

國立屏東科技大學野生動物保育研究所

碩士學位論文

臺灣黑熊(*Ursus thibetanus formosanus*)族群相對豐富度

及分布預測模式

The Relative Abundance and the Distribution Prediction Models
of Formosan Black Bears(*Ursus thibetanus formosanus*)

指導教授：黃美秀 博士

陳朝圳 博士

研究生：蔡幸蓓

中華民國 100 年 6 月 28 日

摘要

學號：M9617018

論文題目：臺灣黑熊(*Ursus thibetanus formosanus*)族群相對豐富度及
預測分布模式

總頁數： 115

學校名稱：國立屏東科技大學 系(所)別：野生動物保育研究所

畢業時間及摘要別：99 學年度第 2 學期碩士論文摘要

研究生：蔡幸蓓

指導教授：黃美秀 博士

陳朝圳 博士

論文摘要內容：

物種的地理分布及棲地環境特色是制定有效野生動物保育計畫及經營管理所不可或缺的資訊。近年來電腦科技、遙測技術及地理資訊系統的發展，對於物種分布範圍、影響因素、棲地利用等研究之效率得到提升。本研究旨在藉由痕跡調查法瞭解目前未知是否有臺灣黑熊 (*Ursus thibetanus formosanus*) 出現之區域，瞭解其野外的分布及相關環境。利用黑熊有/無之空間資料，以 Maxent 與二元邏輯迴歸建構臺灣黑熊預測模式，瞭解及釐清黑熊於不同年代之地理分布和棲地選擇的變化，以及探討影響分布的重要因素。

2007 年 3 月至 2009 年 5 月進行野外黑熊穿越帶痕跡調查，20 個區域共發現 236 筆熊痕跡，以爪痕最常見(71.2%)，排遺次之(16%)。各區域痕跡密度為 0-3.8/ha 不等，整體平均值為 0.7/ha，或遭遇率為 0.42/km。本痕跡調查結果與國外研究相較，均有偏低的情況。

利用本研究所收集的野外黑熊痕跡點位資料，以及歷年文獻訪談黑熊資料庫 (黃美秀等，2010)，經篩選後共計有熊點位 1,017 筆，

野外資料占 12%。除 2 筆年代不明資料外，第一時期(1990-1999 年) 和第二時期(2000-2010 年) 分別有 300 筆、715 筆有熊點位。Maxent 所建構的二元性預測分布圖顯示，第一時期和第二時期分別為 5,853 km² 和 8,588 km²，為臺灣本島面積的 15.9% 和 23.3%。分布範圍主要位於中央山脈，海岸山脈只有極少且零星之區塊。黑熊在兩時期間對各項環境因素之選擇偏好的梯度大致上類似。相較於第一期的預測分布圖，黑熊於後期除了在中部丹大野生動物重要棲息環境一帶的範圍較小且零碎化之外，其他地區的分布似乎有擴張之趨勢。

利用原住民訪談、文獻資料、野外黑熊痕跡調查三類資料來源篩選出 470 筆無熊網格。邏輯迴歸以海拔、道路密度、距道路之最近距離、距國家公園之最近距離、坡度五個因素為最佳模式。預測圖顯示黑熊集中分布於三個高山型國家公園及其鄰近區域，然 Hosmer-Lemeshow 擬合優度指標顯示最佳模式的五個環境變因並無法有效的預測黑熊的分布有無，推測主要可能因無熊偏差或尚未考量到的其他環境因素所致。

本研究顯示除了海拔之外，道路、距國家公園遠近等人為活動相關因子是影響黑熊分布的重要因素。根據野外調查紀錄和預測模式分布圖的結果，本研究建議北部的雪霸-太魯閣國家公園，以及南部的玉山國家公園和關山野生動物重要棲息地範圍為目前臺灣黑熊分布的重要熱點，並建議各區應該視族群狀況設立不同類型基準 (benchmark)，以進行有效的監測和經營管理。

關鍵詞：臺灣黑熊、分布、痕跡調查、Maxent、邏輯迴歸、棲地、有
-無出現

Abstract

Student ID: M9617018

Title of Thesis: The Relative Abundance and the Distribution Prediction
Models of Formosan Black Bears (*Ursus thibetanus*
formosanus)

Total Page: 115

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

Graduate Date: July 2011

Degree Conferred: Master

Name of Student: Shin-Chien Tsai

Adviser: Dr. Mei-Hsiu Hwang

Dr. Chaur-Tzuhu Chen

The Contents of Abstract in This Thesis:

Geographic distribution and habitat use of animals are essential information for wildlife conservation and management. Due to the recently rapid development of computer, GIS (Geography Information Systems) and remote sensing techniques, the power and efficiency of studies in species distribution and habitat evaluation has been greatly improved. The study objective was to investigate the distribution status and habitat characteristics of the locally endangered Formosan black bear (*Ursus thibetanus formosanus*) through sign surveys. Maxent and logistic regression models were also applied by using presence/absence data to establish the distribution prediction models of different time periods.

Country-wide sign surveys were conducted in 20 survey areas from Mar 2007 to May 2009. Bear claw marks were most frequently founded (71.2%, n=236), and then scats (16 %). The sign densities varied by areas and ranged from 0 to 3.8/ha, with an overall average of 0.7/ha or an encounter rate of 0.42/km. Compared to the data of related studies in other bear countries, this study seemed to have a relatively low bear

density.

Among 1,017 presence locations, mainly based on the literatures (Hwang et al., 2010), the sign survey accounted for 12%. After excluding 2 locations with unknown dates, the data were divided into two period: the first period (1990-1999, n=300) and the second period (2000-2010, n=715). The Maxent prediction model showed that the distribution range covered 5,853 km² and 8,588 km² (i.e., 15.9% and 23.3% of the island area) for the first and second period, respectively. Both ranges were mainly located in Central mountain range, but with extremely small and fragmented patch in the Coastal mountain range. The habitat selection of bears revealed a similar pattern between both periods. Moreover, compared to the bear range in the first period, the distribution range seemed to expand in the second period, except for the Danda Major Wildlife Habitat area.

Through three data sources, including local interviews, paper reviews and sign survey, 470 absence grids were selected. The best-fitted logistic regression model included 5 factors of elevation, road density, distance to the nearest road, distance to the nearest national park and aspect. Although the prediction map showed that bears concentrated in three mountainous national parks, the Hosmer-Lemeshow index indicated a low prediction power of the model. It may be related to the precision of absence data and other variables which was not applied for simulations.

The result indicated that elevation, road density, distance to the nearest road and distance to the nearest national park were important variables for bear distribution. According to field sign surveys and prediction models, the study suggested that the Sheipa and Taroko National Parks, and Yushan National Park and Guanshan Wildlife Habitat were potential hot spots of bear habitats in the northern and southern Taiwan, respectively. The study further suggested that different types of benchmark should be applied in different areas while local population

status and threats were considered in order to enhance effective monitoring and management.

Keywords: *Ursus thibetanus formosanus*, distribution, sign survey, Maxent, logistic regression, habitat, presence-absence

謝誌

終於來到這個寫謝誌的時間，實在是太多感謝不知從何開始。

感謝我的指導教授黃美秀老師，真的是一個很棒的老師，教導我觀察辨認野外的動植物，讓我學習到做科學、保育的嚴謹與熱誠，還有許多作人做事道理。感謝共同指導教授陳朝圳老師，感謝口試委員李培芬對論文的修改及建議。感謝所有所上的老師—孫元勳老師、蘇秀慧老師、翁國經老師、裴家騏老師，在課堂上的認真教學，還有一起在球場上的熱血歡熱時光。

感謝一起在山上探險找熊的夥伴—鰻魚(曼儀)、郭熊(彥仁)、阿德(書德)、阿輝(廷輝)，謝謝你們在山上的照顧及幫忙，一起分享山林裡的美好。感謝曾經幫忙調查的志工總結、秀雲、純宇、智凱、欽源、正忠，以及曾經帶領我們上山 Ebi 和 Hadu 大哥。

感謝部落裡願意接受訪談每位受訪者，以及提供黑熊出沒資訊的大家，以及願意大方提供分享相機資料的老師們，包括王穎、裴家騏、陳美汀、姜博仁、賴玉菁、陳世儒、吳海音、蘇秀慧、楊國禎、李玲玲、林宗以、林良恭、毛俊傑、陳子英、許丁水、余啟瑞、翁國精及台東林管處黃志堅先生等人，沒有你們提供的資訊，我也無法完成這個論文。

感謝丁宗蘇老師、姜博仁博士在 Model、GIS 上的解答及建議。感謝森林系的魏董、瀨予、小龜在 GIS 和圖層資料上的耐心教學及幫忙。感謝怡良在 Maxent、GIS 的教學、一起討論我的論文，還有元氣十足的打氣鼓舞。感謝林試所嘉君、台大政道對 Maxent 操作上的細心教學、耐心的回覆我的問題。感謝日本的 Tomoko Doko、中國的劉芳熱心回答在 e-mail 回答我對模式及 paper 不解的問題以及建議。

感謝熊窟的學長姊學弟妹，感謝阿仁學姐不時被我打擾詢問 GIS 相關的問題；感謝阿布，常熱心的回答我各式各樣的問題，一起討論 paper；感謝容安，常像天使一般的幫忙我，和我分享生活上的事物；

感謝怡如學姐、羽珊、亞萱、小葉、阿助、昇衛、嘉孜、庭妮的幫忙及打氣，和一起在熊窟奮鬥的日子。感謝熊窟的行政助理—沙沙、慧旻、湘羚協助申請計畫和核銷帳目。感謝所辦小姐家菱、鄒筠的各式事情的幫忙。感謝婉琪幫忙校正修改論文內容，有你真好。感謝羚雅幫忙製作目錄。感謝小青、碩軒、敬勛、佳家、博文、書維、承寧、光輔等一起互相鼓勵的好同學們。感謝小花、亞倫、小葳等人亦耐心聽我的試報並給予意見。感謝以下這些非人類的小天使的陪伴，最棒的蘇可、MOMO、員外、Vali、Weily、Coby、Silu、笨狗、Sunday。

感謝爸爸和媽媽，以及親愛的家人，對我的關心鼓勵包容我。

目錄

摘要.....	I
Abstract.....	III
目錄.....	VIII
壹、前言.....	1
貳、材料與方法.....	6
一、野外臺灣黑熊分布調查.....	6
二、環境變因圖層之選擇.....	8
三、國有林植被類型及森林覆蓋度之分析.....	11
四、黑熊分布預測模式.....	11
五、資料分析及棲地選擇.....	18
參、結果.....	20
一、野外黑熊痕跡調查結果.....	20
二、臺灣黑熊 Maxent 預測分布模式.....	22
三、臺灣黑熊預測模式—二元邏輯迴歸.....	30
肆、討論.....	34
一、野外黑熊痕跡調查.....	34
二、環境因素.....	38
三、臺灣黑熊 Maxent 模式預測分布.....	42
四、二元邏輯迴歸預測模式.....	44
五、臺灣黑熊分布的變化.....	46
伍、結論.....	48
參考文獻.....	49
附錄 1、本研究道路圖層(資料來源：PaPaGo Map) 中未放入計算之 道路及其狀況.....	105
附錄 2、本研究道路圖層之分布圖。黃色為納入圖層計算之道路，紅 色則是未放入計算之道路.....	107
附錄 3、本研究圖層中央山脈保護區系統所涵蓋的各保護區名稱(由北	

至南排列)、面積和成立時間	108
附錄 4、本研究的無熊資料依據過去自動相機系統的調查資料庫，除了 在玉山國家公園東部園區以外之地區，利用自動相機調查動物 相且期間超過半年之調查研究	110
附錄 5、文獻回顧利用熊類痕跡調查之相關研究及結果	113
附錄 6、文獻回顧有關影響熊類分布、棲地利用之環境因素的研究	114
作者簡介.....	115

圖表目錄

圖 1、Maxent 預測分布模式流程圖	63
圖 2、未經篩選之無熊網格與全部有熊點位的緩衝區重疊狀況之分布圖	64
圖 3、以二元邏輯回歸方法利用有/無熊資料預測分布流程圖	65
圖 4、野外臺灣黑熊痕跡調查之路線（中北部）	66
圖 5、野外穿越樣帶及有熊痕跡樣帶於各海拔梯度之分布狀況。 ..	68
圖 6、野外穿越線帶及有熊痕跡樣帶於各植被類型之分布狀況	69
圖 7、第一時期與第二時期發現有熊格之分布狀況	70
圖 8、Maxent 第一、二時預測模式之受方操作曲線	71
圖 9、拆刀分析法分析第二時期 Maxent 模式中各變數之單一獲益和損失關係與驗證獲益、AUC 之關係	72
圖 10、利用拆刀分析法分析第一時期 Maxent 模式中各變數之單一獲益和損失關係與驗證獲益、AUC 之關係	73
圖 11、Maxent 模式中第二時期黑熊預測分布機率與各項環境變因之關係反應曲線圖	74
圖 12、Maxent 模式中第一時期黑熊預測分布機率與各項環境變因之關係反應曲線圖	75
圖 13、利用 2000-2010 年間之有熊資料，Maxent 模式所預測之黑熊分布機率圖。分布機率值（logistic）由低至高以暖色系至冷色系依序代表。	76
圖 14、1990-1999 年間之有熊資料，Maxent 模式所預測之黑熊分布機率圖	77
圖 15、將 1990-1999 及 2000-2010 年間之有熊資料合併，Maxent 模式所預測之黑熊分布機率圖	78
圖 16、Maxent 模式預測第一、二時期臺灣黑熊的地理分布圖	79
圖 17、Maxent 模式預測合併兩時期臺灣黑熊的地理分布圖	80
圖 18、研究樣區與 Maxent 第一時期與第二時期預測有熊格之海拔分布百分比，以及臺灣黑熊之選擇指數	81

圖 19、研究樣區與 Maxent 第一時期與第二時期預測有熊格之坡度分布百分比	82
圖 20、研究樣區與 Maxent 第一時期與第二時期預測有熊格之 NDVI 分布百分比比例，以及臺灣黑熊之選擇指數	83
圖 21、研究樣區與 Maxent 第一時期與第二時期預測之有熊格於國有林內不同植被類型的分布百分比比例，以及臺灣黑熊之選擇指數	84
圖 22、研究樣區與 Maxent 第一時期與第二時期預測有熊格於國有林內不同森林覆蓋度的分布百分比比例，及臺灣黑熊之選擇指數	85
圖 23、研究樣區與 Maxent 第一時期與第二時期預測有熊格之道路距離分布百分比，以及臺灣黑熊之選擇指數	86
圖 24、研究樣區與 Maxent 第一時期與第二時期預測有熊格之道路密度分布百分比，以及臺灣黑熊之選擇指數	87
圖 25、研究樣區與 Maxent 第一時期與第二時期預測有熊格之離國家公園之最近距離分布百分比，以及臺灣黑熊之選擇指數	88
圖 26、2000-2010 年間有熊紀錄之網格及無熊網格之分布圖	89
圖 27、邏輯回歸模式的預測正確率與預測黑熊出現之閾值的關係圖	90
圖 28、二元邏輯迴歸所預測之黑熊分布圖	91
圖 29、利用 2000-2010 年之有熊及無熊資料，邏輯回歸模式預測臺灣黑熊的機率分布圖。	92
表 1、臺灣黑熊預測分布模式所利用的各項環境變因圖層說明	93
表 2、黑熊分布預測模式所應用的各項環境因素間相關性檢定分析	94
表 3、野外臺灣黑熊分布由北至南之調查區域	95
表 4、野外臺灣黑熊痕跡於各調查區域所發現之痕跡類型、數量 ..	96
表 5、野外臺灣黑熊痕跡穿越線調查結果，以及熊痕跡分布所對應的網格	97

表 6、所有臺灣黑熊點位及所對應的網格紀錄於第一時期和第二時期之分布情況	98
表 7、有熊網格於第一時期與第二時期各項環境因子之比較	99
表 8、利用 Maxent 預測模式第一時期與第二時期預測有熊格各項環境因素之平均及比較	100
表 9、第二時期無熊格及有熊格及各項環境因子之比較	101
表 10、有/無熊資料及 8 項環境變因所建構之二元邏輯回歸模 AIC 值	102
表 11、邏輯回歸模式預測臺灣本島黑熊出現模式對環境因子的參數估計	103
表 12、邏輯回歸模式所預測的有熊格之各項環境因子分析結果 ..	104

壹、前言

20 世紀以來，人類經濟快速的發展，導致了棲地品質惡化 (degradation)、棲地喪失、破碎化 (Groom et al., 2006)。Morrison et al.,(2007)指出現今擁有完整的動物群的區域為西元 1500 年的 21 %，陸生大型哺乳動物分布範圍大大的縮減，因此了解物種分布的範圍以及牠們對棲地的選擇與需求，在保育計畫或經營管理上是重要且基礎的資訊 (Unger et al., 2008)。此資訊對於建立適當的保護區，或確認物種的保育狀況也是不可或缺的 (Pearce and Boyce, 2006; Baldwin, 2009)。

大型食肉目動物在許多生態系系統中扮演重要的角色，常影響獵物的行為、分布和族群數量，間接影響了生態系的構造和功能。由於大型食肉目動物通常活動範圍較廣大、位於營養階層上方、對於棲地品質惡化、棲地喪失、破碎化所受影響較敏感。在保護生物多樣性上，大型食肉目常扮演庇護物種 (umbrella species) 或是旗艦物種 (flagship species) 的角色 (Galetti et al., 2009)。由於大型哺乳動物易受危而有滅絕風險，評估大型食肉目的分布狀況，則成為一種可以評估人類對環境影響程度的方法 (Morrison et al., 2007)。

亞洲黑熊 (*Ursus thibetanus*) 為一森林性的食肉目動物，廣泛分布於亞洲 18 個國家，但普遍都面臨棲地減少、破碎化、熊產製品的商業買賣 (如熊膽、熊掌等)、盜獵、人熊衝突等問題 (Garshelis and Steinmetz, 2008)。臺灣黑熊 (*Ursus thibetanus formosanus*) 為亞洲黑熊的亞種之一 (Nowak, 1991)，在 IUCN 紅皮書上列為易受危物種 (vulnerable species) (IUCN, 2009)，臺灣野生動物保育法中列為瀕臨絕種之等級。

臺灣黑熊為臺灣唯一的大型食肉目動物，活動範圍廣大 (27-202 km²)，雜食性之機會主義者，隨食物資源可得性的變動而有季節性移動，跨越不同海拔梯度及棲地類型 (Hwang, 2003; Hwang et al., 2010)。它的分布範圍變化可以反映人類對生態環境的影響 (Liu et al., 2009)，

保護像此類的庇護物種之棲地，可以有效地保護生物多樣性，作為生態經營管理的一個途徑 (Simberloff, 1998)。因此，所以瞭解這些動物的地理分布變化及對環境因素的偏好，為目前保育研究課題的優先。

有關臺灣黑熊的分布研究早期始於王穎於 1988-1993 年間，以問卷及訪談方式，對山產業者、原住民、登山社團與林業工作者進行調查 (王穎等, 1990; 王穎等, 1991; 王穎等, 1992; 王穎等, 1993)，另外在北插天山、塔曼山、啞口和郡大林道設置引誘站 (但皆無發現黑熊之跡象)，結果顯示黑熊出現記錄集中於中央山脈和雪山山脈，主要分布海拔為 1,000-2,000 m (32%)、2,000-3,000 m (38%)。分布範圍從北至南為拉拉山區、雪霸國家公園、太魯閣國家公園、玉山國家公園、雙鬼湖、霧鹿地區和大武山自然保留區。該研究者於 1999-2000 年再度以問卷及訪談的方式調查 (王穎, 1999; 王穎, 2000)，另外在臺東縣海端鄉霧鹿地區及新竹縣尖石鄉進行黑熊的捕抓，結果與前期分布範圍大致相同。前述研究雖皆粗略地勾勒出黑熊大致分布範圍，然而除了這些訪談資料時間久遠、或時間不明確，也受限於取樣不均，樣本數小 (1988-2000 年, $n = 238$)。出現資料會受限於訪談之區域，及訪談對象之活動區域，而未能完整呈現黑熊全島分布範圍狀況。

黃美秀於 2006 年系統性地收集 1991-2006 年間相關的文獻研究報告、林務局訪談、原住民部落訪查及問卷 (黃美秀等, 2006; 黃美秀等, 2008; 黃美秀等, 2010)，後文統一稱為黑熊訪查文獻資料庫。文獻研究來源為收集國內動物調查相關的研究報告，搜尋其中有發現臺灣黑熊的紀錄，包括目擊、痕跡、自動照相機記錄、無線電追蹤等資料等。林務局訪談包含第一階段寄送「國有林臺灣黑熊現況調查」問卷至八個林區管理處 (羅東、新竹、東勢、南投、嘉義、屏東、臺東、花蓮) 與其轄區內的 34 個工作站。第二階段在全臺灣林管處或工作站舉辦「臺灣黑熊生態及保育全省巡迴座談會」。訪談曾發現臺灣黑熊或其痕跡之林務工作人員。問卷為研究者所設計之「發現黑熊

問卷」，郵寄至相關政府單位（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。另外也將問卷在網路上呈現，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。原住民部落訪查為尋找靠山區或是黑熊分布資訊不明之附近部落，尋找時常在山區活動、或曾有長期山林經驗的居民進行訪談。

此系列研究收集了 895 筆黑熊點位資料，分布大致也以中央山脈為主，北從插天山區至南邊大武山區，海岸山脈有少許零星分布。利用收集點位資料來探討大型、稀有、隱密物種的分布是有其盲點及困難的，點位資料可能只能大略勾勒出物種的分布範圍 (Extent)，但無法了解實際上物種分布 (占據/occupancy) 的情況。雖然此研究有熊資料部分來自野外研究，但大多不是針對黑熊的研究，臺灣中央山脈依舊有許多大範圍區域對是否有黑熊活動是未知的。有許多研究應用痕跡調查法，調查如熊類生性隱密、活動力強之物種，(Augeri, 2005; Steinmetz, 2009)。直至 2006 年，首度有詳細黑熊分布預測圖之研究 (吳伊仁, 2007)，利用 GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Prediction) 來預測全臺灣之黑熊分布。

傳統的調查物種分布方式常受環境、人力、物力、財力、時間上的限制，難以在短時間內系統性地完成物種大範圍分布的野外調查，呈現動物完整的地理分布情況。物種分布模式 (Species Distribution Model) 為利用統計方法或是電腦演算法，計算物種分布的點位與其環境因子之間的關係，再將此關聯性投射於地表。由於對生物多樣性地理分布資訊的需求，以及遙測資訊 (Remote Sensing)、全球定位系統 (Global Positional System)、地理資訊系統 (Geographic Information Systems) 和統計方法等技術的發展，物種分布模式在近十年來迅速的發展及應用 (McPherson et al., 2004; Franklin and Miller, 2010)。結合上述技術，以重要的環境因素建立野生動物的棲息地模式，預測物種在尚未調查地區的可能分布情形；此法不僅可彌補利用發現動物地點所繪製的點圖 (Dot map) 的保守推論 (Skov, 2000)，也能及時提

供與規劃保育策略的重要資訊 (Guisan and Zimmermann, 2000; Kobler and Adamic, 2000; Guisan and Thuiller, 2005; Pearson et al., 2006; Ratnayake et al., 2007)。用這種方法調查野生動物的分布尤其適用於大型、分布範圍較廣，具有領域性的動物 (MacKenzie, 2005)。

分布模式可以幫助我們了解物種與環境之間的關係，更可以藉由描繪出分布地圖可以幫助目標物種的野外調查 (DeMatteo and Loiselle, 2008)、保護區的設計 (Doko et al., 2011)、瞭解在保護區外圍的野生動物經營管理 (Cuesta et al., 2003; Liu et al., 2009)、以及人與野生動物衝突的調解準則 (Nielsen et al., 2004; Honda et al., 2009)。預測分布模式也應用在監測物種衰退的情況 (Peterson et al., 2006)，預測復原物種的分布擴張範圍、不同時間尺度下土地利用的改變、或氣候變遷對物種分布變化 (Mattson and Merrill, 2002; Iloldi-Rangel et al., 2004; Tuanmu et al., 2011)；另用於評估物種長期出現於此區域考慮是否保護、辨認合適再引入 (reintroduction)、再轉移 (translocation) 的區域、族群存續力分析 (population viability analysis, PVA) 等。

物種分布模式大致可分為 2 類，分別為：(1) 有 (presence)；(2) 有/無 (presence/absence)。只需物種出現之模式，適用隱蔽、密度低之稀有物種，出現資料可藉由野外調查和其他如訪談等方式獲得，而不出現的資料很難獲得，沒有發現物種在某一區域之活動跡象，並無法輕易確認此區域是否沒有此物種出現 (Vina et al., 2010)。因此，近年來只需物種出現資料之模式迅速發展，如 Maxent (Maximum entropy, 最大熵演算法)。通常只需物種出現資料的模式常會有較高的超算 (commission) 情形 (Elith and J, 2009)，而 Maxent 該模式具有穩健性 (robustness) 之特色，且藉由正則化 (regularization) 的步驟，限制過度配適的情況發生 (Phillips et al., 2006; Phillips and Dudík, 2008)。Maxent 模式利用 Jackknife 法檢視環境因素之重要性，並利用 ROC 曲線 (receiver-operating characteristic curve) 對 Maxent 模式的品質做評估。

需要有/無 (presence/absence) 資料的模式包含有邏輯迴歸 (logistic

regression)、判別分析 (discriminant function analysis)、多元自適應回歸樣條 (multivariate adaptive regression splines)、分類回歸樹 (classification and regression trees) 等方法，其中二元邏輯迴歸已被廣泛應用於各種瀕危物種的分布預測及棲地利用 (Pyare and Berger, 2003; Liu et al., 2009)。相較於只需物種出現資料之模式，有/無資料的模式能夠計算目標物種與各環境變因之間的關係式，能夠較明確地釐清影響物種分布之重要因素。

本研究旨在 (1) 調查目前尚無臺灣黑熊出現記錄之區域，藉由痕跡調查法來瞭解臺灣黑熊在野外的分布狀況，以及其痕跡出現之微棲地屬性 (海拔與植被類型)；(2) 利用 Maxent 模式預測黑熊近年來地理分布狀況，並探討第一時期 (1990-1999 年) 與第二時期 (2000-2010 年) 的地理分布及棲地選擇是否有差異；(3) 利用野外實地痕跡調查和部落訪查結果，以及黑熊文獻資料庫，篩選出臺灣黑熊有/無出現的空間資料，以建立二元邏輯迴歸模式及預測其分布圖，並瞭解影響黑熊分布之重要環境因素。

貳、材料與方法

一、野外臺灣黑熊分布調查

(一) 調查地區之選擇

依據黃美秀等人(2006)利用最小凸多邊形法所繪製的黑熊分布範圍，做為野外痕跡調查樣區之選擇參考依據。樣區挑選條件為尚未有黑熊出沒之紀錄的 $4 \times 4 \text{ km}^2$ 網格範圍，且連續至少 4 個。

(二) 穿越線調查

野外黑熊痕跡穿越線調查時間從 2007 年 3 月至 2009 年 5 月。確定調查的路線除考量路線的可行性(水源、地形等因素)之外，以盡量能涵蓋越多及穿越沒有黑熊紀錄的網格($1 \times 1 \text{ km}$)為優先。沿行進路線，進行穿越線目擊及痕跡調查。除原走路線外，考量某些路線有人為干擾會造成動物的迴避現象影響調查結果，事先規劃路線時會在地圖上尋找會尋找適當區域岔出進行調查。利用 GPS (Global Position System) 測量行進調查距離，穿越線以左、右各 3 m，長度 500 m 為一記錄單位。考量光線影響視線可及範圍，調查時間約於早晨天亮 6-7 點開始，至下午 4-5 點。

調查人員約 3-5 名，由於在山野間路徑有時不明顯或是根本沒路，地勢崎嶇稜線變化，需要有人導領行進方向，故在首位之人員通常負責找路帶路，以及觀測前方動物出沒情形，其餘人員則調查左右 3 m 內的黑熊痕跡，及紀錄海拔、植被類型。植被分為原始林(闊葉林、針葉林、針闊葉混生林)、人造林、次生林、草地等環境條件。發現黑熊痕跡皆以 GPS (GARMIN 60CSx) 記錄其點位座標 (TWD67 系統)。痕跡密度為痕跡數量除以穿越線面積。計算方法是將穿越線公里長度乘以穿越線寬度 (0.006 km) 再乘以 100 換算成公頃。

(三) 黑熊痕跡

1. 爪痕

黑熊擅長爬樹，上下樹會留下爪痕。上樹時，爪子尖端會在樹幹上留下三角形的摳痕，或是 3-5 道平行寬的爪痕（寬約 5-15 cm）。爪痕停留的時間依黑熊體型大小、氣候、樹種成長速率、樹皮特性等因素而有所不同（劉芳，2009）。東南亞有研究亞洲黑熊爪痕消失依不同樹種而異，需要 1 至 5 年以上的時間（Steinmetz, 2009）；在臺灣超過 5 年以內仍可辨識（黃美秀，私人觀察）。因此發現熊爪是可以確定近年內此區域有黑熊活動。

2. 折枝/取食平臺

黑熊在樹上覓食時，會將樹枝折斷，有時會將樹枝摺成一鳥巢狀的平臺，直徑約 1-2 m 以上，可維持 1-3 年（Hwang, 2003）。

3. 排遺

黑熊排遺外型一般成條狀，有時較稀則呈一灘，內含物和顏色會依進食食物種類不同而異。排遺內常會出現堅果外殼、漿果種子或動物的毛髮和骨片。排遺一般保存不超過 3 個月，然乾燥環境的少數排遺可以存留 1 年之久（私人觀察）。

4. 腳印

黑熊為蹠行性動物，前後掌皆為 5 趾，通常在河床地或是潮濕泥地時才能留下可辨識的腳掌印，約一個成人手掌般大小。

5. 食痕

常見食痕包括木頭或是蜂窩被扒開的痕跡，獵物屍骸骨頭上有咬痕或啃斷之痕跡，以及熊嘔吐物。

6. 熊窩

臺灣黑熊為目前唯一紀錄到會築熊窩的熊科動物，外觀呈碗形，築巢材料通常為芒草和小樹枝編摺而成（Hwang, 2003）。

二、環境變因圖層之選擇

野生動物棲地為能夠提升個體（或族群）佔據，及允許這些個體得以存活和繁殖的一個綜合自然資源（如食物、水、鬱蔽處）與環境（如溫度、雨量、有無捕食者或競爭者）的區域(Morrison *et al.*, 1998)。回顧熊類生態、分布預測模式等相關研究文獻，以及考量臺灣相關環境圖層的可得性，本研究選出 3 大類 9 種可能影響黑熊分布之因素。

（一）地理因素：海拔、坡度。（二）氣候與植被因素：年均溫、一月年均溫、年平均雨量和植生指標（Normalized Difference Vegetation Index, NDVI）。（三）非自然因素：道路密度、離道路最近之距離、離國家公園之最近距離（表 1）。圖層以臺灣地理人文全覽圖（上河文化有限股份公司，2002）之網格為基礎，圖層解析度為 $1 \times 1 \text{ km}^2$ 。扣除離島部分，臺灣全島共有 36,894 個 $1 \times 1 \text{ km}^2$ 網格。

（一）地理因素

1. 海拔

海拔圖層乃根據行政院農委會林務局農林航空測量所出版，解析度 $40 \text{ m} \times 40 \text{ m}$ 的數值地形模型（Digital Terrain Model, DTM），利用 ArcGIS 將網格重新解析成 $1 \times 1 \text{ km}^2$ ，再以 extract by values 功能萃取每網格之平均海拔，此圖層範圍從 0 到 3,640 m，平均為 774.5 m。

2. 坡度

坡度代表地形平緩陡峭程度，除了可能影響植物分布之外，也影響動物的活動性，此圖層則利用上述所得重新解析的海拔圖層，以 ArcGIS 中 Spatial Analyst/slope 之功能轉換出坡度圖，再以 extract by values 功能萃取每網格之平均坡度，此圖層範圍從 0 到 51 度，平均為 20.6 度。

（二）氣候及植被因素

1. 年均溫、一月均溫及雨量

氣象資料來自政府間氣候變化專門委員會（intergovernmental

panel on climate change, IPCC) 之網站 (http://ipcc-data.org/sres/gcm_data.html)。下載資料為 asc 檔，以 ArcGIS/asc to raster 轉換成網格資料，再以 Spatial Analyst/raster calculator 計算 20 年(1990-2009 年) 年均溫及年累積雨量平均。年均溫圖層為每日平均溫度，範圍從 4 至 25°C，平均為 19.5°C。一月年均溫為一月之平均溫度，範圍從-2 至 21°C，平均為 13.9°C。年雨量的範圍從 935 至 6,713 mm，平均為 2,352 mm。

2. 植被指數因子採用植生指標 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)

NDVI 圖層資料取自美國地質調查所 (USGS) 的網站 (https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/get_data)，由地球觀測衛系統 (earth observing system, EOS) 上的中解析度成像光譜儀 (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS) 所取得。NDVI 基本的計算原則是植物葉綠素對不同光譜波長的反射值不同而來，範圍在 1 至-1 之間。本研究處理了 2000 年與 2009 年之 NDVI 值，來代表 1990-1999 年和 2000-2010 年兩個時期。MODIS 由 2000 年 2 月開始拍攝，但該月影像在花東上空有雲層覆蓋，導致 NDVI 值計算誤差大，故 2000 年 NDVI 值計算從該年 3 月至 2001 年 2 月之平均值。以 2009 年之 NDVI 代表 2000-2009 年間植被指數的變化程度。

NDVI 原始資料經過 MRT 與 EARDAS 軟體，校正資料之地理位置及切出臺灣本島範圍，轉換成網格資料格式，再利用 ArcGIS 計算並萃取每網格之 NDVI 數值，將 12 個月份加總並平均，資料解析度為 1 km。2000 年 NDVI 值範圍從-0.3 至 0.92，平均為 0.71。2009 年 NDVI 值範圍從-0.3 至 0.91，平均為 0.69。

(三) 非自然因素

人為活動所造成的棲地喪失、棲地惡化和破碎化是目前對野生動物主要威脅之一 (Groom et al., 2006)。道路系統可能造成野生動物移

動或族群間流通的一個阻隔 (Peralvo et al., 2005)，也提供了人類進入活動的一個機會，包括了狩獵。因此利用道路密度及離道路之最近距離此兩種因素，程度上代表區域的經濟開發程度，及人為活動在空間上的干擾程度。道路圖層來源為勤威科技有限股份公司之行動商務電子地圖 (PaPaGo Map)，包含國道、省道、縣道以及一般道路。由於該圖層資料庫中包含一般道路亦包含了產業道路、林道、健行步行道路 (例如清代八通關古道) 和無名小路，故計算圖層前則先剔除了中央山脈區域中一些只能步行的道路或林道 (例如清代八通關古道、小鬼湖林道)，或是一般民眾無法開車進入之管制道路 (例如棲蘭 160 林道)，避免將這些較無實質阻隔效果的道路納入計算 (附錄 1、2)。

1. 道路密度

道路密度 (km/km^2) 與人為開發程度有關，並且可能影響人對該地區的可及度。利用 ArcGIS/intersect 及 dissolve 之功能，計算出每 1 km^2 網格內道路之長度，圖層範圍從 0 至 $17 \text{ km}/\text{km}^2$ ，平均為 $4 \text{ km}/\text{km}^2$ 。

2. 離道路最近之距離

為進一步釐清人為干擾在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，再計算全臺 $1 \times 1 \text{ km}^2$ 的網格中心座標與其最近距離，範圍從 0 至 17 km，平均 1.5 km。

3. 離國家公園之最近距離

雪霸、太魯閣和玉山國家公園為早期台灣黑熊分布集中的主要區域之一 (Wang 1999)。為釐清保護區系統對於黑熊分布之影響，考量目前國內保護區系統中每一國家公園皆經營管理單位，其他保護區成立時間不一及實際管理情況常有因地而異的情況 (附錄 3)，故暫只將國家公園納入考量。本研究並剔除陽明山、墾丁等低海拔、近海濱確定無熊分布之國家公園。之後再計算全臺每一網格之中心座標至三個高山型國家公園邊界之最近距離。圖層範圍從 0 至 147 km，平均

為 38 km。

三、國有林植被類型及森林覆蓋度之分析

為進一步瞭解臺灣黑熊對不同植被類型及森林覆蓋度的利用程度，依據傳統植被帶之分類系統 (Su., 1984) 和研究者在野外所觀察之植被情況，將臺灣現生天然植群圖 (邱祈榮, 2010) 中 39 類植被群系 (Formation) 重新分類，共 10 類：(1) 針葉樹林、(2) 針闊葉混淆林、(3) 山地闊葉林、(4) 下部山地闊葉林、(5) 竹林、(6) 灌叢與草地、(7) 裸露地與碎石坡、(8) 人工林、(9) 耕地和建地、(10) 水域。國有林面積須佔每一網格 (1 km^2) 50% 面積以上才納入分析，定義出國有林面積共 $19,271 \text{ km}^2$ 。此植群圖僅限於國有林的分布範圍。本研究計算國有林涵蓋範圍，面積需佔每一網格 (1 km^2) 50% 的面積以上才納入分析，故定義出國有林面積 (網格) 共 $19,271 \text{ km}^2$ 。

由於網格內可能同時覆蓋多種植被類型，故將每一網格內面積最多之植被類型作為該網格之植被類型代表。將 10 類植被類型進一步分類為三種地景類型，(1) ~ (5) 定義為森林類型，約 $12,377 \text{ km}^2$ ；(6) ~ (8) 和 (10) 定義為非森林野地類型，約 $3,420 \text{ km}^2$ 。其中 (4) 下部山地闊葉林部分群系歸類為森林類型，例如低地常綠闊葉林，部分歸類為非森林野地類型，如下部山地-低地岩壁及碎石坡植群。(9) 耕地與建地則為人為環境類型，約 348 km^2 。計算各網格內各植被類型之地景類型所占面積，再除以該網格面積，得到每一網格三種地景類型之百分比，森林類型之百分比即為本研究要分析之森林覆蓋度。

四、黑熊分布預測模式

本研究利用 Maxent 與二元邏輯迴歸 (Binary logistic regression) 兩種方法進行臺灣黑熊之分布預測。前者為套裝軟體，只需有熊資料就可進行預測，後者為一統計方法，需要有/無熊資料。以黑熊有無出現為依變數，以各個環境因子為自變數。後續內文中統一將實際發現熊出現之網格稱為“有熊格”，利用模式預測出有熊分布的網格則

稱為「預測有熊格」。進行模式預測前，分析環境因素間的相關係數（表 2），其中一月年均溫及年均溫，此兩項因素與海拔的相關係數皆大於 0.8，為降低環境因子間高度相關所造成的多元共線性（王濟川、郭志剛，2005），將一月年均溫及年均溫兩項因素去除。

（一）黑熊有熊（presence）紀錄資料庫

1. 有熊資料庫來源

合併野外痕跡調查資料與前人研究中相關的黑熊出沒資料，即為『發現臺灣黑熊』問卷、林務局座談會、原住民部落訪談與文獻資料（黃美秀等，2006；黃美秀等，2008；黃美秀等，2010），後文統一稱為「黑熊訪查文獻資料庫」。

2. 資料整合及轉換

全部有熊資料統一以 TWD67 座標系統呈現。利 GIS(ArcGIS 9.3) 將有熊點位對應到相對 $1 \times 1 \text{ km}^2$ 網格上，因以網格為樣本單位只需有無資料，若有多個點位對應至同一網格，則以單一筆網格資料納入後續分析。若點位解析度只能到 $4 \times 4 \text{ km}$ 範圍內（例如訪談者只能大概指出熊出現區域），統一以 $4 \times 4 \text{ km}$ 範圍內網格編號最小之 $1 \times 1 \text{ km}$ 網格為代表。為避免重覆取樣，野外穿越線調查之痕跡若為新舊程度相當，且同位於半徑 5 m 內者，疑似為同一個體所留，則於後續預測模式分析中合併為一筆獨立的黑熊分布資料。轉換成網格資料後以 selection by location 之功能，進行網格之環境圖層屬性萃取，建立每一筆有熊網格之環境屬性。

（二）Maxent

本研究同時使用以最大熵演算法為基礎的 Maxent 軟體（Maxent version 2.3.19）（來源網址：http://www.cs.princeton.edu/~schapire_/Maxent/）（Phillips et al., 2006），建立另一組的預測分布圖。Maxent 只需物種出現及環境因子的資料。Maxent 與邏輯迴歸的預測結果均

為機率值，此值介於 0-1 之間，可表示為棲地的適合度或物種的出現機率（Phillips *et al.*, 2006）。

本研究想利用 Maxent 瞭解黑熊於 20 年來分布範圍及棲地選擇是否有差異，遂將有熊資料分成兩個年代，第一時期（1990-1999 年）和第二時期（2000-2010 年）進行兩個年代的預測模式比較。

1. 建模過程

Maxent 建模過程中需要建立預測模式的訓練資料（train data），以及評估模式表現能力的驗證資料（test data）。有研究指出當預測因素大於 10 個時，理想狀況的訓練資料及驗證資料之比值應為 75：25（Huberty, 1994）。第二時期使用 2000-2010 年間的有熊資料，以實際野外黑熊痕跡調查作為驗證資料。考量學者建議之理想比值，遂再合併黑熊訪查文獻資料庫中資料類型較一致的研究文獻資料，由此兩項資料作為驗證資料。另外將黑熊訪查文獻資料庫中訪談、問卷和私人通訊（黃美秀等，2006；黃美秀等，2008；黃美秀等，2010）作為訓練資料，兩者資料量分別為 406 和 299（比值近乎 6：4）。第一時期使用 1990-1999 年的有熊資料缺乏實際野外調查資料，驗證資料則以歷年研究文獻資料中隨機挑選 30 % 有熊點位，其餘有熊點位皆為訓練資料（圖 1）。資料儲存格式皆為 csv（comma-separated value，逗點分隔格式）檔。

Maxent 設定主畫面中，samples 即為輸入驗證資料之欄位；另一邊為輸入環境因素圖層欄位，因素類型分為連續型（continuous）和類別型（categorical）兩類，圖層皆為 asc（American standard code for information interchange，美國信息互換標準代碼）檔案。勾選 create response curves、make pictures of predictions、Do jackknife to measure variable importance，輸出格式為 Logistic，輸出檔案類型為 asc 檔。設定（setting）子部分中的 test sample file 為輸入驗證資料，其他欄位皆保持原本設定。由於訓練資料以網格為單位，意即是出現在同 1 km² 網格的點位，Maxent 將其視為一筆資料，因故驗證資料必須先利

用 ArcGIS/select by location 之功能轉換成網格點位。最後，將 Maxent 原始輸出的 asc 檔，利用 GIS/Conversion Tools/asc to raster 之功能轉為網格資料，每個網格為呈現預測黑熊分布之機率值。

2. 模式評估

以受方操作曲線 (Receiver-Operating Characteristic Curve, 簡稱 ROC 曲線圖) 之曲線下方面積 (Area Under ROC Curve, AUC) 作為模式預測品質之驗證。AUC 值介於 0-1 之間，當值越接近 0.5 表示此模式越無法分辨出兩組資料的差別，一般認為 AUC 值大於 0.7 時模式已有可接受的預測品質，且值越接近 1 表示預測模式表現越好 (Fielding and Bell, 1997)。

3. 模式參數評估

為了評估建模使用的各變數對目標物種可能的影響程度，Maxent 可利用折刀分析法 (jackknife analysis)，藉由模式重複操作之過程，依次剔除單一環境變因，以及依次只採用單一變數，而其他變因皆維持在其平均值的情況，故對每一變數皆可獲得單獨採用該變數所得之單一獲益 (single gain)，以及模式不採用各該變數時之獨缺損失 (single loss，亦即納入所有變數之整體獲益 (regularized gain) 減去單獨不採用各該變數時之獲益)。獨佔獲益及獨缺損失可協助瞭解各個變數對模式整體運算結果所造成的影響。

(三) 無熊資料庫之來源及整合

無熊資料來自三個部分：野外黑熊痕跡調查、黑熊訪查文獻資料庫中的部落訪談，以及歷年自動相機研究相關文獻資料 (黃美秀等，2006；黃美秀等，2008；黃美秀等，2010) (附錄 4)。由於無熊資料來源使用不同的調查方法，來自部落訪談的無熊資料通常會是一整片連續的區域，自動相機則會呈現較分散的情況，野外痕跡調查則屬於較線狀的分布 (圖 2)。為了使取樣平均，不同來源的無熊資料處理程序分別如下：

1. 野外痕跡調查

(1) 將野外痕跡調查之穿越線航跡輸入 ArcGIS 中，對應出含蓋之穿越線 $1 \times 1 \text{ km}^2$ 網格。

(2) 考量黑熊的活動範圍，利用 ArcGIS/buuffer 之功能將全部有熊點位 ($n = 1,017$)，畫出半徑 4 km 的圓圈緩衝區。緩衝區與穿越線網格交疊若兩者重疊，視為潛在有熊活動範圍，則捨棄不放入無熊資料庫。

(3) 另外野外調查的偵測率會受許多因素所影響，如植被、不同人為干擾程度，進一步依據黃美秀等人 (2010) 所利用 PRESENCE 軟體計算的偵測率為 0.32，分析了各個野外調查網格的佔據率，評估每個網格受人為活動干擾的程度，將佔據率低於 0.15 的網格納入無熊資料庫。

2. 原住民部落訪談

(1) 訪談資料來自黑熊訪查文獻資料庫，訪談區域以靠山區的部落為主，共 66 個部落及 3 個林務局工作站。筆者一同實地參與 39 個部落的訪查工作。綜合該區域訪談者所認定沒有熊出沒之區域，若在山區內部落 (例如新竹司馬庫斯)，則以訪談者所認定無熊區為準，不再向外延伸。若部落位於山脈外圍區域，則判斷無熊區則以山脈走勢往山脈外側 (靠中央山脈為內側) 延伸 15-20 km，依不同區域形勢判斷。

(2) 再與全部有熊點位的緩衝區做交疊，刪除有重疊的訪談網格。無熊區域網格面積大於 10 km^2 ，為避免過度取樣及偏差，則隨機從 10 個網格取 1 個。不滿 10 km^2 之區域數量並不多，所以全數網格皆選取。

3. 文獻資料

(1) 從黑熊訪查文獻資料庫所蒐集的歷年 (1997-2010 年) 相關自動相機研究中，篩選原則是在樣區架設相機工作至少連續 5 個月，相機

臺數至少 10 臺。篩選出符合條件的相機點位，對應至 1x1 km² 網格。

(2) 與有熊點位之緩衝區做交疊，刪除重疊之網格。剩下之網格全為無熊網格。

(四) 二元邏輯迴歸 (Binary Logistic Regression)

1. 建模過程

利用統計軟體 SPSS 17.0 進行二元邏輯迴歸分析 (Binary Logistic Regression)。考量邏輯迴歸模式也需要的無熊資料之時間性關係，例如居民表示部落 5 km 內近年內都沒熊了，以前還有，後續邏輯迴歸預測模式只使用 2000-2010 年之有熊資料與無熊資料。使用 2000-2010 年之有熊網格與無熊網格 (圖 3)。首先將資料庫有/無熊網格及其環境屬性輸入 SPSS 內，分析選擇二元邏輯迴歸，將黑熊分布有無結果為依變數，有熊數值為 1，無熊數值為 0，各個環境因素為自變數。模式方法選擇 Enter，選項介面中，Statistic and Plots 部分勾選 Classification、Correlations of estimates、Casewise listing of residuals/all case、Hosmer-Lemeshow goodness-of-fit、Iteration history、Display/at each step；Probability for Stepwise 的部分設定為：Entry 為 0.05、Removal 為 0.05、Classification cutoff 為 0.5、Maximum iterations 為 20、勾選 Include constant in model。依序進行不同因素之組合。SPSS 輸出列表中會給予模型的 -2Log Likelihood 值。

2. 最佳模式之選擇

本研究利用 Akaike 訊息準則 (Akaike's information criterion, AIC) (Akaike, 1973) 來比較不同模式之優劣。計算出不同環境因素排列組合之 AIC 值。公式如下：

$$AIC = -2\text{Log Likelihood} + 2K$$

Log Likelihood 為模式所估計的最大似然值的自然對數，K 為當次模式中環境因素 (自變量) 的數量。AIC 值越小，代表模式擬合優

度越高。將全部不同因素組合的模式依照 AIC 值大小排序，計算每個模式的 AIC 值減最小 AIC 值之模式的差值，即得到 ΔAIC 。前人研究認為 $\Delta AIC < 2$ 的模型其優劣是相當的 (Burnham and Anderson, 2002)。故本研究以計算所有 $\Delta AIC < 2$ 的模式中各種環境因素出現的次數，以出現次數最多的環境變因當作最佳模式之組合，但該模式也必定須符合 $\Delta AIC < 2$ (Liu et al., 2009)。

3. 模式評估

邏輯迴歸模式預測能力的表現常用兩種的方法進行評估：(1) 擬合優度 (goodness of fit)，評估模式的預測值是否能與對應的觀測值有較高的一致性 (王濟川、郭志剛, 2004)，這裡以綜合性檢驗 (Omnibus test)、Cox&Snell R^2 、Nagelkerke R^2 和 Hosmer-Lemeshow (Hosmer and Lemeshow, 2000a) 等擬合優度指標進行評估。(2) 預測準確度，若使用的預測模式結果為機率值，則需界定一閾值 (Cutoff value / threshold)，才能判別預測結果為出現 (presence) 或無出現 (absence)。預測結果再依閾值所確定之有無與實際物種出現記錄作比較，即可計算一系列評估準確度之指標，敏感度 (sensitivity, 預測物種出現的正確率 = $A / (A + C)$) 及明確度 (specificity, 預測物種沒有出現的正確率 = $D / (B + D)$)，錯誤否定率 (false negative rate/ommsion error/underprediction = $C / (A + C)$)，表示物種實際有出現，預測結果為不出現)。錯誤肯定率 (false positive rate/commsion error/overprediction = $B / (B + D)$)，實際上該物種沒有出現，但預測結果有出現)

	觀察物種出現	觀察物種不出現	
預測物種出現	A	B	A+B
預測物種不出現	C	D	C+D
	A+C	B+D	

建立模式與評估模型準確度為相同資料時，則會造成結果的偏差。

故以折交叉檢驗(10-fold cross validation)(Verbyla and Litvaitis, 1989)檢驗模式的準確度,將全部樣本數隨機分成數量相近的10份子樣本,每次以不同1份子樣本之有無熊結果改為未知數(missing data),加上其他9份子樣本來進行二元邏輯迴歸之預測。重複上述步驟10次,檢驗模式的準確度。

4. 閾值的選擇

找出最佳模式組合後,需要適當的閾值(Cutoff value/threshold)將預測分布圖以二元的方式呈現。邏輯迴歸輸出結果是以物種出現機率(0-1),但在經營管上的角度上,二元(有/無熊)的方式較為好靈活應用,另外評估模式準確度時通常需要適當的閾值,以將模式原先以物種出現機率的方式轉換成物種有無出現的二元型態。選擇閾值的方法有許多種,本研究以敏感度加明確度最大值時之閾值做為選擇的準則(Manel et al., 2001)。同樣利用SPSS軟體進行二元邏輯迴歸,選項介面中Classification cutoff即為閾值設定的欄位。依序嘗試輸入不同的閾值(0.1-0.9),再利用輸出表格中的分類表計算其敏感度加明確度最大值。

五、資料分析及棲地選擇

(一) 棲地利用

利用Mann-Whitney U檢定分別比較(1)預測有熊格與研究樣區之各項環境因素平均值是否有差異。(2)1990-1999年與2000-2010年之有熊格各項環境因素是否有差異。(3)有熊格及無熊格之各項環境因素是否有差異。

(二) 棲地選擇指數(Modified Ivlev's Electivitu Index, E_i)

以棲地選擇指數(Reynolds-Hogland and Mitchell, 2007)以分析預測有熊格來進一步檢視臺灣黑熊對各個棲地環境因素是否有選擇性。進行此分析前,須要先將環境因素分級成為類別變因(categorical

variables)。公式如下：

$$E_i = \frac{2 \times (\text{use of habitat } i - \text{availability of habitat } i)}{1 + (\text{use of habitat } i + \text{availability of habitat } i)}$$

E_i 為選擇指數，值介於-1~1 之間，表示使用 i 類棲息地的偏好指數。值小於 0 表示迴避，值大於 0 表示偏好。

參、結果

一、野外黑熊痕跡調查結果

(一) 調查區域

野外黑熊痕跡穿越線共調查 20 個路線，分別有 8 條位在中央山脈西側山區：旗鹽山區、舊萬安-舊平和、小鬼湖山區、玉穗山區、干卓萬山區、雙龍人倫、白姑山區、雪山西稜；5 條位於東部山區：倫文太山、中平林道、內本鹿、關東松-轆轤、崙天山區；5 條為橫跨東西山區：丹大橫斷、卑南橫斷、中央尖三池、奇萊東稜、伊加之蕃區。另有東北部的比亞豪山區和北部南北插天山（圖 4）。調查天數從 2 至 11 天不等，每次調查人數 3 至 5 人，累計調查天數 117 天，工作人天數共 474 天，總里程數約為 556 km，海拔範圍從 400 至 3,600 m 不等（表 3）。

(二) 臺灣黑熊痕跡

在 10 個調查區域內共發現 236 個黑熊痕跡，各類黑熊痕跡以爪痕最常見（71.2%， $n = 236$ ），排遺次之（16%），依序為熊窩（7.6%）、食痕（3%）、腳印（0.85%），其他痕跡為在玉穗社山區舊獵寮中，發現一水桶有熊咬穿之齒痕（表 4）。全部區域的穿越線調查期間都沒有目擊到任何黑熊。

各區域所發現之痕跡類型數量略有差異，如熊窩只在 3 個調查區域有發現，其中又以延平林道發現有 15 個熊窩最多（屬卑南橫斷），有 14 個熊窩位於延平林道上，巢材以芒草為主、或是箭竹、禾本科植物，有 4 處發現 2 個鄰近的熊窩。推測熊窩大多使用時間約 1-2 個月，在熊窩附近也時常可發現新鮮的排遺（約 2-3 週），其中包含發現小熊的排遺。其他 3 筆熊窩則分別在伊加之蕃和關東松轆轤等區域之稜線上發現。在中平林道、卑南橫斷、內本鹿、伊加之蕃和關東松轆轤等 5 個區域所發現排遺，新舊程度都在 1-2 個月內，顯示這些區域近期內有黑熊活動。爪痕在 9 個樣區皆有發現，樣區在在玉穗山區

以南至內本鹿以北等區域，發現同一棵樹的情形、或是相鄰附近的樹木有不同新舊程度的爪痕，顯示黑熊有重複利用同一地點的情況。北部奇萊東稜所發現的爪痕 3 筆在枯倒木上，1 筆於鐵杉上所發現，而比亞豪紀錄的唯一一筆爪痕推測約 2、3 年以上。

關東松轆轤發現 71 個黑熊痕跡為最多，其他依序為內本鹿 ($n=48$)、卑南橫斷 ($n=40$)、伊加之蕃 ($n=38$)、玉穗社 ($n=18$)、中平林道 ($n=9$)、奇萊東稜 ($n=6$)、干卓萬山區 ($n=4$)、小鬼湖 ($n=1$)、比亞豪 ($n=1$)。另 10 個區域，旗鹽山區、舊萬安平和、丹大橫斷、崙天山區、雙龍人倫、倫太文山區、白姑山區、中央尖三池、雪山西稜和南北插天山，則沒有調查到任何黑熊痕跡 (表 4)。整體而言，以玉山國家公園以南至內本鹿之調查區域 (5 個樣區) 所佔整體痕跡數量的 91 % 之高。北、中部從插天山區至丹大橫斷等 10 個調查區域，發現痕跡數量稀少 (圖 4)，僅有 11 筆資料。

從痕跡密度來看，關東松轆轤平均每公頃 3.8 個痕跡為最高，其他密度 >1 者包括為玉穗山區 (3.1)、內本鹿 (2.5)、伊加之蕃 (1.9)、中平林道 (1.5)、卑南橫斷 (1.3)，皆位於中央山脈中南部地區。痕跡密度 <1 者包括干卓萬 (0.6)、奇萊東稜 (0.03)、小鬼湖 (0.05)、比亞豪 (0.03)，多位於中、北部及南部地區 (表 5)。整體痕跡密度為 0.7 痕跡數/公頃。

野外調查行走路線所對應的 1×1 km 網格總計 514 個，有熊痕跡之網格有 59 個，亦即發現熊痕跡的頻度為 11.5 %。各區發現熊痕跡的頻度在玉山以北區域為 9 個，僅佔 15.3 %，比預期 (59.7 %) 中的低，各樣區僅甘卓萬山區的頻度 (33.3 %) $>10\%$ ，而比亞豪則最低 (2.1 %)，但發現熊的網格內皆僅有 1-1.5 筆熊痕跡紀錄 (表 5)。

位於玉山以南 (至南迴以北) 的樣區，總痕跡網格 ($n=50$) 則佔 84.7 %，由以玉穗山區最高 (62.5 %)，其他熊痕跡頻度較高的地區則多集中於卑南橫斷、內本鹿、伊加之蕃和關東松轆轤等地 (13.5 % - 37.5 %) (表 5)。這些容易發現熊痕跡的樣區，發現熊的網格內所記錄的熊痕跡數量為 2.5-7.6 (伊加之蕃) 筆，似乎顯示熊痕跡的分布

在中南部地區也較北部樣區密集。

(三) 黑熊痕跡及調查樣帶之環境因素

1. 黑熊痕跡之海拔分布

黑熊痕跡調查樣帶海拔分布範圍從 360m 至 3,600 m，主要以海拔 1,000-2,500 m (63.5%) 地區為主，海拔 2,500-3,000 m 為 16.8%，海拔 3,000 m 以上佔 15.2%，海拔 1,000 m 以下僅佔 4.3%，大部分是來自比亞豪山區東側 (圖 5)。

野外發現熊痕跡最低海拔為 718 m，位於關東松轆轤區域轆轤溫泉附近；最高海拔紀錄 2,910 m，位於奇萊東稜主稜線上的爪痕。有熊痕跡樣帶之海拔分布以海拔 2,000-2,500 m 最為常見 (38.5%)，依序為 1,000-1,500 m (28.2%)、2,500-3,000 m (18%)，而海拔 3,000 m 以上則沒有發現黑熊出沒的痕跡。Ei 值顯示，黑熊偏好 1,000-1,500 m 與 2,000-3,000 m，其他海拔區段皆有迴避的情況。

2. 黑熊痕跡之植被類型

調查樣帶植被類型約 53% 為原始森林，其中闊葉林佔 18.5%，針葉林佔 14.7%，針闊混和林佔 19.4%。其他人造林佔 25.6%，草地佔 12.7%，次生林、河床或裸岩佔 9.1%。

有熊痕跡樣帶大部分發現於原始針闊混和林 (62.1%) 和闊葉林 (23.4%)，針葉林、次生林則各佔 5.5%，草地和人造林分別發現 4 筆熊痕跡各佔 1.7% (圖 6)。Ei 值顯示熊明顯偏好針闊葉混和林，針葉林為稍微偏好；然於闊葉林和其他植被上，熊有迴避的情況，尤其林造林與草地。

二、臺灣黑熊 Maxent 預測分布模式

(一) 有熊資料庫

除本次研究所收集的野外黑熊痕跡分布資料，再加上文獻訪談資

料庫所收集之黑熊出現點位，經篩選後共收集有熊點位 1,017 筆，其中野外調查資料占 12 %。第一時期（1990-1999 年）有熊點位共 300 筆，第二時期（2000-2010 年）為 715 筆，另有 2 筆資料年代不明。

有熊點位資料轉換成網格資料後，第一期與第二期有熊點位分別對應至 220 和 409 筆網格，野外資料占 10.4 %。兩個時期重複的網格有 64 個，故扣除重複交疊的網格後，全部有熊資料庫含蓋 565 筆網格資料（表 6）。

兩時期實際觀察的有熊格皆集中於中央山脈地區，然在北部（不含雪山山脈）分布較為稀疏，僅少數位於海岸山脈。二時期重疊的網格主要分布於玉山國家公園東部八通關日據越嶺古道附近（圖 7）。第一時期北部的有熊格於雪霸和太魯閣國家公園以北的區域，分布上似乎有縮減的趨勢；反之，在南臺灣，第一時期有熊格則分布到大武山自然保留區北邊的知本主山附近，而第二時期的有熊格於南部則分布更廣，於雙鬼湖野生動物重要棲息環境以南的南大武山附近還有零星分布。整體看來，玉山國家公園、關山及雙鬼湖野生動物重要棲息環境鄰近區域有熊格顯得較為密集，該區有熊格數量約佔整體的 60%。

比較 1990-1999 年與 2000-2010 年間黑熊出現網格之環境屬性，發現兩年代之間的植生指標 ($P < 0.001$, $d.f. = 1$)、道路密度 ($P = 0.0019$, $d.f. = 1$) 及雨量 ($P = 0.004$, $d.f. = 1$) 有顯著差異，其他因素則無顯著差異（表 7）。第一時期海拔範圍從 330-3,443 m，第二時期為 183-3,145 m，兩時期平均海拔都在 1,800 m 左右。溫度方面，兩時期年均溫與一月年均溫皆為 14 度與 9 度附近，範圍也大致相同。平均離道路至少 5 km 以上，離國家公園之距離以第二時期較高，但統計上無差異。整體而言，兩時期有熊格的環境因素沒有太大的改變，雖然第一、二時期平均植生指標統計上呈現顯著差異，但兩時期植生指標平均大於 0.8 以上，都屬於自然度較高之區域。第一時期的道路密度 (0.28 ± 0.84 km) 雖較第二時期高 (0.16 ± 0.61 km)，但整體道路密度都相當低。兩時期有熊格紀錄都還是出現在自然度和森林覆蓋度

高、人為干擾低的區域。

(二) 二個時期 (2000-2010 vs. 1990-1999) Maxent 預測分布模式

1. 模式評估

第二時期共有 715 筆有熊點位，以野外穿越線黑熊痕跡和文獻資料的有熊點位為驗證資料，309 筆點位資料，使用其他資料 406 筆為訓練資料。模式訓練及驗證 AUC 值分別為 0.9、0.92 (SD=0.0072) (圖 8)，顯示模式適合度良好。同樣以敏感度加特異度最大值時之閾值為最佳閾值。最佳閾值為 0.34，訓練資料和驗證資料的錯誤否定率分別為 0.099、0.025。

第一時期共有 300 筆有熊點位，從研究文獻資料中隨機抽選 30% 的有熊點位為驗證資料 ($n=90$)，其他資料皆為訓練資料。模式訓練及驗證 AUC 值分別為 0.892、0.916 (SD = 0.0131) (圖 7)。最佳閾值為 0.431，訓練資料和驗證資料的錯誤否定率分別為 0.251、0.155。大體上兩時期模式適合度皆達良好程度，準確度方面則以第二期較為高。

考量兩時期資料收集偏差之可能，將兩時期資料合併進行 Maxent 預測模式。合併兩時期共有 1015 筆有熊點位，689 筆有熊點位為驗證資料，其他 326 筆為訓練資料。模式訓練及驗證 AUC 值分別為 0.89、0.94 (SD = 0.0049) (圖 7)。最佳閾值為 0.462，訓練資料和驗證資料的錯誤否定率分別為 0.27、0.1。大體上兩時期模式適合度皆達良好程度。

2. 模式參數之評估

以驗證和 AUC 獲益拆刀分析法來了解各環境變因對預測結果的影響。從第二時期的驗證獲益來看各變因的單一獲益，顯示海拔(ele, 0.87)為解釋預測結果最有效的因子，其次為道路密度(rod_den, 0.73)、離道路最近距離(road_dis, 0.66)、坡度(slope, 0.73)；解釋力最差的單一變因為年雨量(prec, 0.27) (圖 9)。各變因的獨缺損失則顯

示海拔 (0.99)、離道路最近距離 (1.04) 對預測模式影響最多，其次為離國家公園最近距離 (1.08)。

AUC 獲益拆刀分析法中，環境變因單一獲益的結果與驗證獲益的情況相同，都以離道路最近距離、海拔、道路密度為較有解釋力因子。各變因的獨缺損失分析結果較不明顯，但較重要因素也與驗證獲益的情況相同 (圖 9)。

第一時期預測模式驗證和 AUC 獲益與各環境變因的單一獲益及獨缺損失，與第二時期的結果相似 (圖 10)，較明顯的影響因素都為離國家公園之最近距離、離道路之最近距離、道路密度與海拔。年雨量同樣的在兩時期皆為較不具影響力的因子。

合併兩時期預測模式驗證和 AUC 獲益與各環境變因的單一獲益及獨缺損失，與第一、二時期的結果相似，從驗證獲益來看各變因的單一獲益，顯示離道路最近距離 (1.2) 為解釋預測結果最有效的因子，其次為海拔 (0.97)、道路密度 (0.85)、離國家公園之最近距離 (0.82)、坡度 (0.73)；解釋力最差的單一變因為年雨量 (prec, 0.13)。各變因的獨缺損失則顯示離道路最近距離 (1.33)、海拔 (1.37) 對預測模式影響最多，其次為離國家公園最近距離 (1.4)。較明顯的影響因素都為離國家公園之最近距離、離道路之最近距離、道路密度與海拔。年雨量同樣的在合併兩時期為較不具影響力的因子。AUC 獲益拆刀分析法中，環境變因單一獲益的結果與驗證獲益的情況相同，都以離道路最近距離、海拔、道路密度為較有解釋力因子。各變因的獨缺損失分析結果較不明顯，但較重要因素也與驗證獲益的情況相同。

若只考量各項單一環境因子與預測適合度之間變化的關係，Maxent 第二時期的結果顯示 (圖 11)，預測黑熊分布的相對機率值 (logistic output) 隨因子數值增加而遞減趨近於零的因素，包括離國家公園最近距離和道路密度此兩因子。相反地，分布機率隨與距道路最近距離增加而遞增的趨勢較為明顯，其他植生指標、海拔、年平均

降雨量和坡度等因素，分布機率隨之遞增至某種程度後，接著會隨之下降至趨至一穩定值。第一時期結果與第二期關係圖比較，各因素反應曲線的變化與第二期十分相似（圖 12），顯示兩時期黑熊分布與環境因子間的關係沒有太大的變動。

3. 預測分布圖

第二時期 Maxent 預測機率圖顯示黑熊分布較高機率的區域主要在中央山脈保護區，北從插天山自然保留區，最南至大武山自然保留區中部大武山區一帶，中部丹大野生動物重要棲息環境分布呈現較零散破碎的情況（圖 13）。第一期模式機率分布圖顯示黑熊分布機率較高的區域也是以中央山脈為主（圖 14），與第二期的差異在於，深藍色分布機率高之地區較為集中，國家公園境內更明顯。海岸山脈冷色系較高機率的區域分布的也較多。合併兩時期 Maxent 預測機率圖與第二期預測範圍相似，分佈機率較高也是以中央山脈為主（圖 15）。

第二時期二元分布預測圖以 0.34 為最佳閾值，預測有熊格共 8,588 個（圖 16）。預測有熊格分布有北至南分五區來看：（1）北迴以北，插天山自然保留區和棲蘭野生動物重要棲息地北邊與臺 7 縣道路交錯的一個較小的區塊，面積約 200 km²，此區南隔臺 7 縣公路與中央山脈大範圍的有熊分布區隔離。（2）中北部雪霸-太魯閣國家公園，棲蘭野生動物重要棲息地南方（司馬庫斯、鴛鴦湖一帶）往南連接雪霸國家公園、東邊的太魯閣國家公園、兩國家公園中間臺 7 甲線沿路從思源啞口至梨山、白姑山區及南湖北山山脈東側、和平北溪流域一帶，連接成一大塊的有熊區域，面積約 3,400 km²。另外此區域也顯示有些無熊分布的空缺，包括雪霸國家公園的火石山至大雪山稜線附近零星區塊、太魯閣國家公園境內南湖北山至中央尖山稜線附近等較高海拔區域，以及中橫公路太魯閣至天祥一帶中橫道路周邊區域，環山至梨山中橫一帶有零星無熊格。（3）丹大野生動物重要棲息環境、東邊能高南峰至木瓜山一帶、西林林道林田山一帶、西側水社大山及玉里野生動物保護區，有熊分布面積約佔 1,100 km²。此區域有熊格

分布較破碎、分散，在丹大山區北部牡丹岩至安東軍山一帶，及南部東巒大山、東郡大山、無雙山附近高海拔山區呈現無熊分布。(4) 玉山國家公園以南地區：此區有熊分布連續而廣泛，面積約有 3,600 km²。涵蓋玉山國家公園、阿里山山脈（西側阿里山山脈霞山與玉山山脈五溪山往西南方至我丹山之間）、關山野生動物重要棲息環境、雙鬼湖野生動物重要棲息環境、及大武山自然保留區北邊部分區域（最南至南大武山）。玉山國家公園內達分尖山至馬博拉斯山脈高海拔稜線一帶、屏東旗鹽山、射鹿社一帶、阿禮溢寮溪北溪上游區域有較明顯的無熊區塊。(5) 東部海岸山脈：僅有在白守蓮山附近有一極小（10 km）的分布區塊，且西隔花東縱谷與中央山脈大範圍的有熊分布區隔離。

第一期與第二期各自建構的二元性預測分布圖，兩者分別占 5,853 km² 和 8,588 km²，為臺灣本島面積的 15.9% 和 23.3%。二個時期有熊網格重疊區域有 5,255 km²，分別占第一及第二期的 89.3% 和 60.8%。兩時期預測有熊格分布的範圍輪主要差異有四：(1) 第二期預測有熊格在北部雪霸與太魯閣國家公園之區域有擴張的現象。(2) 第二期預測有熊格在臺灣南部有擴張的趨勢，預測分佈範圍至雙鬼湖、大武山自然保留區北部一帶。(3) 在中部丹大野生動物重要棲息環境一帶，第二時期預測有熊區域分布明顯較第一期範圍小且破碎化。(4) 第二期預測有熊格範圍中，雪霸國家公園的火石山至大雪山稜線東南方、太魯閣國家公園境內中央尖山至巴巴山山脈稜線附近、玉山國家公園在馬博拉斯至達芬尖山山稜等超過 3,000 m 之高海拔區域一帶轉為成預測無熊區域（圖 16）。

兩時期預測有熊格 99% 都位於國有林範圍內，第一期和第二期預測有熊格分別佔國有林面積的 30% 和 45%，也就是代表國有林面積有 50% 以上並沒有熊分布。合併兩時期 Maxent 預測模式之有熊格面積為 6,106 km²，99.5% 都位於國有林範圍內（圖 17）。

4. 預測有熊格之棲地環境

(1) 自然環境因素

第二時期預測有熊格海拔分布為 460-3,640 m，平均 1,900 m (SD ± 546)，較第一時期(範圍：361-3,640 m)的平均值 2,073 m 低(表 8)。兩時期的預測有熊格於海拔梯度上皆呈鐘型分布曲線，且皆超過 60% 分布於海拔 1,500-2,500 m (圖 18)。相較於全島的海拔分布， E_i 值顯示兩時期黑熊對海拔小於 1,000 m 的區域明顯有趨避的現象，且越低越明顯； E_i 值於 1,000 m 以上海拔梯度皆大於 0，尤以 1,500-2,000 m、2,000-2,500 m ($E_i = 0.36$ 、 0.31) 為最高。

兩時期預測有熊格的坡度雖達顯著差異，但第一、二時期平均值分別為 34.7、34.5 度 (表 8)，差異並不明顯。兩時期之坡度分布趨勢亦相似，主要預測有熊格坡度在 30-40 度，比例約超過 70%，其次為 20-30 度；小於 30 度的區域 E_i 值皆為負值，且利用度隨坡度降低而減少；30-40 度時 E_i 值為最高的 0.44，大於 40 度者， E_i 為 0.008，顯示黑熊對適當的陡坡有較高利用程度 (圖 19)。

兩時期預測有熊格雨量平均分別 2,642 mm (SD ± 524)、2,751 mm (SD ± 513)，雖然統計結果顯示兩者有顯著差異，但臺灣氣候並無明顯分區，黑熊活動力強，雨量應不會是影響分布的因素。

兩時期預測有熊格的植生指標平均都大於 0.8，植生指標大於 0.7 的區域都佔 80% 以上的面積。NDVI 小於 0.7 的區域 E_i 值皆為負值，大於 0.8 的區域 E_i 值最高為 0.27，顯示黑熊對 NDVI 高的環境之偏好 (圖 20)。

進一步分析位於國有林內預測有熊格的植被類型，兩時期位於原始林的有熊格皆超過 7 成，第二時期其次植被類型為下部山地闊葉 (15%)，第一時期其次植被類型為人工林 (13%)。第一時期黑熊對各植被之偏好與第二時期大致相同，針葉林、針闊葉混淆林、山地闊葉林為 E_i 值較高之 3 者，代表黑熊對此植被類型棲地有較高的偏好程度，而第一、二時期黑熊對下部山地闊葉林 (-0.39、-0.28)、耕地及建地 (-0.04、-0.04)、竹林 (-0.1、0.09) 為會迴避之區域 (圖 21)。

於國有林內，兩時期森林覆蓋度平均分別為 78.7 %、78.3 % (表 8)。兩時期預測有熊格森林覆蓋度大於 80 % 的比例皆為在 60 % 以上， E_i 值最高在覆蓋度大於 80 % 之區域 ($E_i = 0.048-0.05$)，其他小於 80 % 的覆蓋度之 E_i 值皆為負值，尤以覆蓋度小於 20 % 的區域 ($E_i = -0.05$) 明顯 (圖 22)，顯示黑熊對高森林覆蓋度的偏好。

(2) 非自然環境因素

第一時期預測有熊格離道路最近距離平均為 5.6 km ($SD \pm 4$ km)，第二期為 4.9 km ($SD \pm 3.8$ km)，兩者統計上呈現顯著差異 (表 8)。從偏好程度來看，兩時期同樣對距離道路 2 km 內的區域呈現趨避的現象，尤其道路經過之區域 E_i 值達 -0.6。道路距離大於 2 km 的區域 E_i 值皆為正值，距道路距離 6 km 的區域 E_i 值為最高 (0.2 和 0.23) (圖 23)，顯示黑熊對道路迴避的明顯情形。

從道路密度角度來檢視，兩時期預測有熊格道路密度雖呈現顯著差異，分別為 0.13 km/km^2 、 0.21 km/km^2 (表 8)，但兩者有熊格於無道路之比例皆相當高，第一時期與第二時期分別為 88 % 和 91 %。從 E_i 值來看，兩時期黑熊只對無道路之區域有偏好 ($E_i = 0.47$ 、 0.5)，隨道路密度增加，黑熊迴避的趨勢越明顯，道路密度大於 4 km 之區域 E_i 值最低為 -0.6 (圖 24)。

兩時期離國家公園之最近距離平均分別為 9 km ($SD \pm 11.9$ km)、10 km ($SD \pm 15.3$ km) (表 8)。兩時期預測有熊格約有 50 % 皆位於距離國家公園 5 km 之內。兩時期 E_i 值結果皆顯示黑熊偏好國家公園 5 km 範圍內之環境，20-40 km 範圍 E_i 值開始為負值，>40 km 範圍 E_i 值最低為 -0.56，顯示黑熊對距離國家公園 20 km 以上的環境有迴避的現象 (圖 25)。

比較第一、二時期預測有熊格各項環境因子之差異，統計結果顯示海拔、坡度、雨量、植生指標、道路密度離、離道路最近距離、國家公園之最近距離等 7 項因子有顯著差異 (表 8)。但整體而言，兩時期黑熊對各環境因素的偏好程度大致相同，各因素梯度的分布狀況

在兩時期也呈現類似的分布比例。

三、臺灣黑熊預測模式—二元邏輯迴歸

(一) 無熊資料篩選及取樣

由原住民訪談所推測的無熊區域有 793 個網格，經篩選後為 158 個無熊網格。文獻資料共回顧了 43 件相關自動相機研究，年代從 1999 年至 2010 年（附錄 4），收集到 1,096 筆沒有拍攝到黑熊出現的自動相機點位，篩選後共取得 272 個無熊網格。野外黑熊痕跡調查部分，沒有發現熊痕跡之網格有 455 個，篩選後剩 52 個無熊網格。3 類資料來源刪除重複的無熊網格，最終共 470 個無熊網格（圖 26）。

(二) 有/無熊格之棲地環境

比較有/無熊格間各項環境因素，發現兩者環境因素除了坡向 ($P = 0.32, d.f. = 1$) 之外，其他環境因素皆有顯著差異 ($P < 0.001, d.f. = 1$)（表 9）。整體而言，有熊格與無熊格的環境因素是有差別的，有熊格分布於地形海拔平均較高、坡度較陡峭之區域，連帶相關的氣候因子雨量、年均溫、一月年均溫也有差異，有無熊格差異最大之因素在於道路，有熊格離道路之最近距離約為無熊格的 7 倍（有熊格 $5,964.3 \pm 4,370\text{m}$ 、無熊格 $881.5 \pm 1,879\text{m}$, $P < 0.001$ ）、無熊格的道路密度比有熊格高了約 20 倍（有熊格 $0.16 \pm 0.6 \text{ km/km}^2$ 、無熊格 $3.3 \pm 3.5 \text{ km/km}^2$, $P < 0.001$ ）。無熊格離國家公園的最近距離約是有熊格的 26 倍（有熊格 $1.3 \pm 1.6 \text{ km}$ 、無熊格 $34.2 \pm 34.5 \text{ km}$, $P < 0.001$ ）。

(三) 二元邏輯迴歸

利用 715 筆在 2000~2010 年間的熊出現資料，共 409 個有熊網格；以及利用部落訪談、文獻回顧、野外調查等三種方式條件式所篩選認定的無熊網格，共 470 個無熊網格（圖 26）。扣除環境因素圖層的遺失資料（missing data, $n = 894$ ）總共對 36000 個網格進行預測。

1. 模式之選擇

將 7 個環境因素之所有排列組合建立其模式，計算每種因素組合模式之 AIC 和 Δ AIC 值，共試驗了 647 種因素組合，有 5 種模式組合 Δ AIC 值小於 2，AIC 值範圍從 592~593.9 (表 10)。計算這 5 種模式中每個因素出現的次數，選取出現最多次數之因素來建立最佳模式。最後以海拔、坡度、道路密度、距道路之最近距離、距國家公園之最近距離等 5 個因素的組合為最佳模式選擇。

2. 模式之擬合優度

最佳模式各項擬合優度指標分別如下，綜合性檢驗的結果顯示最佳模式的環境變因對黑熊分布有無有顯著的線性關係 ($\chi^2 = 630.8$, $d.f. = 5$, $P < 0.001$)；Coz&Snell R^2 與 Nagelkerke R^2 關聯強度值分別為 0.51、0.68，表示環境因素與黑熊有無之間有中強度的關係存在。但 Hosmer-Lemeshow 擬合優度指標 P 值顯著小於 0.001，表示整體模式之適配度不佳，最佳模式的 5 個環境變因無法有效的預測黑熊的分布有無 ($\chi^2 = 32.6$, $d.f. = 8$)。

3. 模式之閾值

以敏感度與特異度之最大和為最佳閾值之原則。隨設定閾值升高，敏感度隨之漸漸下降，特異度反之逐漸升高，意即模式對實際有黑熊出現網格的預測正確率隨閾值提高下降，對已知無黑熊出現網格的預測正確率則隨閾值提高而增加。結果模式以 0.4 為最佳閾值，敏感度為 0.91，特異度為 0.83 (圖 27)。

4. 預測臺灣黑熊分布之環境因素

從邏輯迴歸分析的結果中，顯示最佳模式中有 4 個環境因素與黑熊分布有顯著相關 (表 11)。海拔、距道路之最近距離與黑熊分布有非常顯著的正相關，而道路密度、距國家公園之最近距離則顯示出明顯的負相關，坡度則無顯著相關。從 wald 值來看，距道路之最近距離是對模式作用最明顯的因子 (wald 值為 54.3)，其次為海拔 (37.9)、

距國家公園之最近距離 (24.9)；道路密度較低為 9.3，最低為坡度 (0.7)。

5. 模式預測準確性檢驗

以 0.4 作為區分預測結果為出現/無兩類的最佳閾值。10 折交叉檢驗結果顯示最佳模式對已知有熊網格的正確預測率平均為 90.3%，對已知無熊網格的正確預測率平均為 83.4%，表示模式對辨別有無熊格的能力不錯。已知無熊格被模式預測為有熊格之錯誤網格有 77 個，主要分布於太魯閣國家公園中央尖山及附近山區、丹大野生動物重要棲息地邊界巒大山區及人倫林道、宜蘭砲臺山區附近。已知有熊格被模式預測為無熊格有 34 個，分布較為分散，大多在保護區外(圖 28)。模式 ROC 值為 0.94，表示模式能區分黑熊有/無分布資料的差異。

6. 預測分布圖

以二元邏輯回歸原始輸出的機率值預測圖來表示，有無黑熊分布的機率落差區別十分明顯。中央山脈範圍兩側、都市、沿海地區等大範圍黑熊出現機率呈現明顯較低的情形 (約 0 至 0.1)。雪霸、太魯閣和玉山國家公園周遭地區顯示暖色系高機率值 (圖 29)。

以 0.41 為閾值，模式預測有熊格共有 5,231 個 (圖 28)。最北從鴛鴦湖、司馬庫斯一帶開始，雪霸與太魯閣國家公園連接成一大範圍的分布區塊，面積約 2,800 km²，太魯閣國家公園有熊格分布範圍往南，沿丹大保護區邊界分布至白石山、牡丹岩一帶。東北方宜蘭砲臺山附近有零星有熊格出現。在南山、梨山、太魯閣至天祥一帶三處呈現細縫型缺口。丹大保護區從安東軍山往南至七彩湖、關門山一帶，有熊格為少數零星的分布，呈現空缺的情形。再往南，有熊格就主要分布於玉山國家公園周圍 (簡稱 YNP 區塊)，面積約 2,300 km²。YNP 區塊有熊格分布北從東巒大山、清水山，最東至花蓮南安，最西至阿里山鄉達邦、那瑪夏鄉與桃源鄉梅山交界一帶，往南至卑南主峰。卑南山區往南至雙鬼湖、大武山保護區範圍，有熊格又以零星分散分布。

邏輯迴歸與 Maxent 第二時期分布範圍明顯的不同，在於前者預測熊格分布主要集中於雪霸、太魯閣與玉山國家公園與周遭鄰近區域，高海拔地區也顯示有分布的情況。整體而言，邏輯迴歸預測有熊格分布範圍較小，尤其在丹大地區、關山野生動物重要棲息環境、雙鬼湖野生動物重要棲息環境、及大武山自然保留區呈現出大範圍的無熊分布現象。

7. 有熊格之環境屬性

二元邏輯回歸預測的有熊格海拔平均 2,168 m (SD±567)，最低至 487 m，最高達 3,640 m，海拔 1,000 m 以下的有熊格僅有 2%，超過一半的比例分布在海拔 1,500-2,500 m 區域，2500-3,000 m 佔 23.2%，3,000 m 以上佔 6.4%。就各項環境因素平均值而言，坡度為 36 度 (SD±4.2 度)、雨量 2701 mm (SD±429)、年均溫 12.5 度 (SD±3.1 度)、一月年均溫 6.9 度 (SD±3 度)、植生指標 0.8 (SD±0.06)、離道路最近距離 5.3 km (SD±3.9 km)、道路密度 0.11 km/km² (SD±0.5 km/km²)、離國家公園之最近距離為 2.8 km (SD±5.9 km)、森林覆蓋度平均為 79.7% (SD±24) (表 12)。

肆、討論

一、野外黑熊痕跡調查

歷年來關於臺灣黑熊分布之研究(王穎、王冠邦, 1990; 王穎等, 1991; 王穎, 1999; 王穎, 2000; 王冠邦, 1990; 黃美秀等, 2006), 調查方法多以訪談原住民、林務局工作人員、問卷及文獻資料, 實際野外調查的資料較少, 而訪談資料會有受限於人為可及度影響, 造成資料來源有偏差的現象, 進而影響到預測模式的表現。在熊類研究中, 利用痕跡調查來證實物種分布有無為一常用的簡便方法 (Clevenger and Purroy, 1996; Cuesta et al., 2003; Augeri, 2005; Rios-Uzeda et al., 2006; Karamanlidis et al., 2007; Liu et al., 2009)。尤其對於族群數量稀少、生性隱蔽的物種而言, 相較於無線電追蹤、自動照相系統等方法, 本研究所使用的痕跡調查法可於短時間內蒐集大面積內物種有無的資訊, 為一個花費較少且較有效率的方法 (Pollock, 2006)。以臺灣的自動相機研究來說, 除了在大分 (目前所知臺灣黑熊會季節性聚集覓食青剛櫟的區域) 黑熊 OI 值 $[= (一物種的有效照片數/總工作時數) \times 1000 \text{ 小時}]$ 最高單月可達 6.36 (林冠甫, 2009) 之外, 其他地區的研究所拍攝到黑熊照片寥寥可數 (附錄 4)。本研究利用痕跡調查法, 蒐尋過去可能因人為可及度較低、難以到達或沒有熊出沒紀錄之區域, 搭配其他訪談、文獻相關資料, 使得整體有熊資料更為多元性, 同時降低資料因為取樣技術所造成的偏差。

(一) 痕跡分布狀況

本研究調查了 20 個樣區, 其中只有在 10 個樣區中發現有黑熊痕跡。就整體熊痕跡分布狀況而言, 雪山山脈區域並沒有發現熊痕跡, 太魯閣國家公園及北邊宜蘭地區, 與中部丹大山區所發現黑熊痕跡數量都較零星, 玉山國家公園以南及中央山脈東側之區域是主要調查至較多的黑熊痕跡區域 (圖 4) (伊加之蕃、關東松轆轤、卑南橫斷、內本鹿和玉穗社山區等 5 個樣區), 痕跡新舊皆有, 此區域推測可能

為黑熊分布的熱點區域。

在不同調查區域可能涉及各種不同的因素，會影響黑熊的分布或是導致偵測率低落，使得調查結果無法真實的反映黑熊的活動痕跡。在高海拔區域，例如雪山西稜、中央尖三池、白姑和丹大山區，這些區域皆有不少比例的調查樣線在海拔 3,000 m 以上，本研究在這些高海拔樣區調查的痕跡十分稀少。此區植被類型多為針葉林或箭竹林，不同植被類型可能會造成痕跡偵測率上的誤差 (Garshelis, 2000)。推測可能原因如下：

1. 針葉林樹皮結構較為疏鬆粗糙，不容易留下明顯痕跡，則可能造成偵測度較低的情況。本野外調查期間發現於針葉樹（紅檜、鐵杉）上的黑熊爪痕僅有 3.5 % ($n = 168$)。相較在中國四川調查亞洲黑熊痕跡研究，其於針葉林的痕跡偵測率也最低 28.6%，落葉闊葉林、落葉常綠闊葉混和林、針闊混和林等植被偵測率為 66 %-74 % (劉芳, 2009)。雖然曾有原住民訪談紀錄毬果被熊吃的食痕，但大部分爪痕樹還是以殼斗科、樟科等闊葉樹種為主 (黃美秀等, 2010)。

2. 從食物資源的角度來看，高海拔區域能提供作為黑熊植物性食物的來源可能較少，可能吃較多的動物性食物，確實也有觀察到排遺內有動物食骸。因此覓食爬樹之痕跡比例可能相較低於其他海拔，其他痕跡如排遺或腳印能存留時間又較短暫，所以不能意在高海拔發現黑熊痕跡。黑熊可能在高海拔區域活動較不如中海拔頻繁，隨之要發現黑熊痕跡機率就較低。國內在玉山國家公園的無線電研究追蹤黑熊活動的海拔範圍為 300-2,790 m；黑熊整體最小凸多邊形面積 (Minimum convex polygons, MCP) 顯示，其對海拔大於 3,000 m 的區域使用程度顯著的比預期少 (Hwang et al., 2010)。另外國內相關報告也指出，1990-2010 年有熊紀錄出現在海拔 >3,000 m 十分稀少 (35 筆, 3.8 %) (黃美秀等, 2010)。

3. 登山、健行等遊憩活動的人為干擾。美國蒙大拿州的研究發現，美洲黑熊在白天時會遠離遊憩壓力高 (每天約有 90 人) 的健行

步道 200-500 m (Mace et al., 1996)，也有其他研究顯示步道即使在平常低遊憩壓力時，棕熊依舊選擇遠離步道 450-600 m 的區域活動 (Graves, 2002)。在臺灣，南北插天山為北部著名的健行郊山，步道四通八達，遊憩壓力也可以從現場觀察步道被踐踏的程度略知一二。本研究有些調查區域的穿越線與百岳路線重疊，某些路段更是大眾熱門路線，如七卡山莊至雪山主峰、合歡山莊至奇萊主峰等路線，在周末或是例假日山莊常是客滿狀態達 50、60 人以上。黃美秀 (2010) 研究顯示偵測度與步道干擾程度有關，黑熊可能受人為干擾影響而會較遠離步道，而導致較難觀察至其活動痕跡。

4. 非法狩獵活動。本研究除了在雪山西稜山區沒有發現狩獵痕跡之外，其他調查區域都發現不同程度的狩獵程度。有些區域穿越線發現狩獵痕跡比例相當高，如旗鹽山區 (70%， $n = 10$)、舊萬安平和 (92%， $n = 13$)、比亞豪山區 (87%， $n = 30$)，研究者於此區域調查期間曾遇見捕獲到山羌的獵人，或在某段 500 m 穿越線上計算到超過 20 個陷阱。另有些區域狩獵痕跡比例雖不高，但十分集中，如南北插天山區 (36%， $n = 14$)，研究者在此區調查期間晚間聽見槍聲及燈光，以及發現許多的鳥網及設備完善的獵寮。發現狩獵痕跡的地點主要分布在研究者步行 2 日內可達的區域，且這些狩獵痕跡都顯示出此區域的狩獵現況是近期 (1、2 星期內)。

狩獵會影響動物對棲地利用的程度，以及動物的行為反應 (Laurance et al., 2006; Reynolds-Hogland and Mitchell, 2007)。在加拿大卑詩省 (British Columbia) 的研究發現，美洲黑熊會因躲避道路及人為因素造成的死亡 (狩獵或車禍)，而選擇食物資源較低的區域，造成黑熊密度在食物資源豐盛的區域反而較低的情況 (Ciarniello et al., 2007)。在臺灣，狩獵不僅會導致動物死亡，降低族群密度，也可能會影響黑熊對不同棲息環境的利用程度，包括潛在獵物的豐富度。幾個較淺山鄰近部落推測狩獵頻度較高的調查區域，如旗鹽山區、舊萬安平和、南北插天山區，這些區域沒有發現任何熊痕跡。另外大型偶蹄目動物的排遺密度，山羌為 0-2.1/500 m，山羊為 0-0.6/500 m，

相較其他區域皆顯得十分低（黃美秀，私人通訊）。以比亞豪山區為例，在東段四季林道狩獵痕跡十分常見的地方，林道上與林道外 250-500 m 距離內的山羌排遺密度（平均每 500 m 的排遺數）差別很大，林道上山羌排遺密度為每 0.5 km 為 0.09 坨（ $n = 11$ ），而林道外則為 21 坨（ $n = 4$ ）（黃美秀，私人通訊）。

（二）痕跡密度

本研究發現痕跡 70 % 為熊爪痕（表 4），大部分為攀爬上樹所留下的。Fredriksson 和 Steinmetz（2007）指出泰國、柬埔寨和婆羅洲的熊痕跡穿越線調查中，爪痕所佔痕跡總比例從 60 %-90 %，與本研究相符。臺灣黑熊為雜食性，植物性食物所佔比重高（Hwang et al., 2002），且爪痕相較其他痕跡為可存留時間較久的痕跡類型，可達 1-5 年或更久（黃美秀 私人通訊）。故建議調查爪痕及其新舊程度，或可做為往後監測區域性黑熊族群變動的一項指標。

本研究痕跡密度 0.7/ha，但若只計算有發現熊痕跡調查區域，其密度為 1.2/ha，痕跡密度換算成遭遇率則為 0.42/km。泰國亞洲黑熊與馬來熊共域的保護區內，在不同植被內發現的爪痕（一年內）密度分別為 2-14/ha 與 3-9/ha 不等（Steinmetz, 2009）。在印度喀什米爾丹希岡國家公園（Dachigam National Park），面積約為玉山國家公園的 10 分之 1，此區黑熊痕跡發現率整體平均為 0.6/km，夏季遭遇率最高為 1.14/km（Sharma, L.K., 2009）。在印度 Madhya Pradesh 未受保護的區域，懶熊排遺密度為 0.6-3.6/ha（Akhtar et al., 2004）。在地勢崎嶇的厄瓜多安地斯山脈，眼鏡熊痕跡遭遇率為 0.74/km（Cuesta et al., 2003）；在西班牙北部山區，學者推估棕熊族群量僅存 50-70 隻，其痕跡遭遇率為 0.027/km（Clevenger and Purroy, 1996）。無論是熊痕跡密度或遭遇率，與國外非小族群的熊類研究相比較，本研究結果皆顯示較低的情況，此現象雖可能受熊生活習性及環境資源的影響，但考量調查樣區植被良好、環境合適的條件下，推測目前臺灣黑熊的族群

密度可能仍處偏低的狀況。

二、環境因素

海拔、距道路之最近距離、道路密度和離國家公園之最近距離等四項因素，為 Maxent 與邏輯迴歸兩模式中一致列舉的重要的環境因素。Maxent 兩時期在各個環境因素的偏好趨勢大致類似。

(一) 海拔及植被相關因素

本研究 Maxent 第二期預測黑熊海拔分布範圍為 460-3,640 m，兩時期預測有熊格偏好的海拔梯度趨勢及分布範圍大致相同（圖 18）。野外調查熊痕跡約 90 % 出現於海拔 1,000-2,500 m 間所發現，其中又以 1,000-2,000 m 的出現頻度最高（圖 5）。然而野外調查結果卻發現黑熊對 1,500-2,000 m 有趨避現象，推測應該是由於北臺灣調查區域影響偵測率因素較多導致，只計算南臺灣調查區域，黑熊對海拔梯度的偏好也與 Maxent 預測模式的相符合。玉山國家公園黑熊無線電研究中顯示黑熊會因食物可得性而在海拔上有明顯的移動，記錄到的活動點位從海拔 300-2,790 m，對海拔 500-2,000 m 有較偏好的情況（Hwang et al., 2010）。

本研究 Maxent 預測結果顯示黑熊對海拔 1,000 m 以下的區域有趨避的情況，推測保護區系統外的低海拔區域，一般擁有較多的人為活動與土地開發的情況，與玉山國家公園的樣區環境完整及較少的人為干擾。海拔梯度的變化不僅影響人為活動，也影響其他氣候、植被等因素，中央山脈主要為山地亞熱帶夏季濕潤涼爽氣候，因此海拔高度變化對植被類型的分布有很大影響（邱祈榮等，2010）。黑熊較偏好的海拔梯度為 1,000-2,500 m。依目前植被類型主要植群依據之臺灣山地垂直氣候-植群帶之劃分（Su, 1984），包含了楠櫨林帶（*Machilus-Castanopsis* zone, 500-1,500 m）、櫟林帶（*Quercus* zone, 1,500-2,500 m）、鐵杉雲杉林帶（*Tsuga-Picea*, 2,500-3,000 m）。由於海拔 1000-2,000 m 常見優勢林型以樟科和殼斗科為主，且此兩類植物

為黑熊植物主食 (Hwang et al., 2002)。台灣黑熊春夏季以草本植物及漿果類為主，如懸鉤子、山肉桂等樟科果實，秋冬季則以堅果類為主，如山胡桃、殼斗科等櫟實 (Hwang et al., 2002)。因此季節性的食物資源分布可能與黑熊偏好此海拔梯度有大的相關。

至於在低海拔 < 1,000 m 之區域發現之熊痕跡也較預期的少，可能與人為活動之干擾相關，例如比亞豪、旗鹽山比較低海拔之區域，其狩獵活動頻繁。海拔 3,000 m 以上地區並沒有發現任何熊痕跡，這除了可能因前文提到的植被類型所導致的低偵測率之外，以可能與植物性食物資源較少有關，唯目前尚無法證實黑熊於高海拔區域活動是否如同痕跡調查結果般稀少，須待日後不同海拔偵測率的數據進一步證實。

熊科動物多傾向於集中利用他們環境中生產力最豐富的棲地 (Schoen, 1990)。因此若排除針葉林及其他植被偵測率可能較低的區域，台灣黑熊痕跡多在原始針闊混和林和闊葉林原因應該是此類植被為黑熊主要覓食植物性食物區域，或可能也是動物性食物資源豐富之區域。野外調查的黑熊痕跡大多於原始針闊混和林和闊葉林中發現 (圖 6)。泰國的亞洲黑熊的爪痕在山地常綠林 (Montane evergreen) 的密度顯著大於半常綠林 (Semi-evergreen) 及混合落葉林 (Mixed deciduous)，推測可能因山地常綠林擁有較高密度及較多種類的產果樹木有關，而造成較多的熊覓食痕跡 (爪痕) (Steinmetz 2009)。Maxent 預測模式結果顯示熊對於下部山地闊葉林有明顯的趨避 (圖 21)，推測可能因此植被類型分布於海拔 1,000 m 以下，人為干擾開發或活動較多，或棲地碎片化，而導致黑熊對於此植被類型利用程度偏低。

NDVI 在使用衛星影像進行植被研究及植物物候現象研究中廣泛被應用，是植物生長狀態及植被空間分佈密度的最佳指標，且與植物分佈密度呈線性關係，又可稱為生物量指標 (Rouse et al., 1973)。Maxent 結果顯示黑熊偏好高植被覆蓋區域 (>0.7) 的情況，此與於國有林範圍內偏好高森林覆蓋度 (>80%) 的情形相符合。黑熊為森林性動物，森林可提供黑熊躲藏、食物、休憩等各項所需 (Hwang et al.,

2002)。Maxent 第二時期預測有熊格面積只佔了國有林的 45 %，顯見未來在經營管理上值得更積極的策略規劃，以提供更充足的台灣黑熊潛在的棲息環境。

(二) 人為干擾因素

1. 道路密度及距離

了解道路如何影響野生動物族群的棲息地品質是目前保育的議題之一。隨著道路開闢所伴隨的各式人為活動和經濟開發更是造成棲地碎片化、惡化的主因之一，影響動物族群的移動播遷，降低與其他族群接觸的可能性，道路更可能因狩獵、盜獵、車輛撞擊增加了死亡風險而影響了動物生存的機率 (Reynolds-Hogland and Mitchell, 2007; Lewis et al., 2011)。

本研究 Maxent 預測結果顯示黑熊對於道路經過之網格有趨避的現象。許多道路或相關人為干擾對熊或大型哺乳動物影響之研究指出，道路、人為活動會使動物改變棲地利用方式，影響族群生存能力 (Kerley et al., 2002; Laurance et al., 2006; Nielsen et al., 2006; Reynolds-Hogland and Mitchell, 2007; Markovchick-Nicholls et al., 2008; Lewis et al., 2011)。Reynold-Higland 等人利用在阿帕拉契山區 (Appalachians) 的保護區內對美洲黑熊進行 20 年無線電追蹤監測發現，美洲黑熊會較避開碎石路而利用泥土路，推測因可能與獵人由碎石路進入有關，比起泥土路整年大多是休閒遊憩的遊客，碎石路的風險就大許多 (Reynolds-Hogland and Mitchell, 2007)。在加拿大落磯山脈，棕熊特別在冬眠前期會偏好食物品質較好但有道路或是人為干擾的棲地，造成被車擊致死的死亡率提高 (Berland et al., 2008)。

本研究使用的相關道路圖層，並沒有將衍生進入中央山脈的林道或是登山健行步道納入計算。由於每條林道通行性、路況、管制程度不同，難以分類進行評估，因此可能會低估這些道路所帶來的狩獵壓

力對黑熊的影響。

2. 遊憩及狩獵

狩獵是目前影響台灣黑熊存續的主要威脅之一。Hwang (2003) 捕抓繫放的 15 隻黑熊中，8 隻個體有斷掌或斷趾之現象，野外痕跡調查中也發現不少的狩獵事件。狩獵為臺灣原住民重要的文化，其中包含許多前人對自然的生態智慧，唯臺灣目前法律禁止狩獵，但多數狩獵活動則轉為地下化，造成經營管理上的困難度增加 (Madhusudan and Karanth, 2002; Rowcliffe et al., 2004)。在委內瑞拉研究者利用海拔、NDVI、道路、人口密度、距保護區之距離等因素發展出一種風險圖層 (Risk layer)，預測眼鏡熊在哪些區域遭遇狩獵的風險較高 (Sánchez-Mercado et al., 2008)。本研究故建議可以建立此類圖層，以評估狩獵對目標物種的影響。

3. 保護區

離國家公園之最近距離—本研究顯示黑熊對於距離國家公園 5 km 範圍內之區域有明顯的偏好程度。這可能一方面是由於國家公園內除了具有完整的棲地環境之外，也限制各項人為開發，包括非法狩獵，而提供實質的保護之效用 (Hwang and Chen, 2009)。

除了上述環境因素會影響臺灣黑熊分布、棲地利用之外，本研究回顧國外其他熊類研究結果 (附錄 6) 發現，目前研究資料不足無法評估或量化製作圖層，包括狩獵壓力、食物資源、道路類型。本研究認為這些環境圖層亦會影響模式預測力。食物資源在時間、產量或地理分布上的變動，無疑會影響黑熊活動範圍、食性和分布 (Onorato et al., 2003; Izumiyama and Shiraishi, 2004; 林冠甫, 2009)。黑熊為雜食性動物 (Hwang et al., 2002)，故若能建構偶蹄類動物 (即獵物) 豐富度圖層、重要食用植物圖層如樟科和殼斗科，則應該能提升模式的預測力，以更了解黑熊的分布和棲地利用模式，甚至進一步了解季節性分布。

三、臺灣黑熊 Maxent 模式預測分布

相較於需要物種有無分布資料的統計模式，只需物種出現的分布預測模式常會有較高的超算（Commission）、過度配適（Overfit）的情況（Anderson et al., 2003）。但對於數量稀少、生性隱蔽的物種而言，要獲得真正沒有分布的資料是很困難的。Maxent 它具有穩健性（robustness）之特色，且藉由正則化（regularization）的步驟，限制過度配適的情況發生（Phillips et al., 2006; Phillips and Dudík, 2008）；學者建議可使用 Maxent 或是迴歸基礎之統計方法進行預測分布模式（Elith and J, 2009）。吳尹仁（2007）曾利用 GARP（Genetic Algorithm for Rule-set Prediction）預測臺灣黑熊之分布，GARP 是另一種只需物種出現資料的預測分布模式，但近年來陸續有學者比較 Maxent 與 GARP 模式的優劣，普遍認為 Maxent 的表現較良好（Elith et al., 2006; Terribile and Diniz-Filho, 2010）。Maxent 程式輸出更易於分析、闡釋，如輸出各環境變因之 jackknife test，檢視環境變因之相對重要性等優點（Dudik and Schapire, 2006; Phillips et al., 2006）。

（一） Maxent 預測分布範圍

第二期的預測分布有熊格面積約為全島面積的 23 %，99 % 位於國有林範圍內。有兩處分布連續且大面積之核心區域：1. 北部雪霸國家公園、太魯閣國家公園及、北橫公路以南之棲蘭野生動物重要棲息地，此區域被中橫公路及新中橫公路所穿越，沿此公路所種植之果樹、茶葉等經濟作物、休閒遊憩等產業使得棲地惡化和破碎化。2. 南部玉山國家公園、關山野生動物重要棲息地、雙鬼湖自然保留區以及大武山自然保留區北部。此區域歷年來都持續有發現黑熊活動之跡象，野外痕跡調查多數爪痕也在此區域之玉山國家公園及關山野生動物重要棲息地所發現。

第二期預測圖顯示大武山自然保留區中南部無熊分布，與歷年有熊紀錄的結果類似。根據學者於 2000-2003 年間在大武山自然保留區設置自動相機的結果顯示，該區黑熊密度應該偏低。因為收集的有效

照片 1 萬 3 千張中，黑熊有效照片僅有 6 張，且都拍攝於保留區北部（裴家騏、姜博仁，2004）。以地理氣候的角度，臺灣黑熊目前發現最南約為北緯 22 度，而亞洲黑熊目前已知分布最南可達北緯 11 度（Steinmetz, 2009）。此比較顯示，南臺灣黑熊分布稀少應受其他人為相關因素影響。

預測圖亦顯示二個隔離且小區塊之區域：1. 插天山自然保留區及北橫公路以北之棲蘭野生動物重要棲息地。此區被北橫公路分隔，沿路兩旁種植農作物產業，加上觀光遊憩和狩獵壓力，對黑熊族群存續相當不利。2. 海岸山脈。預測圖顯示有熊分布面積僅有 10 km²，主要位於海岸山脈野生動物重要棲息地，位於花蓮縣富里鄉和臺東縣成功鎮海岸山脈交界處。此區域與中央山脈因道路和開發活動而分隔，且山脈兩旁有各式人為活動及東西向的道路切割。因此，本研究推測此兩破碎化之隔離族群，個體數量應極為稀少，若缺乏積極的經營管理和行動策略，此兩區的熊可能有滅絕之風險。

預測分布破碎的大範圍區域位於丹大野生動物重要棲息環境。此保護區為臺灣面積最大（1,100 km²），2000 年 2 月 15 日所成立。相較其他地區，丹大地區歷年有熊紀錄的比例顯得稀少。其他研究人員曾在丹大地區陸續進行動物監測及訪談研究（王穎等，1997；王穎、陳怡君，1998；王穎等，2003；王穎等，2004；王穎、黃興炎，2005；王穎等，2005；王穎等，2006），自動相機與穿越線痕跡調查結果都沒有記錄到黑熊，只有部落訪談有極零星的紀錄。

丹大地區在第一時期預測圖顯示較集中分布，丹大保護區南北連接的地方呈現隔離的情況。丹大北部為中央山脈最為狹窄之處，中部有條於 1957 年開闢的丹大林道，為砍伐森林所用，此林道直達中央山脈中心區域（七彩湖），全長 62 km，雖然在 2004 年因颱風沖毀孫海橋（此林道入口），這期間此區域遭受許多的人為干擾及破壞，如盜伐林木、非法狩獵、種植高山蔬菜、遊客開四驅車直達七彩湖。此區域另有其他林道分布如萬榮、西林、光復、人倫和雙龍林道，其中的光復和人倫林道於本研究野外調查時，發現陷阱上的活山羊、獵人

背山羌下山等狩獵跡象，此區亦有臺電東電西送（銅門至萬大）之鐵塔及維修道路。丹大為連接中央山脈南北兩區有熊分布的關鍵區域，可能由於歷年來遭受人為干擾不斷，造成黑熊分布變動相當敏感，為較不穩定之區塊，值得相關管理單位特別注意及持續監測。

四、二元邏輯迴歸預測模式

Maxent 分布模式無可避免地與所有只需物種出現資料的模式一樣，無法提供目標物種與各環境變因之間的明確關係式。所以，邏輯迴歸遂被用以瞭解目標物種與環境變因間的關係，以釐清因素間的相對重要性。

（一）預測模式

邏輯迴歸最佳模式因素包含海拔、距道路之最近距離、道路密度、距國家公園之最近距離與坡向，除了坡向之外，其他 4 個因素都與黑熊出現有顯著的相關，並與 Maxent 預測模式中相對較重要之環境因素一致。

邏輯迴歸的預測圖顯示黑熊集中分布於 3 個國家公園及其鄰近區域，棲蘭野生動物重要棲息環境北中部、丹大野生動物重要棲息環境、關山野生動物重要棲息環境以南和海岸山脈則呈現空缺狀態。與 Maxent 模式相較下，Maxent 預測的分布較廣，幾乎涵蓋了邏輯迴歸所預測的範圍。邏輯迴歸的 Coz&Snell R^2 與 Nagelkerke R^2 關聯強度值表示環境因素與黑熊有無之間有中強度的關係存在，但 Hosmer-Lemeshow 擬合優度指標顯示最佳模式的 5 個環境變因並無法有效的預測黑熊的分布有無，推測可能與環境因素間的多元共線性、無熊資料的準確度有關，以及尚有其他未考量到的影響因素，如狩獵壓力、食物資源等因素。

環境因素間常有多元共線性（Multicollinearity）之問題，多元共線性的程度越高會導致邏輯迴歸對係數估計上產生誤差（王濟川、郭

志剛，2004) (Hosmer and Lemeshow, 2000b)。在進行模式選擇前，本研究先將年均溫及一月年均溫兩項因子相關係數大於 0.9 除去，其他因素相關係數都小於 0.8，但仍有顯著相關，推測某種程度亦會對因素係數的歸估造成影響。

邏輯回歸通常適用於整體物種偵測率較高的情況 (Green, 2007; Royle et al., 2008)。無熊資料若來自其實有黑熊活動分布之區域，即使比例很低依舊會影響模式的正確預測，因為邏輯回歸對這樣的錯誤無熊格十分敏感，此情況時使用只出現資料 (presence data) 的預測模式比起有無資料 (Presence-absence) 模式的表現較佳 (Gu and Swihart, 2004; Cianfrani et al., 2010)。因此本研究野外資料的無熊格可能就因低偵測度對模式造成影響，例如黑熊在丹大野生動物重要棲息環境及大武山自然保留區似乎當處於一個較不確定的分布狀況，研究指出預測尺度的大小也會影響到邏輯迴歸的預測圖，黑熊活動範圍廣大，而預測網格尺度為 1 km^2 (Keating and Cherry, 2004)，所以建議未來可以嘗試較大尺度(如 25 km^2)進行預測。

邏輯回歸的假設前提是，物種分布有/無資料是真實、可靠的 (Quinn and Keough, 2002; Pearce and Boyce, 2006; Gibson et al., 2007)。本研究無熊資料來自原住民部落訪談、自動相機和野外調查 3 項。原住民部落訪談的無熊格主要分布在靠山區部落周圍，來自當地居民對本身活動區域對黑熊分布的經驗，四川預測黑熊分布之研究也是利用訪談當地居民的方式來取得無熊格，且正確性很高 (Liu et al., 2009)。通常訪問對象為固定會在山區裡活動、或對山裡很熟習的中老年男性，且大多同一部落的人對自己活動附近的無熊界線不會相差太遠，又加上有熊點位的緩衝區，部落訪談來源的無熊格應有一定之可信度，然而如果遇到調查區域熊密度極低的情況，則會產生"假無熊格"的情況。

本研究的無熊資料在挑選上可能有以下問題：1. 雖然考量到黑熊活動範圍，而利用有熊點位劃出半徑 4 km 的緩衝區，假設能將在黑熊活動範圍內可能錯誤的無熊點位刪除，但最後篩選出的無熊格有

些還是分布於山區、國家公園內等黑熊可能潛在分布，與黑熊活動範圍相比，此半徑 4 km 為極保守的範圍。2. 以自動相機研究報告為來源的無熊格來說，雖然限制相機在此區域需設置 5 個月以上、相機數至少 10 臺才挑選，但臺灣黑熊會因食物資源變動而有季節性的移動，以已知有黑熊使用的大分地區為例，在青剛櫟林內所設置約 20 臺相機在 2007 年 6 月至 11 月間都未拍攝至黑熊（林冠甫，2009；Hwang, 2003），但本研究篩選過後的相機點位大多位於中央山脈外圍。3. 野外痕跡調查部分，雖然本研究將佔據率低於 0.15 的網格納入無熊格，但野外黑熊整體偵測率僅有 0.32，也就代表若只調查一次沒有發現熊痕跡的機率高達 0.68（黃美秀，2010），由於穿越線調查實際所涵蓋範圍遠小於黑熊的活動範圍，偵測不到物種出現之機率很高（MacKenzie, 2005）。又因本次野外調查是針對過去沒有熊分布資料之區域，可能此區人為活動較少或熊密度本身就低，固有熊點位之緩衝區可能未有效的排除較有疑慮之網格，所以痕跡調查之無熊格可能只能代表此區域熊密度很低，不見得是真正之無熊格。

五、臺灣黑熊分布的變化

關於臺灣黑熊的地理分布及習性之研究始於日據時代，但多僅止於描述性的紀錄。鹿野忠雄（1929）紀錄當時臺灣黑熊廣泛分布於臺灣全島，臺北市近郊獅頭山也曾發現過牠們的蹤跡，在臺東的山脈數量眾多，森林之外的地方難以發現牠們的蹤跡。另外他也指出黑熊於雪山山脈為普遍出現之物種，分布海拔於 600-2,700 m（Kano, 1940）。1933 年訪談原住民之日本官方紀錄 78 隻黑熊被在各地排灣、布農、泰雅和鄒族等原住民捕獲販售（Wang, 1999）。根據這些歷史資料，似乎勾勒出臺灣黑熊在 1930、1940 年代數量並不如現今般稀少，且在較淺山地區就有發現的紀錄，分布範圍從海拔 100 m 以上的森林地區即有（堀川安市，1932）。

民國光復之後，陸續有一些整理性的文章或關於哺乳動物之調查，由於並不是針對黑熊，內容也是大致的描述。陳兼善指出黑熊分布於蘇澳、羅東、花蓮、玉山和阿里山海拔 100-2,000 m 之區域（陳兼善，

1956)。McCullough 於 1974 年報告之指出，黑熊分布於全島較荒野的山區，包括海岸山脈。較系統性的調查，始於 1990 年王穎等人進行黑熊地理分布的研究。其於 1990-1992 年的調查資料顯示，黑熊分布最北由哈盆區域，南至大武山保留區(王冠邦,1990;王穎等,1990;王穎等,1991)。其之後於 1996-2000 年繼續收集之資料，則新增了海岸山脈的出現記錄，而其他整體分布範圍沒有太大的變動，主要集中在 3 個國家公園(玉山、雪霸和太魯閣)，以及插天山自然保留區及大武山自然保留區(王穎,1999;王穎,2000)。這段期間的研究顯示出黑熊已不容易發現，發現黑熊記錄都已往中央山脈較深山處，海岸山脈的紀錄已非常稀少。

本研究第一時期的黑熊分布範圍南端只到雙鬼湖野生動物重要棲息環境的南部，與王穎等人前期的訪查資料(王冠邦,1990;王穎等,1990;王穎等,1991;王穎,1999;王穎,2000)顯示南端分布至大武山區有所差異。不過王穎等人的資料分布在大武山區之紀錄亦非常稀疏，加上研究內容未表示訪談所發現之年代，所以此區資料是否來自更久前的年代記錄，則不可考。

第二時期的有熊點位與之前紀錄相較，分布邊界似乎往南移動至大武山自然保留區之中北部。雖然此區紀錄顯得稀少，但是否可能會有更多個體逐漸嘗試往南移動播遷，建立族群，則值得關注。Maxent 第二時期之預測圖，分布北界為插天山區與哈盆區域，與 1990-2010 年間的紀錄相較，此區實際分布範圍可能更為縮減。因為哈盆區域為一長期生態研究的樣區，該區域各項生態研究密集進行已超過 20 年以上，但卻沒有任何發現黑熊出現的紀錄。

伍、結論

本研究野外痕跡調查結果指出臺灣黑熊痕跡密度為 0.7/公頃，與國外研究相較下較低，推測臺灣黑熊目前族群量可能處於偏低的狀況。發現痕跡 70 % 為爪痕，建議往後長期監測區域性黑熊族群動態時，爪痕及其新舊程度可做為族群變動的一項指標，但在高海拔地區由於植被特性可能不適用。

綜合 Maxent 模式預測及野外觀察結果顯示，玉山國家公園以南至大武山自然保留區北部為目前黑熊分布範圍最大(約 3600 km²)最完整之區塊，且從痕跡新舊程度判斷，黑熊是有重複造訪此區域且近期有活動的，尤其在關山野生動物重要棲息環境所發現之痕跡。北部插天山區與海岸山脈之族群未來若沒有積極之保育行動恐有滅絕之風險。

整體而言以 Maxent 預測模式表現較佳，由於黑熊偵測率低，無熊格錯誤機率增高導致邏輯迴歸預測有偏差。Maxent 第二期預測有熊格為 8,588 km²，第一期為 5,853 km²，排除資料收集可能偏差之問題，第二時期黑熊分布範圍有擴張之趨勢，尤其在大武山自然保留區南部的範圍。

依據熊類專家建議設立基準(Benchmark)樣區(Garshelis, 2009)，結合野外調查及預測模式之結果，建議可以對下列幾種樣區進行監測。樣區類型分為 (a) 代表樣區 (Representative benchmarks)，地點須能反映物種在較大面積內之趨勢，如關山野生動物重要棲息環境，另外回顧文獻發現此保護區相關之動物研究極少，值得進一步研究。(b) 高密度樣區(High-density benchmarks)，特定季節會聚集的特定區域，如玉山國家公園內的大分地區。(c) 受威脅樣區 (Threatened benchmarks)，此區域因棲地惡化或狩獵導致族群快消失之情況，如插天山保留區及海岸山脈。(d) 邊緣樣區 (Edge benchmarks)，位於族群分布邊界之區域，如大武山自然保留區中北部區域、宜蘭比亞豪山區，監測此類樣區可以幫助我們了解黑熊族群擴張移動的程度。

參考文獻

- 上河文化股份有限公司編著，2002。臺灣地理人文全覽圖。上河文化股份有限公司，臺北。124 頁。
- 王冠邦，1990。臺灣黑熊之生態學研究—分布、棲地及動物園行為。國立臺灣師範大學生物研究所碩士論文。37 頁。
- 王穎，1999。臺灣黑熊族群調查及保育研究計畫（一）。臺北市動物園之友協會。52 頁。
- 王穎，2000。臺灣黑熊族群調查及保育研究計畫（二）。臺北市動物園之友協會。48 頁。
- 王穎，2006。丹大野生動物重要棲息環境野生動物調查研究計畫(2/2)。行政院農業委員會林務局保育研究系列第 94-18 號。54 頁。
- 王穎、王冠邦，1990。臺灣黑熊之生態調查及其經營管理策略（I）。行政院農委會 79 年生態研究第 010 號。17 頁。
- 王穎、王佳琪、蔡佳淳、郭正彥、方志仁，2004。丹大地區野生動物重要棲息環境分區規畫及動物監測（第二年）。行政院農業委員會林務局保育研究系列第 92-11 號。52 頁。
- 王穎、王佳琪、蔡佳淳、郭正彥，2005。丹大地區野生動物重要棲息環境動物監測及原住民狩獵利用之調查。行政院農業委員會林務局保育研究系列第 93-27 號。38 頁。
- 王穎、陳添喜，1991。臺灣黑熊之生態調查及其經營管理策略（II）。行政院農委會 80 年生態研究第 014 號。44 頁。
- 王穎、陳輝勝、黃美秀、高美芳，1992。臺灣黑熊之生態調查及其經營管理策略（III）。行政院農委會 81 年生態研究第 030 號。56 頁。
- 王穎、陳輝勝、黃正龍，1993。臺灣黑熊之生態調查及其經營管理策略（IV）。行政院農委會 82 年生態研究第 032 號。32 頁。
- 王穎、陳怡君，1998。丹大地區野生動物族群之初步調查（II）。行政院農業委員會林務局保育研究系列第 88-05 號。62 頁。

- 王穎、黃興炎，2005。丹大地區野生動物重要棲息環境野生動物調查研究計畫（1/2）。行政院農業委員會林務局保育研究系列第93-16號。47頁。
- 王穎、顏士清、許詩涵、張雅婷、黃書彥、潘玉潔、王佳琪，2006。丹大地區野生動物重要棲息環境野生動物調查研究計畫(2/2)。行政院農業委員會林務局保育研究系列第94-18號。61頁。
- 王濟川、郭志剛，2005。Logistic 回歸模型—方法及應用。五南圖書出版股份有限公司，臺北。338頁。
- 祈偉廉，2008。臺灣哺乳動物。天下遠見出版股份有限公司，臺北市。255頁。
- 邱祈榮、陳子英、謝長富、劉和義、葉慶龍、王震哲，2010。臺灣現生天然植群圖集。行政院農業委員會林務局出版。151頁。
- 吳尹仁，2007。臺灣黑熊棲息地利用及分布預測模式。屏東科技大學野生動物保育研究所碩士論文。100頁。
- 林冠甫，2009。玉山國家公園大分地區櫟實結果對於大型哺乳動物豐富度之影響。屏東科技大學野生動物保育研究所碩士論文。115頁。
- 洪煜鈞，2009。臺灣南部大型猛禽棲地利用及棲地適合度分布預測。屏東科技大學野生動物保育研究所碩士論文。62頁。
- 鹿野忠雄，1929。臺灣產哺乳類的分布及習性。動物學雜誌，41（489）：332-340。
- 陳兼善，1956。臺灣脊椎動物誌。臺北商務印書館，臺北。122頁。
- 堀川安市，1932。臺灣哺乳動物圖說。臺灣博物學會，臺北。124頁。
- 黃美秀、王穎、劉曼儀，2008。臺灣黑熊於南臺灣之分布及棲地利用調查。行政院農業委員會林務局保育研究系列第96-00-8-02號。59頁。
- 黃美秀、姚中翎、王穎、李培芬，2006。臺灣黑熊的分布圖繪製及保育現狀之探討。行政院農業委員會林務局。
- 黃美秀、潘怡如、蔡幸蒨、郭彥仁、林冠甫，2010。臺灣黑熊分布預測模式及保育行動綱領之建立。行政院農業委員會林務局保育

- 研究系列第 98-23 號。127 頁。
- 裴家騏、姜博仁，2004。大武山自然保留區和周邊地區雲豹及其他中大型哺乳動物之現況及保育研究（三）。行政院農委會林務局保育研究系列第 92-02 號。159 頁。
- 魯慶彬、胡錦轟，2003。岷山黑熊生境選擇的初步分析。獸類學報。23:98-103。
- 劉芳，2009。四川省亞洲黑熊（*Ursus thibetanus*）空間分布及人-熊關係研究。北京大學博士論文。126 頁。
- Akaike, H. 1973. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. Pages 267-281 in The 2nd International symposium on information theory.
- Akhtar, N., H. S. Bargali, and N. Chauhan. 2004. Sloth bear habitat use in disturbed and unprotected areas of Madhya Pradesh, India. *Ursus* 15:203-211.
- Anderson, R. P., D. Lew, and A. T. Peterson. 2003. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling* 162:211-232.
- Augeri, D. M. 2005. On the biogeographic ecology of the Malayan sun bear. Dissertation, University of Cambridge, Twin Cities, London, UK.
- Baasch, D. M., A. J. Tyre, J. J. Millspaugh, S. E. Hygnstrom, and K. C. Vercauteren. 2010. An evaluation of three statistical methods used to model resource selection. *Ecological Modelling* 221:565-574.
- Baldwin, R. A. 2009. Use of maximum entropy modeling in wildlife research. *Entropy* 11:854-866.
- Berland, A., T. Nelson, G. Stenhouse, K. Graham, and J. Cranston. 2008. The impact of landscape disturbance on grizzly bear habitat use in the Foothills Model Forest, Alberta, Canada. *Forest Ecology and Management* 256:1875-1883.
- Brotons, L., W. Thuiller, M. B. Araujo, and A. H. Hirzel. 2004.

- Presence-absence versus presence-only modelling methods for predicting bird habitat suitability. *Ecography* 27:437-448.
- Burnham, K. P., and D. R. Anderson. 2002. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach. Springer, New York, USA. 488pp.
- Cianfrani, C., G. Le Lay, A. H. Hirzel, and A. Loy. 2010. Do habitat suitability models reliably predict the recovery areas of threatened species? *Journal of Applied Ecology* 47:421-430.
- Ciarniello, L. M., M. S. Boyce, D. C. Heard, and D. R. Seip. 2007. Components of grizzly bear habitat selection: density, habitats, roads, and mortality risk. *The Journal of Wildlife Management* 71:1446-1457.
- Clevenger, A., and F. Purroy. 1996. Sign surveys for estimating trend of a remnant brown bear *Ursus arctos* population in northern Spain. *Wildlife Biology* 2:275-281.
- 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.
- DeMatteo, K. E., and B. A. Loiselle. 2008. New data on the status and distribution of the bush dog (*Speothos venaticus*): Evaluating its quality of protection and directing research efforts. *Biological Conservation* 141:2494-2505.
- Doko, T., H. Fukui, A. Kooiman, A. G. Toxopeus, T. Ichinose, W. Chen, and A. K. Skidmore. 2011. Identifying habitat patches and potential ecological corridors for remnant Asiatic black bear (*Ursus thibetanus japonicus*) populations in Japan. *Ecological Modelling* 222:748-761.
- Dudik, M., and R. Schapire. 2006. Maximum entropy distribution estimation with generalized regularization. *Learning Theory*:123-138.
- Elith, J., C. H. Graham, R. P. Anderson, M. Dudik, S. Ferrier, A. Guisan,

- R. J. Hijmans, F. Huettmann, J. R. Leathwick, and A. Lehmann. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29:129-151.
- Elith, J., and L. J. 2009. The contribution of species distribution modelling to conservation prioritization. Pages 70-92 *in* A. Moilanen, K. A. Wilson, and H. P. Possingham, eds. *Spatial conservation prioritization: quantitative methods and computational tools*. Oxford University Press, London, UK.
- Fernández, N., M. Delibes, and F. Palomares. 2006. Landscape Evaluation in Conservation: Molecular Sampling and Habitat Modeling for the Iberian Lynx. *Ecological Applications* 16:1037-1049.
- Fielding, A. H., and J. F. Bell. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental conservation* 24:38-49.
- Franklin, J., and J. A. Miller. 2010. *Mapping species distributions: spatial inference and prediction*. Cambridge University Press, London, UK. 320pp.
- 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.
- Galetti, M., H. C. Giacomini, R. S. Bueno, C. S. S. Bernardo, R. M. Marques, R. S. Bovendorp, C. E. Steffler, P. Rubim, S. K. Gobbo, C. I. Donatti, R. A. Begotti, F. Meirelles, R. d. A. Nobre, A. G. Chiarello, and C. A. Peres. 2009. Priority areas for the conservation of Atlantic forest large mammals. *Biological Conservation* 142:1229-1241.
- Garshelis, D. L. 2000. Delusions in Habitat Evaluation: Measuring Use, Selection, and Importance. Pages 111 *in* L. Boitani, and T. Fuller,

- eds. Research Techniques in Animal Ecology Controversies and Consequences. Columbia University Press, New York, USA.
- Garshelis, D. L. 2009. Monitoring bear populations without population estimates or harvest data: the case of Asiatic black bear. Pages 5 *in* International Symposium on Conservation of the Asiatic Black Bear.
- Garshelis, D. L., R. Steinmetz. 2008. *Ursus thibetanus*. In: IUCN 2009. IUCN Red list of Threatened Species. Version 2009.1 <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 24 May, 2009.
- Gibson, L., B. Barrett, and A. Burbidge. 2007. Dealing with uncertain absences in habitat modelling: a case study of a rare ground dwelling parrot. *Diversity and Distributions* 13:704-713.
- Graves, T. A. 2002. Spatial and temporal response of grizzly bears to recreational use on trails. Master thesis, The University of Montana, Twin Cities, Montana, USA.
- Green, R. E. 2007. Distribution and habitat associations of forest carnivores and an evaluation of the California Wildlife Habitat Relationships model for American marten in Sequoia and Kings Canyon National Parks. Master thesis, Humboldt State University, Twin Cities, California, USA.
- Groom, M. J., G. K. Meffe, and C. R. Carroll. 2006. Principles of conservation biology. Sinauer Associates Sunderland, Massachusetts, USA. 779pp.
- Gu, W., and R. K. Swihart. 2004. Absent or undetected? Effects of non-detection of species occurrence on wildlife-habitat models. *Biological Conservation* 116:195-203.
- Guisan, A., and W. Thuiller. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology letters* 8:993-1009.
- Guisan, A., and N. E. Zimmermann. 2000. Predictive habitat distribution

- models in ecology. *Ecological modelling* 135:147-186.
- Hernandez, P. A., C. H. Graham, L. L. Master, and D. L. Albert. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography* 29:773-785.
- Honda, T., Y. Yoshida, and T. Nagaike. 2009. Predictive Risk Model and Map of Human-Asiatic Black Bear Contact in Yamanashi Prefecture, Central Japan. *Mammal Study* 34:77-84.
- Hosmer, D. W., and S. Lemeshow. 2000. *Applied logistic regression*. Wiley-Interscience, New York, USA. 373pp.
- Huberty, C. J. 1994. *Applied discriminant analysis*. Wiley-Interscience, New York, USA. 466pp.
- Hwang, M.-H., D. L. Garshelis, W. Yu-Hui, and W. Ying. 2010. Home ranges of Asiatic black bears in the Central Mountains of Taiwan: Gauging whether a reserve is big enough. *Ursus* 21:81-96.
- Hwang, M. H. 2003. *Ecology of Asiatic black bears and people-bear interactions in Yushan National Park, Taiwan*. Dissertation, University of Minnesota, Twin Cities, Minnesota, USA.
- Hwang, M. H., D. L. Garshelis, and Y. Wang. 2002. Diets of asiatic black bears in Taiwan, with methodological and geographical comparisons. *Ursus* 13:111-125.
- Hwang, M. H., and W. J. Chen. 2009. Antecedents to Tribal bear hunting participation in Taiwan: An application of the theory of planned behavior. Page 67 *in* International Symposium on Conservation of the Asiatic Black Bear.
- Illoldi-Rangel, P., V. Sanchez-Cordero, and A. Townsend Peterson. 2004. Predicting distributions of Mexican mammals using ecological niche modeling. *Journal of Mammalogy* 85:658-662.
- IUCN. 2009. *The IUCN Red List of Threatened Species*. International

- Union for the Conservation of Nature, Gland, Switzerland.
<http://www.iucnredlist.org>, accessed 25 June 2009.
- 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.
- Karamanlidis, A. A., D. Youlatos, S. Sgardelis, and Z. Scouras. 2007. Using sign at power poles to document presence of bears in Greece. *Ursus* 18:54-61.
- Kano, T. 1940. Zoogeographic studies of Tsugitaka mountains of Formosa. Institute for Ethnographic Research, Tokyo, Japan. 145pp.
- Keating, K. A., and S. Cherry. 2004. Use and interpretation of logistic regression in habitat-selection studies. *Journal of Wildlife Management* 68:774-789.
- Kerley, L. L., J. M. Goodrich, D. G. Miquelle, E. N. Smirnov, H. B. Quigley, and N. G. Hornocker. 2002. Effects of roads and human disturbance on Amur tigers. *Conservation Biology* 16:97-108.
- Klar, N., N. Fernandez, S. Kramer-Schadt, M. Herrmann, M. Trinzen, I. Buttner, and C. Niemitz. 2008. Habitat selection models for European wildcat conservation. *Biological Conservation* 141:308-319.
- Kobler, A., and M. Adamic. 2000. Identifying brown bear habitat by a combined GIS and machine learning method. *Ecological Modelling* 135:291-300.
- Laurance, W. F., B. M. Croes, L. Tchignoumba, S. A. Lahm, A. Alonso, M. E. Lee, P. Campbell, and C. Ondzeano. 2006. Impacts of roads and hunting on central African rainforest mammals. *Conservation Biology* 20:1251-1261.
- Lewis, J. S., J. L. Rachlow, J. S. Horne, E. O. Garton, W. L. Wakkinen, J. Hayden, and P. Zager. 2011. Identifying habitat characteristics to

- predict highway crossing areas for black bears within a human-modified landscape. *Landscape and Urban Planning* 101:99-107.
- Linkie, M., Y. Dinata, A. Nugroho, and I. A. Haidir. 2007. Estimating occupancy of a data deficient mammalian species living in tropical rainforests: Sun bears in the Kerinci Seblat region, Sumatra. *Biological Conservation* 137:20-27.
- Liu, F., W. McShea, D. Garshelis, X. J. Zhu, D. J. Wang, J. E. Gong, and Y. P. Chen. 2009. Spatial distribution as a measure of conservation needs: an example with Asiatic black bears in south-western China. *Diversity and Distributions* 15:649-659.
- 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 Mountains Montana. *Journal of Applied Ecology* 33:1395-1404.
- MacKenzie, D. I. 2005. What are the issues with presence-absence data for wildlife managers? *Journal of Wildlife Management* 69:849-860.
- Madhusudan, M., and K. U. Karanth. 2002. Local hunting and the conservation of large mammals in India. *Ambio*:49-54.
- Manel, S., H. C. Williams, and S. J. Ormerod. 2001. Evaluating presence absence models in ecology: the need to account for prevalence. *Journal of Applied Ecology* 38:921-931.
- Markovchick-Nicholls, L., H. M. Regan, D. H. Deutschman, A. Widyanata, B. Martin, L. Noreke, and T. A. Hunt. 2008. Relationships between human disturbance and wildlife land use in urban habitat fragments. *Conservation Biology* 22:99-109.
- Mattson, D. J., and T. Merrill. 2002. Extirpations of grizzly bears in the contiguous United States, 1850-2000. *Conservation Biology* 16:1123-1136.
- McCullough, D. R. 1974. Status of larger mammals in Taiwan. *Taiwan*

- Tourism Bureau, Taipei, Taiwan. 35pp.
- McPherson, J., W. Jetz, and D. J. Rogers. 2004. The effects of species' range sizes on the accuracy of distribution models: ecological phenomenon or statistical artefact? *Journal of Applied Ecology* 41:811-823.
- Morrison, J. C., W. Sechrest, E. Dinerstein, D. S. Wilcove, and J. F. Lamoreux. 2007. Persistence of large mammal faunas as indicators of global human impacts. *Journal of Mammalogy* 88:1363-1380.
- Morrison, L. M., B. G. Marcot, and R. W. Mannan. 1998. *Wildlife-Habitat relationship: Concepts and Application*. The University of Wisconsin Press, Madison, USA. 416pp.
- Nielsen, S. E., G. B. Stenhouse, and M. S. Boyce. 2006. A habitat-based framework for grizzly bear conservation in Alberta. *Biological Conservation* 130:217-229
- 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.
- Nowak, B.R. 1991. *Walker's Mammals of the World*. Fifth Edition. The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London, UK. 1629pp.
- Onorato, D. P., E. C. Hellgren, F. S. Mitchell, and J. R. Skiles. 2003. Home range and habitat use of American black bears on a desert montane island in Texas. *Ursus* 14:120-129.
- Pearce, J. L., and M. S. Boyce. 2006. Modelling distribution and abundance with presence only data. *Journal of Applied Ecology* 43:405-412.
- Pearson, R. G., W. Thuiller, M. B. Araujo, E. Martinez-Meyer, L. Brotons, C. McClean, L. Miles, P. Segurado, T. P. Dawson, and D. C. Lees. 2006. Model-based uncertainty in species range prediction. *Journal*

- of *Biogeography* 33:1704-1711.
- Peralvo, M., F. Cuesta, and F. van Manen. 2005. Delineating priority habitat areas for the conservation of Andean bears in northern Ecuador. *Ursus* 16(2):222-233.
- Peterson, A. T., V. Sanchez-Cordero, E. Martinez-Meyer, and A. G. Navarro-Siguenza. 2006. Tracking population extirpations via melding ecological niche modeling with land-cover information. *Ecological Modelling* 195:229-236.
- 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., and M. Dudík. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31:161-175.
- Pollock, J. F. 2006. Detecting population declines over large areas with presence absence, time to encounter, and count survey methods. *Conservation Biology* 20:882-892.
- Posillico, M., A. Meriggi, E. Pagnin, S. Lovari, and L. Russo. 2004. A habitat model for brown bear conservation and land use planning in the central Apennines. *Biological Conservation* 118:141-150.
- Pyare, S., and J. Berger. 2003. Beyond demography and delisting: ecological recovery for Yellowstone's grizzly bears and wolves. *Biological Conservation* 113:63-73.
- Quinn, G. P., and M. J. Keough. 2002. *Experimental design and data analysis for biologists*. Cambridge University Press, New York, USA. 537 pp.
- Ratnayeke, S., F. T. Van Manen, R. Pieris, and V. S. J. Pragash. 2007. Landscape characteristics of sloth bear range in Sri Lanka. *Ursus* 18:189-202.
- Reynolds-Hogland, M. J., and M. S. Mitchell. 2007. Effects of roads on

- habitat quality for bears in the southern Appalachians: a long-term study. *Journal of Mammalogy* 88:1050-1061.
- Rios-Uzeda, B., H. Gomez, and R. Wallace. 2006. Habitat preferences of the Andean bear (*Tremarctos ornatus*) in the Bolivian Andes. *Journal of Zoology* 268:271-278.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W., 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with Earth Resources Technology Satellite. Page 309-317 in 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium.
- Rowcliffe, J. M., E. de Merode, and G. Cowlishaw. 2004. Do wildlife laws work? Species protection and the application of a prey choice model to poaching decisions. *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 271:2631-2636.
- Royle, J. A., T. R. Stanley, and P. M. Lukacs. 2008. Statistical modeling and inference from carnivores survey data. Pages 293-312 in Robert A. Long, Paula MacKay, William J. Zielinski, and J. C. Ray, eds. *Noninvasive survey methods for Carnivores*. Island Press, Washington, DC, USA.
- Sánchez-Mercado, A., J. R. Ferrer-Paris, E. Yerena, S. García-Rangel, and K. M. Rodríguez-Clark. 2008. Factors affecting poaching risk to Vulnerable Andean bears *Tremarctos ornatus* in the Cordillera de Mrida, Venezuela: space, parks and people. *Oryx* 42:437-447.
- Schoen, J. W. 1990. Bear habitat management: a review and future perspective. Pages 143-154 in *International Conference on Bear Research and Management*.
- Sharma, L. K., S. A. Charoo, S. Sathyakumar. 2009. Ecological studies on the asiatic black bear (*Ursus thibetanus*) in Dachigam National Park, Kashmir, India. Pages 15 in *International Symposium on Conservation of the Asiatic Black Bear*.
- Simberloff, D. 1998. Flagships, umbrellas, and keystones: is

- single-species management passe in the landscape era? *Biological Conservation* 83:247-257.
- Skov, F. 2000. Potential plant distribution mapping based on climate similarity. *Taxon* 49:503-515.
- Steinmetz, R. G. 2009. Ecological overlap of sympatric sun bears and Asiatic black bears in tropical forest, Thailand. Dissertation, University of Minnesota, Twin cities, Minnesota, USA.
- Su, H. J. 1984. Studies on the climate and vegetation type of natural forest in Taiwan(II)Altitudianl vegetation zones in relation tp temperature gradient. *Quarterly Journal of Chinese Forestry* 17:53-73.
- Terribile, L., and J. Diniz-Filho. 2010. How many studies are necessary to compare niche-based models for geographic distributions? Inductive reasoning may fail at the end. *Brazilian Journal of Biology* 70:263-269.
- Tuanmu, M. N., A. Vina, G. J. Roloff, W. Liu, Z. Ouyang, H. Zhang, and J. Liu. 2011. Temporal transferability of wildlife habitat models: implications for habitat monitoring. *Journal of Biogeography*. 38:1510-1523.
- Unger, D.E., S. Fei, and D.S. Maehr. 2008. Ecological niche factor analysis to determive habitat suitability of a recolonizing carnivore. Page 237-250 *in* proceeding of the 6th southern forestry and natural resources GIS conference.
- Verbyla, D. L., and J. A. Litvaitis. 1989. Resampling methods for evaluating classification accuracy of wildlife habitat models. *Environmental Management* 13:783-787.
- Vina, A., M. N. Tuanmu, W. Xu, Y. Li, Z. Ouyang, R. DeFries, and J. Liu. 2010. Range-wide analysis of wildlife habitat: Implications for conservation. *Biological Conservation* 143:1960-1969.
- Wang, Y. 1999. Status and management of the Asiatic Black Bear in

Taiwan. Pages 213-215 *in* C. Servheen, S. Herrero, B. Peyton, K. Pelletier, K. Moll, and J. Moll, eds. Bears: status survey and conservation action plan. IUCN, Gland, Switzerland.

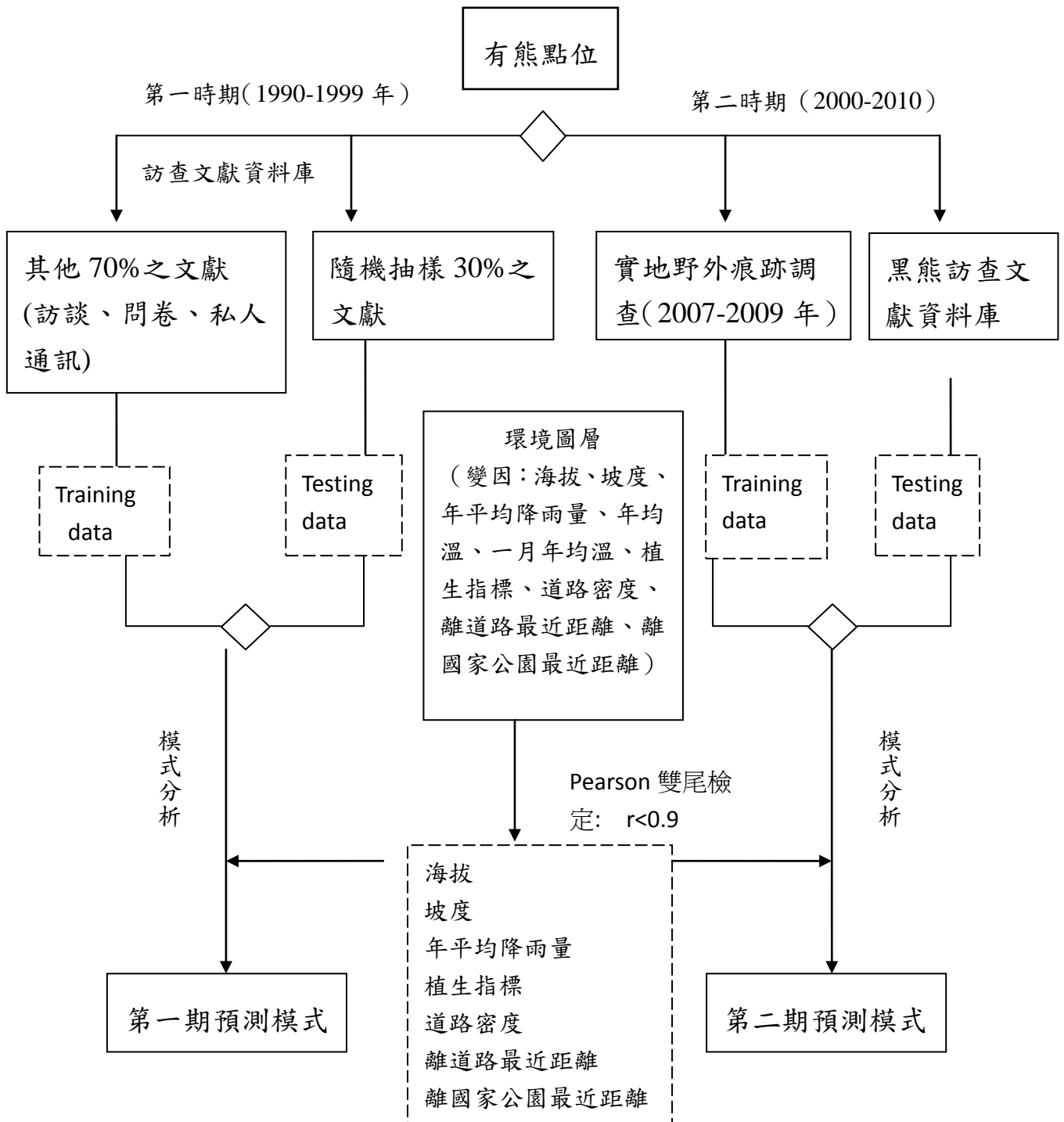


圖 1、Maxent 預測分布模式流程圖，說明不同時期使用之驗證資料及訓練資料來源及比例，以及環境因子之篩選。黑熊訪查文獻資料庫來源自黃美秀等(2006；2008；2010)之研究報告。

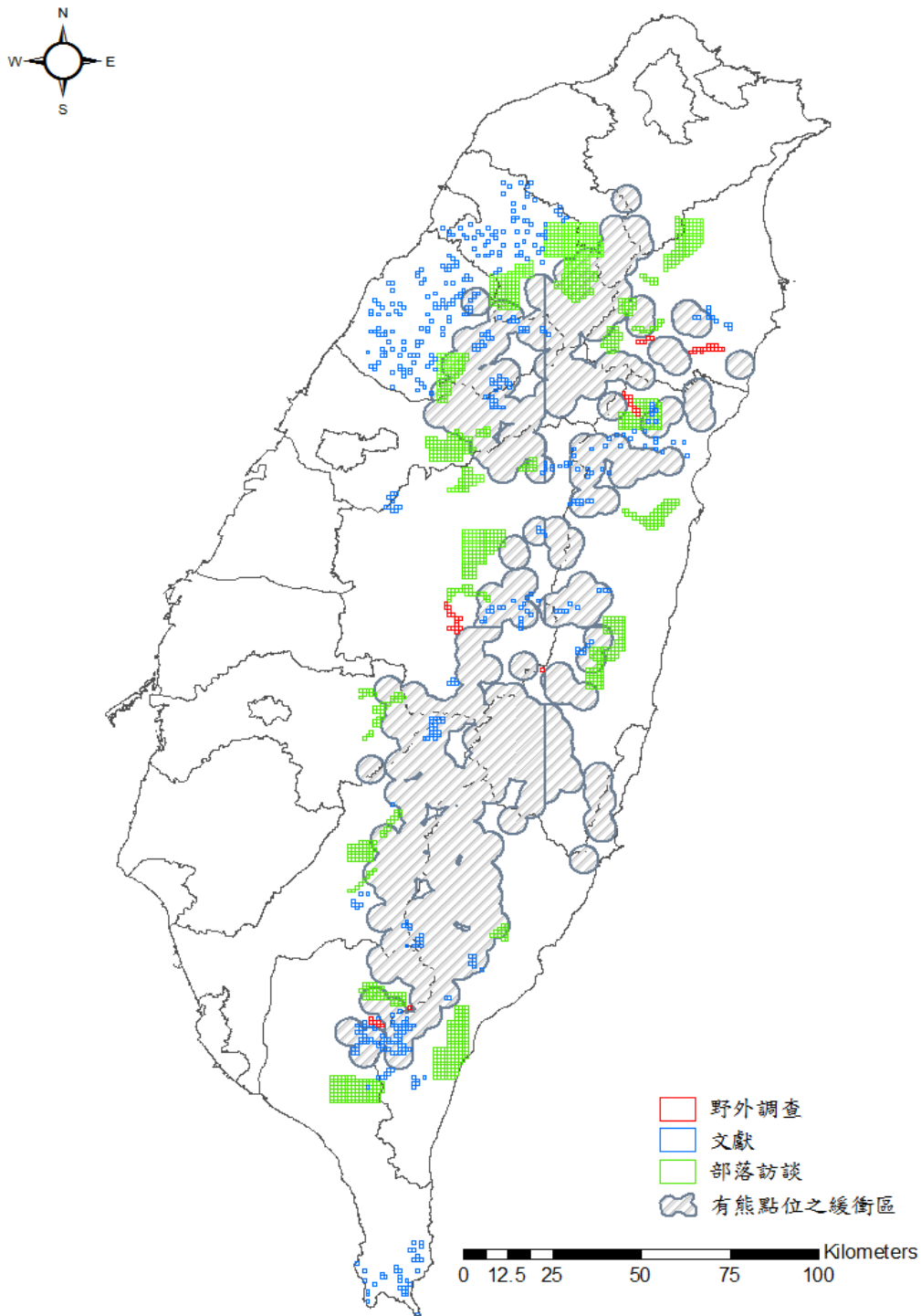


圖 2、未經篩選之無熊網格與全部有熊點位($n = 1,017$) 的緩衝區(半徑 4 km) 重疊狀況之分布圖。不同顏色空心網格代表不同來源的無熊資料，淺灰區塊為考量黑熊活動範圍所設置之緩衝區，避免選取到位於黑熊潛在活動區域之錯誤無熊格，故無熊格若與之重疊則刪除不納入之後分析。黑色線為縣市邊界。

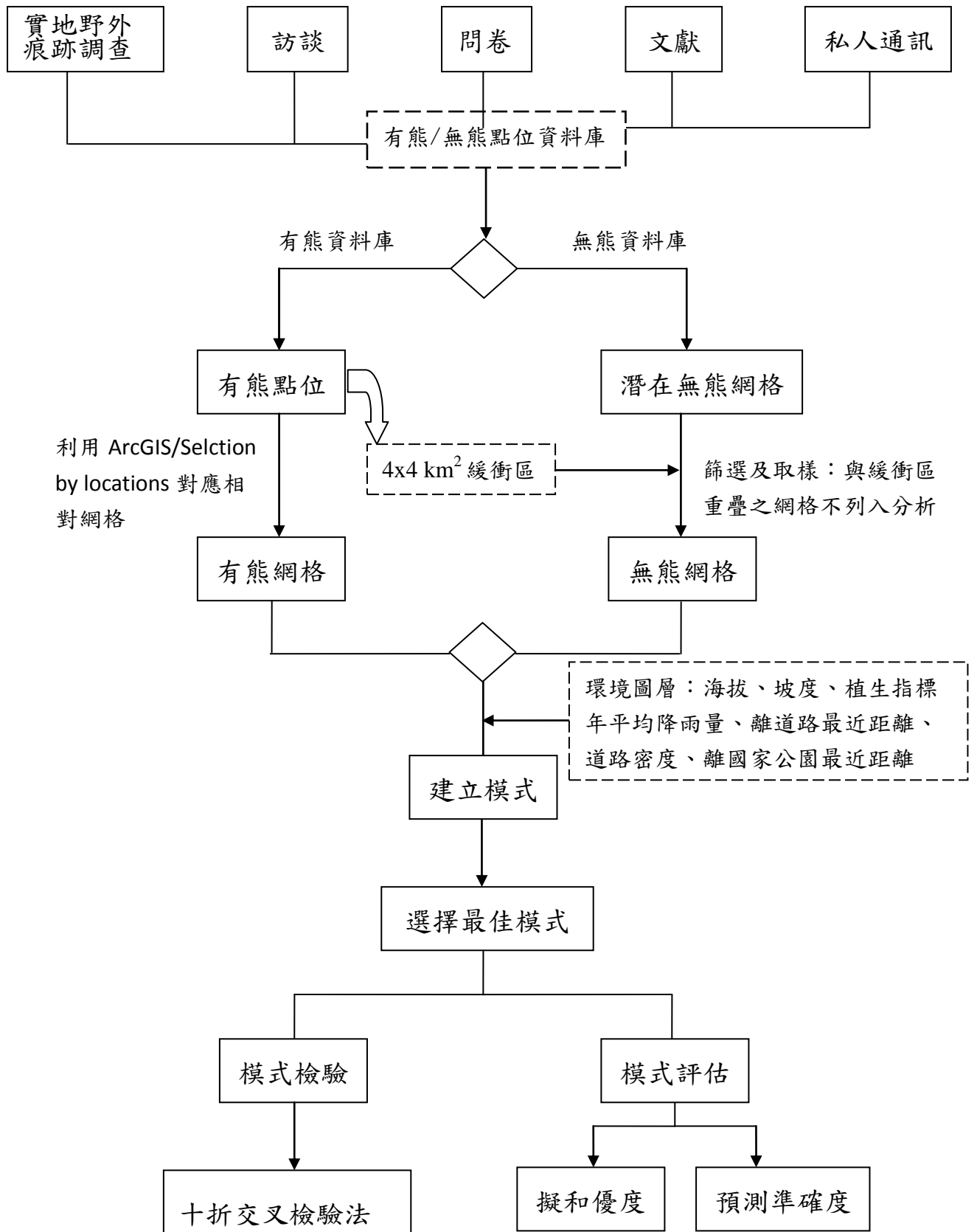


圖 3、以二元邏輯回歸方法利用有/無熊資料預測分布流程圖。訪談、問卷、文獻及私人通訊等資料為黑熊訪查文獻資料庫

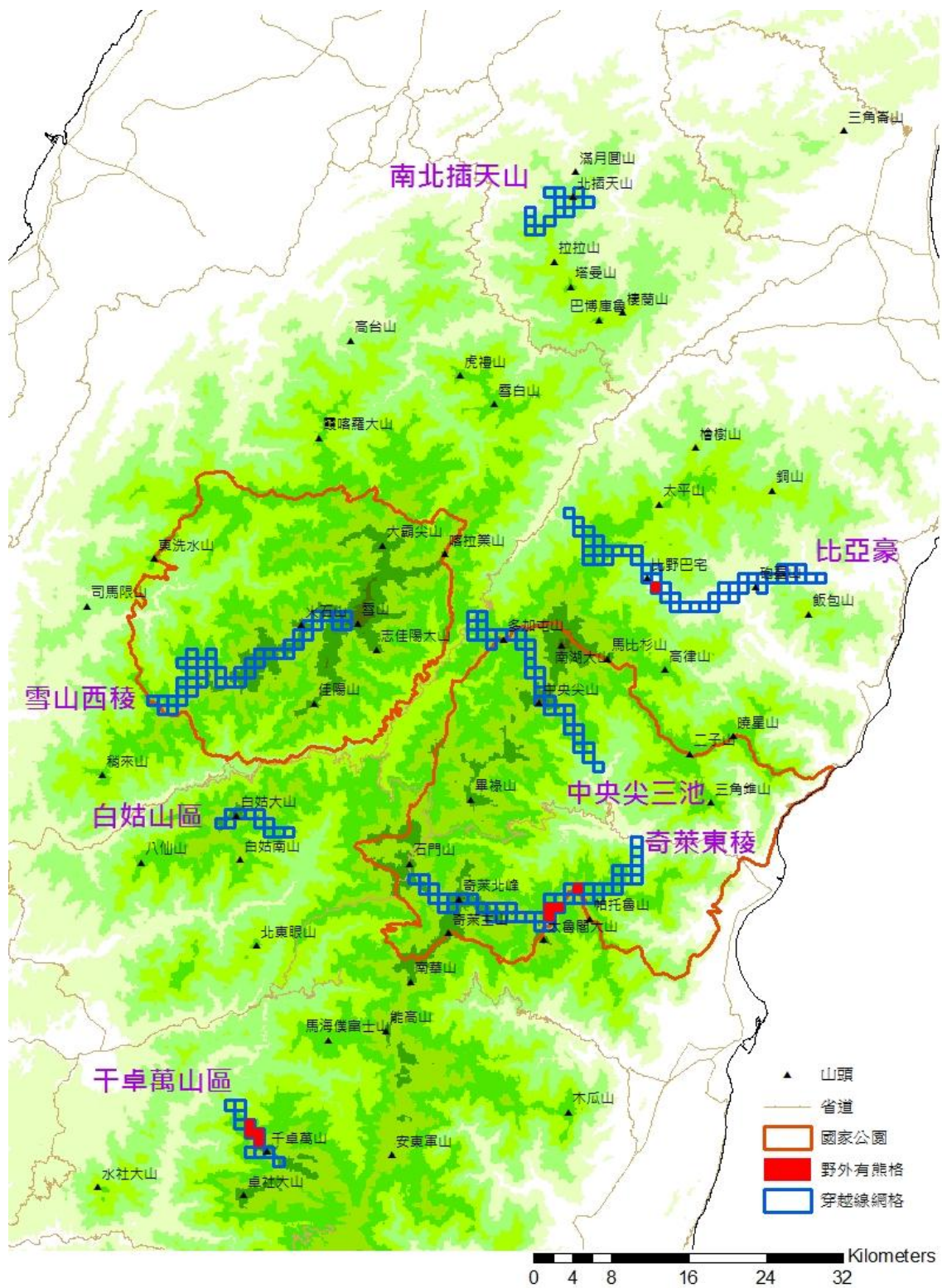


圖 4、野外臺灣黑熊痕跡調查之路線(中北部)及發現熊痕跡之網格。紅色實心網格為發現熊痕跡之網格。藍色網格為痕跡穿越線之網格。網格為 1 km^2 。

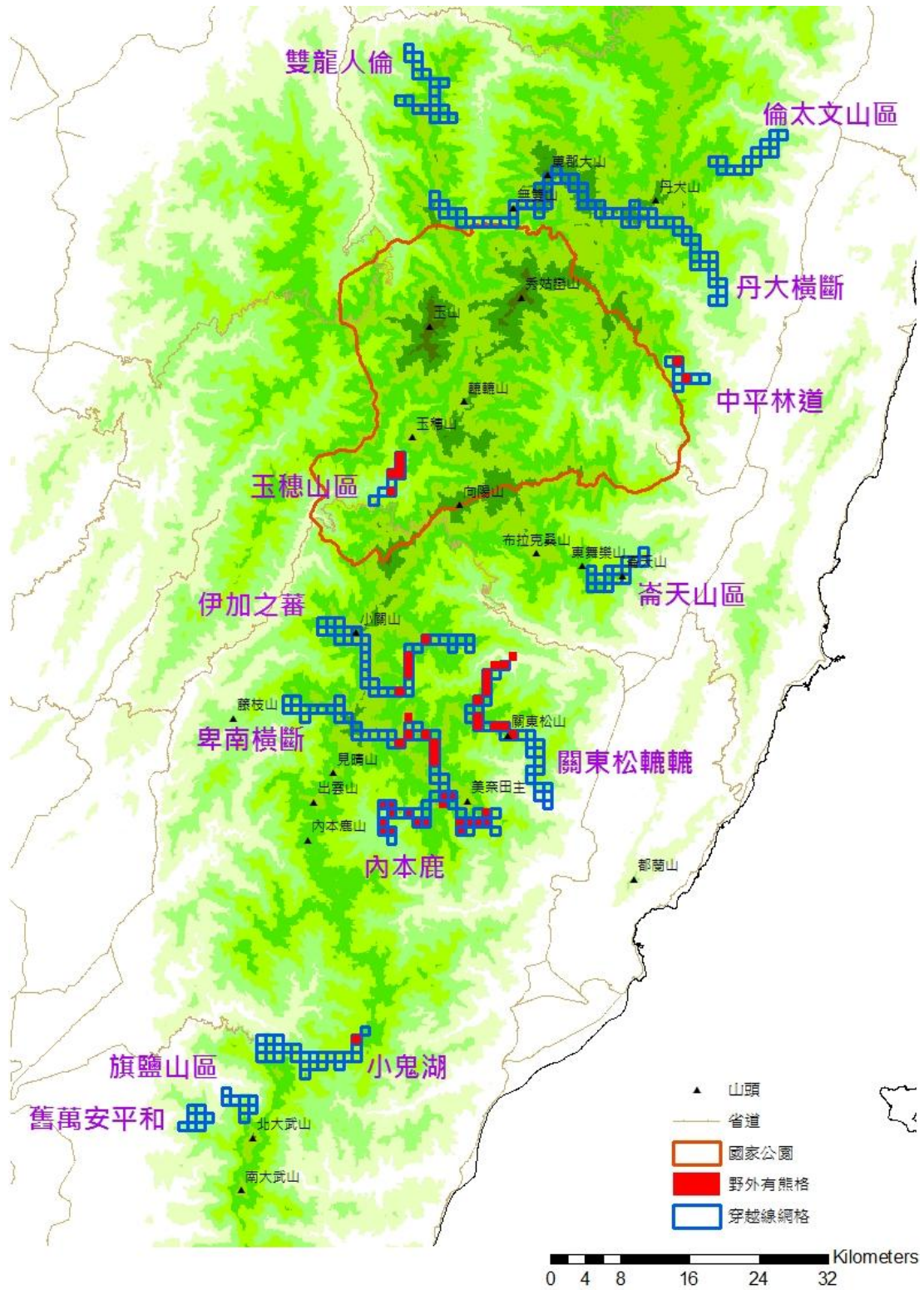


圖 4 續、野外臺灣黑熊痕跡調查之路線(南部)及發現熊痕跡之網格。紅色實心網格為發現熊痕跡之網格。藍色網格為痕跡穿越線之網格。網格為 1 km^2 。

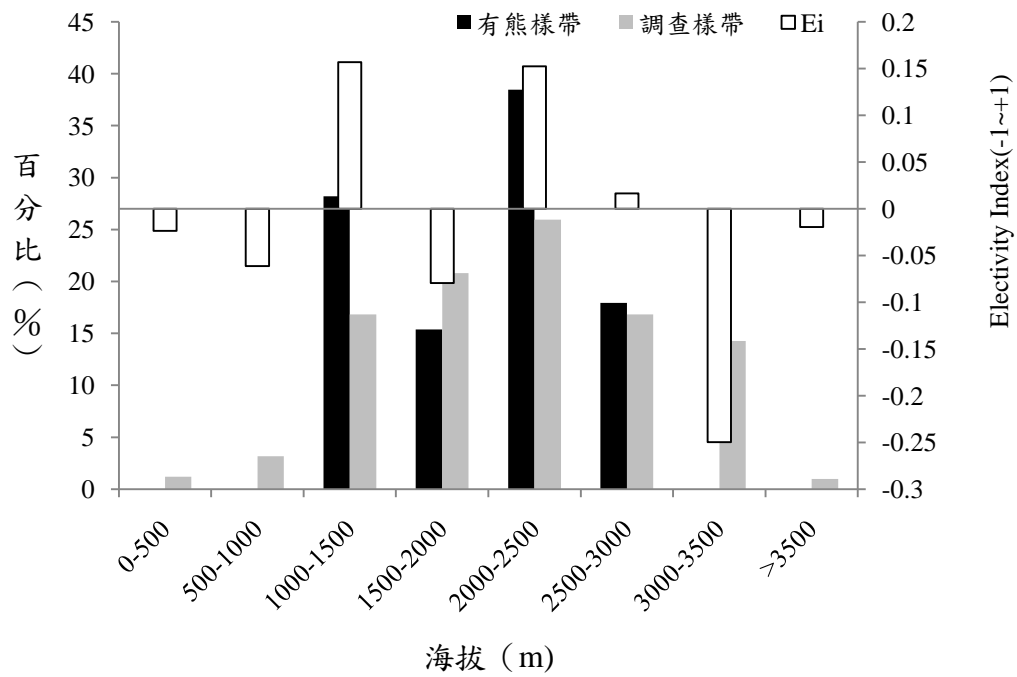


圖 5、野外穿越樣帶(紀錄單位為 500 m) 及有熊痕跡樣帶於各海拔梯度之分布狀況。

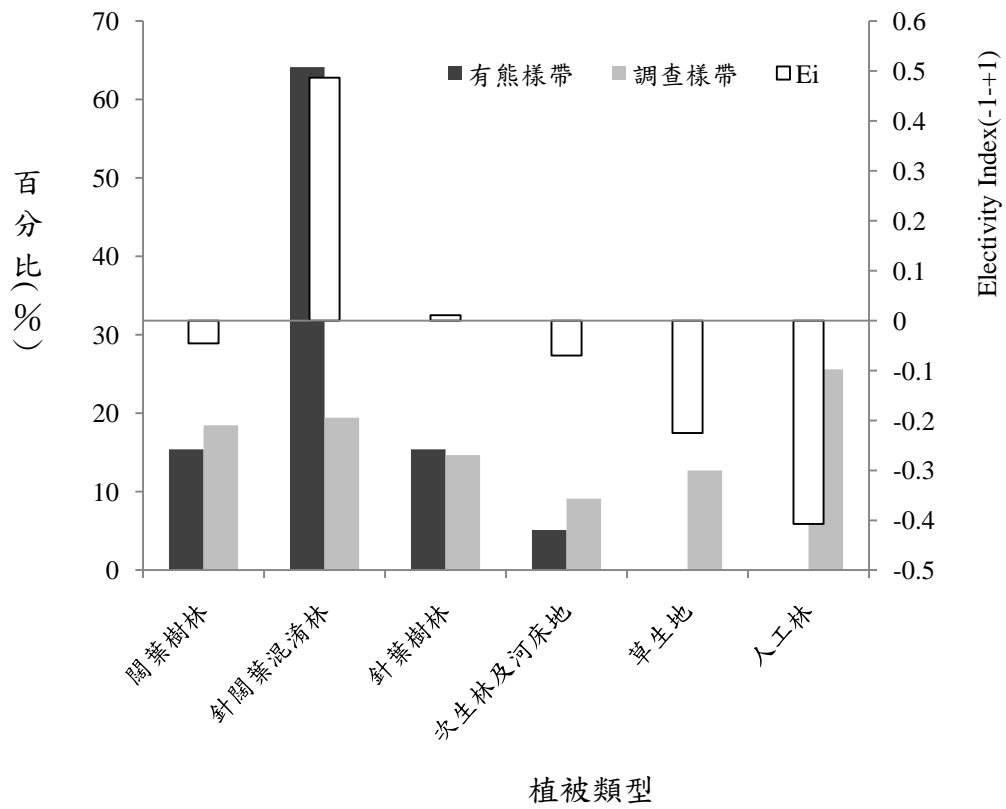


圖 6、野外穿越線調查單位(n = 505) 及有熊痕跡樣帶(n = 39) 於各植被類型之分布狀況。單位為 500 m。

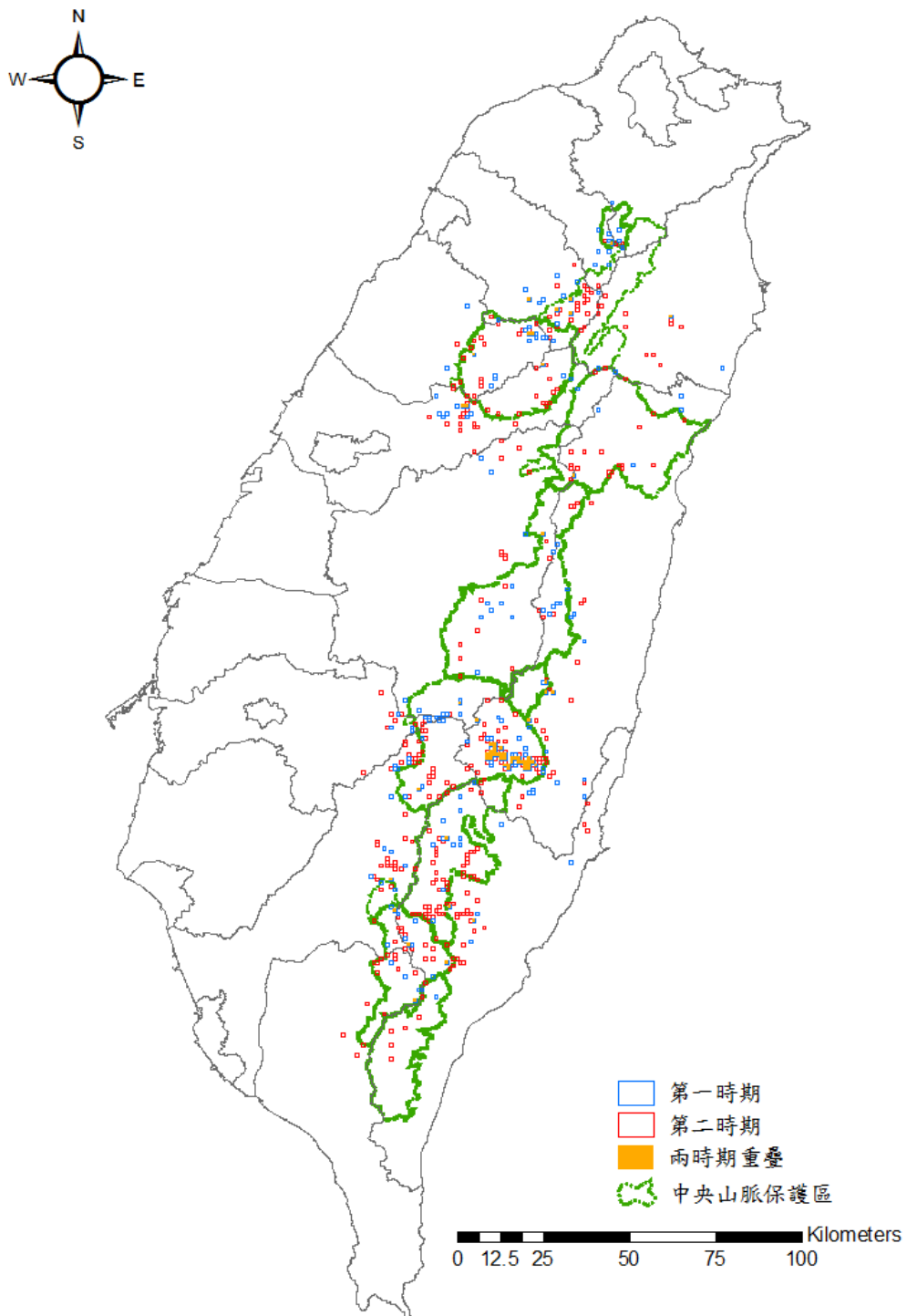
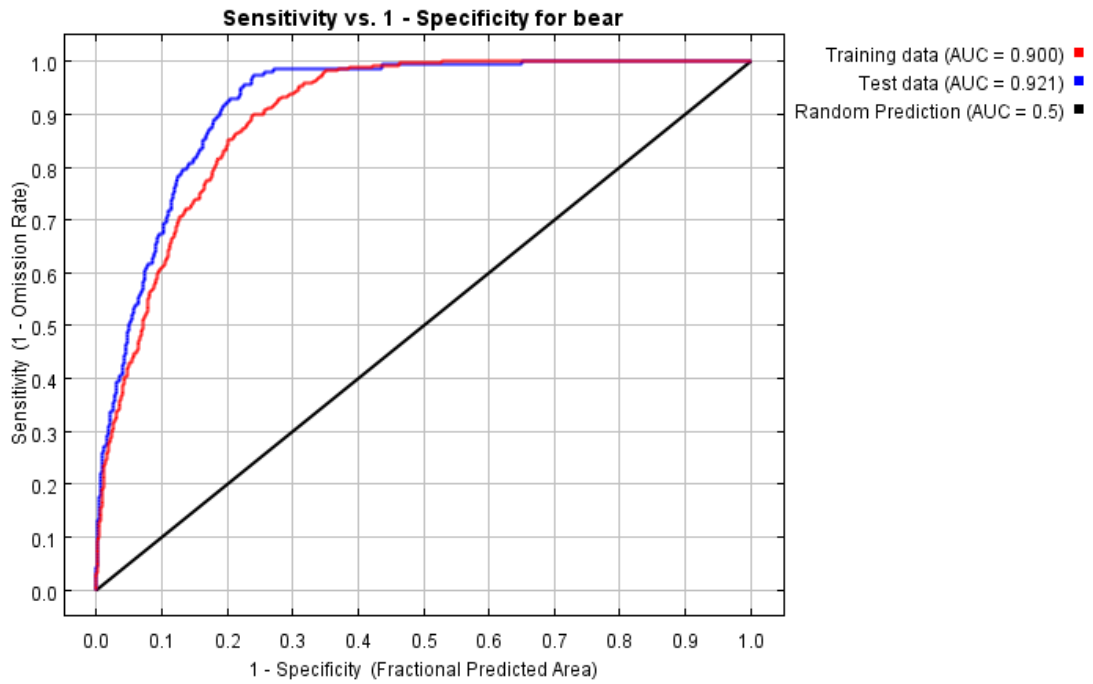


圖 7、第一時期(1990-1999 年) 與第二時期(2000-2010 年) 發現有熊格之分布狀況($n=1015$)。橘色實心網格為兩個時期都有發現黑熊之網格($n=63$)。黑色線為縣市邊界。

(a) 第二時期(2000-2010 年)



(b) 第一期(1990-1999 年)

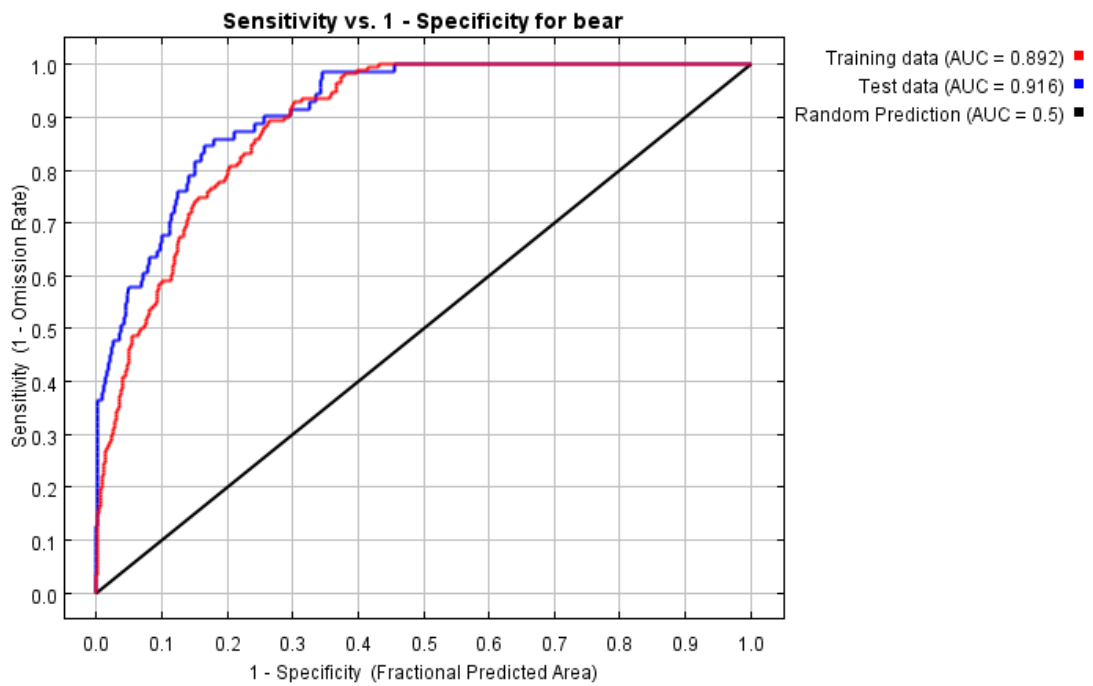
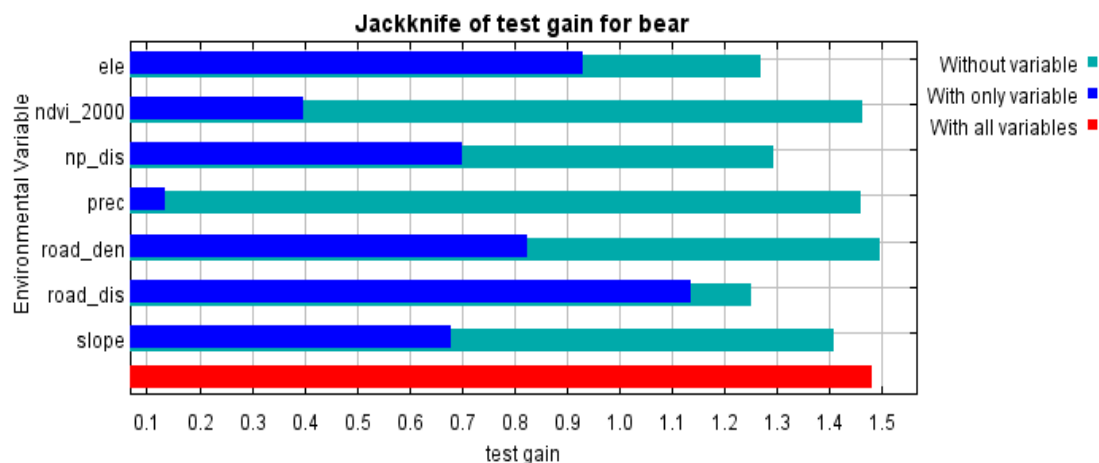


圖 8、Maxent 第一(1990-1999 年)、二時期(2000-2010 年) 預測模式之受方操作曲線(Receiver Operating Characteristic, ROC)。

A. Jackknife of test gain



B. Jackknife of AUC

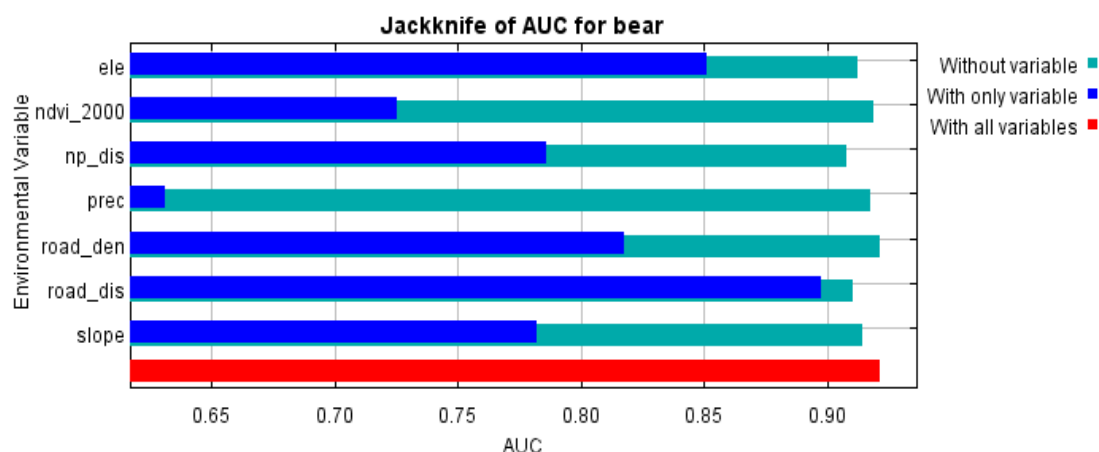
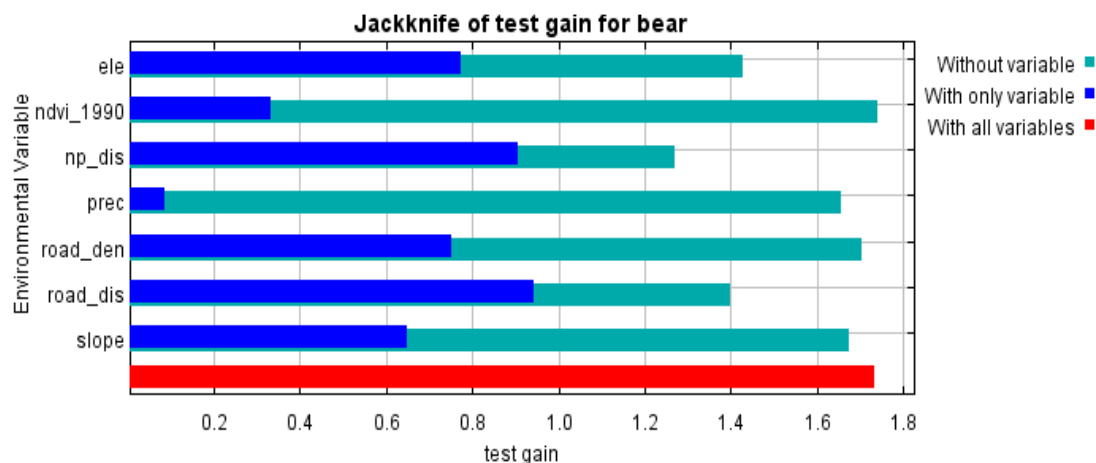


圖 9、利用拆刀分析法(jackknife analysis) 分析第二時期(2000-2010 年) Maxent 模式中各變數之單一獲益和損失關係與驗證獲益(test gain, A 圖)、AUC(B 圖)之關係。橫軸表示獲益值(gain), 縱軸為各項環境因子。紅色長條為整體獲益(regularized gain), 藍色長條代表各因子之單一獲益(single gain)。紅色長條長度減藍綠色長條長度之差, 及為各變數之獨缺損失(single loss)。

A. Jackknife of test gain



B. Jackknife of AUC

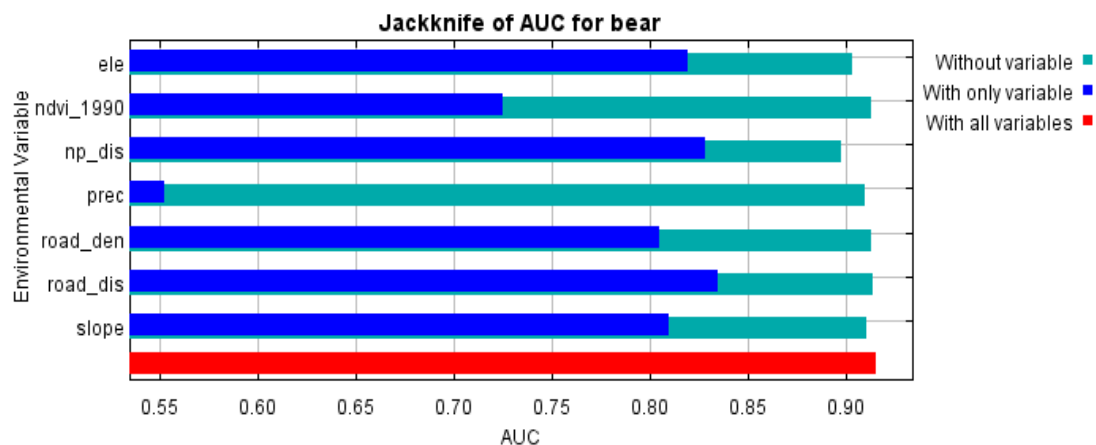


圖 10、利用拆刀分析法(jackknife analysis) 分析第一時期(1990-1999 年) Maxent 模式中各變數之單一獲益和損失關係與驗證獲益 (test gain, A 圖)、AUC(B 圖)之關係。橫軸表示獲益值(gain), 縱軸為各項環境因子。紅色長條為整體獲益(regularized gain), 藍色長條代表各因子之單一獲益(single gain)。紅色長條長度減藍綠色長條長度之差, 及為各變數之獨缺損失(single loss)。

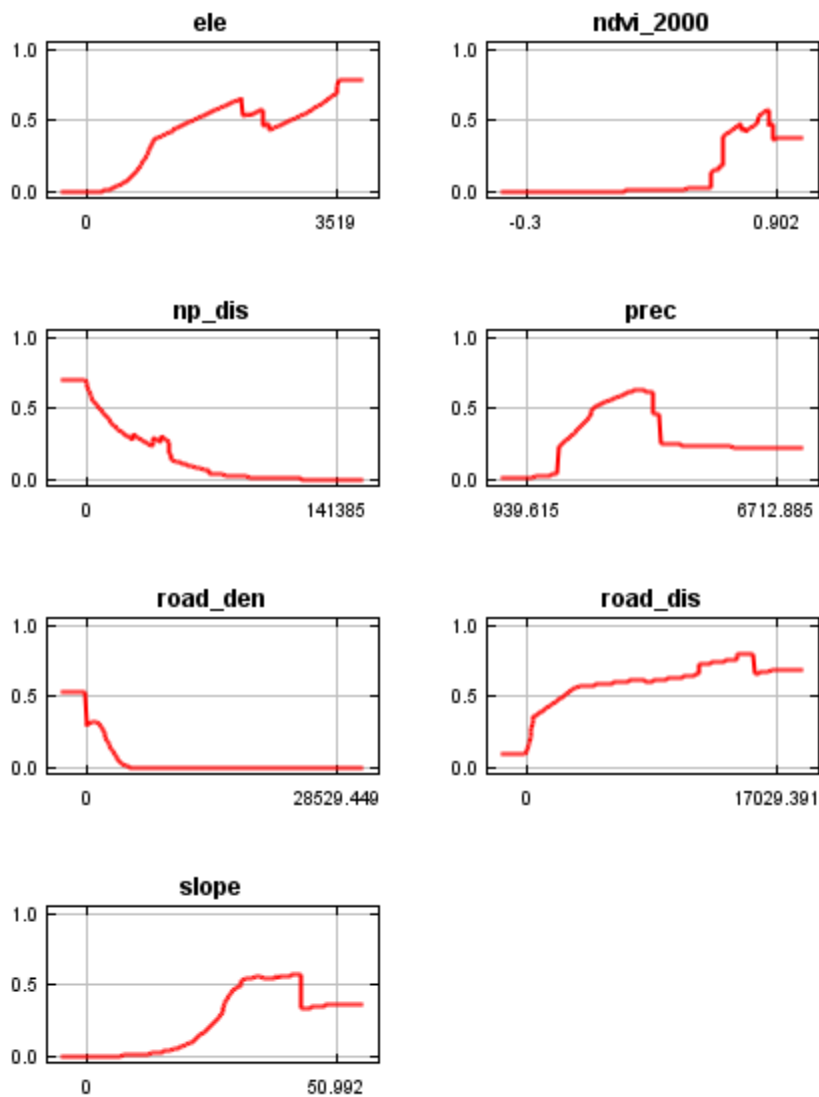


圖 11、Maxent 模式中第二時期(2000-2010 年) 黑熊預測分布機率與各項環境變因之關係反應曲線圖。橫軸為環境變因之數值或指數梯度，縱軸為黑熊分布之相對機率(logistic output)。

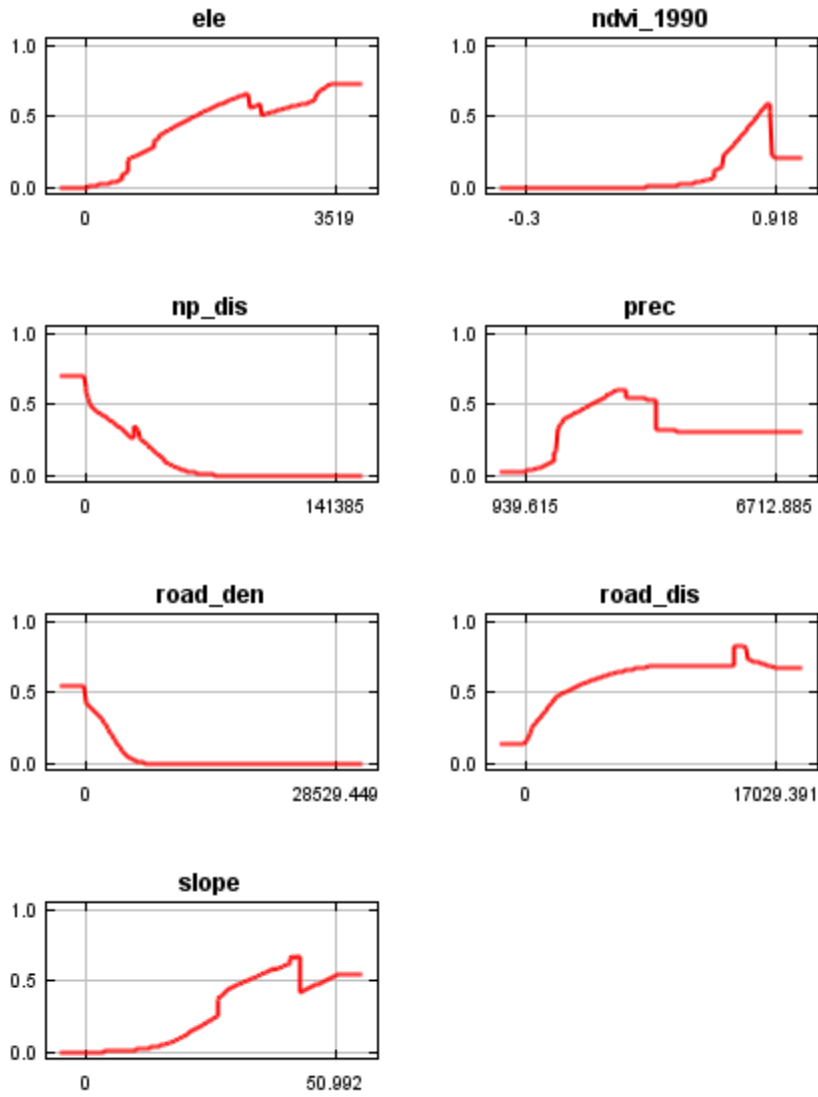


圖 12、Maxent 模式中第一時期(1990-1999) 黑熊預測分布機率與各項環境變因之關係反應曲線圖。橫軸為環境變因之數值或指數梯度，縱軸為黑熊分布之相對機率(logistic output)。

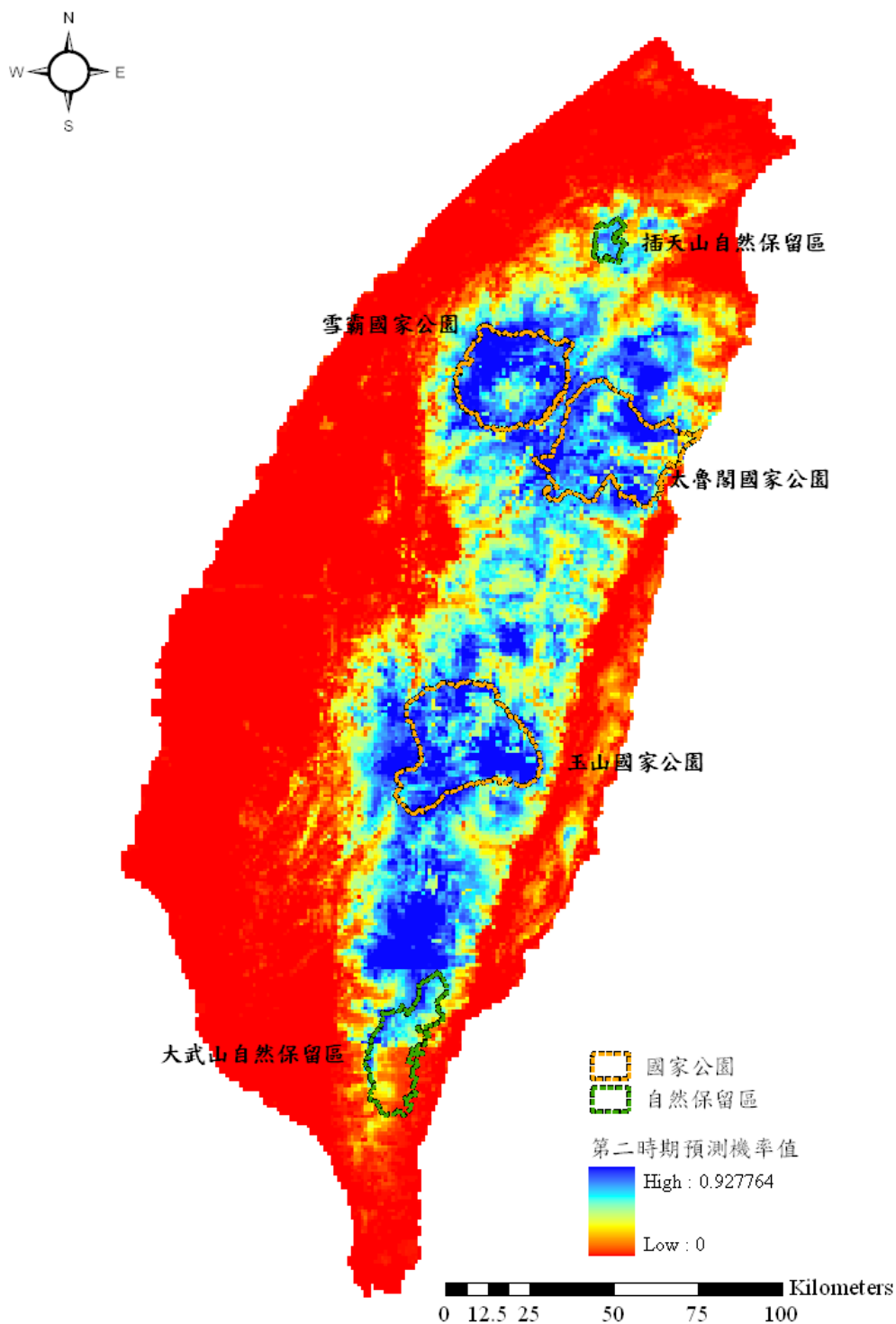


圖 13、利用 2000-2010 年間之有熊資料，Maxent 模式所預測之黑熊分布機率圖。分布機率值(logistic) 由低至高以暖色系至冷色系依序代表。

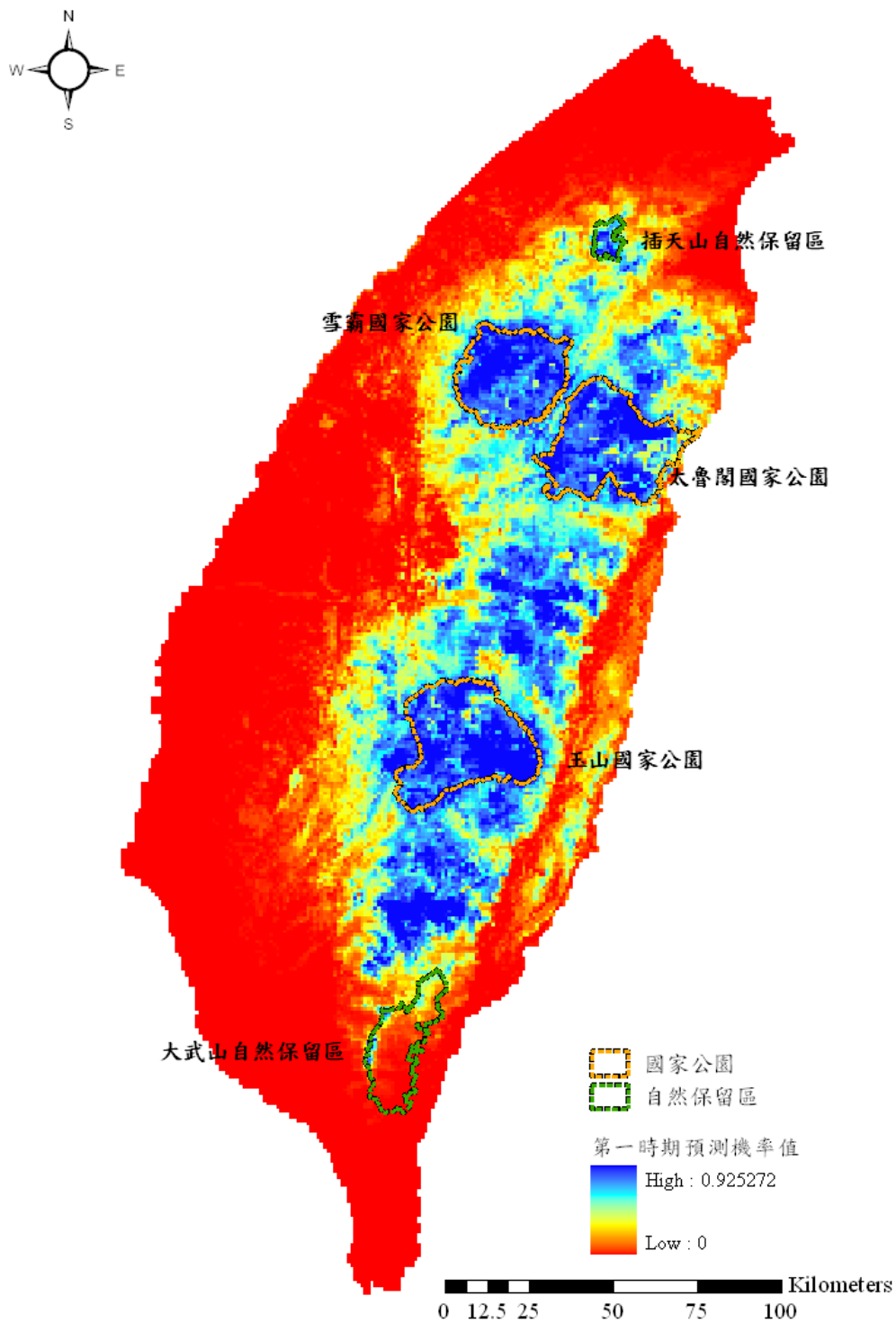


圖 14、利用 1990-1999 年間之有熊資料，Maxent 模式所預測之黑熊分布機率圖。分布機率值(logistic) 由低至高以暖色系至冷色系依序代表。

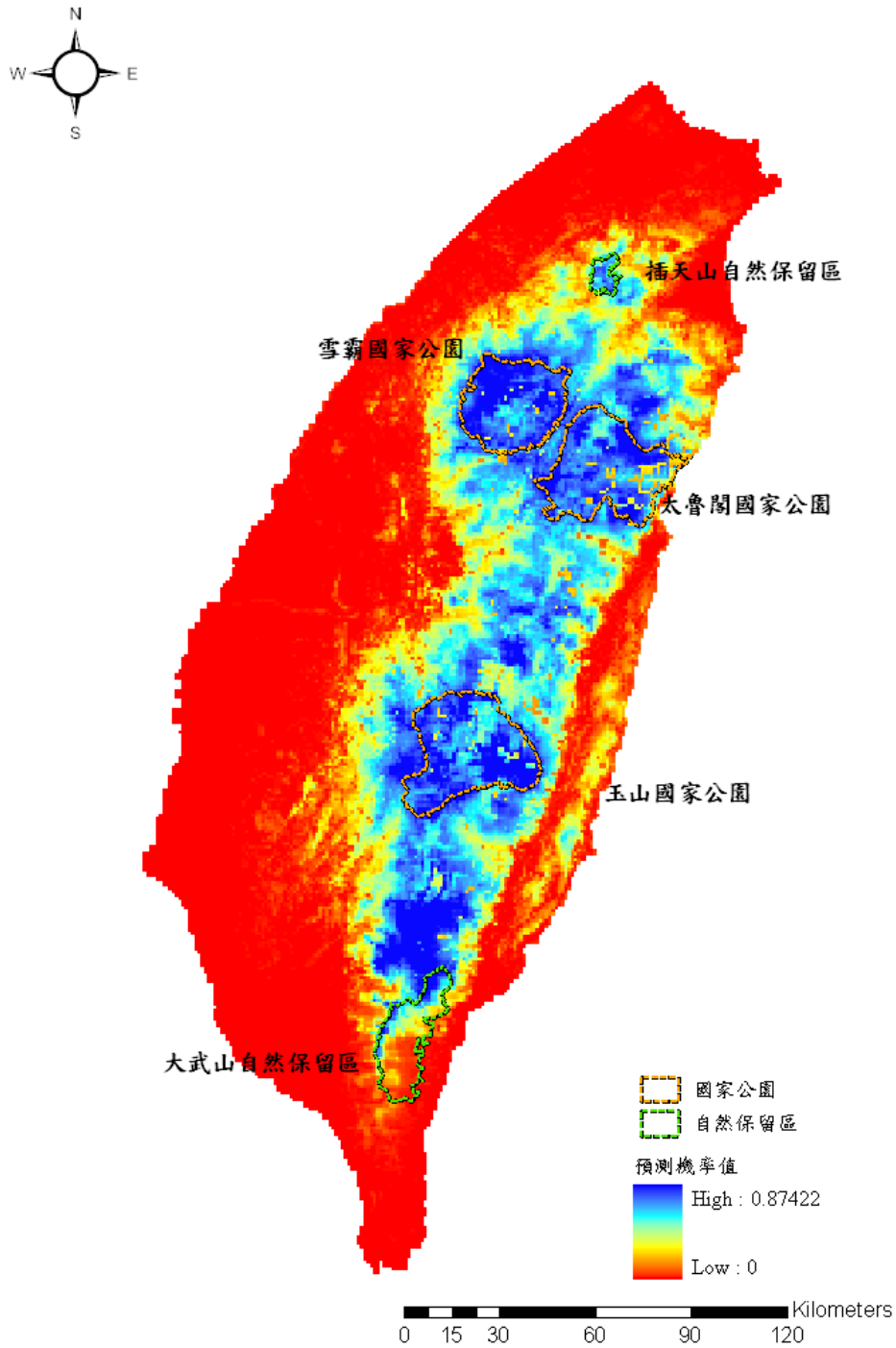


圖 15、將 1990-1999 及 2000-2010 年間之有熊資料合併，Maxent 模式所預測之黑熊分布機率圖。分布機率值(logistic) 由低至高以暖色系至冷色系依序代表。

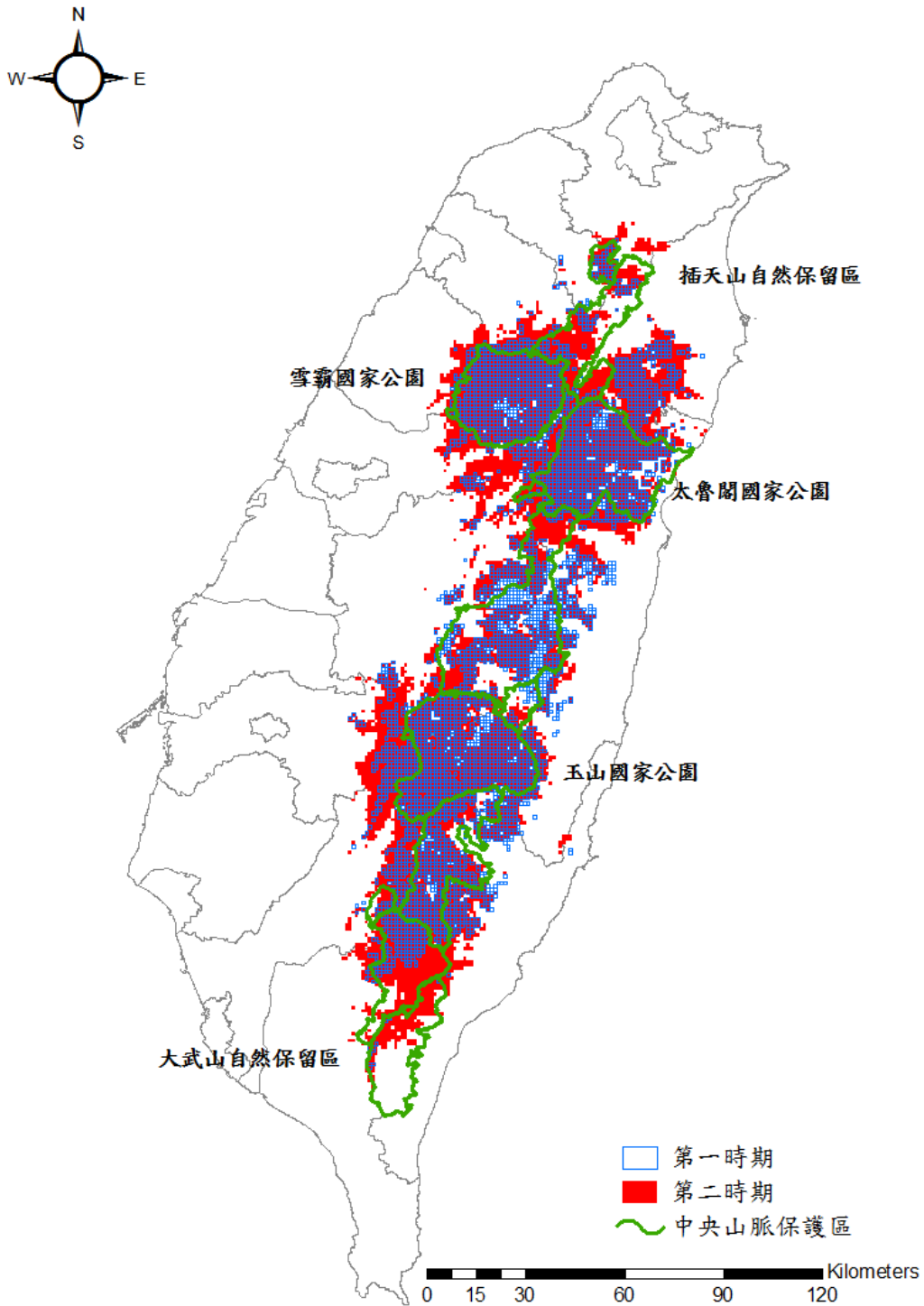


圖 16、Maxent 模式預測第一時期(1990-1999 年) 與第二時期 (2000-2010 年) 臺灣黑熊的地理分布圖。第一時期占面積為 5,853 km²，第二時期為 8,588 km²。網格為 1 km²。綠色線為位於中央山脈之保護區，最北為插天山自然保留區，最南為大武山自然保留區。

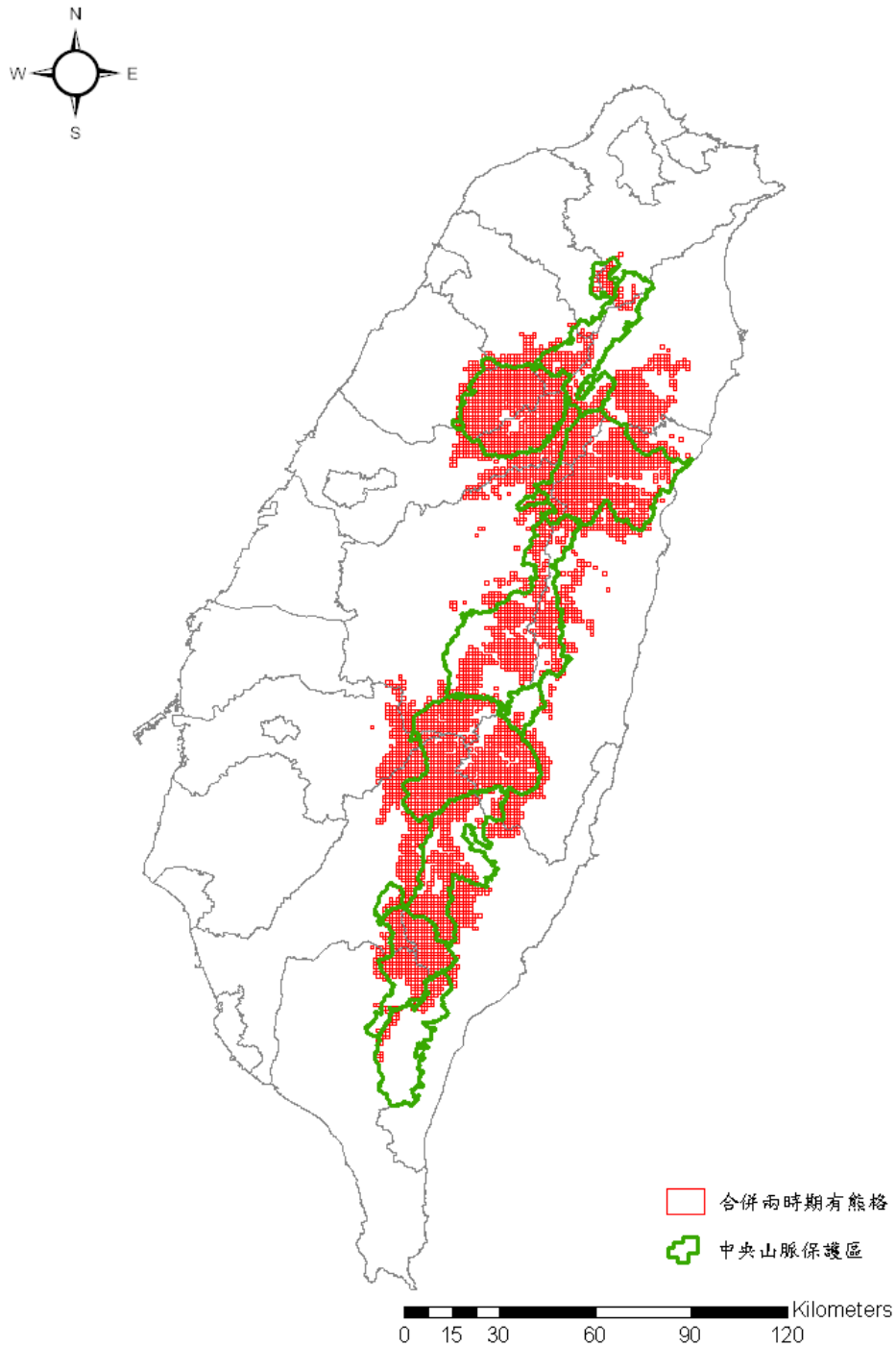
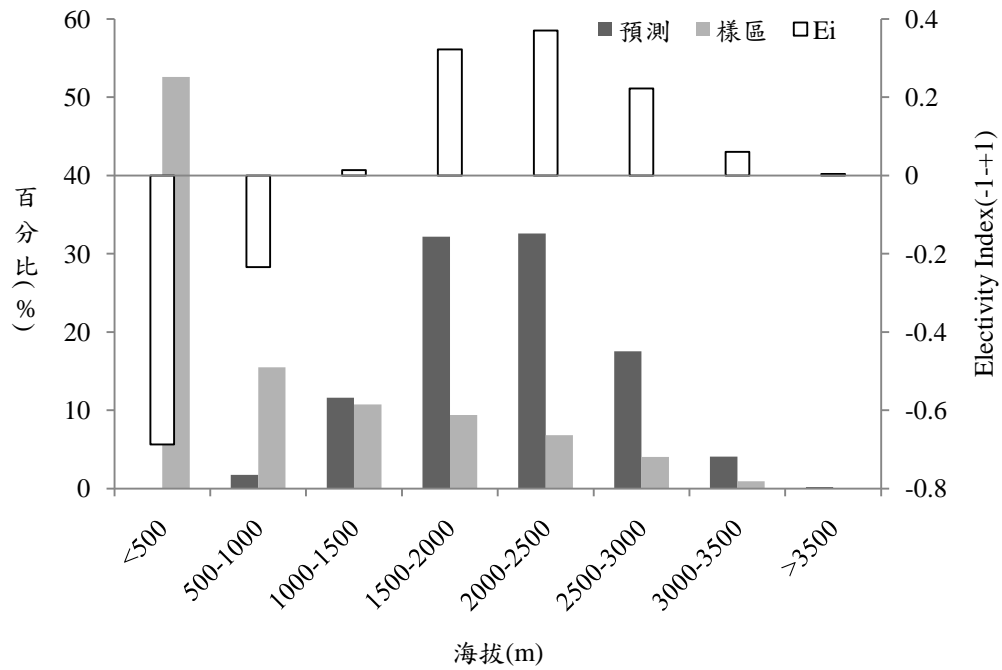


圖 17、Maxent 模式預測合併兩時期(1990-2010 年) 臺灣黑熊的地理分布圖。預測有熊格面積為 6,106 km²。網格為 1 km²。綠色線為位於中央山脈之保護區，最北為插天山自然保留區，最南為大武山自然保留區。

(a) 第一時期(1990-1999)



(b) 第二時期(2000-2010 年)

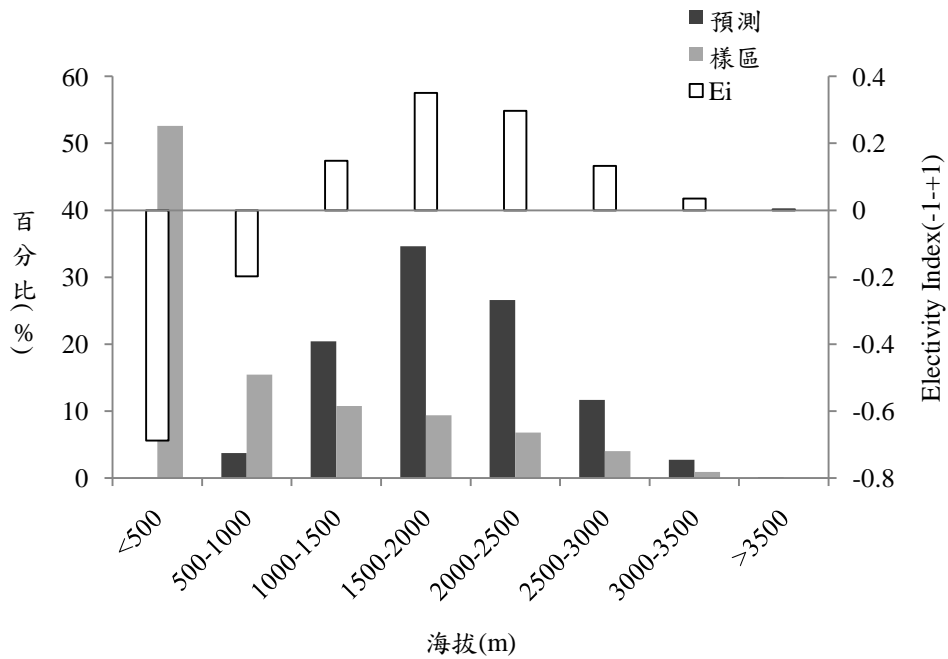
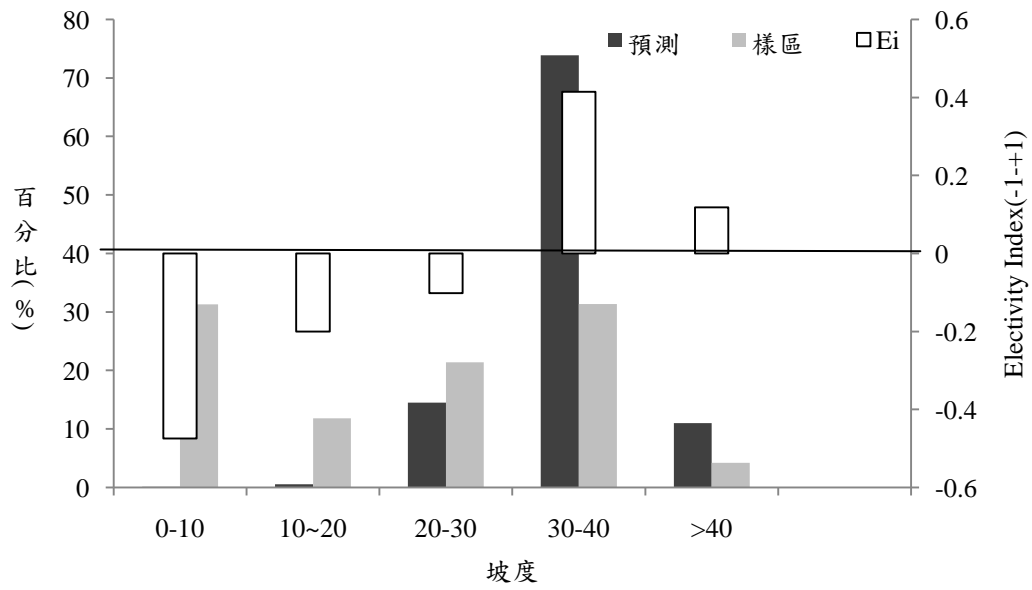


圖 18、研究樣區與 Maxent 第一時期(a) 與第二時期(b) 預測有熊格之海拔分布百分比，以及臺灣黑熊之選擇指數(Electivity index，Ei)。

(a) 第一時期(1990-1999)



(b) 第二時期(2000-2010 年)

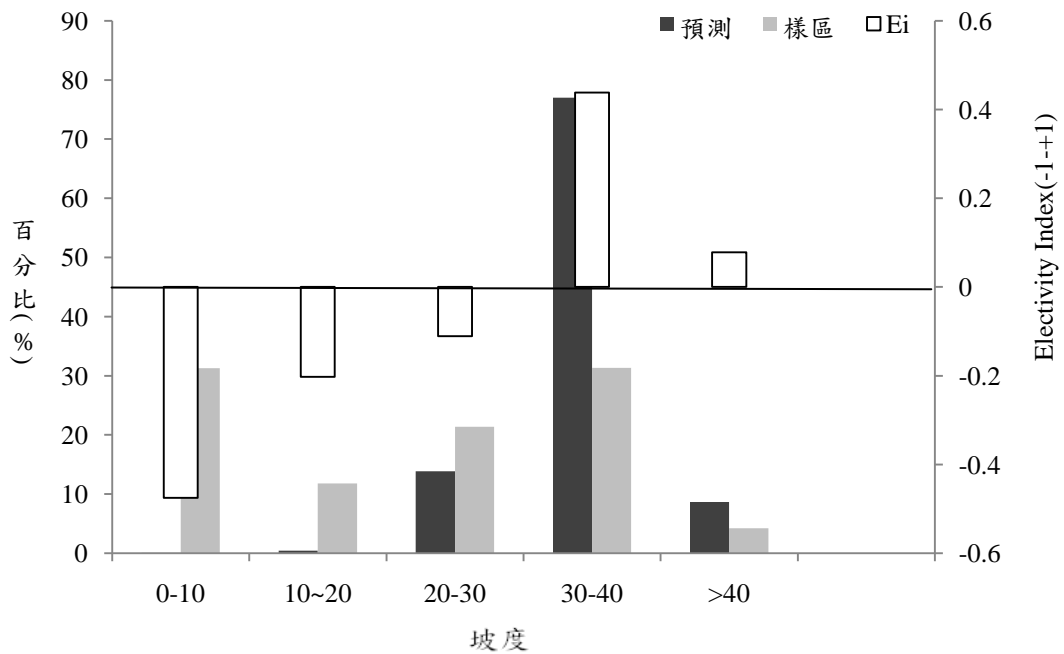
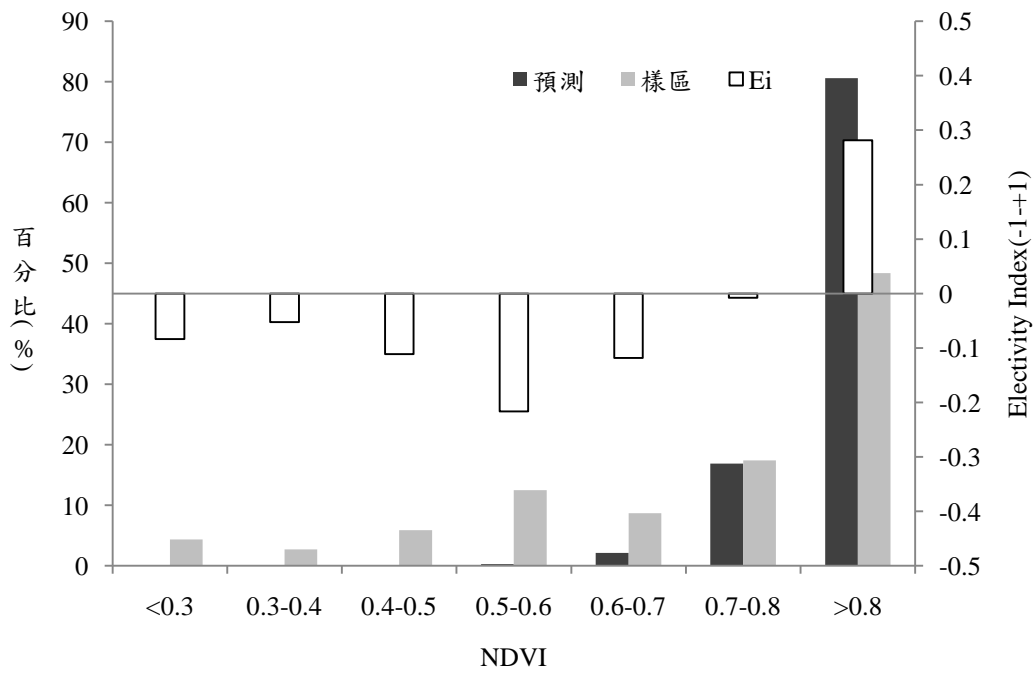


圖 19、研究樣區與 Maxent 第一時期(a) 與第二時期(b) 預測有熊格之坡度分布百分比，以及臺灣黑熊之選擇指數(Electivity index，Ei)。

(a) 第一時期(1990-1999)



(b) 第二時期(2000-2010 年)

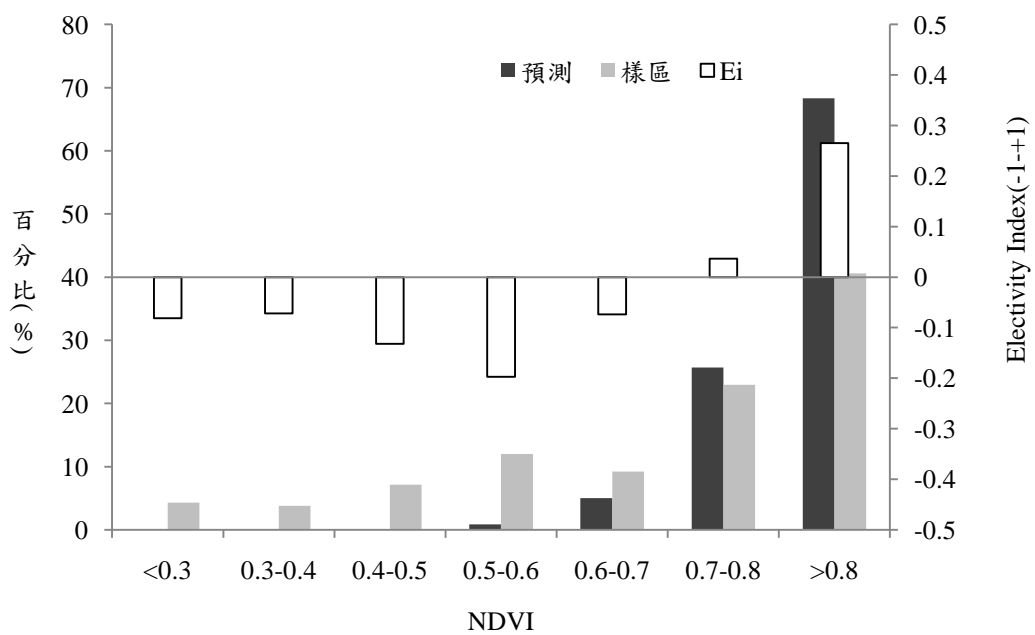
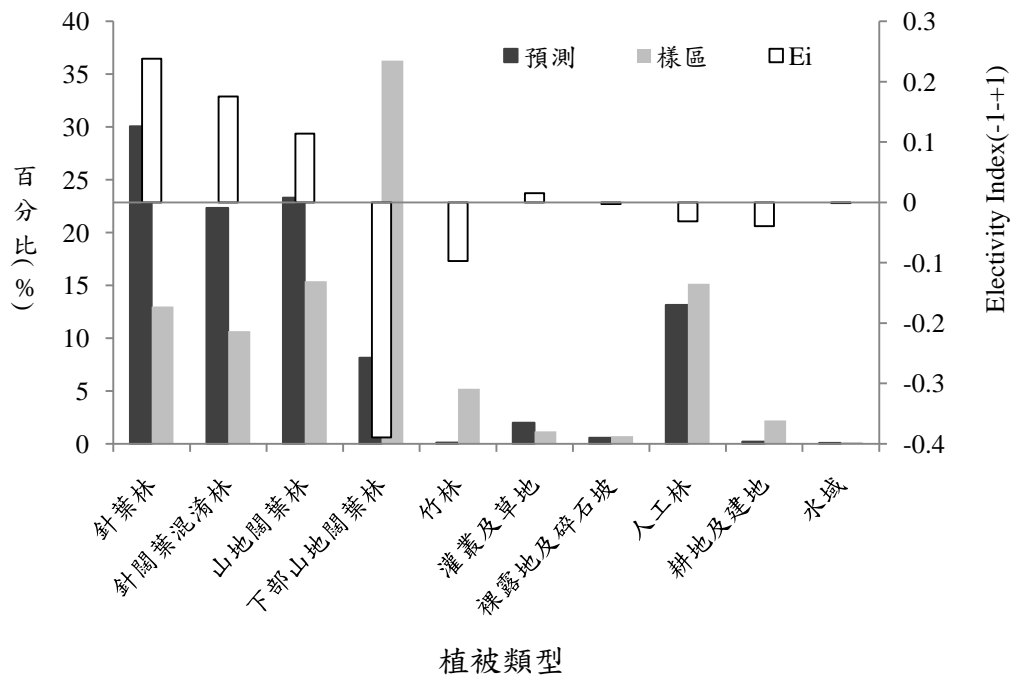


圖 20、研究樣區與 Maxent 第一時期(a) 與第二時期(b) 預測有熊格之 NDVI 分布百分比例，以及臺灣黑熊之選擇指數(Electivity Index, Ei)。

(a) 第一時期(1990-1999)



(b) 第二時期(2000-2010 年)

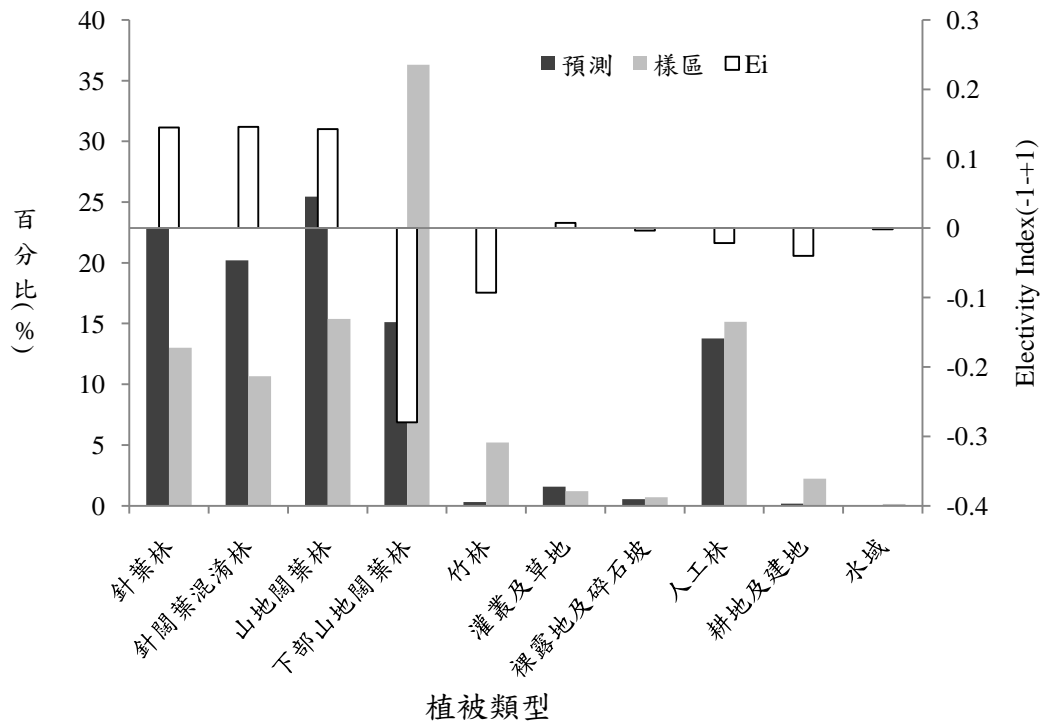
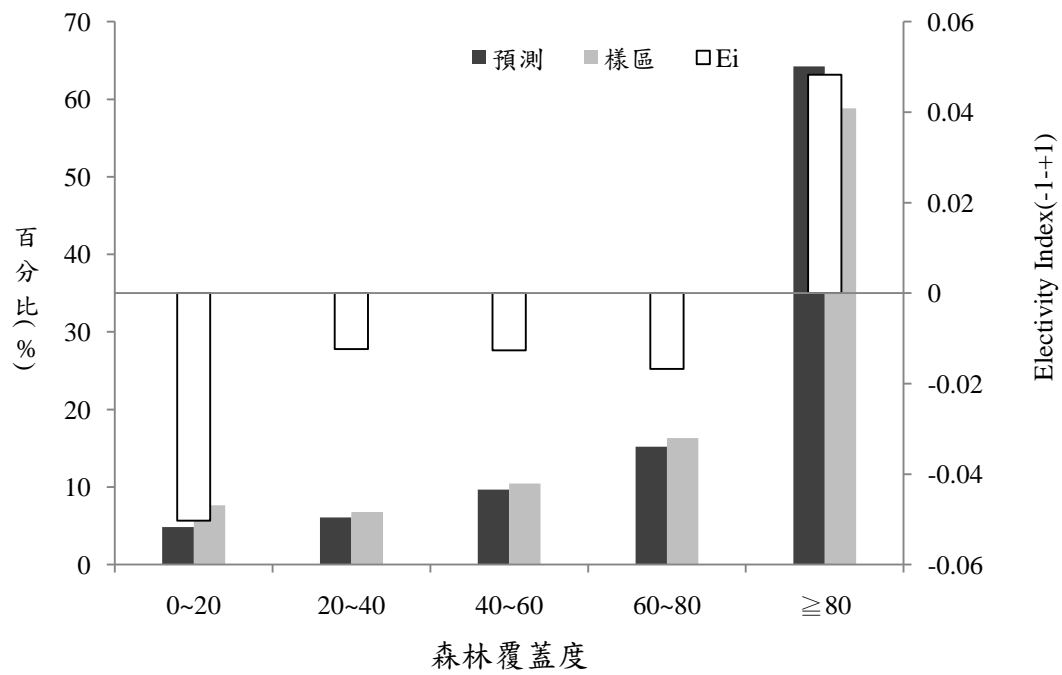


圖 21、研究樣區與 Maxent 第一時期(a) 與第二時期(b) 預測之有熊格於國有林內不同植被類型的分布百分比比例，以及臺灣黑熊之選擇指數(Electivity Index, Ei)。

(a) 第一時期(1990-1999)



(b) 第二時期(2000-2010 年)

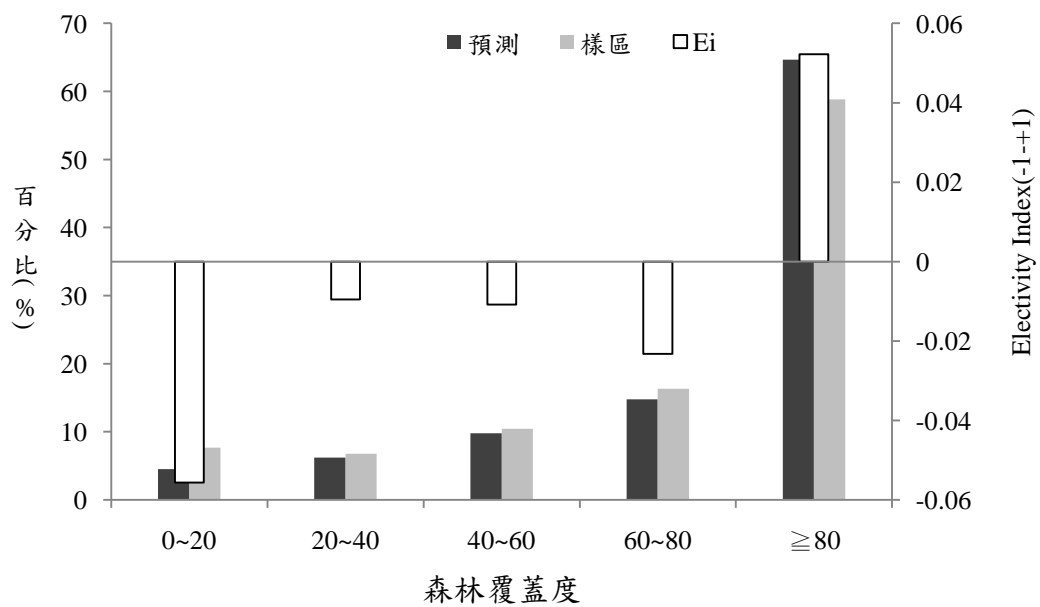
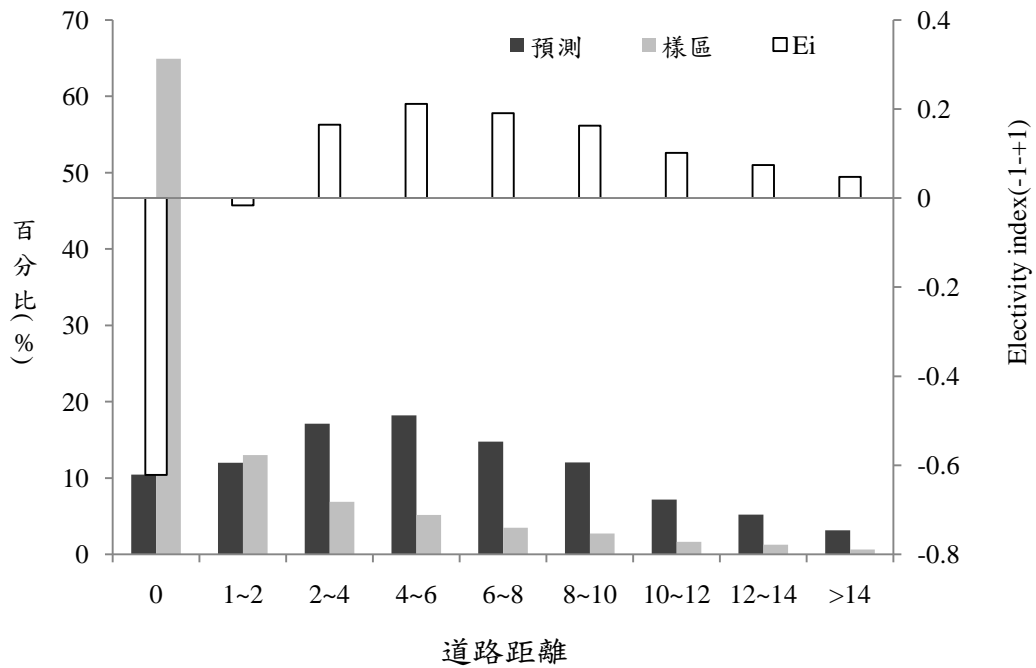


圖 22、研究樣區與 Maxent 第一時期(a) 與第二時期(b) 預測有熊格於國有林內不同森林覆蓋度的分布百分比比例，及臺灣黑熊之選擇指數(Electivity Index, Ei)。

(a) 第一時期(1990-1999)



(b) 第二時期(2000-2010 年)

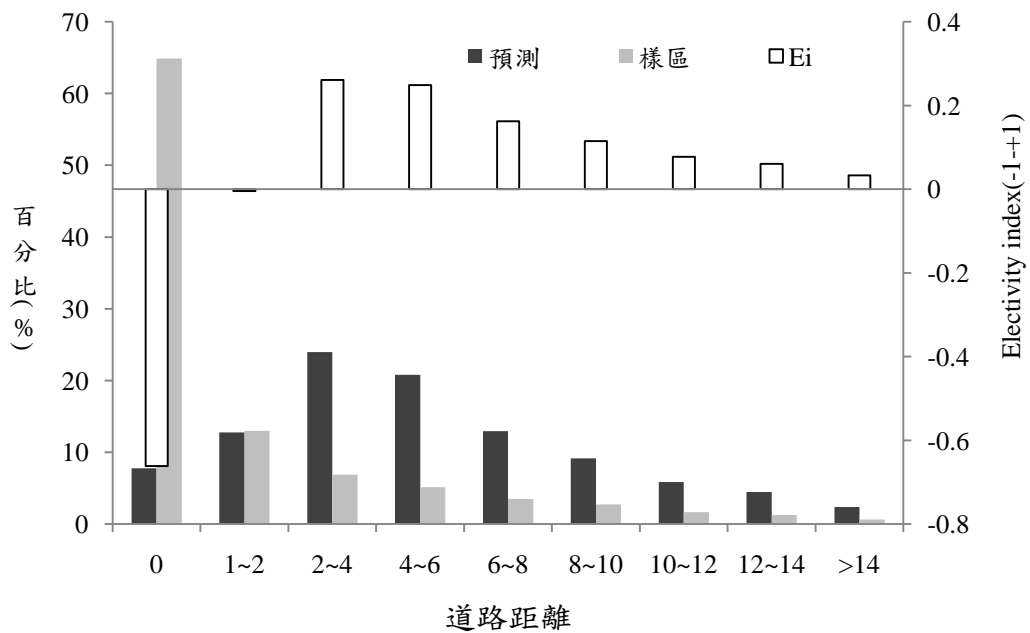
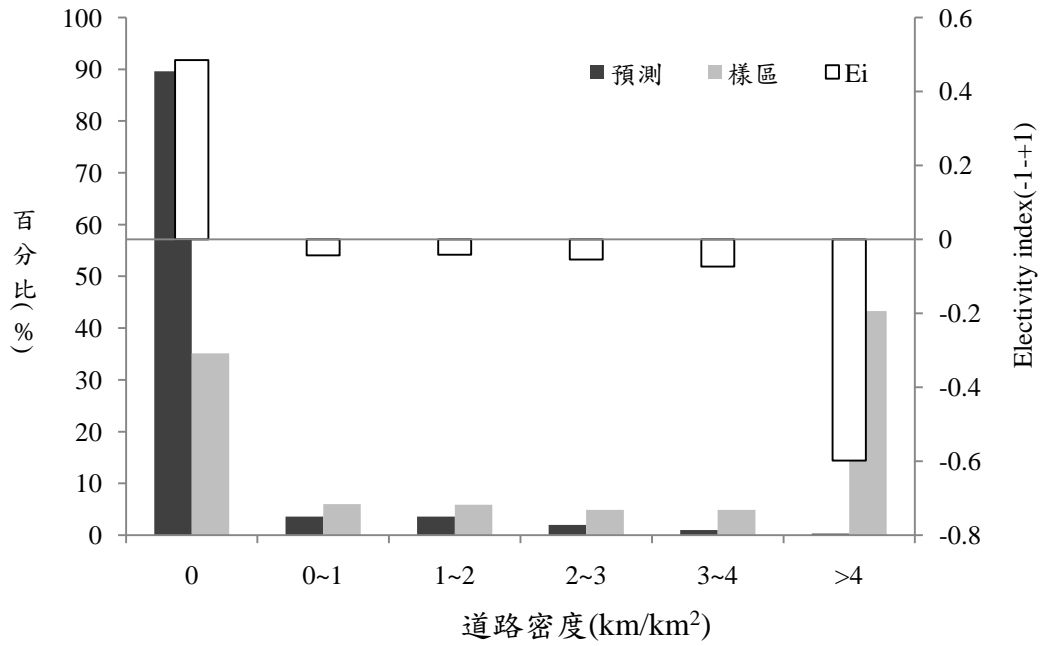


圖 23、研究樣區與 Maxent 第一時期(a) 與第二時期(b) 預測有熊格之道路距離分布百分比，以及臺灣黑熊之選擇指數(Electivity Index, Ei)。

(a) 第一時期(1990-1999)



(b) 第二時期(2000-2010 年)

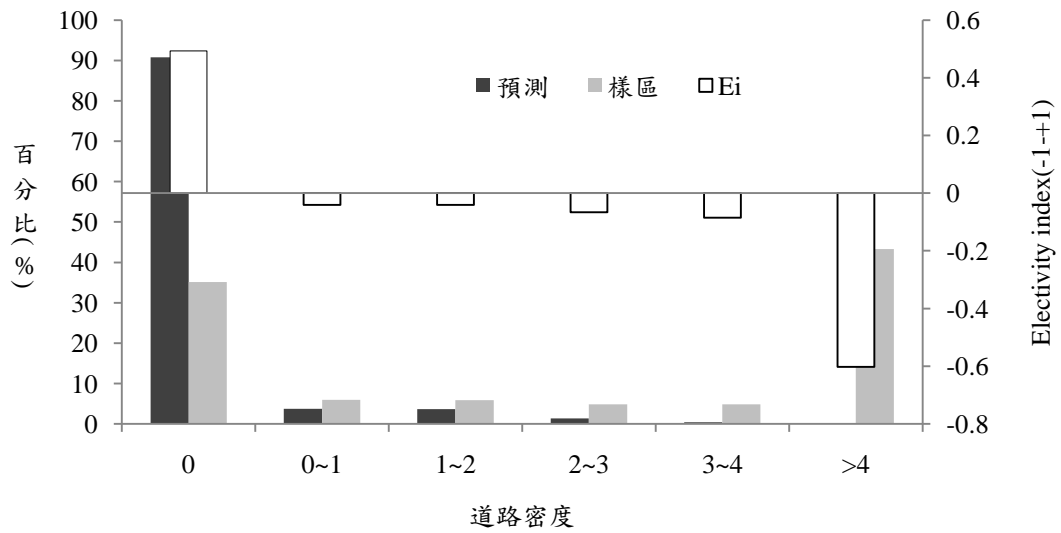
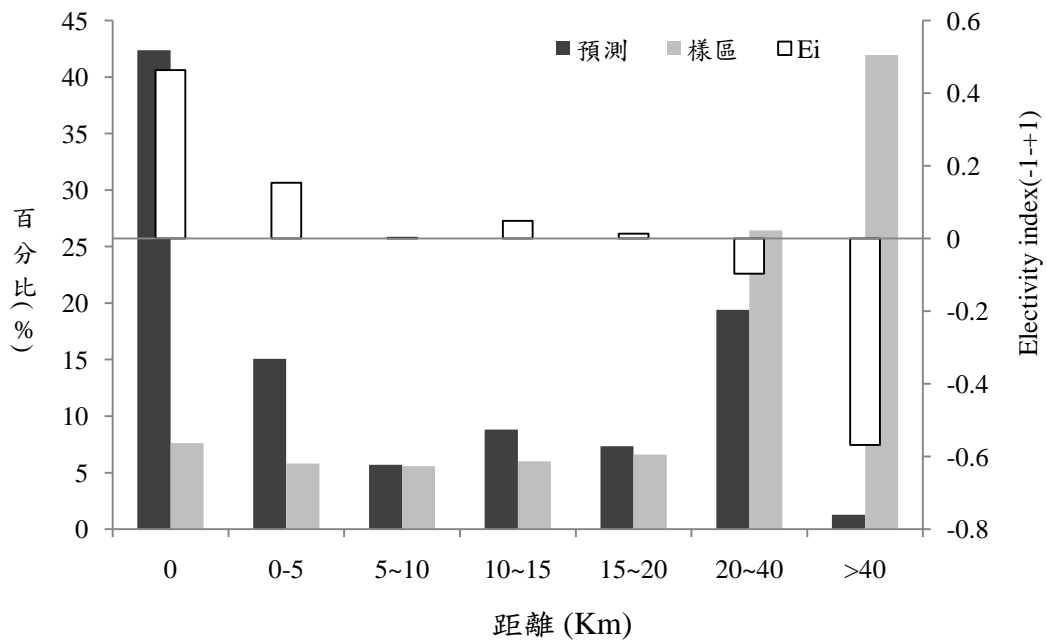


圖 24、研究樣區與 Maxent 第一時期(a) 與第二時期(b) 預測有熊格之道路密度分布百分比，以及臺灣黑熊之選擇指數(Electivity Index, EI)。

(a) 第一時期(1990-1999)



(b) 第二時期(2000-2010 年)

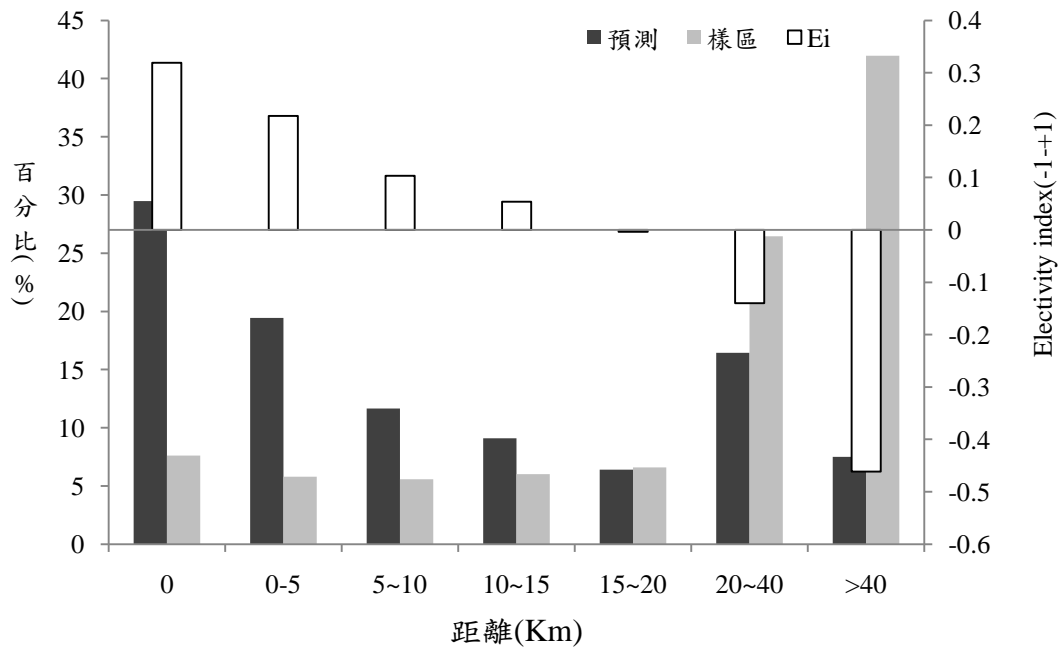


圖 25、研究樣區與 Maxent 第一時期(a) 與第二時期(b) 預測有熊格之離國家公園之最近距離分布百分比，以及臺灣黑熊之選擇指數(Electivity Index, Ei)。

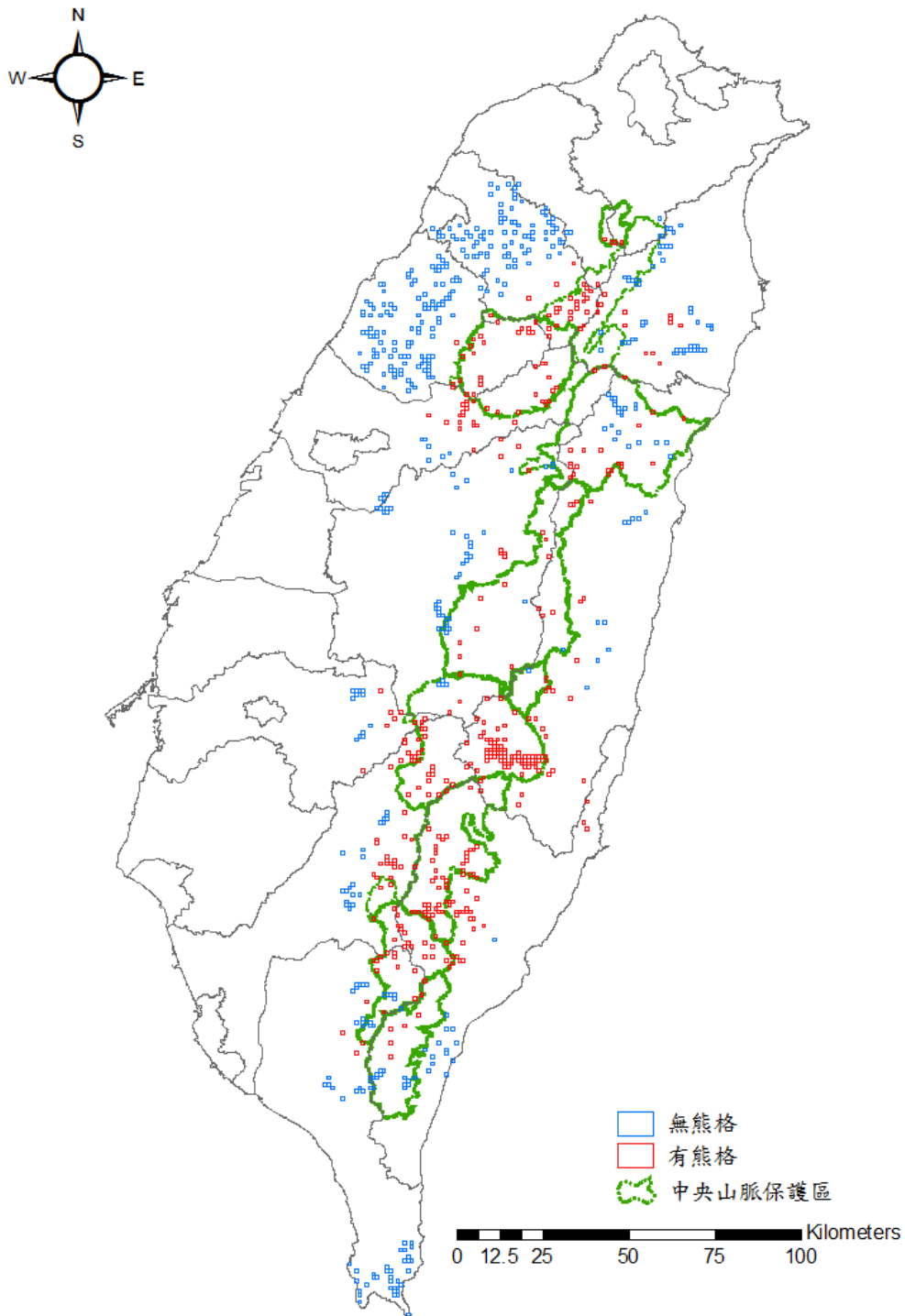


圖 26、2000-2010 年間有熊紀錄之網格 (n = 408) 及無熊網格 (n = 470) 之分布圖。藍色為無熊網格，由部落訪談、自動相機研究和野外痕跡調查篩選取樣得來。

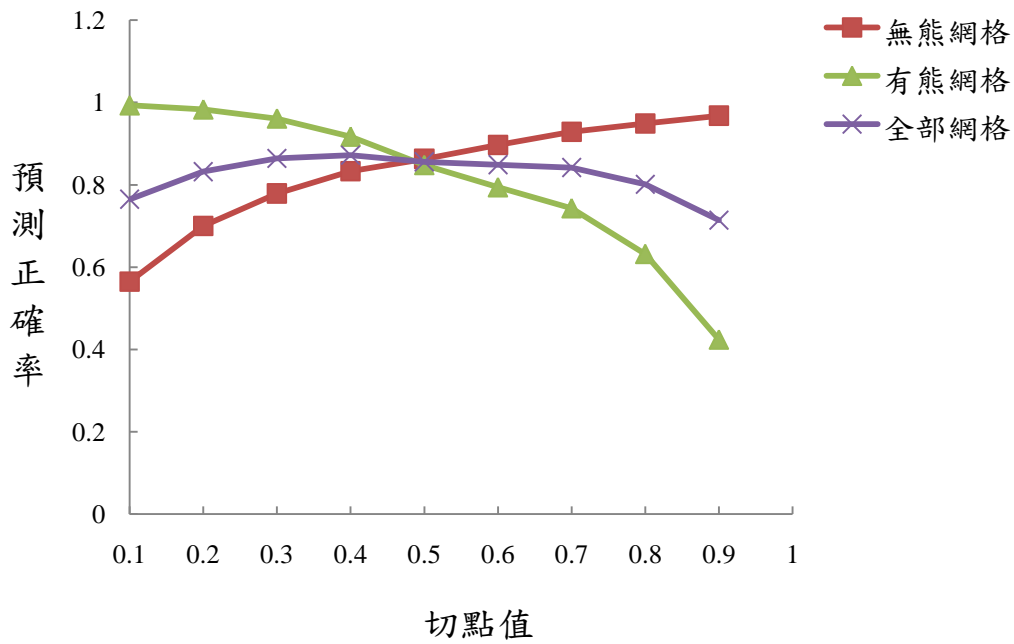


圖 27、邏輯回歸模式的預測正確率(sensitivity) 與預測黑熊出現之閾值(Cutoff value/threshold) 的關係圖。紅色線條為特異度值 (specificity)，為模式對已知無熊網格的預測正確度。綠色線條為敏感度，模式對實際有熊網格的預測正確率；紫色線條為整體正確率。虛線與 x 軸相交處即為最佳閾值。

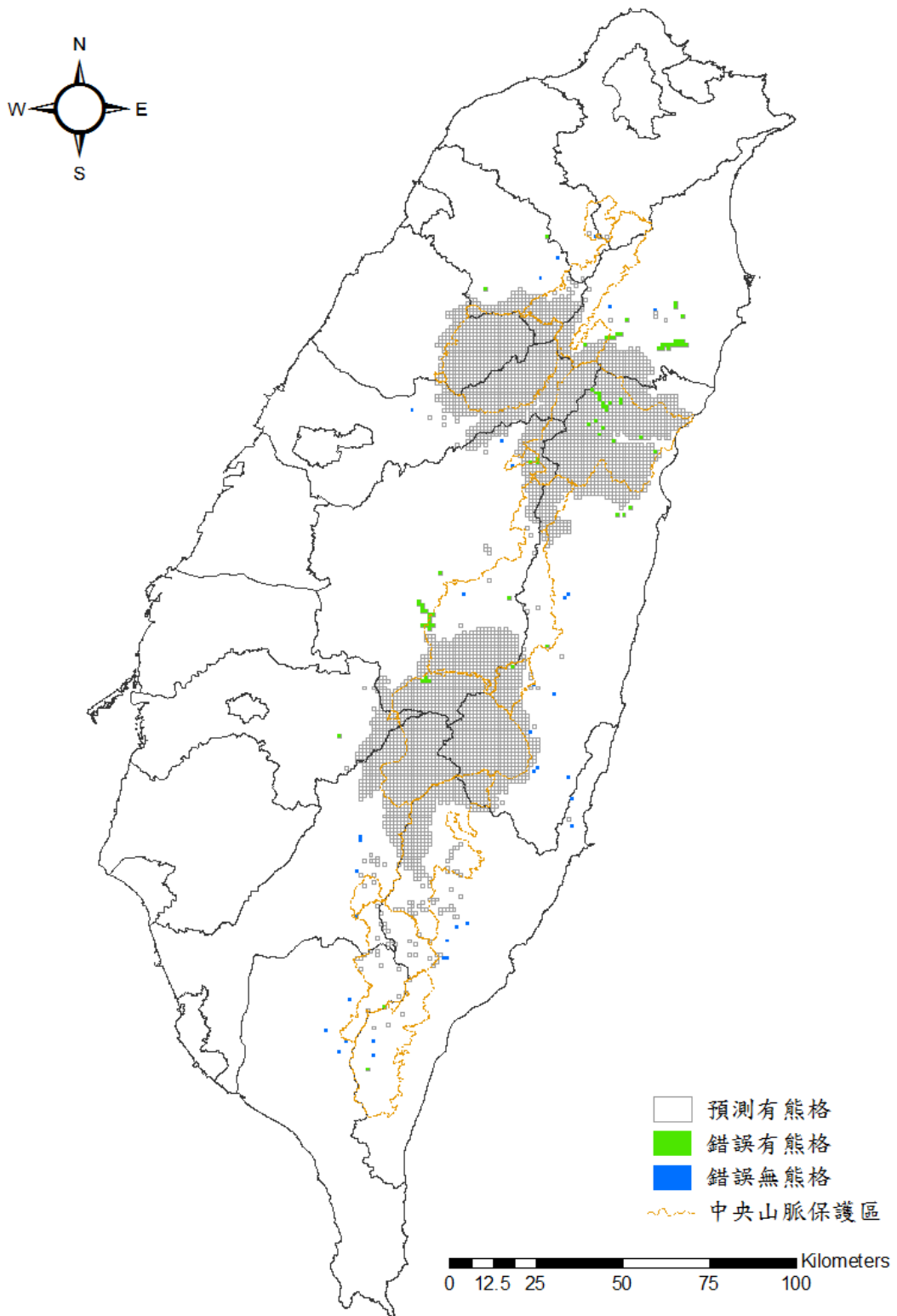


圖 28、二元邏輯迴歸所預測之黑熊分布圖，面積為 5,231 km²，以及其預測錯誤之網格，其中有熊格及無熊格分別為 34 個(藍色)和 77 個(綠色)。

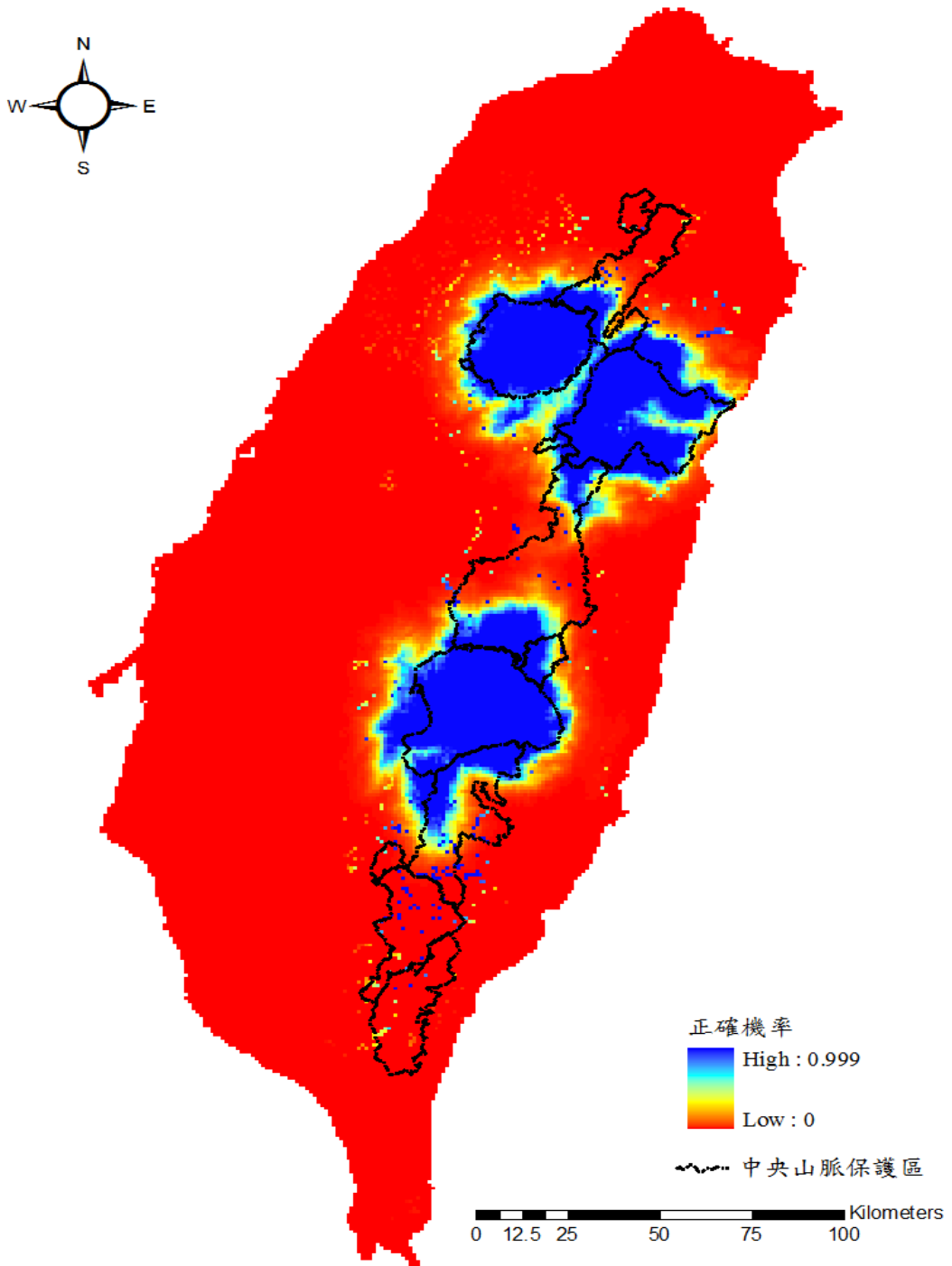


圖 29、利用 2000-2010 年之有熊及無熊資料，邏輯回歸模式預測臺灣黑熊的機率分布圖。機率值從低至高以暖色系至冷色系依序代表。

表 1、臺灣黑熊預測分布模式所利用的各項環境變因圖層說明。

變因(代碼)	單位	範圍	說明
(一) 自然因子			
年平均溫度 (temp)	°C	4-25	氣候及雨量資料皆取自政府間氣候變化專門委員會(IPCC)之網站(http://ipcc-data.org/sres/gcm_data.html)。以 1990 至 2009 年之 20 年平均溫度為此圖層。
一月平均溫度 (temp_jan)	°C	-2-21	此圖層為 1990 至 2009 年，20 年來每個 1 月的平均溫度。
年平均降雨量 (prec)	mm	935-6,713	圖層為 1990 至 2009 年年平均雨量。
海拔 (ele)	m	0-3,640	根據行政院農委會林務局農林航空測量所出版之 40 m×40 m 之 DEM，利用 ArcGIS 將網格重新解析成 1×1 km，再以 extract by values 功能萃取每網格之平均海拔高度。
坡度 (slope)	°	0-51	利用上述之 DTM 資料，以 ArcGIS 中 Spatial Analyst/slope 之功能轉換出坡度圖。
植生指數			
(1) 2000 年 (ndvi1990)		-0.3-0.92	資料取自美國地質調查所(USGS)的網站(https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/get_data)，經過 MRT 與 EARDAS 軟體，校正資料地理位置及切出臺灣本島範圍，並轉換成網格資料格式。
(2) 2009 年 (ndvi2000)		-0.3-0.91	
(二) 非自然因子			
道路密度 (road_den)	km/km ²	0-31	道路資料來自勤威科技有限股份公司之行動商務電子地圖(PaPaGo Map)。計算出每一平方公里網格內道路之長度。
離道路最近距離 (road_dis)	km	0-17	網格中心至道路密度大於 0 的網格中心座標的最近距離
離國家公園最近距離 (NP_dis)	km	0-147	網格中心至高山型國家公園(雪霸、太魯閣和玉山)界線之最近距離

表 2、黑熊分布預測模式所應用的各項環境因素間相關性檢定分析(Pearson 雙尾)。

	年平均 降雨量 prec	年平均 溫度 temp	一月平均 溫度 temp_jan	坡向 aspect	坡度 slope	海拔 ele	離道路最 近距離 road_dis	道路密度 road_den	離國家 公園最 近距離 NP_dis	第一時期 ^a 植生指數 ndvi2000	第二時期 ^b 植生指數 ndvi1990
年平均降雨量 prec	1	-.421**	-.428**	.145**	.569**	.405**	.210**	-.449**	-.228**	.482**	.472**
年平均溫度 temp	-.421**	1	.972**	-.155**	-.737**	-.938**	-.686**	.596**	.662**	-.490**	-.470**
一月平均溫度 temp_jan	-.428**	.972**	1	-.099**	-.714**	-.928**	-.654**	.558**	.689**	-.460**	-.436**
坡度slope	.569**	-.737**	-.714**	.203**	1	.758**	.506**	-.754**	-.545**	.723**	.693**
海拔ele	.405**	-.938**	-.928**	.094**	.758**	1	.721**	-.637**	-.617**	.483**	.471**
離道路最近距 離road_dis	.210**	-.686**	-.654**	.060**	.506**	.721**	1	-.461**	-.368**	.293**	.304**
道路密度 road_den	-.449**	.596**	.558**	-.133**	-.754**	-.637**	-.461**	1	.401**	-.562**	-.538**
離國家公園最 近距離NP_dis	-.228**	.662**	.689**	-.126**	-.545**	-.617**	-.368**	.401**	1	-.376**	-.343**
植生指數 ndvi2000	.482**	-.490**	-.460**	.237**	.723**	.483**	.293**	-.562**	-.376**	1	.958**
植生指數 ndvi1990	.472**	-.470**	-.436**	.228**	.693**	.471**	.304**	-.538**	-.343**	.865**	1

**在顯著水準為 0.01 時(雙尾)，相關顯著。

^a 第一時期植生指標為以 2000 年平均值指標代表 1990-1999 年之植生指標。

^b 第二時期植生指標為以 2009 年平均值指標代表 2000-2010 年之植生指標。

表 3、野外臺灣黑熊分布由北至南之調查區域，以及樣區之海拔範圍、調查天數、調查人天、調查里程數及附近部落及道路列表。

調查區域	分布山區	海拔範圍 (m)	調查天數	調查人天	調查總里程 (km)	相鄰部落	鄰近林道/道路
南北插天山	北部	909-1,903	3	12	15.3	小烏來	北橫公路
比亞豪	東北部	256-2,344	6	30	55.6	四季、武塔	四季林道、武塔古道
中央尖-三池	橫斷	1,556-3,568	6	24	25.75	南山	710 林道、梅園產業道路
雪山西稜	西部	2,318-3,534	7	21	37	環山	大雪山 230 林道
白姑山區	西部	2,020-3,246	4	16	7.25	紅香	力行產業道路
奇萊東稜	橫斷	414-3,580	8	40	47.9	富世	中橫公路、沿海林道
甘卓萬山區	西部	1,668-3,253	5	20	11.5	曲冰、萬大	萬大、武界林道
雙龍人倫	西部	1300-3100	5	15	24	雙龍人倫	雙龍林道 人倫林道
倫太文山區	東部	1,319-2,921	6	30	15.1	光復	光復林道
丹大橫斷	橫斷	1268-3626	11	55	73.2	豐丘(西) 花蓮紅葉(東)	郡大林道 瑞穗林道
中平林道	東部	1059-1420	2	10	10.1	太平	中平林道
玉穗山區	西部	1200-2000	6	30	9.7	梅山	南橫中之關
崙天山區	東部	1500-2300	4	12	17.1	卓清	長良林道
伊加之蕃	橫斷	1668-3258	7	28	34.7	寶來(西) 霧鹿(東)	小關山林道 霧鹿林道
關東松-轆轤	東部	400-2614m	8	40	31.1	武陵 霧鹿	武陵林道 下馬產業道路
卑南橫斷	橫斷	1661-3296	8	36	54.1	寶來(西)	石山林道
內本鹿	東部	1380-2400	10	10	32	臺東紅葉(東)	延平林道
小鬼湖	西部	1211-2078	6	24	35.5	阿禮	小鬼採礦道
旗鹽山區	西部	600-1986	3	12	8.4	瑪家	
舊萬安舊平和	西部	1081-1566	2	9	11.1	瑪家	
總計			117	474	556		

表 4、野外臺灣黑熊痕跡於各調查區域所發現之痕跡類型、數量。

調查區域	排遺	爪痕	腳印	食痕	熊窩	其他 ^a	總計
比亞豪	0	1	0	0	0	0	1
奇萊東稜	0	6	0	0	0	0	6
千卓萬山區	0	4	0	0	0	0	4
中平林道	8	1	0	0	0	0	9
玉穗山區	0	15	0	2	0	1	18
伊加之蕃	6	29	1	0	2	0	38
關東松-轆轤	3	66	0	1	1	0	71
卑南橫斷	12	8	1	3	16	0	40
內本鹿	9	38	0	1	0	0	48
小鬼湖	0	0	0	1	0	0	1
總計/平均	38	168	2	8	19	1	236
百分比	16.10	71.2	0.85	3.4	8	0.4	

^a 為一水桶有熊咬穿之齒痕。

表 5、野外臺灣黑熊痕跡穿越線調查結果，以及熊痕跡分布所對應的網格(1 km²) 和頻度。

調查區域	穿越線 網格數 ^a	熊 痕跡	平均密 度 ^a	紀錄熊 痕跡之 網格	熊痕跡/有 熊網格 之比值 ^b	有熊頻度 (%)
南北插天山	14	0	0	0	0	0
比亞豪	48	1	0.05	1	1	2.1
中央尖	32	0	0	0	0	0
雪山西稜	44	0	0	0	0	0
白姑山區	11	0	0	0	0	0
奇萊東稜	47	6	0.03	4	1.5	8.5
千卓萬山區	12	4	0.6	4	1	33.3
雙龍人倫	19	0	0	0	0	0
倫太文山區	15	0	0	0	0	0
丹大橫斷	65	0	0	0	0	0
中平林道	8	9	1.5	2	4.5	22.2
玉穗山區	8	18	3.1	5	3.6	62.5
崙天山區	16	0	0	0	0	0
伊加之蕃	37	38	1.9	5	7.6	13.5
關東松-轆轤	32	71	3.8	12	5.9	37.5
卑南橫斷	43	40	1.3	16	2.5	37.2
內本鹿	28	48	2.5	10	4.8	35.7
小鬼湖	27	1	0.05	1	1	3.7
旗鹽山區	8	0	0	0	0	0
舊萬安-平和	8	0	0	0	0	0
總計	514	236	0.7	59	4	11.5

^a 平均密度=痕跡數量/(穿越線公里數×穿越線寬度×100)。即為每一公頃紀錄的熊痕跡數。

^b 有熊網格/穿越線網格數。

表 6、所有臺灣黑熊點位及所對應的網格紀錄於第一時期(1990-1999 年) 和第二時期(2000-2010 年) 之分布情況。

年代	記錄	點位			網格		
		野外熊 痕跡調查	資料 庫 ^a	總計 ^b	野外熊 痕跡調查	資料 庫 ^a	總計
1990-1999 年	n	0	300	300	0	220	220
	%	0	100		0	100	
2000-2010 年	n	122	593	715	59	350	409
	%	17.1	82.9		14.4	85.6	
總計	n	122	893	1015	59	506	565
	%	12	88		10.4	89.6	

^a 資料庫為黑熊訪查文獻資料庫。

^b 另外有 2 筆資料年代不明。

表 7、有熊網格於第一時期(1990-1999 年) 與第二時期(2000-2010 年) 各項環境因子之比較。

環境因素	第一時期		第二時期		漸進顯著性 ^b
	平均(SD) ^a	範圍	平均(SD)	範圍	
海拔(m)	1811(652)	330-3443	1839(611)	183-3415	0.604
坡度	34(5.3)	10-44	34(4.5)	16-46	0.25
雨量(mm)	2587(535)	1524-4015	2720(528)	1535-4030	0.004**
年均溫(°C)	14.3(3.6)	5-23	14.2(3.4)	5-22	0.71
一月年均溫(°C)	8.9(3.5)	-2-18	9(3.5)	-2-17	0.901
植生指標	0.83(0.06)	0.35-0.91	0.8(0.06)	0.58-0.88	<0.001**
道路最近距離(km)	5.4(4.3)	0-15.3	5.9(4.4)	0-17	0.163
道路密度(km)	0.28(0.84)	0-4.6	0.16(0.61)	0-6.7	0.019*
離國家公園距離(km)	10(13.6)	0-54.6	12.6(16.2)	0-72.6	0.083
森林覆蓋度(%) ^c	72(30)	0-100	73.3(28)	0-100	0.594

^a SD= standard deviation

^b Mann-Whitney U Test : * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。

^c 森林覆蓋度只有計算位於國有林範圍內的網格($n = 19,271$)，網格單位為 $1 \times 1 \text{ km}^2$ 。

表 8、利用 Maxent 預測模式第一時期與第二時期預測有熊格各項環境因素之平均及比較。

環境因素	第一時期		第二時期		漸進顯著性 ^b
	平均(SD) ^a	範圍	平均(SD)	範圍	
海拔(m)	2073(531)	361-3640	1900(546)	460-3640	<0.001**
坡度	34.7(4.6)	9-47.8	34.5(4.4)	0-51	0.01*
雨量(mm)	2642(524)	1570-4101	2751(513)	1779-6441	<0.01**
植生指標	0.83(0.05)	0.37-0.91	0.8(0.06)	0.05-0.9	<0.01**
道路最近距離(km)	5.6(4)	0-17	4.9(3.8)	0-17	<0.01**
道路密度(km/km ²)	0.16(0.6)	0-5.6	0.12(0.47)	0-5.1	<0.01**
離國家公園距離(km)	9(11.9)	0-75.7	12(15.3)	0-81.5	<0.01**
森林覆蓋度(%)	78.7(26)	0-100	78.3(26.8)	0-100	0.72

^a SD= standard deviation

^b Mann-Whitney U Test : * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。

^c 森林覆蓋度只有計算位於國有林範圍內的網格($n = 19,271$)，網格單位為 $1 \times 1 \text{ km}^2$ 。

表 9、第二時期(2000-2010 年) 無熊格($n = 470$) 及有熊格($n = 408$) 及各
項環境因子之比較

環境因素	無熊格		有熊格		漸進顯著 性(雙尾) ^b
	平均值 (SD)	範圍	平均值 (SD)	範圍	
海拔(m)	745.9 (638.9)	4-3291	1840 (612)	183-3519	<0.001**
坡度	25.3 (9.6)	1.2-44.3	33.9 (4.5)	15.7-45.7	<0.001**
雨量(mm)	2515 (587)	1399-5839	2716.5 (527.7)	1536-4030	<0.001**
年均溫(°C)	19.5 (3.3)	6.9-25	14.3 (3.4)	5.1-21.8	<0.001**
一月年均溫 (°C)	13.6 (3.4)	0.3-20.5	9 (3.5)	-1.5-17.3	<0.001**
植生指標	0.77 (0.1)	0.17-0.89	0.81 (0.06)	0.58-0.88	<0.001**
道路最近距離 (km)	0.9 (18.8)	0-12.2	6 (4.4)	0-17	<0.001**
道路密度 (km/km ²)	3.3 (3.5)	0-16.7	0.16 (0.6)	0-6.7	<0.001**
離國家公園距 離(km)	34.2 (34.5)	0-146.6	12.7 (16.3)	0-72.5	<0.001**

^a SD= standard deviation

^b Mann-Whitney U Test : * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。

表 10、利用有/無熊資料及 8 項環境變因所建構之二元邏輯回歸模式，
AIC 值由小至大排列列出前 10 個模式組合。

模型變因 ^a	AIC	ΔAIC	K ^b
1. ELE, SLOPE, ROAD_DIS, ROAD_DEN, NP_DIST	592	0	5
2. ELE, NDVI, ROAD_DIS, ROAD_DEN, NP_DIST	592.3	0.3	5
3. ELE, PREC, ROAD_DIS, ROAD_DEN, NP_DIST	592.6	0.6	5
4. ELE, SLOPE, NDVI, ROAD_DIS, ROAD_DEN, NP_DIST	593.6	1.6	6
5. ELE, SLOPE, PREC, ROAD_DIS, ROAD_DEN, NP_DIST	593.9	1.9	6
6. ELE, NDVI, PREC, ROAD_DIS, ROAD_DEN, NP_DIST	594.2	2.2	6
7. ELE, SLOPE, NDVI, PREC, ROAD_DIS, ROAD_DEN, NP_DIST	595.5	3.5	7
8. ELE, SLOPE, NDVI, ROAD_DIS, NP_DIST	602.9	10.9	5
9. ELE, SLOPE, PREC, ROAD_DIS, NP_DIST	603.6	11.6	5
10. ELE, SLOPE, NDVI, PREC, ROAD_DIS, NP_DIST	604	12	6

^a 環境因子代碼：LE=海拔、TEMP=年均溫、TEMP_JAN=一月年均溫、SLOPE=坡度、ROAD_DIS=離道路之最近距離、ROAD_DEN=道路密度、NP_DIST=離國家公園之近距離、PREC=年平均雨量、NDVI=植生指標指數。

^b 模式中變因之數量。

表 11、利用邏輯回歸模式預測臺灣本島(1×1 km² 網格)臺灣黑熊出現的機率，模式對環境因子的參數估計。

環境變因	β	S.E.	Wald X ²	P
海拔	0.001	0.0002	37.9	<0.0001
道路最近距離	0.0003	0.00004	54.3	<0.0001
道路密度	-0.0003	0.0001	9.3	<0.01
國家公園最近距離	-0.00003	5.6x10 ⁻⁶	24.9	<0.0001
坡度	0.18	0.22	0.7	0.395
常數	-2.26	0.77	8.6	0.003

表 12、利用邏輯回歸模式所預測的有熊格之各項環境因子分析結果。

環境因素	平均(SD) ^a	範圍
海拔(m)	2168.4(566.7)	487-3640
坡度	36(4.2)	15.7-51
雨量(mm)	2701(429)	1622-4112
年均溫(°C)	12.5(3.1)	4.1-23.1
一月年均溫(°C)	6.9(3)	-1.5-16.7
植生指標	0.8(0.06)	0.26-0.89
道路最近距離(km)	5.3(3.9)	0-17
道路密度(km)	0.11(0.5)	0-7.5
離國家公園距離(km)	2.8(5.9)	0-76
森林覆蓋度(%) ^b	79.7(24.1)	0-100

^a SD= standard deviation

^b 森林覆蓋度只計算位於國有林範圍內的網格($n = 19,271$)，網格單位為 $1 \times 1 \text{ km}^2$ 。

附錄 1、本研究道路圖層(資料來源：PaPaGo Map) 中未放入計算之道路及其狀況。

道路名稱	保護區 ^a	可行性 ^b
100 線林道	棲蘭	汽車通/管制站
130 線林道	棲蘭	汽車通/管制站
160 線林道	棲蘭	/管制站
170 線林道	棲蘭	/管制站
清石道路(秀巒)	N	
平元林道	N	
嘉平林道	N	
大鹿林道	雪霸	
司馬限林道	雪霸	
72 線林道	N	
710 線林道	N	
大雪山林道 230 線	雪霸	大部分步行/
大雪山林道 210 線	雪霸	
大雪山林道 200 線	雪霸	
730 線林道	太魯閣/N	
和平林道	太魯閣/N	
砂卡噹林道	太魯閣	
820 線林道	太魯閣	步行
沿海林道	太魯閣	步行
裡冷林道	N	
奇萊壩	丹大	
萬大林道	N	
武界林道	N	
西林林道	N	
洽卯林道	N	
雙龍林道	N	
人倫林道	丹大	
郡大林道	玉山	
楠溪林道	玉山	
日據八通關	玉山	步行
清據八通關	玉山	步行
梅蘭林道	玉山/N	

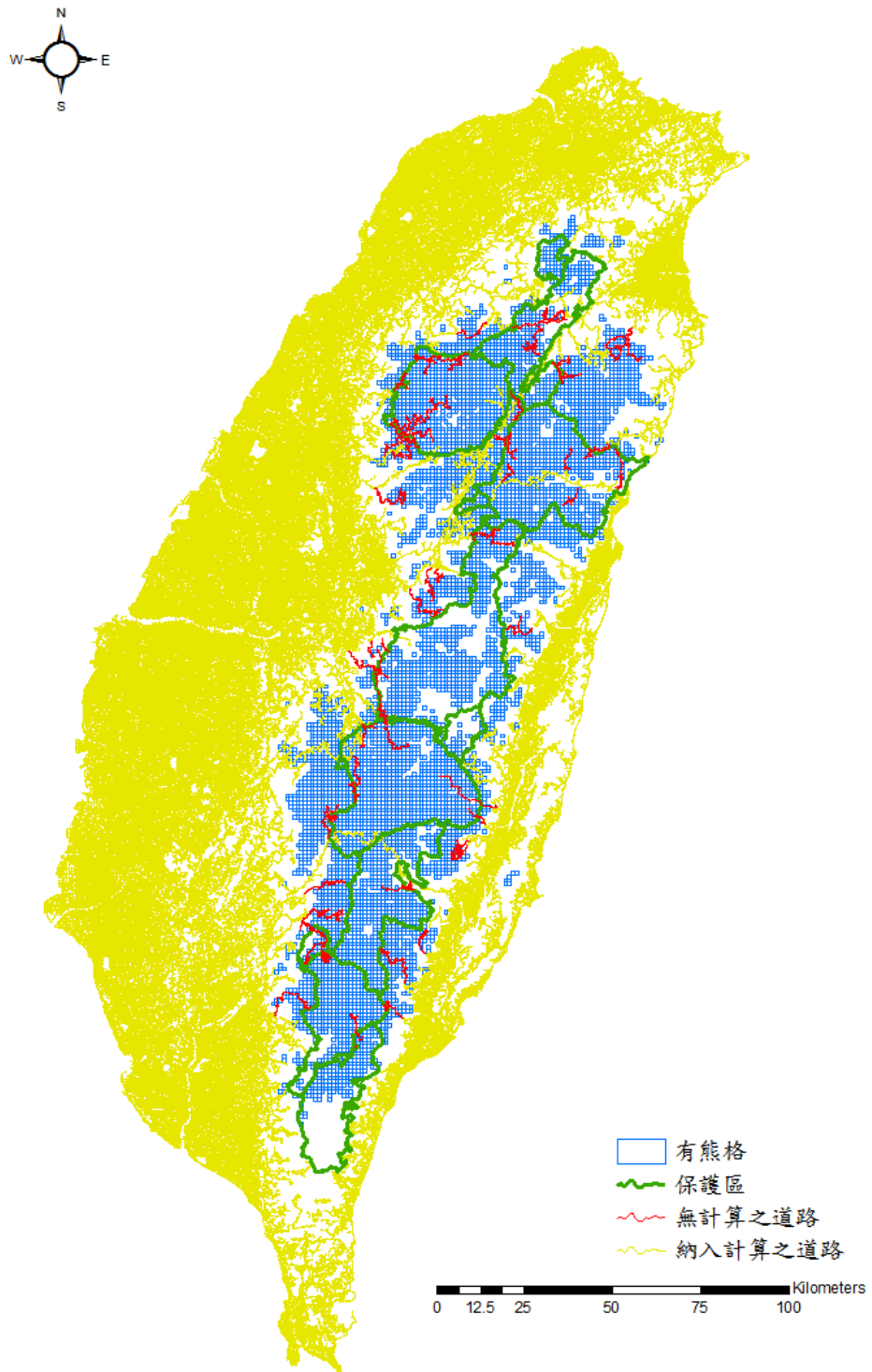
^a 玉山=玉山國家公園、太魯閣=太魯閣國家公園、雪霸=雪霸國家公園、棲蘭=棲蘭野生動物重要棲息環境、丹大=丹大野生動物重要棲息環境、關山=關山野生動物重要棲息環境、雙鬼湖=雙鬼湖野生動物重要棲息環境、大武山=大武山自然保留區。N=沒有位於保護區內。^b 可行性為道路可通行情況，但有許多道路狀況不明，並未特別調查。

附錄 1(續)、本研究道路圖層(資料來源：PaPaGo Map) 中未放入計算之道路及其狀況。

道路名稱	保護區 ^a	可行性 ^b
清水林道	N	
小關山	N	
霧鹿林道	關山	
石山林道	N	
出雲山林道	出雲山	
武陵林道	N	
延平林道	N	
沙溪林道	N	
利嘉林道	N	
知本林道	雙鬼湖/大武山	步行

^a 玉山=玉山國家公園、太魯閣=太魯閣國家公園、雪霸=雪霸國家公園、棲蘭=棲蘭野生動物重要棲息環境、丹大=丹大野生動物重要棲息環境、關山=關山野生動物重要棲息環境、雙鬼湖=雙鬼湖野生動物重要棲息環境、大武山=大武山自然保留區。N=沒有位於保護區內。^b 可行性為道路可通行情況，但有許多道路狀況不明，並未特別調查。

附錄 2、本研究道路圖層(資料來源：PaPaGo Map) 之分布圖。黃色為納入圖層計算之道路，紅色則是未放入計算之道路。



附錄 3、本研究圖層中央山脈保護區系統所涵蓋的各保護區名稱(由北至南排列)、面積和成立時間。

保護區名稱	面積 (公頃)	成立年代	涵蓋面積
插天山自然保留區	7,759	81/03/12	大溪事業區部分：第 13-15、24-26、32 林班及第 33 林班中扣除已開發經營面積 75 公頃達觀山自然保護區之範圍；烏來事業區部分：第 18、41-45、49-53 林班及第 35 林班扣除滿月圓森林遊樂區用地 850.22 公頃之範圍
棲蘭野生動物重要棲息環境	55,991	89/02/15	國有林烏來事業區第 54-71 林班，大溪事業區第 39、40、45-66、83、84、87-100、109-118、127-130、133 林班，宜蘭事業區第 74-77、81-84 林班，太平山事業區第 1-73 林班
雪霸國家公園	76,850	81/07/01	
太魯閣國家公園	92,000	75/11/28	
丹大野生動物重要棲息環境	109,952	89/02/15	國有林林田山事業區第 27、28、78-104、118-127 林班，木瓜山事業區第 48-54、70 林班，丹大事業區第 1-40 林班，巒大事業區第 135(第 7、10、11、13 小班除外)、136-179、181-201 林班，濁溪事業區第 15-17、19-21、25-27、30 林班
玉里野生動物保護區	11,414	89/01/27	花蓮縣卓溪鄉國有林玉里事業區第 32-37 林班
玉山國家公園	105,490	74/04/10	
關山野生動物重要棲息環境	69,077	89/02/15	國有林關山事業區第 13-24、28-44 林班，延平事業區第 24-31 林班，秀姑巒事業區第 40-44 林班
出雲山自然保留區	6,248	81/03/12	荖濃溪事業區第 22-37 林班及其外緣之馬里山溪北向、西南向與濁口溪南向、東南向溪山坡各 100 公尺為界範圍內之土地

附錄 3(續)、本研究圖層中央山脈保護區系統所涵蓋的各保護區名稱
(由北至南排列)、面積和成立時間。

保護區名稱	面積 (公頃)	成立年代	涵蓋面積
雪山坑溪野生動物重要棲息環境	671	89/10/19	國有林大安溪事業區第 101、106 林班
鹿林山野生動物重要棲息環境	494	89/10/19	國有林玉山事業區第 18-20 林班
瑞岩溪野生動物重要棲息環境	2,574	89/10/19	國有林埔里事業區第 131-136 林班
雙鬼湖野生動物重要棲息環境	47,723	89/10/19	國有林延平事業區第 32-39 林班，東事業區第 18-31 林班，荖濃溪事業區第 4-21 林班
大武山自然保留區	47,000	77/01/13 77/06/08 修正	大武事業區第 2-10、12-20、24-30 班；臺東事業區第 18-26、35-43、45-林班及第 51 林班扣除礦業用地及業卡車運路以外之土地，臺東縣界屏東林區管理處之巴油池及附近縣以東之林地

附錄 4、本研究的無熊資料依據過去自動相機系統的調查資料庫，除了在玉山國家公園東部園區以外之地區，利用自動相機調查動物相且期間超過半年之調查研究($n=43$)。

年份	題目	研究者	有熊記錄 點位數
1997	南大武山及北大武山動物相知調查研究	裴家騏、孫元勳	0
1999	觀霧臺灣擦樹自然保護區動物相調查研究	裴家騏	0
2000	太魯閣國家公園野生動物普查計畫—哺乳類動物	裴家騏	0
2002	墾丁國家公園陸域野生哺乳類動物調查研究(第三年)	裴家騏、邱春火、陳美汀、郭耀臨、劉彥芳	0
2003	銅山地區山毛櫸林黑熊及其他野生動物生態之研究	王穎、陳順其	0
2003	太魯閣國家公園內中大型野生哺乳類族群監測計畫	裴家騏、陳貞志、陳美汀	0
2003	丹大地區野生動物重要棲地環境分區規劃及動物監測(第一年)	王穎、王佳琪、郭正彥、方志仁	0
2004	自動照相機應用於中大型野生動物族群監測之研究	黃美秀等	0
2004	雪霸國家公園哺乳類調查研究—大雪山地區	裴家騏	1
2004	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、王佳琪、郭正彥、蔡佳淳、方志仁	0
2004	玉山國家公園楠梓仙溪地區中大型哺乳動物之族群監測	黃美秀、簡熒芸	
2004	大武山自然保留區和周邊地區雲豹及其他中大型哺乳動物隻現況與保育研究(三)	裴家騏、姜博仁	5
2005	銅山地區山毛櫸林黑熊及其他野生動物生態之調查(二)	王穎、徐堉峰、王佳琪、郭正彥、吳錦銘、王立豪	0
2005	瑞岩溪野生動物重要棲息環境動植物資源調查監測 94 年度成果報告	陳世儒等	0

附錄 4(續)、臺灣本島於玉山國家公園東部園區以外之地區，利用自動相機調查動物箱且期間超過半年之調查研究。

年份	題目	研究者	有熊記錄 點位數
2005	雪霸國家公園雪見地區中大型哺乳動物和雉科鳥類之監測研究	裴家騏、梁又仁、孫敬閔、蔡佩樺	0
2005	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、黃興炎	0
2005	北大武山陸域脊椎動物生物多樣性調查與資料庫建立 (1)	黃美秀、孫元勳、楊富強、吳禎祺	0
2005	利用地理資訊系統建構六龜試驗林扇平地區中大型哺乳動物巨棲環境棲地模式	賴玉菁	0
2006	翠峰湖生物相與棲地調查之研究(1/2)	毛俊傑等	0
2006	棲蘭山 130 林道檜木林生態監測	陳子英等	0
2006	九九峰自然保留區動植物資源調查監測九十四年度成果報告	許丁水等	0
2006	丹大野生動物重要棲息環境野生動物調查研究計畫 (2/2)	王穎、許詩涵、張雅婷、顏士清、黃書彥、潘玉潔、王佳琪	0
2006	北大武山陸域脊椎動物生物多樣性調查與資料庫建立 (2)	黃美秀、孫元勳、楊富強、吳禎祺	0
2007	翠峰湖生物相與棲地調查之研究(1/2)	毛俊傑等	0
2007	棲蘭山檜木林整理區與未整理區之植物、動物相調查評估	陳子英、毛俊傑等	0
2007	瑞岩溪野生動物重要棲息環境動植物資源調查監測 95 年度成果報告	陳世儒等	0
2007	雪霸國家公園陸域野生動物資源調查研究—雪見地區	蘇秀慧、裴家騏、梁又仁、陳美汀、蔡佩樺	0
2007	太魯閣國家公園大禮大同地區生態旅遊遊程之規劃研究	吳海音、李寶蓮、施金德	0
2007	九九峰自然保留區動植物資源調查監測九十五年度成果報告	余啟瑞等	0
2007	玉山國家公園南二段地區中大型哺乳動物調查暨臺灣水鹿族群監測計畫	李玲玲、林宗以、池文傑	1

附錄 4(續)、臺灣本島於玉山國家公園東部園區以外之地區，利用自動相機調查動物箱且期間超過半年之調查研究。

年份	題目	研究者	有熊記錄 點位數
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)	裴家騏、陳美汀	0
2008	瑞岩溪野生動物重要棲息環境動植物資源調查監測九十六年度成果報告	陳世儒等	0
2008	奧萬大國家森林遊樂區生態池長期生態監測計畫(3/3)	賴玉菁等	0
2008	雪霸國家公園陸域野生動物資源整合分析—雪見地區	蘇秀慧、裴家騏、梁又仁	1
2008	太魯閣國家公園高山生態系--臺灣水鹿棲地使用之研究(一)	王穎、顏士清、廖家宏、葉建緯	0
2008	陶塞溪流域中大型哺乳動物族群監測模式研究	陳怡君、王穎、廖家宏、葉建緯	0
2008	九九峰自然保留區動植物資源調查監測九十六年度成果報告	余啟瑞等	0
2008	樂樂地區鳥類及哺乳動物監測調查暨生態教育宣導	林良恭、喬雅玲等多人	0
2008	六龜試驗林濱水哺乳動物與溪魚監測(5/5)	盧惠生、裴家騏、韓橋權	0
2009	瑞岩溪野生動物重要棲息環境動植物資源調查監測九十七年度成果報告	陳世儒等	0
2009	九九峰自然保留區動植物資源調查監測九十七年度成果報告	余啟瑞等	0
2009	玉山國家公園楠梓仙溪林道地區動植物資源監測調查計畫	楊國禎、蘇夢淮、王豫煌、張又敏	0
2010	利嘉野生動物重要棲息地哺乳類與鳥類資源調查與監測	蘇秀慧、翁國精、沈祥仁	1

附錄 5、文獻回顧利用熊類痕跡調查之相關研究及結果。

國家	物種 ^a	痕跡密度 (ha) ^b	遭遇率 ^c (km)	研究來源
泰國	ABB	2-14(CM)		(Steinmetz,2009)
柬埔寨	ABB/SB	10		(Fredriksson and Steinmetz, 2007)
印度	ABB		1.14(0.12)	(Sharma, L.K., 2009)
尼泊爾	ABB		0.43(0-6) /0.75	(Bhupendra, P.Y.,2009)
泰國	SB	3-9(CM)		(Steinmetz,2009)
印度	SB	2.1-34		(Akhtar et al., 2004)
印尼/婆羅洲	SB	10-40		(Augeri, D.M., 2005)
西班牙	GB		0.027	(Clevenger and Purry, 2005)
厄瓜多	AB		0.74	Cuesta et al., 2003
臺灣	ABB	0.7	0.42	本研究

^aABB= Asiatic black bear, SB=Sloth bear(*Melursus ursinus*) , GB=grizzly bear(*ursus arctos*) , AB=Andean bear(*Tremarctos ornatus*) , SB=Sun bear(*Helarctos malayanus*) .

^bCM=熊爪痕

^c遭遇率=觀察到一個痕跡所需要行走的路程之比例

附錄 6、文獻回顧有關影響熊類分布、棲地利用之環境因素的研究。

Species	Variables ^a	Reference
Asiatic black bear	Forest cover, agricultural cover, shrub cover, distance to the closest nature reserve	(Liu et al., 2009)
Asiatic black bear	Forest cover, slope, elevation(+), proximity to settlements(-)	(Singh, R., 2009)
Asiatic black bear	Elevation, distance to the road, vegetation cover type, distance to the patch and stone steps	(Doko et al., 2011)
American black bear	Oak dominated vegetation	(Onorato et al., 2003)
American black bear		(Garneau, D E., 2007)
American black bear	Road(-)	(Reynolds-Hogland and Mitchell, 2007)
American black bear (female)	Landscape	(Gaines et al., 2005)
American black bear	Landscape, human related activities(-)	(Sharma, C. M.,)
Grizzly bear	Landscape, vegetation, human number(-)	(Mattson and Merrill, 2002)
Grizzly bear	Road(-)	(Ciarniello et al., 2007)
Brown bear	Average altitude, deciduous woodlands and ecotone length(+), vineyard-olive groves and shrublands(-)	(Posillico et al., 2004)
Sloth bear	Monsoon forest(+), ele, road density, human population den(-)	(Ratnayake et al., 2007)

^a(-) 表示此因素為負相關，(+) 為正相關

作者簡介：蔡幸蒨 Shin-Chien Tsai

性別：女

出生年月日：1985 年 9 月 18 日

通訊地址：屏東縣內埔鄉老埤村學府路 1 號

電子信箱：wildlifeduck@gmail.com

學歷：高雄市立小港高級中學

國立嘉義大學畜產學系

國立屏東科技大學野生動物保育研究所