

運用志工調查資料進行臺灣蛙類分佈預測

Using the Volunteer's Investigative Data to Predict the Potential Geographic Distribution of Frogs in Taiwan

龔文斌* 楊懿如**

Wun-Bin Gong Yi-Ju Yang

摘要

自 2003 年開始，東華大學兩棲類保育研究室在全台各地區建立兩棲調查志工團隊，志工調查後將環境基礎資料與生物資料上傳至台灣兩棲資源調查資料庫，經過審核正確後納入有效資料進行分析。2009 年統整志工調查資料，歸納 32 種蛙類的分佈型態，並從現有 1182 個志工調查樣區中挑選出 30 個熱點進行監測。為了解其他未調查地區的物種分佈概況，本研究隨機選取 2/3(筆)兩棲志工調查資料，使用 WorldClim 製作的 30 arc-second(約 1km×1km)全球氣候圖層免費資源，擷取臺灣本島的範圍後，搭配 Maxent 預測軟體進行臺灣蛙類分佈預測，挑選出熱點。預測結果顯示除了海蛙與豎琴蛙因調查資料過少(<5 筆)，預測結果明顯偏差外，其餘 30 種蛙類的預測分佈大致符合 2009 年歸納的分佈型態。單一個網格預測出現的物種數為 0 至 24 種，平均每網格 7.66 ± 6.83 種。以 19-24 種做為挑選熱點的標準，結果顯示預測熱點分佈集中於五大區：雪山山脈北端低海拔地區、台中縣太平市、阿里山山脈西側集集至竹崎、海岸山脈北段、台東利嘉至知本、太麻里。五大區海拔範圍為 10~900m，多數為低海拔森林地區，皆有河流流經，並為大型溪流流域(e.g. 大漢溪、濁水溪、花蓮溪)。五大區中以雪山山脈北端低海拔地區預測出現物種數最多，這區域人為開發壓力大，應加強監測。將預測熱點與 2009 年以實際調查樣區挑選的熱點作比較，結果顯示預測熱點已能涵蓋所有 2009 年挑選的熱點。預測熱點將以地圖方式公佈於台灣兩棲類資源調查網(<http://tad.froghome.org/>)，做為各縣市志工新增調查樣區參考，並作為蛙類保育的基礎資料。

關鍵字：志工調查、分佈預測、生物多樣性熱點、生態監測

* 東華大學自然資源與環境學系研究生。

** 東華大學自然資源與環境學系副教授。

Abstract

From 2003, the NDHU amphibian conservation Lab. established amphibian volunteer research teams in Taiwan. The volunteers uploaded their data after investigation, and the data will be verified. In 2009, we generalized the distribution pattern of 32 species of frogs in Taiwan by using volunteer's investigative data, and selected 30 amphibian biodiversity hotspots from 1182 sampling plots.

In order to know the potential geographic distribution of frogs from entire Taiwan, we choice 2/3 investigative data to build species distribution database, and using the climate layers (spatial resolution of a square kilometer) that all coming from WorldClim., and the model we using is Maxent (Maximum Entropy).

The predictive results show that the distribution pattern of 30 species of frogs is approximately similar to the result published in 2009, and the distribution pattern of two species (*Fejervarya cancrivora* · *Rana okinavana*) are obviously error. We calculated the species richness in each grid and found the richness was from 0 to 24, the average richness was 7.66 ± 6.83 . We selected the grids with species richness from 19 to 24 as amphibian biodiversity hotspots, and found the hotspots were concentrated in five districts: the north of Hsuehshan Range Terrain, the Taiping City in Taichung, the Ali Range Terrain that range from Jiji Township to Jhuci Township, the north of Coastal Range Terrain, the Taitung County that range from Licha to Taimali Township. In these five districts, the north of Hsuehshan Range Terrain has the highest richness, and it also has large development pressure. Comparing with five districts of hotspots and hotspots selected in 2009, the five districts of hotspots have contained the hotspots selected in 2009. These five districts of hotspots will be shown by maps and public to Taiwan Amphibian Conservation Web (<http://www.froghome.org/>). These results not only help volunteers to add new sampling spots, but also providing basic data in the amphibian conservation.

Keywords: Investigative volunteers, Predicting the Potential Geographic distribution, Biodiversity hotspots, Ecological Monitoring

一、前言

近年來由於全球氣候變遷、生態環境破壞，生物多樣性的保育已經成為相當重要的研究課題，而在進行生物多樣性的保育時，首先要先了解物種的分佈資訊(Heyer et al.,1994)。物種分佈資訊需藉由生物資源調查獲得，然而在進行資源調查時，常會因為時間、經費、人力的因素，限制住調查的尺度與時間。若能有效運用志工來進行調查，相較於聘請專業的研究人員，同樣的花費可以進行更大尺度及更長時間的調查，有助於建立當地兩棲類的基礎資料，因此為了因應大尺度的監測，許多研究團隊便開始運用志工進行調查(郭炳村，2007)。Frog Watch 由美國最大的保育組織 National Wildlife Federation 所發起，也是 1 個運用志工進行調查相當成功的長期監測計畫，組織鼓勵一般民眾成為蛙類的調查志工，協助專家保育逐漸減少的兩棲類，也可以藉此了解自家社區與週遭的兩棲類，2007 年共計有 501 位志工，上傳 4572 筆觀察記錄(Frogwatch, 2009)。MFTS(The Michigan Frog and Toad Survey) 計畫團隊並寄發錄有兩棲類鳴叫聲音的光碟以及問卷給志工監測計畫，藉著計算志工在兩棲類外觀特徵辨識、蛙類鳴叫聲音辨識上的得分，來判斷志工是否能準確的判斷物種。MFTS 也依據志工上傳的資料，除了每年皆發表年報外，每 5 年也統整一次，以看出兩棲類在這 5 年間族群變化的情形(DNR，2009)。

東華大學兩棲類保育研究室自2001年開始，在花蓮地區測試運用志工團隊進行兩棲類調查之可行性，並於2003年在農委會林務局補助之下，與中華民國自然與生態攝影學會、大自然教育推廣協會、花蓮縣野鳥學會等民間團體合作，建立執行利用志工進行兩棲類調查的基礎架構(楊懿如,2009)。2003年初步建立兩棲類調查志工制度的雛形，2005年至2006年在花東地區、2006至2007年在嘉南地區進行兩棲調查志工培訓及調查計畫；並於2007年至2008年在北部及高屏地區同時進行兩棲調查志工培訓及調查計畫；2009年整合全台灣志工團隊調查資料，挑選出30個生物多樣性熱點，並針對熱點持續監測。志工團隊進行有系統的調查及收集資料後，定期回傳到兩棲類調查資訊網資料庫(<http://tad.froghome.org/>)，由各志工團隊組長進行初審，初審通過後再由東華大學兩棲保育研究室進行複審，審核無誤後納入資料庫(楊懿如、施心翊、李承恩，2008)。除了兩棲類調查資訊網提供志工上傳資料，賞蛙情報網(<http://www.froghome.info/>)、青蛙小站討論區(<http://photo.froghome.tw/>)則提供非志工團隊成員上傳資料與分享心得，資料確認無誤後納入資料庫。截至2010年7月，累計成立60個志工團隊，2010年度仍持續參與的志工團隊計有32個志工團隊，針對台灣地區進行兩棲類分佈現況的調查監測工作。

運用志工進行調查可節省時間、人力等成本，並提供大尺度與大量的資料，然而仍有部分地區，因地處偏遠、人力無法到達而缺乏調查資料。這些地區就必須藉由建立物種分布預測模式(Distribution and Predictive model)來推估物種分布的情況。物種分布預測模式廣義而言，是以小區域的實際調查資料，搭配環境因子，並利用軟體或統計方法建立適當的模式，來預測大區域物種分布的情形；因此利用物種分佈預測模式便可以彌補調查的空白區域，也能及時提供保育決策的資訊。較常使用的預測模式有Maxent、

GARP、LR、ENFA等，利用這些物種分布預測模式進行分布預測在國內外已有許多例子，且涵蓋多樣的生物類群(表1-4)。

在多種預測模式中，Maximum-entropy (Maxent)因軟體取得容易、預測準確度良好而廣泛被使用。Maxent方法原應用於統計物理、語音與影像辨識研究，近年才開始應用於生態研究(李培芬等，2009)。Entropy(熵)除了是代表系統混亂程度外，也可視為雜訊影響系統中有效資訊的狀態，因此當資料分佈狀態到達最大熵時，理論上資料的分布狀態會最接近實際分佈(李培芬等，2009)。

除了物種分佈資料庫與統計軟體，分佈預測模式另一個重要的項目為環境因子資料庫。建置環境因子資料庫必須累積長時間與大量的氣候數據資料，需要較高的人力與經費成本。WorldClim為一個全球尺度的氣候圖集，由Hijmans、Cameron、Parra、Jones and Jarvis於2005年製作，氣候資料來源包含Global Historical Climate Network Dataset、WMO climatological normals、FAOCLIM 2.0 global climate database、International Center for Tropical Agriculture等氣候資料庫，採用年間為1950-2000年，並使用ANUSPLIN software package 4.3版進行內插分析，藉此估算全球各地氣候環境。由於WorldClim所製作的氣候圖集為免費資源(於<http://www.worldclim.org>可下載)、圖層解析度高(約1km)，國外許多分佈預測模式皆採用WorldClim做為其環境因子資料庫，例如Samraat et al.(2007)利用19個WorldClim製作的環境因子圖層，預測印度東北部兩棲爬蟲分佈情況；Tereza et al.(2010)預測蜜蜂(*Peponapis fervens*)和其授粉植物(Cucurbitaceae)於墨西哥的分佈，採用19個WorldClim製作的環境因子圖層；Wang et al.(2007)利用19個WorldClim製作的環境因子圖層，預測*Radopholus similis*在中國大陸分佈概況；Andre(2006)預測墨西哥低地沿海地區兩棲爬蟲分佈情形，也使用22個WorldClim製作的環境因子圖層。

東華大學兩棲保育研究室統計兩棲調查志工資料(2001-2009)，總計 43743 筆，這些分佈於全省各縣市的資料已能大致歸納出臺灣 32 種蛙類分佈型態(楊懿如、龔文斌、施心翊，2009)。然而受限於臺灣多數山區難以到達，調查資料多集中於平原與低海拔地區，本研究藉由建立分佈預測模式，針對臺灣 32 種蛙類進行分佈預測，了解台灣蛙類較完整的分佈資訊，並找出潛在生物多樣性熱點。未來將針對潛在熱點進行實際調查驗證，並藉由志工調查資料，持續更新與改善預測模式。

表 1、運用物種分佈模式預測哺乳類分佈相關文獻

地區/網格	物種	預測模式	重要成果	作者/年份
厄瓜多爾/1km	鼠類	GARP	棲地僅有少數位於保護區內	Robert et al./2004
墨西哥/經緯度 0.01 度	哺乳類	GARP	超過 1/4 的物種棲地減少 50%	Vi'ctor et al./2005
台灣/1km	黑熊	GARP	分布集中於中央山脈	黃美秀等/2009
西非/30m	黑猩猩	Maxent	在過去 30 年內，黑猩猩適合分布的地區縮小	Torres et al./2010

表 2、運用物種分佈模式預測兩棲爬蟲類分佈相關文獻

地區/網格	物種	預測模式	重要成果	作者/年份
墨西哥/5km	兩棲爬蟲	GARP	熱點所在地區與保護區不相符	Andre/2006
印度東北部/30 arc-second(1km)	兩棲爬蟲	Maxent	保護區系統無法涵蓋最多的物種	Samraat et al./2007

表 3、運用物種分佈模式預測水生動物分佈相關文獻

地區/網格	物種	預測模式	重要成果	作者/年份
南威爾斯/1km	淡水魚	GARP	歸納出 6 個生態分區	Growns and West/2008
美洲/1km	斑馬殼菜蛤	GARP、Maxent、LR、CART	歸納出四個影響分佈的環境因子	Li et al./2008

表 4、運用物種分佈模式預測昆蟲分佈相關文獻

地區/網格	物種	預測模式	重要成果	作者/年份
中國/5km	穿孔線蟲	Maxent、GARP	可廣泛分布於東南沿海	Wang et al./2007
墨西哥/	蜜蜂、授粉植物	GARP	兩者分佈有顯著相關	Tereza et al./2010

二、材料與方法

(一) 志工調查樣區概述

樣區的地點為志工自行選定，志工在到達樣區調查時，會先目視劃設一條約 500m 的穿越線，並於穿越線中心記錄一個單位為 TWD97 二度分帶的座標，此座標即為樣區的固定座標，之後再到同樣區調查時皆沿用這個座標，不需重覆標定。本研究樣區為志工於台灣本島調查的樣區，共計 1627 個樣區(志工團隊 1595 個樣區，非志工團隊 32 個樣區)，各縣市皆有調查樣區，調查樣區最多的縣市為花蓮縣，有 525 個，調查樣區最少的縣市為苗栗縣，有 6 個，平均每個縣市有 95.7 ± 110.62 個。

(二) 志工調查方法

2003 年至 2007 年屬於普查性質，志工團隊調查頻度不固定，2008 年起調查的頻度原則上為每季調查一次，於每年的 1、4、7、10 月各進行一次野外調查工作，調查開始時間以日落後半小時到午夜 24 時為止。調查方式使用目視遇測法(visual encounter method, VEM)與穿越帶鳴叫計數法(audio strip transects, AST)(呂光洋等, 1996)互相搭配紀錄蛙種、數量以及停棲位置於規格化的表格中。在到達樣區後，選定一條約 500m 的穿越帶，步行使用目視遇測法搭配穿越帶鳴叫計數法進行調查，並在穿越帶的中心紀錄座標，由於兩棲類鳴叫聲音傳播距離約 500m，因此樣區周邊 500m 的環域皆為調查的範圍(郭炳村, 2007)。

(三) 志工調查資料狀況

志工調查資料屬於普查性質的資料，調查樣區多，但是調查頻度較不固定，適合探討物種分佈的情形(郭炳村, 2007)。本研究使用 2003 年 1 月至 2009 年 12 月志工調查上傳的有效資料，用 Microsoft excel 2003 進行資料整理，選取有 GPS 座標、物種的資料整理後進行分析，共計 43743 筆資料，其中 43477 筆為各縣市志工團隊調查資料，266 筆來自賞蛙情報網及青蛙小站非志工團隊成員上傳資料，資料主要來自志工團隊。

(四) 資料分析

(1) 臺灣蛙類分佈資料庫

將 43743 筆志工調查資料進行資料整理，將同樣區同蛙種的資料進行合併，並轉換座標格式為 WGS84 十進位(Decimal degrees)經緯度座標。將調查資料依蛙種進行分類，每種蛙種並隨機挑選 1/3 的調查資料做為驗證資料，各蛙種其餘 2/3 資料則用來建立模式。調查資料筆數最多的蛙種為澤蛙，最少的蛙種為海蛙(附錄一)。

(2) 環境因子資料庫

在挑選環境因子圖層時，參考國外生態分布預測相關文獻(Andres, 2006; Samraat et al., 2007; Tereza et al., 2010; Wang et al., 2007)，於 WorldClim (<http://www.worldclim.org/>)

網站下載高解析度(30 arc-second; 0.008333 度×0.008333 度; 約 1km × 1km 網格)的 58 項全球環境因子圖層(附錄二)。使用免費地理資訊系統 DIVA-GIS 7.1.7 版, 將下載圖層(.bil)轉換為 grd 檔, 並切割出台灣本島、綠島及蘭嶼地區範圍。逐一檢視各項環境因子圖層, 確認範圍無誤後再將 grd 檔轉換為 American Standard Code for Information Interchange(ASCII)格式。總計臺灣本島地區共 45898 個網格。

(3)資料分析

使用 Maxent 3.3.7 版建立預測模式。將分佈資料庫與環境因子資料庫匯入, 並設定輸出的預測出現機率值為 Logistic, 檔案輸出為 ASCII。使用 ESRI ArcGIS 9.3 版將 Maxent 產出的預測機率值轉換成 Raster 檔案, 並計算預測機率的最高值、最低值、平均值與標準差。

為明確定義該地區是否有物種分佈, 因此須將預測機率分佈圖進行分類。普遍的作法為找出閾值(threshold)或切點(cut point), 預測分佈機率值大於切點的網格視為有分佈, 預測分佈機率小於切點的網格則視為無分佈。切點的選定有多種方式: 預測機率平均值減去 0.5 個標準差(潘彥宏, 1997)、平均值減 1 個標準差(潘彥宏, 1997)、期望值法(潘彥宏, 1997); Buckland and Elston, 1993)。本研究採用預測機率平均值做為切點, 使用 Reclassify 功能, 將預測機率值大於平均值的網格定義為 1(有出現), 預測機率值小於平均值的網格定義為 0(未出現)。

模式的驗證有多種方式, 常用的方式為: 計算 ROC 的曲線下面積(Area Under ROC Curve; AUC)、kappa 值(吳采諭、陳怡秀、李培芬, 2007)、sensitivity 值(吳尹仁, 2007)。其中前兩者(AUC、kappa)計算時需先定義物種不存在的網格, 由於物種未出現難以定義, 因此本研究採用 sensitivity 值做為驗證模式準確度指數。

製作 32 種蛙類預測分佈圖, 用 Raster calculator 累加各網格所出現的蛙種, 並與楊懿如等(2009) 利用志工實際調查資料所歸納出的 7 種分佈形態(全島普遍分佈、全島零星分佈、僅分佈西部、僅分佈中北部、僅分佈中南部、僅分佈南部及點狀分佈)比較。

熱點挑選方法採用自 Andre(2007)的種豐度法: 計算各網格預測出現的物種數, 取最高的物種數, 將此物種數分成 4 個等段, 取物種數最高的那一段做為熱點的標準。依此法挑選出生物多樣性熱點, 以提供後續調查監測之參考。

三、結果

(一)各蛙種分佈預測

計算各種蛙類預測分佈值, 呈現在表 5 至 7, 以歸納各種蛙類的分佈型態。表五顯示蟾蜍科、狹口蛙科、樹蟾科的預測分佈結果。結果顯示蟾蜍科中以盤古蟾蜍分佈略為廣泛, 兩者皆廣泛分布於臺灣本島地區; 狹口蛙科中以小雨蛙分佈最為廣泛; 史丹吉氏小雨蛙、黑蒙希氏小雨蛙侷限分佈於西部台中以南及東部低海拔地區; 巴氏小雨蛙侷限

分佈西部彰化以南的低海拔地區；花狹口蛙則侷限分佈於西部台南以南至台東縣南端地區；中國樹蟾廣泛分布於全島低海拔地區。

表 5、蟾蜍科、狹口蛙科、樹蟾科預測結果

物種	切點值	預測有分佈格數	準確率	分佈比例
蟾蜍科/黑眶蟾蜍	0.12	14951 格	62.0%	32.6%
盤古蟾蜍	0.15	15362 格	97.2%	33.5%
狹口蛙科/花狹口蛙	0.06	7158 格	100.0%	15.6%
巴氏小雨蛙	0.07	9104 格	100.0%	19.8%
黑蒙希氏小雨蛙	0.07	11629 格	97.3%	25.3%
史丹吉氏小雨蛙	0.13	13637 格	100.0%	29.7%
小雨蛙	0.10	14045 格	96.2%	30.6%
樹蟾科/中國樹蟾	0.16	16712 格	94.1%	36.4%

表 6 為赤蛙科分佈預測結果，結果顯示赤蛙科中以梭德氏赤蛙、拉都希氏赤蛙、澤蛙、斯文豪氏赤蛙與貢德氏赤蛙分佈較為廣泛，分佈於全島平地及山區；牛蛙零星分布於西全島平原地區；金線蛙廣泛分布全島平地；虎皮蛙廣泛分布於宜蘭縣以外之全島平地與低海拔山區；古氏赤蛙分佈於西部台南以北及宜蘭低海拔山區；長腳赤蛙侷限分佈於西部苗栗以北、宜蘭平地及低海拔地區；腹斑蛙廣泛分布於西部雲林以北，東部宜蘭至台東平地及低海拔山區；台北赤蛙零星分布於西部嘉義以南、苗栗以北平地及低海拔地區。

表 6、赤蛙科分佈預測結果

物種	切點值	預測有分佈的格數	準確率	分佈比例
海蛙	0.0003	160 格	0%	
臺北赤蛙	0.01	5946 格	92.9%	13.0%
腹斑蛙	0.05	8625 格	93.3%	18.8%
長腳赤蛙	0.07	8938 格	92.3%	19.5%
古氏赤蛙	0.07	9745 格	91.9%	21.2%
虎皮蛙	0.07	10736 格	93.7%	23.4%
金線蛙	0.07	12374 格	95.2%	27.0%
斯文豪氏赤蛙	0.12	12568 格	93.3%	27.4%
牛蛙	0.18	13870 格	50.0%	30.2%

貢德氏赤蛙	0.10	14199 格	95.4%	30.9%
澤蛙	0.11	14259 格	90.1%	31.1%
豎琴蛙	0.17	15021 格	100.0%	32.7%
拉都希氏赤蛙	0.13	15525 格	91.8%	33.8%
梭德氏赤蛙	0.17	18691 格	84.0%	40.7%

表 7 為樹蛙科分佈預測結果，結果顯示樹蛙科中以褐樹蛙、白額樹蛙、艾氏樹蛙、莫氏樹蛙、日本樹蛙分佈較為廣泛，分佈於全島平地至低海拔地區；面天樹蛙則廣泛分佈於西部及宜蘭平地及低海拔地區；台北樹蛙侷限分佈於西部南投以北及宜蘭低海拔地區；橙腹樹蛙零星分佈於北部、東北部及東部山區；翡翠樹蛙侷限分佈於西部苗栗以北、宜蘭低海拔山區。

表 7、樹蛙科分佈預測結果

物種	切點值	預測有分佈的格數	準確率	分佈比例
諸羅樹蛙	0.03	4165 格	88.9%	9.1%
翡翠樹蛙	0.03	5585 格	100.0%	12.2%
橙腹樹蛙	0.04	7446 格	100.0%	16.2%
台北樹蛙	0.06	8156 格	94.4%	17.8%
日本樹蛙	0.08	11272 格	93.9%	24.6%
莫氏樹蛙	0.10	11683 格	94.4%	25.5%
艾氏樹蛙	0.09	12307 格	91.9%	26.8%
面天樹蛙	0.09	13030 格	91.7%	28.4%
白額樹蛙	0.10	13146 格	88.1%	28.6%
褐樹蛙	0.11	13768 格	94.2%	30.0%

將 32 種蛙類的預測分佈形態與楊懿如等(2009)利用志工實際調查資料所歸納出的 7 種分佈形態(全島普遍分佈、全島零星分佈、僅分佈於西部、僅分佈於中北部、僅分佈於中南部、僅分佈於南部及點狀分佈)比較。結果顯示僅海蛙與豎琴蛙的預測分佈與 2009 年歸納的結果有明顯差異，與現況分佈也不符合。其餘 30 種蛙類的預測分佈則大致符合 2009 年歸納的結果(圖 1-6)。

(二)蛙類生物多樣性熱點

刪除分佈預測明顯錯誤的兩種蛙種(海蛙、豎琴蛙)，使用 Raster Calculator 累計各網格出現的蛙種數。結果顯示單一網格出現的蛙種數最低為 1 種，最高為 24 種；平均每網格有 7.66 種。最多網格出現的物種數為 1 種，有 7855 個網格；最少網格出現的物

種數為 22 種，有 141 個網格。

依照種豐度法規則挑選熱點，19-24 種皆列為熱點。熱點網格數為 3292 格，約佔台灣本島面積 7.1%。熱點地區集中於雪山山脈北端低海拔地區、台中縣太平市、阿里山山脈西側集集至竹崎、海岸山脈北段、台東利嘉至知本、太麻里，這些地區皆位於低海拔森林地區(圖 7)。將熱點分布圖，與楊懿如等(2009)運用實際志工調查資料挑選的熱點進行套疊，結果顯示預測分佈所產生的熱點已能涵蓋 2009 年所挑選出熱點。

為了解預測分佈熱點與河流關係，使用內政部交通運輸研究所製作的台灣本島河流圖層，並與熱點進行套疊。結果顯示熱點皆有河流流經，並為大型溪流的流域(大漢溪、新店溪、大肚溪、蘭陽溪、花蓮溪、秀姑巒溪、濁水溪與清水溪)，顯示熱點所在的地理位置與溪流密不可分。

四、討論

(一)物種分佈資料庫

建立預測模式必須先建置物種分佈資料庫，然而大尺度的物種調查需耗費大量的人力與經費，因此多數文獻皆以整理歷史調查文獻、博物館標本資料來做為物種分佈資料庫，然而因過去調查技術未臻成熟，常無法準確確認座標位置，以致於能使用的分佈資料較少。

本研究嘗試使用志工調查資料做為物種分佈資料庫，自 2001-2009 年累積 43743 筆資料，涵蓋 1406 個 1km×1km 的網格。志工調查資料每筆皆有精確座標、蛙種，減少產生誤差。

(二)環境因子圖層

本研究採用 WorldClim 所製作，解析度約為 1km×1km 的氣候圖層網格。WorldClim 所製作氣候圖層主要為三大類：氣溫、海拔、降雨量；多數的圖層皆為這三大類延伸。然而影響蛙類分佈的因子除了氣溫、海拔及降雨量外，尚包含了離水源遠近、人為開發程度等等，這些因子受限於技術因素而無法取得，未來將持續更新圖層，改善與修正預測模式。

(三)各蛙種預測分佈

歸納 32 種蛙類分佈形態，並與楊懿如等(2009)年結果進行比較。結果顯示海蛙與豎琴蛙分佈預測與 2009 年結果差異極大，兩種蛙類分佈預測範圍也明顯與現況不符。造成海蛙與豎琴蛙預測出現明顯錯誤的原因為調查資料筆數過少(皆<5 筆)，調查資料過少會影響預測的準確性(潘彥宏，1997)。其餘 30 種蛙類預測分佈形態大致與 2009 年結果相符，也無明顯偏離目前合理的分佈現況。建議志工後續可以針對海蛙及豎琴蛙加強調查頻度，增加調查資料筆數，降低預測誤差。

(四)預測模式之驗證

盧冠安(2008)指出，模式理論上最佳的評估法為使用另一組獨立的調查資料進行驗證；潘彥宏(1997)則建議使用現有調查資料的 25%或 20%進行驗證。然而由於調查資料大多缺乏，因此在許多生態期刊論文中，也有相當多論文並無進行模式驗證(盧冠安,2008)。目前常使用的驗證方式為計算 kappa 值、計算 ROC 曲線下的面積(AUC)、計算 Sensitivity 值。若使用 kappa 值與 AUC 值進行驗證，必須先定義哪些網格為“未分佈”，並建立矩陣。然而由於調查資料多屬短時間、不固定調查，因此要正確定義未分佈的網格就較為困難，且易有誤差。計算 Sensitivity 值僅需“實際有分佈”的資料便可進行驗證，並可與 kappa 值進行搭配驗證(吳尹仁，2007)。然而使用 Sensitivity 值做為評估模式準確性依據，容易忽略模式過度預測的部份，未來將篩選出志工已累積長時間調查資料的樣區做為未分佈蛙種的參考，補足驗證未完善的地方。

(五)蛙類生物多樣性熱點

歸納 30 種蛙類的預測分佈，並計算各網格出現的蛙種數，並依照物種豐度多寡挑選出生物多樣性熱點。預測熱點種數介於 19-24 種之間，總計有 3292 格。這些網格所在地區多屬於低海拔森林地區，其中以雪山山脈北端低海拔地區為熱點中物種數最多、鄰近大都會區(台北、桃園)，面臨開發破壞壓力最大，建議加強監測。

與楊懿如等(2009)依據志工實際調查資料挑選出的熱點進行比較，預測產生的熱點數量遠高於 2009 年挑選出的熱點；預測產生的熱點分佈較連續，皆屬沿著山脈分佈的長條帶狀分佈。

將本研究製作之 30 種蛙類分佈預測圖公佈於台灣兩棲類資源調查網 (<http://tad.froghome.org/>)，未來除持續針對 2009 年所挑選出熱點進行監測外，建議志工若須新增樣區時，可參考預測分佈圖中物種豐富度較高的區域。未來將持續培訓兩棲調查志工，以志工調查資料為基礎，持續更新與改善預測模式。

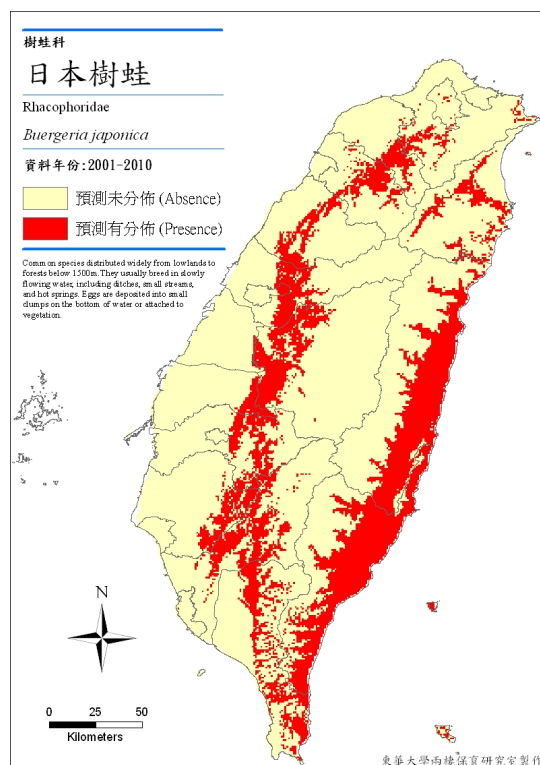


圖 1、普遍分佈於全島(日本樹蛙預測分佈)

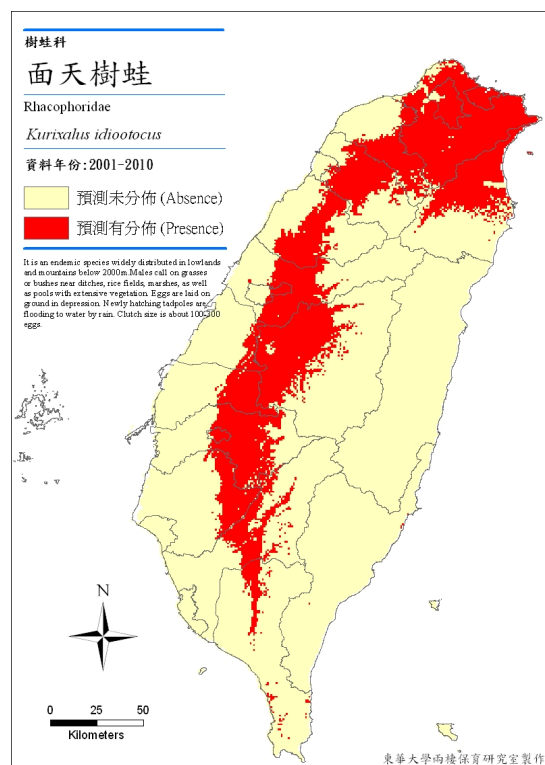
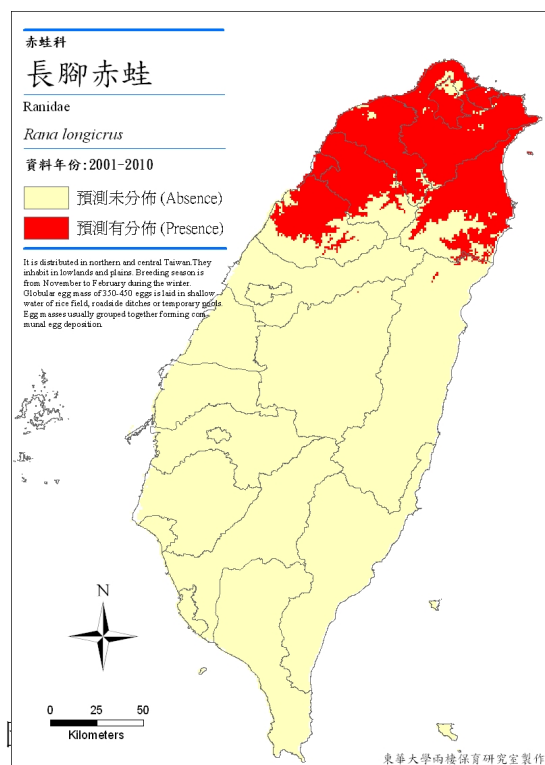
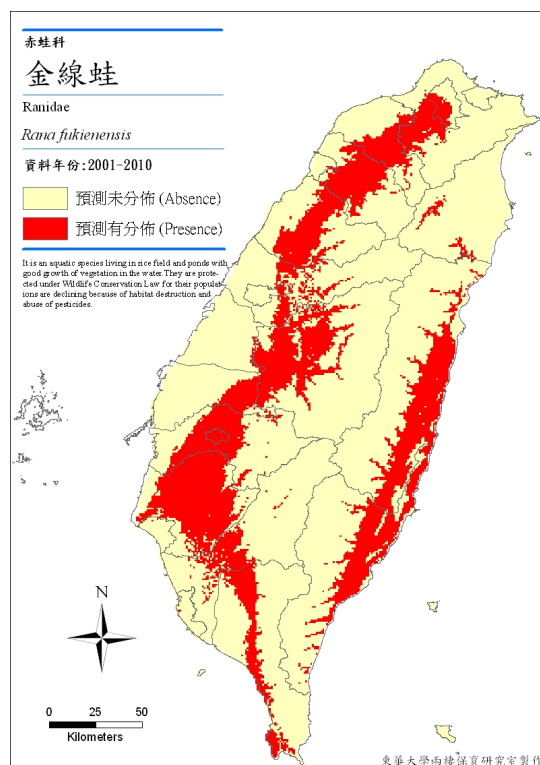


圖 3、只分佈於西部(面天樹蛙預測分佈)



備註：限於版面頁數，僅就六種分佈形態中(扣除點狀分佈-豎琴蛙)，各挑選

一種蛙類做為代表。其餘蛙類分佈圖可於 <http://www.froghome.org/> 查詢。

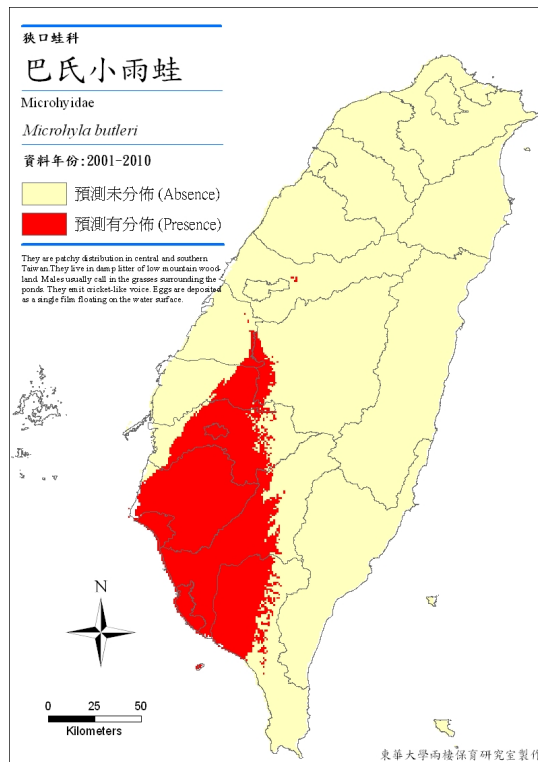


圖 5、只分佈於中南部(巴氏小雨蛙預測分佈)

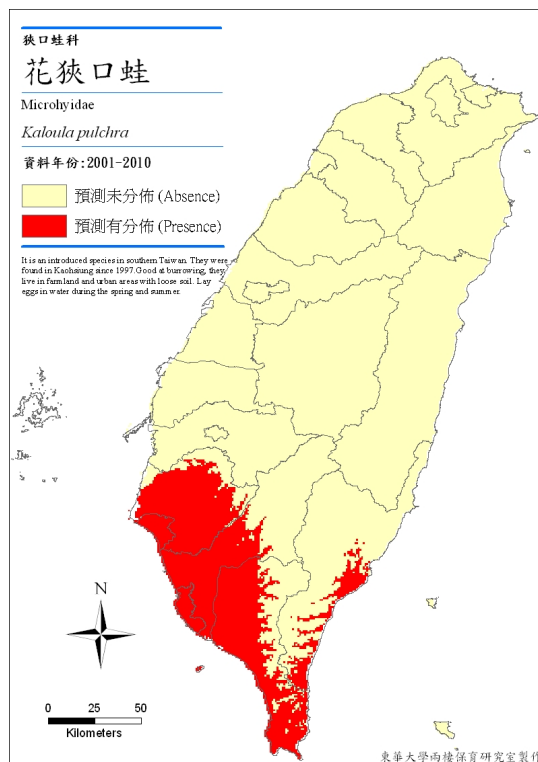


圖 6、只分佈於南部(花狹口蛙預測分佈)

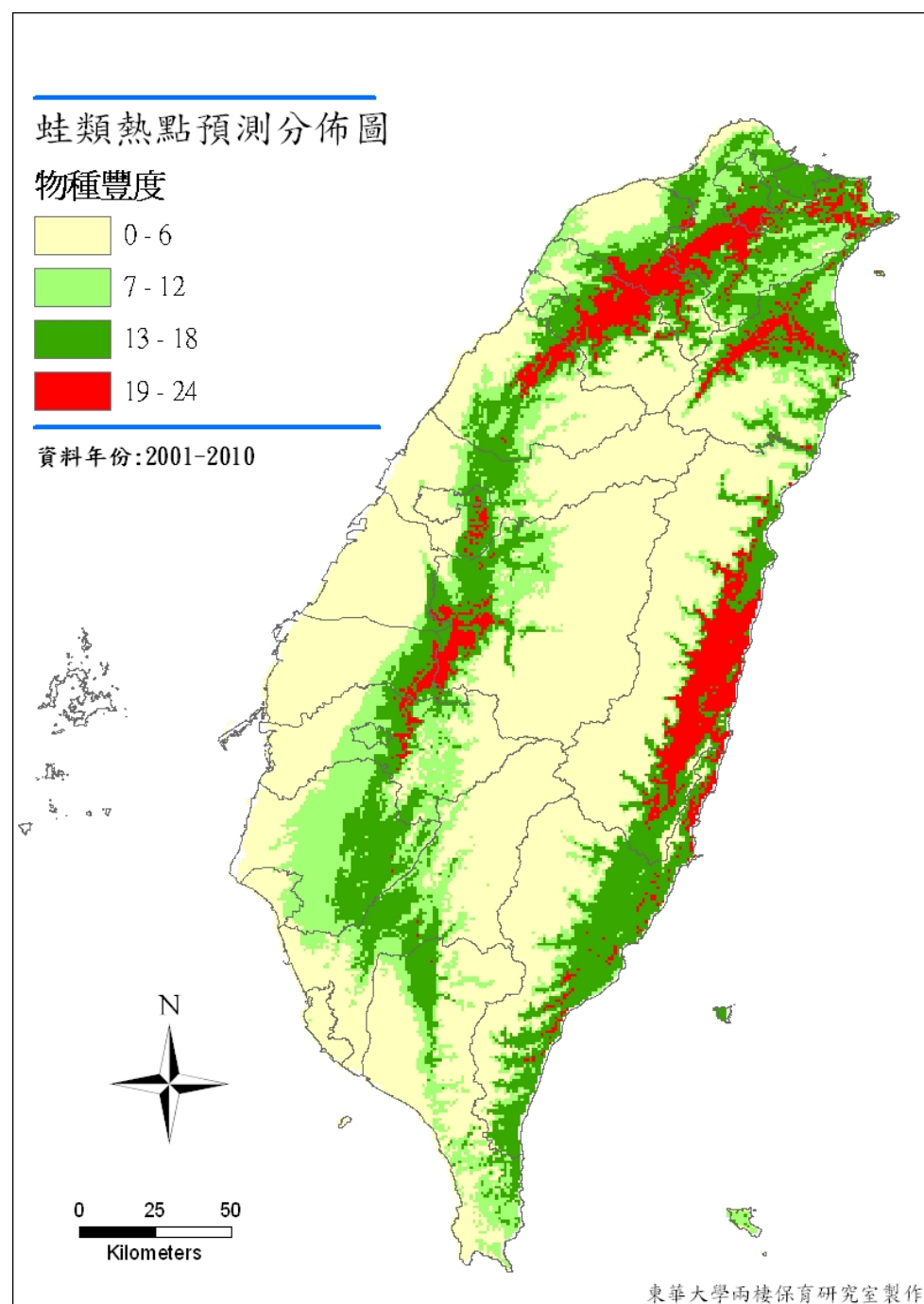


圖 7、兩棲類生物多樣性熱點預測分佈圖

致謝

感謝林務局計畫經費補助 { 計畫編號 98-林管-02.1-保-19(5) , 99-林管-02.1-保-24(4) } , 及國科會數位典藏與數位學習國家型科技計畫經費補助 (計畫編號 NSC98-2631-H-259-001 , NSC99-2631-H-259-002) 及所有參與調查的志工夥伴。

五、參考文獻

- 呂光洋、陳添喜、高善、孫承矩、朱哲民、蔡添順、何一先、鄭振寬編（1996），台灣野生動物調查－兩棲動物資源調查手冊，台北：行政院農業委員會。
- 李培芬、陳怡秀、李承恩、柯佳吟(2009)〈台灣陸域生物多樣性熱點評估計畫〉，生物多樣性行動計畫研討會論文集，309-316 頁。
- 吳尹仁(2007)《台灣黑熊棲息地利用及分佈預測模式》，屏東：國立屏東科技大學野生動物保育研究所碩士論文。
- 吳采諭、陳怡秀、李培芬(2009)〈台灣繁殖鳥類之空間分布與熱點分析〉，台灣鳥類論壇論文集。
- 郭炳村（2007）《運用志工調查資料進行桃園地區兩棲類分佈之研究》，花蓮：花蓮教育大學生態與環境教育研究所碩士論文。
- 黃美秀、吳尹仁、姚中翎、李培芬、王穎、吳海音（2009）〈台灣黑熊棲息地利用及分佈預測模式〉，特有生物研究，11（2）：1-20。
- 楊懿如、施心翊、李承恩(2008)〈台灣兩棲類調查志工制度之建立與歷程〉，野生動物保育彙報及通訊，Volumn(12)，Number(3): 29-32。
- 楊懿如（2009）〈台灣兩棲動物的保育教育〉，兩岸四地環境教育論壇論文集，121-126 頁。
- 楊懿如、龔文斌、施心翊（2009）〈運用志工調查資料結合 GIS 監測台灣蛙類生態〉，數位典藏地理資訊學術研討會論文集，83-100 頁。
- 潘彥宏（1996）《台灣無尾目兩生類之空間分布模式》，台北：台灣大學動物學研究所碩士論文。
- 盧冠安(2008)〈淺談生物分佈預測模式〉，自然保育季刊，61：3-6
- Andre, G.(2006)Using ecological niche modelling to identify Diversity hotspots for the herpetofauna of Pacific lowlands and Adjacent interior valleys of Mexico. *Biological conservation*, 130: 25-46.
- Buckland, S. T., and D. A. Elston. (1993) Empirical model for the spatial distribution of wildlife. *Journal of Applied Ecology*, 30:478-495.
- DNR 網站:<http://www.michigan.gov/dnr/>，查詢日期 2009 年 9 月。
- Frogwatch 網站：<http://frogs.org.au/frogwatch/event.php>，查詢日期2009年9月。
- Growns, I., G. West (2008) Classification of aquatic bioregions through the use of distributional modelling of freshwater fish. *Ecological Modelling*,217:79-86.

- Heyer, W. R., M. A. Donnelly, R. W. McDiarmid, L. C. Hayek and m. s. Foster (1994) Measuring and Monitoring Biological Diversity: Standard Methods for Amphibian. Smithsonian Institution Press, Washington and London, 364pp.
- Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G. & Jarvis A. (2005) Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25, 1965-1978.
- Li, M. Y., J. Yunwei, S. Kumar, T. J. Stohlgren (2008) Modeling potential habitats for alien species *Dreissena polymorpha* in Continental USA. *Acta Ecologica Sinica*, 28(9):4253-4258.
- Robert P. A., E. Marti' nez-Meyer (2004) Modeling species' geographic distributions for preliminary conservation assessments: an implementation with the spiny pocket mice (*Heteromys*) of Ecuador. *Biological Conservation*, 116: 167-179.
- Samraat, P., M. S. Koo, C. Kelley, M. F. Ahmed, S. Chaudhuri, S. Sarkar (2007) Conservation assessment and prioritization of areas in Northeast India: Priorities for amphibians and reptiles. *Biological Conservation*, 136:346-361.
- Tereza, C. G., A. M. Saraiva, I. Alves-dos-Santos (2010) Ecological niche modeling and Geographical distribution of pollinator and plants: A case study of *Peponapis fervens* (Smith, 1879) (Eucerini: Apidae) and *Cucurbita* species (Cucurbitaceae). *Ecological Informatics*, 5:59-66.
- Torres, J., J. C. Brito, M. J. Vasconcelos, L. Catarino, J. Gonçalves, J. Honrado (2010) Ensemble models of habitat suitability relate chimpanzee (*Pan troglodytes*) conservation to forest and landscape dynamics in Western Africa. *Biological Conservation*, 143:416-425.
- Víctor, Sa'nchez-Cordero, P. Illoldi-Rangel, M. Linaje, S. Sarkar, A. T. Peterson (2005) Deforestation and extant distributions of Mexican endemic mammals. *Biological Conservation*, 126:465-473.
- Wang, Y. S., B. Y. Xie, F. H. Wan, Q. M. Xiao, L. Y. Dai (2007) The Potential Geographic Distribution of *Radopholus similis* in China. *Agricultural Sciences in China*. 6(12):1444-1449.

附錄一、蛙類分佈資料庫各蛙種出現筆數

物種	筆數
日本樹蛙(<i>Buergeria japonica</i>)	3972
褐樹蛙(<i>Buergeria robusta</i>)	1294
盤古蟾蜍(<i>Bufo bankorensis</i>)	3704
黑眶蟾蜍(<i>Bufo melanostictus</i>)	4336
海蛙(<i>Fejervarya cancrivora</i>)	5
澤蛙(<i>Fejervarya limnocharis</i>)	5118
虎皮蛙(<i>Hoplobatrachus rugulosus</i>)	528
中國樹蟾(<i>Hyla chinensis</i>)	337
花狹口蛙(<i>Kaloula pulchra</i>)	24
艾氏樹蛙(<i>Kurixalus eiffingeri</i>)	1782
面天樹蛙(<i>Kurixalus idiootocus</i>)	1650
古氏赤蛙(<i>Limnonectes kuhlii</i>)	697
巴氏小雨蛙(<i>Microhyla butleri</i>)	36
小雨蛙(<i>Microhyla fissipes</i>)	2353
黑蒙希氏小雨蛙(<i>Microhyla heymonsi</i>)	656
史丹吉氏小雨蛙(<i>Micryletta inornata</i>)	49
白領樹蛙(<i>Polypedates megacephalus</i>)	3336
腹斑蛙(<i>Rana adenopleura</i>)	1090
牛蛙(<i>Rana catesbeiana</i>)	21
金線蛙(<i>Rana fukienensis</i>)	267
貢德氏赤蛙(<i>Rana guentheri</i>)	1270
拉都希氏赤蛙(<i>Rana latouchii</i>)	4563
長腳赤蛙(<i>Rana longicrus</i>)	220
豎琴蛙(<i>Rana okinavana</i>)	3
梭德氏赤蛙(<i>Rana sauteri</i>)	296
斯文豪氏赤蛙(<i>Rana swinhoana</i>)	2289
台北赤蛙(<i>Rana taipehensis</i>)	171
諸羅樹蛙(<i>Rhacophorus arvalis</i>)	191
橙腹樹蛙(<i>Rhacophorus aurantiventris</i>)	57
莫氏樹蛙(<i>Rhacophorus moltrechti</i>)	3015
翡翠樹蛙(<i>Rhacophorus prasinatus</i>)	166
台北樹蛙(<i>Rhacophorus taipeianus</i>)	214
總計	43742

附錄二、58 項環境因子圖層

圖層代碼	圖層說明
alt	海平面以上海拔(m)
prec1	1 月降雨量(mm)
prec2	2 月降雨量(mm)
prec3	3 月降雨量(mm)
prec4	4 月降雨量(mm)
prec5	5 月降雨量(mm)
prec6	6 月降雨量(mm)
prec7	7 月降雨量(mm)
prec8	8 月降雨量(mm)
prec9	9 月降雨量(mm)
prec10	10 月降雨量(mm)
prec11	11 月降雨量(mm)
prec12	12 月降雨量(mm)
tmean1	1 月月均溫($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmean2	2 月月均溫($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmean3	3 月月均溫($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmean4	4 月月均溫($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmean5	5 月月均溫($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmean6	6 月月均溫($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmean7	7 月月均溫($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmean8	8 月月均溫($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmean9	9 月月均溫($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmean10	10 月月均溫($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmean11	11 月月均溫($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmean12	12 月月均溫($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmax1	1 月最高溫平均($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmax2	2 月最高溫平均($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmax3	3 月最高溫平均($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmax4	4 月最高溫平均($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmax5	5 月最高溫平均($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmax6	6 月最高溫平均($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmax7	7 月最高溫平均($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmax8	8 月最高溫平均($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmax9	9 月最高溫平均($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmax10	10 月最高溫平均($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmax11	11 月最高溫平均($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmax12	12 月最高溫平均($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmin1	1 月最低溫平均($^{\circ}\text{C} * 10$)

圖層代碼	圖層說明
tmin2	2 月最低溫平均($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmin3	3 月最低溫平均($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmin4	4 月最低溫平均($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmin5	5 月最低溫平均($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmin6	6 月最低溫平均($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmin7	7 月最低溫平均($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmin8	8 月最低溫平均($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmin9	9 月最低溫平均($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmin10	10 月最低溫平均($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmin11	11 月最低溫平均($^{\circ}\text{C} * 10$)
tmin12	12 月最低溫平均($^{\circ}\text{C} * 10$)
bio1	年均溫
bio2	平均月溫範圍
bio5	最暖月的最高溫
bio6	最冷月的最低溫
bio7	年溫範圍
bio12	年降雨量
bio13	最濕月份降雨量
bio14	最乾月份降雨量