sim 25.83$, p 皆 <0.05 ，表 6)。

隨機選取有熊格和無熊格之點位資料，進行 5 次的黑熊分佈模式的預測，用來建立預測模式的資料筆數為資料庫 73%~64%。建立之 5 個預測模式方程式 (編號 L01~L05) 皆含坡度和離溪流最近距離兩個變因，sensitivity 值為 0.780~0.991，而 Kappa 值皆很低， ≤ 0.1 (表 7)。其中又以由坡度和離溪流最近距離兩個變因所組成的模式 (編號 L04) 為最佳，其 sensitivity 和 Kappa 值皆最高，分別為 0.991 及 0.1。

編號 L04 的預測分佈圖顯示，黑熊除了於全島呈現廣泛性、許多分散不連續的區塊分佈之外，高出現機率的分佈區似乎與溪流路徑有關 (圖 19)。此結果與依實務經驗為基礎的期望分佈狀況，即以中央山脈為主的差距頗大。所以，在本研究中的邏輯迴歸分析結果將僅做為模式分析上的技術參考，並將於後續討論中，進一步探討其應用和限制。

(二) 基因演算法及台灣黑熊預測分佈模式

利用基因演算法進行三次預測模式，分別包含 6~7 個環境變因 (編號 G01~G03，表 8)，其中編號 G01 包含所有的 7 個自變因 (即海拔、坡度、植生指標、自然度指標、道路密度、離道路最近距離)，而編號 G02 則移除離道路最近距離一項，因為離道路距離為道路密度的衍生；編號 G03 則移除離溪流最近距離一項，進行預測模式。這些預測模式的 sensitivity 為 0.873~0.893，Kappa 值為 0.307~0.360，而且利用基因演算法建立預測模式之 Kappa 值也是邏輯迴歸法模式的三倍以上，顯示較高的預測力。

雖然評估模式一般以 Kappa 為標準，但在本研究中，考量無熊格的資料有座標精確度上的問題，故以確切的有熊出現的座標為主，所以用 sensitivity 第一優先考量，Kappa 為輔。此 3 個模式中，以包含所有變因建立的編號 G01 模式為基因演算法的最佳預測模式 (sensitivity = 0.893, Kappa = 0.360)，本研究亦將以此模式作為預測台灣黑熊地理分佈之應用模式(圖 20)。

利用切點 0.525 將預測分佈機率大於 0.525 的網格歸類為”黑熊會出現”，而小於等於 0.525 的網格則歸類為”黑熊不會出現”，結果顯示黑熊的潛在棲息地(黑熊會出現)為 9587 平方公里，佔台灣本島 25.53% (i.e., 9587/37552, 圖 21)，或佔本研究樣區的 40% (i.e., 9587/24260)，並且有 56.42% 於保護區系統內。本研究所收集的黑熊記錄中，330 個有熊格落於模式預測黑熊會出現的部份，顯示就現有可得的黑熊出現紀錄而言，此模式有 96% 可以正確預測成功。

黑熊預測分佈圖顯示，最北至臺北縣坪林鄉的三角崙附近，為零星的小區塊，從臺北縣烏來鄉以及桃園縣復興鄉呈現大範圍的區域，而南邊最遠到佳善安山和茶茶牙頓山一帶，從屏東縣的春日鄉、達仁鄉、獅子鄉交界，才開始有較大區塊連結。西邊則位於嘉義縣的阿里山鄉以及高雄縣三民鄉、桃源鄉一帶；東邊海岸山脈呈現一狹長條區域，並與中央山脈分隔開。由圖 21 發現，此預測黑熊分佈圖預測熊會出現的區塊中有夾雜些零星小區塊，為預測黑熊不會出現的地方，發現與海拔(圖 22)、自然度指標(圖 23)、道路密度(圖 24)、離道路最近距離(圖 25)似乎有關。

比較預測黑熊會出現地區與實際有熊分佈地區的環境特色，在坡度、植生指標、到達溪流最近距離、離道路距離上，皆無顯著差異 ($X^2 = 0.06 \sim 2.23$, p 皆 > 0.05 , 表 9)，但於海拔、自然度指標、道路密度上，二者則呈現顯著差異 ($X^2 = 19.94 \sim 1513$, $p < 0.001$, 表 9)。

預測熊會出現地區的網格平均海拔高度為 1710 ± 607.28 公尺，範圍

587~3204 公尺。其中四分之三分佈於位於 1000~2500 公尺，顯示中海拔區域之重要性；<1000 公尺之低海拔區域為 13.19%，>2500 公尺之高海拔區域為 12.49%（圖 26）。預測黑熊會出現格的坡度平均為 21 ± 8 度（3.59~41.40），其中 58.90%出現於 15~30 度。預測黑熊會出現網格植生指標集中於 0.5~0.6，佔了 45.61%，與有熊格沒有明顯差異（表 9）。

人為干擾因素方面，預測黑熊會出現地區的自然度指標皆為 10，即原始森林；預測黑熊會出現地區的道路密度平均為 1.02 ± 4 公尺/公頃，僅約為有熊紀錄分佈地區的三分之一，預測黑熊會出現中有 89.94%為道路密度為零，其比例較有熊紀錄區為高（81.69%）；道路密度 > 0 且 < 4 公尺/公頃者，僅佔 8.73；道路密度 > 4 公尺/公頃者則佔 8.73%。

伍、討論

一、台灣黑熊地理分佈

本研究所收集的台灣黑熊出沒紀錄，涵蓋中央、玉山、雪山、阿里山、海岸山脈，所記錄之黑熊出現之山系分佈與早期的調查結果相似（王冠邦，1990; Wang, 1999）。相較於本研究紀錄近年來的黑熊分佈，北抵插天山自然保留區南側區域，而南達大武山自然保留區中部區域且僅有零星紀錄，Wang（1999）於插天山自然保留區則有較多且偏北的黑熊記錄，而其南側之黑熊記錄更出現於大武山自然保留區以外之西南側區域，顯示台灣黑熊分佈之北界與南界，有縮減的狀況。

台灣黑熊於海岸山脈地區分佈稀少，並且中間隔花東縱穀而與中央山脈隔離。曾有受訪者曾目擊包括一母熊隨行一仔熊（1995 年），並於 2003 年有記錄，顯示該區域近期仍有黑熊活動且具繁殖情況，然台東和花蓮的林務局受訪者多表示，此區台灣黑熊極為稀少（黃美秀等，2006b）。由於此區域與中央山系間格花東縱穀，近年來因人為開發活動，而可能導致地理阻隔，故在保育上，除了小族群的高滅絕風險之外，此區台灣黑熊的遺傳上是否具有隔離情況，則值得進一步研究。

本研究沒有發現台灣黑熊記錄的區域，除了某種程度可能反應黑熊的相對豐富度之外，也可能受限於調查採樣上偏差的影響，故不一定反映沒有黑熊分佈的情況。因為台灣山區地形複雜，很多地區道路或步道系統不發達，導致不同地區對人的可及程度不一或相關研究調查分佈不平均，從而影響到偵測到動物存在的機率。同樣是棲息於地形崎嶇之處的其他亞洲黑熊，比如日本及中國大陸，黑熊資料的收集效率受地形困難及技術本身的限制，以及無線電追蹤的個體或定位點樣本數通常很少所致，棲息地利用的描述很不完整（Reid *et al.*, 1991; Y. Hashimoto 2006, edited by Oi and Yamazaki）。

然這些有熊紀錄於中央山脈北側之區域，即丹大山向北延經南湖大

山並延伸至宜蘭縣之三星山，此包括丹大野生動物重要棲息環境和太魯閣國家公園，出現密度相較於其他有發現台灣黑熊的區域，則十分零星。由於在丹大地區，研究者曾對大型動物進行有較長期的監測及訪查（王穎等，1997；王穎和陳怡君，1998；王穎，2002；王穎，2003、2004），理論上應該可能提供該地有關台灣黑熊較為完整的資訊，故此區台灣黑熊偏低的紀錄或許可以適當的反應該地的分佈及相對豐富度。此推測與本研究利用模型預測台灣黑熊的分佈圖（圖 21），顯示該區在台灣黑熊分佈十分碎裂化的結果似乎相符。此外，在丹大野生動物重要棲息環境區域，除了西側所預測的破碎化台灣黑熊棲地之外，地形上也是中央山脈山系寬度較為隘縮的部分，更顯現出此區域於保育全島台灣黑熊族群的連結功能和重要性。

黃美秀等（2006a）利用林務局座談會受訪者根據對林班地及附近區域的瞭解，勾勒出的台灣黑熊分佈範圍（10416 平方公里）為台灣本島的 30%，而利用黑熊出沒地點保守估算出黑熊分佈範圍（7672 平方公里），佔本島的 21%。相較之下，本研究利用模式預測台灣黑熊分佈的出現網格，佔全島的 25.53%，數值介於其間，而且三個地理分佈圖的重疊範圍廣泛（圖 27），唯模式預測分佈圖的南北兩端皆超出前兩個估計分佈圖。就三種估算範圍來說，大致顯示台灣黑熊的潛在棲息地於台灣剩下不到三成，此現況與早期紀錄台灣黑熊廣泛的分佈於台灣本島的情況大為不同（Kano, 1940, cited by Wang, 1999）。

此外，若考量國有林內森林於全島所佔的比例 40.6%（= $93\% * (15691/35915)$ ）為至少的台灣黑熊潛在分佈環境，遠大於台灣黑熊分佈估計值 21~30%；同理，設定研究樣區自然度指數 > 7 （53.68%）的面積，亦達全島之 34.6%。此二比較皆顯示，尚有其他因素干擾台灣黑熊對於這些潛在棲地的利用。

近年來台灣黑熊於全島的紀錄多位國家公園、自然保留區、野生動物保護區等保護區系統或鄰近區域，與早期的觀察結果相似（Wang, 1999）。然本研究發現有熊的紀錄網格以及預測台灣黑熊會出現網格，分

別有 45.34%及 19.85%位於國家公園內（圖 21），在適合台灣黑熊活動的棲息環境日益減少的情況下，除了顯示國家公園對於保護黑熊上所扮演的重要的角色之外。然而，除了丹大地區台灣黑熊棲地所面臨的前述潛在威脅外，插天山及大武山自然保留區的台灣黑熊出沒記錄，近年來似乎有日趨減少的情況，皆值得經營管理單位重視。目前對於進出非國家公園的保護區的管制，在有些地區並沒有嚴格執行，則將影響到非國家公園的保護區對於台灣黑熊以及其他野生動物保育的效能。

本研究預測台灣黑熊會出現格以中央山脈為主，但發現有些區塊為預測熊不會出現（圖 21），包括（1）太魯閣國家公園右側中間、（2）太魯閣國家公園以及雪霸國家公園交界中間下方區塊（3）太魯閣國家公園與玉山國家公園中間兩塊空白處、（4）玉山國家中間以及中間上方處，以及（5）大武山自然保留區左側及下方處等。預測分佈結果經進一步與海拔、自然度指標、道路密度、離道路最近距離和離溪流最近距離圖層疊圖（圖 23~26 和圖 28），藉此探討預測黑台灣熊不會出現區塊環境屬性特色，顯示（1）太魯閣國家公園右側中間，有省道通過、海拔較低（<1000 公尺），以及自然度指標偏低（3~6）；（2）太魯閣國家公園以及雪霸國家公園交界中間下方區塊，指出省道通過部分區塊、海拔較低（<1200 公尺），而且自然度指標很低（1~4），（3）太魯閣國家公園與玉山國家公園中間兩塊空白處，自然度指標（4~8）稍低，上方小區塊離道路距離較遠；（4）玉山國家中間以及中間上方處，海拔高度偏高（2700~3800 公尺）與離道路較遠；（5）大武山自然保留區左側及下方處，則海拔偏低（0~1300 公尺）、離道路距離較遠。這些比較分析顯示預測台灣黑熊不會出現的區塊應該皆不是由單一個因素影響所造成。

二、棲息地利用

本研究顯示台灣黑熊對於低海拔（<1000 公尺）和高海拔（>3000 公尺）的使用頻度較低（圖 4）。此結果與於玉山國家公園的無線電追蹤台灣黑熊的結果類似，研究結果顯示該區台灣黑熊對於 1000~2000 公尺，甚至包括該研究可能低估的 2000~2500 公尺，有特別偏好程度（Hwang,

2003; 黃美秀等, 2006b)。在高山型以外的區域台灣黑熊對於中低海拔地區(500~2000公尺)的利用程度比預期中的高, 與於國家公園以外地區偏好1500~3000公尺有所差異。雖然低海拔地區的地勢一般較高海拔地區平緩, 然人為干擾與開發程度相對地高, 可能導致棲息地品質降低以及棲息地碎片化。許多研究顯示, 在低海拔區域, 人熊衝突的機會也跟著增加, 因人而致的死亡率也跟著增加(棕熊: McLellan, 1989; Mattson *et al.*, 2004; Nielsen *et al.*, 2004; 美洲黑熊: van Manen and Pelton, 1997b; Clark *et al.*, 1998)。

台灣於地形上海拔變化急遽, 從而影響到區域性的物候環境及植被類型, 直接或間接地影響到野生動物的生活, 對於活動力強的台灣黑熊而言就是最好的例子。台灣黑熊是以植物為主的標準雜食性動物, 食性有季節性變化, 故季節性活動受隨環境中植物性食物的可得度影響(Hwang, 2003)。分佈玉山國家公園地區的黑熊春季多以新鮮多汁的嫩草、樹木的幼芽嫩葉為主食; 夏季則以富含碳水化合物營養的果實和漿果為主, 例如懸鉤子、各種樟科的果實等; 秋冬季節則脂肪含量較高的堅果為主, 例如山胡桃和殼鬥科的堅果(Hwang *et al.*, 2002)。玉山國家公園的台灣黑熊, 春天活動於較低海拔低區, 夏天出現於1000~2500公尺, 秋天則降至1110~1690公尺的區域(Hwang, 2003; 黃美秀等, 2006b)。其他地區的黑熊亦有類似台灣黑熊的生態習性, 日本本州長野縣北部山區(樣區海拔範圍600~3180公尺)的亞洲黑熊其棲息地海拔分佈則為600~3000公尺, 不同季節出現於不同的海拔段, 夏天偏好2100~2300公尺, 高於冬天的1000~1500公尺, 主要原因則為溶雪後, 山區植物大量成長, 黑熊便移動較高的山區覓食, 進入秋冬季節山區開始積雪, 便下降到海拔較低的區域(Izumiyama *et al.*, 2004)。此外, 雌性美洲黑熊, 夏天較常使用中高海拔, 而秋天則移動到較低處(Clark *et al.*, 1993)。雌性美洲黑熊偏向出現於中海拔山區, 因為中海拔地區橡樹林的比例較高, 但對於低(<600公尺)和高海拔(>900公尺)區域, 則沒有預期的高(van Manen, 1997a)。

台灣本島在高海拔3500~4000公尺地區, 年均溫5°C下, 氣候近似北

極圈寒原，生育地多為裸露地或岩床，日照強且風大，冬季地表積雪為高山寒原，植被以矮性灌木或草本為主。3000~3500 公尺地區，年均溫 8~11°C，冬季乾燥寒冷，多屬乾燥山坡或岩礫密佈的地區，植被為亞高山針葉林，代表植物如台灣冷杉 (*Abies kawakamii*)、玉山箭竹 (*Yushania niitakayamensis*) 等 (台灣省農林廳林務局, 1995)。因此，高海拔區段所能夠提供台灣黑熊的植物性食物資源的豐富度及時間性，相對的較其他海拔梯度區域有限，而且可用擋風遮雨的庇護環境似乎也比較少。因此，雖然此區人為干擾通常較少，然黑熊出現的機率也跟著降低。這似乎也可以解釋位於丹大山往南延伸至向陽山，橫跨玉山國家公園的中央山脈稜脊區塊，模式預測台灣黑熊出現率極低的原因之一。

海拔 2500~3000 公尺地區，屬年均溫 15~18°C 的冷溫帶針葉林，組成林型以鐵杉、雲杉為主，並有台灣二葉松 (*Pinus taiwanensis*)、高山櫟 (*Quercus spinosa*)、高山芒 (*Miscanthus transmorrisonensis*) 等植物 (台灣省農林廳林務局, 1995)。就植被組成推測所能提供的台灣黑熊植物性食物資源應該有限的情況而論，此區可能不是黑熊特別偏好的棲地，除非其他動物性食物資源 (如水鹿和山羌等) 豐富度相對的高。台灣黑熊對於此區的利用程度在保護區內偏低，但於保護區外則偏高，或許與人為干擾程度於兩區差異可能有關。

台灣黑熊相對利用程度較高的中海拔梯度範圍，涵蓋溫涼帶針闊葉混合林以及暖溫帶闊葉林，其中前者在海拔梯度上屬 1800~2500 公尺分區，該區針葉林以紅檜 (*Chamaecyparis formosensis*)、台灣杉 (*Taiwania cryptomerioides*) 和扁柏 (*Chamaecyparis obtusa*) 等為代表，闊葉林則以殼鬥科與樟科植物為主，後者則屬年均溫 17~23°C 的 500~1800 公尺分區，代表植物為常綠闊葉樹，以樟科 (楨楠屬) 和殼鬥科為主 (台灣省農林廳林務局, 1995)。且本研究的受訪者實地發現台灣黑熊紀錄的頻度最高出現於針葉林 (39.79%)，而發現台灣黑熊點位萃取重新分類後的林相與國有林面積的林相百分比比例相比，結果亦顯示台灣黑熊偏好針葉林與針闊葉混合林，與台灣黑熊偏好的海拔範圍所涵蓋的森林型一致。

本研究結果與其他地區的亞洲黑熊和美洲黑熊的棲地之研究結果類似。中國岷山地區黑熊的最適合的棲息環境為闊葉林和針闊葉混合林(魯慶彬等, 2003), 而於唐家河自然保護區內的黑熊, 則主要利用熱帶常綠闊葉林(侯萬儒等, 2003)。日本的黑熊對棲地的選擇則有季節性差異, 春天較常出現於針葉樹林和闊葉樹林, 夏天則出現於較涼爽的高山山區, 冬天則於出沒於闊葉林(Izumiyama *et al.*, 2004)。馬裏蘭州的雌性美洲黑熊在落葉林所佔比例最高的地區, 卻優先使用混合林, 其次才使用落葉林區域(Fecske *et al.*, 2002)。

除了季節性食物資源會影響到熊類對棲息地的選擇之外, 種間競爭也是另一可能影響因素, 尤其是當食物資源變得相對地有限時。英屬哥倫比亞 Flathead River 的棕熊, 則有兩種不同的棲息地選擇策略。春季時, 當其中一群”海拔遷徙者”(elevational migratory) 棕熊移動到較低海拔並選擇濱溪地區時, 另一群”山區居民”(mountain resident) 則移動到較高海拔的崩雪和較陡的區塊, 可能為避免覓食衝突; 夏季則都同時選擇野火燒過的區域, 因為黑果(huckleberry) 出現於燒過的區域, 而秋天則以濱溪地區為第一優先考量, 其次為森林和開闊的森林(McLellan and Hovey, 2001)。台灣黑熊, 種內個體間的交互作用如何影響或調解此物種對於棲息地的選擇, 雖然尚不明確, 但在族群密度十分低的情況下, 此行為對於此物種大尺度的地理分佈起碼應該影響不大。

植生指標是一種反應地表植被類型種類、分佈與密度的指標(Gupta, 2003), 也可提供生物圈植被生長分佈與異常情形。許立達等(2005)指出林相的植生指標與林相鬱閉度成正向關係, 也就是說植生指標越高的區域其林相鬱閉度也越高。而本研究結果顯示台灣黑熊偏好出現植生指標 >0.4 的環境, 避開 <0.4 的區塊, 而預測台灣黑熊會出現有45.61%的植生指標集中於0.5~0.6, 似乎表示台灣黑熊偏好出現於植被生長情況佳、森林鬱閉度較高的區塊, 此環境之食物資源和遮蔽度提供台灣黑熊較適合的條件。

美洲黑熊(Stratman *et al.*, 2001; Fecske *et al.*, 2002; Koehler and Pierce,

2003) 和棕熊 (McLellan and Hovey, 2001; Nielsen *et al.*, 2004) 對於濱溪地區 (riparian zone) 的偏高的利用程度。Fecske *et al.* (2002) 同時發現美洲黑熊出現於溪流密度高的區域，但熊出現的位置與離溪流的距離卻沒有顯著差異，顯示溪流 (有水源的地方) 本身即是影響黑熊出現的原因。本研究有 17.70% 的受訪者表示在溪流和湖邊發現台灣黑熊的蹤跡，遠較預期值高。然此結果則與分析研究樣區所有有熊網格得 9.59% 距溪流 < 500 公尺，且比預期偏低的使用結果相反 (圖 8)。本研究推測此差異可能與資料屬性所致，因為利用 GIS 圖層所對應的數化資料受限於該溪流圖層的精準度，畢竟圖層只涵蓋三級以上的河流，而未將分佈於地形複雜的山區的溝渠或溪澗列入，而造成低估。

本研究發現台灣黑熊會避開人為活動頻繁地區 (城市、漁塭、農地、果園和造林地)，偏好沒有道路經過的區域而避開道路密度過高 (>3 公尺/公頃) 的區域，以及對離道路較遠 (>2 公里) 有較高的利用程度。美洲黑熊活動範圍區域的平均道路密度為 1.14 km/ km² (Fecske *et al.*, 2002)，遠離人為活動地方六公里遠外的區域 (van Manen and Pelton, 1997a)。道路降低美洲黑熊對於棲息地的使用，人為使用則進一步造成棲息地的流失與碎片化 (Cuesta *et al.*, 2003; Gaines *et al.*, 2005)。道路的開發也增加人為活動的可及性，Mace *et al.* (1996) 提及在 1988 到 1994 年間，八隻棕熊因人為活動而被殺害，道路可深入更遠的地方，人為活動帶來吸引熊類的非自然食物，棕熊因此被殺害。雖然靠近道路的棲息地可能也會提供熊隻重要的自然食物，比如出現於初級演替地區的漿果，吸引棕熊接近並利用這樣的棲息地，然而道路的可及性也增加非法狩獵的機會，導致狩獵壓力成為熊隻死亡率的主因 (McLellan and Shackleton, 1998)。

在台灣，道路系統的發展也無意間增加非法狩獵台灣黑熊以及買賣的活動 (Hwang, 2003; 黃美秀等, 2006a)。不同等級的道路網絡，代表不同的產業發展，而道路的增加也潛在增加了不同程度的人熊衝突。本研究所使用的道路圖層為一般道路以上的層級，並沒有包括可以通行摩托車或四輪自用車的林道或其他產業道路，因此對於道路可能對於黑熊

棲息地選擇以及非法狩獵可能產生的影響，恐有低估的情況。近年來人們注重休閒活動的趨勢逐漸增加，其中四輪驅動車或是休旅車，增加了親近大自然的機會，但是相對的與野生動物衝突的機會也可能隨之增加。此外，本研究發現台灣黑熊地點，似乎也與步道和林道系統有關係（圖 29），除了顯示發現台灣黑熊的紀錄受人為可活動地區影響之外，步道和林道系統對於台灣黑熊行為或族群的影響，則亦有待進一步評估。

三、研究應用與限制

本研究為國內第一個藉由有系統收集動物分佈資料，並利用 GIS 技術，結合數值統計分析模式預測大型哺乳動物全島性分佈的研究。然而，本研究也發現許多操作及資料使用上的限制，也希望於進一步的討論中提供未來利用此技術於研究瀕危物種的參考。

首先，本研究發現台灣黑熊 589 筆紀錄中，僅 54.6% 受訪者確切的指出實地的林相，此屬尺度較小的微棲地。然利用植被圖層（資料來源：1995 年「第三次台灣森林資源及土地利用調查」）萃取此點位資料後，再重新分類植被環境之屬性，由於國有林林相為尺度較大巨棲地，實地林相與萃取林相（圖 5）遂產生差異。造成此偏差的來源可能包括：(1) 發現台灣黑熊調查紀錄解析度不夠，因為 589 點位元中，部分是以 1 公里網格中心為代表，最大誤差達 500 公尺左右。(2) 「第三次台灣森林資源及土地利用調查」可能以航照圖或是衛星影像圖來判斷該區塊的林型，但森林頂層為針葉林，而下方可能為闊葉林的針闊葉混合林，導致跟受訪者實際觀察到的資料不盡相同。比如玉山國家公園大分地區是黑熊秋冬活動頻繁之地，該區植被主要由台灣二葉松及青剛櫟組成，但植群圖則歸類為「松類天針」林（黃美秀等，2006a）。此外，許多人造林由於林木經營管理方式變更，缺乏人為介入管理的林地遂演替為針闊葉混生林，造成林相分類上的混淆或不明。由此可知欲瞭解台灣野生動物棲息地利用模式，完整及夠精準植被類型圖是不可或缺且必要的關鍵工具。

第二，用來進行預測模式的台灣黑熊資料，主要不是源自訪查或野外研究調查，皆受限於人可以到達的地方。本研究利用台灣黑熊調查點位，數化林道及步道與合併林務局系統林道，萃取點位離林道和步道的距離（圖 29），雖然林道及步道的數化資料或路況不甚齊全，但還是可以看出調查點位距離平均僅為 1026 ± 1556 公尺。發現黑熊紀通常受限人可以到達的地方，所以建立台灣黑熊預測分佈模式時，如果將林道與步道也納入分析，預期結果都會在林道步道附近，可能產生更大的誤差。

第三，建立預測分佈模式的所納入環境因素不僅影響台灣黑熊出現的機率，也會影響該物種於該樣區的地理分佈位置，因此關鍵因素的選擇對於模式預測力具有重要的影響。然而，本研究卻有幾項因素是研究者認為可能會影響台灣黑熊分佈，但卻是目前尚無法量化或變因尺度不完整的環境變因，包括狩獵壓力、熊食物豐富度（包括植物及動物性）、人類活動類型及位置、不同類型的道路系統。Hwang（2003）訪談玉山國家公園周圍的原住民部落（信義鄉、卓溪鄉、桃源鄉和海端鄉），共有 74 位獵捕過台灣黑熊，而在捕抓繫放的捕抓繫放 15 隻黑熊有中斷掌的個體，顯示狩獵確實仍為台灣黑熊存續的威脅。研究者曾經想利用行政院頒定「原住民地區」具體範圍為量化的來源，但是不同原住民有著不同的禁忌，而實際上原住民部落的行政邊界也無法確切的代表受獵壓力的來源，因為真正有狩獵行為的也僅佔部落中的一小區塊，更何況現道路系統這麼發達，故目前無法有確切的指標可以用來代表狩獵壓力。本研究亦預期，若將狩獵活動因素加入預測模式中，不僅影響台灣黑熊的存活率，也會影響環境中潛在獵物（prey base）的生物量，尤其是被列為是狩獵主要目標的草食獸動物，台灣黑熊的預測分佈圖將比目前所得更不樂觀。

環境中的食物資源的多寡及其豐富度，不僅影響其活動及食性，也影響黑熊對棲息地的選擇（Hashimoto *et al.*, 2003; Iszumiyama and Shiraishi, 2004）。許多亞洲或美洲地區的黑熊，於秋冬季節大多以堅果為主要食物來源，而熊科動物又屬食肉目的雜食性動物，也吃動物性的食物，如偶蹄類動物、蜂蜜、腐屍等（Hwang *et al.*, 2002）。只可惜，本研究尚未建

立及量化此食物指標資料庫，尤其是偶蹄類動物及殼鬥科植物的分佈。例如，Massolo and Meriggi (1998) 便曾使用野生偶蹄類豐富度指標，確認狼群的最適棲息地。故建議進一步建立偶蹄目動物的調查資料，發展此類群動物的預測分佈模式，作為台灣黑熊食物-偶蹄目豐富度指標。

Marquinez *et al.* (1997) 利用已知棕熊會食用的植物，建立棕熊對食物的選擇指標，其食物包含蘋果 (*Malus* sp.)、山桑子 (*Vaccinium myrtillus*)、栗子 (*Castanea sativa*) 等，發現草本植物、非橡樹、矮灌木和栗樹所組成的森林，在棕熊的食性上為重要的組成因素。於此則需要大規模且更精確的研究，來建立此食物指標。至少，詳盡的全島植群圖，將可協助建立黑熊重要的植物性食物來源的分佈圖，比如殼鬥科和樟科植物。將這些因素量化後，再次預測台灣黑熊分佈模式，想必可以提升預測模式的準確性，更精準的找出黑熊的潛在棲息地。

第四，現今預測模式限於資料的可得性僅止於靜態資料，故所建立的分佈預測模式無法反應出其他可能影響大型哺乳動物分佈的動態過程，比如種間交互作用、隔離機制等。此資料庫則需要更充分的個體及族群生態學的研究，這對數量稀少且隱密的物種，如黑熊，將更形困難。

最後，本研究中嘗試進行的邏輯迴歸分析，但效果不彰。其中台灣黑熊未出現的紀錄是利用歷年文獻得知，發現有以下兩項缺點，(1) 大部分進行野外調查的時間不夠，通常為一年，或數個月，或甚至只是一次穿越線的結果，調查結果無法適當的反應該地區物種的實際分佈情形，(2) 資料彙整時，研究者發現有熊記錄和文獻報告指出沒有熊的地區有重複，不同資料來源的調查樣區接近，遂無法將有熊或無熊的環境特色顯示出來。另在基因演算法方面，本研究積極建議將狩獵壓力和食物指標納入環境變因內，以建立更符合台灣黑熊實際分佈的預測模式。

陸、結論

本研究顯示近年來台灣黑熊的棲息地主要侷限於中央山脈地區，並且有範圍隘縮的趨勢。臺灣黑熊棲息地的選擇除了受到自然因素影響之外，人為干擾亦扮演著重要的角色，此情況於低海拔地區或國家公園以外範圍尤為明顯。這些潛在的棲息地除了提供該物種重要的植物性和動物性食物來源之外，也提供適當的庇護和生存生境。在較此區低海拔地區，雖然地勢平緩，但由於人為干擾程度通常較為頻繁，導致棲息地品質較低及碎片化，而降低台灣黑熊對於此區之使用頻度；而在高海拔地段，食物資源的可及性較低且物候環境較嚴苛，則可能降低台灣黑熊對於在此區之利用。

台灣黑熊分佈預測模式顯示，現有潛在棲息地為台灣本島 25.5%，並有 56.4%於保護區系統內。此結果初步顯示有效地發揮保護區系統的保育功能，以及加強非保護區棲息地的經營管理，對於保育此小族群物種的必要性。雖然本台灣黑熊分佈預測結果仍受到模式目前可以使用的環境因素限制，然初步的預測分佈則提供了未來研究及預測的參考方向，建議將狩獵壓力、植群、及台灣黑熊食物豐富度等指標納入預測模式內，以期更準確的預測分佈。

參考文獻

- 上河文化股份有限公司編著 (2002) 台灣地理人文全覽圖。上河文化股份有限公司。
- 王冠邦 (1990) 台灣黑熊之生態學研究-分佈、棲地及動物園行為。國立台灣師範大學生物研究碩士論文。37 頁。
- 王穎 (1988) 台灣地區山產店對野生動物資源利用的調查 (II)。行政院農委會。77 頁。
- 王穎 (2002) 丹大地區野生動物重要棲息環境分區規劃及動物監測 (第一年)。台灣省林廳林務局。62 頁。
- 王穎 (2003) 丹大地區野生動物重要棲息環境分區規劃及動物監測 (第二年)。台灣省林廳林務局。56 頁。
- 王穎 (2004) 丹大野生動物重要棲息環境野生動物調查研究計畫 (1/2)。台灣省林廳林務局。47 頁。
- 王穎、陳怡君 (1998) 丹大地區野生動物族群之初步調查研究 (第二年)。台灣省林廳林務局。58 頁。
- 王穎、林文昌、崔翠文 (1989) 台灣地區山地鄉對野生動物資源利用的調查 (I)。行政院農委會。49 頁。
- 王穎、陳輝勝、黃美秀、高美芳 (1992) 台灣黑熊之生態調查及其經營管理策略 (III)。57 頁。

- 王穎、賴慶昌、陳怡君 (1997) 丹大地區野生動物族群之初步調查研究 (第一年)。台灣省林廳林務局。36 頁。
- 台灣省農林廳林務局 (1995) 第三次台灣森林資源調查與土地利用調查。台灣省政府農林廳林務局。258 頁。
- 何錦尚 (2006) 以地理資訊系統探討台東縣赫氏角鷹之空間分佈。國立平科技大學森林系碩士論文。84 頁。
- 吳煜慧 (2004) 玉山國家公園台灣黑熊之生態學研究。國立東華大學自然資源所碩士論文。70 頁。
- 李培芬、白梅玲、林瑞興 (2006) 利用遙測與 GIS 探討瀕危物種八色鳥之喜好與分佈。農委會 94 年度遙測應用計畫成果發表會專刊, 1-10 頁。
- 李培芬、廖倩瑜、李玉琪、潘彥宏、傅維馨、陳宣汶 (1997) 台灣地區生態與環境因素地理資訊資料庫。行政院農委會, 94 頁。
- 祁偉廉 (1998) 台灣哺乳動物：野外探險實用大圖鑑。大樹文化。255 頁。
- 侯萬儒、任正隆、胡錦轟 (2003) 唐家河自然保護區黑熊種群生存力初步分析。廣西科學 10:301~304。
- 堀川安市 (1932) 台灣哺乳動物圖說。台灣博物學會。第 73-74 頁。
- 徐國士 (1984) 太魯閣國家公園植物生態調查報告。內政部營建署。臺北。
- 許立達、成晨光 (2005) 應用遙技術輔助全民造林成果評估。華岡農科學報 15:31-42。

- 黃美秀、王穎、李培芬、姚中翎 (2006a) 台灣黑熊的分佈繪製及保育現況之探討。行政院農業委員會。77 頁。
- 黃美秀、祁偉廉、吳尹仁 (2006b) 玉山國家公園台灣黑熊族群之生態學研究及保育計畫擬定。內部政營建署玉山國家公園管理處。53 頁。
- 孫志鴻、張長義、張春蘭 (1998) 台灣地區主題圖繪製及查詢資訊系統建立之研究。國立台灣大學。臺北。156 頁。
- 魯慶彬、胡錦轟 (2003) 岷山黑熊生鏡選擇初步分析。獸類學報 23:98-103。
- Allredge, J. R., and J. T. Ratti (1986) Comparison of some statistical techniques for analysis of resource selection. *Journal of Wildlife Management* 50:157-165.
- Apps, C. D., B. N. McLellan, J. G. woods, and M. F. Proctor (2004) Estimating grizzly bear distribution and abundance relative to habitat and human influence. *Journal of Wildlife Management* 68:138-152.
- Buckland, S.T. and D.A. Elston (1993) Empirical model for the spatial distribution of wildlife. *Journal of Applied Ecology* 30:478-495.
- Caro, T. M., and G. ÓDoherty (1999) On the use of surrogate species in conservation biology. *Conservation Biology* 13: 805-814.
- Christopher L. H., D. J. Harrisom, W. B. Krohn, R. A. Joseph, and M. O'brien (2005) Broad-scale predictors of Canada lynx occurrence in eastern north America. *Journal of Wildlife Management* 69:739-751.

- Coppolillo, P. H. Gomez, F. Maisel, and R. Wallace (2004) Selection criteria for suite of landscape species as a basis for site-based conservation. *Biological Conservation* 115:419-430.
- Clark, J. D., J. E. Dunn, and K. G. Smith (1993) A multivariate model of female black bear habitat use for a geographic information system. *Journal of Wildlife Management* 57:519-526.
- Clark, J. D., S. G. Hayes, and J. M. Pledger (1998) A female black bear denning habitat model using a geographic information system. *Ursus* 10:181-185.
- Cuesta, F., M. F. Peralvo, and F. T. van Manen (2003) Andean bear habitat use in the Oyacachi River Basin, Ecuador. *Ursus* 14:198-209.
- Fecske, D. M., R. E. Barry, F. L. Precht, H. B. Quigley, S. L. Bittner, and T. Webster (2002) Habitat use by female Black bears in Western Maryland. *Southeastern Naturalist* 1:77-02.
- Feria T. P., and A. T. Peterson (2002) Prediction of bird community composition based on point-occurrence data and inferential algorithms: a valuable tool in biodiversity assessments. *Diversity and Distributions* 8:49-56.
- Gaines, W. L., A. L. Lyons, J. F. Lehmkuhl, and K. J. Raedeke (2005) Landscape evaluation of female black bear habitat effectiveness and capability in the north Cascades, Washington. *Biological Conservation* 125:411-425.
- Gibeau, M. L. (1998) Grizzly bear habitat effectiveness model for Abnff, Yoho and Kootenay national parks, Canada. *Ursus* 10:235-241.

- Glenz C., A. Massolo, D. Kuonen, and R. Schlaepfer (2001) A wolf habitat suitability prediction study in Valais (Switzerland). *Landscape and Urban Planning* 55:55-65.
- Guisan, A, and N. E. Zimmermann (2000) Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135:147-186.
- Gupta, R. P. (2003) *Remote Sensing Geology*. Second Edition. 627pp.
- Hidalgo-Mihart M. G., L. Cantu-Salazar, A. Gonzalez-Romero, and C. A. Lopez-Gonzalez. (2004) Historical and present distribution of coyote (*Canis latrans*) in Mexico and Central America. *Journal of Biogeography* 31:2025-2038.
- Hwang, M. H. (2003) Ecology of Asiatic black bears and people bear interactions in Yushan National Park, Taiwan. Dissertation. The University of Minnesota, Minneapolis, USA.
- Hwang, M. H., D. L. Garshelis, and Wang Y. (2002) Diets of Asiatic Black Bear in Taiwan, with methodological and geographical comparison. *Ursus* 13:111-125.
- Izumiyama S. and T. Shiraishi (2004) Seasonal changes in elevation and habitat use of the Asiatic black bear (*Ursus thibetanus*) in the Northern Japan Alps. *Mammal Study* 29:1-8.
- Kano, T. (1940). Zoogeographic studies of Tsugitaka mountains of Formosa: Shibusawa Institute of Ethnographic Resource, cited by Wang, Y. Zoological (1999) Status and management of the Formosan black in Taiwan. *Bears*, p213, IUCN.

- Kobler, A., and M. Admic (2000) Identifying brown bear habitat by a combined GIS and machine learning method. *Ecological Modeling* 135:291-300.
- Koehler, G. M., and D. J. Poerce (2003) Black bear home-range sizes in Washington: climatic, vegetative, and social influences. *Journal of Mammalogy* 84:81-91.
- Jensen J. R. (2005) *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective*. Third Edition. Prentice Hall. 526pp.
- Landis, J. R., and G. G. Koch (1977) An application of hierarchical Kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among Multiple observers. *Biometrics* 33:363-374.
- Mace R. D., J. S. Waller, T. L. Manley, K. Ake, and W. T. Wittinger (1999) Landscape evaluation of grizzly bear habitat in Western Montana. *Conservation Biology* 13:367-377.
- Mace R. D., J. S. Waller, T. L. Manley, L. J. Lyon, and H. Zuuring (1996) Relationships among grizzly bears, roads and habitat in the Swan Mountain, Montana. *Journal of Applied Ecology* 33:1395-1404.
- Manel, S., H.C. Williams, and S.J. Ormerod (2001) Evaluating presence-absence model in ecology: the need to account for prevalence. *Journal of Applied Ecology* 38:921-931.
- Marquínez, J., P. García, J. Naves, and A. Ruano (1997) Geographic information system for the analysis of Cantabrian brown bear habitat quality. *International Conference Bear Research and Management* 9:57-66.

- Massolo, A., and A. Meriggi (1998) Factors affecting habitat occupancy by wolves in northern Apennines (northern Italy): a model of habitat suitability. *Ecography* 21:97-107.
- Mattson, D. J., and T. Merrill (2004) A model-based appraisal of habitat conditions for grizzly bears in the Cabine-Yaak region of Montana and Idaho. *Ursus* 15:76-89.
- McLellan, B. N. (1989) Dynamics of grizzly bear population during a period of industrial resource extraction extraction. II. Mortality rates and causes death. *Canadian Journal of Zoology* 67:1861-1864.
- McLellan, B. N., and F. W. Hovey (2001) Habitat selected by Grizzly Bears in a multiple use landscape. *Journal of Wildlife Management* 65:92-99.
- McLellan, B. N., and D. M. Shackleton (1988) Grizzly bears and resource-extraction industries: effects of roads on behaviour, habitat use and demography. *Journal of Applied Ecology* 25:451-460.
- Morrison, L. M., B. G. Marcot, and R. W. Mannan (1998) *Wildlife-Habitat Relationships: Concepts and Application*. The University of Wisconsin Press, Madison. 416pp.
- Naves, J., T. Wegand, E. Revilla, and M. Delibes (2003) Endangered species conservation by natural and human factors: the case of brown bears in Northern Spain. *Conservation Biology* 17:1276-1289.
- Nielsen S. E., Bocyte, M. S, G. B. Stenhouse, and R. H. M. Munro (2002) Modeling grizzly bear habitats in the yellowhead ecosystem of Alberta: taking autocorrelation seriously. *Ursus* 13:45-56.

- Nielsen, S. E., S. Herrero, M. S. Boyce, R. D. Mace, B. Benn, M. L. Gibeau, and S. Jevons (2004) Modelling the spatial distribution of human-caused grizzly bear mortalities in the Central Rockies ecosystem of Canada. *Biological Conservation* 120:101-113.
- Noon, B.R. (1986) Summary: biometric approaches to modeling the researcher's viewpoint. Page 197-201. *Wildlife 2000: Modeling habitat relationship of terrestrial vertebrates*. Vener *et al.*, editors, University of Wisconsin Press, Madison, Wisconsin.
- Nowak, R. M. (1991) *Walker's Mammals of the World*. Fifth Edition. The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London, United Kingdom. 1629pp.
- Oi, T., and K. Yamazaki (2006) The status of brown bears in Japan. Page 111-121 in *Japan Bear Network, Compiler. Understanding Asian bears to secure their future*. Japan Bear Network Ibaraki, Japan.
- Palma, L., P. Beja, and M. Rodrigues (1999) The use of sighting data to analyse Iberian lynx habitat and distribution. *Journal of Applied Ecology* 36:812-824.
- Pereira, J. M. C., and R. M. Iatmi (1991) GIS-based habitat modeling using logistic multiple regression: a study of Mt. Graham red squirrel. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 57:1475-1486.
- Peterson, A. T. 2001. Predicting species' geographic distributions based on ecological niche modeling. *The Condor* 103:599-605.
- Peyton, B., C. Servheen, and Herrero (1999) An overview of bear conservation planning and implementation. Pages 8-24 in C. Servheen, C.

Herrero, and B. Peyton, editors. Bear: status survey and conservation action plan. IUCN, Gland, Switzerland.

- Preatoni, D. P., A. Mustoni, A. Martinoli, E. Carlini, B. Chiarenzi, S. Chiozzoini, S. van Dongen, L. A. Wauters, and G. Tosi (2005) Conservation of brown bear in the Alps: space use and settlement behavior of reintroduced bears. *Acta Oecologica* 28:189-197.
- Reid, D., M-D. Jiang, Q-T. Teng, Z-S. Qin, and J-C. Hu. (1991) Ecology of the Asiatic black bear (*Ursus thibetanus*) in Sichuan, China. *Mammalia* 55:221-237.
- Sathyakumar, S. and S. Viswanath (2003) Observation on food habitat of Asiatic black bear in Kedarnath Wildlife Sanctuary, India: preliminary evidence on their role in seed germination and dispersal. *Ursus* 14:99-103.
- Singleton P. H., W. L. Gaines, and J. F. Lehmkuhl (2004) Landscape permeability for grizzly bear movements in Washington and south western British Columbia. *Ursus* 15:90-103.
- Stockwell D. R. B., and I. R. Noble (1998) The GARP modeling system: problem and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographic Information Science* 13:143-158.
- Stockwell D. R.B., and I. R. Noble (1992) Induction of sets of rules from animal distribution: a robust and informative method of data analysis. *Mathematics in Computer and Simulation* 33:385-390.
- Stratman, M. S., C. D. Alden, M. R. Pelton, and M. R. Sunquist (2001) Habitat use by American Black Bear in the Sandhills of Florida. *Ursus*

12:109-114.

Terborgh, J., and J. Faaborg (1971) Distribution of environmental gradients: theory and a preliminary interpretation of distributional pattern in the avifauna of the Coedillera Vilcabamba, Peru. *Ecology* 52:23-40.

Unsworth, J. W., J. J. Beecham, and L. R. Irby (1989) Female black bear habitat use in west central Idaho. *Journal of Wildlife Management* 53:322-330.

van Manen, F. T., and M. R. Pelton (1997a) Procedures to enhance the success of a black bear reintroduction program. *International Conference Bear Research Management* 9:67-77.

van Manen, F. T., and M. R. Pelton (1997b) A GIS model to predict black bear habitat use. *Journal of Forestry* 95:6-12.

Wang Y. (1990) The current status of Formosan black bear in Taiwan. *International Conference Bear Research and Management* 8:1-4.

Wang, Y. (1999) Status and management of the Asiatic Black Bear in Tawian. Page 213-215 in C. Servheen, C. Herrero, and B. Peyton, editors. *Bear: status survey and conservation action plan*. IUCN, Gland, Switzerland.

Wilcove, D. S. (1987) From fragmentation to extinction. *Natural Areas* 7:23-29.



圖 1、台灣本島現有之保護區系統及研究樣區示意圖

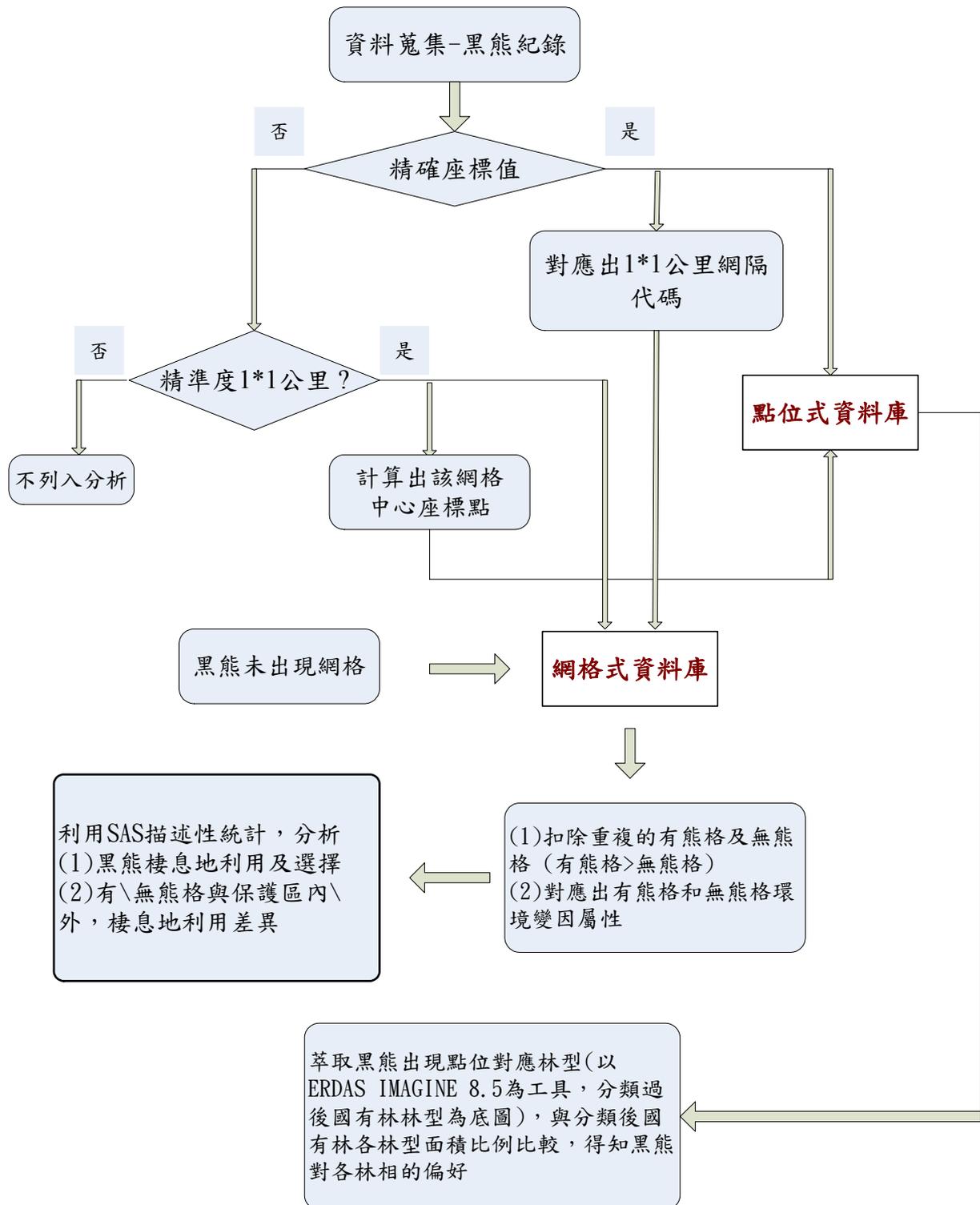


圖 2、台灣黑熊紀錄收集後，不同形式資料的轉換及分析流程圖

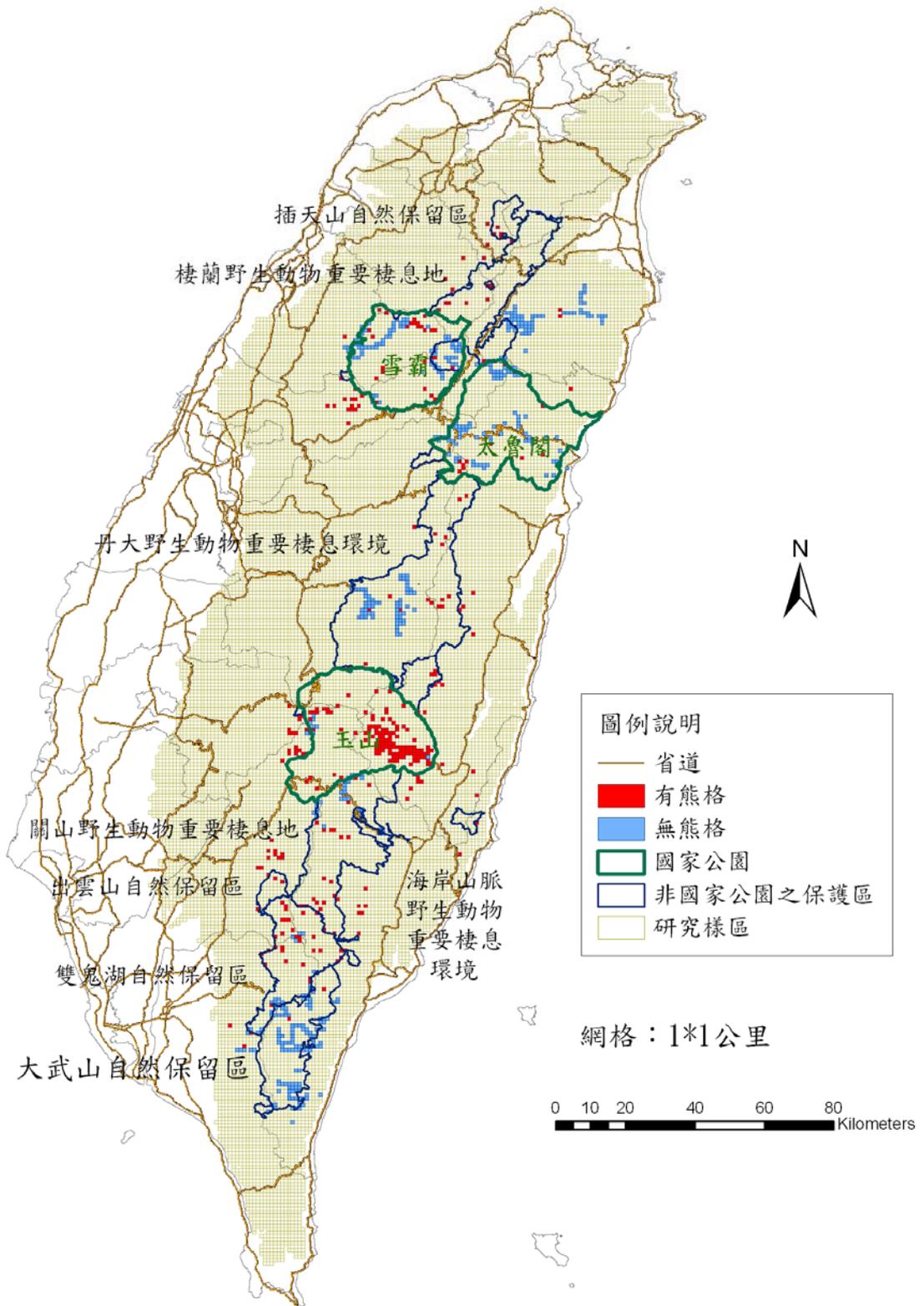


圖 3、自 1991 以來，發現台灣黑熊紀錄以及過去調查未發現黑熊的紀錄，與保護區系統地理分佈圖

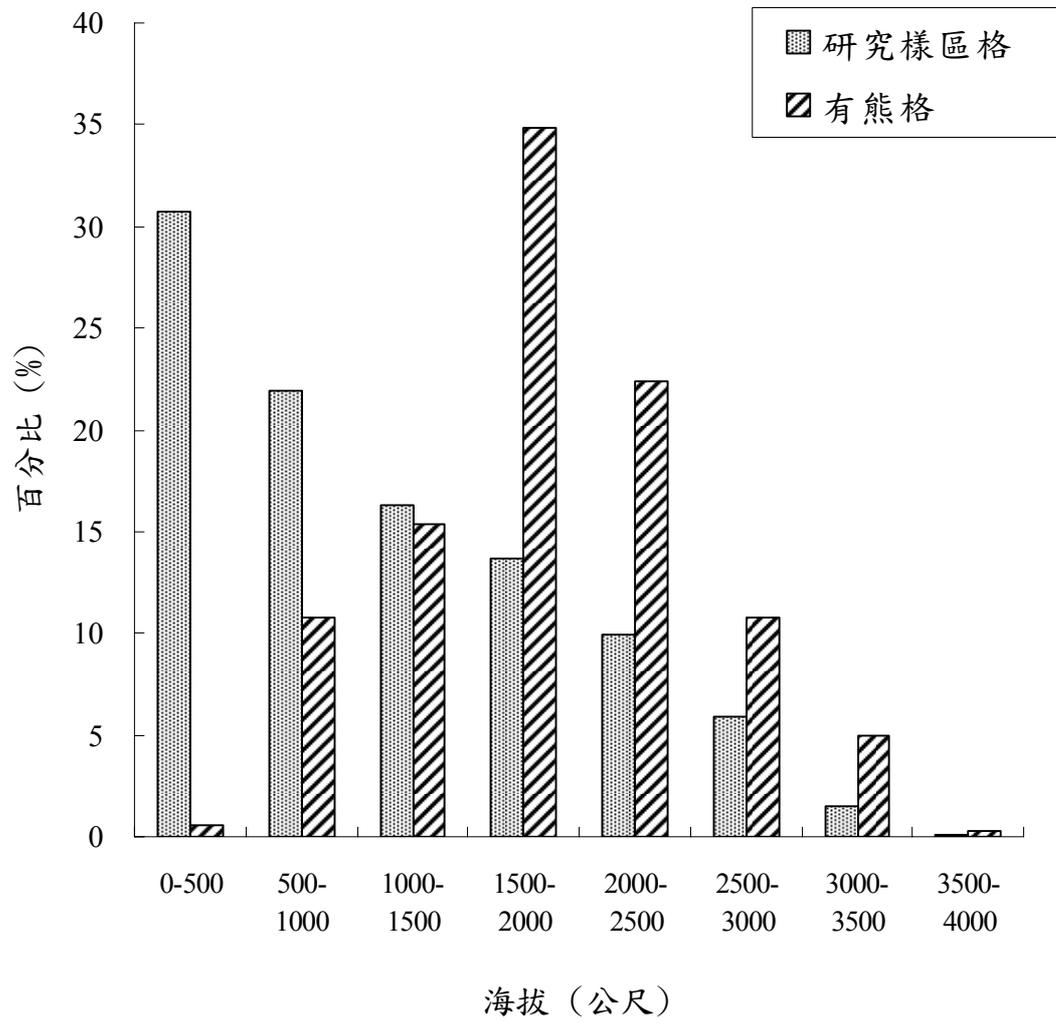


圖 4、有熊格與研究樣區內之海拔分佈百分比

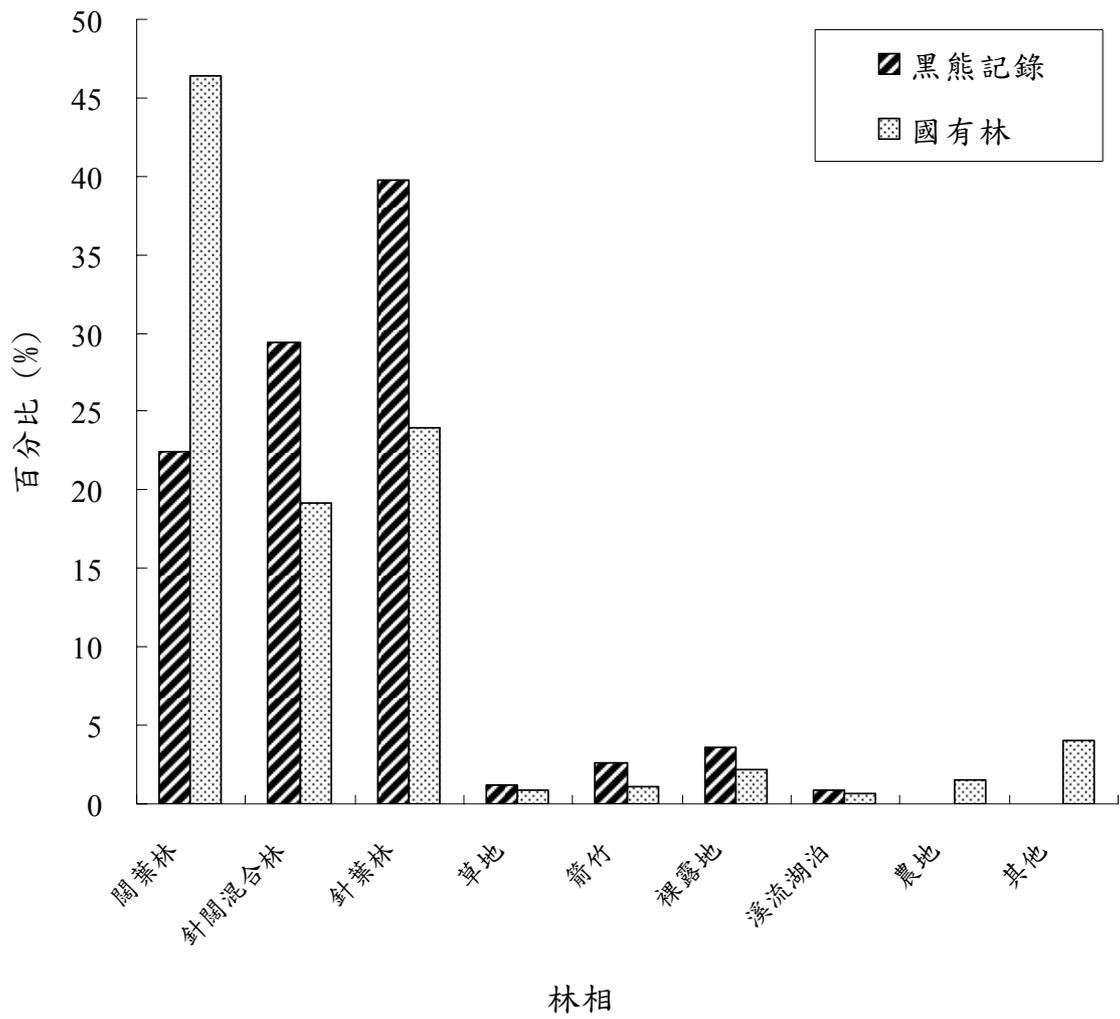


圖 5、國有林區及發現台灣黑熊紀錄所對應之林相類型百分比

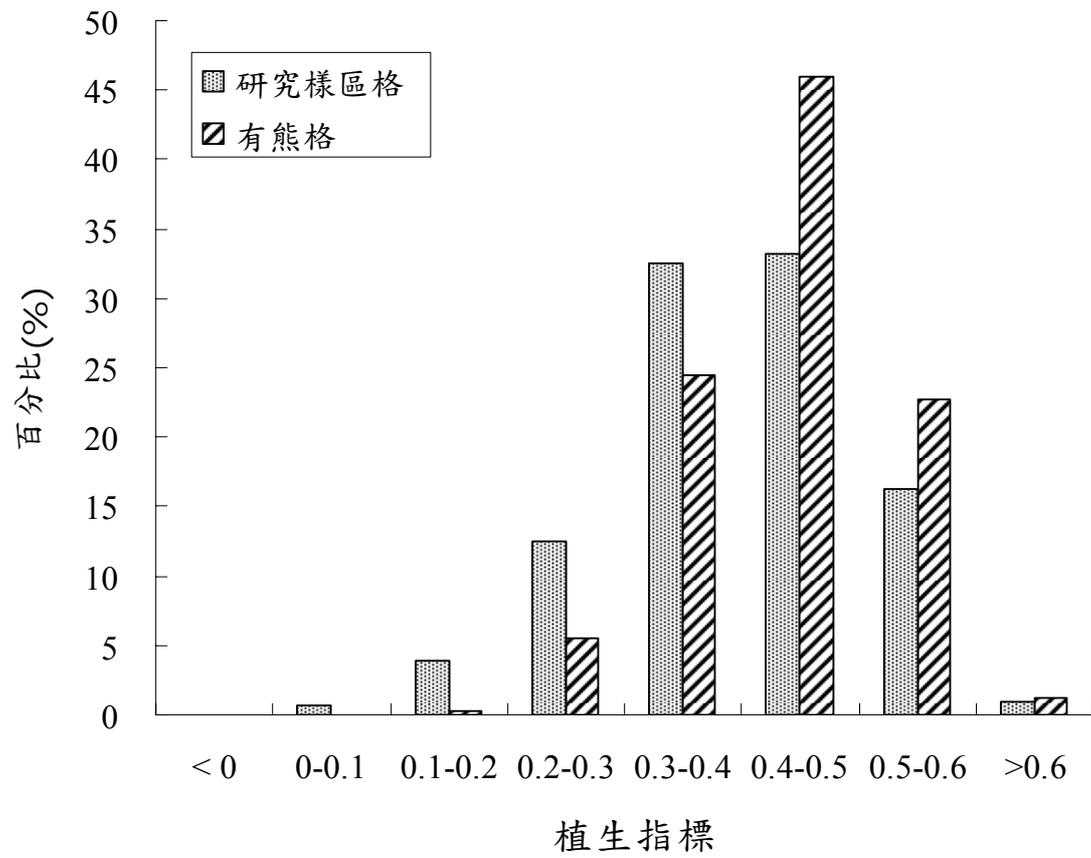


圖 6、有熊格與研究樣區內之植生指標分佈百分比例

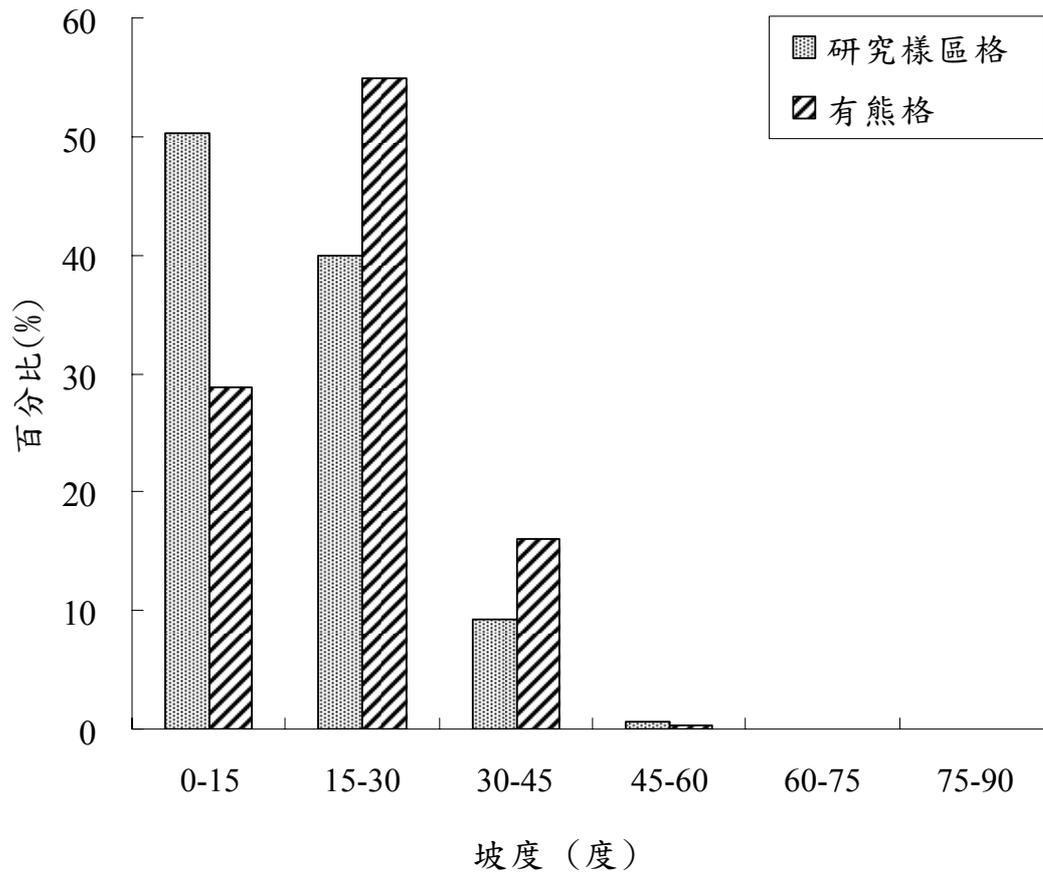


圖 7、有熊格與研究樣區內之坡度分佈百分比例

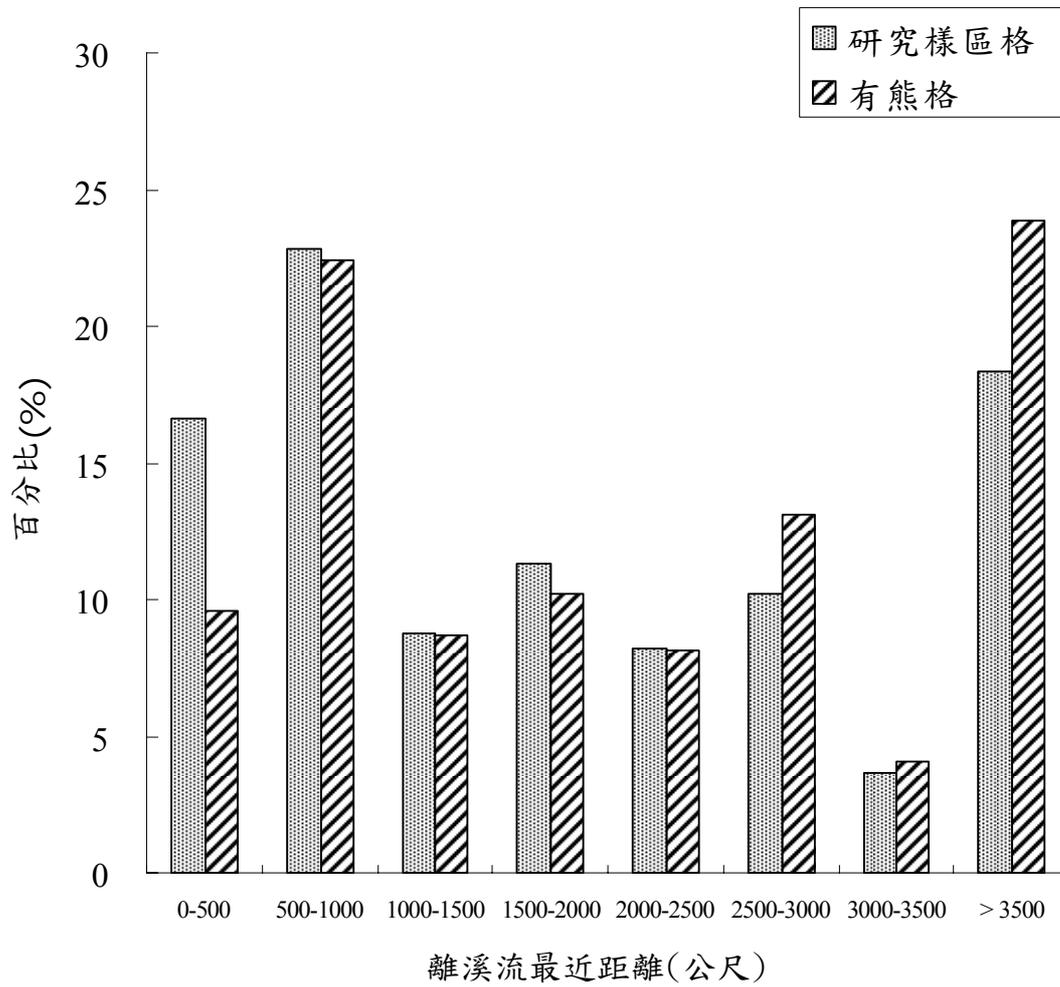


圖 8、有熊格與研究樣區內之離溪流最近距離分佈百分比例

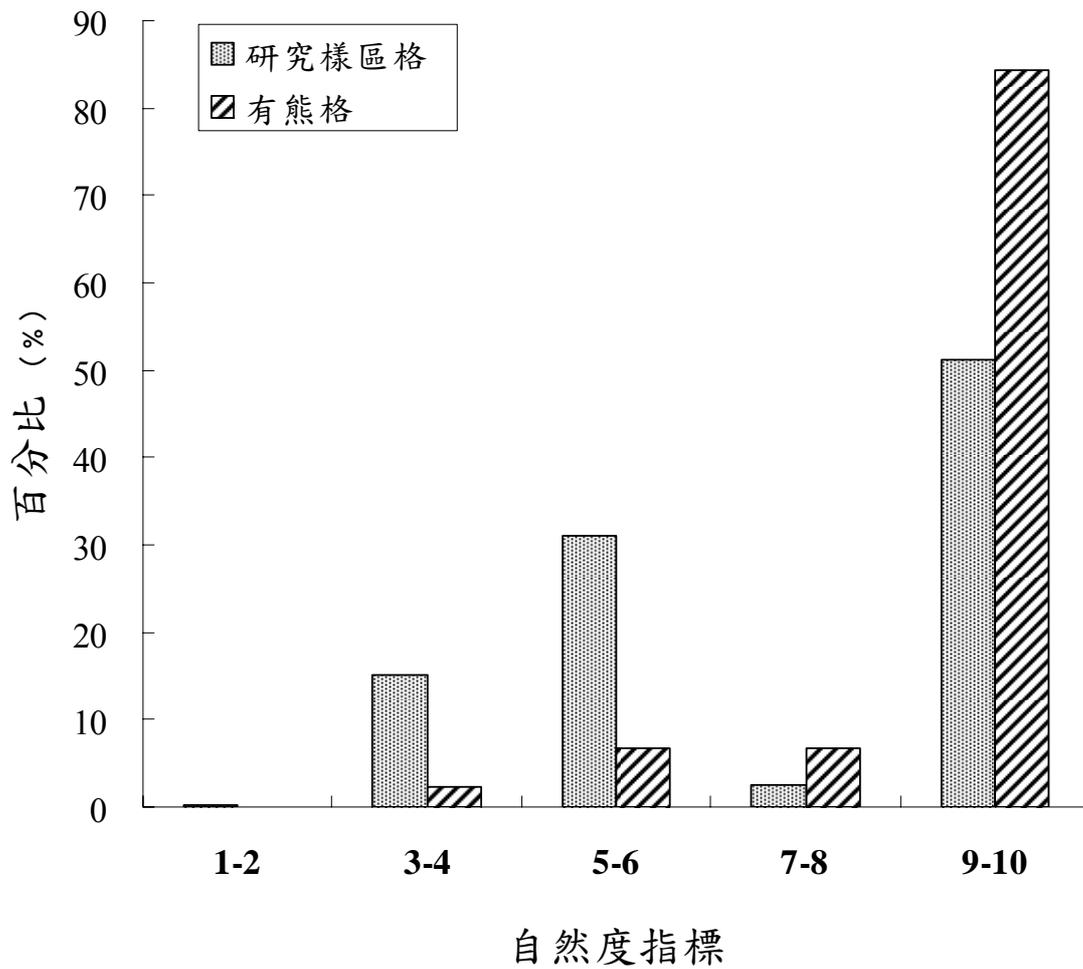


圖 9、有熊格與研究樣區內之自然度指標分佈百分比比例(1~2:城市、漁塭，3~4:農地、果園，5~6:造林地，7~8：山毛櫸，以及二葉松和玉山箭竹之次生林，9~10：針葉及闊葉之原始林)

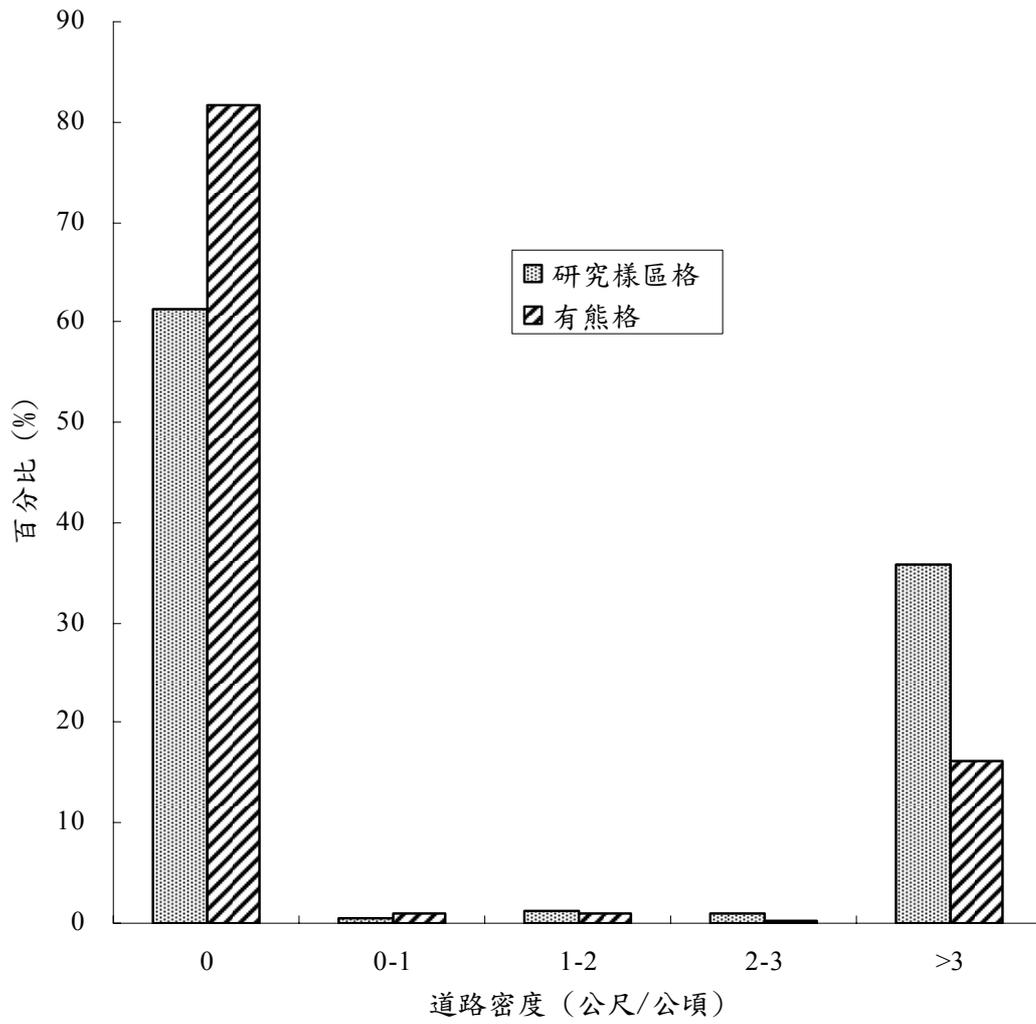


圖 10、有熊格與研究樣區內之道路密度分佈百分比例

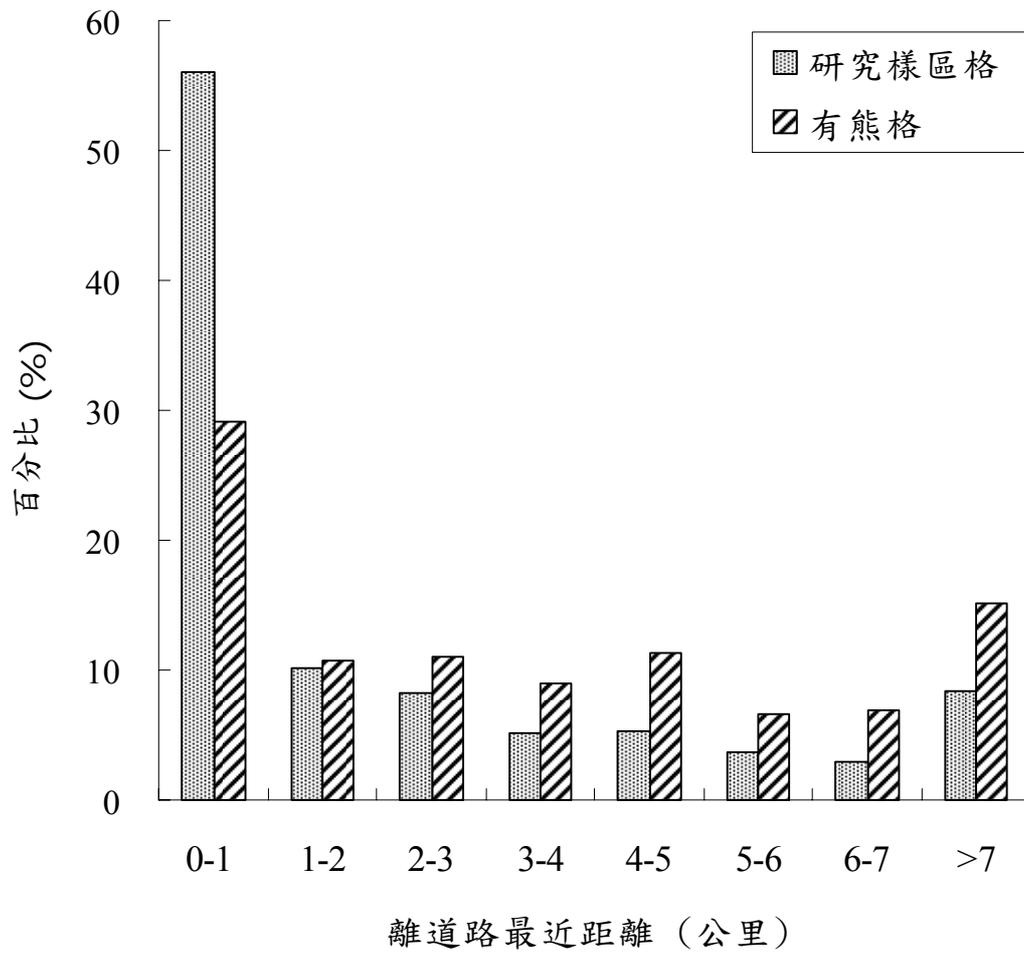


圖 11、有熊格與研究樣區內之離道路最近距離分佈百分比

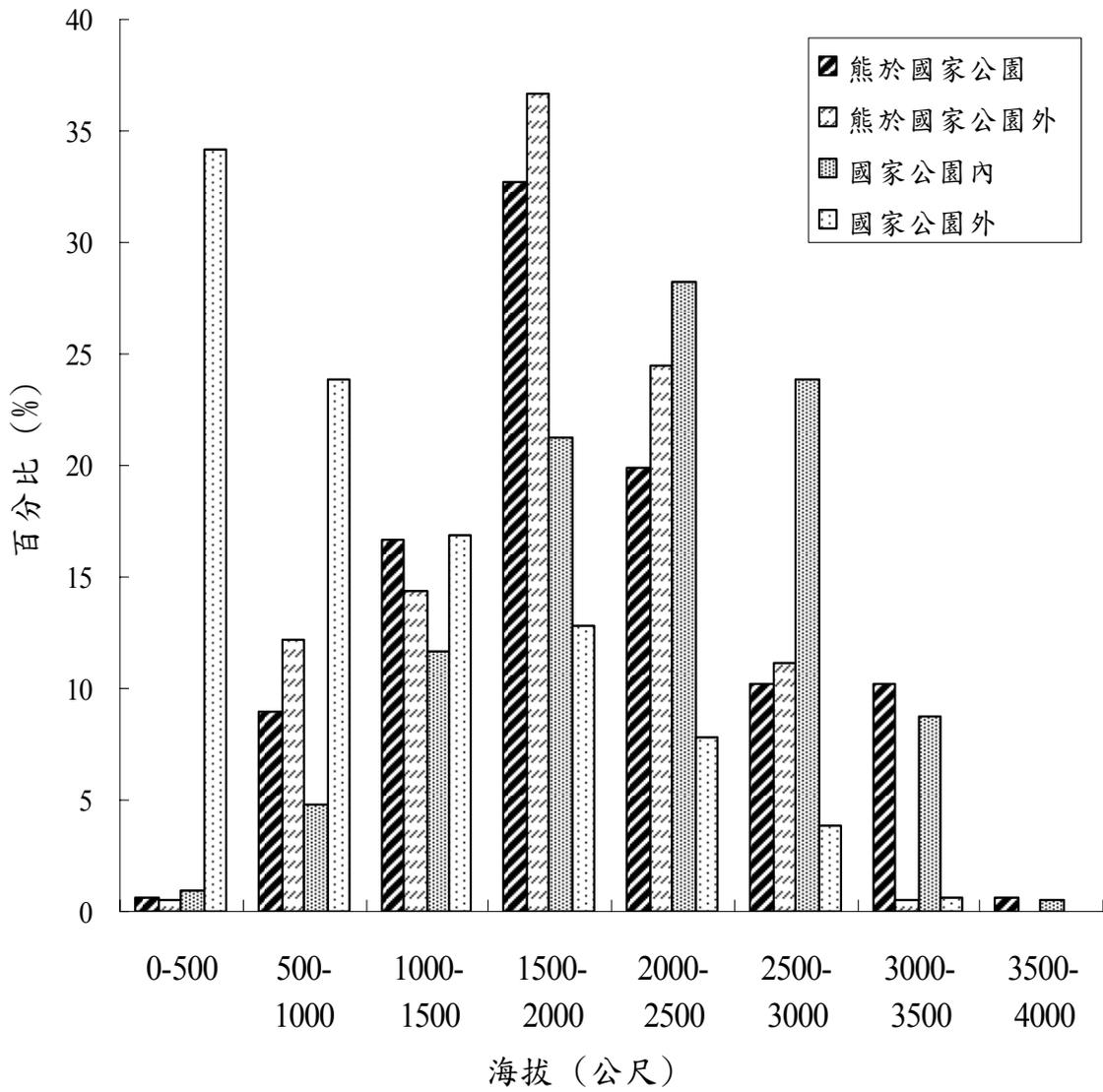


圖 12、國家公園內、外樣區，以及有熊格於其間之海拔分佈百分比例

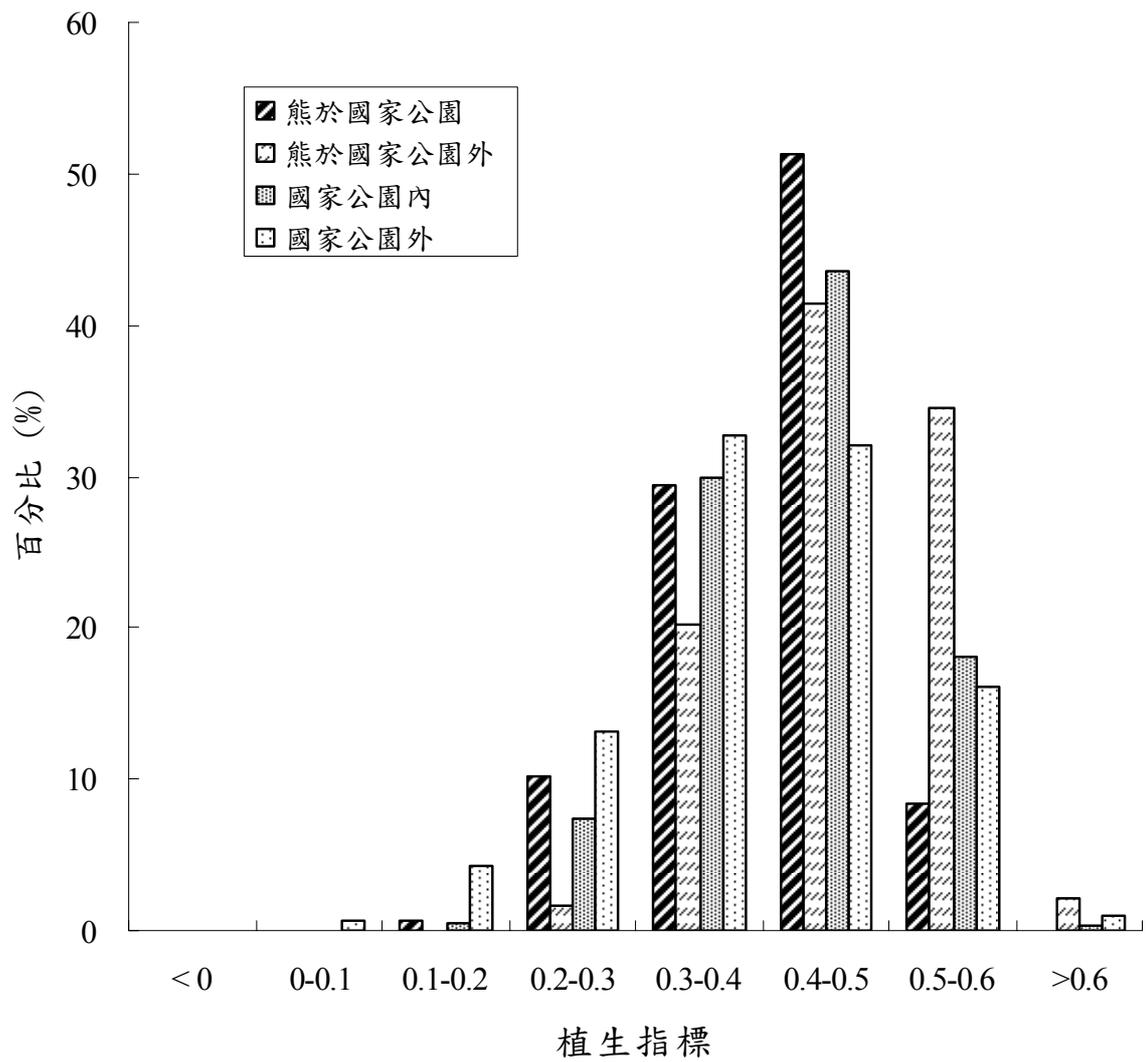


圖 13、國家公園內、外樣區，以及有熊格於其間之植生指標分佈百分比例

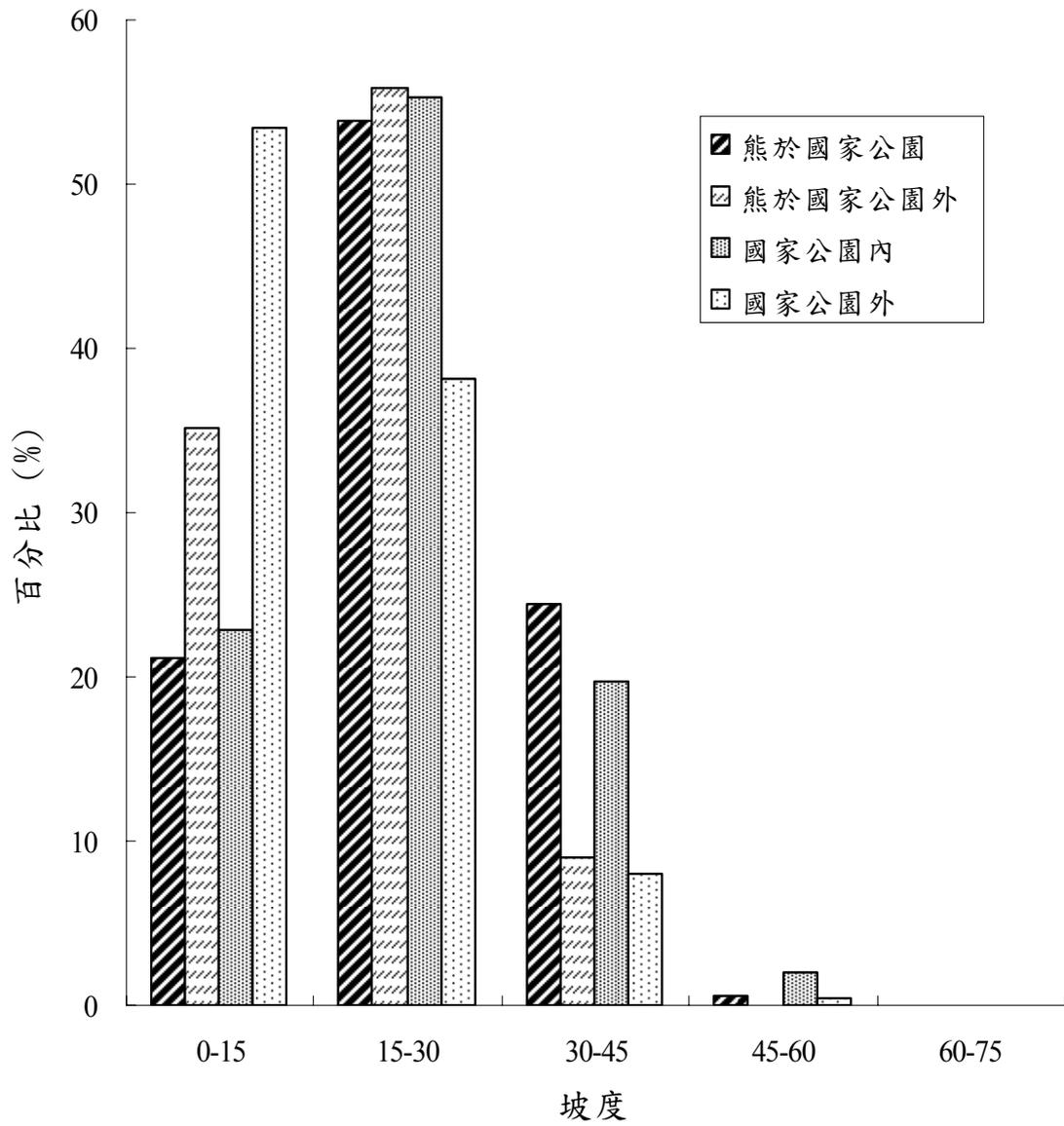
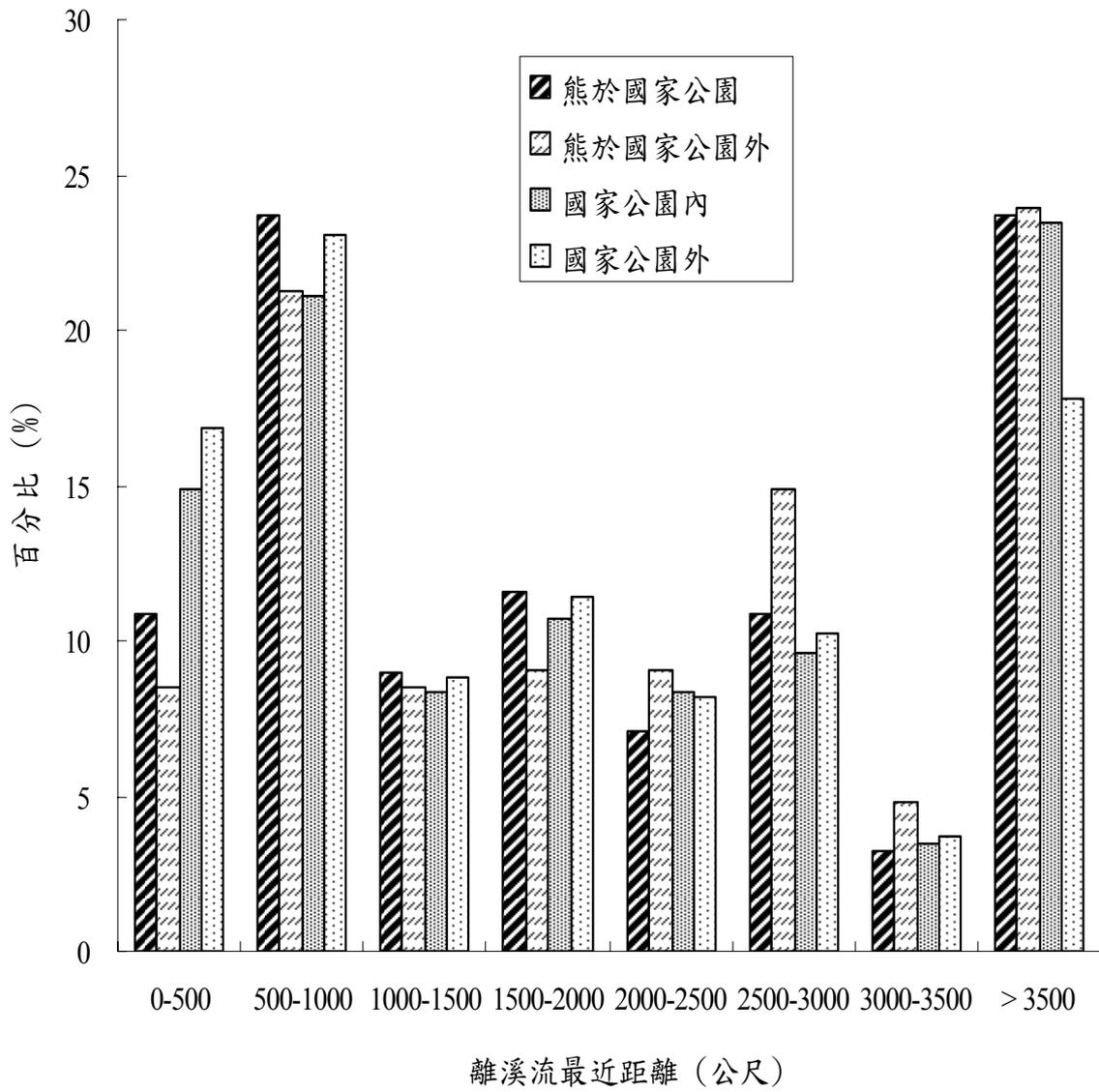


圖 14、國家公園內、外樣區，以及有熊格於其間之坡度分佈百分比例



15、國家公園內、外樣區，以及有熊格於其間之距溪流遠近分佈百分比

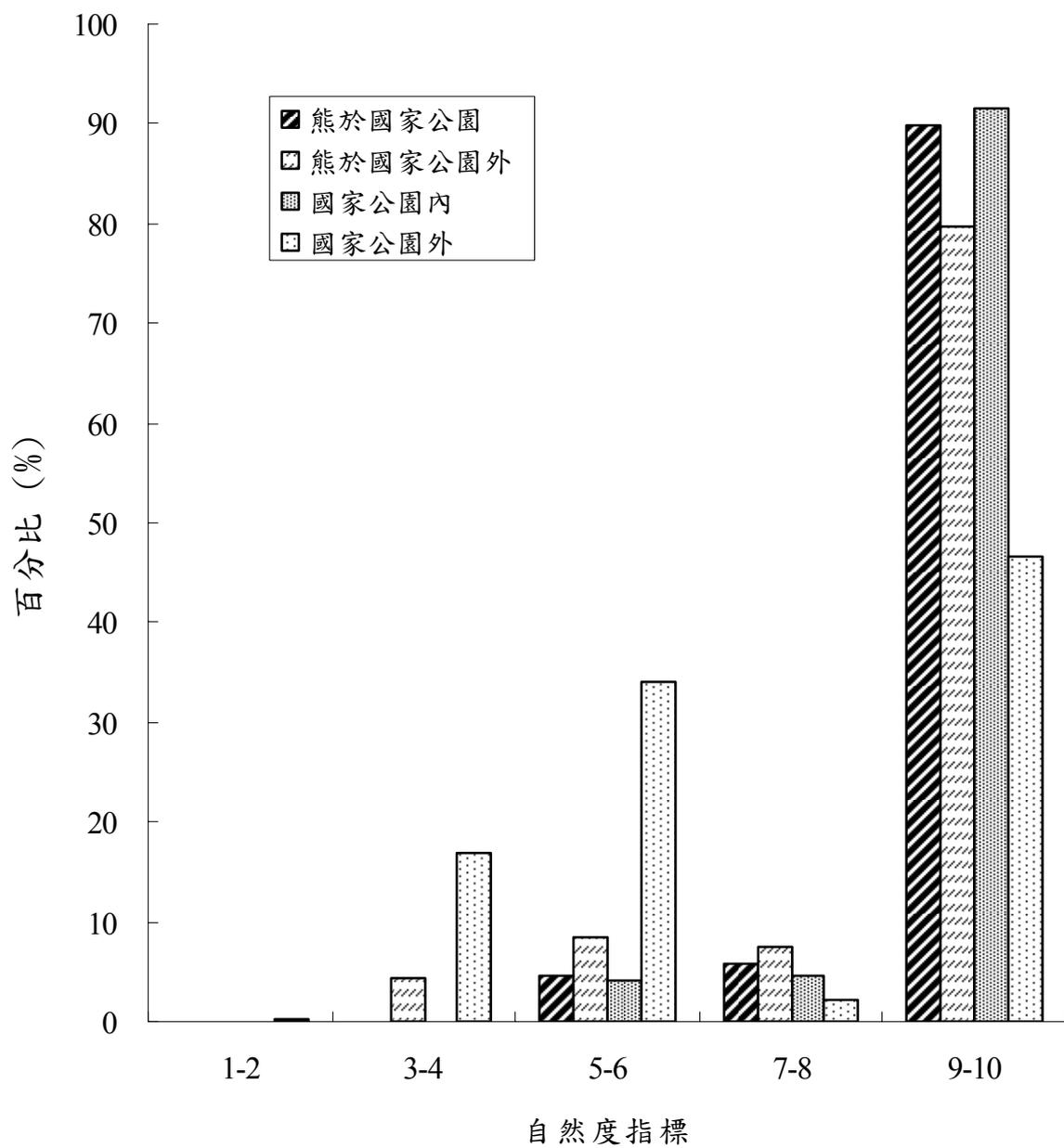


圖 16、國家公園內、外樣區，以及有熊格於其間之自然度指標分佈百分比比例

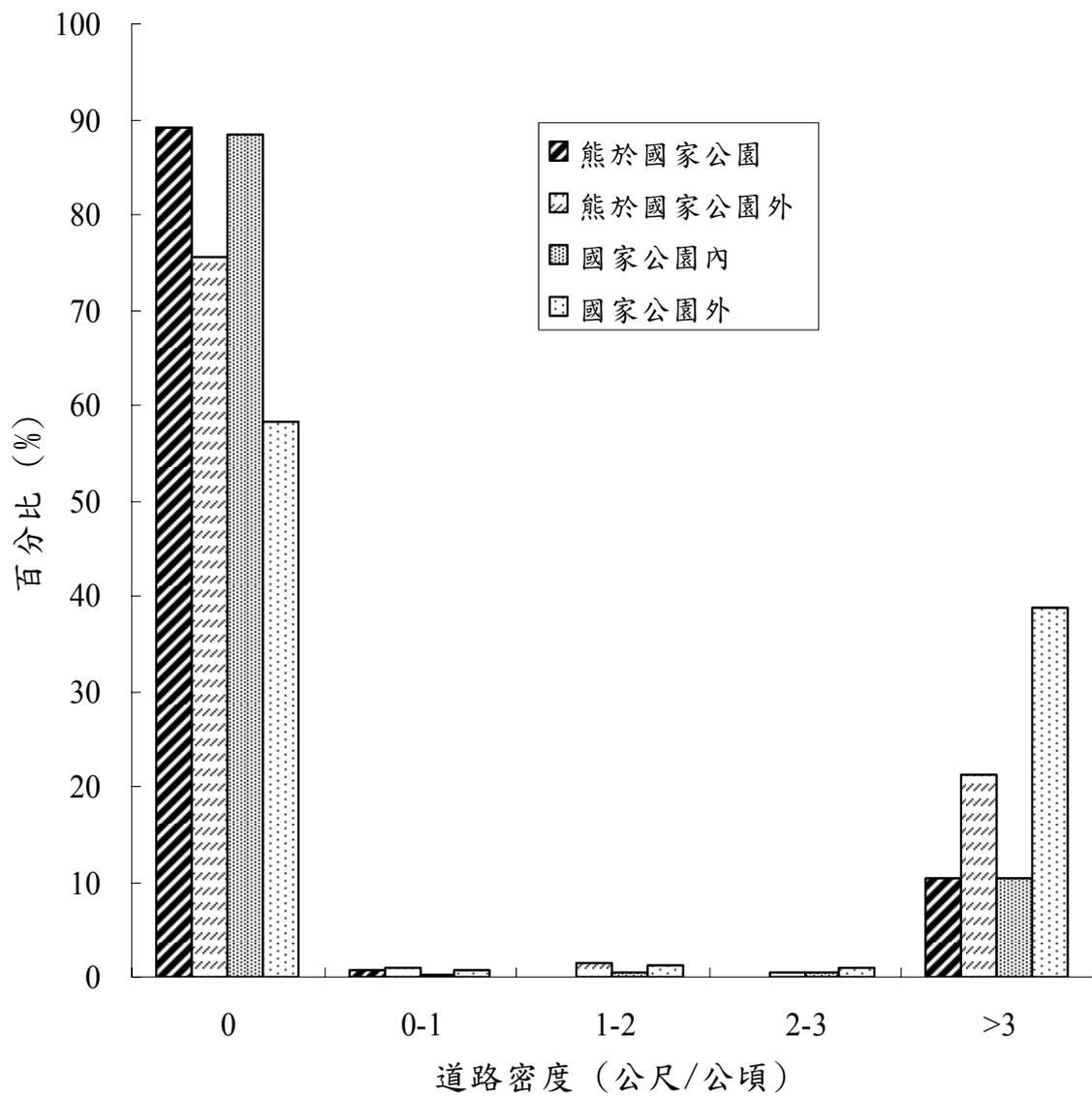


圖 17、國家公園內、外樣區，以及有熊格於其間之道路密度分佈百分比

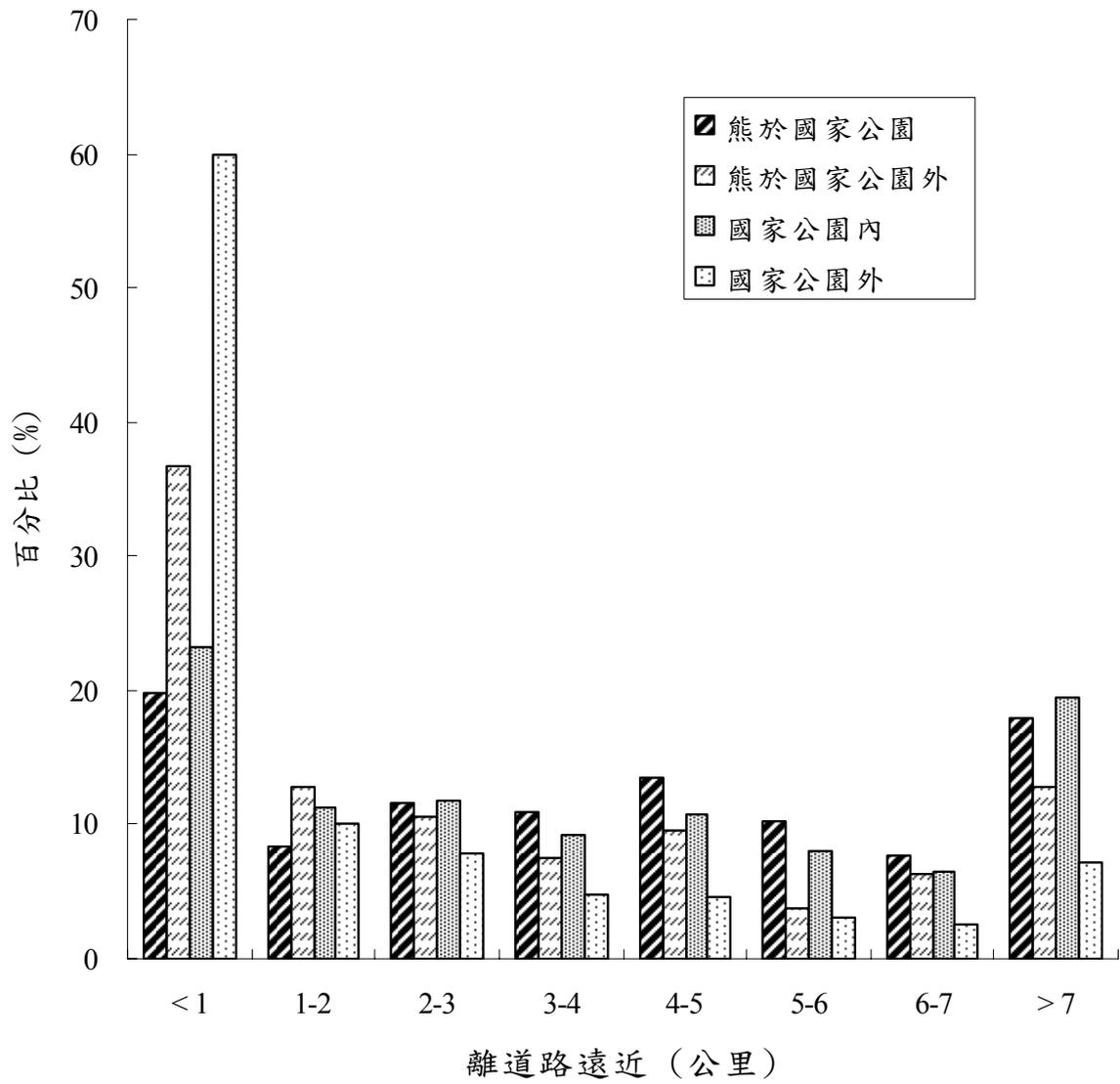


圖 18、國家公園內、外樣區，以及有熊格於其間之離道路遠近分佈百分比比例

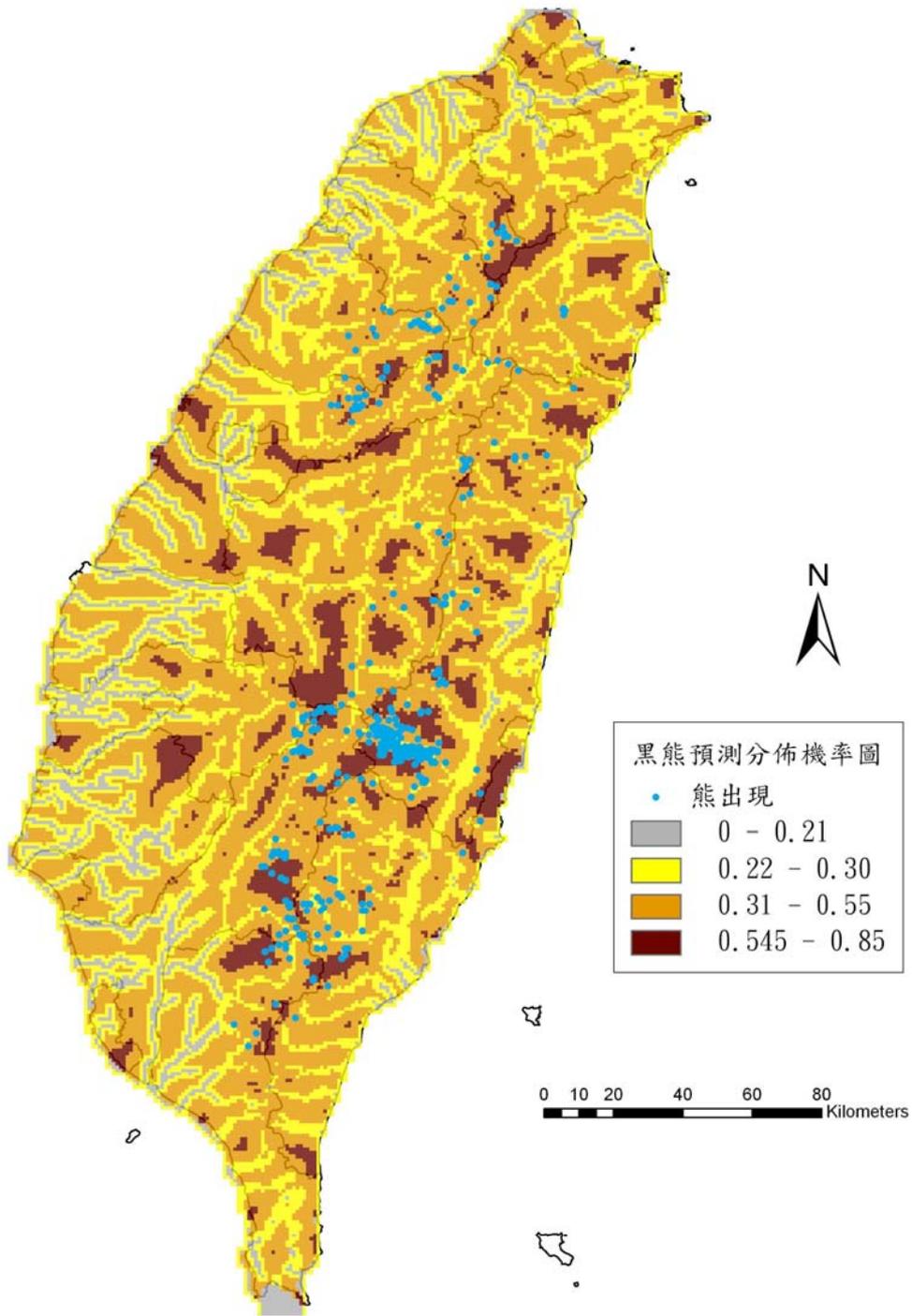


圖 19、以邏輯迴歸分析法所建立之台灣黑熊分佈預測機率圖，預測方程式為 $Y = (-1.3284) + 0.0212 * \text{坡度} + 0.000276 * \text{離溪流最近距離}$

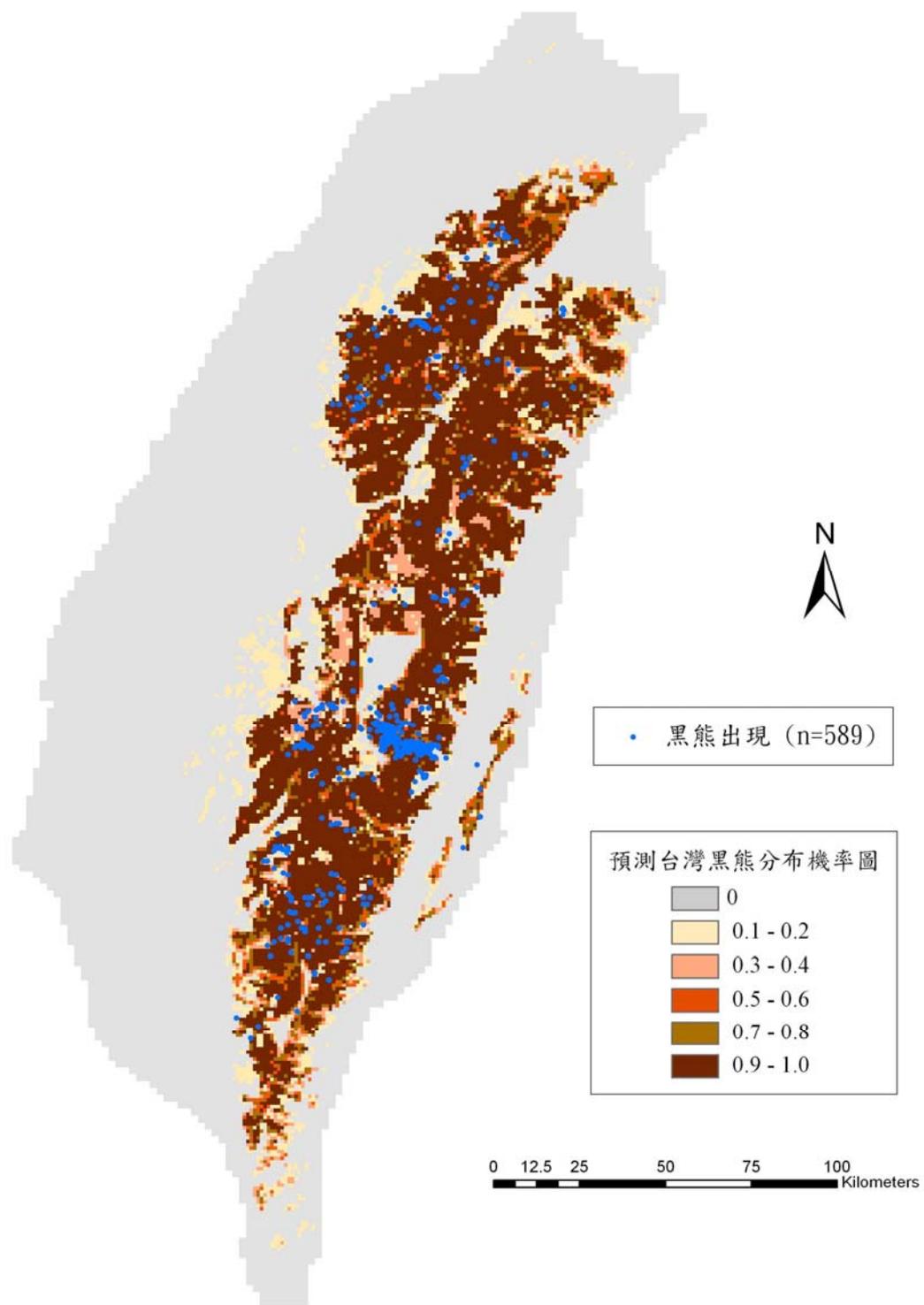


圖 20、利用基因演算法，以海拔、坡度、植生指標、自然度指標、道路密度、離道路最近距離七項環境變因，所建立的台灣黑熊分佈機率預測模式，以及與黑熊紀錄點位式資料之相對分佈關係圖

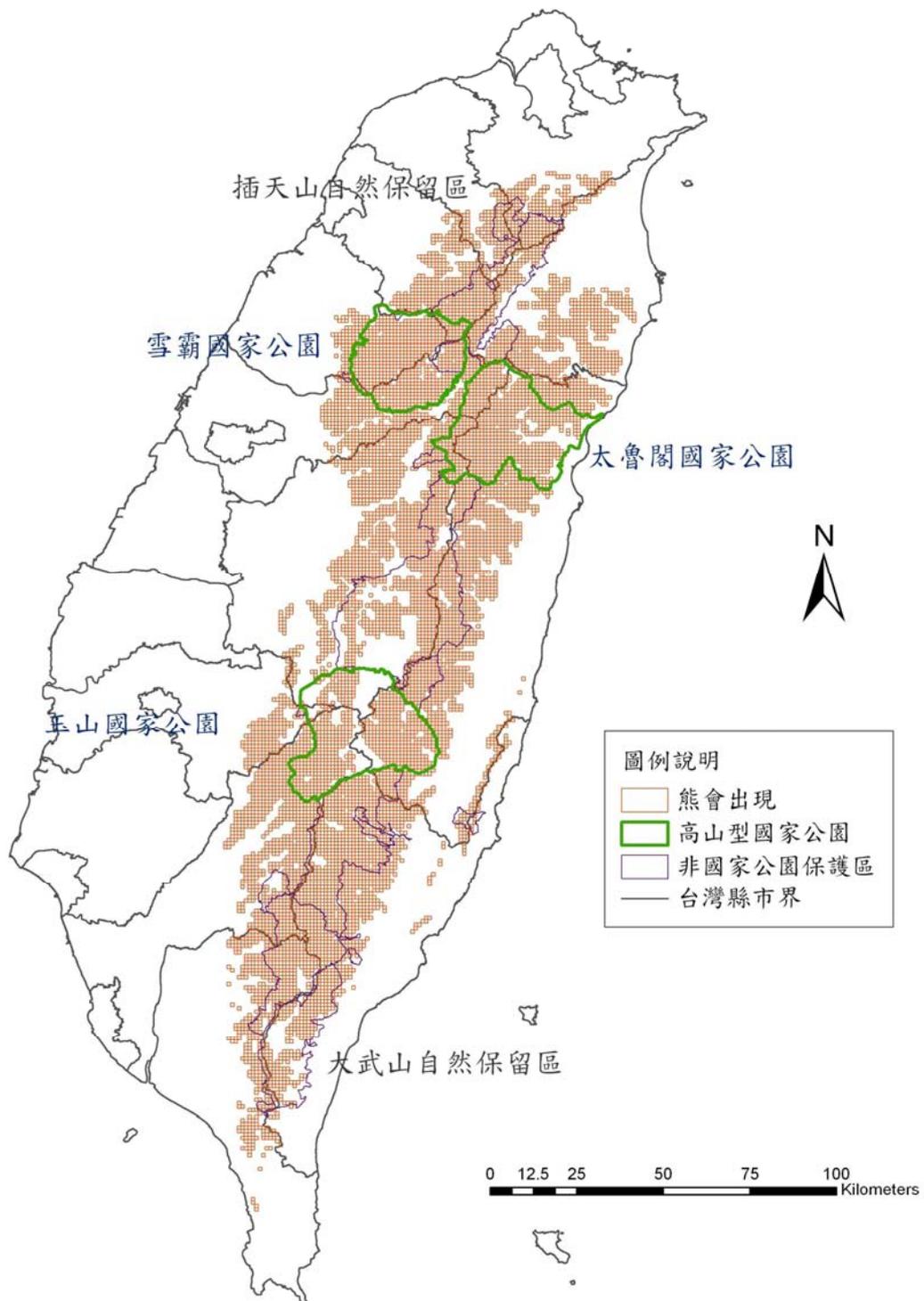


圖 21、基因演算法所預測之台灣黑熊地理分佈圖，橘紅色表示預測分佈機率大於 0.525 而歸類為”黑熊會出現”的 1*1 公里網格

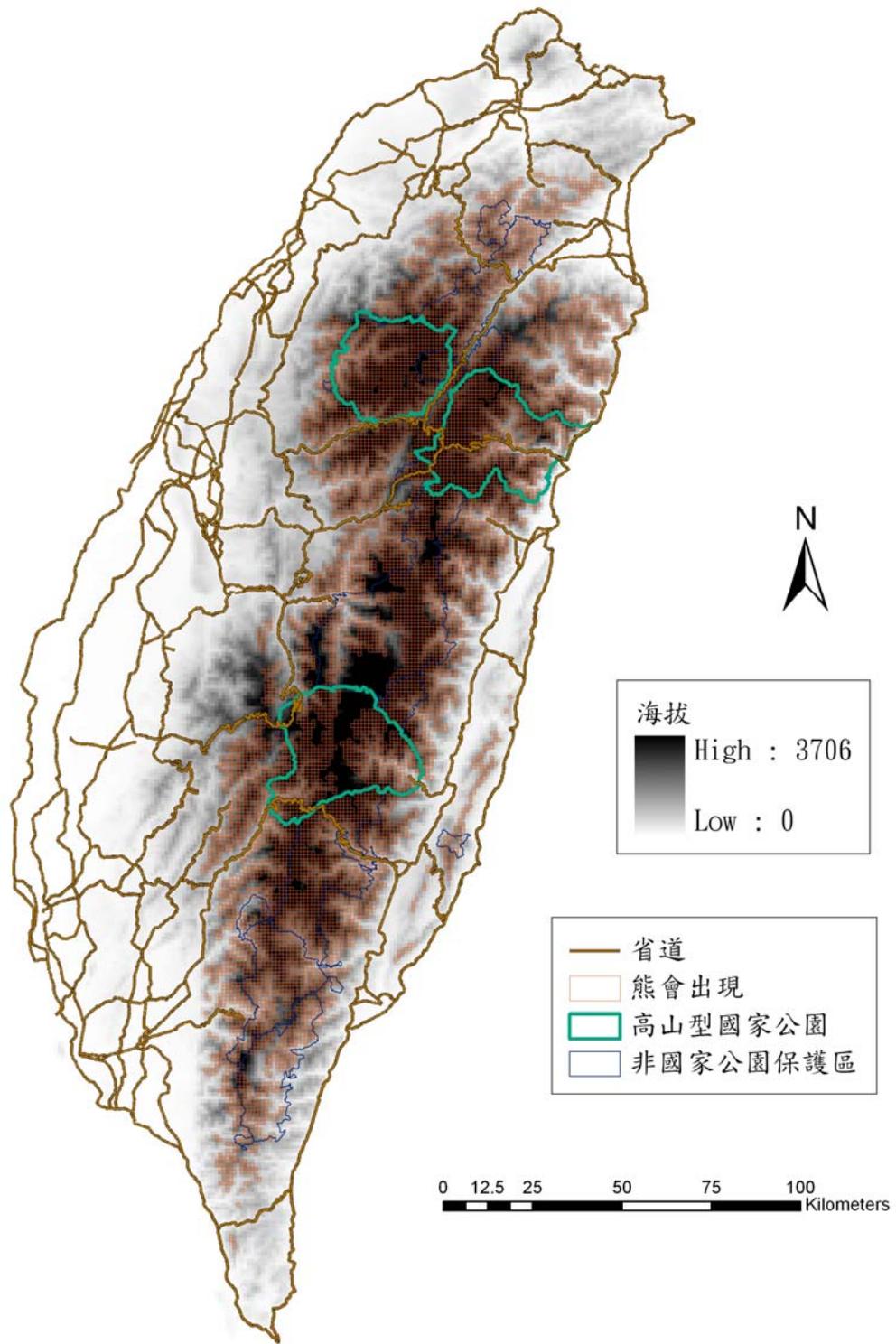


圖 22、台灣黑熊 1*1 公里網格分佈預測，以及全島海拔示意圖

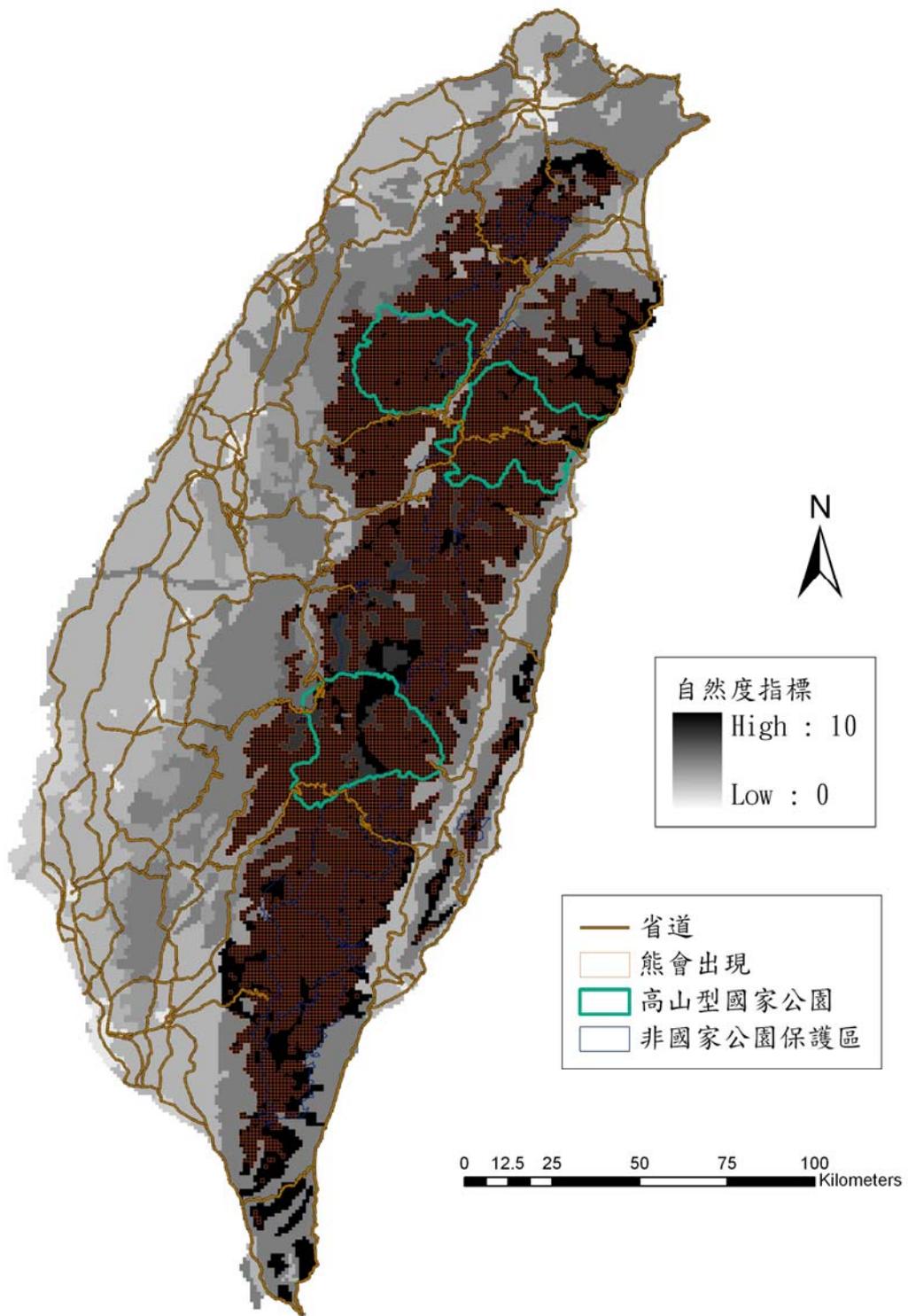


圖 23、台灣黑熊 1*1 公里網格分佈預測，以及全島自然度指標示意圖

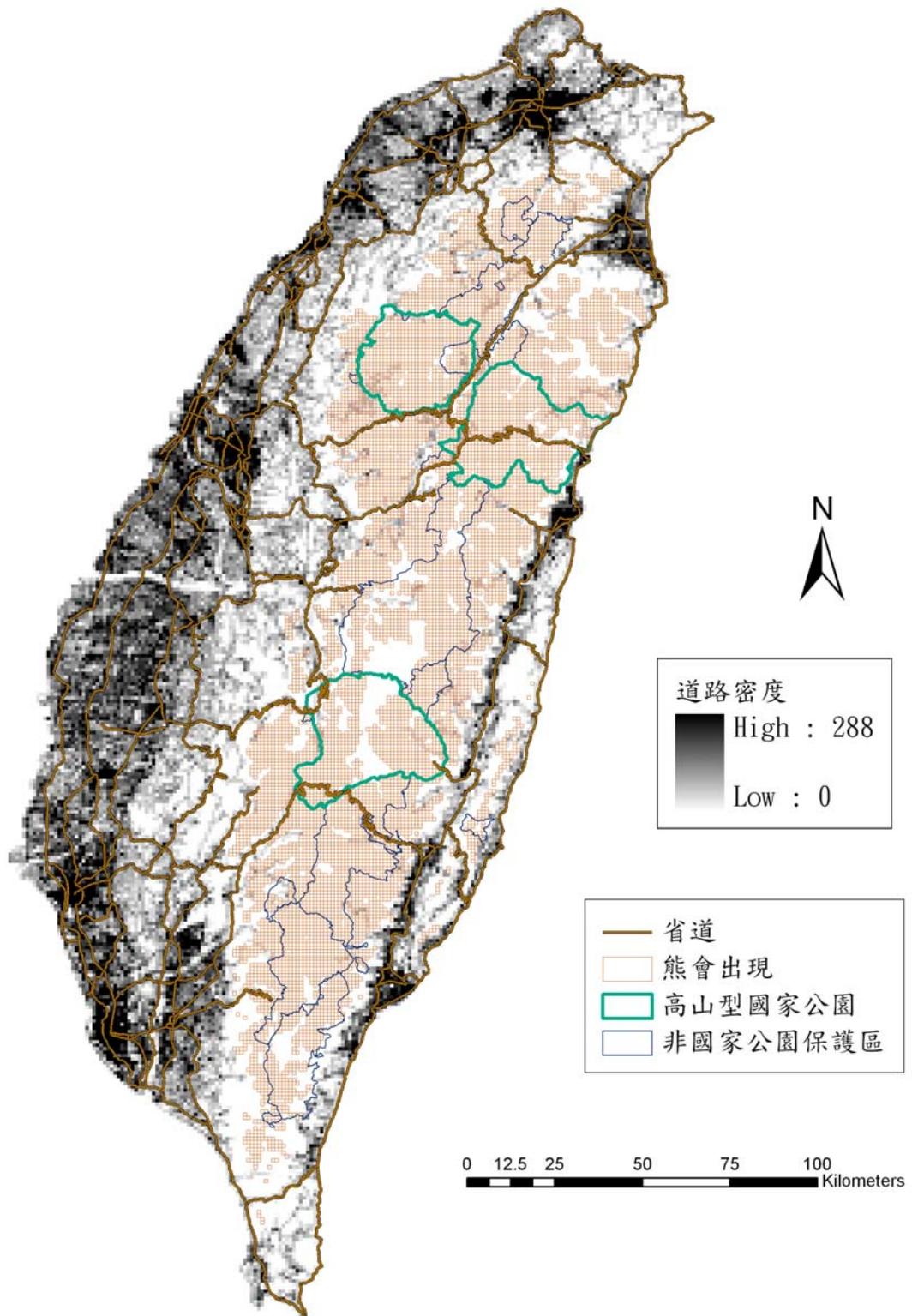


圖 24、台灣黑熊 1*1 公里網格分佈預測，以及全島道路密度示意圖

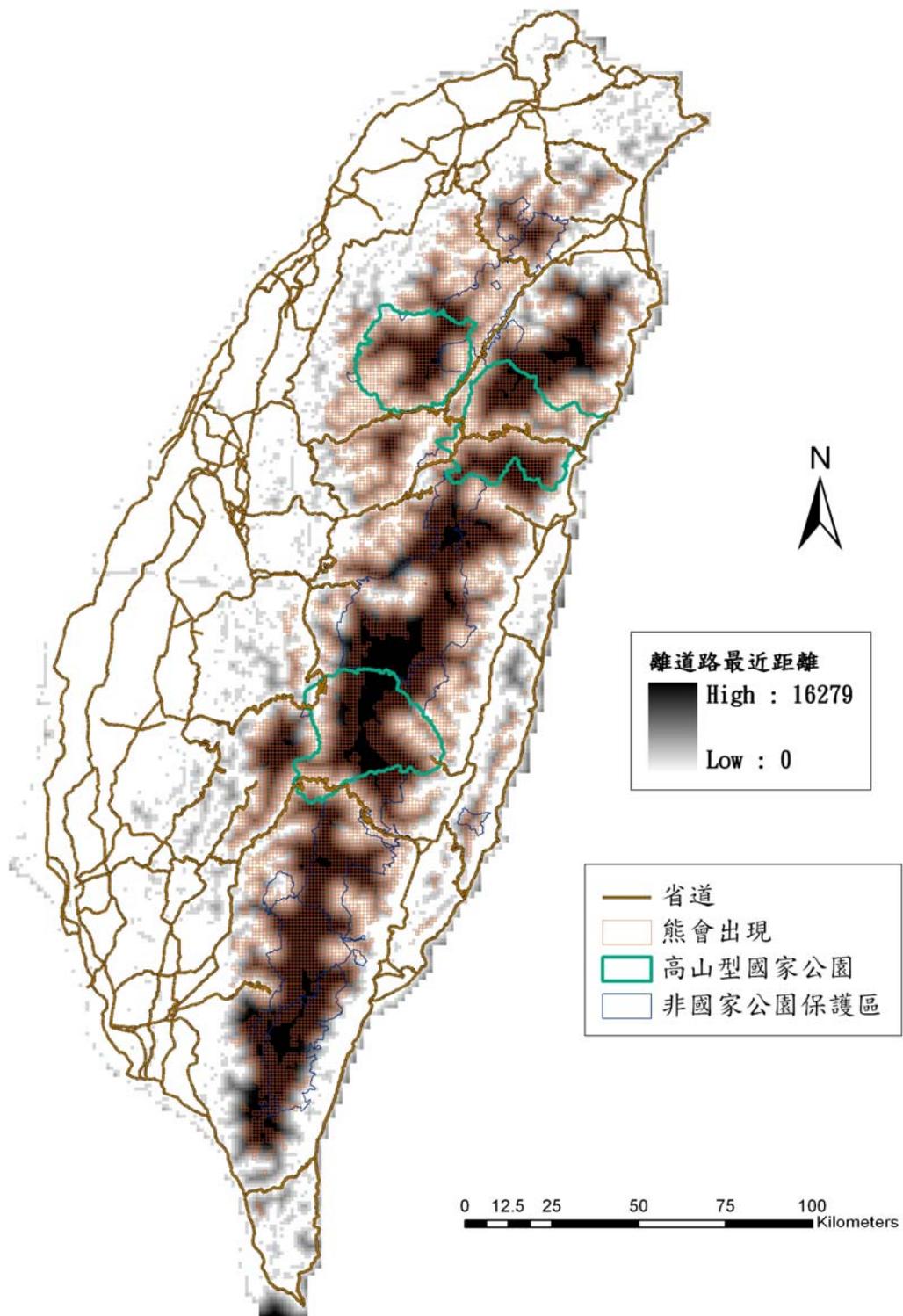


圖 25、台灣黑熊 1*1 公里網格分佈預測，以及全島離道路最近距離示意圖

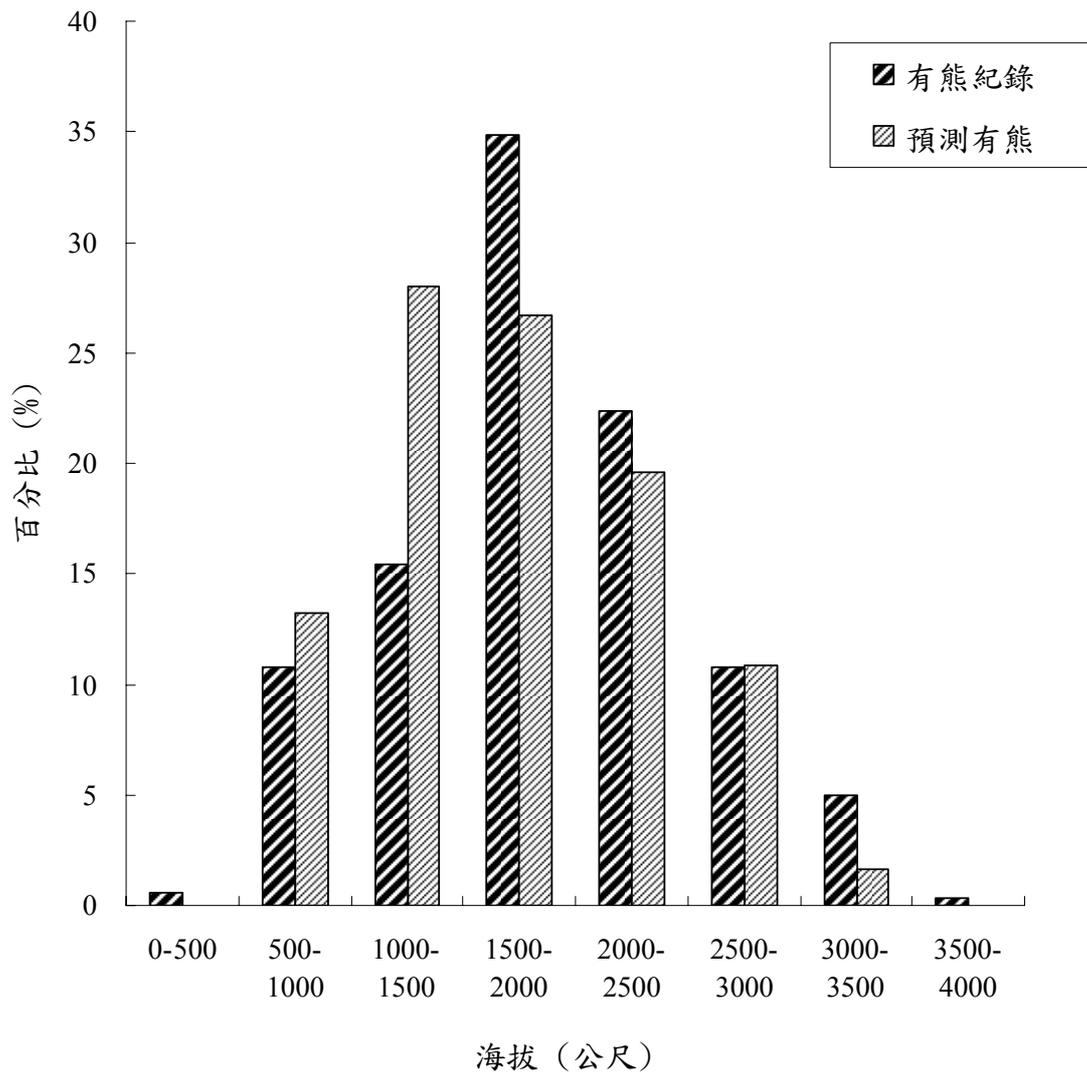


圖 26、預測熊會出現地區以及有熊紀錄之海拔分佈百分比例

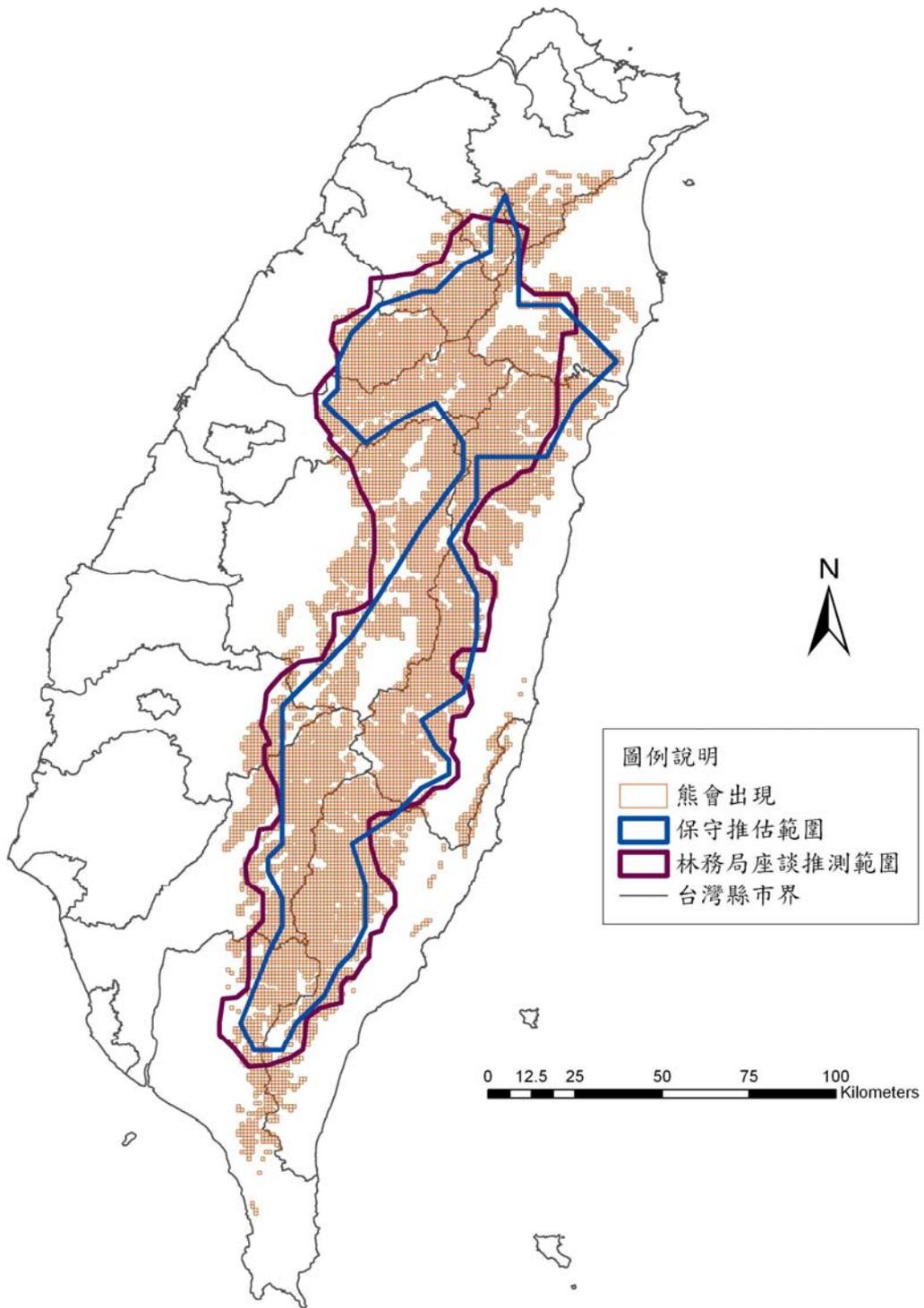


圖 27、台灣黑熊 1*1 公里網格分佈預測，以及利用林務局座談資料推估之範圍以及利用黑熊出現紀錄所估計之保守台灣黑熊分佈範圍

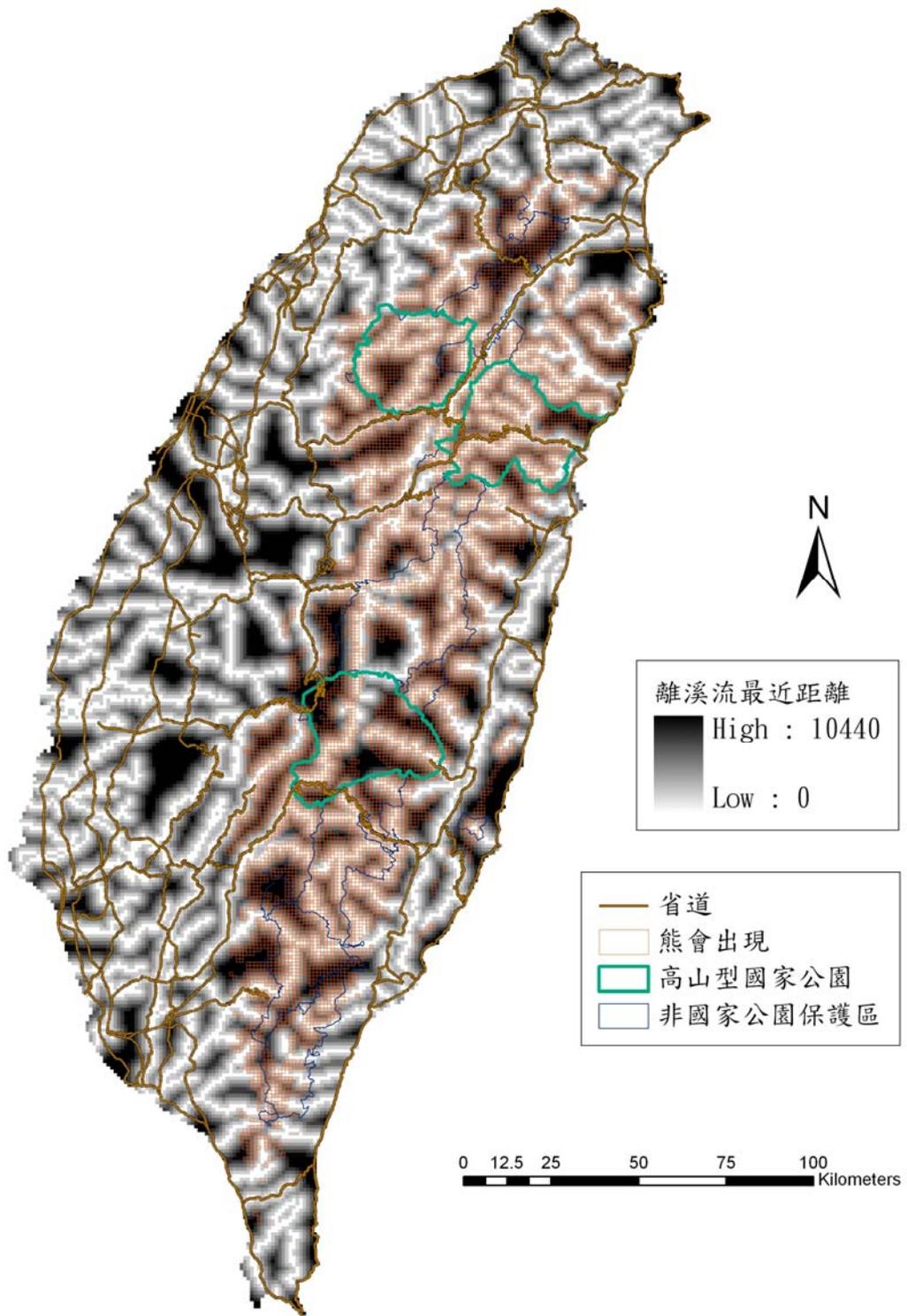


圖 28、台灣黑熊 1*1 公里網格分佈預測，以及全島離溪流最近距離示意圖

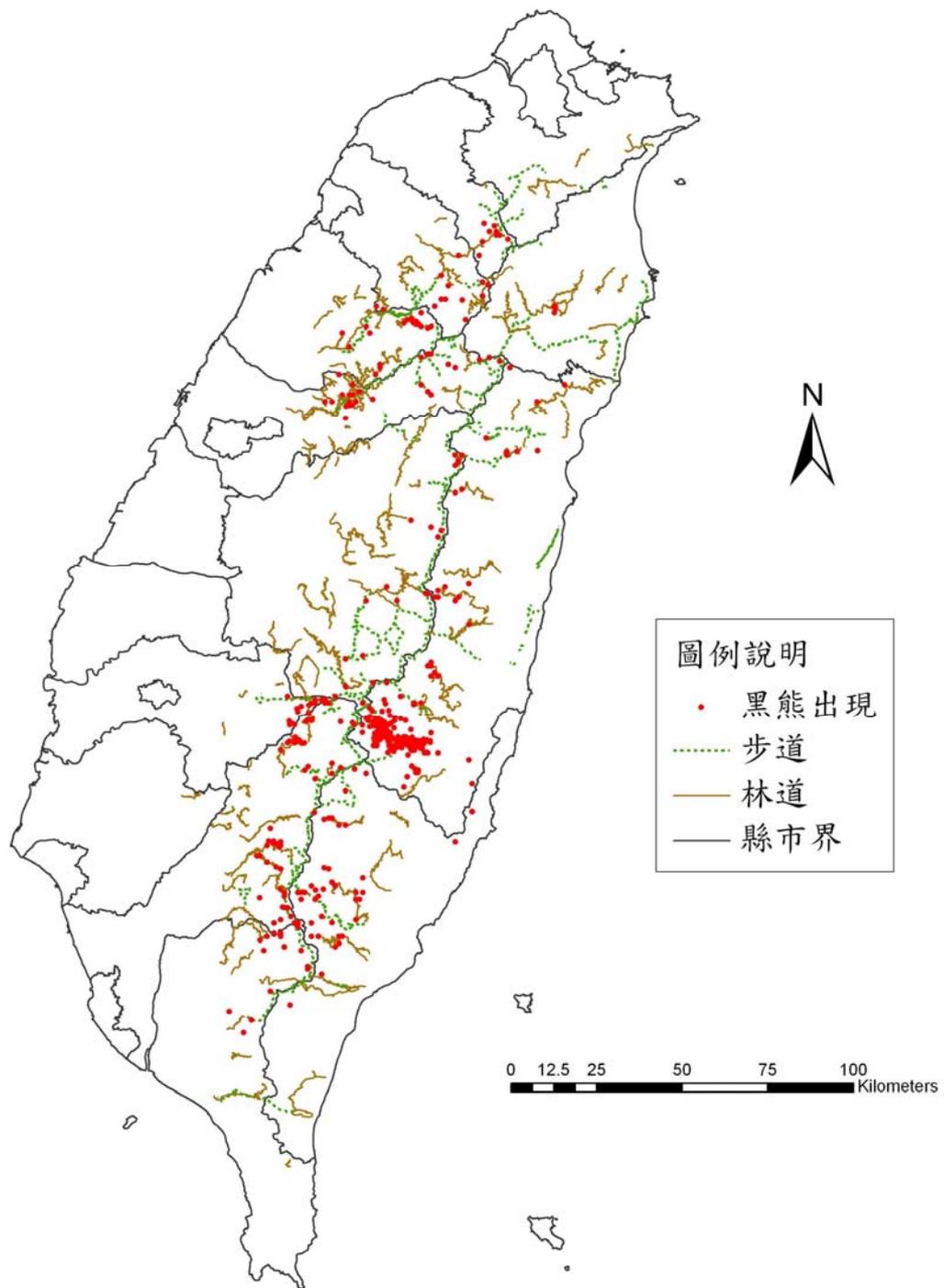


圖 29、自 1990 年之黑熊點位紀錄(n=589)，以及全島林道、步道之分佈圖

表 1、分析影響台灣黑熊出現之自然及人為環境因素列表及說明

變因	範圍	說明
(一)、自然因素		
海拔 (公尺)	50~3429	由內政部所發行的五萬分之一地形圖，每 100 公尺數劃一條等高線，建成 Arc/Info 檔案，再轉成網格系統。
坡度 (度)	0~60.6	將所得等高線 (100 公尺) 海拔高度，載入 IDRISI (Eastman 1992)，計算坡度。
植生指數	1~(~1)	資料取自美國地質調查所 (USGS) 的網站，每個月三張影像，代表月初、中、末的植物的生長狀況，資料取得後經過地理位置較校正或轉換投影方式後，與網格系統套疊所得。
到達河流最近距離 (公里)	0~10.4	數化行政院農委會編制的「台灣地區台灣集水區分佈圖」，此圖僅提供台灣三級以上重要河流(孫志鴻 1988)。以 Arc/Info 數化後，再轉為網格式資料，載入 IDRISI 作距離分析，將結果轉回 Arc/Info，以 dBase 檔案格式儲存。
(二)、人為干擾因素		
自然度指標	1~10	由台灣植被圖，採用徐國士(1984)年所使用的自然度之概念，將土地利用型態 (landuse) 或土地覆蓋度 (landcover)，依原始的程度分為十級，給予 1 至 10 不同的數值，使得原始種植的自然度指標最高，而人為開發地的自然度指標最低。
道路密度 (公尺 /公頃)	0~288.83	數化農委會編制的「台灣地區道路交通圖」(1994)，包含國道、省道、縣道以及一般道路。
離道路最近距離 (公尺)	0~16279	網格中心至道路密度大於 0 的網格中心座標的最近距離。

表 2、評估預測分佈模式準確性之誤差矩陣

		Actual (實際調查)	
		出現	未出現
Predictive (預測值)	出現	a	b
	未出現	c	d

表 3、利用文獻回顧、訪談、林務局座談會、問卷等方法所蒐集到 1990~2006 年間所紀錄的台灣黑熊點位資料(n=589)

來源	資料類型					合計
	目擊	活動 痕跡	自動照 相機	無線電 追蹤	捕獲	
林務局訪談	32	75			2	109
林務局會後訪問	12	22				34
訪談	39	52	1		1	93
回函	14	16				30
文獻	32	119	24	76	1	252
網路問卷	5	20				25
私人通訊	1	27	18			46
合計	135	331	43	76	4	589

表 4、有熊格與研究樣區所對應的環境屬性比較

	研究樣區格 ^a (n=24260)			有熊格 (n=344)			Chi-test ^b P value ^b	
	平均±	最小	最大	平均±	最小	最大		
	標準差	值	值	標準差	值	值		
海拔(公尺)	1117±814	100	3707	1862±644	385	3678	280.23	***
坡度(度)	16±10	0	61	21±9	1	46	83.72	***
植生指標	0.44±0.11	0.00	0.65	0.44±0.08	0.15	0.64	55.21	***
離溪流最近距離 (公尺)	2032±1607	0	10050	2356±1615	0	8000	66.24	***
自然度指標	7.42±2.76	1	10	9.04±1.77	3	10	168.19	***
道路密度(公尺/公頃)	9±18	0	226	3±7	0	65	66.24	***
離道路最近距離(公尺)	2139±2774	0	16279	3544±2945	0	12369	108.61	***

^a 網格大小：1*1 公里

^b Mann-Whitney U test檢定，* p < 0.05，** p < 0.01，*** p < 0.001

表 5、國家公園內外之有熊格所對應的環境屬性比較

	研究樣區 (n=24260)			有熊紀錄 (n=344)			P value (樣區vs.有熊格) ^a	
	國家公園內 (平均±標準差)	國家公園外 (平均±標準差)	p ^a	國家公園內 (平均±標準差)	國家公園外 (平均±標準差)	p ^a	國家公園內	國家公園外
1*1 km 網格總數 (n)	2505	21755		156	188			
海拔(公尺)	2153±665	998±742	***	1931±716	1805±575	0.268	0.78	***
坡度(度)	23±10	15±10	***	22.7±9.3	18.9±8.4	***	**	***
植生指標	0.42±0.08	0.39±0.10	***	0.41±0.08	0.46±0.07	***	**	***
離溪流最近距離(公尺)	2247±1727	2007±1590	***	2261±1604	2435±1625	0.30	**	***
自然度指標	9.73±0.98	7.15±2.77	***	9.67±1.07	9.22±1.71	*	0.09	**
道路密度(公尺/公頃)	1.37±4.6	9.94±18.4	***	1.5±5.1	3.2±7.0	**	0.68	***
離道路最近距離 (公尺)	4114±3213	1911±2626	***	4091±2769	3091±3017	**	**	***

^a Mann-Whitney U test檢定，* p < 0.05，** p < 0.01，*** p < 0.001

表 6、有熊格(n=344)與無熊格(n=499)所對應環境屬性之差異

	有熊格 ^a (平均±標準差)	無熊格 ^a (平均±標準差)	Chi-test ^b	P value ^b
海拔 (公尺)	1862±644	1715±854	8.199	*
坡度 (度)	21±9	18±9	13.077	***
植生指標	0.44±0.08	0.45±0.09	2.154	0.142
到達溪流最近 距離 (公尺)	2356±1615	1743± 1383	25.825	***
自然度指標	9.04±1.77	9.42±1.47	11.168	**
道路密度 (公尺/公頃)	3±7	2±6	0.077	0.782
離道路最近 距離 (公尺)	3544±2945	3363±3052	1.37	0.242

^a 網格大小：1*1 公里

^b Mann-Whitney U test 檢定，* p < 0.05，** p < 0.01，*** p < 0.001

表 7、以海拔、植生指標、坡度、離溪流最近距離、自然度指標、道路密度和離道路最近距離等七個環境變因，利用 stepwise logistic regression 進行五次預測，所建立之邏輯迴歸預測模式

編號	建立模式 資料數	評估模 式資料數	邏輯迴歸方程式	變因 個數	Kappa	Sensitivity
L01	619	224	$Y = (-1.4998) + 0.0215 * \text{坡度} + 0.00307 * \text{離溪流最近距離}$	2	< 0.1	0.8367
L02	615	228	$Y = (-1.4206) + 0.0219 * \text{坡度} + 0.00306 * \text{離溪流最近距離}$	2	< 0.1	0.8478
L03	576	267	$Y = (-2.8570) + 0.0303 * \text{坡度} + 0.1428 * \text{自然度指標} + 0.000246 * \text{離溪流最近距離}$	3	< 0.1	0.7815
L04	571	272	$Y = (-1.3284) + 0.0212 * \text{坡度} + 0.000276 * \text{離溪流最近距離}$	2	0.1	0.9909
L05	540	283	$Y = (-0.7195) + (-2.2122) * \text{植生指標} + 0.0300 * \text{坡度} + 0.000352 * \text{離溪流最近距離}$	3	< 0.1	0.7797

表 8、以海拔、植生指標、坡度、離溪流最近距離、自然度指標、道路密度和離道路最近距離等七個環境變因，利用基因演算法進行三種不同變因組合，所得之預測模式

代碼	使用環境變因	變因 個數	Kappa	Sensitivity
G01	海拔、坡度、植生指標、離溪流最近距離、自然度指標、離道路最近距離、道路密度	7	0.360	0.893
G02	海拔、坡度、植生指標、自然度指標、離溪流最近距離、道路密度	6	0.307	0.880
G03	海拔、坡度、植生指標、自然度指標、道路密度、離道路最近距離	6	0.347	0.873

表 9、有熊格(n=344)與預測熊會出現格(n=9587)所對應的環境屬性比較

	有熊格 ^a (平均±標準差)	預測熊會出現格 (平均±標準差)	Chi-test ^b	P value ^b
海拔(公尺)	1862±644	1710±607.28	19.937	***
坡度(度)	21±9	21±8	2.228	0.136
植生指標	0.44±0.08	0.44±0.08	0.187	0.665
到達溪流最近距離 (公尺)	2356±1615	2193±1514	2.260	0.133
自然度指標	9.04±1.77	10.0±0.0	1512.998	***
道路密度 (公尺/公頃)	3±7	1.02±4	25.938	***
離道路最近距離 (公尺)	3544±2945	3459±2585	0.062	0.803

^a 網格大小：1*1 公里

^b Mann-Whitney U test 檢定，* p < 0.05，** p < 0.01，*** p < 0.001

附錄 1、發現台灣黑熊調查問卷(續)

-1-



個人基本資料

【 我們竭誠希望您能留下個人通訊資料，以利我們做進一步確認 】

姓名：_____ 性別：男 或 女性
 年齡： (1)20歲以下 (2)21-30歲 (3)31-40歲 (4)41-50歲
 (5)51-60歲 (6)60歲以上
 教育程度：國小 國中 高中 專科以上
 野外從業性質：調查研究者，林班或保護區工作人員，務農，
登山遊客，職業：_____，其他：_____
 住址：_____
 電話：_____ Email：_____



您看到熊了嗎？

1. 您過去十年中目擊過幾次黑熊？_____
2. 請將親眼目擊黑熊的細節依次填入空格內：

	第一次	第二次	第三次	補充說明
	↓	↓	↓	
日期 (年/月/日)				
時間 (時)				
隻數 (大/小)				
地點/代碼	①	②	③	
	※請說明大致位置，並將目擊次數的代碼①、②...填於附圖A-D的網格中			
海拔 (公尺)				
棲地環境				
	※棲地環境：1) 闊葉林；2) 針闊葉混合林；3) 針葉林；4) 草地；5) 箭竹林； 6) 裸露地；7) 溪流或河床；8) 農地；9) 其他 _____			

◆如果目擊黑熊三次以上，煩請補充說明或百行影印◆

附錄 1、發現台灣黑熊調查問卷(續)

-2-

	目擊黑熊時.... 請將答案依次填入空格內：	第一次 ↓	第二次 ↓	第三次 ↓	補充 說明
1. 熊和您之間的距離約是多少公尺？ (1)小於20，(2)20-50，(3)50-100，(4)大於100公尺					
2. 是否有其他人同行？ 若有，共是.....人。	<input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 是，共__人	<input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 是，共__人	<input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 是，共__人		
3. 您正在從事下列何種活動？ (1) 走路，(2)休息，(3)開車，(4)煮食或進食， (5)工作(____)，(6)其它：					
4. 熊當時的狀況為何？ (1)自由活動，(2)在陷阱上，(3)已經死亡 →如果題4的答案為(1)，請問熊正在做什麼？ (1)逃跑，(2)走路，(3)覓食，(4)爬樹，(5)休息， (6)企圖接近人，(7)其它：_____					
5. 若您發現熊時，熊正在進食，您是否可以分辨那是什麼食物？ (1)人為垃圾，(2)農作物，(3)野生果實，(4)植物莖葉， (5)昆蟲類，(6)哺乳動物，(7)其他：____，(8)不知道					
6. 您看到熊時，黑熊是否發現您的出現？ (1)是，(2)否，(3)不知道。					
7. 若黑熊該時發現您，熊做出何種反應？ (1)繼續原先的活動，(2)朝人觀望，(3)緩慢走開，(4)快速逃離，(5)朝人吼叫，(6)主動接近人，(7)其它：					
8. 當您發現黑熊之後，您的反應為何？ (1)靜止不動，(2)緩慢離開，(3)快速逃跑，(4)大聲喊叫或發出聲響，(5)爬樹，(6)趴在地上裝死，(7)其它：					
9. 在您做出上述的反應之後，黑熊有何回應？ (1)繼續原先的活動，(2)朝人觀望，(3)緩慢走開，(4)快速逃離，(5)朝人吼叫，(6)主動接近人，(7)其它：					

◆如果目擊黑熊三次以上，煩請補充說明或自行影印◆

您還曾發現任何黑熊活動痕跡嗎？請接下頁





發現黑熊活動痕跡



◆腳印：前後腳各五趾，有長爪，腳掌長 15 公分以上



◆糞便：
長圓柱狀，與人的極為相似，直徑約 2-4 公分



◆爪痕：
爬樹或覓食時，常在樹幹上留下深刻的爪痕

1. 您過去十年中曾發現幾次黑熊的活動痕跡？_____次
2. 請將發現黑熊當時的狀況依次填入各項空格內：
 - A. 發現熊的狀況：1) 捕獲；2) 糞便；3) 腳印；4) 爪痕；5) 其他_____
 - B. 請將各次發現痕跡的代碼 $\triangle 1$ 、 $\triangle 2$... 填於附圖A-D的網格中
 - C. 棲地環境：1) 闊葉林；2) 針闊葉混合林；3) 針葉林；4) 草地；5) 箭竹林；6) 裸露地；7) 溪流或河床；8) 農地；9) 其他_____

次數	日期 (年月日)	時間 (時)	^A 發現 熊狀況	^B 地點 代碼	^C 棲地 環境	海拔 (公尺)	其他/ 是否有照片紀錄
1	_____	_____	_____	$\triangle 1$	_____	_____	_____
2	_____	_____	_____	$\triangle 2$	_____	_____	_____
3	_____	_____	_____	$\triangle 3$	_____	_____	_____
4	_____	_____	_____	$\triangle 4$	_____	_____	_____
5	_____	_____	_____	$\triangle 5$	_____	_____	_____
6	_____	_____	_____	$\triangle 6$	_____	_____	_____

更多...補充說明：

非常感謝您的合作！

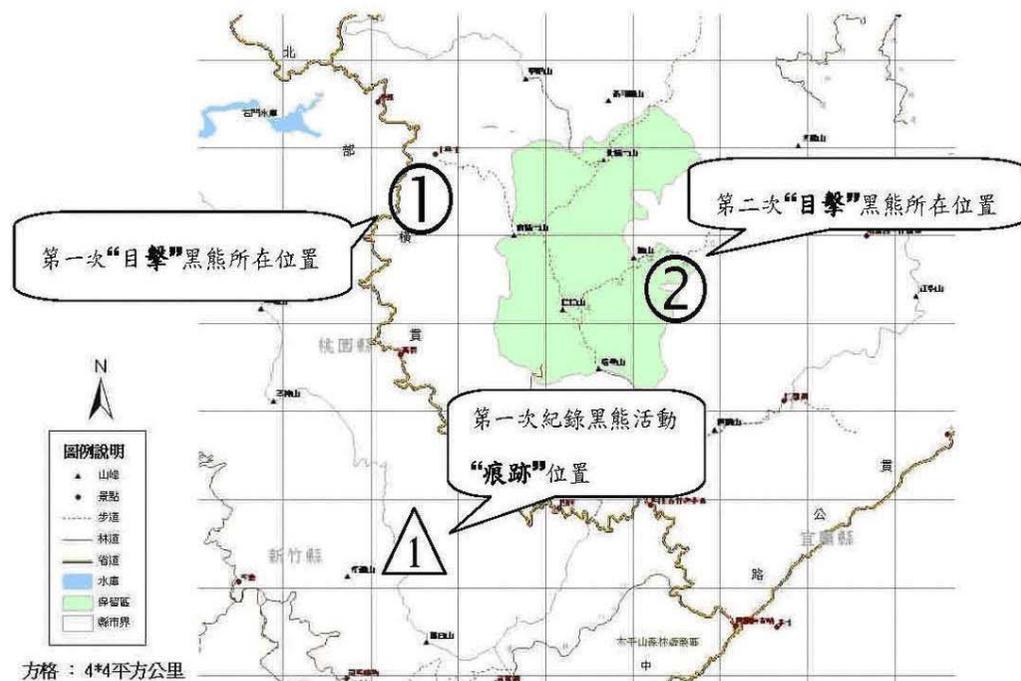
如果您還有其他有關黑熊的意見與資料願意提供給我們，可利用空白處書寫

附錄 1、發現台灣黑熊調查問卷(續)

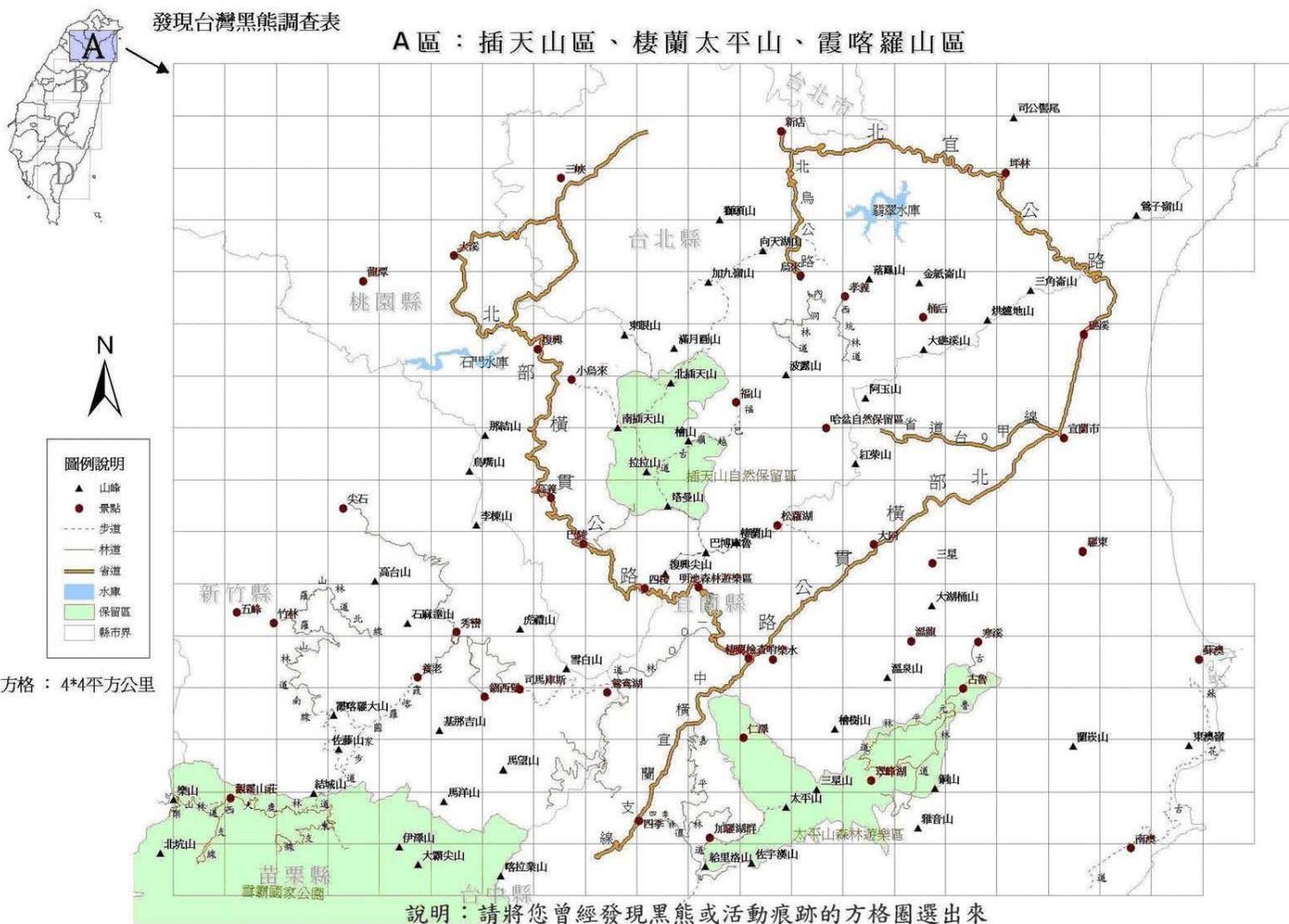
標示發現台灣黑熊之地圖填寫範例及說明

說明：▶ 目擊黑熊，請用○表示，並在圈內填寫第幾次目擊

▶ 發現黑熊活動痕跡，請用△表示，並在三角形內填寫第幾次紀錄



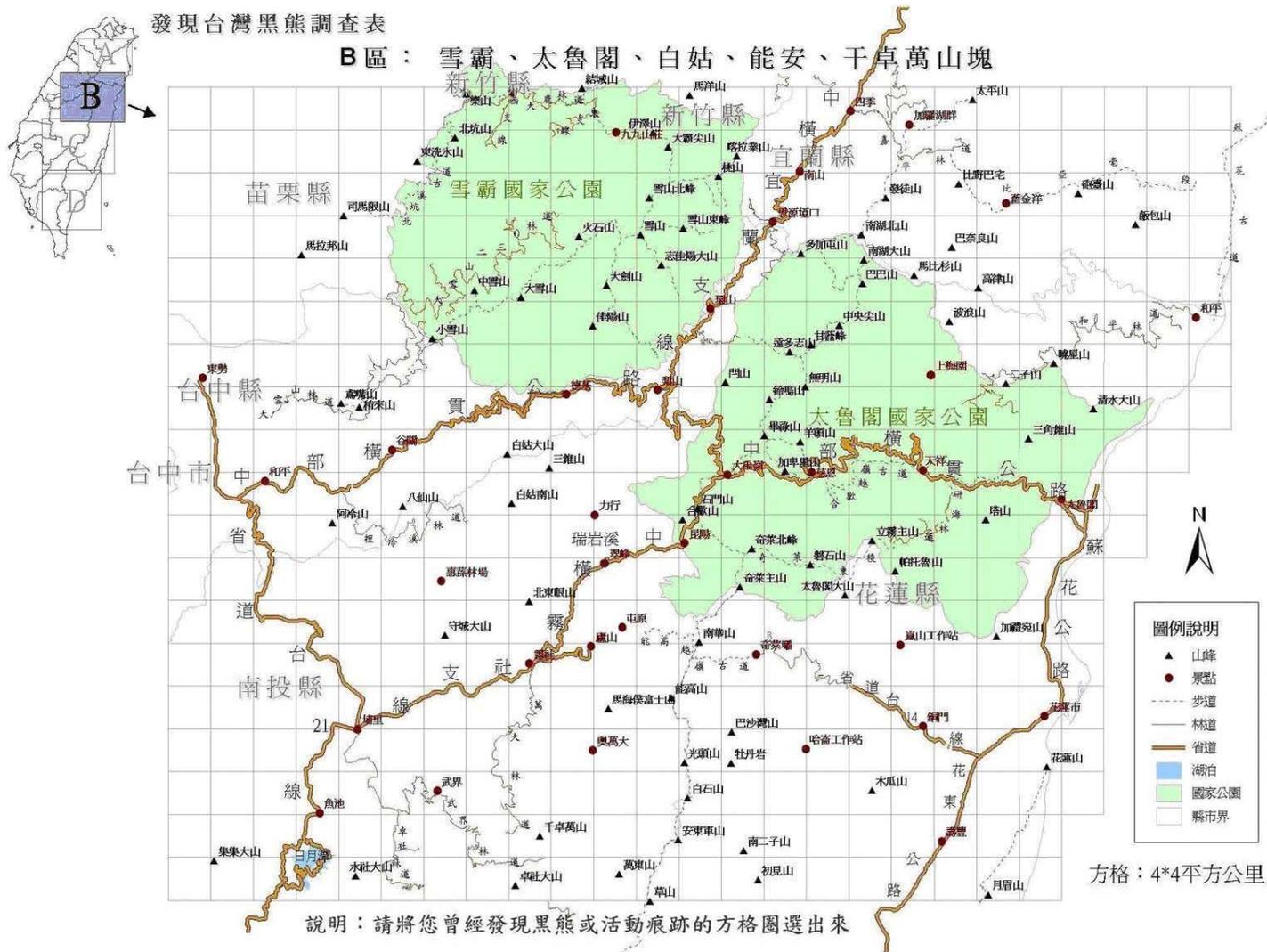
附錄 1、發現台灣黑熊調查問卷(續)



附錄 1、發現台灣黑熊調查問卷(續)

發現台灣黑熊調查表

B區：雪霸、太魯閣、白姑、能安、干卓萬山塊



附錄 1、發現台灣黑熊調查問卷(續)

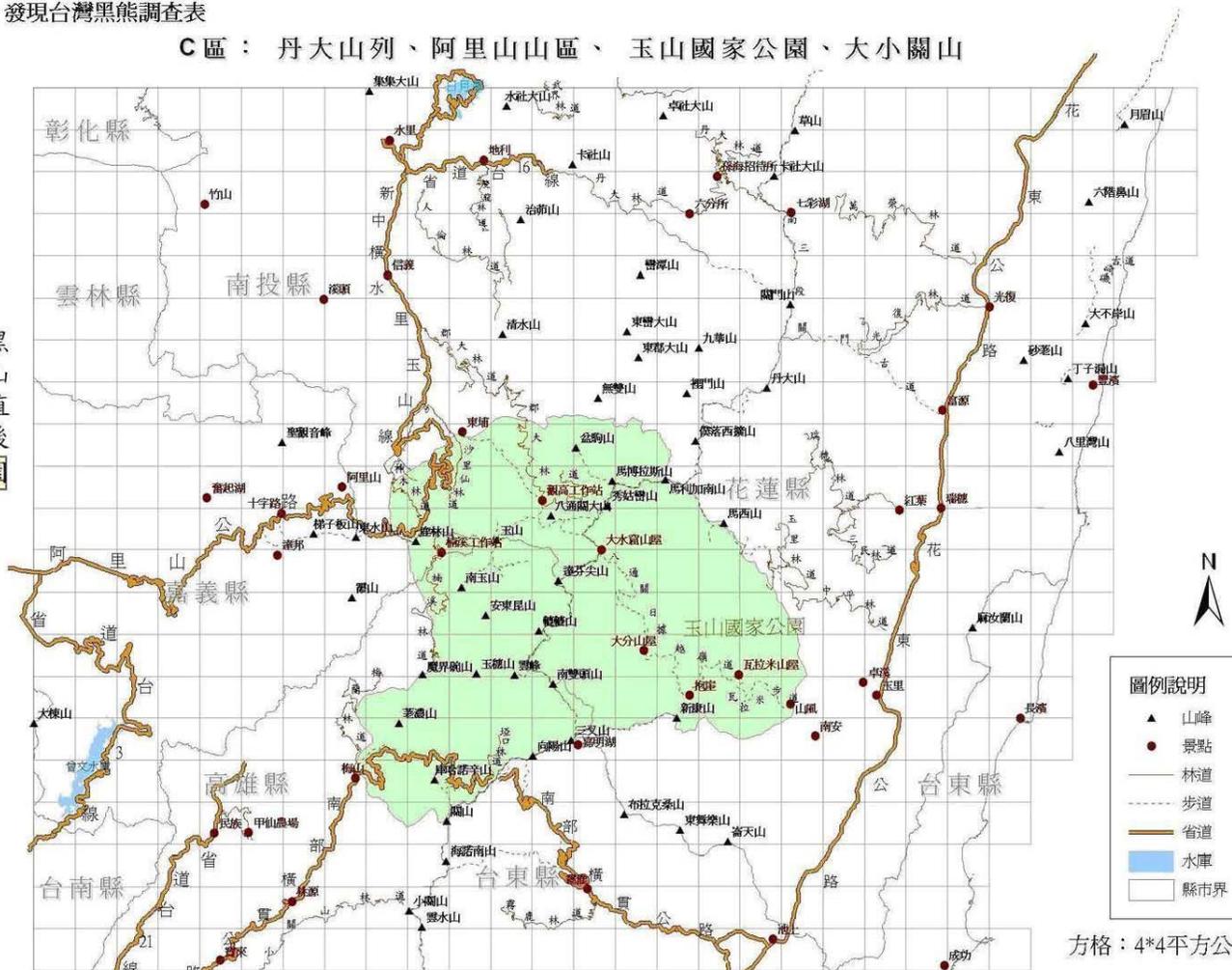
發現台灣黑熊調查表

C區：丹大山列、阿里山山區、玉山國家公園、大小關山



請注意：

若您發現台灣黑熊的位置位於玉山國家公園內，請直接跳至本問卷最後一頁玉山國家公園地圖中填寫



說明：請將您曾經發現黑熊或活動痕跡的方格圈選出來

附錄 2、林務局第三次資源調查國有林林型代號對照表與本研究重新定義之林型代碼

代號	土地利用型	代碼*	代號	土地利用型	代碼*
11	冷杉天針	3	163	麻竹造林	8
12	鐵杉天針	3	164	荊竹造林	8
13	檜木天針	3	165	綠竹造林	8
14	松類天針	3	169	其他竹林	8
15	雲山天針	3	170	人竹針混	3
19	其他天針	3	180	人竹闊混	1
30	天針闊混	2	190	人竹闊針混	2
40	天闊純	1	600	灌木林	1
50	天闊混	1	611	天然草地	4
61	桂竹林	8	612	箭竹地	5
62	孟宗竹林	8	613	牧草地	4
63	麻竹林	8	620	茶園	8
64	荊竹林	8	621	甘蔗地	8
65	綠竹林	8	622	蔬菜地	8
69	其他竹林	8	629	其他旱作地	8
70	天竹針混	3	631	香蕉園	8
89	天竹闊混	1	632	鳳梨園	8
90	天竹針闊混	2	633	柑橘園	8
111	檜木造林	3	634	桃.李.梅園	8
112	松類造林	3	635	蘋果.梨.水蜜桃園	8
113	杉木類造林	3	636	檳榔園	8
114	台灣杉造林	3	639	其他果園	8
115	柳杉造林	3	640	其他墾地	8
116	肖楠造林	3	650	伐木跡地	9
119	其他針造林	3	700	道路	9
120	人針混	3	710	建築用地	9
130	人針闊混	2	720	苗圃用地	8
141	相思樹造林	1	730	水田	8
142	楓香造林	1	740	防火線	9
143	樟樹造林	1	750	工礦用地	9
144	光臘樹造林	1	760	土場用地	9
145	台灣欖造林	1	770	墓地	9
146	桐類造林	1	780	鹽田	9
149	其他闊造林	1	790	魚塭	9
150	人闊混	1	800	其他	9
161	桂竹造林	8	900	裸露地	6
162	孟宗竹造林	8	930	水面(河床.溪流.水庫.池塘)	7

*1) 闊葉林, 2) 針闊混, 3) 針葉林, 4) 草地, 5) 箭竹, 6) 裸露地, 7) 溪流湖泊, 8) 農地, 9) 其他

附錄 3、台灣黑熊出現於 1995~2006 年之動物相文獻調查資料

年份	計畫名稱	計畫主持人
2004	大武山自然保留區生物資源調查研究-知本溪	王震哲
2004	太魯閣國家公園三棧河流域動物族群估測及監測模式建立	張永州
2004	丹大野生動物重要棲息環境野生動物調查研究計畫 (1/2)	王穎
2004	雪霸國家公園內較大型哺乳動物的分佈現況	黃美秀
2003	棲蘭野生動物重要棲息環境動物調查	李宗翰
2003	丹大地區野生動物重要棲息環境分區規劃及動物監測 (第二年)	王穎
2002	棲蘭山野生動物重要棲息環境動物調查	李宗翰
2002	關山野生動物重要棲息環境-關山事業區第 13-24-生物資源調查計畫	劉炯錫
2002	丹大地區野生動物重要棲息環境分區規劃及動物監測 (第一年)	王穎
2002	銅山地區山毛櫸林黑熊及其他野生動物生態之調查	王穎
2002	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)	裴家騏
2001	關山野生動物重要棲息環境-延平事業區第 24 至 31 林班-生物資源調查計畫	劉炯錫
2000	棲蘭山檜木林區動物資源調查研究	李玲玲
1998	丹大地區野生動物族群之初步調查研究 (第二年)	王穎
1998	雙鬼湖自然保護區動物相調查研究 (第二年)	裴家騏
1997	丹大地區野生動物族群之初步調查研究 (第一年)	王穎
1997	雙鬼湖自然保護區動物相調查研究〈一〉-台東處轄	裴家騏
1997	德基水庫集水區動植物種源調查計畫(五)南湖地區，經濟部德基水庫集水區管理委員會專輯	陳擎霞
1995	雪霸國家公園大型哺乳動物族群與習性之研究(雪見地區)	李玲玲

附錄 4、於 1995~2006 年之動物相文獻調查報告中，未曾出現台灣黑熊紀錄之報告

報告代碼	報告名稱	計劃主持人
92~13	大武山自然保留區生物資源調查研究~知本溪	王震哲
91~21	嘉羅湖地區野生動物相調查	李玲玲
91~07	銅山地區山毛櫸林黑熊及其他野生動物生態之調查	王穎
91~10	棲蘭野生動物重要棲息環境動物資源調查 / 2003	李宗翰
91~12	丹大地區野生動物重要棲息環境分區規劃及動物監測(第一年) / 200202	王穎
90~04	大武山自然保留區生物資源調查研究~大竹溪	王震哲
89~06	大武山自然保留區生物資源調查研究~太麻裏溪	呂光洋
87~09	丹大地區野生動物族群之初步調查研究 (第二年) / 199811	王穎
86~01	雙鬼湖自然保護區動物相調查研究〈一〉—台東處轄	裴家騏
85~03	南北大武山區動物相調查研究	裴家騏
S_93~05	雪霸國家公園哺乳類調查研究~大雪山地區	裴家騏
S_93~15	雪霸國家公園內較大型哺乳動物的分佈現況	黃美秀
S_84~06	雪霸國家公園大型哺乳動物族群與性之研究(雪見地區)	李玲玲
S_83~04	雪霸國家公園大型哺乳動物族群與性之研究(武陵地區)	李玲玲
T_93~07	太魯閣國家公園高山地區動物資源處調查	吳海音
T_93~03	太魯閣國家公園三棧溪流域動物族群估測及監測模式建立	張永州
T_92~01	太魯閣國家公園內中大型哺乳類族群監測計畫	裴家騏
T_89~co~07	太魯閣國家公園野生動物普查計畫~哺乳類	裴家騏
1134	玉山國家公園東部園區台灣黑熊及偶蹄目動物群聚研究	吳海音
1114	玉山國家公園東部園區中大型哺乳動物監測計畫	吳海音
1115	玉山國家公園楠梓仙溪地區大型哺乳動物之族群監測	黃美秀

作者簡介

姓名：吳尹仁

通訊地址：台南市崇德 22 街 21 號

出生年月日：1976.09.06

學經歷：台南私立長榮中學普通科

高雄私立義守大學資訊工程系

國立屏東科技大學野生動物保育研究所