

應用 GIS 技術於野生動物物種多樣性空間 分布型態之研究

林金樹¹

摘要

森林保護與資源保育為當代森林生態系經營的主要目標，建立適當且合理使用森林資源的林地分區體系更是達成森林資源永續經營的重要基礎。野生動物資源的分佈是規劃資源保育區時必須考量的重要因子之一，由於複雜的森林環境之限制，調查者很難掌握存在於森林內的野生動物每一物種的個體數量，也難以利用 Shannon 與 Simpson 等多樣性指標分析野生動物的生物多樣性及其在空間上之分佈。本研究利用物種多樣性(species diversity)為生物多樣性指標的量化基礎，並發展出 EPD 與 EPH 指標表現物種多樣性，以空間統計方法繪製生物多樣性的空間分佈圖，探討嘉義地區兩棲類、爬蟲類、鳥類以及哺乳類等脊椎類野生動物物種多樣性的空間分布型態，研究結果可供比較林區生物多樣性的空間特徵，並作為林地分級規劃林地使用分區之參考。研究結果顯示，EPH 指標與物種多樣性的意義是一致的。

關鍵詞：物種多樣性、多樣性製圖、脊椎動物、空間統計法、地理資訊系統

1. 前言

1.1 生物多樣性的意義與地位

在基因、細胞、個體、種、族群以及生態系等不同層度的生物系統中，不同的或不相似的特性個體所存在的歧異程度謂之生物歧異度((biological diversity or biodiversity)，也稱為生物多樣性；不同的生物種、族群及生態系使地球的資源豐富及多樣性，任何生物均是食物鏈上的一個重要資源，也控制著整個食物鏈及食物網的平衡關係(周昌弘，1995)。廖啓政與周昌弘(2001)在生物多樣性對於生態系統功能的影響一文指出，雖然不同的生物多樣

性理論，例如多樣性-穩定性假說(diversity-stability hypothesis)、卯釘假說(rivet hypothesis)以及冗餘種假說(redundancy hypothesis)等，在物種對於生態系統功能的影響力之假說中有些許的差異，但這些理論也共同指出生態系的穩定性與生物多樣性具有直接的關係，生物多樣性高的生態系具有較高的生產力(Naeem and Li, 1997)，物種豐富度越高的生態系抵抗干擾之能力越高(Tilman and Downing, 1994)；所以生物多樣性是維繫人類生存的最佳保障，如果生物棲地被破壞造成生物資源的耗竭，生物多樣性消失，將會導致生態失衡及人類生存的危機(周昌弘，1995)。

¹ 國立嘉義大學森林學系及林業暨自然資源研究所副教授



1.2 森林生物多樣性的空間資訊對森林生態系經營的影響

1992 年地球高峰會議確認森林生態系經營應以加強森林保護，永續經營以及保育為重要準則 (United Nations, 1992)，Wood (1994) 與 Thomas and Huke (1996) 認為生態系經營是生態、經濟及社會原則之整合體，應以維護生態永續力、自然多樣性及地景生產力的方式經營之。廣大森林孕育了豐富的生物資源，也是野生動物生息的重要棲地，因此要永續的經營森林生態系豐富資源，必須對森林施予妥善的規劃，以利分區經營並發揮森林提供木材生產，涵養水源、野生動物棲地、森林遊樂、環境生態教育、國土保安、以及維護生物多樣性等多目標利用的功能。

林務局希望將森林規劃為國土保安區、生態保育區、遊憩教育區以及林木生產區等以推動森林生態系經營，Margules and Pressey (2000) 也提出選取劃設保護區時應以物種分布圖為基本依據，因此建立野生動物資源的空間資訊將有助於林地分區之規劃與經營。

森林環境與不同類別動物之不同生態特性等之限制，使野生動物資源調查者很難掌握到各類動物之物種數以及個體數量等共同的基本資訊，例如，動物學家可以很容易的在固定樣區中具體地收集到各種昆蟲或小型哺乳類的物種以及數量資料 (何健鎔、等，1998；楊吉宗、等，1998；林良恭，2000；黃耀通、等，2000；蔡尚惠、等，2000)，但是在鳥類、爬蟲類、哺乳類以及兩棲類等野生動物的調查中，也常以動物的鳴叫聲、排遺、足跡等之次數判定物種種類以及個體隻次 (顏重威，1997；楊吉宗、等 1998，杜銘章 2000)，甚至有些調查仍然無法取得某些種類動物個體數量的資料

(林耀松、等，1996，楊吉宗、等，1999)，因此要利用 Shannon's 多樣性以及 Simpson's 多樣性等數學模式以建立各類動物的生物多樣性之數量型態指標的空間資訊 (quantitatively spatial information) 是有困難的，也就無法提供適當的空間資訊作為劃設生態保育區之依據。

1.3 研究目的

為配合林地分級研究工作對生物多樣性的空間資訊之需要，本研究利用各類可資應用的野生動物調查資料為材料，利用物種多樣性的觀念，分析嘉義地區野生動物調查樣區的物種豐富度，並利用區域性同類野生動物的所有物種為基礎，建立該區域內之物種出現率生物多樣性指標，探討該多樣性指標與物種豐富度的關係。本研究並利用 Kriging 空間內插法建立區域內生物多樣性的空間分布圖，探討野生動物物種豐富度的空間分布特徵，成果也可供林業與資源保育界的相關研究之參考。

2. 以物種個體數量為基礎的多樣性指標

生物多樣性泛指生物社會中生物的種類、數量以及分佈型態等資訊異質度 (heterogeneity) 的綜合性指標，它包含了生物相 (biota) 以及生物相基因庫所儲存的基因歧異度等特性。因此，生態學家研究某地區的生物相組成時，最常以物種為單位，調查研究區域內的物種以及各物種出現的數量，並以豐富度 (richness) 以及均勻度 (evenness) 等指標表示區域的生物特性。最常用的多樣性指標為 Shannon and Wiener diversity 以及 Simpson's diversity 等兩種。



2.1 Shannon and Wiener diversity

Shannon and Wiener 多樣性指標(H')也稱為 Shannon's 多樣性指標(1 式),它是依據物種數量(S)以及第 i 物種之個體數量(n_i)佔全部樣本或物種個體總數 $N = \sum_{i=1}^S n_i$ 的比率(p_i)等資訊以度量調查所得的樣本資訊量的方法;樣本資訊量是不確定性的一種度量值, H' 愈大,不確定性愈大,亦即預測下次逢機取樣調查得到的生物是屬於哪一物種之不正確性的機率愈大,當研究區內的物種數量很多的時候,這種預測不確定性自然會增加。所以 Shannon's diversity 屬於第 I 型異質度指標(Type I heterogeneity measure),它對稀有物種的變化很敏感,而不容易受到生物社會中的優勢種或分佈非常普遍的物種之影響(Peet, 1974)。理論上 H' 之最大值為物種數的對數值,亦即 $\max H' = \log(S)$,當生物個體總數遠大於物種數時, H' 之最小值為 $\log[N/(N-S)] \approx 0$ (Fager, 1972; Krebs, 1989)。

$$H' = -\sum_{i=1}^S (p_i)(\log_2 p_i) \quad (1)$$

$$p_i = \frac{n_i}{N} \quad (2)$$

2.2 Simpson's diversity

Simpson's 多樣性指標(3 式)是屬於第二型異質度指標(Type II heterogeneity measure),容易受到生物社會中的優勢種或分佈非常普遍的物種之影響,對稀有物種的變化並不敏感(Peet, 1974)。(3) 式中 p_i 為第 i 物種個體佔整個生物社會所有個體之比率,可用第 i 物種個體數 n_i 除以全部物種數 S

之個體總數 $N = \sum_{i=1}^S n_i$ 求得; $D = \sum_{i=1}^S p_i^2$ 稱為

Simpson's index, 它代表隨機抽取兩個生物個體時該兩個個體均屬於相同物種之機率,而 $1-D$ 即代表隨機抽取兩個生物個體時該兩個個體分屬於不

同物種之機率,指標值域為 $0 \sim 1-1/S$ 。理論上, Simpson's 多樣性指標(Simpson's index of diversity, $1-D$)愈高,代表生物社會的生物多樣性愈高(Simpson, 1949; Krebs, 1989)。

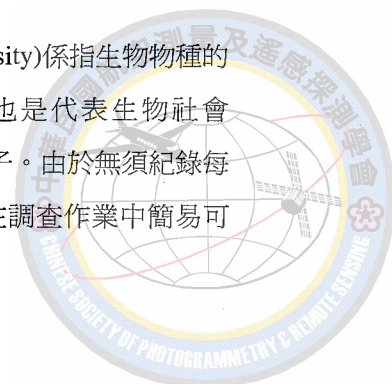
$$1-D = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2 \quad (3)$$

2.3 應用以物種個體數量為基礎的多樣性指標之限制

在生物資源調查中,由於調查時間、經費與人力之種種限制下,對某些種類的野生動物,調查人員並無法取得物種個體數量的調查資料,特別是物種個體數量隨著樣區大小以及調查時間強度等之影響,因此近年來的生物多樣性研究多以物種數目(species number)或豐富度(richness)的概念為主(Wittaker, 1972; Magurran, 1988; Su, 1994; 蘇鴻傑, 1999; 吳海音, 2001)。從選定劃設保護區的觀點,要同時處理物種數目與各物種的相對豐度兩個概念是有困難的(吳海音, 2001);所有在這種限制下,為了方便比較分析不同類別野生動物之間的資源差異特性,以及表現生物多樣性的空間分布特徵,依據生物社會中各物種個體數量以評估生物社會生物多樣性的傳統方法,實有必要作適度的修正,以符合無法取得生物個體數量的調查資料之分析與成果之展現。

3. 以物種數目為基礎的多樣性指標

物種多樣性(species diversity)係指生物物種的數目(species number),也是代表生物社會(community)異質度的重要因子。由於無須紀錄每一物種的個體數量(豐量),在調查作業中簡易可



行，故已成為近年來生態學家應用最廣泛的一種指標(Waring and Running, 1998)。

生物調查時常以某一局部均質的棲地環境或稱社會(community)為調查樣區，在該樣區內所呈現的物種數量稱為社會多樣性(community diversity)或稱 α 多樣性(α diversity) (Whittaker, 1972; Su, 1994; 蘇鴻傑, 1999)，在同一社會中若有多个樣點(sample point)時，則由該等樣點所求得的單位面積平均物種數量也稱為 α 多樣性(Barnes et al. 1998)，一般所稱的物種豐富度也是指 α 多樣性。依據 Waring and Running (1998)表示，由 Valencia et al. (1994)的研究報告顯示目前已知據最高 α 多樣性指標的地方是在厄瓜多爾，其單位面積的樹種數目有 473 種。

當把空間尺度擴大到整個區域性的範圍時，整個區域內包含許多不同的社會，則在區域內所出現的物種數目就稱為 γ 多樣性(γ diversity) (Whittaker, 1972)，亦即全部的調查樣區內所出現的物種數目，也稱為區域多樣性(regional diversity) (Su, 1994; 蘇鴻傑, 1999)，例如台灣高等維管束植物的區域多樣性為 3577 種(蘇鴻傑, 1999)。 γ 多樣性也代表大尺度的整個地景或生態系空間上的物種數量 (Sepkoski, 1988; Szaro and Johnston 1996)。據瞭解在北半球溫帶林 420 百萬公頃土地中只有 1166 種的樹種，顯示出溫帶林的 γ 多樣性指標較低(Latham and Ricklefs, 1993; Waring and Running, 1998)。當比較不同尺度的物種多樣性差異時，生態學家一般均以 β 多樣性(β diversity)表示樣區與樣區之間或社會與社會之間的 α 多樣性差異；以 δ 多樣性(δ diversity)表示兩個不同區域物種數量的差異(differentiation between regions)或 γ 多樣性之差異(Sepkoski, 1988; Su, 1994; Szaro and Johnston 1996; 蘇鴻傑, 1999)。

4. 以物種出現率為基礎的 多樣性指標

4.1 物種出現率之生物意義

由於整個生態系的局部地區環境特性會隨空間產生變異，也因此會造成物種分佈之空間差異性，這是生物與環境相互作用或自然演替的結果，而在生物資源調查作業中，所發現的物種以不等機率的情況出現於不同樣區之間，即是空間變異對生物分佈影響之證明，這也是在整個調查區域內，代表局部地區或棲地或社會的不同樣區具有不同的 α 多樣性的原因。但是若以整個調查區域的物種數目為限，則一個物種在區域內的發生機率就可視為 γ 多樣性指標的倒數($1/\gamma$)，本研究特稱之為物種出現率(species existence probability, 簡稱 EP)，在整個區域內所有物種發生的機率合計等於 1。

4.2 EP modified Simpson's diversity

若在第 i 個樣區內的物種數量為 S_i ，全部樣區的物種總數量為 γ ， $0 \leq S_i \leq \gamma$ ，理論上各個物種的出現機率為 $1/\gamma$ ，但實際上因為局部生育地環境之差異，物種可能存在或不存在於某特定樣區中，所以實際的第 i 樣區第 j 物種的出現機率 EP_j 等於 0 或 $1/\gamma$ (公式 4)，再利用公式(5)就可求得第 i 樣區所有物種 S_i 中第 j 物種的個體相對豐量 REP_j ，即可求得隨機取樣所得的不同樣本屬於相同物種的機率 D_{EP} 以及隨機樣本屬於不同物種之機率 $1 - D_{EP}$ (公式 6)。此種利用物種出現率觀念，導出樣區物種個體豐量，所產生的原始 Simpson's 多樣性指標的修正式稱為物種出現率的多樣性指



標 (EP modified Simpson's diversity)，稱為 Simpson's EP diversity，記為 EPD 。

EPD 的值域分佈介於 0 至 $1-1/\gamma$ 之間， EPD 傳承原始的 Simpson's 多樣性指標特性，所以 D_{EP} 愈小， $1-D_{EP}$ 愈大， EPD 指標值愈大，生物多樣性愈高。

$$EP_j = \frac{O_j}{\gamma} \quad O_j = \begin{cases} 1, & \text{if species } j \text{ exists} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

(4)

$$REP_j = \frac{EP_j}{\sum_{j=1}^{S_i} EP_j} \quad (5)$$

$$EPD = 1 - D_{EP} = 1 - \sum_{j=1}^{S_i} REP_j^2 \quad (6)$$

4.3 EP modified Shannon's diversity

利用物種出現率所定義的多樣性指標 (EP modified Shannon's diversity)，稱為 Shannon's EP diversity，記為 EPH 。利用公式(4)求取第 i 樣區第 j 物種的出現機率 EP_j ，再利用公式(5)求得出現於第 i 樣區 S_i 個物種中第 j 物種的個體相對豐量 REP_j ，以其取代 Shannon's diversity 公式結構中的物種個體數佔全部物種個體總數之比率值(2式)，將 REP_j 代入公式(7)即可求得各樣區的 EPH 指標值。

$$EPH = -\sum_{j=1}^{S_i} (REP_j)(\log_2 REP_j) \quad (7)$$

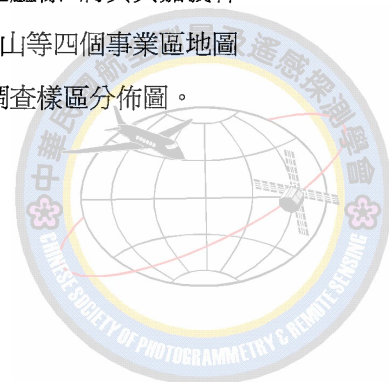
依據物種在樣區出現的機率，所求得的 Shannon's diversity 稱為物種出現率資訊的不確定性，其所代表的意義即為重複取樣時，準確預測取

得樣本所屬的物種之不確定性，如果樣區內出現的物種數愈多，則預測得的不確定性會愈高，所以 EPH 會愈大。如果一個樣區內只有一種物種出現，則預測該樣區可能出現的物種將會非常地準確，預測結果的不確定性不會存在，所以 EPH 等於 0。不確定性並沒有最高值，它會隨樣區內的物種數而增大；若以出現於整個調查範圍內全部樣區的所有物種總數為 γ ，則理論上 EPH 的最高值為 $\max EPH = \log_2 \gamma$ 。

5. 嘉義地區物種多樣性與空間型態實例分析

5.1 試驗材料概述

本研究所採用的動物調查資料為農委會特有生物研究保育中心之前身台灣省特有生物研究保育中心(1998)所發表的八十七年度試驗研究計畫執行成果內的書面紀錄資料，該計畫係由特生中心動物組負責執行，研究調查人員包括楊吉宗、許富雄、張簡琳玟、陳元龍、姚正得、洪典戊、朱賢斌、林春富、蔡昕皓以及賴肅如等，執行期間自 1997 年 7 月起至 1998 年 6 月止，調查區域為嘉義縣市地區，雖然計畫調查對象包含魚類、兩棲類、爬蟲類、鳥類、哺乳類以及蝴蝶等，但由於缺乏調查樣區的基礎資料，所以本報告僅針對可資確認的兩棲類、爬蟲類、鳥類以及哺乳類等脊椎動物的調查資料，進行資料分析。圖 1 所示為本報告依據特生中心調查報告書所記的調查樣區座標，將其與嘉義林區玉井、大埔、阿里山以及玉山等四個事業區地圖套疊展示的研究區野生動物調查樣區分佈圖。



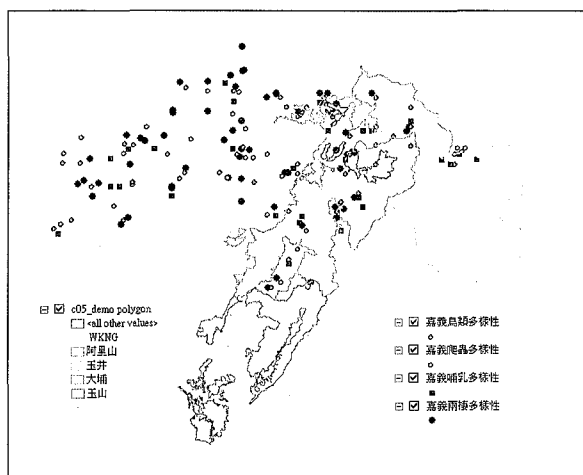


圖 1. 研究區野生動物調查樣區分佈圖

5.2 各類脊椎動物調查樣區的多樣性指標與物種密度之比較

5.2.1 各類脊椎動物調查樣區的物種多樣性

嘉義地區兩棲類、爬蟲類、鳥類以及哺乳類等四種脊椎動物各調查樣區的 EPD、EPH 以及 α 多樣性指標詳列於表 1 至表 4。在兩棲類動物 63 個調查樣區中(表 1)，全部出現的物種數量或 γ 多樣性指標值為 22，其中出現於單一樣區的最高物種數目或 α 多樣性指標值為 11，EPD 與 EPH 指標值則各為 0.909 與 3.459；主要出現於大埔鄉曾文水庫後門、以及水上鄉建德寺下莊尾兩個樣區，其次為大埔鄉的嘉義農場、嘉義市東區蘭潭水庫以及阿里山鄉達娜依谷等三個樣區，其 α 多樣性指標值為 10； α 多樣性指標最低值是 1，包括水上鄉大堀尾柳林村、鹿草鄉下麻村頂半天、民雄鄉虎頭垵埤等平地鄉鎮三個樣區以及番路鄉梅藍山莊、梅山鄉台 162 甲 40k、阿里山鄉姊妹潭與沼平公園等山區鄉鎮的 4 個樣區， α 多樣性指標平均值為 4.476，有四分之一的樣區只發現有 2 種兩棲類動物，發現有 6 種以上的兩棲類動物也只有四分之一

的樣區數目。EPD 多樣性指標值則介於 0 ~ 0.909，EPD 指標的 25%、50%、75% 等百分位數各為 0.500、0.652、0.833；EPH 指標值介於 0 ~ 3.459，其 25%、50%、75% 等百分位指標值則各為 1.000、1.866、2.585 (詳表 5)。

爬蟲類野生動物的調查樣區有 29 個調查樣區(表 2)，其 γ 多樣性指標值為 53，單一樣區 α 多樣性指標最高值為 35，亦即約有 66% 的爬蟲類動物出現在阿里山鄉的楠溪林道，EPD 與 EPH 指標各為 0.971 與 5.129； α 多樣性指標大於 30 的其他樣區有阿里山鄉的達娜依谷樣區以及中埔鄉的凍子腳與灣潭樣區， α 多樣性指標大於 20 的樣區則有梅山鄉大峽谷 2 樣區、番路鄉的仁義潭樣區、大埔鄉嘉義農場以及竹崎鄉的賴厝樣區，有六腳鄉雙涵社區等七個樣區的只有 1 種爬蟲類物種出現，約有半數樣區的 α 多樣性低於 α 平均值 11.759(表 5)。爬蟲類 EPD 多樣性指標值則介於 0 ~ 0.971，EPD 指標的 25%、50%、75% 等百分位數各為 0.500、0.646、0.923；EPH 指標值介於 0 ~ 5.129，其 25%、50%、75% 等百分位指標值則各為 1.000、2.573、4.322(表 5)。

在嘉義地區調查密度最高的脊椎類野生動物就是鳥類，全區共有 76 個調查樣區(表 3)，其 γ 多樣性指標值為 210，單一樣區 α 多樣性指標最高值為 93，出現於東石鄉海埔墾殖場，其 EPD 與 EPH 兩種指標值各為 0.989 與 6.539； α 指標第二高值 60 出現在布袋鎮的好美寮樣區，二者相差 30 以上；鳥類 α 多樣性的 25%、50% 以及 75% 百分位 α 多樣性指標值各為 27.750、35.568 以及 42.250，除了東石與布袋等濱海鄉鎮有較高多樣性，在大埔鄉、中埔鄉以及阿里山鄉等山區鄉鎮也有部分樣區具有較高的多樣性(表 5)。鳥類 EPD 與 EPH 多樣性指標值的 25%、50%、75% 等百分位數各為 0.965、0.967、0.976 與 4.727、4.954、5.401(表 5)。

哺乳類 32 個樣區中(表 4),其 γ 多樣性指標值為 46,就單一樣區 α 多樣性比較時,以大埔鄉的曾文水庫樣區的所出現的物種數目最高,其 α 多樣性、EPD 以及 EPH 的指標值各為 27、0.963 與 4.755,約有 59%的哺乳類動物出現在曾文水庫地區;哺乳類野生動物多樣性次高的樣區是阿里山鄉的鹿林山保護區樣區, α 多樣性指標為 22,在阿里山鄉的玉山其他樣區內所出現的哺乳類動物、達娜依谷、里佳、阿里山地區、排雲登山步道以及楠溪林道等樣區的多樣性均大於 75%百分位數的 10.750,50%以及 25%百分位的哺乳類 α 多樣性各為 7.125 及 2.000,EPD 與 EPH 多樣性指標值的 25%、50%、75%等百分位數則各為 0.500、0.663、0.906 與 1.000、2.187、3.417(表 5)。

5.2.2 兩棲類、爬蟲類、鳥類及哺乳

類野生動物物種密度之比較

Barnes et al. (1998)利用平均單位面積的物種數目來表現物種 α 多樣性,蘇鴻傑(1994)也利用物種密度比較亞洲地區不同國家的物種多樣性;因此,本研究以嘉義地區面積為基準,以全區的物種數目(γ 多樣性)相對於每平方公里的單位面積物

種密度(species density in an unit area, SDA), $SDA = \bar{\gamma}_{area} = \gamma / Area$;並以全區的調查樣區數目(N_{plots})為單位,以全區的物種數目(γ 多樣性)相對於該單位樣區的物種密度(species density per plot, SDP), $SDP = \bar{\gamma}_{plot} = \gamma / N_{plots}$,來比較四種脊椎類野生動物的物種多樣性的相對大小。圖 2 顯示,嘉義地區兩棲類、爬蟲類、鳥類以及哺乳類等四種野生動物中,以鳥類資源最豐富,每一調查樣區平均的物種密度 SDP 為 2.7632,其次為爬蟲類 1.8276、哺乳類 1.4375,物種密度最低者為兩棲類的 0.3492,鳥類的樣區平均物種密度約為兩棲類的 7.9 倍;若以 SDA 比較,則鳥類、爬蟲類、哺乳類以及兩棲類之單位面積物種密度各為 0.1046、0.0264、0.0229 以及 0.0110,鳥類的物種密度為兩棲類的 9.5 倍。

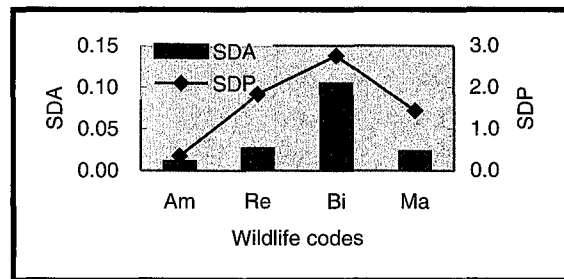
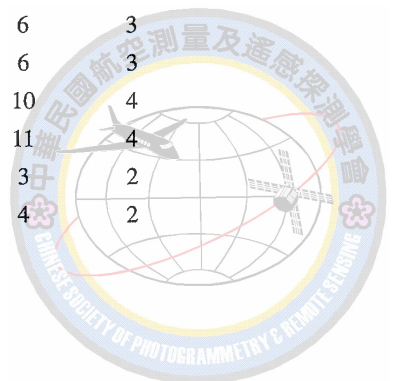


圖 2 嘉義地區兩棲(Am)、爬蟲(Re)、鳥類(Bi)、哺乳類(Ma)物種密度之比較

表 1 嘉義地區脊椎動物調查樣區之兩棲類生物多樣性

樣區名稱	樣區分類碼	鄉鎮名稱	EPD	EPD R ¹⁾	EPH	EPH R ¹⁾	α	α R ¹⁾
潭底	A54	大林鎮	0.500	2	1.000	2	2	2
頭家庄	A57	大林鎮	0.750	3	2.000	3	4	2
內林	A11	大林鎮	0.800	3	2.322	3	5	3
溝背	A45	大林鎮	0.857	4	2.807	4	7	4
往坪林 147 線	A25	大埔鄉	0.800	3	2.322	3	5	3
162 甲 1k	A1	大埔鄉	0.833	3	2.585	3	6	3
草山至公田路	A35	大埔鄉	0.833	3	2.585	3	6	3
嘉義農場	A50	大埔鄉	0.900	4	3.322	4	10	4
曾文水庫後門	A42	大埔鄉	0.909	4	3.459	4	11	4
中埔隧道 308k	A9	中埔鄉	0.667	3	1.585	2	3	2
灣潭	A62	中埔鄉	0.750	3	2.000	3	4	2

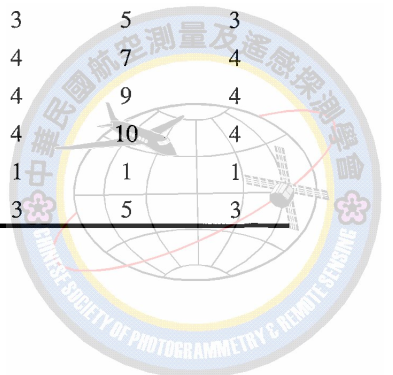


內埔	A12	中埔鄉	0.800	3	2.322	3	5	3
灣潭村青山橋	A63	中埔鄉	0.833	3	2.585	3	6	3
蒜頭	A51	六腳鄉	0.500	2	1.000	2	2	2
正義社區	A15	六腳鄉	0.667	3	1.585	2	3	2
灣內大橋	A61	六腳鄉	0.750	3	2.000	3	4	2
瓦厝	A16	太保市	0.500	2	1.000	2	2	2
大堀尾柳林村	A7	水上鄉	0	1	0	1	1	1
建德寺下莊尾	A33	水上鄉	0.909	4	3.459	4	11	4
考試里考潭	A20	布袋鎮	0.500	2	1.000	2	2	2
過溝	A48	布袋鎮	0.500	2	1.000	2	2	2
樹林里	A56	布袋鎮	0.500	2	1.000	2	2	2
虎頭坎埤	A29	民雄鄉	0	1	0	1	1	1
協志工商	A23	民雄鄉	0.667	3	1.585	2	3	2
內埔仔水庫	A13	民雄鄉	0.750	3	2.000	3	4	2
覆鼎金	A58	民雄鄉	0.800	3	2.322	3	5	3
東興社區	A26	民雄鄉	0.833	3	2.585	3	6	3
頂碑仔	A38	民雄鄉	0.875	4	3.000	4	8	4
松山村松子腳	A27	民雄鄉	0.889	4	3.170	4	9	4
167 線 5k	A3	朴子市	0.667	3	1.585	2	3	2
光華村	A19	竹崎鄉	0.800	3	2.322	3	5	3
義仁村半天寮	A46	竹崎鄉	0.889	4	3.170	4	9	4
過溝國中	A49	東石鄉	0.500	2	1.000	2	2	2
圍潭村	A41	東石鄉	0.667	3	1.585	2	3	2
頂庄(台林街)	A37	東區	0.750	3	2.000	3	4	2
仁義潭水庫	A10	東區	0.800	3	2.322	3	5	3
姜母寮 159 甲	A32	東區	0.857	4	2.807	4	7	4
蘭潭水庫	A60	東區	0.900	4	3.322	4	10	4
姊妹潭	A24	阿里山鄉	0	1	0	1	1	1
沼平公園	A28	阿里山鄉	0	1	0	1	1	1
里佳國小	A22	阿里山鄉	0.500	2	1.000	2	2	2
石桌	A18	阿里山鄉	0.667	3	1.585	2	3	2

¹⁾EPD_R, EPH_R, α _R 欄值 1、2、3、4 各代表 EPD, EPH, α 三種指標的 0-25%、25-50%、50-75%、75-100% 的百分位數。

表 1 嘉義地區脊椎動物調查樣區之兩棲類生物多樣性(續)

樣區名稱	樣區分類碼	鄉鎮名稱	EPD	EPD R ¹⁾	EPH	EPH R ¹⁾	α	α R ¹⁾
阿里山森林遊	A30	阿里山鄉	0.667	3	1.585	2	3	2
鹿林山針闊葉	A39	阿里山鄉	0.667	3	1.585	2	3	2
樂野	A52	阿里山鄉	0.750	3	2.000	3	4	2
奮起湖	A55	阿里山鄉	0.800	3	2.322	3	5	3
豐山	A59	阿里山鄉	0.800	3	2.322	3	5	3
新美產業道路	A44	阿里山鄉	0.857	4	2.807	4	7	4
山美國小往嘉	A8	阿里山鄉	0.889	4	3.170	4	9	4
達娜依谷	A47	阿里山鄉	0.900	4	3.322	4	10	4
162 甲 40k	A2	梅山鄉	0	1	0	1	1	1
大峽谷_1	A5	梅山鄉	0.800	3	2.322	3	5	3



半天社區	A14	梅山鄉	0.800	3	2.322	3	5	3
大峽谷_2	A6	梅山鄉	0.875	4	3.000	4	8	4
下麻村頂半天	A4	鹿草鄉	0	1	0	1	1	1
麻豆店	A40	鹿草鄉	0.500	2	1.000	2	2	2
田尾	A17	鹿草鄉	0.667	3	1.585	2	3	2
梅蘭山莊	A36	番路鄉	0	1	0	1	1	1
菜公村咬仔竹	A43	新港鄉	0.500	2	1.000	2	2	2
潭大社區	A53	新港鄉	0.500	2	1.000	2	2	2
柴林腳	A34	溪口鄉	0.750	3	2.000	3	4	2
阿連庄	A31	溪口鄉	0.800	3	2.322	3	5	3
角帶圍	A21	義竹鄉	0.667	3	1.585	2	3	2

¹⁾EPD_R, EPH_R, α _R 欄值 1、2、3、4 各代表 EPD, EPH, α 三種指標的 0-25%、25-50%、50-75%、75-100% 的百分位數。

表 2 嘉義地區脊椎動物調查樣區之爬蟲類生物多樣性

樣區名稱	樣區分類碼	鄉鎮名稱	EPD	EPD_R ¹⁾	EPH	EPH_R ¹⁾	α	α _R ¹⁾
麻園橋	R14	大林鎮	0.800	3	2.322	2	5	2
上林	R2	大林鎮	0.833	3	2.585	3	6	2
嘉義農場	R21	大埔鄉	0.960	4	4.644	4	25	4
凍子腳	R13	中埔鄉	0.970	4	5.044	4	33	4
灣潭	R29	中埔鄉	0.970	4	5.044	4	33	4
雙涵社區	R24	六腳鄉	0	1	0	1	1	1
農村文物	R18	太保市	0	1	0	1	1	1
三界埔	R1	水上鄉	0	1	0	1	1	1
好美寮	R7	布袋鎮	0	1	0	1	1	1
客人庄	R12	布袋鎮	0.668	3	1.585	2	3	2
蘭潭崇仁護校	R26	民雄鄉	0.875	3	3	3	8	2
覆鼎金	R23	民雄鄉	0.909	3	3.459	3	11	2
松子腳	R10	民雄鄉	0.917	3	3.585	3	12	3
內埔子	R5	民雄鄉	0.923	3	3.7	3	13	3
朴子公園	R8	朴子市	0.500	2	1	2	2	2
賴厝	R22	竹崎鄉	0.950	4	4.322	3	20	3
驚鼓	R28	東石鄉	0.667	3	1.585	2	3	2
蘭潭農專南面	R27	東區	0.875	3	3	3	8	2
塔塔加	R15	阿里山鄉	0.750	3	2	2	4	2
玉山	R6	阿里山鄉	0.800	3	2.322	2	5	2
達那依谷	R19	阿里山鄉	0.971	3	5.087	4	34	4
楠溪林道	R16	阿里山鄉	0.971	3	5.129	4	35	4
大峽谷_2	R3	梅山鄉	0.966	4	4.858	4	29	4
農改場豬	R17	鹿草鄉	0	1	0	1	1	1
觸口	R25	番路鄉	0.947	4	4.248	3	19	3
仁義潭	R4	番路鄉	0.957	4	4.524	4	23	4
過港	R20	新港鄉	0	1	0	1	1	1
阿蓮庄	R11	溪口鄉	0.667	3	1.585	2	3	2
岸內糖廠	R9	義竹鄉	0	1	0	1	1	1

¹⁾同表 1

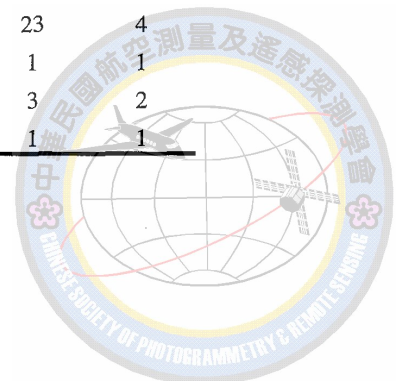


表 3 嘉義地區脊椎動物調查樣區之鳥類生物多樣性

樣區名稱	樣區分類碼	鄉鎮名稱	EPD	EPD_R ¹⁾	EPH	EPH_R ¹⁾	α	α_R ¹⁾
嘉義農場	B37	大埔鄉	0.972	3	5.170	3	36	3
大埔	B2	大埔鄉	0.974	3	5.285	3	39	3
沙崙橋	B15	大埔鄉	0.975	3	5.322	3	40	3
掬月半島	B28	大埔鄉	0.977	4	5.426	4	43	4
分水嶺	B6	中埔鄉	0.981	4	5.755	4	54	4
中埔橋	B5	中埔鄉	0.982	4	5.781	4	55	4
蒜頭橋	B38	六腳鄉	0.957	1	4.524	1	23	1
老埤	B13	太保市	0.950	1	4.322	1	20	1
大掘尾	B3	水上鄉	0.944	1	4.170	1	18	1
外溪洲	B9	水上鄉	0.966	2	4.858	2	29	2
布袋鹽田	B10	布袋鎮	0.981	4	5.700	4	52	4
好美寮	B12	布袋鎮	0.983	4	5.907	4	60	4
中正大學	B4	民雄鄉	0.964	2	4.807	2	28	2
雙溪口	B41	朴子市	0.964	2	4.807	2	28	2
科底	B22	竹崎鄉	0.970	3	5.044	3	33	2
石卓	B11	竹崎鄉	0.976	3	5.392	3	42	3
奮起湖	B39	竹崎鄉	0.978	4	5.492	4	45	4
鹽港	B44	東石鄉	0.974	3	5.285	3	39	3
東石橋	B19	東石鄉	0.981	4	5.700	4	52	4
海埔墾殖場	B23	東石鄉	0.989	4	6.539	4	93	4
蘭潭水庫	B42	東區	0.966	2	4.858	2	29	2
來吉	B18	阿里山鄉	0.938	1	4.000	1	16	1
眠月	B24	阿里山鄉	0.941	1	4.087	1	17	1
豐山	B40	阿里山鄉	0.941	1	4.087	1	17	1
達邦	B35	阿里山鄉	0.944	1	4.170	1	18	1
里佳	B17	阿里山鄉	0.952	1	4.392	1	21	1
茶山	B26	阿里山鄉	0.963	1	4.755	2	27	1
十字路	B1	阿里山鄉	0.964	2	4.807	2	28	2
塔塔加	B31	阿里山鄉	0.964	2	4.807	2	28	2
楠溪林道	B32	阿里山鄉	0.966	2	4.858	2	29	2
祝山	B25	阿里山鄉	0.976	3	5.358	3	41	3
沼平公園	B20	阿里山鄉	0.977	4	5.426	4	43	4
自忠	B14	阿里山鄉	0.979	4	5.585	4	48	4
達娜伊谷	B36	阿里山鄉	0.981	4	5.700	4	52	4
梅山	B29	梅山鄉	0.960	1	4.644	1	25	1
太平	B7	梅山鄉	0.968	3	4.954	3	31	2
梅山大峽谷	B30	梅山鄉	0.976	3	5.358	3	41	3
瑞里	B33	梅山鄉	0.976	3	5.392	3	42	3
農業改良場	B34	鹿草鄉	0.966	2	4.858	2	29	2
籠頭	B43	番路鄉	0.957	1	4.524	1	23	1
社口	B21	番路鄉	0.964	2	4.807	2	28	2
半天岩	B8	番路鄉	0.976	3	5.358	3	41	3
崙尾	B27	溪口鄉	0.968	3	0.954	1	31	2
角帶圍	B16	義竹鄉	0.968	3	4.954	3	31	2

1) 同表 1

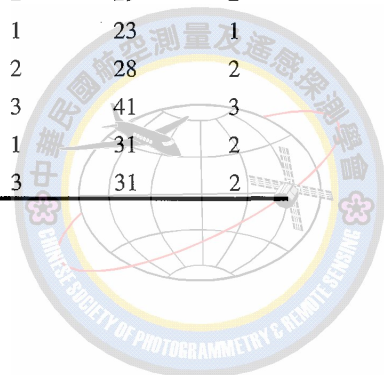


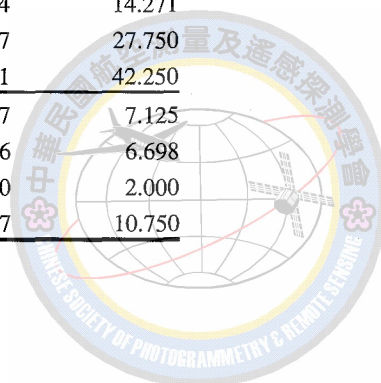
表 4 嘉義地區脊椎動物調查樣區之哺乳類生物多樣性

樣區名稱	樣區分類碼	鄉鎮名稱	EPD	EPD_R ¹⁾	EPH	EPH_R ¹⁾	α	α _R ¹⁾
大林糖廠	M32	大林鎮	0.500	2	1.000	2	2	2
曾文水庫	M13	大埔鄉	0.963	4	4.755	4	27	4
石子湖	M21	中埔鄉	0.750	3	2.000	2	4	2
新埤	M30	太保鄉	0.800	3	2.322	3	5	2
好美寮保護區	M31	布袋鎮	0.667	3	1.585	2	3	2
虎頭坎埤	M26	民雄鄉	0.000	1	0.000	1	1	1
中正大學旁	M27	民雄鄉	0.500	2	1.000	2	2	2
小糠榔	M29	朴子市	0.500	2	1.000	2	2	2
朴子公園	M28	朴子市	0.857	3	2.807	3	7	2
20 號隧道	M16	竹崎鄉	0.000	1	0.000	1	1	1
石桌	M17	竹崎鄉	0.800	3	2.322	3	5	2
中山公園	M23	東區	0.500	2	1.000	2	2	2
蘭花橋	M5	阿里山鄉	0.000	1	0.000	1	1	1
三龍橋	M3	阿里山鄉	0.500	2	1.000	2	2	2
33 號隧道	M6	阿里山鄉	0.500	2	1.000	2	2	2
新美	M1	阿里山鄉	0.875	3	3.000	3	8	3
排雲山莊	M11	阿里山鄉	0.900	3	3.322	3	10	3
楠溪林道	M7	阿里山鄉	0.923	4	3.700	4	13	4
排雲登山步道	M10	阿里山鄉	0.923	4	3.700	4	13	4
阿里山地區	M8	阿里山鄉	0.929	4	3.807	4	14	4
里佳	M4	阿里山鄉	0.933	4	3.907	4	15	4
達那伊谷	M2	阿里山鄉	0.941	4	4.087	4	17	4
玉山	M12	阿里山鄉	0.944	4	4.170	4	18	4
鹿林山保護區	M9	阿里山鄉	0.955	4	4.459	4	22	4
大峽谷	M14	梅山鄉	0.833	3	2.585	3	6	2
太平	M15	梅山鄉	0.857	3	2.807	3	7	2
農改場	M22	鹿草鄉	0.800	3	2.322	3	5	2
半天岩	M18	番路鄉	0.000	1	0.000	1	1	1
公田底	M19	番路鄉	0.500	2	1.000	2	2	2
永興	M20	番路鄉	0.500	2	1.000	2	2	2
崙尾	M24	溪口鄉	0.750	3	2.000	2	4	2
岸內農場	M25	義竹鄉	0.800	3	2.322	3	5	2

1) 同表 1

表 5 嘉義地區脊椎動物全部的調查樣區之多樣性統計值摘要表

動物類別	統計值	EPD	EPH	α
兩棲類	平均值	0.652	1.866	4.476
	標準偏差	0.264	0.973	2.731
	25%百分位臨界值	0.500	1.000	2.000
	75%百分位臨界值	0.833	2.585	6.000
爬蟲類	平均值	0.646	2.573	11.759
	標準偏差	0.381	1.856	11.755
	25%百分位臨界值	0.500	1.000	2.000
	75%百分位臨界值	0.923	4.322	20.000
鳥類	平均值	0.967	4.954	35.568
	標準偏差	0.012	0.814	14.271
	25%百分位臨界值	0.965	4.727	27.750
	75%百分位臨界值	0.976	5.401	42.250
哺乳類	平均值	0.663	2.187	7.125
	標準偏差	0.300	1.406	6.698
	25%百分位臨界值	0.500	1.000	2.000
	75%百分位臨界值	0.906	3.417	10.750



5.3 EPD、EPH 指標與 α 多樣性

性指標的關係

以物種出現率為基礎的 *EPD* 及 *EPH* 兩種多樣性指標因為不含有物種豐量的資訊，乃成為物種數目的函數，彼此具有絕對的正相關關係。理論上，調查樣區的 *EPD* 是樣區內的物種數目 ($S \geq 1$) 或 α 多樣性的倒數，可利用 $EPD = -0.999997 / S + 1$ 精確地表現二者之關係，此一關係是對少量的物種數目很敏感，但是當物種數目大於 10 時，基本上 *EPD* 指標的反應就很遲鈍，這種現象顯示 *EPD* 並不是理想的指標；相對於 *EPD* 指標，*EPH* 與 S 或 α 多樣性的對數關係 $EPH = 1.442617 \times \ln(S)$ 比較能夠反應樣區的物種多樣性(圖 3)。

Whittaker(1972)表示，在許多的無法直接量測多樣性但卻需要推論多樣性的非固定面積樣區 (non-aerial samples) 研究中，Shannon's diversity index (H') 則是一個非常有用的量測指標，而 Simpson's diversity index ($1-D$) 以及 reciprocal Simpson's index ($1/D$) 等兩種指標，因為會強烈地受到少數稀有數量的物種之重要值的影響，其推論的多樣性有效性較差 (less effective)。 *EPH* 與 *EPD* 指標表現樣區的物種多樣性的特性正符合此種現象。

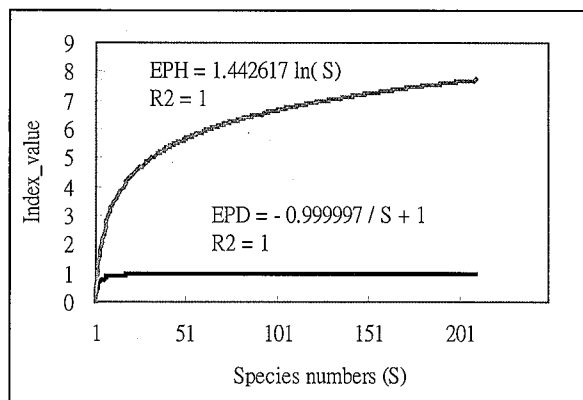


圖 3 *EPD*、*EPH* 與 α 多樣性關係圖

5.4 多樣性指標之空間推估與

分佈特徵

5.4.1 多樣性指標推估模式之準確度

評估

本報告利用 Ordinary kriging method，以八個方向的異向性球型半變異圖模式 (spherical semivariogram model)，依據各類別動物調查樣區的生物多樣性指標內插推算研究區生物多樣性之空間分佈資料，表 6 所示即為各類動物多樣性指標空間分佈模式，異向性球型半變異圖模式為 $\text{partial sill} * \text{Spherical}(\text{major axis, minor axis, direction}) + \text{nugget}$ ，模式中 Spherical 括號內引出的三個參數各代表長軸 (major axis)、短軸 (minor axis) 以及長軸方向之方位角 (direction)。各個模式推測值之平均誤差 (Mean) 及誤差均方根 (RMSE) 詳列於表 7。四個類別動物的 Simpson's *EPD* 指標估測誤差，以兩棲類和鳥類等兩類動物小於 0.001 的平均誤差最低，爬蟲類和哺乳類之估測誤差則均大於 0.01，誤差均方根則介於 0.01 至 0.30 之間；比較各類別動物的 Shannon's *EPH* 指標推估模式，則以兩棲類小於 0.01 之平均誤差最低，爬蟲類、哺乳類以及鳥類之誤差較高，介於 0.03 至 0.05 之間；物種豐富度指標空間推估模式亦以兩棲類的平均誤差 0.002 最小，其次為鳥類，爬蟲類及哺乳類之平均誤差均大於 0.1，且為低估的現象。三種指標中，以物種豐富度空間分佈模式之估測誤差最大，而以 Simpson's *EPH* 指標空間分佈模式之估測誤差最小。



表6 試驗區脊椎動物多樣性指標空間分佈之Kriging半變異圖模式

動物類別	多樣性指標	Kriging semivariogram model
兩棲類	Simpson's EPD	0.032985*Spherical(50106,23458,334.3)+0.040534
	Shannon's EPH	0.56834*Spherical(61002,31310,343.9)+0.53315
	α diversity	4.8597*Spherical(60840,41702,49.2)+4.5265
爬蟲類	Simpson's EPD	0.19682*Spherical(74150,24995,340.1)+0.0021078
	Shannon's EPH	4.6438*Spherical(74173,41336,0.6)+0.48834
	α diversity	140.05*Spherical(74173,38118,35.5)+41.709
鳥類	Simpson's EPD	0.000048216*Spherical(73656,21569,353.6)+0.00012207
	Shannon's EPH	0.88923*Spherical(73664,44331,73.5)+0.16027
	α diversity	155.13*Spherical(74663,70295,354.3)+124.41
哺乳類	Simpson's EPD	0.091663*Spherical(29155,14873,53.2)+0.027453
	Shannon's EPH	1.1605*Spherical(61522,20734,54.2)+1.0982
	α diversity	38.419*Spherical(76871,36097,79.0)+20.339

表7. 試驗區脊椎動物多樣性指標 Kriging 半變異圖模式
誤差評估摘要表

動物類別	誤差指標	α		
		EPD	EPH	diversity
兩棲類	Mean	0.0003	0.0064	0.0024
	RMSE	0.2450	0.8548	2.3130
爬蟲類	Mean	0.0119	0.0348	-0.1130
	RMSE	0.2204	1.0810	9.0490
鳥類	Mean	-0.0002	0.0560	-0.0644
	RMSE	0.0114	0.7477	13.2500
哺乳類	Mean	-0.0165	-0.0483	-0.1915
	RMSE	0.2921	1.1920	5.9490

5.4.2 嘉義地區野生動物之物種多樣性空間分布特徵

分析結果顯示，兩棲類野生動物物種數目較豐富地區為嘉義東南地區的大埔鄉曾文水庫、嘉義農

場與阿里山鄉達娜依谷地區(圖 4a, b)，爬蟲類則以阿里山鄉達娜依谷為中心向大埔鄉嘉義農場、中埔鄉灣潭及凍子角、番路鄉仁義潭及觸口等地區為最豐富地區，主體上縱跨大埔事業區與阿里山事業區林地範圍為高物種豐富度的分布型態(圖 4c, d)，哺乳類物種最豐富地區則是以曾文水庫地區向東北方向的阿里山鄉達娜依谷、里佳、鹿林山保護區、排雲山莊、玉山等方向為重點分布地區(圖 4e, f)，鳥類物種分布型態分成兩個重點區域，包括東石鄉及布袋鎮等濱海地區的高物種豐富度地區，以及以中埔鄉分水嶺與中埔橋、大埔鄉嘉義農場與大埔掬月半島等以及阿里山鄉達娜依谷與沼平公園等地區，大體上也是以大埔事業區和阿里山事業區為重點區域(圖 4g, h)。



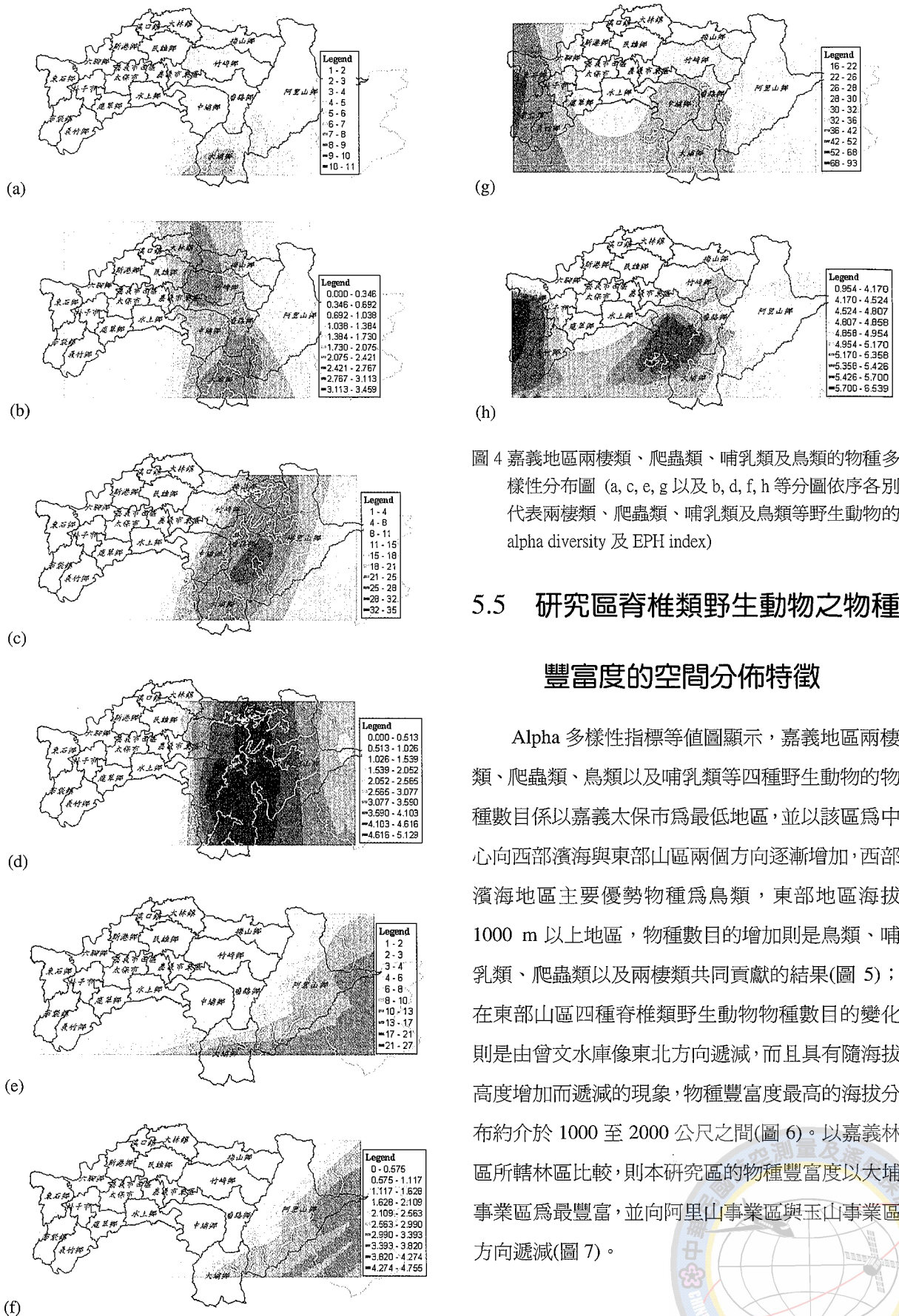
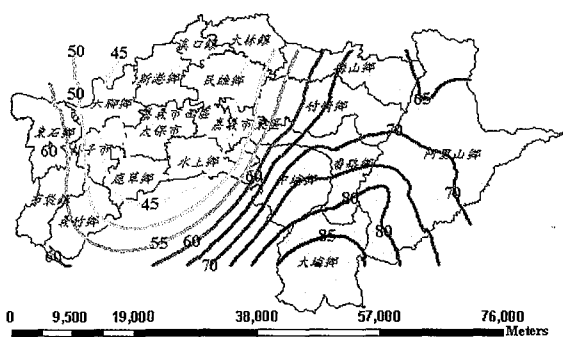
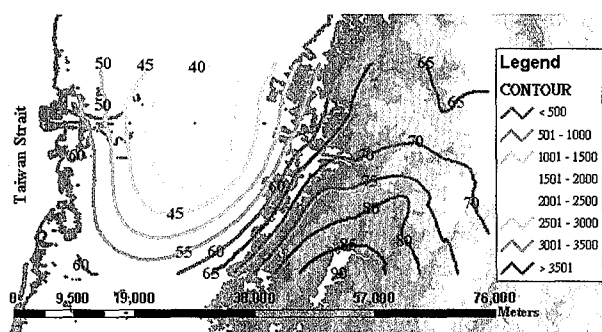
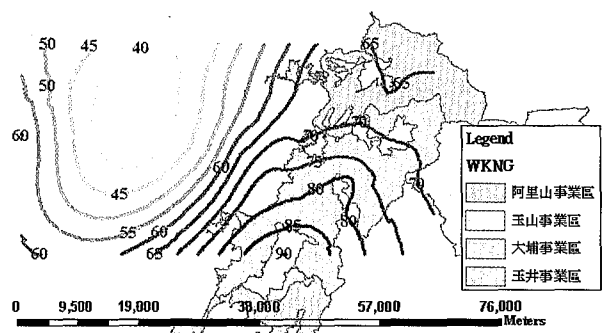


圖 4 嘉義地區兩棲類、爬蟲類、哺乳類及鳥類的物種多樣性分布圖 (a, c, e, g 以及 b, d, f, h 等分圖依序各別代表兩棲類、爬蟲類、哺乳類及鳥類等野生動物的 alpha diversity 及 EPH index)

5.5 研究區脊椎類野生動物之物種豐富度的空間分佈特徵

Alpha 多樣性指標等值圖顯示，嘉義地區兩棲類、爬蟲類、鳥類以及哺乳類等四種野生動物的物種數目係以嘉義太保市為最低地區，並以該區為中心向西部濱海與東部山區兩個方向逐漸增加，西部濱海地區主要優勢物種為鳥類，東部地區海拔 1000 m 以上地區，物種數目的增加則是鳥類、哺乳類、爬蟲類以及兩棲類共同貢獻的結果(圖 5)；在東部山區四種脊椎類野生動物物種數目的變化則是由曾文水庫像東北方向遞減，而且具有隨海拔高度增加而遞減的現象，物種豐富度最高的海拔分布約介於 1000 至 2000 公尺之間(圖 6)。以嘉義林區所轄林區比較，則本研究區的物種豐富度以大埔事業區為最豐富，並向阿里山事業區與玉山事業區方向遞減(圖 7)。



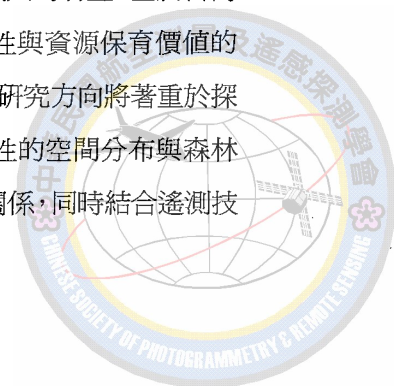
圖 5 嘉義地區行政區的脊椎類野生動物 α 多樣性等值圖圖 6 海拔高度與脊椎類野生動物 α 多樣性的空間型態關係圖圖 7 國有林事業區內脊椎類野生動物 α 多樣性的空間型態關係圖

6. 結論

綜合鳥類、哺乳類、爬蟲類以及兩棲類物種多樣性的分析結果顯示，嘉義地區最豐富的野生動物資源是鳥類，其單位面積上的物種密度是爬蟲類的 4.0 倍、哺乳類的 4.6 倍、更是兩棲類的 9.5 倍，而且鳥類資源分布在空間上各於濱海地區與中高海

拔地區形成兩個高豐富度的分布型態；哺乳類的高物種多樣性主要分布於中高海拔的山區，爬蟲類與兩棲類具有較寬廣的高度分布，主要分布於 500~2,000 公尺，高的物種多樣性出現在大埔事業區和阿里山事業區。統計大埔事業區全區面積約有 67% 的林地，計 29,435 公頃是闊葉樹有關的土地利用型，阿里山事業區中也有約 51% 林地計 13,815 公頃林地的土地利用型是與闊葉樹有關的；所以綜合四種脊椎類野生動物資源的空間分布特徵，筆者推測物種豐富度之分布應仍與棲地環境以及食物資源等因子有關，地區內若有闊葉樹植群林相以及有較大面積的水域分布有關，則有利於脊椎類野生動物之生存，因此物種豐富度會比較高。嘉義地區全區中物種豐富度最高的地區分布於大埔鄉曾文水庫與嘉義農場附近地區以及阿里山鄉達娜依谷地區，特別是在達娜依谷地區的兩棲類、爬蟲類、鳥類以及哺乳類等類的物種數目或物種多樣性都非常高，因此在森林生態系經營體系中，政府應可考慮將此一地區林地劃設為綜合性的自然保護區，推動生態資源保育以及生態旅遊教育的示範區。

本研究的核心價值在於成功地利用野生動物的調查樣區資料，結合地理資訊系統技術與空間統計方法，繪製嘉義地區野生動物物種多樣性空間分布圖，提供本省區域性的野生動物物種多樣性分布資訊；未來若能結合生態研究者的有關全省生物資源調查的豐富資料，即可建立台灣地區的野生動物物種多樣性全島分布圖，對於資源保育與制定森林生態系永續經營政策將有很大的助益。基於台灣地區森林生態系經營的永續性與資源保育價值的經營與管理觀點，著者後續的研究方向將著重於探討與分析野生動物物種多樣性的空間分布與森林植群分布以及環境因子間的關係，同時結合遙測技



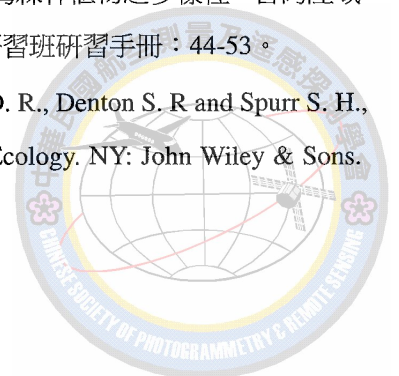
術檢測森林生態系環境因子及土地利用資訊，發展森林生態系野生動物資訊的監測方法。

謝誌

本研究承行政院農委會九十年度科技計畫「90農科-4.1.2-林-R1(4)」補助研究經費，以及行政院農委會特有生物研究保育中心提供「八十七年度試驗研究計畫執行成果」書面報告，特致謝忱。

參考文獻

- 何健鎔、林春基、顏仁德，1999。台南縣螢火蟲資源調查，國立台灣大學農學院實驗林研究報告 12(2):121-127。
- 杜銘章、王緒昂，2000。塔塔加高山生態系研究——兩生爬行動物群聚組成之探討，國立台灣大學農學院實驗林研究報告 14(2):77-83。
- 吳海音，2001。生物多樣性概念在保育規畫上的落實——以保護區的選取為例，http://bc.zo.ntu.edu.tw/conf_200109/01.htm，12 頁。
- 周昌弘，1995。生物多樣性：觀念、假說及研究，科學月刊 26(7): 547-553。
- 林良恭，2000。塔塔加高山森林地區小型鼠類族群及群聚生態，國立台灣大學農學院實驗林研究報告 14(2):71-76。
- 林金樹、陳峰盛、劉正川，2002。利用 GIS 技術評估嘉義林區國有林對降水的年粗涵養量之研究，航測及遙測學刊 7(2): 39-60。
- 林金樹，2002。遙測與地理資訊系統在林地使用最適化分區上應用之研究(2/3)，行政院農委會 90 年度試驗研究計畫研究報告，84 頁。
- 林曜松、楊平世、李玲玲、李後晶、吳文哲、莊鈴川、陳俊宏、李培芬、呂光洋、洪淑彬、許洞慶、劉小如、李玉琪、許嘉恩、蘇婉菁、李玉玫、林菁卿、潘彥宏，1996。台灣地區動物資料庫之建立第一、二年總報告，708 頁。
- 楊吉宗、許富雄、張簡琳玫、陳元龍、姚正得、洪典戊、朱賢斌、林春富、蔡昕皓、賴肅如，1998。台灣南部地區野生動物之調查研究(1/4) I.嘉義縣市野生動物之調查研究。八十七年度試驗研究計畫執行成果(動物組)，第 1-99 頁，台灣省特有生物研究保育中心編印。
- 顏重威，1997。鳳凰谷鳥園鳥類群聚的組成與結構，國立台灣大學農學院實驗林研究報告 11(4):49-66。
- 蔡尙惠、楊正澤、馮豐隆，1998。吊網應用於東北角海岸國家風景特定區之昆蟲資源調查與監測，國立中興大學實驗林研究彙刊 20(2):51-64。
- 廖啓政、周昌弘，2001。生物多樣性對於生態系統功能的影響，科學發展月刊 29(2): 81-90。
- 黃耀通、蔡淳淳、徐歷鵬、張朝欽、陳錦生，2000。塔塔加高山生態系昆蟲相初報，國立台灣大學農學院實驗林研究報告 14(2):85-90。
- 黃信誠，2002。空間統計簡介 The future role of statistics in spatial data analysis, presented in website<http://www.stat.sinica.edu.tw/~hchuan/g/spatialstat.html>.
- 蘇鴻傑，1999。台灣森林植物之多樣性，台灣陸域生物多樣性研習班研習手冊：44-53。
- Barnes, B. V., Zak D. R., Denton S. R and Spurr S. H., 1998. Forest Ecology. NY: John Wiley & Sons. 774pp.



- Fager, E. W., 1972. Diversity: a sampling study. *Am. Nat.* 106: 293-310.
- Krebs, C. J., 1989. *Ecological Methodology*. NY: Harper & Row. 654 pp.
- Latham, R. E. and Ricklefs R. E., 1993. Global patterns of tree species richness in moist forests: Energy-diversity theory does not account for variation in tree species richness. *Oikos* 67: 325-333.
- Magurran, A. E., 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press. Princeton.
- Margules, C. R. and Pressey R. L., 2000. Systematic conservation planning. *Nature* 405: 243-253.
- Naeem, S. and Li S., 1997. Biodiversity enhances ecosystem reliability. *Nature* 390(4): 507-509.
- Peet, R. K., 1974. The measurement of species diversity. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 5: 285-307.
- Pereira J. M. C. and Itami R. M., 1991. GIS-based habitat modeling using logistic multiple regression: a study of the Mt. Graham Red Squirrel. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 57(11): 1475-1486.
- Sepkoski, J. J., Jr., 1988. Alpha, beta, or gamma: where does all the diversity go? *Paleobiol.* 14: 221-234.
- Simpson, E. H., 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163: 688.
- Su, H. J., 1994. Species diversity of forest plants in Taiwan. *Biodiversity and Terrestrial Ecosystems*. In C.-I Peng and C. H. Chuo, (eds), Institute of Botany, Academia Sinica Monograph Series 14, pp. 87-98.
- Szaro R. C. and Johnston D. W. edited, 1996. *Biodiversity in Managed Landscapes - Theory and Practice*. NY: Oxford University Press. 778 pp.
- Thomas, J. W. and Huke S., 1996. The Forest Service approach to healthy ecosystems. *Journal of Forestry* 94(8): 14-18.
- Tilman, D. and Downing J. A., 1994. Biodiversity and stability in grasslands. *Nature* 367(27): 363-365.
- United Nations, 1992. *Adoption of Agreements on Environment and Development, Agenda 21, Section II. Conservation and management of Resources for Development*. United nations Conference on Environment and Development A/CONF.151/4. 275 pp.
- Valencia R., Balslev H. and Pazy M. G., 1994. High tree alpha diversity in Amazonian Ecuador. *Biodiversity Conservation* 3: 21-28.
- Waring R. H. and Running S. W., 1998. *Forest Ecosystems – Analysis at Multiple Scales*. San Diego: Academic Press. 370 pp.
- Whittaker R. H., 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon* 21(2/3): 213-251.
- Wood, C. A., 1994. *Ecosystem management: Achieving the new land ethic*. *Renewable Natural Resources Journal* 12:6-12.



Study on the Application of GIS Techniques in the Geographical Pattern of Wildlife Species Diversity

Chinsu Lin¹

ABSTRACT

Forest protection and resources conservation are the major goals of modern forest ecosystem management (FEM). In order to promote the sustainable FEM, a suitable mechanism for forestland classification and a map of wildlife resources would be the important basis for delineating the boundary of resources conservation. Unfortunately, the complicated native environment makes the surveying of all the individuals wildlife not feasible. The quantitative index of both Shannon's and Simpson's diversity are hence not available for depicting the spatially variation of wildlife biodiversity. This study applied the species diversity as the basis of biodiversity quantification and developed EPD and EPH indices for representing the wildlife's diversity. We then use the geostatistical technique to derive the spatial distribution of species diversity of the amphibians, reptilians, birds, and mammals wildlife. The geographical pattern of diversity indices of those vertebrate wildlife is also explored and the biodiversity map could then be applied for regionalizing the forestland for sustainable FEM. Results demonstrates that EPH is an identifiable index of species diversity.

Key words: species diversity, biodiversity mapping, vertebrate wildlife, geostatistics, GIS.

¹ Associate Professor, Graduate Institute of Forestry and Natural Resources
National Chiayi University

