

國立臺灣大學生物資源暨農學院森林環境暨資源學系



碩士論文

School of Forestry and Resource Conservation

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

以公民科學資料探討

影響陸域冬候鳥比例之環境因子

Using Citizen Science Data to Explore the Effects of  
Environmental Factors on Wintering Bird Ratio in  
Landbird Communities

紀博瑋

Po-Wei Chi

指導教授：丁宗蘇 博士

Advisor: Tzung-Su Ding, Ph.D.

中華民國 112 年 7 月

July 2023

國立臺灣大學碩士學位論文  
口試委員會審定書  
MASTER'S THESIS ACCEPTANCE CERTIFICATE  
NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY

以公民科學資料探討影響陸域冬候鳥比例之環境因子

Using Citizen Science data to Explore the Effects of  
Environmental Factors on Wintering Bird Ratio in Landbird  
Communities

本論文係紀博瑋 (R10625010) 在國立臺灣大學森林環境暨資源  
研究所完成之碩士學位論文，於民國 112 年 6 月 20 日承下列考試委  
員審查通過及口試及格，特此證明。

The undersigned, appointed by the Department of Forestry and Resource Conservation on 20/06/2023  
have examined a Master's thesis entitled above presented by Po-Wei Chi (R10625010) candidate and  
hereby certify that it is worthy of acceptance.

口試委員 Oral examination committee:

丁宗壽

(指導教授 Advisor)

許瑞豐

許瑞豐

蔡若行

端木茂南

系主任/所長 Director:

丁宗壽

## 謝誌



這幾個月來已經無數次幻想動筆寫謝誌時的心情，以為自己會因為終於走到這一步而痛哭流涕，沒想到實際上的感受卻是舒坦與平靜，甚至因為從幼稚園中班開始的漫長學生生涯即將告一段落而略感惆悵。我從高中開始入門賞鳥、決定走向生態領域，到如今完成一篇屬於自己的鳥類相關研究，過程中雖數次感到挫敗、也幾度懷疑自己是否做錯了什麼決定，但說真的，我也很難想像自己投入其他領域的樣子。這裡首先要感謝我的家人，在高中時支持我選擇自己的道路，並在我論文寫作期間對我滿溢而出的負能量給予無限的包容。

當然也要感謝丁宗蘇老師，在題目發想、資料分析及論文寫作的階段都提供了非常多幫助，是這份論文得以完成的最大助力。從大學時期開始，老師也提供許多助教和打工機會，讓我們得以兼顧課業與收入。在閒暇之餘，也有幸跟著老師到各地看鳥，拓展了我的視野。總之，能在丁老師門下學習是件很幸運的事。

也謝謝幾位口試委員，林瑞興老師、許富雄老師、端木茂甯老師與蔡若詩老師，點出我論文中的不足之處，並提出不同的思考方向，讓我的論文更加完整。

經歷了研究室從 401 換到 208 的時期，每一位在這段日子認識的人們都為我的研究生活添上一點色彩：感謝傅淑瑋、沈妤蓮、王正安和林思辰幾位學長姊教我研究生的生存之道；感謝陳明晃和鄭琪叡兩位同儕的共同奮鬥，一起互相扶持走過這兩年；感謝劉孟賢、許里至和王櫻儒幾位學弟妹對研究室事務的協助；也感謝呂立中和林大利兩位已畢業的學長在動行會場外對我論文提出的建議。

在研究室之外，特別感謝俞君這兩年半來一直無條件支持並陪伴著我，讓我可以放心展露自己最脆弱的一面。而與睿騏和明晃兩位的幹話群組絕對是研究生苦悶情緒的最大宣洩出口。還有王昱仁、陳則宇和簡叡這幾位近十年交情的好兄弟，即使各自身處不同領域(你們甚至可能根本不會看到這篇謝誌)，但仍在我情緒最低落的時刻帶來最溫暖的關心。謝謝以上諸位陪著我走到了今天。

## 摘要

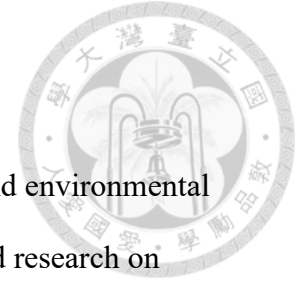


探討候鳥多樣性與環境因子間關係的過去研究，多聚焦於繁殖季，非繁殖季的相關研究較少，而東亞地區陸域候鳥的相關研究更是缺乏。研究曾指出，陸域候鳥較偏好海拔較低、人為開發程度低、非森林環境、棲地多樣度高、較溫暖、初級生產量高的度冬地。顯示候鳥的度冬地選擇可能同時受多個環境因子影響。但少有研究同時比較不同環境因子的重要性，且多針對少數物種或較窄的時空尺度。本研究使用涵蓋較寬廣時空尺度與較多物種的 eBird 公民科學資料，探討臺灣本島陸域冬候鳥隻數比例及物種數比例與環境因子的關係，並找出其中較為重要的環境因子。

結果顯示臺灣的陸域冬候鳥比例與冬季降水量、氣溫及土地覆蓋多樣度呈顯著正相關；與開發程度、森林覆蓋度及海拔呈顯著負相關，其中冬季降水量與開發程度的解釋力較其他因子更為顯著。而森林性候鳥比例則是與森林覆蓋度顯著正相關，且非森林性候鳥比例與棲地多樣度的關係較森林性候鳥比例更為顯著。此結果與國外類似研究大致相符，但是冬季降水量的重要性則尚未被其他研究所提及。eBird 資料雖有努力量變異與空間分布不均等限制，但其充足的資料量也使研究者們更容易探討較廣尺度的物種—環境關係。本研究即是借助公民科學資料，初步了解臺灣的陸域冬候鳥與各項環境因子的關係，期望未來能對此現象背後的機制有更加深入的研究。

關鍵詞：非繁殖季、陸域候鳥、棲地偏好、環境因子、公民科學資料

## Abstract



Previous studies on the relationship between migratory birds and environmental factors have predominantly focused on breeding season, with limited research on nonbreeding season, particularly for migratory landbirds in East Asia. Previous studies have indicated that migratory landbirds tend to prefer wintering grounds at lower elevations, with lower level of human development, non-forest habitat, higher habitat diversity, warmer temperature, and higher primary productivity. This suggests that the selection of wintering grounds by migratory birds may be influenced by multiple environmental factors. However, few studies have compared the relative importance of different environmental factors, and most studies have focused on a few species at narrow spatiotemporal scales.

This study aimed to use data from eBird, a citizen science project, which covers a broader spatiotemporal scale and a greater number of species, to explore the relationship between the abundance and richness ratio of winter migratory landbirds and multiple environmental factors in Taiwan and identify the influential environmental factors.

The results revealed that the ratio of wintering migratory landbirds in Taiwan had significantly positive relationship with winter precipitation, temperature, and landcover diversity; while significantly and negatively correlated with the level of human development, forest coverage, and elevation. Notably, winter precipitation and development level were more influential compared to other environmental factors. On the other hand, the ratio of forest wintering species was significantly and positively correlated with forest coverage, while the ratio of non-forest wintering species had a stronger relationship with landcover diversity than the ratio of forest wintering species. While these results generally align with similar studies conducted in other countries, the importance of winter precipitation has not been emphasized in previous studies. Despite

the eBird data have some limitations, such as variation in effort and uneven spatial distribution, the extensive amount of eBird data enables researchers to investigate species-environment relationships under broader scales.

By using citizen science data, this study provides a preliminary understanding on the relationship between wintering migratory landbirds in Taiwan and various environmental factors. Future research is needed to explore the processes underlying these patterns.

Key words: nonbreeding season, terrestrial migratory birds, habitat preference, environmental factors, citizen science data

# 目錄



謝誌 .....	i
摘要 .....	ii
Abstract .....	iii
圖目錄 .....	vi
表目錄 .....	vii
前言 .....	1
一、影響候鳥的環境因子 .....	1
二、公民科學資料的使用 .....	4
材料與方法 .....	7
一、研究地點 .....	7
二、鳥類資料 .....	7
三、冬候鳥比例計算 .....	9
四、環境因子資料 .....	9
五、統計分析 .....	11
結果 .....	13
一、候鳥比例與環境因子之關係 .....	13
二、影響候鳥比例的重要環境因子 .....	15
三、環境因子的共線性 .....	16
四、環境因子與候鳥比例之路徑分析 .....	17
五、臺灣本島陸域冬候鳥分布狀況預測 .....	18
六、候鳥比例與 eBird 資料努力量之關係 .....	18
討論 .....	19
一、候鳥比例與環境因子之關係 .....	19
二、影響臺灣陸域冬候鳥比例之重要環境因子 .....	21
三、環境因子的因果關係與直接影響候鳥比例之環境因子 .....	22
四、臺灣本島陸域冬候鳥比例分布狀況 .....	24
五、森林性與非森林性候鳥之比較 .....	24
六、使用 eBird 資料的優勢與限制 .....	26
結論 .....	27
參考文獻 .....	44
附錄 .....	54

## 圖目錄

圖 1、納入分析之紀錄清單分布圖 .....	28
圖 2、整體候鳥隻數比例與各環境因子之單變量廣義線性迴歸模型 .....	29
圖 3、整體候鳥物種數比例與各環境因子之單變量廣義線性迴歸模型 .....	30
圖 4、森林性候鳥隻數比例與各環境因子之單變量廣義線性迴歸模型 .....	31
圖 5、森林性候鳥物種數比例與各環境因子之單變量廣義線性迴歸模型 .....	32
圖 6、非森林性候鳥隻數比例與各環境因子之單變量廣義線性迴歸模型 .....	33
圖 7、非森林性候鳥物種數比例與各環境因子之單變量廣義線性迴歸模型 .....	34
圖 8、各項環境因子之散佈圖矩陣 .....	39
圖 9、臺灣本島陸域冬候鳥比例分布預測圖 .....	40
圖 10、候鳥隻數比例與環境因子之路徑模型 .....	41
圖 11、候鳥物種數比例與環境因子之路徑模型 .....	42
圖 12、候鳥比例與清單努力量之單變量廣義線性迴歸模型 .....	43



## 表目錄

表 1、候鳥隻數比例與各項環境因子之多變量前向模型選擇 .....	35
表 2、候鳥物種數比例與各項環境因子之多變量前向模型選擇 .....	36
表 3、候鳥隻數比例之最佳多變量模型與各項環境因子之 VIF 值 .....	37
表 4、候鳥物種數比例之最佳多變量模型與各項環境因子之 VIF 值 .....	38

# 前言



## 一、影響候鳥的環境因子

鳥類的遷徙是長久以來受到學者關注與研究的現象，而在鳥類遷徙相關的諸多主題之中，候鳥與環境因子的關係也是時常被討論的議題。對候鳥族群而言，其繁殖地、過境地與度冬地的環境皆扮演重要的角色 (Rappole & McDonald, 1994; Bairlein, 2016)，例如度冬地的棲地品質可能影響候鳥個體的生理狀況，進而影響其春季北返的時程 (Marra et al., 1998; González et al., 2020) 或繁殖成功率 (López-Calderón et al., 2017)。過去有許多研究探討了在特定季節時影響候鳥個體及物種分布的環境因子，以及其潛在的機制，然而大多數研究聚焦於繁殖季 (Fuller & Crick, 1992; Flather & Sauer, 1996; Kuo et al., 2013; Elsen et al., 2021; Leveau, 2021; Kim et al., 2022)，亦有部分針對過境期的研究 (Farina, 1988; Petit, 2000; Deppe & Rotenberry, 2008; Cohen et al., 2021)，提及非繁殖季的研究則較少，且多集中於美洲 (Karr, 1976; Hutto, 1980; Sabb & Petit, 1992; Smith et al., 2001)，東亞地區的研究則較缺乏 (Shiu & Lee, 2003)。而東亞—澳大拉西亞遷徙線 (East Asian-Australasian Flyway) 擁有全球最高的候鳥多樣性與族群數量，以及最多的受脅候鳥物種數，但同時也是被研究得相對較少的遷徙線之一 (Yong et al., 2015)，且多數是關於遷徙性水鳥的研究 (Li et al., 2019; Kasahara et al., 2020)，因此了解東亞陸域冬候鳥與環境因子的關係有其必要性。

在諸多環境因子中，候鳥與海拔的關係是相對容易被觀察與測量的。Karr (1976) 曾以文獻回顧的方式整理中南美洲、非洲及東南亞三個生物地理區系的候鳥在不同海拔的時空分布模式。結果顯示在冬季時，中南美洲與東南亞的陸域候鳥偏好出現在海拔較低的環境。Hutto (1980) 則於墨西哥西部研究小型食蟲鳥類在冬季時的棲地選擇，發現在近 3000 公尺的海拔梯度中，候鳥的密度於低海

拔的棲地類型中較高，在高海拔的棲地類型中則較低。Shiu 與 Lee (2003) 也曾在臺灣進行相關研究，他們自過往文獻中取得 35 個地點的鳥類資料，並結合環境因子資料集進行分析。結果顯示，非繁殖季時陸域候鳥的物種豐富度隨著海拔上升而降低，但與其他環境因子的關係仍不明朗。Shiu 與 Lee 認為，可能是由於納入分析的候鳥物種中僅有 15% (67 種中的 10 種) 在過半的地點有紀錄，其餘大多只在一至二個地點有紀錄。Shiu 與 Lee 並進一步推論，候鳥資料較少的原因可能是由於森林中的候鳥數量較少 (Farina, 1988)，而研究的地點卻多以森林植被為主要棲地組成，沒有涵蓋更多棲地類型。

根據過去的研究結果，陸域候鳥的棲地偏好大致可分為植被、開發程度與棲地多樣度三個面向。在植被方面，Karr (1976) 在非洲進行霧網捕捉及現場觀察，發現陸域冬候鳥在森林中的數量非常少，在莽原或草生地等開闊棲地較容易觀察到候鳥；而 Farina (1988) 在義大利的研究結果也顯示，候鳥比起森林環境，更偏好較開闊的棲地類型；Smith (2001) 在墨西哥的研究則指出，非繁殖季的候鳥比留鳥更能夠適應演替前期的植被類型。

在開發程度方面，Wilson 等人 (2019) 曾指出減輕人為開發對於保育冬候鳥物種多樣性的重要性。而目前多數研究著墨於都市化對候鳥的影響，強調都市綠地作為冬候鳥棲地的重要性 (Amaya-Espinel & Hostetler, 2019; Leveau, 2021)，例如 de Camargo Barbosa 等人 (2020) 在巴西的研究，該研究作者於冬季時在都市綠地中進行鳥類調查，並測量其環境特徵，發現噪音程度對候鳥物種多樣性有負面影響。除了都市中的開發程度外，Saab 與 Petit (1992) 的研究則提到了畜牧用地的開發使陸域冬候鳥的物種多樣性降低。至於東亞地區，目前關於人為開發對候鳥影響的研究多針對遷徙性水鳥 (Murray & Fuller, 2015)，少有提及陸域候鳥的相關研究。

許多研究指出，食物資源的多寡是影響候鳥棲地選擇的重要因素 (MacArthur, 1959; Hutto, 1985; Martin & Karr, 1986; Shiu & Lee, 2003)，而棲地多

樣度則反映了食物資源的多樣程度 (Hurlbert, 2004)，雖然針對陸域候鳥物種多樣性與棲地多樣度關係的研究較少 (Sabb & Petit, 1992)，但棲地多樣度對整體鳥類物種多樣性的正面影響則是很早就被發現並研究的現象 (MacArthur & MacArthur, 1961; Ricklefs & Lovette, 1999; Tews et al., 2004)，包括鳥類物種多樣性在地景尺度下與棲地多樣性的關係 (黃婉如, 2010)。

而在全球氣候變遷的背景下，氣候相關因子對候鳥的影響在近年來也備受關注 (Lemoine & Böhning-Gaese, 2003; Bick et al., 2023)。儘管探討候鳥多樣性與氣候因子關係的研究大多僅聚焦於繁殖候鳥 (Kuo et al. 2013; Elsen et al., 2021; Leveau, 2021; Kim et al., 2022)，但仍有部分研究對非繁殖季候鳥的氣候偏好提出了較廣泛的通則。例如 Somveille 等人 (2015) 分析全球的鳥類與氣候資料，發現候鳥偏好選擇較溫暖且初級生產量較高的地區作為度冬地。溫度不僅直接影響鳥類的生理狀況 (Root, 1988a; Repasky, 1991)，也會間接影響食物資源多寡 (Root, 1988b)，進而限制鳥類的分布；初級生產量同樣攸關鳥類可取得的能量多寡，並且對生物量、族群豐度及豐富度具有正面影響 (Ng et al., 2022)，例如 Apellaniz 等人 (2012) 的研究發現春秋兩季的物種豐富度皆與初級生產量呈正相關，也有研究顯示臺灣繁殖鳥類的物種豐富度與初級生產量大致呈正相關 (Ding et al., 2005)。而初級生產量同時受到降水量和溫度兩項氣候因子影響，其中降水量對初級生產量的影響力又較溫度更為顯著 (Wang et al., 2021)。

而不同鳥種本身就有其棲地偏好，若僅聚焦於整體鳥類群聚，可能會掩蓋不同生態群對環境因子的反應 (Matuoka et al., 2020)。例如在森林砍伐興盛的地區，森林性鳥種的多樣性會因植被複雜度的下降而減少，在森林覆蓋度較高的地區則因為食物資源較多而增加；而非森林性鳥種的多樣性則與棲地多樣性有較顯著的關聯 (Morante-Filho et al., 2018)。因此本研究除了關注整體陸域冬候鳥與環境因子的關係，亦會比較森林性與非森林性鳥種在環境偏好上的異同。

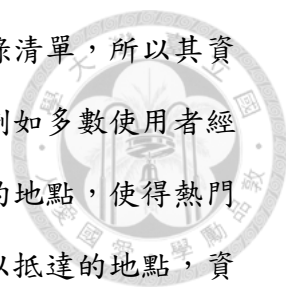
此外，陸域候鳥在選擇度冬地時可能同時受到多個環境因子影響，但鮮少有



研究比較不同因子的重要性。Hutto (1985) 認為，在較大的空間尺度下，氣候條件對候鳥棲地選擇的影響應較食物資源的多寡更為重要。Shiu 與 Lee (2003) 在臺灣的研究結果則顯示海拔、自然度與一月均溫是影響冬季候鳥物種多樣性較顯著的因子，與一月降水量及年均濕度的關係則不顯著。不過環境因子之間經常存在共線性與因果關係，尤其海拔往往對其他環境因子有直接或間接的影響。除了溫度會隨海拔上升而下降外，由於全球人口多集中在平地與低海拔地區，使得開發程度也經常與海拔呈負相關 (Cohen & Small, 1998; Becker et al., 2007)。而在臺灣，森林植被的分布也與海拔相關，例如森林覆蓋度隨著海拔高度上升而提高 (陳宛均等, 2020)；且海拔越高，未受人為干擾的原生林比例也越高 (林務局, 2014)。因此，在探討影響陸域冬候鳥的重要環境因子時，還需釐清環境因子之間的共線性與因果關係。

## 二、公民科學資料的使用

過往探討物種—環境關係的相關研究多以現地調查為主要研究方法，但受限於時間與人力，大多只能針對少數物種、或是較窄的時空尺度進行研究。而近年來，許多公民科學 (Citizen Science) 計畫快速興起，貢獻資料的參與者也逐年增加 (Kosmala et al., 2016)。公民科學資料可涵蓋較廣的時空尺度，適合用來找出較廣尺度的趨勢並驗證假說 (Dickinson et al., 2010)。而在眾多鳥類相關的公民科學計畫當中，eBird 無疑是發展地最成熟的計畫之一，累積了可觀的資料量 (Sullivan et al., 2009)。Callaghan 與 Gawlik (2015) 比較 eBird 公民科學資料與專家進行的系統性調查資料，發現 eBird 公民科學資料在鳥類物種豐富度 (species richness) 與香農多樣性指數 (Shannon diversity index) 上比起系統性的調查資料皆顯著較高，顯示公民科學資料較能偵測到稀有或遷徙性的物種，或可補足現地調查的不足之處 (Callaghan et al., 2018)。但 eBird 屬於半系統性公民科學，意指其資料並非由專業調查員透過系統性的調查方法提供；而是不限制調查



方法，讓使用者可以在任何時間與地點，以自己的習慣上傳紀錄清單，所以其資料容易出現以下問題：(1) 取樣偏差：清單的空間分布不均。例如多數使用者經常在其居住地或鳥種較多的賞鳥熱點上傳資料，而忽略非熱點的地點，使得熱門賞鳥地點的資料量較其他地區更多；或是如山區、海洋等較難以抵達的地點，資料量也會較少 (Zhang, 2020; Johnston et al., 2021)。(2) 資料空缺：承取樣偏差的問題，有些地點由於太過難以抵達或是缺乏使用者關注，因此沒有人在這地點上傳清單，造成資料的空缺。(3) 資料品質：由於沒有限制使用者的調查方法，使每筆清單間的努力量變異程度大 (Dickinson et al., 2010)，而紀錄到的物種多寡也可能因調查時間長度 (Shen et al., 2023) 或行進距離等努力量的不同而產生較大變異。因此在使用 eBird 資料前，應視研究目的與方法進行資料篩選，以降低極端努力量對資料品質的影響 (Steen et al., 2019)。

根據 eBird 至 2023/4/17 為止的統計，在全球所有國家中，臺灣累積清單筆數排行第七，為東亞國家中最高。臺灣共有 6044 名使用者曾貢獻資料，紀錄有 657 種鳥類，共累積 867237 筆記錄清單，因此本研究認為臺灣的 eBird 資料量具有探討陸域冬候鳥與環境因子之關係的潛力。但由於每筆紀錄清單的努力量在篩選過後可能仍存在變異，且不同使用者對於鳥類隻數的計數習慣並不一致，若直接以冬候鳥隻數及物種數表示每筆清單中候鳥的多寡，可能會使資料產生較大的變異。因此本研究以每筆紀錄清單中的「冬候鳥隻數比例」及「冬候鳥物種數比例」表示候鳥多寡，將資料數值限制在 0 到 1 之間。

本研究使用 eBird 資料，探討臺灣陸域冬候鳥的隻數比例及物種數比例與海拔、森林覆蓋度、開發程度、棲地多樣度、氣溫及降水量等環境因子的關係；並比較不同環境因子對候鳥比例的重要性，同時釐清環境因子之間的共線性與因果關係；以及利用候鳥比例與環境因子關係建立之模型，將臺灣本島陸域冬候鳥的空間分布狀況視覺化，填補 eBird 資料所空缺之處。希望能透過本研究，更進一步了解東亞陸域候鳥與度冬地環境因子的關係，並檢視 eBird 資料是否適合用於

探討該主題。本研究預期以下結果：

- (1) 臺灣陸域冬候鳥隻數比例及鳥種數比例與海拔呈負相關。
- (2) 臺灣陸域冬候鳥隻數比例及鳥種數比例與森林覆蓋度呈負相關。
- (3) 臺灣陸域冬候鳥隻數比例及鳥種數比例與開發程度呈負相關。
- (4) 臺灣陸域冬候鳥隻數比例及鳥種數比例與棲地多樣度呈正相關。
- (5) 臺灣陸域冬候鳥隻數比例及鳥種數比例與冬季溫度呈正相關。
- (6) 臺灣陸域冬候鳥隻數比例及鳥種數比例與冬季降水量呈正相關。
- (7) 氣候類型的因子對臺灣陸域冬候鳥比例的影響較其他環境因子大。
- (8) 森林性候鳥隻數比例及鳥種數比例與森林覆蓋度呈正相關。
- (9) 非森林性候鳥比例與棲地多樣度的關係較森林性候鳥更為顯著。



## 材料與方法



### 一、研究地點

臺灣位於東亞—澳大拉西亞遷徙線 (East Asian-Australasian Flyway) 上，根據 2023 中華鳥會臺灣鳥類名錄，目前臺灣共紀錄有 686 種鳥類，290 種是穩定出現的候鳥，其中包含 195 種具有冬候鳥屬性、22 種具夏候鳥屬性、143 種具過境鳥屬性，以及 89 種具有多重遷留屬性的鳥種 (丁宗蘇等，2023)。

而本研究聚焦於臺灣本島，所有離島包括金門、馬祖、澎湖、小琉球、東沙、蘭嶼、綠島、龜山島、基隆嶼及北方三島並不屬於本研究的研究範圍。臺灣本島位置約位於東經 120 度至 122 度、北緯 21.8 度至 25 度之間，面積約為 36000 平方公里，海拔範圍涵蓋 0 至 3952 公尺，約有 70% 面積為山岳與丘陵，30% 面積為平地。臺灣人口多集中於平地，因此平地及低海拔地區的開發程度較高，多數土地為農地、草生地、灌叢及都會區，濕地則集中於大型河川沿岸與西部濱海地區 (陳宛均等，2020)。根據第四次全國森林資源調查，臺灣森林覆蓋率約為 60.7%，其中約有 80% 為天然林，20% 為人工林 (林務局，2014)。在氣溫方面，臺灣冬季均溫約為 16°C，然而實際溫度受海拔與緯度影響，變異程度大，最寒冷地點的冬季均溫僅有約 0.5°C；最溫暖的地點則可達到約 22.5°C (陳宛均等，2020)。在降水方面，臺灣冬季降水量主要的降水來源為東北季風挾帶的水氣，而水氣往往受中央山脈阻擋，使降水量以中央山脈為界，大致呈現東北多、西南少的分布，最乾燥地點的冬季降水量僅有 83.6 公釐，最潮濕地點則可達 1305.3 公釐 (陳宛均等，2020)。

### 二、鳥類資料

本研究使用 eBird 公民科學計畫之開放資料，由於 eBird 是自 2015 年開始在



臺灣推廣，在此之前的紀錄大多都是努力量不準確、鳥種紀錄不完整或紀錄點位不精確的歷史紀錄，因此本研究選擇 2015 年至 2021 年作為研究的時間區段。首先至 eBird 資料下載頁面 (<https://ebird.org/data/download>) 下載 2015 年至 2021 年臺灣地區之 eBird 基礎資料集 (eBird Basic Dataset. Version: EBD\_relJan-2022, Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, New York. Jan 2022.)，其中包含 2015 年至 2021 年所有經過審查的觀察紀錄，與其所屬紀錄清單的時間、地點及各項努力量變因。

本研究以 R (4.2.1 版本) (R Core Team, 2022) 軟體當中的 auk 套件 (Strimas-Mackey et al., 2018) 以及 QGIS (3.30.1 版本) (QGIS Development Team, 2023) 篩選紀錄清單。首先將空間範圍設定在東經 120 度至 122 度、北緯 21.8 度至 25.3 度，並排除該範圍中不屬於臺灣本島的紀錄清單。由於本研究針對冬季，因此僅選擇十二月、一月及二月的資料進行分析。為確保紀錄清單中的觀察紀錄盡可能接近清單座標處的實際物種組成，並避免超出環境因子資料集的空間解析度過多，故剔除行進距離大於 2 公里的紀錄清單、不完整紀錄清單以及含有數量不明確的觀察紀錄之清單。為確保紀錄清單的努力量足夠，能紀錄到較不常見的候鳥，故剔除觀察時長小於 30 分鐘之紀錄清單；同時為避免努力量過高，故剔除觀察時長大於 120 分鐘之紀錄清單 (Steen et al., 2019; Johnston et al., 2021)；並且為避免將僅記錄部分重點鳥種但仍選擇「完整紀錄」的清單納入分析，因此剔除總物種數低於 4 種的紀錄清單，最終共篩選出 15759 筆紀錄清單 (圖 1)。

本研究聚焦於陸域生態系之候鳥，故剔除屬於偶發現象的迷鳥與海鳥，以及明顯依賴水域環境的水鳥，水鳥與陸鳥的界定主要依循臺灣鳥類誌 (劉小如等，2012) 與 Birds of the World (Billerman et al., 2022)。其餘鳥種則區分為冬候鳥及留鳥兩類，並依據其棲地偏好再分為森林性與非森林性鳥種，鳥種在臺灣的遷留屬性主要依循中華鳥會臺灣鳥類名錄 (丁宗蘇等，2023)，並進行以下調整：

(1) 將穩定繁殖的外來入侵種視為留鳥；(2) 出現在冬季但名錄上為過境鳥者，若有長時間穩定度冬的紀錄則視為冬候鳥，若無則剔除；(3) 具有多重遷留屬性的鳥種，則以冬季時的主要屬性為分類依據。最終共有 211 種鳥納入分析，其中 130 種為留鳥、81 種為冬候鳥；110 種為森林性鳥種、101 種為非森林性鳥種。留鳥當中 79 種為森林性、51 種為非森林性；冬候鳥當中 31 種為森林性、50 種為非森林性（附錄 1）。

### 三、冬候鳥比例計算

本研究以冬候鳥隻數比例及冬候鳥物種數比例來表示每筆清單中被記錄到的候鳥多寡，計算方式為：

冬候鳥隻數比例 = 清單中冬候鳥隻數/清單中總鳥隻數

冬候鳥物種數比例 = 清單中冬候鳥物種數/清單中總物種數

森林性與非森林性候鳥的隻數比例及物種數比例，計算方式則為：

森林性冬候鳥隻數比例 = 清單中森林性冬候鳥隻數/清單中總鳥隻數

森林性冬候鳥物種數比例 = 清單中森林性冬候鳥物種數/清單中總物種數

非森林性冬候鳥隻數比例 = 清單中非森林性冬候鳥隻數/清單中總鳥隻數

非森林性冬候鳥物種數比例 = 清單中非森林性冬候鳥物種數/清單中總物種數

### 四、環境因子資料

本研究所使用之環境資料取自臺灣陸域環境因子多時序資料集（陳宛均等，2020）中 2010 年代之資料。該資料集解析度為 1 公里，共有 39658 個網格涵蓋臺灣本島，其中 3049 個網格內含有本研究篩選出的紀錄清單。本研究欲探討陸域冬候鳥比例與海拔、棲地及氣候三大類環境因子的關係。海拔因子僅使用平均海拔高度；氣候因子包含溫度及降水量；棲地因子則較為複雜，包含植被、開發程度與棲地多樣度。其中植被以森林覆蓋度表示；開發程度雖不易直接量化，但

道路密度與周遭人為建物面積比例及地景破碎程度高度相關 (Cai et al., 2013)，可做為衡量人為開發程度的重要因子 (DeCatanzaro et al., 2009)，因此以道路密度及自然度做為開發程度的指標；而地景尺度下的棲地多樣度則可由土地覆蓋類別的多寡及比例來決定，土地覆蓋類別越多，即提供了更為多樣的棲地。因此本研究根據資料集提供的數據，直接使用或計算出每個網格內的 (1) 海拔、(2) 森林覆蓋度、(3) 道路密度、(4) 自然度、(5) 土地覆蓋多樣度、(6) 冬季均溫與 (7) 冬季降水量等七項環境因子 (附錄 3)，各項環境因子的描述與計算方式如下：

- (1) 海拔 (Elevation)：網格內之平均海拔高度，單位為公尺 (m)。
- (2) 森林覆蓋度 (Forest coverage)：網格內森林覆蓋面積/網格面積。
- (3) 道路密度 (Road density)：網格內之道路密度，單位為公里/平方公里 ( $\text{km}/\text{km}^2$ )。
- (4) 自然度 (Naturalness)：給定每種土地覆蓋類別的自然度分數 (農田 0.4、草地 0.5、農濕地 0.4、森林 0.9、濕地 1、都市 0、水體 0.7、灌叢 0.7、裸露地 0.2)，再以網格中所占面積比例加權計算。

$$\text{Naturalness} = \sum_i (p_i \cdot n_i)$$

$p_i$  = 第  $i$  種土地覆蓋類別佔網格總面積之比例

$n_i$  = 第  $i$  種土地覆蓋類別的自然度分數

- (5) 土地覆蓋多樣度 (Landcover diversity)：網格內土地覆蓋類別的香農多樣性指數 (Shannon diversity index) (Shannon, 1948)，計算公式如下：

$$\text{Landcover diversity} = -\sum_i (p_i \cdot \ln p_i)$$

$p_i$  = 第  $i$  種土地覆蓋類別佔網格總面積之比例

- (6) 冬季均溫 (Winter temperature)：一月、二月與十二月之均溫，單位為攝氏溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )。
- (7) 冬季降水量 (Winter precipitation)：一月、二月與十二月之降水量總

和，單位為公釐（mm）。



## 五、統計分析

本研究的統計分析皆以 R 軟體進行，根據本研究的計算方式，臺灣本島陸域冬候鳥的鳥隻數比例及鳥種數比例為介於 0 至 1 之間的連續數值，且鳥隻數比例與鳥種數比例的資料分布皆為右偏，有許多清單中的候鳥比例為 0（附錄 3），接近二項式分佈（binomial distribution）。因此在後續分析中，皆選擇 binomial 做為廣義線性迴歸模型（Generalized Linear Regression Model; GLM）的指數族分配。

為了檢測候鳥比例是否與假說中的環境因子有顯著關係，本研究以（1）整體候鳥隻數比例、（2）整體候鳥物種數比例、（3）森林性候鳥隻數比例、（4）森林性候鳥物種數比例、（5）非森林性候鳥隻數比例及（6）非森林性候鳥物種數比例為應變量，前述每一項環境因子為自變量，分別建立單變量（univariate）的廣義線性迴歸模型（圖 2、圖 3、圖 4、圖 5、圖 6、圖 7）。根據模型的迴歸係數與 p 值，判斷各項環境因子對候鳥隻數比例及候鳥物種數比例分別的相關性與顯著性。

單變量模型雖能檢測候鳥比例是否受單一環境因子影響的假說，但無法反映候鳥比例可能會同時受到多個因子影響的情況。因此本研究使用前向選擇（Forward Model Selection）的方式，找出最佳的多變量模型。前向選擇的過程以空模型（Null Model）開始，逐一將自變量加入模型，並選擇能為當前的模型貢獻最多解釋力的變量（該變量加入模型後的 AIC 值最低），直到任何自變量都無法降低模型的 AIC 值即停止選擇（表 1、表 2）。根據每一項環境因子被選入模型的順序，可判斷各項環境因子對候鳥隻數比例及候鳥物種數比例的影響力多寡，並以被選入模型的環境因子建立鳥隻數比例與鳥種數比例的最佳多變量模型（表 3、表 4）。為檢測被選入模型的環境因子之間是否有過高的共線性，本研究以 car 套件（Fox & Weisberg, 2019）中的 vif 函數計算各環境因子的變異數膨脹因子

(Variance Inflation Factor; VIF)，VIF 值越大表示該自變量與其他自變量的共線性越高，一般以 VIF 是否大於 5 為判斷自變量間共線性是否過高的閾值 (Daoud, 2017)。本研究並以 psych 套件 (Revelle, 2023) 中的 pairs.panels 函數繪製散佈圖矩陣 (Scatter Plots Matrix; SPLOM)，同時呈現環境因子的資料分布，及兩兩環境因子之間的散佈圖與皮爾森相關係數 (Pearson Correlation Coefficient) (圖 8)，以進一步釐清環境因子間的相關性。並根據鳥隻數比例與鳥種數比例的最佳多變量模型 (表 3、表 4)，以 sdm 套件分別預測並繪製臺灣本島候鳥比例分布預測圖，將模型結果視覺化 (圖 9)。

由於環境因子之間除共線性外亦存在因果關係，因此本研究以路徑分析 (Path Analysis) 呈現所有環境因子與候鳥比例間的關係。將所有自變量與應變量標準化後，根據環境因子之間與環境因子對候鳥比例的因果關係建立變量之間的路徑模型，並以路徑係數 (Path Coefficient) 判斷各項因子對其他因子的直接影響力多寡 (圖 10、圖 11)，再根據模型的比較性配適指標 (Comparative Fit Index; CFI) 來評估模型表現，CFI 值介於 0 至 1 之間，越接近 1 表示模型的適配度越高，大於 0.9 則表示模型為良好適配。此外，為檢測 eBird 資料在篩選過後，每筆清單中的整體候鳥比例是否仍受到努力量影響，本研究也以觀察時長及行進距離為自變量，分別建立廣義線性迴歸模型 (圖 12)。

## 結果



本研究計算出的整體候鳥隻數比例的平均值為 0.097，變異數為 0.020；整體候鳥物種數比例的平均值為 0.167，變異數為 0.022。森林性候鳥隻數比例的平均值為 0.019，變異數為 0.004；森林性候鳥物種數比例的平均值為 0.031，變異數為 0.004。非森林性候鳥隻數比例的平均值為 0.078，變異數為 0.015；非森林性候鳥物種數比例的平均值為 0.136，變異數為 0.017。本研究所採用的各項環境因子之統計量如下：海拔範圍為 0.0 至 3303.9，平均值為 245.910，標準差為 515.523，單位為公尺。森林覆蓋度範圍為 0.0 至 1.0，平均值為 0.239，標準差為 0.356。道路密度範圍為 0.0 至 37.2，平均值為 10.015，標準差為 7.245，單位為公里/平方公里。土地覆蓋多樣度範圍為 0.0 至 1.7，平均值為 0.685，標準差為 0.459。自然度範圍為 0.0 至 1.0，平均值為 0.480，標準差為 0.286。冬季溫度範圍為 2.0 至 22.3，平均值為 16.969，標準差為 2.982，單位為攝氏溫度。冬季降水量範圍為 91.8 至 1249.3，平均值為 426.654，標準差為 278.079，單位為公釐（附錄 4）。

### 一、候鳥比例與環境因子之關係

根據單變量廣義線性模型的結果，臺灣本島陸域冬候鳥的整體鳥隻數比例與海拔（pseudo- $R^2 = 0.035$ , p-value < 0.001）、森林覆蓋度（pseudo- $R^2 = 0.023$ , p-value < 0.001）及道路密度（pseudo- $R^2 = 0.019$ , p-value < 0.001）呈顯著負相關；與土地覆蓋多樣度（pseudo- $R^2 = 0.023$ , p-value < 0.001）、冬季溫度（pseudo- $R^2 = 0.025$ , p-value < 0.001）及冬季降水量（pseudo- $R^2 = 0.028$ , p-value < 0.001）呈顯著正相關；與自然度的關係不顯著（pseudo- $R^2 = 0.001$ , p-value < 0.001）（圖 2）。整體鳥種數比例與海拔（pseudo- $R^2 = 0.065$ , p-value < 0.001）、森林覆蓋度（pseudo- $R^2 = 0.040$ , p-value < 0.001）、道路密度（pseudo- $R^2 = 0.015$ , p-value < 0.001）及自

然度 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.002$ ,  $\text{p-value} = 0.017$ ) 呈顯著負相關；與土地覆蓋多樣度 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.048$ ,  $\text{p-value} < 0.001$ )、冬季溫度 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.028$ ,  $\text{p-value} < 0.001$ ) 及冬季降水量 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.050$ ,  $\text{p-value} < 0.001$ ) 呈顯著正相關 (圖 3)。

森林性候鳥隻數比例與冬季溫度 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.006$ ,  $\text{p-value} = 0.003$ ) 呈顯著負相關；與海拔 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.005$ ,  $\text{p-value} = 0.007$ )、森林覆蓋度 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.009$ ,  $\text{p-value} < 0.001$ ) 及冬季降水量 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.043$ ,  $\text{p-value} < 0.001$ ) 呈顯著正相關；與道路密度 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.001$ ,  $\text{p-value} = 0.279$ )、土地覆蓋多樣度 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.002$ ,  $\text{p-value} = 0.140$ ) 及自然度 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.001$ ,  $\text{p-value} = 0.750$ ) 的關係不顯著 (圖 4)。森林性候鳥物種數比例與冬季溫度 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.006$ ,  $\text{p-value} = 0.002$ ) 呈顯著負相關；與海拔 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.002$ ,  $\text{p-value} = 0.048$ )、森林覆蓋度 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.005$ ,  $\text{p-value} = 0.005$ ) 及冬季降水量 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.0042$ ,  $\text{p-value} < 0.001$ ) 呈顯著正相關；與道路密度 ( $\text{pseudo-R}^2 < 0.001$ ,  $\text{p-value} = 0.719$ )、土地覆蓋多樣度 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.001$ ,  $\text{p-value} = 0.212$ ) 及自然度 ( $\text{pseudo-R}^2 < 0.001$ ,  $\text{p-value} = 0.457$ ) 的關係不顯著 (圖 5)。

非森林性候鳥隻數比例與海拔 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.077$ ,  $\text{p-value} < 0.001$ )、森林覆蓋度 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.050$ ,  $\text{p-value} < 0.001$ ) 及道路密度 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.023$ ,  $\text{p-value} < 0.001$ ) 呈顯著負相關；與土地覆蓋多樣度 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.038$ ,  $\text{p-value} < 0.001$ )、冬季溫度 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.051$ ,  $\text{p-value} < 0.001$ ) 及冬季降水量 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.014$ ,  $\text{p-value} < 0.001$ ) 呈顯著正相關；與自然度 ( $\text{pseudo-R}^2 < 0.001$ ,  $\text{p-value} = 0.675$ ) 的關係不顯著 (圖 6)。非森林性候鳥物種數比例與海拔 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.111$ ,  $\text{p-value} < 0.001$ )、森林覆蓋度 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.068$ ,  $\text{p-value} < 0.001$ )、道路密度 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.019$ ,  $\text{p-value} < 0.001$ ) 及自然度 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.002$ ,  $\text{p-value} = 0.027$ ) 呈顯著負相關；與土地覆蓋多樣度 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.069$ ,  $\text{p-value} < 0.001$ )、冬季溫度 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.051$ ,  $\text{p-value} < 0.001$ ) 及冬季降水量 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.029$ ,

p-value < 0.001) 呈顯著正相關 (圖 7)。



## 二、影響候鳥比例的重要環境因子

根據前向模型選擇的結果，在整體鳥隻數比例模型中，被選入的環境因子依序是 (1) 冬季降水量 ( $\Delta AIC = 241$ )、(2) 冬季溫度 ( $\Delta AIC = 318$ )、(3) 道路密度 ( $\Delta AIC = 143$ )、(4) 森林覆蓋度 ( $\Delta AIC = 113$ )、(5) 自然度 ( $\Delta AIC = 40$ ) 與 (6) 海拔 ( $\Delta AIC = 24$ )。在森林鳥隻數比例模型中，被選入的因子依序是 (1) 冬季降水量 ( $\Delta AIC = 10$ )、(2) 海拔 ( $\Delta AIC = 1$ )、(3) 冬季溫度 ( $\Delta AIC = 1$ ) 與 (4) 自然度 ( $\Delta AIC = 1$ )。在非森林鳥隻數比例模型中，被選入的因子則依序是 (1) 海拔 ( $\Delta AIC = 73$ )、(2) 道路密度 ( $\Delta AIC = 42$ )、(3) 森林覆蓋度 ( $\Delta AIC = 12$ )、(4) 冬季降水量 ( $\Delta AIC = 19$ )、(5) 冬季溫度 ( $\Delta AIC = 12$ )、(6) 自然度 ( $\Delta AIC = 6$ ) 與 (7) 土地覆蓋多樣度 ( $\Delta AIC = 2$ ) (表 1)。

在整體鳥種數比例模型中，被選入的環境因子依序是 (1) 冬季降水量 ( $\Delta AIC = 406$ )、(2) 冬季溫度 ( $\Delta AIC = 197$ )、(3) 森林覆蓋度 ( $\Delta AIC = 103$ ) 與 (4) 道路密度 ( $\Delta AIC = 82$ )。在森林鳥種數比例模型中，僅有冬季降水量 ( $\Delta AIC = 1$ ) 被選入。在非森林鳥種比例模型中，被選入的因子則依序是 (1) 冬季降水量 ( $\Delta AIC = 35$ )、(2) 海拔 ( $\Delta AIC = 8$ ) 與 (3) 道路密度 ( $\Delta AIC = 9$ ) (表 2)。

在整體鳥隻數比例的最佳多變量模型中，整體鳥隻數比例與冬季降水量、冬季溫度及海拔呈顯著正相關 (p-value < 0.001)；與道路密度及森林覆蓋度呈顯著負相關 (p-value < 0.001)；與土地覆蓋多樣度呈不顯著負相關 (p-value = 0.130)。在森林鳥隻數比例的最佳多變量模型中，森林鳥隻數比例與冬季降水量、海拔及冬季溫度呈顯著正相關 (p-value < 0.001)；與自然度呈不顯著負相關 (p-value = 0.125)。而在非森林鳥隻數比例的最佳多變量模型中，非森林鳥隻數比例與冬季降水量、冬季溫度及自然度呈顯著正相關 (p-value < 0.001)；與道路



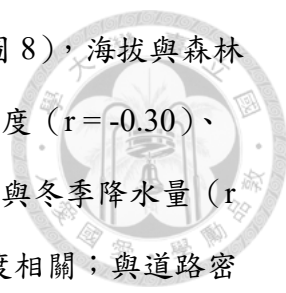
密度及森林覆蓋度呈顯著負相關 ( $p\text{-value} < 0.001$ )；與海拔 ( $p\text{-value} = 0.824$ ) 及土地覆蓋多樣度 ( $p\text{-value} = 0.299$ ) 呈不顯著負相關 (表 3)。

在整體鳥種數比例的最佳多變量模型中，整體鳥種數比例與冬季降水量及冬季溫度呈顯著正相關 ( $p\text{-value} < 0.001$ )；與森林覆蓋度及道路密度呈顯著負相關 ( $p\text{-value} < 0.001$ )。在森林鳥種數比例的最佳多變量模型中，森林鳥種數比例與冬季降水量呈顯著正相關 ( $p\text{-value} < 0.001$ )。而在非森林鳥種數比例的最佳多變量模型中，非森林鳥種數比例與冬季降水量呈顯著正相關 ( $p\text{-value} < 0.001$ )；與海拔及道路密度呈顯著負相關 ( $p\text{-value} < 0.001$ ) (表 4)。

### 三、環境因子的共線性

在整體鳥隻數比例的最佳模型中，各項環境因子與其 VIF 值依序分別為：冬季降水量 1.968、冬季溫度 4.396、道路密度 1.420、森林覆蓋度 2.161、海拔 4.925 及土地覆蓋多樣度 1.331。在森林鳥隻數比例的最佳模型中，環境因子與其 VIF 值依序分別為：冬季降水量 1.882、海拔 12.163、冬季溫度 10.828 及自然度 1.596。而在非森林鳥隻數比例的最佳模型中，環境因子與其 VIF 值則依序分別為：海拔 3.250、道路密度 2.502、森林覆蓋度 2.472、冬季降水量 2.063、冬季溫度 3.177、自然度 3.471 及土地覆蓋多樣度 1.224 (表 3)。

在整體鳥種數比例的最佳模型中，各項環境因子與其 VIF 值依序分別為：冬季降水量 1.610、冬季溫度 1.218、森林覆蓋度 1.610 及道路密度 1.216。在森林鳥種數比例的最佳模型中，由於僅有冬季降水量一項因子，因此無法計算 VIF 值。而在非森林鳥種數比例的最佳模型中，環境因子與其 VIF 值依序分別為：冬季降水量 1.008、海拔 1.042 及道路密度 1.042 (表 4)。在森林鳥隻數比例模型中，海拔及溫度的 VIF 值皆大於 10，表示這兩項因子在該模型中具有高度共線性。而在整體鳥隻數比例模型中，海拔及溫度的 VIF 值亦接近閾值，表示這兩項環境因子間的共線性相對較強。



而根據環境因子散佈圖矩陣中各因子的皮爾森相關係數（圖 8），海拔與森林覆蓋度（ $r=0.72$ ）及冬季溫度（ $r=-0.86$ ）高度相關；與道路密度（ $r=-0.30$ ）、土地覆蓋多樣度（ $r=-0.40$ ）及自然度（ $r=0.51$ ）中度相關；並與冬季降水量（ $r=-0.04$ ）低度相關。森林覆蓋度與海拔及自然度（ $r=0.74$ ）高度相關；與道路密度（ $r=-0.46$ ）、土地覆蓋多樣度（ $r=-0.34$ ）及冬季溫度（ $r=-0.61$ ）中度相關；並與冬季降水量（ $r=0.04$ ）低度相關。道路密度與自然度（ $r=-0.80$ ）高度相關；與海拔及森林覆蓋度中度相關；並與土地覆蓋多樣度（ $r=-0.24$ ）、冬季溫度（ $r=0.18$ ）及冬季降水量（ $r=0.11$ ）低度相關。土地覆蓋多樣度與海拔、森林覆蓋度、森林覆蓋度及冬季溫度（ $r=0.38$ ）中度相關；與道路密度、自然度（ $r=0.01$ ）及冬季降水量（ $r=-0.02$ ）低度相關。自然度與森林覆蓋度及道路密度高度相關；與海拔及冬季溫度（ $r=-0.31$ ）中度相關；並與土地覆蓋多樣度及冬季降水量（ $r=-0.18$ ）低度相關。冬季溫度與海拔高度相關；與森林覆蓋度、土地覆蓋多樣度、自然度及冬季降水量（ $r=-0.31$ ）中度相關；並與道路密度低度相關。而冬季降水量則與冬季溫度中度相關，與其他環境因子皆為低度相關。

#### 四、環境因子與候鳥比例之路徑分析

根據路徑模型，海拔同時影響土地覆蓋多樣度、森林覆蓋度、道路密度與冬季溫度，路徑係數分別為-0.395、0.718、-0.298 與-0.856。其中森林覆蓋度及道路密度又與自然度相關，路徑係數分別為 0.472 與-0.579。冬季降水量、冬季溫度、自然度及森林覆蓋度這四項環境因子，對整體鳥隻數比例的路徑係數分別為 0.258、0.145、0.302 與-0.273，CFI 值為 0.806（圖 10a）；對森林鳥隻數比例的路徑係數分別為 0.137、0.051、-0.042 與-0.119，CFI 值為 0.805（圖 10b）；對非森林鳥隻數比例的路徑係數則分別為 0.227、0.141、0.370 與-0.376，CFI 值為 0.809（圖 10c）。而冬季降水量、冬季溫度、自然度、森林覆蓋度與土地覆蓋多樣度對整體鳥種數比例的路徑係數分別為 0.354、0.157、0.302、-0.322 與 0.065，CFI 值

為 0.772 (圖 11a); 對森林鳥種數比例的路徑係數分別為 0.171、0.049、-0.071、0.138 與 0.006 ( $p\text{-value} = 0.46$ ), CFI 值為 0.768 (圖 11b); 對非森林鳥種數比例的路徑係數分別為 0.314、0.152、0.377、-0.433 與 0.070, CFI 值為 0.773 (圖 11c)。以上路徑關係若無特別註記, 則皆為顯著相關 ( $p\text{-value} < 0.05$ )。

## 五、臺灣本島陸域冬候鳥分布狀況預測

根據以最佳多變量模型繪製之候鳥比例分布預測圖, 臺灣本島的整體陸域候鳥隻數比例與鳥種數比例的分布狀況相似, 大致呈現隨海拔上升而降低的趨勢, 且東北部的候鳥比例較西南部高。以平地而言, 候鳥比例在都會區較低; 以山區而言, 在東北部山區的迎風面較高 (圖 5a、圖 5b)。森林性候鳥隻數比例在東北部的中高海拔處較高 (圖 5c); 而森林性候鳥物種數比例的分布則幾乎與臺灣冬季降水分布一致 (圖 5d)。非森林性候鳥隻數比例與物種數比例的分布狀況則與整體候鳥相近, 但在山區的比例明顯更低 (圖 5e、圖 5f)。

## 六、候鳥比例與 eBird 資料努力量之關係

根據整體候鳥比例與努力量之廣義線性迴歸模型的結果, 候鳥隻數比例與觀察時長呈顯著正相關 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.004, p\text{-value} < 0.001$ ) (圖 12a), 與行進距離的關係不顯著 ( $\text{pseudo-R}^2 < 0.001, p\text{-value} = 0.576$ ) (圖 12b); 而候鳥物種數比例同樣與觀察時長呈顯著正相關 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.010, p\text{-value} < 0.001$ ) (圖 12c), 與行進距離的關係亦不顯著 ( $\text{pseudo-R}^2 = 0.001, p\text{-value} = 0.058$ ) (圖 12d)。

## 討論



### 一、候鳥比例與環境因子之關係

本研究以單變量廣義線性迴歸檢驗陸域冬候鳥比例與各項環境因子的關係，其中海拔與整體候鳥隻數比例及整體候鳥物種數比例呈顯著負相關（圖 2a、圖 3a），顯示冬季時，臺灣的陸域候鳥數量及物種數皆有隨著海拔梯度上升而下降的趨勢。此結果與過去在臺灣的觀察結果相符（Shiu & Lee, 2003），也符合非洲（Karr, 1976）及墨西哥（Hutto, 1980）的研究結果。

棲地相關因子可分為植被、開發程度與棲地多樣度三個面向來分別討論。在植被方面，森林覆蓋度在單變量廣義線性模型中與整體候鳥隻數比例及整體候鳥物種數比例呈顯著負相關（圖 2b、圖 3b），顯示臺灣多數的陸域冬候鳥可能較不偏好選擇擁有較完整森林的環境作為度冬地。此結果與過去在非洲（Karr, 1976; Waltert et al., 2005）及墨西哥（Smith, 2001）的研究結果相似。不過也有研究指出，鳥類的棲地偏好在不同的空間尺度下可能會有不同的表現。例如在巴拿馬的研究顯示，有些偏好開闊棲地的鳥種在較小的空間尺度下，其數量反而隨著森林覆蓋度提高而增加，該研究作者認為此現象可能與森林的相鄰地景類型有關（Lasky & Keitt, 2010）。但由於本研究的空間尺度較廣，且環境因子資料的解析度為 1 公里，可能無法呈現出候鳥在較細尺度上的棲地偏好。此外，亦有研究提出植被垂直結構的組成對於候鳥棲地選擇的重要性，例如 Lohr（2002）的研究發現，非繁殖季候鳥偏好中層植被稀疏、底層植被茂密的環境，但本研究所使用的環境因子資料並無法反映植被的垂直結構。

在開發程度方面，道路密度在單變量廣義線性模型中與整體候鳥隻數比例及整體候鳥物種數比例呈顯著負相關（圖 2c、圖 3c）；自然度則與整體候鳥隻數比例的關係不顯著（圖 2e），但與整體候鳥物種數比例呈顯著負相關（圖 3e）。較高

的道路密度暗示著較高的人為開發程度 (DeCatanzaro et al., 2009)，且經常伴隨棲地破碎化的問題 (Cai et al., 2013)，因此本研究中道路密度與整體候鳥比例的關係，顯示臺灣陸域冬候鳥的數量及物種數可能受到人為開發的負面影響。而自然度做為開發程度的對立因子，與整體候鳥比例的關係卻不如預期，本研究認為可能的原因有二：

(1) 因計算自然度時，森林覆蓋度的權重高達 0.9，使自然度的數值受到森林覆蓋度的強烈影響，而森林覆蓋度又與海拔高度相關，亦即這幾個因子具有共線性。本研究會在後續段落中更加詳細地探討此問題。

(2) 本研究計算自然度時，各土地覆蓋類別的自然度分數含有主觀判斷的成分。例如森林自然度分數為 0.9、濕地為 1，是考量到本研究使用的臺灣陸域環境因子多時序資料集 (陳宛均等, 2020) 中並無明確區分森林類型 (如天然林、人工林)；而濕地雖然多緊鄰開發程度高的區域，但本身環境較為單純且開發程度低，因此在本研究中的自然度分數較森林為高。

在棲地多樣度方面，土地覆蓋多樣度在單變量廣義線性模型中與整體候鳥隻數比例及整體候鳥物種數比例呈顯著正相關 (圖 2d、圖 3d)，顯示臺灣的陸域冬候鳥在選擇度冬地時可能偏好棲地較多樣的環境。過去已有許多研究指出棲地多樣度對整體鳥類物種多樣性的正面影響 (MacArthur & MacArthur, 1961; Ricklefs & Lovette, 1999; Tews et al., 2004)，而本研究在此部分的結果也與過去研究相符。畢竟棲地多樣度往往反映了資源的多樣程度 (Hurlbert, 2004)，而資源的多樣程度正是影響鳥類物種豐富度的重要因子。

本研究使用的氣候因子包括冬季溫度及冬季降水量，在以這兩項因子分別做為自變量的單變量廣義線性模型中，整體候鳥隻數比例及整體候鳥物種數比例皆與冬季溫度及冬季降水量呈顯著正相關 (圖 2f、圖 3f、圖 2g、圖 3g)，顯示臺灣的陸域冬候鳥可能受到氣候影響，偏好選擇較溫暖且降水量較高的環境度冬，與全球冬候鳥的趨勢相符 (Somveille et al., 2015)。溫度與降水量對鳥類的影響機

制類似，溫度可能影響到個體層級的生理狀況 (Root, 1988a; Repasky, 1991) 以及族群層級的資源可用性 (Root, 1988b)，因此多數冬候鳥偏好選擇較溫暖的度冬地，並避開冬季較寒冷的地區 (Somveille et al., 2015)。降水量則與初級生產量密切相關，並影響環境中的資源可用性，使鳥類物種數與個體數經常與初級生產量相關 (Mönkkönen et al., 2006)。過去也曾有研究指出食物資源多寡隨冬季降水量的波動，可能影響冬候鳥在度冬地可獲得的能量，進而影響其生理狀況與春季北返的時程 (Studds & Marra, 2007)。

## 二、影響臺灣陸域冬候鳥比例之重要環境因子

在整體候鳥隻數比例及整體候鳥物種數比例的最佳多變量模型中，被選入的因子略有不同，但前四項因子皆包含冬季降水量、冬季溫度、道路密度及森林覆蓋度 (表 1、表 2)，表示這幾項因子即解釋了模型中所有因子能夠共同解釋的大部分變異。

降水量與溫度分別是第一項及第二項被選入的因子，顯示氣候因子對陸域冬候鳥的影響力較其他因子更大。該結果也呼應了 Hutto (1985) 的論點，亦即在較大的空間尺度下，氣候條件對候鳥棲地選擇的影響較其他因子更為重要，這可能是由於氣候條件經常直接或間接影響食物資源的多寡，進而成為鳥類物種多樣性的主要限制因子 (Ferber et al., 2014)。

道路密度與森林覆蓋度在整體鳥隻數比例模型中分別是第三與第四項被選入模型的因子 (表 1)，顯示當臺灣的陸域冬候鳥選擇度冬地時，人為開發程度對其影響較森林覆蓋度更大。過去也有研究指出，鳥類在不同尺度下皆可能會因為人為開發與干擾而改變其棲地偏好 (Meager et al., 2012)，表示鳥類在選擇棲地時可能會優先考量人為干擾程度，自身的棲地偏好次之。而在整體鳥種數比例模型中，森林覆蓋度則比道路密度更早被選入 (表 2)，可能表示棲地偏好對於物種層級的重要性仍大於開發程度。儘管如此，這兩項因子仍是影響臺灣陸域冬候鳥棲

地選擇的重要因子，僅次於冬季降水量與溫度。此外，Waltert 等人 (2005) 在非洲的研究發現不同食性的鳥類在棲地偏好上也有所差異：雜食性與以果實為食的鳥種多樣性在不同類型的棲地間沒有顯著差異；以種子為食與訪花性的鳥種偏好農地等較開闊的棲地類型；以昆蟲為食的鳥類則顯著偏好森林環境。因此未來或許可以更進一步檢視不同食性的陸域候鳥物種在開發程度及森林覆蓋梯度上的棲地偏好。

在整體鳥隻數比例的最佳多變量模型中，還有海拔及土地覆蓋類別兩項在鳥種數比例模型中未被選入的因子。雖然海拔在單變量廣義線性模型中能夠以單一因子分別解釋 3.5% 鳥隻數比例及 6.5% 鳥種數比例的變異 (圖 2a、圖 3a)，是所有因子中最高的，但在鳥隻數比例最佳多變量模型中卻是倒數第二項的因子，在鳥種數比例最佳多變量模型中甚至未被選入。且海拔在多變量模型中與鳥隻數比例呈顯著正相關，和在單變量模型中與候鳥比例的關係相反。本研究認為上述結果可能是由於海拔及自然度與其他多個因子高度相關，而這些因子解釋了模型中能夠解釋的多數變異。

雖然整體候鳥比例多變量模型中所有環境因子的 VIF 值皆低於 5，但海拔與冬季溫度在整體候鳥隻數比例模型中的 VIF 值仍相對較高 (表 3)。以臺灣本島而言，海拔是與最多項其他因子相關的環境因子。環境因子散佈圖矩陣的結果 (圖 8) 顯示海拔與森林覆蓋度及冬季溫度高度相關，且與道路密度、土地覆蓋多樣度及自然度中度相關。此外，自然度也與森林覆蓋度及道路密度高度相關。顯示即使環境因子的共線性低於閾值，彼此間仍有相關關係存在，並可能影響模型結果。

### 三、環境因子的因果關係與直接影響候鳥比例之環境因子

在整體候鳥隻數比例與整體候鳥物種數比例的路徑模型中，海拔除了與溫度呈負相關 (路徑係數 = -0.856)，也因為臺灣多數人口集中於平地的緣故，使得平

地與低海拔地區的道路密度較高（路徑係數=-0.298）。開發程度與海拔呈負相關的結果，則使得中高海拔相對保留較多未被開發的森林，森林覆蓋度因此較平地與低海拔高（路徑係數=0.718），中高海拔的土地覆蓋類型也因此較為單調（路徑係數=-0.395）。而自然度在計算方式上直接受到森林覆蓋度的影響（路徑係數=0.421），且與代表開發程度的道路密度高度負相關（路徑係數=-0.608），因此也間接被海拔影響，使海拔與自然度呈現正相關（圖 10、圖 11）。這也表示，臺灣陸域冬候鳥比例隨海拔梯度上升而下降的趨勢並非是直接被海拔影響，而是包含與海拔相關的因子對候鳥隻數及物種數比例的影響。

以路徑模型釐清環境因子間的因果關係後，便能較清楚地呈現直接影響候鳥比例的環境因子，並透過路徑係數了解其相對的重要性。自然度在整體候鳥隻數比例的路徑模型中擁有最高的路徑係數；在整體候鳥物種數比例模型中則為第三高，顯示度冬地的自然度對整體候鳥的個體數而言仍是一項重要的影響因子。自然度在計算上雖不盡完美，且同時與許多其他因子相關，使其在單變量與多變量模型中的解釋力較弱，但能夠同時反映所有土地覆蓋類別的開發程度並整合為一項單一指標，因此仍有其價值。降水量在兩個模型中對候鳥比例皆仍有重要影響，在整體鳥隻數比例與整體鳥種數比例模型中的路徑係數分別為 0.258 與 0.354；而溫度的影響力則相對較小，在鳥隻數比例與鳥種數比例模型中的路徑係數分別為 0.145 與 0.157，該結果與多變量模型的結果雷同，皆指出在氣候因子當中，降水量對臺灣陸域候鳥個體數及物種數的影響較溫度的影響為大。森林覆蓋度是兩個模型中唯一與候鳥比例負相關的因子，顯示雖然森林覆蓋度會透過自然度對候鳥比例間接產生正面影響，但本身仍對候鳥比例有直接的負面影響。而土地覆蓋多樣度在鳥種數比例模型中的路徑係數最低（0.065），但仍與鳥種數比例呈正相關，顯示即便多數其他因子對臺灣陸域候鳥物種數的影響更大，棲地多樣度仍與其有穩定的關係。而值得注意的是，兩個整體候鳥比例路徑模型中的 CFI 值皆未達良好適配的標準，表示模型中可能尚有其他未考慮到的因子。






#### 四、臺灣本島陸域冬候鳥比例分布狀況

根據以整體候鳥比例最佳多變量模型預測的結果（圖 9），臺灣本島的陸域冬候鳥比例在東北部較高，可能反映了東北季風帶來的降水量對候鳥比例的影響。不過此現象還可能有另一種解釋：Someville 等人（2015）曾提出，候鳥選擇度冬地時，會同時權衡氣候條件與遷徙所需的能量，選擇氣候適宜且不需遷徙過遠的距離便可抵達的地點度冬。因此臺灣本島東北部對於來臺度冬的陸域候鳥而言，可能同時具有氣候與地理位置的優勢，使陸域冬候鳥的分布狀況反映了降水量與距繁殖地距離這兩項因素的影響。此外，候鳥比例隨溫度與森林覆蓋梯度的分布狀況亦被呈現在圖中，印證了過往觀察到候鳥物種數隨海拔上升而下降的趨勢（Shiu & Lee, 2003）。而在臺北、桃園、新竹、臺中、嘉義市、臺南與高雄這幾處人口較密集的都會區，雖然位於平地但候鳥比例仍低，反映了人為開發對候鳥的影響。

需注意的是，本結果僅呈現了臺灣本島各處陸域冬候鳥比例在的高低，並不等於實際上候鳥多樣性的分布狀況，是以比例計算的缺點之一。且本研究未考量候鳥在遷徙路徑上的分布狀況與環境偏好。過去有研究顯示，季節性遷徙的候鳥在度冬地與繁殖地具有相似的棲地偏好（Baumann, 2000; Trierweiler et al., 2013; Stanley et al., 2021），因此本研究的結果也有可能僅是反映了這些候鳥物種在繁殖地的棲地偏好。而也有研究指出，候鳥在過境期間的棲地選擇較繁殖地與度冬地具有更大的彈性（Zuckerberg et al., 2016; Stanley et al., 2021），因此若欲更加了解東亞陸域候鳥的環境偏好，以遷徙線尺度進行探討也是未來可行的方向。

#### 五、森林性與非森林性候鳥之比較

森林性及非森林性候鳥比例與環境因子的關係略有不同，其中以森林覆蓋度和土地覆蓋多樣度的關係差異較符合預期。在單變量模型中，森林性候鳥的隻數



及物種數比例皆與森林覆蓋度呈顯著正相關（圖 4b、圖 5b），非森林性候鳥則呈顯著負相關（圖 6b、圖 7b）。而海拔（圖 4a、圖 5a、圖 6a、圖 7a）及溫度（圖 4f、圖 5f、圖 6f、圖 7f）則因與森林覆蓋度關係密切，因此在森林性與非森林性候鳥的單變量模型中有相反的趨勢。而在路徑分析中，溫度對兩者皆有直接的正面影響，顯示森林性候鳥仍偏好溫暖的環境。而森林覆蓋度對非森林性候鳥比例的負面影響（圖 10c、圖 11c），相較於對森林性候鳥比例的正面影響（圖 10b、圖 11b）更為顯著。這可能是因為本研究中的許多森林性鳥種並非對森林高度專一，而是同時具有使用森林邊緣或是其他棲地的習性（例如極北柳鶯、赤腹鸕、樹鸚等）；相對地，非森林性鳥種則大多受限於非森林棲地（例如黑喉鵪、大花鸚、灰頭黑臉鵪等），Hutto（1980）也曾提出候鳥相較於留鳥更善於探索不同棲地類型的論點，可以支持此推測。

在鳥種數比例的路徑模型中，土地覆蓋多樣度對森林鳥種數比例的關係並不顯著（圖 11b），對非森林鳥種數比例才有顯著關係（圖 11c），顯示棲地的多樣程度對非森林鳥種有較重要的影響，與過去的研究結果相符（Morante-Filho et al., 2018）。而在多變量模型中，降水量對森林及非森林性候鳥皆是最重要的因子，且皆呈顯著正相關。顯示不論是何種棲地偏好的候鳥物種，皆偏好以降水量較高的地點作為度冬地，但其背後的機制究竟是與初級生產量帶來的食物資源有關，抑或是鳥類遷徙時將能量消耗最佳化的結果，仍有待證實。不過森林性候鳥隻數比例模型中有兩項因子具有高度共線性（表 3）；而森林性候鳥物種數比例的模型中則是僅有降水量一項因子（表 4），因此針對森林性候鳥的多變量模型與分布預測，參考價值可能較低。且在森林性候鳥的單變量模型中，道路密度（圖 4c、圖 5c）、土地覆蓋多樣度（圖 4d、圖 5d）及自然度（圖 4e、圖 5e）皆與候鳥比例無顯著相關，而這可能是由於 eBird 在山區資料較少，使森林性候鳥比例的資料結構極度右偏，且含有大量比例為 0 的紀錄（附錄 3），進而影響統計結果。




## 六、使用 eBird 資料的優勢與限制

本研究以 eBird 資料計算出的候鳥比例與各項環境因子之關係大致與過往研究相符，顯示公民科學資料在適當處理過後，可以探討較廣尺度的物種—環境關係。但每一項環境因子在單變量模型中能解釋的變異都不高，最高者也僅有 6.5%，其餘則皆低於 5.0%（圖 2、圖 3）。這除了暗示候鳥比例不會只受到單一因子影響，也顯示 eBird 資料即使經過篩選仍可能存在不小的變異。根據候鳥比例與努力量迴歸模型的結果，在剔除努力量過低與過高、以及紀錄物種數過低的清單後，候鳥隻數比例及候鳥物種數比例仍與觀察時長顯著正相關（圖 12a、圖 12c），表示清單努力量的不均勻可能是造成本研究中候鳥比例變異大的可量化原因之一。但觀察時長僅能解釋 0.4%候鳥隻數比例及 1.0%候鳥物種數比例的變異，或許每位使用者紀錄習慣與鳥類偵測能力的不同也是造成候鳥比例變異大的另一原因（Yu et al., 2014）。

過去在臺灣探討陸域冬候鳥與環境因子關係的研究僅使用了 24 個地點的資料進行分析，且研究地點的環境多為成熟林（Shiu & Lee, 2003）。而本研究得位於 eBird 的龐大資料量，共使用了 15759 筆紀錄清單進行分析，清單分布大致涵蓋了臺灣本島的各種土地覆蓋及氣候類型（圖 1），且 eBird 資料相較於系統性調查更容易偵測到稀有或遷徙性的物種（Callaghan et al., 2018）。但在中高海拔山區或道路不及之處的資料仍較少或缺乏，反映了 eBird 資料空間分布不均與資料空缺的問題。在環境因子散佈圖矩陣中，也能發現本研究所分析之紀錄清單多位於平地與低海拔，因此大多為森林覆蓋度低且較為溫暖的環境（圖 8）。綜上所述，eBird 資料本身雖有其問題與限制，但若使用適當的統計方法降低這些問題的影響，其充足的資料量將有助於取得比過往相似研究更加全面的結果。

## 結論



本研究以 eBird 資料探討影響臺灣陸域冬候鳥的環境因子，結果顯示臺灣的陸域冬候鳥在氣候方面偏好降水量較高且較溫暖的環境；在棲地方面則偏好開發程度與森林覆蓋度較低、且棲地多樣度較高的環境，其中又以降水量與開發程度的影響力較為顯著。而除了降水量以外，多數環境因子與海拔具有共線性或因果關係，顯示候鳥比例與海拔的負向關係實際上是包含了諸多環境因子對候鳥的影響。而森林性和非森林性候鳥與環境因子的關係則略有不同，森林性候鳥偏好森林覆蓋度較高的環境，與棲地多樣度無顯著關係；非森林性候鳥則偏好森林覆蓋度低、且棲地多樣度高的環境，但兩者皆偏好降水量高且溫暖的環境。本研究以候鳥比例與環境因子的多變量模型預測臺灣本島陸域冬候鳥的分布狀況，彌補 eBird 資料較少或缺乏之處，並發現以 eBird 紀錄清單為分析單位可能是造成本研究資料變異大的原因。本研究得益於公民科學的力量，對臺灣陸域候鳥在度冬地時的環境偏好取得初步了解，而更細或更廣尺度的研究，以及其背後的機制，皆是將來可持續研究的方向。

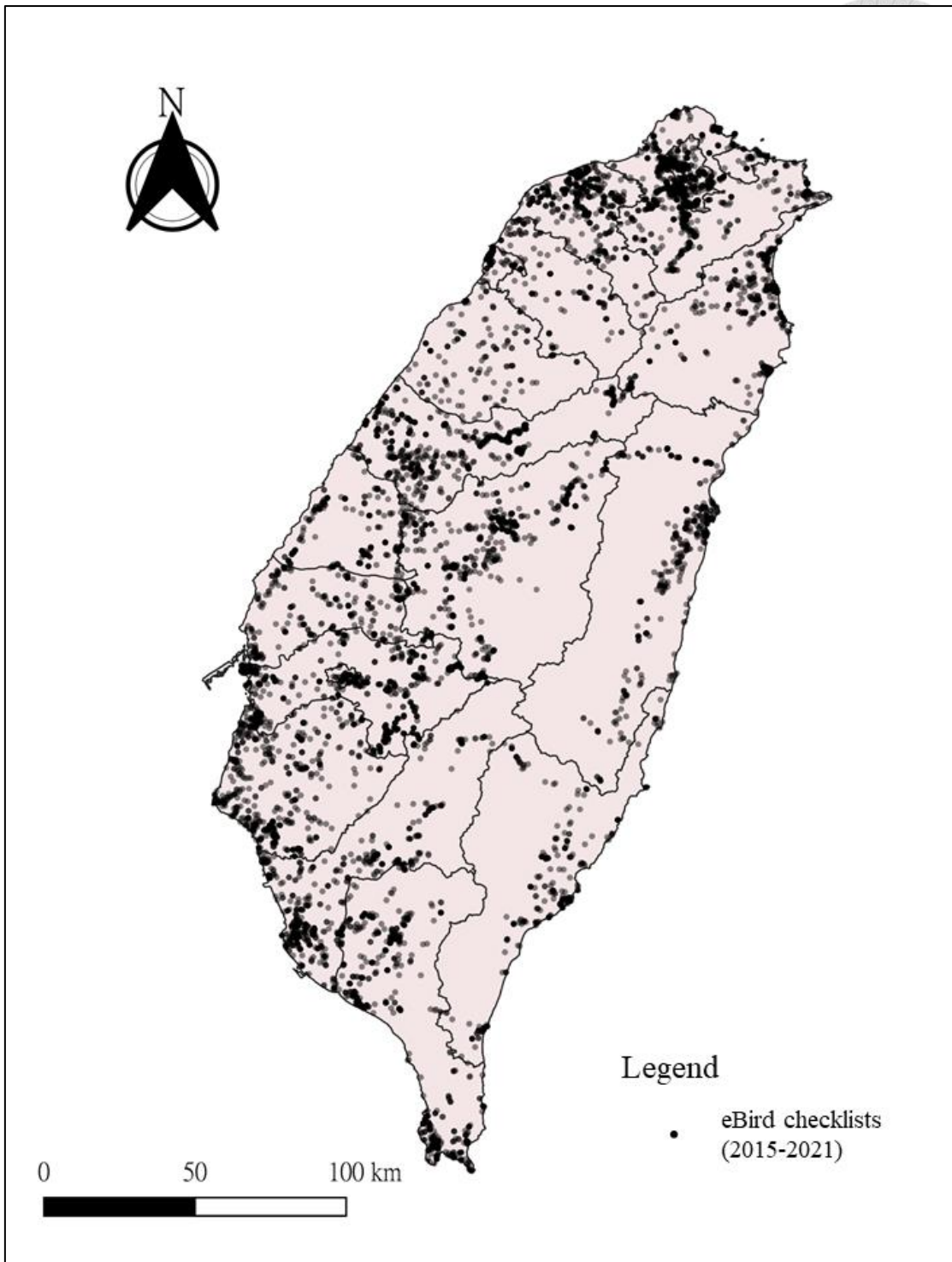


圖 1 、納入分析之紀錄清單分布圖。

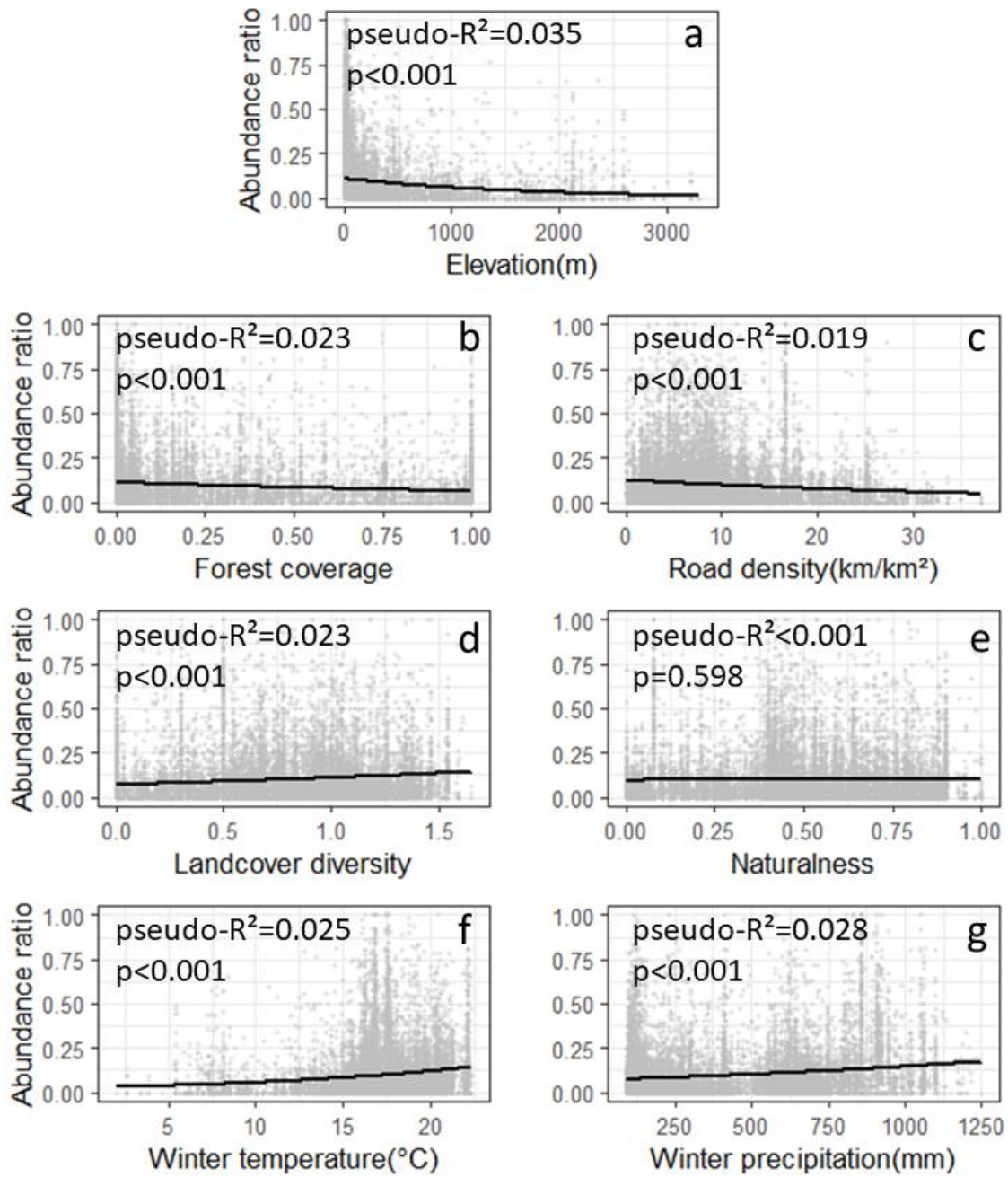


圖 2、整體候鳥隻數比例與各環境因子之單變量廣義線性迴歸模型。a、海拔；  
 b、森林覆蓋度；c、道路密度；d、土地覆蓋多樣度；e、自然度；f、冬季溫度；  
 g、冬季降水量

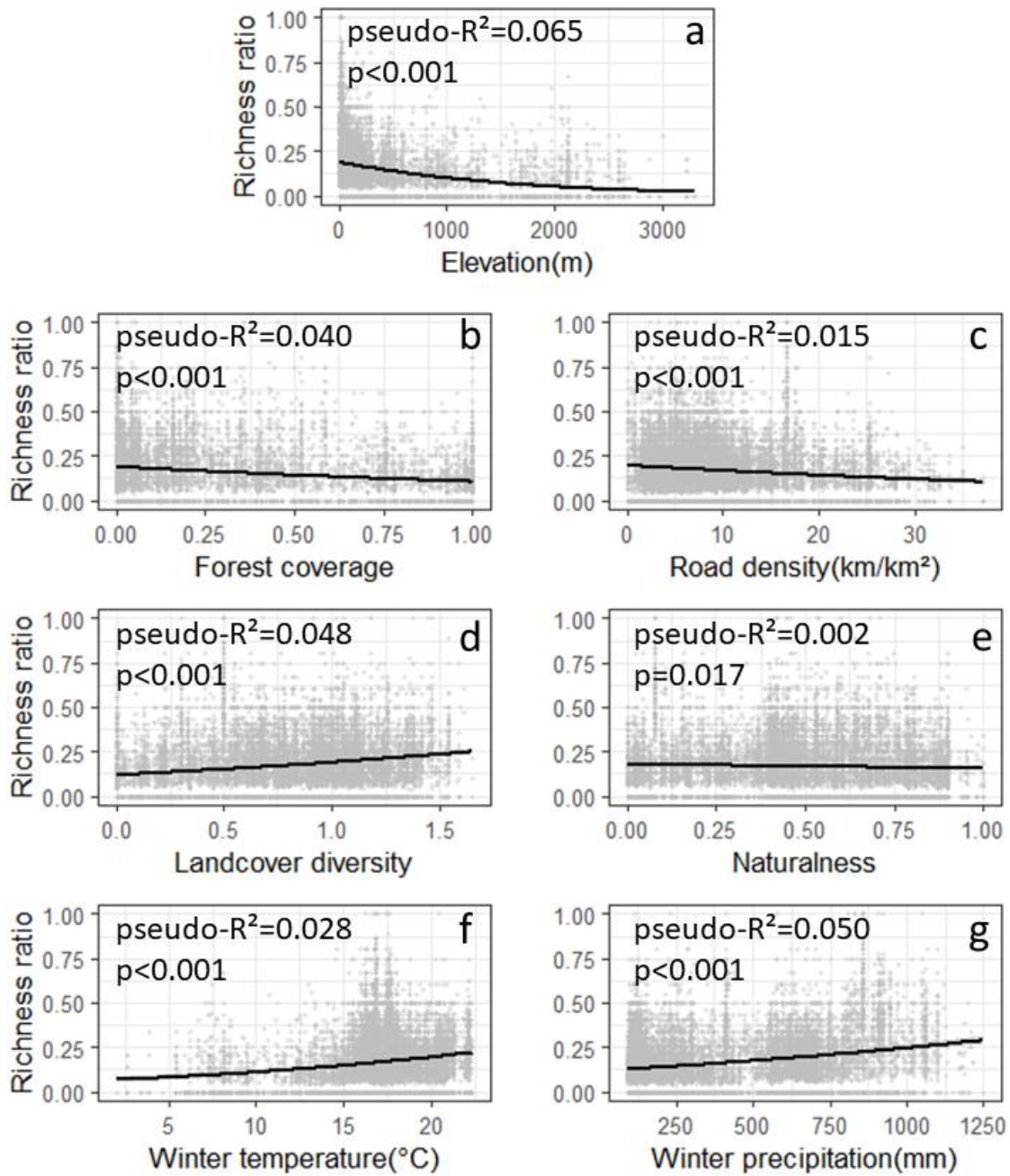


圖 3、整體候鳥物種數比例與各環境因子之單變量廣義線性迴歸模型。a、海拔；b、森林覆蓋度；c、道路密度；d、土地覆蓋多樣度；e、自然度；f、冬季溫度；g、冬季降水量

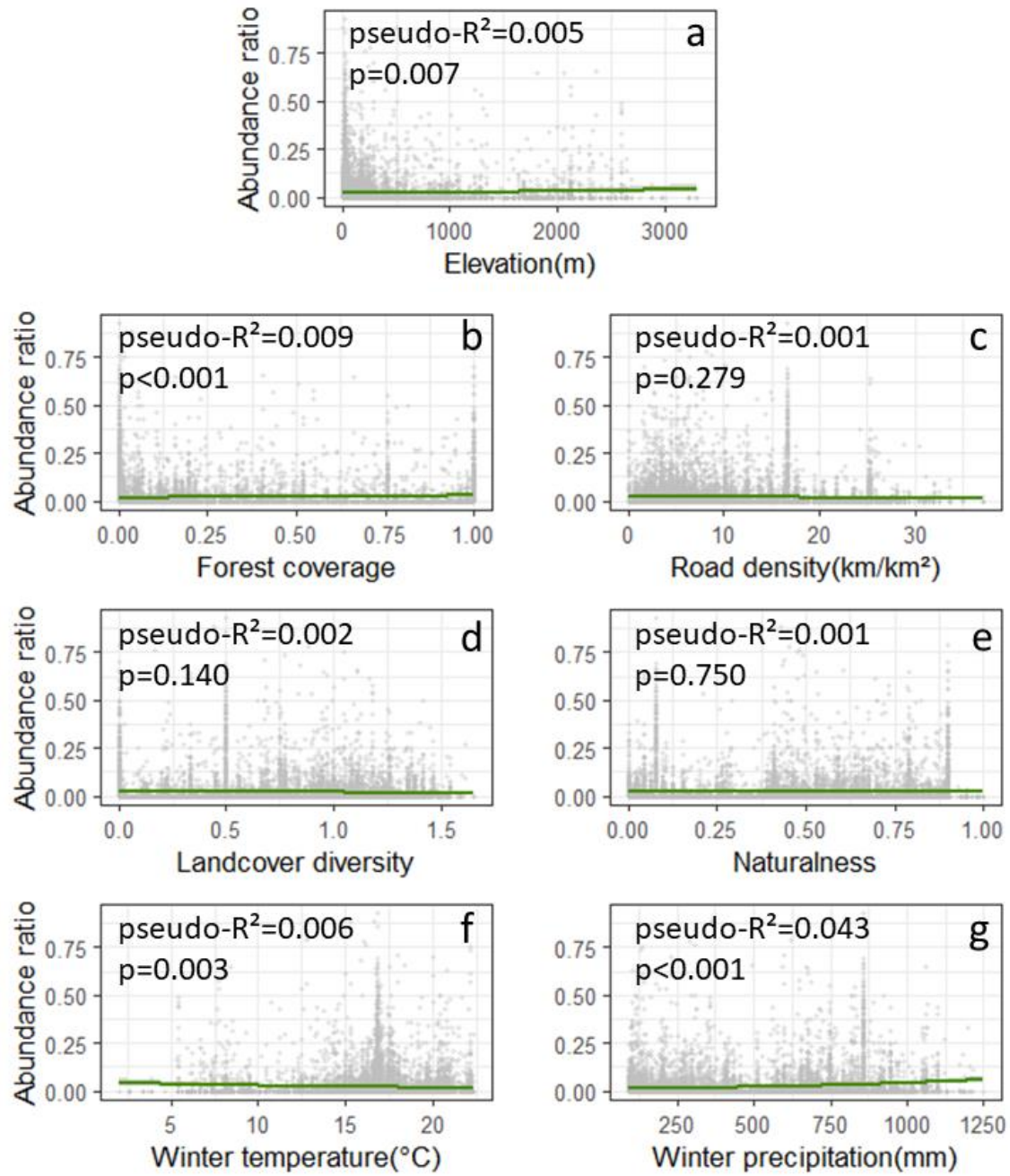


圖 4、森林性候鳥隻數比例與各環境因子之單變量廣義線性迴歸模型。a、海拔；b、森林覆蓋度；c、道路密度；d、土地覆蓋多樣度；e、自然度；f、冬季溫度；g、冬季降水量



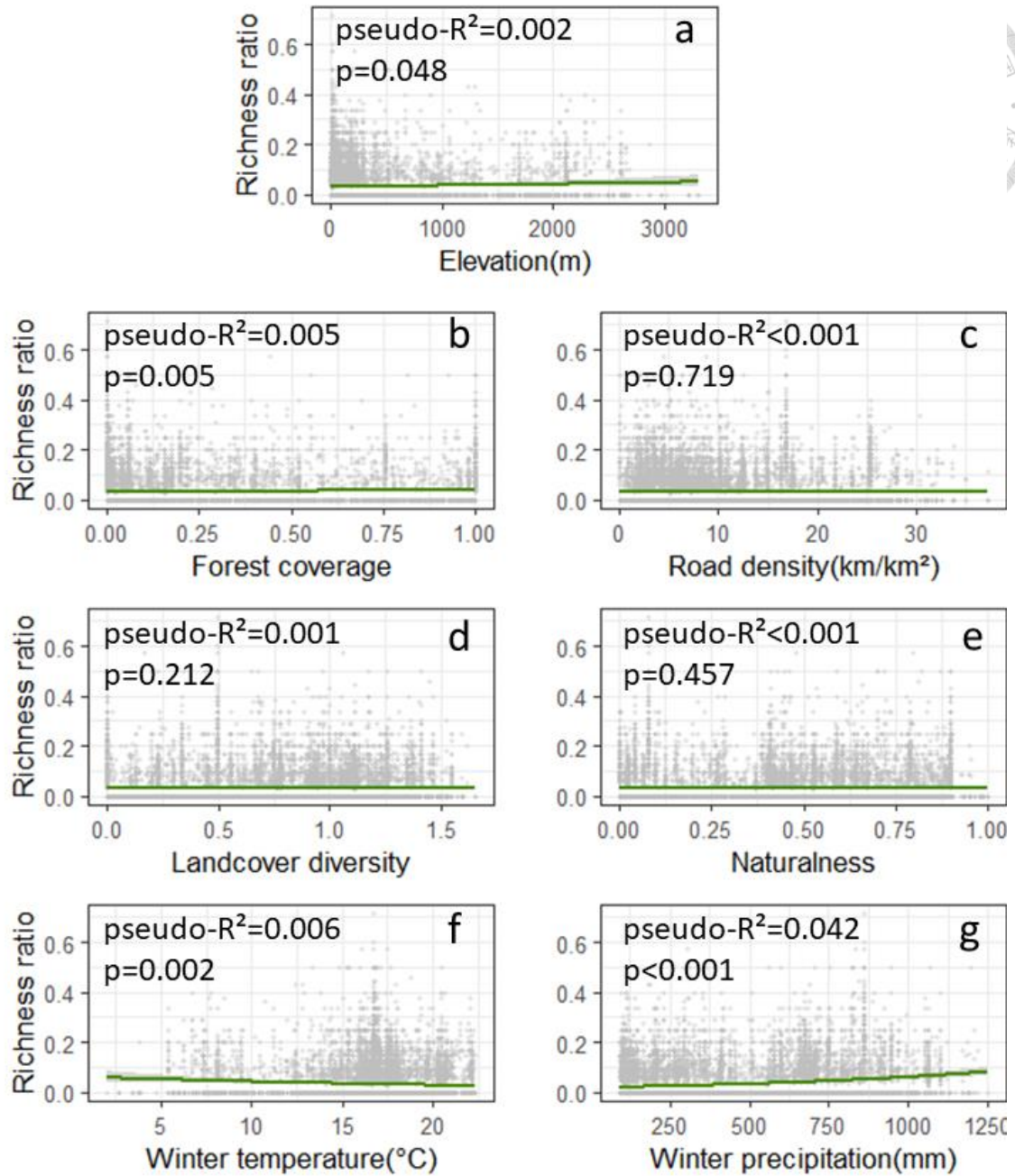


圖 5、森林性候鳥物種數比例與各環境因子之單變量廣義線性迴歸模型。a、海拔；b、森林覆蓋度；c、道路密度；d、土地覆蓋多樣度；e、自然度；f、冬季溫度；g、冬季降水量

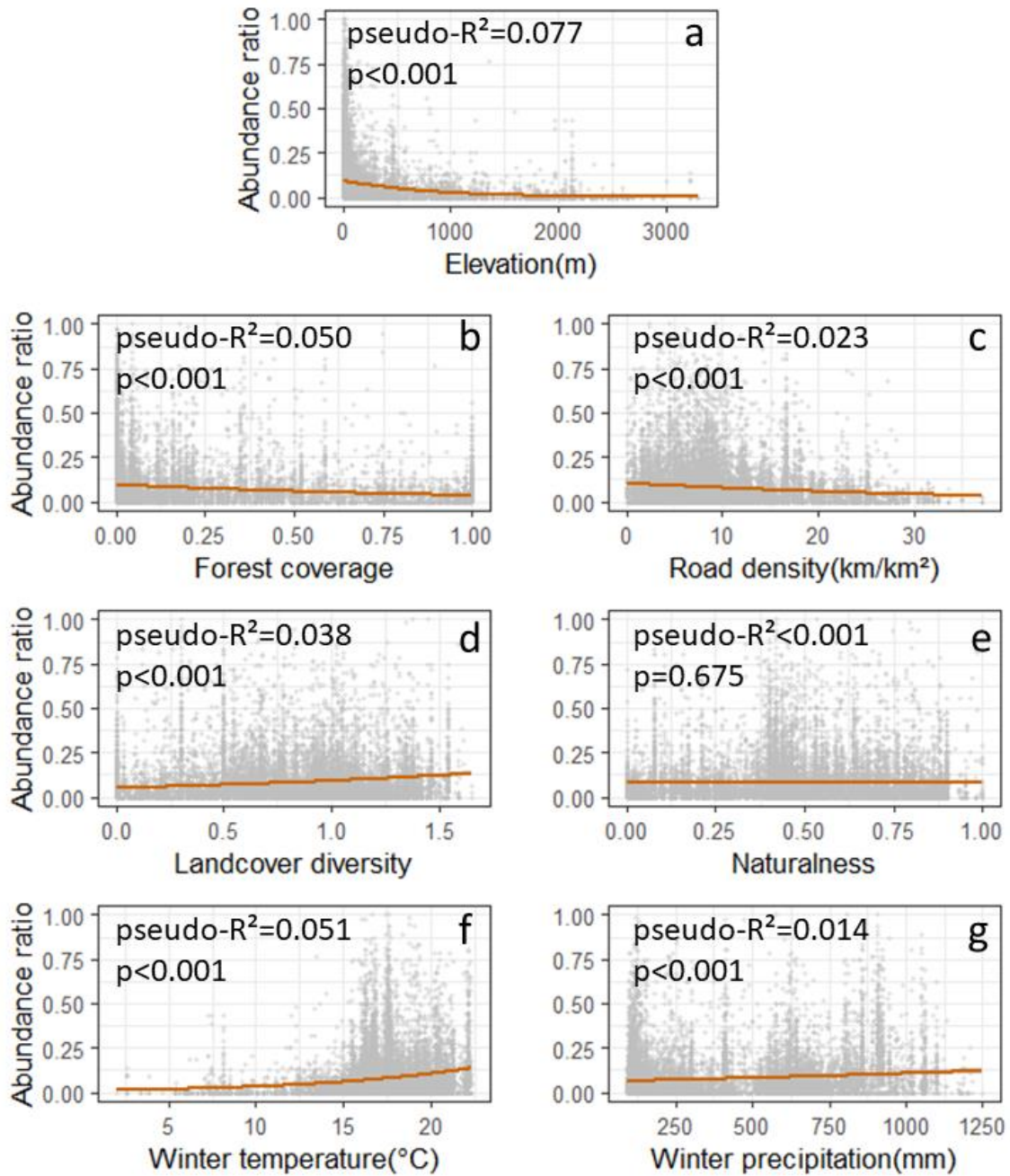


圖 6、非森林性候鳥隻數比例與各環境因子之單變量廣義線性迴歸模型。a、海拔；b、森林覆蓋度；c、道路密度；d、土地覆蓋多樣度；e、自然度；f、冬季溫度；g、冬季降水量

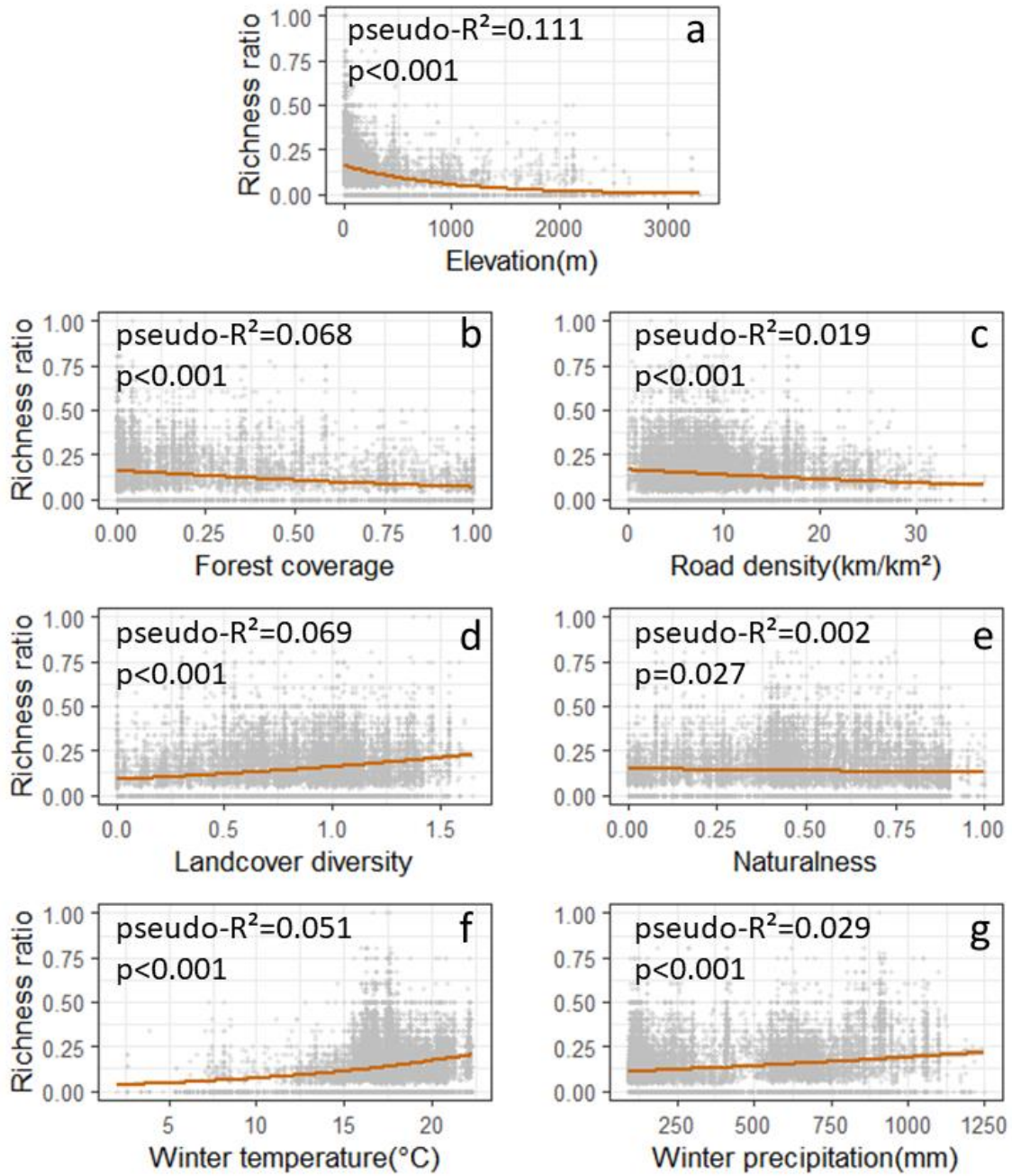


圖 7、非森林性候鳥物種數比例與各環境因子之單變量廣義線性迴歸模型。a、海拔；b、森林覆蓋度；c、道路密度；d、土地覆蓋多樣度；e、自然度；f、冬季溫度；g、冬季降水量

表 1、候鳥隻數比例與各項環境因子之多變量前向模型選擇。環境因子包括：  
Prec-冬季降水量、Temp-冬季溫度、Road-道路密度、Forest-森林覆蓋度、Nat-自然  
然度、Elev-海拔、Div-土地覆蓋多樣度。

Step	Model	AIC	$\Delta$ AIC
<b>Abundance ratio of wintering species</b>			
1	Null model	15488	
2	Prec	15247	241
3	Prec + Temp	14929	318
4	Prec + Temp + Road	14786	143
5	Prec + Temp + Road + Forest	14673	113
6	Prec + Temp + Road + Forest + Nat	14633	40
7	Prec + Temp + Road + Forest + Nat + Elev	14609	24
<b>Abundance ratio of forest wintering species</b>			
1	Null model	981	
2	Prec	971	10
3	Prec + Elev	970	1
4	Prec + Elev + Temp	969	1
5	Prec + Elev + Temp + Nat	968	1
<b>Abundance ratio of non-forest wintering species</b>			
1	Null model	3946	
2	Elev	3873	73
3	Elev + Road	3831	42
4	Elev + Road + Forest	3819	12
5	Elev + Road + Forest + Prec	3800	19
6	Elev + Road + Forest + Prec + Temp	3788	12
7	Elev + Road + Forest + Prec + Temp + Nat	3782	6
8	Elev + Road + Forest + Prec + Temp + Nat + Div	3780	2

表 2、候鳥物種數比例與各項環境因子之多變量前向模型選擇。環境因子包括：Prec-冬季降水量、Temp-冬季溫度、Road-道路密度、Forest-森林覆蓋度、Elev-海拔。

Step	Model	AIC	$\Delta$ AIC
<b>Richness ratio of wintering species</b>			
1	Null model	6813	
2	Prec	6685	128
3	Prec + Temp	6660	25
4	Prec + Temp + Forest	6656	4
5	Prec + Temp + Forest + Road	6646	10
<b>Richness ratio of forest wintering species</b>			
1	Null model	1024	
2	Prec	1025	1
<b>Richness ratio of non-forest wintering species</b>			
1	Null model	5144	
2	Prec	5109	35
3	Prec + Elev	5101	8
4	Prec + Elev + Road	5092	9

表 3、候鳥隻數比例之最佳多變量模型與各項環境因子之 VIF 值

Model	Variable	Regression coefficient (Estimate)	p-value	VIF
Abundance ratio of wintering species				
	(Intercept)	-5.4012		
	Winter precipitation(mm)	0.0016	<0.001	1.968
	Winter temperature(°C)	0.1832	<0.001	4.396
	Road density(km/km <sup>2</sup> )	-0.0570	<0.001	1.420
	Forest coverage	-1.0666	<0.001	2.161
	Elevation(m)	0.0006	<0.001	4.925
	Landcover diversity	-0.1091	0.13	1.331
Abundance ratio of forest wintering species				
	(Intercept)	-9.9846		
	Winter precipitation(mm)	0.0024	<0.001	1.882
	Elevation(m)	0.0018	<0.001	12.163
	Winter temperature(°C)	0.2731	<0.001	10.828
	Naturalness	-0.3824	0.125	1.596
Abundance ratio of non-forest wintering species				
	(Intercept)	-4.9940		
	Elevation(m)	-0.0001	0.824	3.250
	Road density(km/km <sup>2</sup> )	-0.0511	<0.001	2.502
	Forest coverage	-1.5970	<0.001	2.472
	Winter precipitation(mm)	0.0014	<0.001	2.063
	Winter temperature(°C)	0.1366	<0.001	3.177
	Naturalness	0.7749	<0.001	3.471
	Landcover diversity	-0.0829	0.299	1.224

表 4、候鳥物種數比例之最佳多變量模型與各項環境因子之 VIF 值

Model	Variable	Regression coefficient (Estimate)	p-value	VIF
Richness ratio of wintering species				
	(Intercept)	-2.9840		
	Winter precipitation(mm)	0.0013	<0.001	1.610
	Winter temperature(°C)	0.0826	<0.001	1.218
	Forest coverage	-0.8315	<0.001	1.610
	Road density(km/km <sup>2</sup> )	-0.0461	<0.001	1.216
Richness ratio of forest wintering species				
	(Intercept)	-4.0704		
	Winter precipitation(mm)	0.0013	<0.001	NA
Richness ratio of non-forest wintering species				
	(Intercept)	-4.9940		
	Winter precipitation(mm)	0.0009	<0.001	1.008
	Elevation(m)	-0.0009	<0.001	1.042
	Road density(km/km <sup>2</sup> )	-0.0373	<0.001	1.042

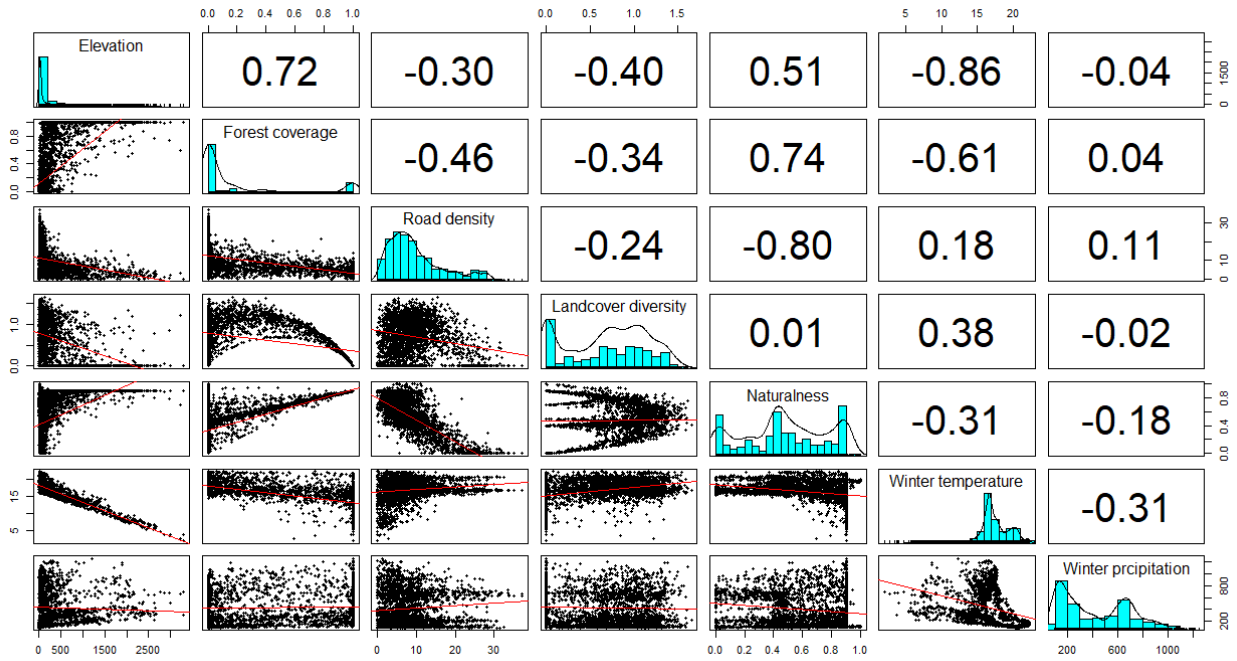


圖 8、各項環境因子之散佈圖矩陣。右上部分為各項環境因子間之皮爾森相關係數；對角線部分為各項環境因子之資料分布；左下部分為各項環境因子間之散佈圖。



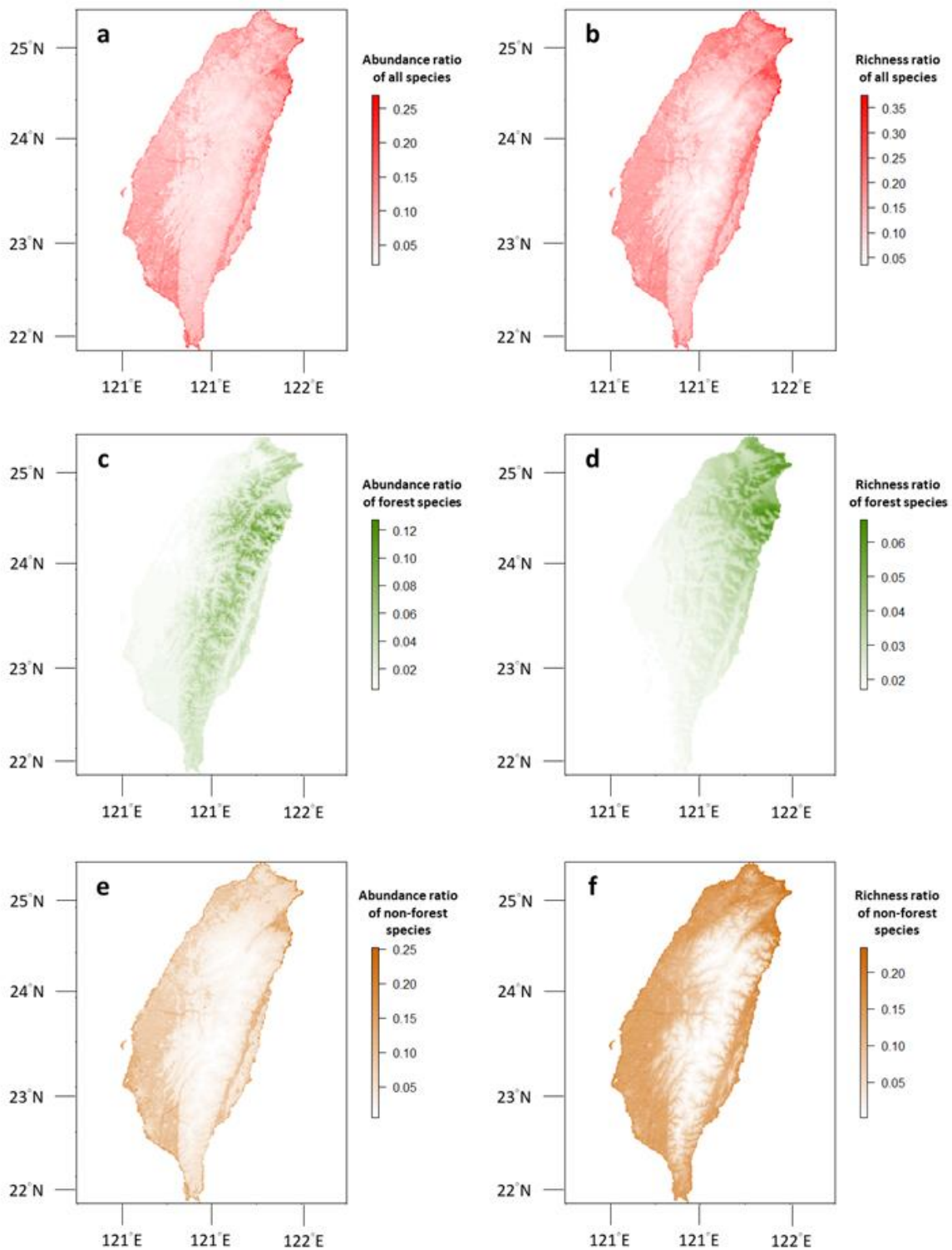


圖 9、臺灣本島陸域冬候鳥比例分布預測圖。a、整體候鳥隻數比例；b、整體候鳥物種數比例；c、森林性候鳥隻數比例；d、森林性候鳥物種數比例；e、非森林性候鳥隻數比例；f、非森林性候鳥物種數比例。

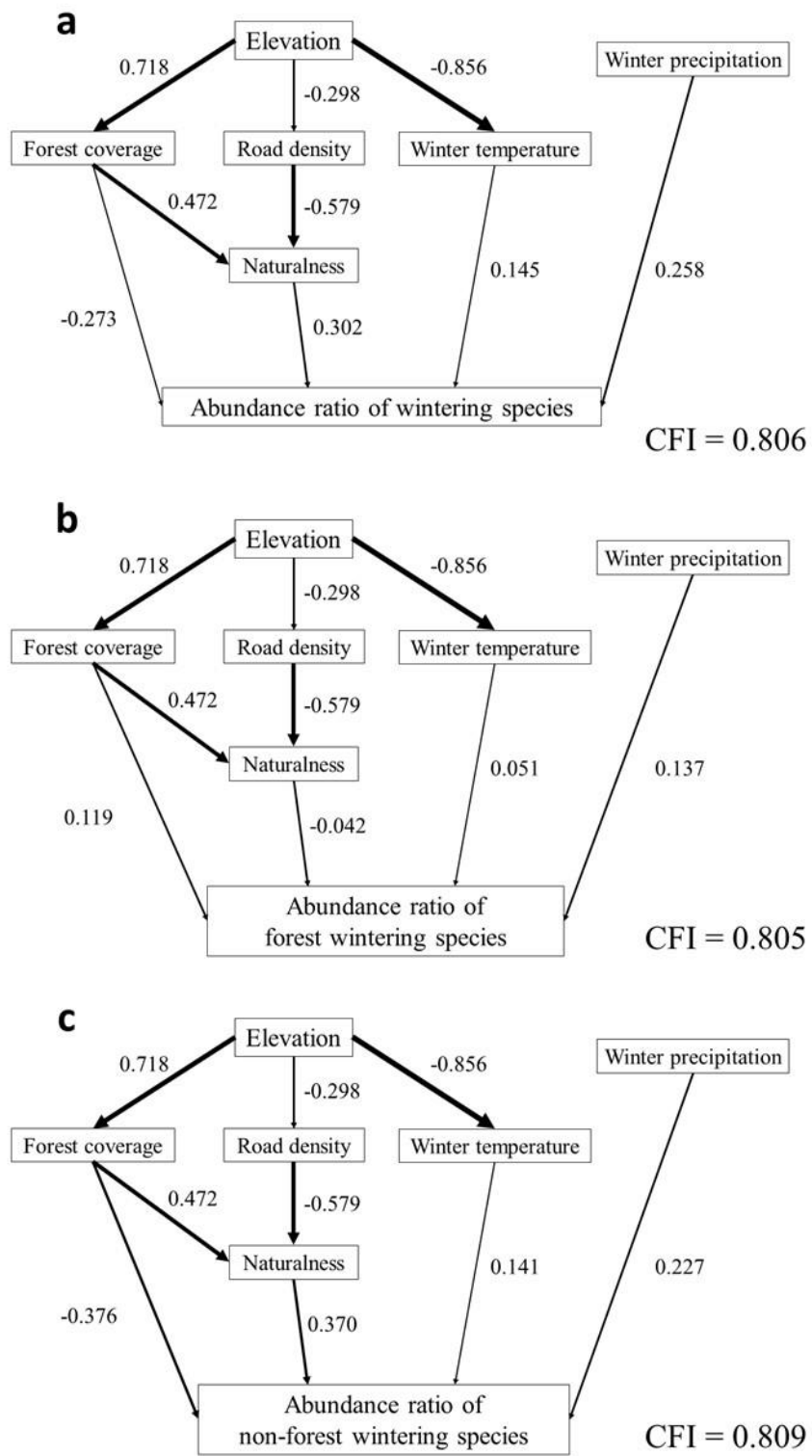


圖 10、候鳥隻數比例與環境因子之路徑模型。箭頭粗細表示路徑係數的大小。

a、整體候鳥隻數比例；b、森林性候鳥隻數比例；c、非森林性候鳥隻數比例。

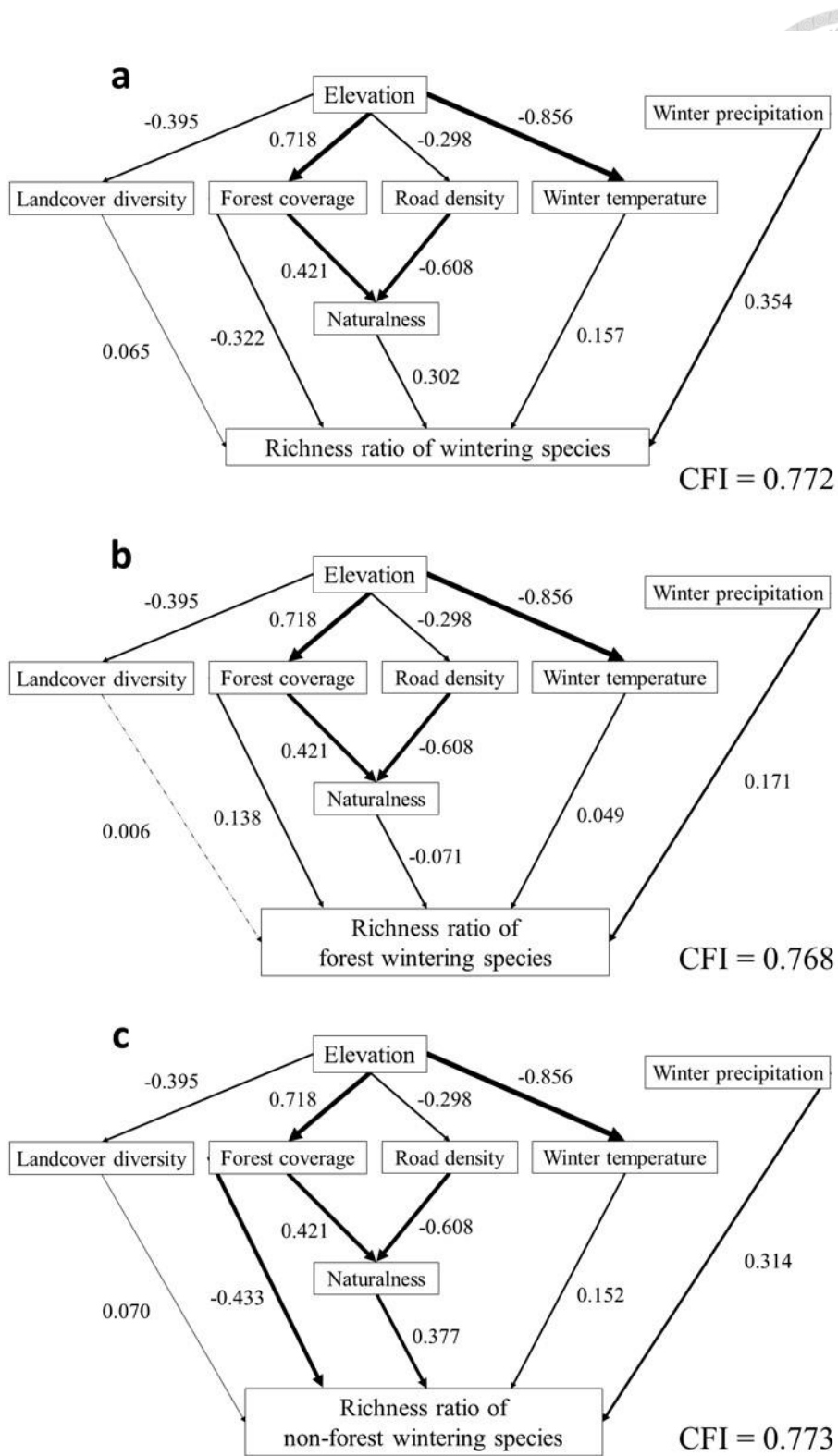


圖 11、候鳥物種數比例與環境因子之路徑模型。箭頭粗細表示路徑係數的大小，實線為顯著關係，虛線為不顯著關係。a、整體候鳥物種數比例；b、森林性候鳥物種數比例；c、非森林性候鳥物種數比例。

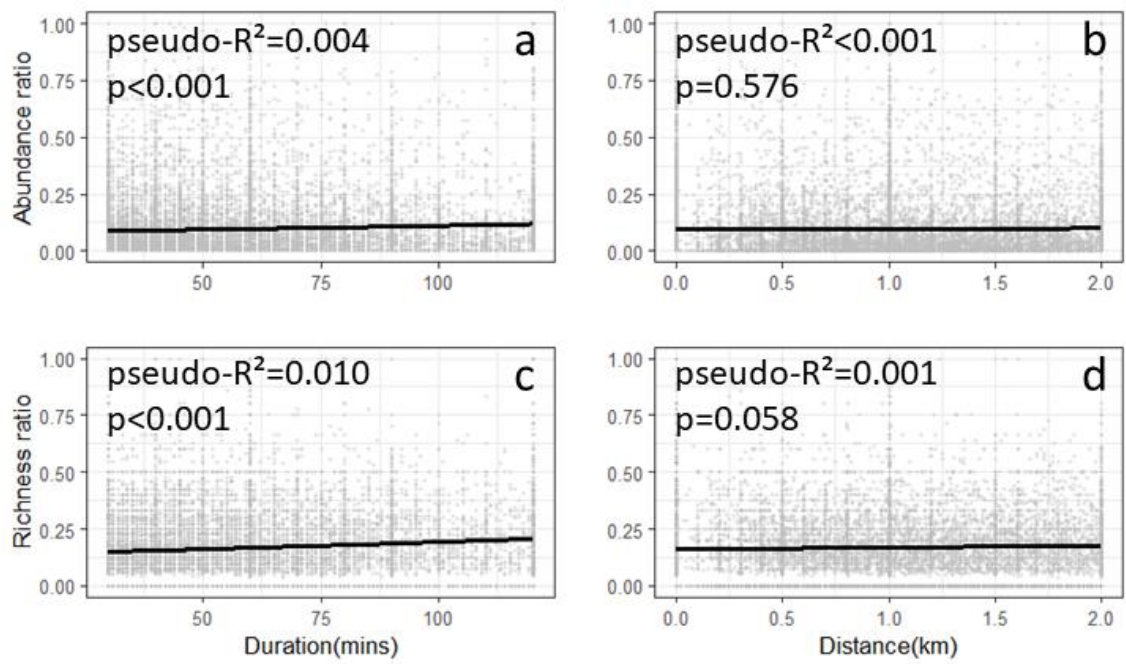


圖 12、候鳥比例與清單努力量之單變量廣義線性迴歸模型。a、鳥隻數比例與觀察時長；b、鳥隻數比例與行進距離；c、鳥種數比例與觀察時長；d、鳥種數比例與觀察距離。

## 參考文獻



- 丁宗蘇、吳森雄、吳建龍、阮錦松、林瑞興、楊玉祥、蔡乙榮。2023。2023年臺灣鳥類名錄。中華民國野鳥學會。臺北，臺灣。
- 行政院農委會林務局。2014。第四次森林資源調查報告。行政院農委會林務局。臺北，臺灣。
- 陳宛均、羅祈鈞、蔡富安、張安瑜。2020。運用開放資料建置臺灣陸域環境因子多時序資料集。 *台灣生物多樣性研究*, 22(1), 13-44。
- 黃婉如。2010。金門農耕地之棲地變化及地景組成與鳥類群聚之影響。國立臺灣大學森林環境暨資源學系碩士論文。
- 劉小如、丁宗蘇、方偉宏、林文宏、蔡牧起、顏重威。2012。臺灣鳥類誌(第二版)。行政院農委會林務局。臺北。臺灣。
- Amaya-Espinel, J. D., & Hostetler, M. E. (2019). The value of small forest fragments and urban tree canopy for Neotropical migrant birds during winter and migration seasons in Latin American countries: A systematic review. *Landscape and Urban Planning*, 190, 103592.
- Apellaniz, M., BELLOCQ, M. I., & Filloy, J. (2012). Bird diversity patterns in Neotropical temperate farmlands: the role of environmental factors and trophic groups in the spring and autumn. *Austral Ecology*, 37(5), 547-555.
- Bairlein, F. (2016). Migratory birds under threat. *Science*, 354(6312), 547-548.
- Baumann, S. (2000). Habitat structure and habitat use of European Golden Orioles (*Oriolus o. oriolus*, L. 1758) during breeding and wintering. *Journal für Ornithologie*, 141, 142-151.
- Becker, A., Körner, C., Brun, J. J., Guisan, A., & Tappeiner, U. (2007). Ecological and land use studies along elevational gradients. *Mountain Research and Development*, 27(1), 58-65.

Bick, I. A., Bakkestuen, V., Pedersen, M., Raja, K., & Sethi, S. S. (2023). Modeling the Spatiotemporal Influence of Climate on American Avian Migration. *bioRxiv*, 2023-03.

Billerman, S. M., Keeney, B. K., Rodewald, P. G. & Schulenberg, T. S. (Editors) (2022). Birds of the World. Cornell Laboratory of Ornithology, Ithaca, NY, USA. <https://birdsoftheworld.org/bow/home>

Cai, X., Wu, Z., & Cheng, J. (2013). Using kernel density estimation to assess the spatial pattern of road density and its impact on landscape fragmentation. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(2), 222-230.

Callaghan, C. T. & Gawlik, D. E. (2015). Efficacy of eBird data as an aid in conservation planning and monitoring. *Journal of Field Ornithology*, 86(4), 298-304.

Callaghan, C. T., Martin, J. M., Major, R. E., & Kingsford, R. T. (2018). Avian monitoring—comparing structured and unstructured citizen science. *Wildlife Research*, 45(2), 176-184.

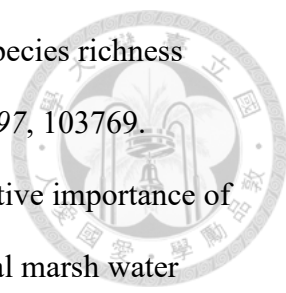
Chen, W. J. (2020). 臺灣陸域環境因子多時序資料集 (Version 2020-06-10T03:49:31.620546) [Data set]. <https://pid.depositar.io/ark:37281/k5d4z511n>

Cohen, E. B., Horton, K. G., Marra, P. P., Clipp, H. L., Farnsworth, A., Smolinsky, J. A., Sheldon, D. & Buler, J. J. (2021). A place to land: spatiotemporal drivers of stopover habitat use by migrating birds. *Ecology Letters*, 24(1), 38-49.

Cohen, J. E., & Small, C. (1998). Hypsographic demography: the distribution of human population by altitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(24), 14009-14014.

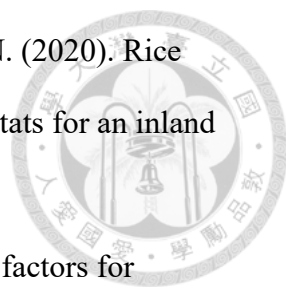
Daoud, J. I. (2017). Multicollinearity and regression analysis. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 949, No. 1, p. 012009). IOP Publishing.

de Camargo Barbosa, K. V., Rodewald, A. D., Ribeiro, M. C., & Jahn, A. E. (2020).

- 
- Noise level and water distance drive resident and migratory bird species richness within a Neotropical megacity. *Landscape and Urban Planning*, 197, 103769.
- DeCatanzaro, R., Cvetkovic, M., & Chow-Fraser, P. (2009). The relative importance of road density and physical watershed features in determining coastal marsh water quality in Georgian Bay. *Environmental Management*, 44, 456-467.
- Deppe, J. L., & Rotenberry, J. T. (2008). Scale-dependent habitat use by fall migratory birds: vegetation structure, floristics, and geography. *Ecological monographs*, 78(3), 461-487.
- Dickinson, J. L., Zuckerberg, B. & Bonter, D. N. (2010). Citizen science as an ecological research tool: challenges and benefits. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*. 41, 149-172.
- Ding, T. S., Yuan, H. W., Geng, S., Lin, Y. S., & Lee, P. F. (2005). Energy flux, body size and density in relation to bird species richness along an elevational gradient in Taiwan. *Global Ecology and Biogeography*, 14(4), 299-306.
- eBird Basic Dataset. Version: EBD\_relJan-2022. Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, New York. Jan 2022.
- Elsen, P. R., Farwell, L. S., Pidgeon, A. M., & Radeloff, V. C. (2021). Contrasting seasonal patterns of relative temperature and thermal heterogeneity and their influence on breeding and winter bird richness patterns across the conterminous United States. *Ecography*, 44(6), 953-965.
- Farina, A. (1988). Bird community structure and dynamics during spring migration in selected habitats of northern Italy. *Italian Journal of Zoology*, 55(1-4), 327-335.
- Ferger, S. W., Schleuning, M., Hemp, A., Howell, K. M., & Böhning-Gaese, K. (2014). Food resources and vegetation structure mediate climatic effects on species richness of birds. *Global ecology and biogeography*, 23(5), 541-549.
- Flather, C. H., Sauer, J. R. (1996). Using landscape ecology to test hypotheses about


- large-scale abundance patterns in migratory birds. *Ecology*, 77(1), 28-35.
- Fox, J., Weisberg, S. (2019). *An R Companion to Applied Regression*, Third edition.  
Sage, Thousand Oaks  
CA. <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>.
- Fuller, R. J., & Crick, H. Q. P. (1992). Broad-scale patterns in geographical and habitat distribution of migrant and resident passerines in Britain and Ireland. *Ibis*, 134(s1), 14-20.
- González, A. M., Bayly, N. J., & Hobson, K. A. (2020). Earlier and slower or later and faster: Spring migration pace linked to departure time in a Neotropical migrant songbird. *Journal of Animal Ecology*, 89(12), 2840-2851.
- Gotelli, N. J., & Colwell, R. K. (2001). Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology letters*, 4(4), 379-391.
- Hurlbert, A. H. (2004). Species–energy relationships and habitat complexity in bird communities. *Ecology Letters*, 7(8), 714-720.
- Hutto, R. L. (1980). Winter habitat distribution of migratory land birds in western Mexico, with special reference to small, foliage-gleaning insectivores. In *Migrant birds in the Neotropics: ecology, behavior, distribution and conservation*. Smithsonian Institution Press, Washington, DC, 181-203.
- Hutto, R. L. (1985). Habitat selection by nonbreeding, migratory land birds. In Cody, M. L. (Ed.). *Habitat selection in birds*. Academic press. 455-476.
- Johnston, A., Hochachka, W. M., Strimas-Mackey, M. E., Ruiz Gutierrez, V., Robinson, O. J., Miller, E. T., Auer, T., Kelling, S. T. & Fink, D. (2021). *Diversity and Distributions*, 27(7), 1265-1277.
- Karr, J. R. (1976). On the Relative Abundance of Migrants from the North Temperate Zone in Tropical Habitats. *The Wilson Bulletin*, 88(3), 433–458.



- 
- Kasahara, S., Morimoto, G., Kitamura, W., Imanishi, S., & Azuma, N. (2020). Rice fields along the East Asian-Australasian flyway are important habitats for an inland wader's migration. *Scientific Reports*, *10*(1), 4118.
- Kim, J. Y., Yoon, J., Choi, Y. S., & Eo, S. H. (2022). The influencing factors for distribution patterns of resident and migrant bird species richness along elevational gradients. *PeerJ*, *10*, e13258.
- Kosmala, M., Wiggins, A., Swanson, A., & Simmons, B. (2016). Assessing data quality in citizen science. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *14*(10), 551-560.
- Kuo, Y., Lin, D. L., Chuang, F. M., Lee, P. F., & Ding, T. S. (2013). Bird species migration ratio in East Asia, Australia, and surrounding islands. *Naturwissenschaften*, *100*, 729-738.
- Lasky, J. R., & Keitt, T. H. (2010). Abundance of Panamanian dry-forest birds along gradients of forest cover at multiple scales. *Journal of Tropical Ecology*, *26*(1), 67-78.
- Lemoine, N., & Böhning-Gaese, K. (2003). Potential impact of global climate change on species richness of long-distance migrants. *Conservation Biology*, *17*(2), 577-586.
- Leveau, L. M. (2021). Big cities with small green areas hold a lower species richness and proportion of migrant birds: A global analysis. *Urban Forestry & Urban Greening*, *57*, 126953.
- Li, J., Hughes, A. C., & Dudgeon, D. (2019). Mapping wader biodiversity along the East Asian—Australasian flyway. *PloS one*, *14*(1), e0210552.
- Li, W., MacBean, N., Ciais, P., Defourny, P., Lamarche, C., Bontemps, S., Houghton, R. A. & Peng, S. (2018). Gross and net land cover changes in the main plant functional types derived from the annual ESA CCI land cover maps (1992–2015). *Earth System Science Data*, *10*(1), 219-234.
- Lohr, S. M., Gauthreaux, S. A., & Kilgo, J. C. (2002). Importance of coarse woody

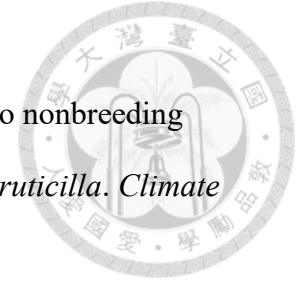
debris to avian communities in loblolly pine forests. *Conservation Biology*, 16(3), 767-777.

- López-Calderón, C., Hobson, K. A., Marzal, A., Balbontín, J., Reviriego, M., Magallanes, S., García-Longoria, L., de Lope, F. & Møller, A. P. (2017). Environmental conditions during winter predict age-and sex-specific differences in reproductive success of a trans-Saharan migratory bird. *Scientific Reports*, 7(1), 18082.
- MacArthur, R. H. (1959). On the breeding distribution pattern of North American migrant birds. *The Auk*, 76(3), 318-325.
- MacArthur, R. H., & MacArthur, J. W. (1961). On bird species diversity. *Ecology*, 42(3), 594-598.
- Marra, P. P., Hobson, K. A., & Holmes, R. T. (1998). Linking winter and summer events in a migratory bird by using stable-carbon isotopes. *Science*, 282(5395), 1884-1886.
- Martin, T. E., & Karr, J. R. (1986). Patch utilization by migrating birds: resource oriented?. *Ornis Scandinavica*, 17(2), 165-174.
- Matuoka, M. A., Benchimol, M., & Morante-Filho, J. C. (2020). Tropical forest loss drives divergent patterns in functional diversity of forest and non-forest birds. *Biotropica*, 52(4), 738-748.
- Meager, J. J., Schlacher, T. A., & Nielsen, T. (2012). Humans alter habitat selection of birds on ocean-exposed sandy beaches. *Diversity and Distributions*, 18(3), 294-306.
- Morante-Filho, J. C., Arroyo-Rodríguez, V., Pessoa, M. D. S., Cazetta, E., & Faria, D. (2018). Direct and cascading effects of landscape structure on tropical forest and non-forest frugivorous birds. *Ecological applications*, 28(8), 2024-2032.
- Mönkkönen, M., Forsman, J. T., & Bokma, F. (2006). Energy availability, abundance, energy-use and species richness in forest bird communities: a test of the species–energy theory. *Global Ecology and Biogeography*, 15(3), 290-302.

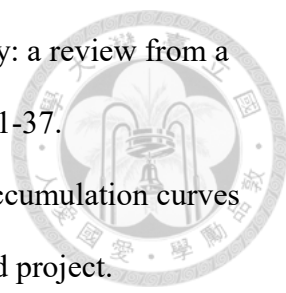
- 
- Murray, N. J., & Fuller, R. A. (2015). Protecting stopover habitat for migratory shorebirds in East Asia. *Journal of Ornithology*, *156*, 217-225.
- Ng, W. H., Fink, D., La Sorte, F. A., Auer, T., Hochachka, W. M., Johnston, A., & Dokter, A. M. (2022). Continental-scale biomass redistribution by migratory birds in response to seasonal variation in productivity. *Global Ecology and Biogeography*, *31*(4), 727-739.
- Petit, D. R. (2000). Habitat use by landbirds along Nearctic-Neotropical migration routes: implications for conservation of stopover habitats. *Studies in Avian biology*, *20*, 15-33.
- QGIS Development Team. (2023). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. <http://qgis.org>
- R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Rappole, J. H., & McDonald, M. V. (1994). Cause and effect in population declines of migratory birds. *The Auk*, *111*(3), 652-660.
- Repasky, R. R. (1991). Temperature and the northern distributions of wintering birds. *Ecology*, *72*(6), 2274-2285.
- Revelle, W. (2023). psych: Procedures for Psychological, Psychometric, and Personality Research. Northwestern University, Evanston, Illinois. R package version 2.3.3. <https://CRAN.R-project.org/package=psych>
- Ricklefs, R. E., & Lovette, I. J. (1999). The roles of island area per se and habitat diversity in the species–area relationships of four Lesser Antillean faunal groups. *Journal of Animal Ecology*, *68*(6), 1142-1160.
- Root, T. (1988a). Environmental factors associated with avian distributional boundaries. *Journal of Biogeography*, *15*(3), 489-505.
- Root, T. (1988b). Energy constraints on avian distributions and

- abundances. *Ecology*, 69(2), 330-339.
- Saab, V. A., & Petit, D. R. (1992). Impact of pasture development on winter bird communities in Belize, Central America. *The Condor*, 94(1), 66-71.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell system technical journal*, 27(3), 379-423.
- Shen, F. Y., Ding, T. S., & Tsai, J. S. (2023). Comparing avian species richness estimates from structured and semi-structured citizen science data. *Scientific Reports*, 13(1), 1-13.
- Shiu, H. J. & Lee, P. F. (2003). Seasonal variation in bird species richness along elevational gradients in Taiwan. *Acta Zoologica Taiwanica*, 14(1), 1-21.
- Smith, A. L., Ortiz, J. S., & Robertson, R. J. (2001). Distribution Patterns of Migrant and Resident Birds in Successional Forests of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Biotropica*, 33(1), 153-170.
- Somveille, M., Rodrigues, A. S., & Manica, A. (2015). Why do birds migrate? A macroecological perspective. *Global Ecology and Biogeography*, 24(6), 664-674.
- Srivastava, D. S., & Lawton, J. H. (1998). Why more productive sites have more species: an experimental test of theory using tree-hole communities. *The American Naturalist*, 152(4), 510-529.
- Stanley, C. Q., Dudash, M. R., Ryder, T. B., Shriver, W. G., Serno, K., Adalsteinsson, S., & Marra, P. P. (2021). Seasonal variation in habitat selection for a Neotropical migratory songbird using high-resolution GPS tracking. *Ecosphere*, 12(3), e03421.
- Steen, V. A., Elphick, C. S., & Tingley, M. W. (2019). An evaluation of stringent filtering to improve species distribution models from citizen science data. *Diversity and Distributions*, 25(12), 1857-1869.
- Strimas-Mackey, M., Miller, E. & Hochachka, W. (2018). auk: eBird Data Extraction and Processing with AWK. R package version 0.3.0.

<https://cornelllabofornithology.github.io/auk/>



- Studds, C. E. & Marra, P. P. (2007). Linking fluctuations in rainfall to nonbreeding season performance in a long-distance migratory bird, *Setophaga ruticilla*. *Climate Research*, 35(1-2), 115-122.
- Sullivan, B. L., Wood, C. L., Iliff, M. J., Bonney, R. E., Fink, D., & Kelling, S. (2009). eBird: A citizen-based bird observation network in the biological sciences. *Biological Conservation*, 142(10), 2282-2292.
- Tews, J., Brose, U., Grimm, V., Tielbörger, K., Wichmann, M. C., Schwager, M. & Jeltsch, F. (2004). Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. *Journal of biogeography*, 31(1), 79-92.
- Trierweiler, C., Mullié, W. C., Drent, R. H., Exo, K. M., Komdeur, J., Bairlein, F., Harouna, A., de Bakker, M. & Koks, B. J. (2013). A Palaearctic migratory raptor species tracks shifting prey availability within its wintering range in the Sahel. *Journal of Animal Ecology*, 82(1), 107-120.
- Waltert, M., Bobo, K. S., Sainge, N. M., Fermon, H., & Mühlenberg, M. (2005). From forest to farmland: habitat effects on Afrotropical forest bird diversity. *Ecological Applications*, 15(4), 1351-1366.
- Wang, T., Yang, M., Yan, S., Geng, G., Li, Q., & Wang, F. (2021). Effects of temperature and precipitation on spatiotemporal variations of net primary productivity in the Qinling Mountains, China. *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(1), 409-422.
- Wilson, S., Schuster, R., Rodewald, A. D., Bennett, J. R., Smith, A. C., La Sorte, F. A., Verburg, P. H. & Arcese, P. (2019). Prioritize diversity or declining species? Trade-offs and synergies in spatial planning for the conservation of migratory birds in the face of land cover change. *Biological Conservation*, 239, 108285.
- Yong, D. L., Liu, Y., Low, B. W., Espanola, C. P., Choi, C. Y., & Kawakami, K.

- 
- (2015). Migratory songbirds in the East Asian-Australasian Flyway: a review from a conservation perspective. *Bird Conservation International*, 25(1), 1-37.
- Yu, J., Wong, W. K., & Kelling, S. (2014, July). Clustering species accumulation curves to identify skill levels of citizen scientists participating in the eBird project. In *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*. 28(2), 3017-3023.
- Zhang, G. (2020). Spatial and temporal patterns in volunteer data contribution activities: A case study of eBird. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(10), 597.
- Zuckerberg, B., Fink, D., La Sorte, F. A., Hochachka, W. M., & Kelling, S. (2016). Novel seasonal land cover associations for eastern North American forest birds identified through dynamic species distribution modelling. *Diversity and Distributions*, 22(6), 717-730.

## 附錄



附錄 1、納入分析之鳥類物種名錄。鳥類遷留屬性分為以下幾種：R-留鳥、W-冬候鳥、S-夏候鳥、I-引進種。棲地分為以下兩種：F-森林性、NF-非森林性。

中文名	英文名	學名	遷留屬性	分析遷留屬性	棲地
臺灣山鷓鴣	Taiwan Partridge	<i>Arborophila crudigularis</i>	R	R	F
黑長尾雉	Mikado Pheasant	<i>Syrmaticus mikado</i>	R	R	F
環頸雉	Ring-necked Pheasant	<i>Phasianus colchicus</i>	R/I	R	NF
藍腹鵲	Swinhoe's Pheasant	<i>Lophura swinhoii</i>	R	R	F
臺灣竹雞	Taiwan Bamboo-Partridge	<i>Bambusicola sonorivox</i>	R	R	F
野鴿	Rock Pigeon	<i>Columba livia</i>	I	R	NF
灰林鴿	Ashy Wood-Pigeon	<i>Columba pulchricollis</i>	R	R	F
金背鳩	Oriental Turtle-Dove	<i>Streptopelia orientalis</i>	R/T	R	NF
紅鳩	Red Collared-Dove	<i>Streptopelia tranquebarica</i>	R	R	NF
珠頸斑鳩	Spotted Dove	<i>Spilopelia chinensis</i>	R	R	NF
翠翼鳩	Asian Emerald Dove	<i>Chalcophaps indica</i>	R	R	F
綠鳩	White-bellied Green-Pigeon	<i>Treron sieboldii</i>	R	R	F
紅頭綠鳩	Whistling Green-Pigeon	<i>Treron formosae</i>	R	R	F
番鴿	Lesser Coucal	<i>Centropus bengalensis</i>	R	R	NF
南亞夜鷹	Savanna Nightjar	<i>Caprimulgus affinis</i>	R	R	NF

附錄 1 (續)

中文名	英文名	學名	遷留屬性	分析遷留屬性	棲地
灰喉針尾雨燕	Silver-backed Needletail	<i>Hirundapus cochinchinensis</i>	R	R	F
叉尾雨燕	Pacific Swift	<i>Apus pacificus</i>	T	W	NF
小雨燕	House Swift	<i>Apus nipalensis</i>	R	R	NF
灰腳秧雞	Slaty-legged Crake	<i>Rallina eurizonoides</i>	R	R	F
山鵲	Eurasian Woodcock	<i>Scolopax rusticola</i>	W	W	F
棕三趾鶉	Barred Buttonquail	<i>Turnix suscitator</i>	R	R	NF
燕鴿	Oriental Pratincole	<i>Glareola maldivarum</i>	S/T	W	NF
黃頭鷺	Cattle Egret	<i>Bubulcus ibis</i>	R/T/W	W	NF
黑冠麻鷺	Malayan Night- Heron	<i>Gorsachius melanolophus</i>	R	R	NF
魚鷹	Osprey	<i>Pandion haliaetus</i>	W	W	NF
黑翅鳶	Black-winged Kite	<i>Elanus caeruleus</i>	R	R	NF
東方蜂鷹	Oriental Honey- buzzard	<i>Pernis ptilorhynchus</i>	R/T	R	F
大冠鷲	Crested Serpent- Eagle	<i>Spilornis cheela</i>	R	R	F
熊鷹	Mountain Hawk- Eagle	<i>Nisaetus nipalensis</i>	R	R	F
林鵟	Black Eagle	<i>Ictinaetus malaiensis</i>	R	R	F
灰面鵟鷹	Gray-faced Buzzard	<i>Butastur indicus</i>	W/T	W	F
東方澤鵟	Eastern Marsh- Harrier	<i>Circus spilonotus</i>	W/T	W	NF



附錄 1 (續)

中文名	英文名	學名	遷留屬性	分析遷留屬性	棲地
花澤鶯	Pied Harrier	<i>Circus melanoleucos</i>	W/T	W	NF
鳳頭蒼鷹	Crested Goshawk	<i>Accipiter trivirgatus</i>	R	R	F
日本松雀鷹	Japanese Sparrowhawk	<i>Accipiter gularis</i>	W/T	W	F
松雀鷹	Besra	<i>Accipiter virgatus</i>	R	R	F
北雀鷹	Eurasian Sparrowhawk	<i>Accipiter nisus</i>	W	W	NF
蒼鷹	Northern Goshawk	<i>Accipiter gentilis</i>	W	W	F
黑鳶	Black Kite	<i>Milvus migrans</i>	R	R	NF
白尾海鵰	White-tailed Eagle	<i>Haliaeetus albicilla</i>	W	W	NF
東方鵟	Eastern Buzzard	<i>Buteo japonicus</i>	W/T	W	NF
黃嘴角鴞	Mountain Scops-Owl	<i>Otus spilocephalus</i>	R	R	F
領角鴞	Collared Scops-Owl	<i>Otus lettia</i>	R	R	F
黃魚鴞	Tawny Fish-Owl	<i>Ketupa flavipes</i>	R	R	F
褐林鴞	Brown Wood-Owl	<i>Strix leptogrammica</i>	R	R	F
東方灰林鴞	Himalayan Owl	<i>Strix nivicolum</i>	R	R	F
長耳鴞	Long-eared Owl	<i>Asio otus</i>	W	W	NF
短耳鴞	Short-eared Owl	<i>Asio flammeus</i>	W	W	NF
褐鷹鴞	Northern Boobook	<i>Ninox japonica</i>	R/T	R	F
戴勝	Eurasian Hoopoe	<i>Upupa epops</i>	W/T	W	NF
翠鳥	Common Kingfisher	<i>Alcedo atthis</i>	R/T	R	NF
五色鳥	Taiwan Barbet	<i>Psilopogon nuchalis</i>	R	R	F

附錄 1 (續)

中文名	英文名	學名	遷留屬性	分析遷留屬性	棲地
地啄木	Eurasian Wryneck Gray-capped	<i>Jynx torquilla</i>	W/T	W	NF
小啄木	Pygmy Woodpecker	<i>Yungipicus canicapillus</i>	R	R	F
大赤啄木	White-backed Woodpecker	<i>Dendrocopos leucotos</i>	R	R	F
綠啄木	Gray-headed Woodpecker	<i>Picus canus</i>	R	R	F
紅隼	Eurasian Kestrel	<i>Falco tinnunculus</i>	W	W	NF
遊隼	Peregrine Falcon	<i>Falco peregrinus</i>	R/W/T	W	NF
灰喉山椒鳥	Gray-chinned Minivet	<i>Pericrocotus solaris</i>	R	R	F
灰山椒鳥	Ashy Minivet	<i>Pericrocotus divaricatus</i>	W/T	W	F
花翅山椒鳥	Large Cuckooshrike	<i>Coracina macei</i>	R	R	F
黑翅山椒鳥	Black-winged Cuckooshrike	<i>Lalage melaschistos</i>	W/T	W	F
綠畫眉	White-bellied Erpornis	<i>Erpornis zantholeuca</i>	R	R	F
黃鸝	Black-naped Oriole	<i>Oriolus chinensis</i>	R/T	R	F
朱鸝	Maroon Oriole	<i>Oriolus traillii</i>	R	R	F
大卷尾	Black Drongo	<i>Dicrurus macrocercus</i>	R/T	R	NF
灰卷尾	Ashy Drongo	<i>Dicrurus leucophaeus</i>	W/T	W	F
小卷尾	Bronzed Drongo	<i>Dicrurus aeneus</i>	R	R	F
黑枕藍鶇	Black-naped Monarch	<i>Hypothymis azurea</i>	R	R	F

附錄 1 (續)

中文名	英文名	學名	遷留屬性	分析遷留屬性	棲地
紅頭伯勞	Bull-headed Shrike	<i>Lanius bucephalus</i>	W	W	NF
紅尾伯勞	Brown Shrike	<i>Lanius cristatus</i>	W/T	W	NF
棕背伯勞	Long-tailed Shrike	<i>Lanius schach</i>	R	R	NF
松鴉	Eurasian Jay	<i>Garrulus glandarius</i>	R	R	F
灰喜鵲	Azure-winged Magpie	<i>Cyanopica cyanus</i>	I	R	NF
臺灣藍鵲	Taiwan Blue-Magpie	<i>Urocissa caerulea</i>	R	R	F
樹鵲	Gray Treepie	<i>Dendrocitta formosae</i>	R	R	F
喜鵲	Oriental Magpie	<i>Pica serica</i>	I	R	NF
星鴉	Eurasian Nutcracker	<i>Nucifraga caryocatactes</i>	R	R	F
禿鼻鴉	Rook	<i>Corvus frugilegus</i>	W	W	NF
巨嘴鴉	Large-billed Crow	<i>Corvus macrorhynchos</i>	R	R	F
煤山雀	Coal Tit	<i>Parus ater</i>	R	R	F
赤腹山雀	Chestnut-bellied Tit	<i>Sittiparus castaneoventris</i>	R	R	F
青背山雀	Green-backed Tit	<i>Parus monticolus</i>	R	R	F
黃山雀	Taiwan Yellow Tit	<i>Machlolophus holsti</i>	R	R	F
歐亞雲雀	Eurasian Skylark	<i>Alauda arvensis</i>	W	W	NF
小雲雀	Oriental Skylark	<i>Alauda gulgula</i>	R	R	NF
灰頭鷓鴣	Yellow-bellied Prinia	<i>Prinia flaviventris</i>	R	R	NF
褐頭鷓鴣	Plain Prinia	<i>Prinia inornata</i>	R	R	NF
棕扇尾鷓鴣	Zitting Cisticola	<i>Cisticola juncidis</i>	R	R	NF

附錄 1 (續)

中文名	英文名	學名	遷留屬性	分析遷留屬性	棲地
黃頭扇尾鶯	Golden-headed Cisticola	<i>Cisticola exilis</i>	R	R	NF
雙眉葦鶯	Black-browed Reed Warbler	<i>Acrocephalus bistrigiceps</i>	W/T	W	NF
東方大葦鶯	Oriental Reed Warbler	<i>Acrocephalus orientalis</i>	W	W	NF
臺灣叢樹鶯	Taiwan Bush Warbler	<i>Locustella alishanensis</i>	R	R	F
臺灣鷓眉	Taiwan Cupwing	<i>Pnoepyga formosana</i>	R	R	F
棕沙燕	Gray-throated Martin	<i>Riparia chinensis</i>	R	R	NF
家燕	Barn Swallow	<i>Hirundo rustica</i>	S/W/T	W	NF
洋燕	Pacific Swallow	<i>Hirundo tahitica</i>	R	R	NF
赤腰燕	Striated Swallow	<i>Cecropis striolata</i>	R	R	NF
東方毛腳燕	Asian House-Martin	<i>Delichon dasypus</i>	R	R	NF
白環鸚嘴鶉	Collared Finchbill	<i>Spizixos semitorques</i>	R	R	F
烏頭翁	Styan's Bulbul	<i>Pycnonotus taivanus</i>	R	R	NF
白頭翁	Light-vented Bulbul	<i>Pycnonotus sinensis</i>	R	R	NF
紅嘴黑鶉	Black Bulbul	<i>Hypsipetes leucocephalus</i>	R	R	F
棕耳鶉	Brown-eared Bulbul	<i>Hypsipetes amaurotis</i>	R/T	W	F
黃眉柳鶯	Yellow-browed Warbler	<i>Phylloscopus inornatus</i>	W	W	F
黃腰柳鶯	Pallas's Leaf Warbler	<i>Phylloscopus proregulus</i>	W/T	W	F
褐色柳鶯	Dusky Warbler	<i>Phylloscopus fuscatus</i>	W/T	W	NF

附錄 1 (續)

中文名	英文名	學名	遷留屬性	分析遷留屬性	棲地
極北柳鶯	Arctic Warbler	<i>Phylloscopus borealis</i>	W	W	F
短尾鶯	Asian Stubtail	<i>Urosphena squameiceps</i>	W/T	W	F
棕面鶯	Rufous-faced Warbler	<i>Abroscopus albogularis</i>	R	R	F
日本樹鶯	Japanese Bush Warbler	<i>Horornis diphone</i>	W	W	NF
遠東樹鶯	Manchurian Bush Warbler	<i>Horornis canturians</i>	W	W	NF
小鶯	Brownish-flanked Bush Warbler	<i>Horornis fortipes</i>	R	R	F
深山鶯	Yellowish-bellied Bush Warbler	<i>Horornis acanthizoides</i>	R	R	F
紅頭山雀	Black-throated Tit	<i>Aegithalos concinnus</i>	R	R	F
褐頭花翼	Taiwan Fulvetta	<i>Fulvetta formosana</i>	R	R	F
黃羽鸚嘴	Golden Parrotbill	<i>Suthora verreauxi</i>	R	R	F
粉紅鸚嘴	Vinous-throated Parrotbill	<i>Sinosuthora webbiana</i>	R	R	NF
冠羽畫眉	Taiwan Yuhina	<i>Yuhina brunneiceps</i>	R	R	F
斯氏繡眼	Swinhoe's White-eye	<i>Zosterops simplex</i>	R	R	F
日菲繡眼	Warbling White-eye	<i>Zosterops japonicus</i>	W	W	F
山紅頭	Rufous-capped Babbler	<i>Cyanoderma ruficeps</i>	R	R	F
小彎嘴	Taiwan Scimitar-babbler	<i>Pomatorhinus musicus</i>	R	R	F

附錄 1 (續)

中文名	英文名	學名	遷留屬性	分析遷留屬性	棲地
頭烏線	Dusky Fulvetta	<i>Schoeniparus brunneus</i>	R	R	F
繡眼畫眉	Morrison's Fulvetta	<i>Alcippe morrisonia</i>	R	R	F
臺灣噪眉	White-whiskered Laughingthrush	<i>Trochalopteron morrisonianum</i>	R	R	NF
白耳畫眉	White-eared Siberia	<i>Heterophasia auricularis</i>	R	R	F
紋翼畫眉	Taiwan Barwing	<i>Actinodura morrisoniana</i>	R	R	F
黃胸藪眉	Steere's Liocichla	<i>Liocichla steerii</i>	R	R	F
大陸畫眉	Chinese Hwamei	<i>Garrulax canorus</i>	I	R	NF
臺灣畫眉	Taiwan Hwamei	<i>Garrulax taewanus</i>	R	R	NF
火冠戴菊鳥	Flamecrest	<i>Regulus goodfellowi</i>	R	R	F
茶腹鴉	Eurasian Nuthatch	<i>Sitta europaea</i>	R	R	F
鷓鴣	Eurasian Wren	<i>Troglodytes troglodytes</i>	R	R	F
河鳥	Brown Dipper	<i>Cinclus pallasii</i>	R	R	NF
亞洲輝椋鳥	Asian Glossy Starling	<i>Aplonis panayensis</i>	I	R	NF
歐洲椋鳥	European Starling	<i>Sturnus vulgaris</i>	W/T	W	NF
黑領椋鳥	Black-collared Starling	<i>Gracupica nigricollis</i>	I	R	NF
灰背椋鳥	White-shouldered Starling	<i>Sturnia sinensis</i>	W	W	NF
灰頭椋鳥	Chestnut-tailed Starling	<i>Sturnia malabarica</i>	I	R	NF
絲光椋鳥	Red-billed Starling	<i>Spodiopsar sericeus</i>	W	W	NF

附錄 1 (續)

中文名	英文名	學名	遷留屬性	分析遷留屬性	棲地
灰椋鳥	White-cheeked Starling	<i>Spodiopsar cineraceus</i>	W	W	NF
家八哥	Common Myna	<i>Acridotheres tristis</i>	I	R	NF
白尾八哥	Javan Myna	<i>Acridotheres javanicus</i>	I	R	NF
八哥	Crested Myna	<i>Acridotheres cristatellus</i>	R	R	NF
白氏地鸛	White's Thrush	<i>Zoothera aurea</i>	W	W	F
虎斑地鸛	Scaly Thrush	<i>Zoothera dauma</i>	R	R	F
中國黑鸛	Chinese Blackbird	<i>Turdus mandarinus</i>	R/W	W	NF
白頭鸛	Taiwan Thrush	<i>Turdus niveiceps</i>	R	R	F
烏灰鸛	Japanese Thrush	<i>Turdus cardis</i>	T	W	F
白眉鸛	Eyebrowed Thrush	<i>Turdus obscurus</i>	W	W	F
赤腹鸛	Brown-headed Thrush	<i>Turdus chrysolaus</i>	W	W	F
白腹鸛	Pale Thrush	<i>Turdus pallidus</i>	W	W	F
赤頸鸛	Red-throated Thrush	<i>Turdus ruficollis</i>	W	W	NF
斑點鸛	Dusky Thrush	<i>Turdus eunomus</i>	W	W	NF
紅尾鸛	Naumann's Thrush	<i>Turdus naumanni</i>	W	W	NF
灰斑鶇	Gray-streaked Flycatcher	<i>Muscicapa griseisticta</i>	T	W	F
寬嘴鶇	Asian Brown Flycatcher	<i>Muscicapa dauurica</i>	W/T	W	F
鶇鶇	Oriental Magpie-Robin	<i>Copsychus saularis</i>	I	R	NF
白腰鶇鶇	White-rumped Shama	<i>Copsychus malabaricus</i>	I	R	F

附錄 1 (續)

中文名	英文名	學名	遷留屬性	分析遷留屬性	棲地
黃腹琉璃	Taiwan Vivid Niltava	<i>Niltava vivida</i>	R	R	F
銅藍鶇	Verditer Flycatcher	<i>Eumyias thalassinus</i>	W	W	F
小翼鶇	Taiwan Shortwing	<i>Brachypteryx goodfellowi</i>	R	R	F
藍喉鶇	Bluethroat	<i>Luscinia svecica</i>	W	W	NF
臺灣紫嘯鶇	Taiwan Whistling-Thrush	<i>Myophonus insularis</i>	R	R	F
小剪尾	Little Forktail	<i>Enicurus scouleri</i>	R	R	F
野鶇	Siberian Rubythroat	<i>Calliope calliope</i>	W/T	W	NF
白尾鶇	White-tailed Robin	<i>Miomela leucura</i>	R	R	F
藍尾鶇	Red-flanked Bluetail	<i>Tarsiger cyanurus</i>	W	W	F
臺灣白眉林鶇	Taiwan Bush- Robin	<i>Tarsiger formosanus</i>	R	R	F
栗背林鶇	Collared Bush- Robin	<i>Tarsiger johnstoniae</i>	R	R	F
白眉黃鶇	Mugimaki Flycatcher	<i>Ficedula mugimaki</i>	W/T	W	F
黃胸青鶇	Snowy-browed Flycatcher	<i>Ficedula hyperythra</i>	R	R	F
紅喉鶇	Taiga Flycatcher	<i>Ficedula albicilla</i>	W	W	F
紅胸鶇	Red-breasted Flycatcher	<i>Ficedula parva</i>	W	W	F
鉛色水鶇	Plumbeous Redstart	<i>Phoenicurus fuliginosus</i>	R	R	F

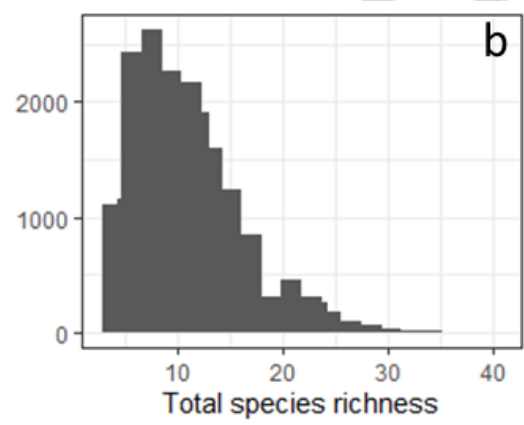
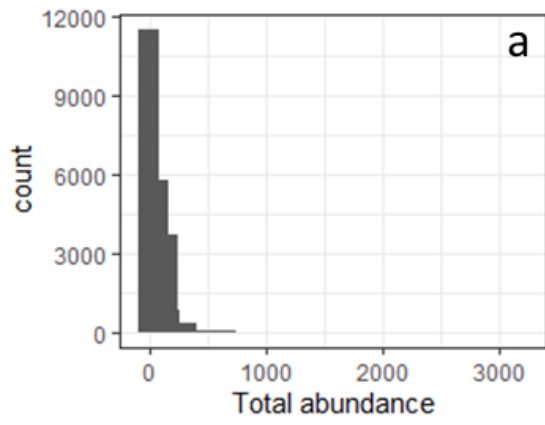


附錄 1 (續)

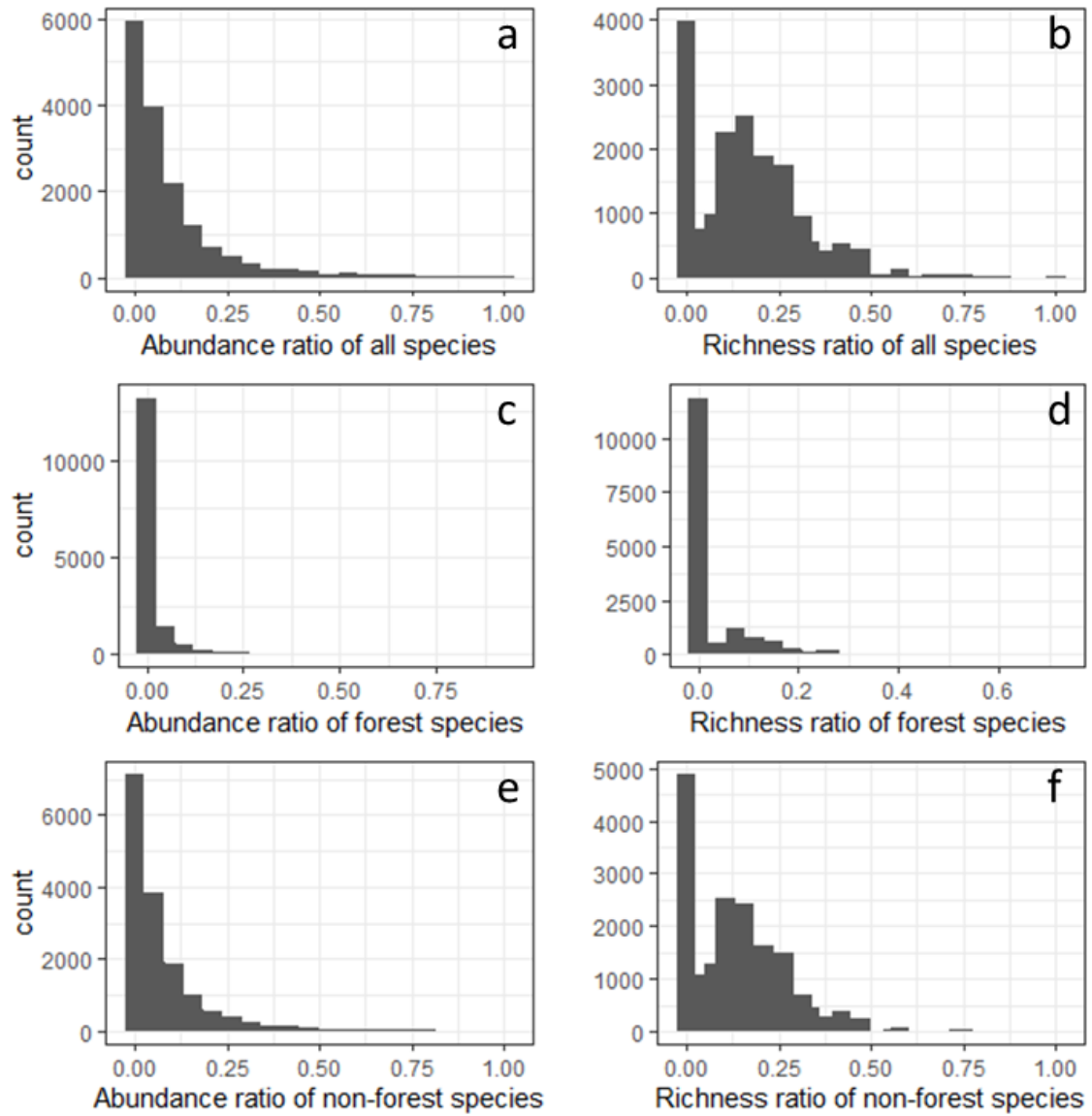
中文名	英文名	學名	遷留屬性	分析遷留屬性	棲地
黃尾鵪	Daurian Redstart	<i>Phoenicurus auroreus</i>	W	W	NF
藍磯鶇	Blue Rock-Thrush	<i>Monticola solitarius</i>	R/W	R	NF
朱連雀	Japanese Waxwing	<i>Bombycilla japonica</i>	W	W	F
綠啄花	Plain Flowerpecker	<i>Dicaeum minullum</i>	R	R	F
紅胸啄花	Fire-breasted Flowerpecker	<i>Dicaeum ignipectus</i>	R	R	F
白喉文鳥	Indian Silverbill	<i>Euodice malabarica</i>	I	R	NF
斑文鳥	Scaly-breasted Munia	<i>Lonchura punctulata</i>	R	R	NF
白腰文鳥	White-rumped Munia	<i>Lonchura striata</i>	R	R	NF
黑頭文鳥	Chestnut Munia	<i>Lonchura atricapilla</i>	R/I	R	NF
橙頰梅花雀	Orange-cheeked Waxbill	<i>Estrilda melpoda</i>	I	R	NF
岩鶇	Alpine Accentor	<i>Prunella collaris</i>	R	R	NF
山麻雀	Russet Sparrow	<i>Passer cinnamomeus</i>	R	R	NF
麻雀	Eurasian Tree Sparrow	<i>Passer montanus</i>	R	R	NF
山鵲鶇	Forest Wagtail	<i>Dendronanthus indicus</i>	W	W	F
灰鵲鶇	Gray Wagtail	<i>Motacilla cinerea</i>	W	W	NF
東方黃鵲鶇	Eastern Yellow Wagtail	<i>Motacilla tschutschensis</i>	W/T	W	NF
白鵲鶇	White Wagtail	<i>Motacilla alba</i>	R/W	R	NF
大花鶇	Richard's Pipit	<i>Anthus richardi</i>	W	W	NF
樹鶇	Olive-backed Pipit	<i>Anthus hodgsoni</i>	W	W	F

附錄 1 (續)

中文名	英文名	學名	遷留屬性	分析遷留屬性	棲地
赤喉鸚	Red-throated Pipit	<i>Anthus cervinus</i>	W	W	NF
黃腹鸚	American Pipit	<i>Anthus rubescens</i>	W	W	NF
花雀	Brambling	<i>Fringilla montifringilla</i>	W	W	F
普通朱雀	Common Rosefinch	<i>Carpodacus erythrinus</i>	W	W	NF
臺灣朱雀	Taiwan Rosefinch	<i>Carpodacus formosanus</i>	R	R	NF
褐鶯	Brown Bullfinch	<i>Pyrrhula nipalensis</i>	R	R	F
金翅雀	Oriental Greenfinch	<i>Chloris sinica</i>	W	W	F
黃雀	Eurasian Siskin	<i>Spinus spinus</i>	W	W	F
赤胸鵒	Chestnut-eared Bunting	<i>Emberiza fucata</i>	W/T	W	NF
黃喉鵒	Yellow-throated Bunting	<i>Emberiza elegans</i>	W	W	NF
葦鵒	Pallas's Bunting	<i>Emberiza pallasi</i>	W	W	NF
小鵒	Little Bunting	<i>Emberiza pusilla</i>	W/T	W	NF
田鵒	Rustic Bunting	<i>Emberiza rustica</i>	W/T	W	NF
灰頭黑臉鵒	Black-faced Bunting	<i>Emberiza spodocephala</i>	W	W	NF
黃眉鵒	Yellow-browed Bunting	<i>Emberiza chrysophrys</i>	T	W	NF



附錄 2、清單內總隻數與總物種數之資料分布。a、總隻數；b、總物種數。



附錄 3、候鳥比例之資料分布。a、整體鳥隻數比例；b、整體鳥種數比例；c、森林鳥隻數比例；d、森林鳥種數比例；e、非森林鳥隻數比例；f、非森林鳥種數比例。

附錄 4、各項環境因子之統計量

環境因子	最小值	最大值	平均值	標準差
海拔(m)	0.0	3303.9	245.910	512.523
森林覆蓋度	0.0	1.0	0.239	0.356
道路密度(km/km <sup>2</sup> )	0.0	37.2	10.015	7.245
土地覆蓋多樣度	0.0	1.7	0.685	0.459
自然度	0.0	1.0	0.480	0.286
冬季溫度(°C)	2.0	22.3	16.969	2.982
冬季降水量(mm)	91.8	1249.3	426.654	278.079