

## 生物多樣性熱點之推估：以台灣特有鳥種為例

# Estimating Biodiversity Hotspot: A Case Study of Endemic Bird Species in Taiwan

呂明倫\*

Ming-Lun Lu\*

行政院農業委員會特有生物研究保育中心 55244 南投縣集集鎮民生東路 1 號

Endemic Species Research Institute, Jiji, Nantou, Taiwan

\*通訊作者：alan@tesri.gov.tw

\* Corresponding author: alan@tesri.gov.tw

### 摘 要

尋找生物多樣性熱點為從事保育工作之首要目標之一，而所謂熱點是指某一區域的物種具有顯著多樣性，但同時棲地又面臨干擾的威脅。本研究選擇台灣特有鳥種做為研究案例，整合物種分布模式、主成分分析與模糊邏輯等空間分析技術，發展一套在區域尺度下的生物多樣性熱點推估模式，所推估的熱點再和當前之法定保護區套疊，瞭解兩者之契合度。研究結果顯示，全島之生物多樣性熱點大多位於高海拔且潛藏天然災害威脅之區域，其中，約 70% 的面積有座落於法定的保護區內，另將熱點強度由高至低分為 5 級後發現，有少數屬次高級別的熱點並未受到保護，如雪霸國家公園的與玉山國家公園的邊緣地帶，因此，可規劃為特有鳥種之保育優先順位。本研究所建立的推估模式，未來亦可應用於其他類群之生物，以提供物種的保育與經營管理之參考。

## Abstract

Biodiversity hotspot evaluation could be an essential tool to focus conservation efforts. An observed hotspot is defined as a habitat with significant levels of species diversity that is under threat from disturbances. In this research, a model is developed by using a combination of a species distribution model, principal component analysis and fuzzy logic to identify biodiversity hotspots of endemic bird species in Taiwan on a regional scale, and assess the agreement with legally protected areas. The results showed that the hotspots were mostly located in high-elevation where there were potential threats for natural disasters, and then approximately 70% of the hotspots be sheltered by the protected areas. Furthermore, the hotspots are classified into five levels from high to low according to grade. A few sub-high-level hotspots have not been protected, such as the edges of the Shei-pa and Yushan National Park. These critical sites could be conservation priority for endemic bird species. The developed model may be applied to any taxa requiring planning for future protection and management.

**關鍵詞：**干擾、物種分布模式、主成分分析、模糊邏輯、保護區、保育優先順位

**Key words :** disturbance, species distribution model, principal component analysis, fuzzy logic, protected area, conservation priority

收件日期：2016年02月16日

接受日期：2016年06月13日

Received: February 16, 2016

Accepted: June 13, 2016

## 前 言

維繫地球的生物多樣性，為從事自然保育之基本宗旨，首要目標之一是找尋生物多樣性熱點(biodiversity hotspot)，期望能針對關鍵區位集中資源與人力，投入正確的保育方針，獲得最大的功效(方等 2010)。所謂熱點係指某一區域擁有豐富的物種，惟其生物棲地歷經嚴重的擾動，或存有威脅壓力，使面積快速地流失，簡言之，具顯著生物多樣性，同時又面臨干擾威脅的棲地即可視為熱

點(Myers 1988; 1999)。據此概念，Myers *et al.* (2000)提出決定熱點的條件，當一區域的維管束植物至少 1,500 種屬於特有種(endemism)，且自然植被面積已流失 70%以上，就應被指定為熱點，而全球符合熱點條件的區域計有 25 個，截至今日，國際保育組織(Conservation International)陸續更新至 35 個。

由於全球尺度下的熱點範圍廣闊，保育工作不易施行，因此，評估生物多樣性熱點可降尺度，鎖定在區域性的單元，以利制定

保育地的優先順位(Brooks *et al.* 2006; Estrada *et al.* 2011; Cañadas *et al.* 2014)。決定區域性的熱點並無標準的評估模式，大多仍依循特有或稀有種之多樣性及棲地受干擾等原則，進行資料的量化，相關研究如直接評估物種多樣性指數(Kraft *et al.* 2010; Huang *et al.* 2012; Cañadas *et al.* 2014)，或強調特有種的出現(Dunstan *et al.* 2012; Ko *et al.* 2014)，另亦有針對保護區與周邊範圍，監測長期受人為開發的影響程度(Sanchez-Cuervo and Aide 2013)。

台灣是位於熱帶與亞熱帶交界處之島嶼，受板塊活動的影響，地勢起伏多變，加上本身海拔的落差構成多種氣候型態，使島內孕育出多元的生態系，並吸引了豐富的物種前來棲息。然而，受地狹人稠之故，人為開發活動明顯，近年來又因重大天然災害事件頻傳，使台灣的地貌鉅變，原本覆蓋良好的森林出現大規模坍方(謝等 2010)，嚴重衝擊到野生生物的原始棲地(呂及何 2013；黃 2015；呂 2015)，且經過干擾後的環境，更潛藏著高度的脆弱性(黃及林 2014；黃 2016)，因此，有效建立一套生物多樣性熱點的推估模式，儼然已刻不容緩。

本研究以台灣本島研究區域，物種選擇台灣特有鳥種做為研究案例，依據生物多樣性熱點概念，整合物種調查資料、物種分布模式(species distribution model, SDM)、主成分分析(principal component analysis, PCA)與模糊邏輯(fuzzy logic)等空間分析技術，建立推估模式，其目地包含：1. 模擬各特有鳥種之分布機率，並計算物種多樣性；2. 分析棲地受潛在威脅之情形；3. 瞭解生物多樣性熱點之範圍，以及其與當前法定保護區之契合度。

## 材料與方法

### 一、研究區概述

台灣位於亞洲東部、太平洋西北側，西隔台灣海峽，土地面積約 36,000 km<sup>2</sup>(圖 1)。島內人口約 2,300 萬人；地形陡峭，多為山地與丘陵，平原主要集中於西部沿海，形成東高西低的地勢，主要山脈有中央、玉山、阿里山、雪山及海岸等 5 大山脈，其中，玉山主峰為最高峰，標高 3,952 m；河川多發源於中央山脈，水系密布，大多分布於西半部，流域長度最長的為濁水溪，面積最廣的為高屏溪；據中央氣象局資料顯示，年均溫約 21℃，年雨量約 2,500 mm，冬季有來自西伯利亞的大陸冷高壓，以東北季風為主，夏季則有來自太平洋的海洋高壓，以西南季風為主；據林務局第 3 次森林資源調查報告，土地覆蓋型態以森林為主，占全島的 58%，依海拔與溫度的差異，可將林相劃分為高山植群、冷杉林、鐵杉及雲杉林、櫟林、楠櫟林與榕楠林等(蘇 1992)。由於島內富含豐富的生物多樣性，至今政府機關依保育相關法規設置了 72 處的保護區，陸域面積約 6,945 km<sup>2</sup>，約占全島 19%(圖 1)。

### 二、研究方法

#### (一) 物種資料

依據中華民國野鳥學會 2015 年最新公布，台灣特有鳥種共有 27 種，各物種之點位資料蒐集，乃源自林務局跨單位物種查詢平台之政府開放資料，該批資料調查期間為 1999~2003 年。在取得資料後，統一將座標轉換為 1997 台灣大地基準座標系統(Taiwan Datum 97)，後續所採用之相

關環境資料也以此座標系統儲存，網格基本運算單元設定為  $1 \times 1 \text{ km}^2$ ，若一個網格內有同一物種重複記錄者將之剔除，27 種

特有鳥種之名錄與經篩選後之點位數量如表 1 所示。

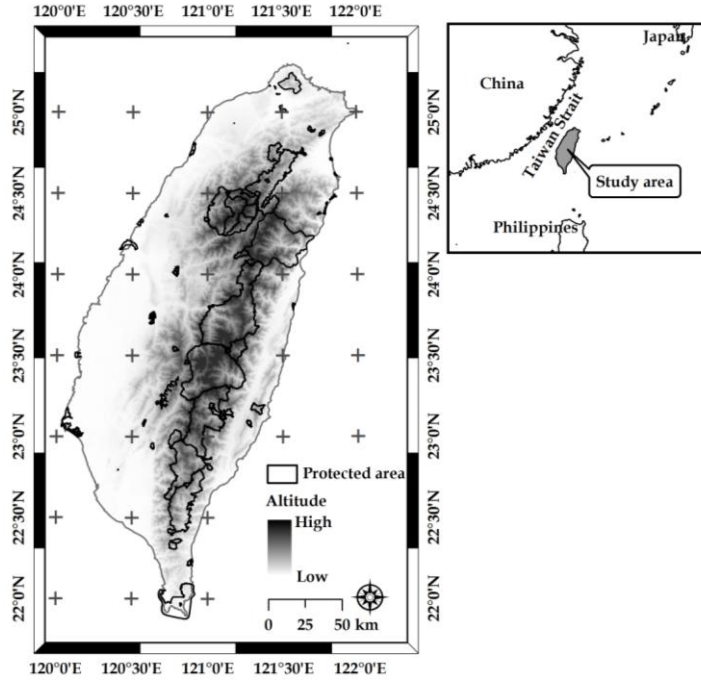


圖 1. 研究區地理位置圖，背景為數值高程模型(海拔高)。

Fig. 1. Location of study area showing a digital elevation model (altitude) in the background.

表 1. 本研究分析之鳥種名錄與出現網格筆數

Table 1. Selected bird species and their number of occurrence grids in this study

| Scientific name                 | English name       | Grid number |
|---------------------------------|--------------------|-------------|
| <i>Arborophila crudigularis</i> | Taiwan Partridge   | 337         |
| <i>Lophura swinhoii</i>         | Swinhoe's Pheasant | 106         |
| <i>Syrmaticus mikado</i>        | Mikado Pheasant    | 36          |
| <i>Megalaima nuchalis</i>       | Taiwan Barbet      | 259         |
| <i>Urocissa caerulea</i>        | Taiwan Blue-Magpie | 136         |
| <i>Parus holsti</i>             | Yellow Tit         | 95          |
| <i>Pycnonotus taivanus</i>      | Styan's Bulbul     | 426         |

|                                       |                                  |       |
|---------------------------------------|----------------------------------|-------|
| <i>Regulus goodfellowi</i>            | Flamecrest                       | 102   |
| <i>Pnoepyga formosana</i>             | Taiwan Cupwing                   | 214   |
| <i>Locustella alishanensis</i>        | Taiwan Bush-Warbler              | 76    |
| <i>Fulvetta formosana</i>             | Taiwan Fulvetta                  | 116   |
| <i>Yuhina brunneiceps</i>             | Taiwan Yuhina                    | 594   |
| <i>Pomatorhinus musicus</i>           | Taiwan Scimitar-Babbler          | 1,195 |
| <i>Megapomatorhinus erythrocnemis</i> | Black-necklaced Scimitar-Babbler | 712   |
| <i>Alcippe morrisonia</i>             | Gray-cheeked Fulvetta            | 1,074 |
| <i>Garrulax taewanus</i>              | Taiwan Hwamei                    | 114   |
| <i>Ianthocincla ruficeps</i>          | Rufous-crowned Laughingthrush    | 22    |
| <i>Ianthocincla poecilorhyncha</i>    | Rusty Laughingthrush             | 113   |
| <i>Trochalopteron morrisonianum</i>   | White-whiskered Laughingthrush   | 154   |
| <i>Heterophasia auricularis</i>       | White-eared Sibia                | 611   |
| <i>Liocichla steerii</i>              | Steere's Liocichla               | 546   |
| <i>Actinodura morrisoniana</i>        | Taiwan Barwing                   | 80    |
| <i>Myophonus insularis</i>            | Taiwan Whistling-Thrush          | 372   |
| <i>Tarsiger johnstoniae</i>           | Collared Bush-Robin              | 170   |
| <i>Carpodacus formosanus</i>          | Taiwan Rosefinch                 | 69    |
| <i>Poecile varius</i>                 | Varied Tit                       | 66    |
| <i>Bambusicola sonorivox</i>          | Taiwan Bamboo-partridge          | 837   |

## (二) 環境資料

環境資料為建構 SDM 之預測變項，包含氣候、地形、地物與位置等 4 類因子，其中，氣候因子乃從 Hijmans *et al.* (2005) 建立的全球氣候資料庫(WorldClim database v1.4) 下載，該資料庫涵蓋全球，依據 1950~2000 年全球各地氣象站的雨量及溫度資料，經過內插轉換後，產生最小空間尺度近 1 km<sup>2</sup> 的氣候網格，本研究由資料庫下載 19 種生物氣候資料做為預測變項(參閱 Hijmans *et al.*

2006; [www.worldclim.org](http://www.worldclim.org))。地形因子由 WorldClim database v1.4 取得數值高程模型(digital elevation model)，利用 ArcGIS 10.0 軟體製作海拔高、坡度與坡向，並參考 Gessler *et al.* (1995) 與 McCune and Keon (2002) 的方法，產生表示環境濕度的複合地形指標(compound topographic index)與表示太陽輻射強度的熱負荷指標(heat load index)，共計 5 個變項。地物因子依據瑞竣科技公司之雲端服務平臺(RiChi GIS Cloud)

數化主要河流，並製作離河流距離圖資，此外，由美國 NASA 的 Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) 取得 2000~2010 年的 MODIS 衛星影像產品：MOD17A3 與 MOD44B，各別表示年平均淨生產力與樹木覆蓋度，共計 3 個變項。位置因子計有經度與緯度兩個變項，係記錄每一運算單元中心點的座標，最小單位為秒，最終，累計全部預測變項共有 29 個(表 2)。

除模擬物種分布所需之預測變項外，另蒐集有關威脅棲地之變項，建構棲地危

險度(habitat risk, HR)推估模式，包括人為的建地、農地、道路與人口密度，以及天然災害構成的崩場地等，利用 GIS 產生離建地、農地、道路與崩場地距離圖資，其中，建地與農地分布範圍係根據 LP DAAC 取得 2013 年 MCD12Q1 之土地覆蓋產品；道路參考 RiChi GIS Cloud 數化主要道路(國道、快速道、省道、縣道及鄉道)；崩場地參考林務局於 2014 年以 Formosa 2 影像數化之成果；此外，人口密度(人/km<sup>2</sup>)則取自社會經濟資料庫共通平臺，統計年度為 2015 年。

表 2. 模擬物種分布之預測變項

Table 2. Predictor variables used to model species distributions

| Variable   | Code  | Keep in final <sup>a</sup> |
|--|-------|----------------------------|
| Annual mean temperature                                    | BIO1  | Yes                        |
| Mean diurnal range (Mean of monthly (max temp - min temp)) | BIO2  | Yes                        |
| Isothermality (BIO2/BIO7) (×100)                           | BIO3  | No                         |
| Temperature seasonality (Standard deviation×100)           | BIO4  | No                         |
| Max temperature of warmest month                           | BIO5  | No                         |
| Min temperature of coldest month                           | BIO6  | No                         |
| Temperature annual range (BIO5-BIO6)                       | BIO7  | Yes                        |
| Mean temperature of wettest quarter                        | BIO8  | No                         |
| Mean temperature of driest quarter                         | BIO9  | No                         |
| Mean temperature of warmest quarter                        | BIO10 | No                         |
| Mean temperature of coldest quarter                        | BIO11 | No                         |
| Annual precipitation                                       | BIO12 | Yes                        |
| Precipitation of wettest month                             | BIO13 | No                         |
| Precipitation of driest month                              | BIO14 | Yes                        |
| Precipitation seasonality (Coefficient of variation)       | BIO15 | No                         |
| Precipitation of wettest quarter                           | BIO16 | No                         |
| Precipitation of driest quarter                            | BIO17 | No                         |
| Precipitation of warmest quarter                           | BIO18 | No                         |

|                                  |       |     |
|----------------------------------|-------|-----|
| Precipitation of coldest quarter | BIO19 | No  |
| Altitude                         | Alti  | No  |
| Slope                            | Slop  | Yes |
| Aspect                           | Aspe  | Yes |
| Compound topographic index       | CTI   | No  |
| Heat load index                  | HLI   | No  |
| Distance to the nearest river    | River | Yes |
| Net primary productivity         | NPP   | Yes |
| Tree cover                       | TC    | Yes |
| Latitude                         | Lati  | No  |
| Longitude                        | Long  | No  |

<sup>a</sup> Spearman's rank correlation coefficients < 0.7 between predictor variables are kept.

### (三) 物種分布模擬

本研究利用 Phillips *et al.* (2006)所開發的最大熵(maximum entropy) : Maxent 3.3.3k, 做為模擬物種分布之預測模式, 該工具係將有限的訓練集資料, 透過機械學習(machine learning)理論建立機率分布函數, 進而模擬物種的分布, 為現今最廣泛使用, 也被認證是最佳的SDM(Elith *et al.* 2006; Kumar and Stohlgren 2009)。Maxent 係應用 Gibbs 機率分布( $q_\lambda$ ), 推算物種在  $x$  樣點的最大可能率, 基本公式如下(Phillips *et al.* 2006) :

$$q_\lambda(x) = \frac{e^{\lambda \cdot f(x)}}{Z_\lambda} \quad (1)$$

式中  $\lambda$  為預測變項的權重,  $f$  為預測變項的向量,  $Z_\lambda$  為標準化常數, 確保  $q_\lambda$  加總後等於 1。

在模式建立前, 先以 Spearman 相關分析進行預測變項篩選, 確保各變項的相關係數小於 0.7, 避免共線性問題, 隨後各物種逢機選取 75%的資料做為訓練資料集, 利用 Maxent

建立預測模式, 模擬各特有鳥種的分布機率, 每一物種重複運算 10 次, 取其平均值, 輸出結果設定邏輯斯分布, 使預測的領域介於 0~1, 愈接近 1 者, 代表該網格的物種出現機率愈高。另一方面, 將剩餘 25%的物種資料做為驗證資料集, 並依接受者操作特徵(receiver operating characteristic)所產生之曲線面積(area under the curve, AUC), 評估模式的有效性, 其領域介於 0.5~1, 當 AUC 愈高代表模式預測出來的準確性愈佳, 而高於 0.7 以上則達優良之標準(Fielding and Bell 1997; Pearce and Ferrier 2000)。所建立的預測模式則可透過 Jackknife 檢驗, 瞭解各預測變項對模式的貢獻比。

Shannon 多樣性指標(Shannon index of diversity, SHDI)為觀察某一地區物種多樣性之常用指標, 故 27 種特有鳥種之分布機率模擬完成後, 計算全島每一網格之 SHDI, 其計算式如下(Shannon and Weaver 1949) :

$$SHDI = - \sum_{i=1}^N p_i \ln p_i \quad (2)$$

式中  $N$  為所有物種之出現機率總和， $p_i$  為第  $i$  個物種占所有物種出現機率的比。

#### (四) 主成分分析

PCA 所構成之統計模型具線性組合特性，除可運用於抽取資料的主要成分外，亦能整合各種變項，建立空間推估模式。本研究將建地、農地、道路、人口密度與崩塌地等威脅棲地之變項，透過 IBM SPSS 20.0 統計軟體進行 PCA，轉化成獨立的新成分，以累積解釋變異量達 80% 水準做為標準，決定新成分的數目(林及陳 2003)，最後再利用迴歸分析法取得每一新成分的得點。各成分可依產生的解釋變異量做為權重(呂及謝 2013; Shao *et al.* 2014)，建立 HR 空間推估模式：

$$HR = \sum_{i=1}^n c_i w_i = c_1 w_1 + c_2 w_2 + \dots + c_n w_n \quad (3)$$

$$w_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^m \lambda_i} \quad (4)$$

式中  $c_i$  為第  $i$  個新成分之得點， $w_i$  為第  $i$  個成分的解釋變異量(即權重)， $\lambda_i$  為第  $i$  個成分的特徵值，當某一網格之 HR 值愈高，代表該網格棲地受威脅的壓力愈高，反之則愈低。

#### (五) 模糊邏輯運算

為推估特有鳥種之生物多樣性熱點，利用模糊邏輯中的交集(intersection)運算方法(Zadeh 1965)，整合 SHDI(式 2)與 HR(式 3)，運算前先設定平均值加上 1 個標準偏差，以

此做為門檻，並萃取大於此門檻之網格值，表示物種高多樣性與棲地高危險度之範圍，再將兩者透過式(5)標準化，使值域介於 0~1。

$$y = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (5)$$

式中  $y$  為標準化之結果， $x_i$  為第  $i$  個網格之 SHDI 或 HR 原始值， $x_{\max}$  與  $x_{\min}$  分別為 SHDI 或 HR 之最大值及最小值。經轉換後透過式(6)運算：

$$BioHS = SHDI \cap HR = \text{Min}(SHDI, HR) \quad (6)$$

式中  $BioHS$  為生物多樣性熱點， $SHDI \cap HR$  為交集運算子，即取 SHDI 及 HR 之交集網格最小值，當  $BioHS$  愈高，代表 SHDI 及 HR 的交集率愈高，可顯現生物多樣性之熱點分布範圍與強度值。所得之強度值進一步以 Jenks 自然間斷分類法(Jenks natural break method)進行分級(Jenks 1967)，以利表現生物多樣性熱點之強度，並與當前之法定保護區進行套疊，用以評估契合度。

## 結 果

將 29 個預測變項進行 Spearman 相關分析，在相關係數小於 0.7 的標準下，可篩選出 10 個預測變項(表 2)，並以此建立 Maxent 物種分布預測模式，由運算結果可知，各物種的 AUC 介於 0.75~0.95 之間，平均值為 0.87，標準偏差為 0.06。所篩選出的 10 個預測變項中，有 5 個變項為氣候因子，並以年均溫(BIO1)對模式的貢獻比最高(48%)，



與其他氣候因子：年溫差(BIO7; 9%)、年雨量(BIO12; 7%)、最乾月雨量(BIO14; 6%)及月均溫潮差(BIO2; 5%)，合計貢獻比達 75%，其餘變項為地形因子中的坡度與坡向；地物因子的河流距離、淨生產力與樹木覆蓋度(圖 2)。

經由 PCA 將建地、農地、道路、人口密度與崩場地等威脅生物棲地之變項轉化為新成分，其分析結果如表 3 所示，新成分數量的萃取一般取決於特徵值大於 1 者，表 3 結果顯示特徵值大於 1 之新成分僅有 1 個，然其累積解釋變異量稍有不足(約 54%)，為避免遺漏過多資訊，依據 80% 以上水準(林及陳，2003)，取 3 個新成分，累積解釋變異量可達 86.27%。3 個新成分之解釋變異量可做為權重，並代入式 3、4 中獲得 HR 推估模式(式 7)。

$$HR = 0.540c_1 + 0.194c_2 + 0.128c_3 \quad (7)$$

由 SDM 與 PCA 結果演算出特有鳥種之 SHDI 與 HR，由圖 3 顯示，顏色愈偏向黑者，代表該區的物種多樣性愈高(圖 3a)，以及棲地存在高危險度(圖 3b)，經統計後可知，全島的 SHDI 與 HR 平均值各為 1.11 與 -0.01；標準偏差各為 0.16 與 0.58，因此，各自設定 1.27 與 0.57 為門檻，超過此二門檻之網格，即視為物種多樣性較豐富(圖 3c)及棲地受威脅壓力大之範圍(圖 3d)。圖 3c 可知，特有鳥種多集中於中央地帶，屬海拔梯度較高的自然環境(圖 1)，另圖 3d 的 HR 顯示，棲地存在威脅壓力的區域除零星分布於沿海周邊的都會區外，大多數也都位於高山地區。

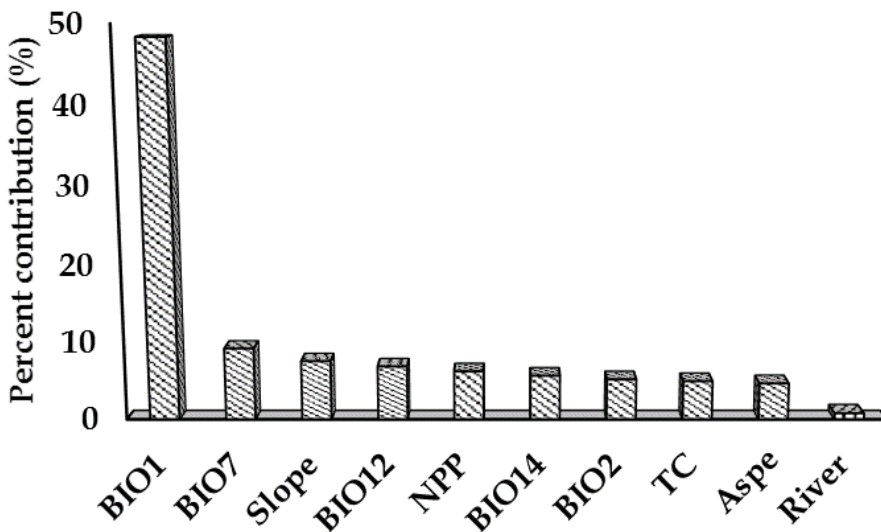


圖 2. 以 Maxent 模擬台灣特有鳥種所採用之預測變項貢獻度。

Fig. 2. Predictors and their average (from 27 species) percent contribution reported from Maxent model for endemic bird species in Taiwan.

表 3. 主成分分析結果

Table 3. The results of principal component analysis

|                         | Selected principal component |       |       |
|-------------------------|------------------------------|-------|-------|
|                         | I                            | II    | III   |
| Eigenvalue $\lambda_j$  | 2.70                         | 0.97  | 0.64  |
| Variance (%)            | 54.01                        | 19.44 | 12.82 |
| Cumulative variance (%) | 54.01                        | 73.45 | 86.27 |

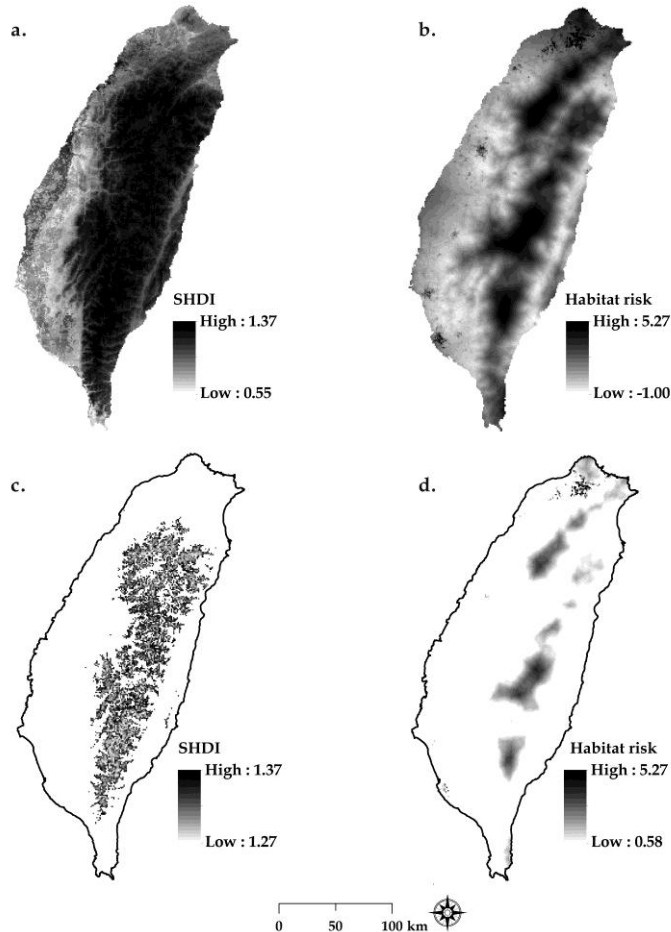


圖 3. (a) 台灣特有鳥種之 Shannon 多樣性指標分布圖；(b)棲地危險度分布圖；(c)高 Shannon 多樣性與(d)棲地高危險度之範圍(高於平均值+1 個標準偏差)。

Fig. 3. (a) Shannon index of diversity (SHDI) for endemic bird species; (b) habitat risk in Taiwan; ranges of high value (threshold at 1 standard deviations from the mean) for (c) SHDI and (d) habitat risk

藉由模糊邏輯理論將 SHDI 與 HR 結合運算，可獲得特有鳥種之生物多樣性熱點範圍，換算面積約 3,270 km<sup>2</sup>，占全島面積約 9%，再套用當前所規劃之自然保護區圖來看，大多數的熱點皆有座落在保護區內(約 2,302 km<sup>2</sup>)，約占有熱點範圍的 70%。利用 Jenks 自然間斷分類法可將熱點強度由高至低，細分成高、次

高、中、次低及低等 5 個級別，經分級後可知，高與次高級別主要落在雪霸、玉山國家公園，以及丹大、玉里與雙鬼湖野生動物重要棲息環境等 5 個保護區，然而，亦有次高級熱點未被涵蓋於保護區內，分別為雪霸國家公園北面與玉山國家公園西面(圖 4)。

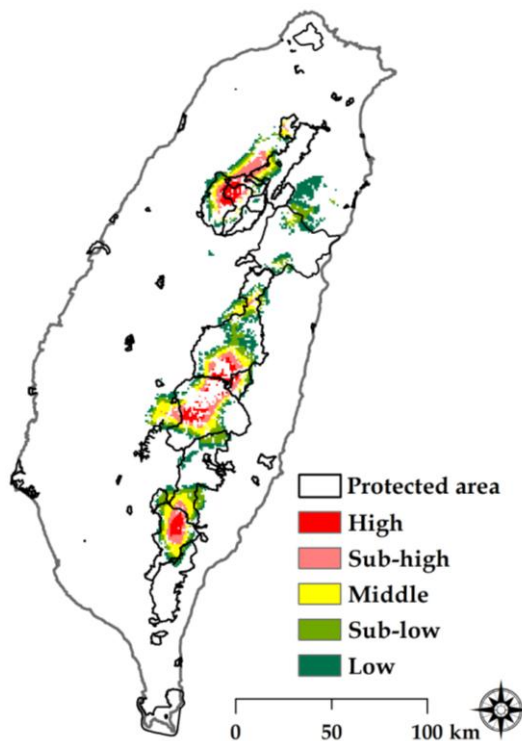


圖 4. 台灣特有鳥種之生物多樣性熱點範圍。

Fig. 4. Range of biodiversity hotspots for endemic bird species in Taiwan.

## 討 論

物種空間分布資訊是執行自然保育工作之重要依據，本研究利用氣候、地形、地物與位置因子等環境資料，建立預測模式，模擬台

灣特有鳥種的物種分布，模擬的結果皆有達到理想標準，由此可知，該模式具備良好的預測能力(Fielding and Bell 1997; Pearce and Ferrier 2000)。所挑選的預測變項中，氣候因子的變項占多數，且對模式的貢獻比亦最高(圖 2)，是

影響鳥類族群分布的重要關鍵，因此，採用氣候資料即可準確地預測鳥類的分布，特別是與氣溫有關的變項，相關的前人研究亦可發現相仿的結果(Barbet-Massin and Jetz 2014)，未來若探討氣候變遷與物種分布的研究議題，建議可著重於這些氣候變項的應用，模擬特有鳥種可能受到的衝擊。

運用 SDM 模擬結果計算全島特有鳥種之 SHDI，可明顯看出，高多樣性範圍主要分布於雪山、中央及玉山山脈等自然度高的環境(圖 3a、c)，與相關的研究相符(Ko *et al.* 2014)，因此，植被覆蓋度高及林相完整之森林係普遍特有鳥種所偏好之棲地(Cheng and Lai 2002; Ko *et al.* 2010)，此外，這些區域除了有天然屏障的庇護外，大多也是受法律規範的國有林地，受人為破壞的情形相形較少，為野生動物提供良好的棲息場所。然而，由 PCA 所推導的 HR 發現，海拔較高的棲地雖適合特有鳥種的生存，卻存在高度威脅壓力，此乃因近代台灣歷經大規模的天然災害所致，據中央氣象局資料顯示，近 10 年內全台各地屢遭颱風與強降雨侵襲，誘發洪水、山崩及土石流等，使森林的地景呈現明顯的破碎化(呂及何 2013；呂 2015；黃 2015)，棲地歷經災害干擾過後，勢必也會影響到鳥類的繁殖與物種豐富度(Matsui *et al.* 2006; Lee *et al.* 2008)。

藉由 SHDI 與 HR 的推估結果進行模糊運算，可將兩者之特性結合，呈現出生物多樣性熱點範圍，運算結果顯示，多數的熱點都有落在保護區內，尤其棲蘭、丹大及關山野生動物重要棲息環境等 3 處保護區，乃行政院農業委員會於 2000 年，因應「中央山脈保育廊道」策略所新增設，目的是為了填補由北至南無法串連的保護區缺口，為野生生物創造連續不斷的生物廊道，比對本研究結果，以上 3 個保護

區均有涵蓋大量的熱點範圍(圖 4)，確實對特有鳥種提供了相當程度的保護機制。

本研究進一步將特有鳥種的熱點強度分成 5 個級別，其中，屬次高以上的級別雖大多數有受到保護區庇護，惟更值得關注的是，少數落在保護區外的次高級熱點，如雪霸國家公園北面與玉山國家公園西面的邊緣地帶(圖 4)。近代的自然保護區策略強調境外多重緩衝區的影響(Mondal and Southworth 2010; Sieber *et al.* 2013)，因此，位於保護區邊緣的熱點，可沿保護區邊界向外劃設不同距離的緩衝區，並參考熱點強度制定保育策略的優先順序，若屬高強度的熱點，盡可能規劃就地保育計畫，避免棲地環境再次受到干擾；級別較低的熱點則可與周邊社區合作，進行有限度之賞鳥或環境教育活動。

## 結 論

本研究之目標是以物種分布資料為基礎，結合 SDM、PCA 與模糊邏輯等方法，建立推估台灣特有鳥類之生物多樣性熱點模式，研究成果可獲得以下重要結論：一、所建立的 SDM，以氣候變項所提供的貢獻度最高，可有效預測各物種的分布；二、全島特有鳥種多樣性較高處，分布於高海拔且有植被覆蓋之棲地，但此環境也潛藏天然災害威脅之風險；三、推估的生物多樣性熱點範圍，約有 70% 落在法定的保護區內，另熱點依強度大小分級後發現，有少數次高級別的熱點並未受到保護，因此，可優先規劃為棲地保育之重點區位。綜合以上結論，本研究所建立的空間推估模式，可有效推估特有鳥種之生物多樣性熱點，未來亦可應用於其他類群之生物，協助決策者制定正確的保育策略與方針。

## 引用文獻

- 方懷聖、林宗岐、楊耀隆、鄭錫奇、楊育昌。2010。陸域動物多樣性熱點評估之建議—台灣野生動物資料庫之應用。台灣生物多樣性研究 13: 51-68。
- 呂明倫、何健鎔。2013。烏石坑地區受天然災害引起之地景變遷分析。台灣生物多樣性研究 15: 275- 285。
- 呂明倫、謝漢欽。2013。鰲鼓海岸地區之生態環境脆弱度評估。作物、環境與生物資訊 10: 34-43。
- 呂明倫。2015。遙測應用於藤枝地區之森林干擾度偵測。台灣生物多樣性研究 17: 1-13。
- 林師模、陳苑欽。2003。多變量分析：管理上的應用。台北：雙葉書廊。
- 黃靜宜、林文和。2014。應用遙測技術評估玉山國家公園之植生退化潛勢。台灣生物多樣性研究 16: 379-391。
- 黃靜宜。2015。玉山國家公園地景變遷之時空分析。台灣生物多樣性研究 17: 191-204。
- 黃靜宜。2016。棲蘭野生動物重要棲息環境之脆弱度評估。台灣生物多樣性研究 18: 93-108。
- 謝正倫、黃敏郎、蔡在宗、張維恕。2010。運用福衛二號影像進行莫拉克颱風崩塌地判釋。中華防災學刊 2: 35-42。
- 蘇鴻傑。1992。台灣之植群：山地植群帶與地理氣候區。中央研究院植物研究所專刊 11: 39-53。
- Barbet-Massin, M. and W. Jetz. 2014. A 40-year, continent-wide, multi-species assessment of relevant climate predictors for species distribution modeling. *Diversity and Distributions* 20: 1285-1295.
- Brooks, T. M., R. A. Mittermeier, G. A. B. da Fonseca et al. 2006. Global biodiversity conservation priorities. *Science* 313: 58-60.
- Cañadas, E. M., G. Fenu, J. Peñas, J. Lorite, E. Mattana and G. Bacchetta. 2014. Hotspots within hotspots: Endemic plant richness, environmental drivers, and implications for conservation. *Biological Conservation*. 170: 282-291.
- Cheng, C. C. and Y. C. Lai. 2002. Biodiversity in Deciduous Hardwood and Conifer Plantations of the Upper Liukuei (Shanping) Area. *Taiwan Journal of Forest Science* 17: 155-170.
- Dunstan, P. K., N. J. Bax, S. D. Foster, A. Williams and F. Althaus. 2012. Identifying hotspots for biodiversity management using rank abundance distributions. *Diversity and Distributions* 18: 22-32.
- Elith, J., C. H. Graham, R. P. Anderson, M. Dudik, S. Ferrier, A. Guisan, et al. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129-151.
- Estrada, A., R. Real and J. M. Vargas. 2011. Assessing coincidence between priority conservation areas for vertebrate groups in a Mediterranean hotspot. *Biological Conservation* 144: 1120-1129.
- 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.
- Gessler, P. E., I. D. Moore, N. J. McKenzie and

- P. J. Ryan. 1995. Soil-landscape modeling and spatial prediction of soil attributes. *International Journal of Geographical Information Systems* 9: 421-432.
- Hijmans, R. J. and C. H. Graham. 2006. The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Global Change Biology*: 12: 2272-2281.
- Hijmans, R. J., S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones and A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology* 25: 1965-1978.
- Huang, J., B. Chen, C. Liu, J. Lai, J. Zhang and K. Ma. 2012. Identifying hotspots of endemic woody seed plant diversity in China. *Diversity and Distributions* 18: 673-688.
- Jenks, G. 1967. The data model concept in statistical mapping. *International Yearbook of Cartography* 7: 186-190.
- Ko C. Y., R. S. Lin and P. F. Lee. 2010. Macrohabitat characteristics and distribution hotspots of endemic bird species in Taiwan. *Taiwania* 55: 216-227.
- Ko, C. Y., S. C. Murphy, T. L. Root and P. F. Lee. 2014. An assessment of the efficiency of protection status through determinations of biodiversity hotspots based on endemic bird species, Taiwan. *Journal for Nature Conservation* 22: 570-576.
- Kraft, N. J. B., B. G. Baldwin and D. D. Ackerly. 2010. Range size, taxon age and hotspots of neoendemism in the California flora. *Diversity and Distributions* 16: 403-413.
- Kumar, S. and T. J. Stohlgren 2009. Maxent modelling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia. *Journal of Ecology and Natural Environment* 1: 94-98.
- Lee, Y. F., Y. M. Kuo, Y. H. Lin, W. C. Chu, S. H. Wu, H. H. Wang and J. T. Chao. 2008. Spatiotemporal variation in avian diversity and the short-term effects of typhoons in tropical reef-karst forests on Taiwan. *Zoological Science* 25: 593-603.
- Matsui, S., M. Hisaka and M. Takagi. 2006. Direct impact of typhoons on the breeding activity of Bullheaded Shrike *Lanius bucephalus* on Minami-Daito Island. *Ornithological Science* 5: 227-229.
- McCune, B. and D. Keon. 2002. Equations for potential annual direct incident radiation and heat load index. *Journal of Vegetation Science* 13: 603-606.
- Mondal, P. and J. Southworth, 2010. Protection vs. commercial management: Spatial and temporal analysis of land cover changes in the tropical forests of Central India. *Forest Ecology and Management* 259: 1009-1017.
- Myers, N. 1988. Threatened biotas: "hotspots" in tropical forests. *The Environmentalist* 8: 187-208.
- Myers, N. 1990. The biodiversity challenge. *The Environmentalist* 10: 243-256.
- Myers, N., R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. B. da Fonseca and J. Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation

priorities. *Nature* 403: 853-858.

Pearce, J. and S. Ferrier. 2000. Evaluating the predictive performance of habitat models developed using logistic regression. *Ecological Modelling* 133: 225-245.

Phillips, S. J., R. P. Anderson and R. E. Schapire 2006. Maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.

Sanchez-Cuervo, A. M. and T. M. Aide. 2013. Identifying hotspots of deforestation and reforestation in Colombia (2001-2010): implications for protected areas. *Ecosphere* 4:

Shannon, C. E. and W. Weaver 1948. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal* 27: 379-423.

Shao, H., M. Liu, Q. Shao, X. Sun, J. Wu, Z. Xiang and W. Yang. 2014. Research on eco-environmental vulnerability evaluation of the Anning River Basin in the upper reaches of the Yangtze River. *Environmental Earth Sciences* 72: 1555-1568.

Sieber, A., T. Kuemmerle, A. V. Prishchepov, K. J. Wendland, M. Baumann, V. C. Radeloff, L. M. Baskin and P. Hostert. 2013. Landsat-based mapping of post-Soviet land-use change to assess the effectiveness of the Oksky and Mordovsky protected areas in European Russia. *Remote Sensing of Environment* 133: 38-51.

Zadeh, L. 1965. Fuzzy sets. *IEEE Information and Control* 8: 338-356.

