

# 交通方式對路死動物屍體被偵測率的影響

## How modes of transportation influence road carcass detection probability

陳宛均<sup>1, 2</sup>、蔡富安<sup>1</sup>、林毅倫<sup>1</sup>、林德恩<sup>1\*</sup>

Wan-Jyun Chen<sup>1, 2</sup>, Fu-An Tsai<sup>1</sup>, Yi-Lun Lin<sup>1</sup>, and Te-En Lin<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>行政院農業委員會特有生物研究保育中心，552 南投縣集集鎮民生東路 1 號

<sup>2</sup>國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所，106 台北市羅斯福路 4 段 1 號

<sup>1</sup>Endemic Species Research Institute, No. 1, Ming-shen East Road, Jiji, Nantou 552, Taiwan

<sup>2</sup>Institute of Ecology and Evolutionary Biology, National Taiwan University, No. 1, Section 4, Roosevelt Road, Taipei 106, Taiwan

\* 通訊作者：林德恩

E-mail: dnlin@tesri.gov.tw

### 摘要

讓民眾依調查樣線現況，使用不同交通方式進行道路沿線路殺調查，有助於提升參與意願以獲得足夠樣本數。然而交通方式的不同，對於路殺動物調查的偵測率卻有很大的影響。為此本研究針對步行、腳踏車、機車與汽車 4 種交通方式對路死動物屍體調查偵測率進行試驗，同時評估行進速度、調查者經驗、道路型態、物種類群、路死動物屍體的面積大小對偵測率的影響。研究結果顯示步行可以調查到最多的屍體 74%，其次是腳踏車 42% 與機車 32%，而汽車僅有 12%；

經模式推估其中最主要的影響因子為交通方式與調查行進速度，其次是調查者經驗與道路類型。而影響每一個屍體被發現與否最關鍵的因子為動物屍體的面積大小與調查行進速度。

調查者維持低速行走可以偵測到最多的物種與數量，但考量公民科學調查的可行性與提高參與度，本研究建議可使用機車調查並以 6km/hr 以下的時速行進，且完成整條 3km 樣線的調查時間不低於 30 min。培養具有經驗的志工以及維持固定樣區固定志工，也有助於提升調查偵測率，是研究團隊必需重視的工作之一。本研究結果將有助於校正臺灣野生動物路殺總量的估算，以及評估不同動物類群受路殺威脅情形。

關鍵詞：道路致死率、路殺、調查有效性、路死動物屍體被偵測率

## Abstract

Volunteers participated in a roadkill survey with the liberty of choosing different modes of transportation, including by foot, bike, scooter, or car, depending on the local line-transect status. This method helps increase participation rate and obtain a larger sample size, although the roadkill survey detection rate would be affected by the chosen mode of transportation. In this study, we tested the transportation influence on road carcass detection probability, and evaluated factors of roadkill survey detection probability, including the survey speed of observers, experience of observers, road types, species taxon, and area size of roadkill body. Surveys by foot showed the highest effectiveness (74%), bicycle (42%), scooter (32%) was second highest, and car (12%) resulted in the lowest detection rate. The modeling results show that transportation mode and observer moving speed were the primary factors influencing the carcass survey detection rate, and the experience of observers and road types were the minor factors. We also discovered that the area size of roadkill body and observer moving speed can significantly affect

carcass detection probability.

Slow-walking observers could search for the most species and roadkill bodies. Considering the trade-off between feasibility and participation of citizen science projects, we suggest volunteers/observers search carcasses by scooter, keeping the moving speed below 6km/hr, and allowing more than 30 minutes of search time on the 3km line-transect. The research team needs to train experienced volunteers and maintain the fixed study site with the same observers to improve detection probability. This study result will be useful to correct sampling bias and estimate the abundance of animals killed on the roads in Taiwan. We could also assess the roadkill risk of different taxonomic animals.

Keywords : Road mortality rate, Roadkill, Search efficiency, Road carcass detection probability

## 緒言

道路對野生動物的影響極大，道路切割破壞了棲地完整性，而道路致死更直接威脅著野生動物族群的存續。因此如何量化與指認高路殺 (roadkill) 風險區域，是道路經營管理與野生動物保育的重要課題 (Van der Ree *et al.* 2015)。

臺灣在全世界中屬於人口與道路密度極高的國家之一 (Meijer *et al.*

2018)，導致野生動物在道路上死亡的事件頻傳。目前臺灣主要的路死動物資料來自臺灣動物路死觀察網（簡稱路殺社，Taiwan Roadkill Observation Network, TaiRON）(<https://roadkill.tw>)，路殺社是 2011 年 8 月在臉書創建的虛擬社團，是以「群眾外包 (crowdsourcing)」方式蒐集機會型資料的公民科學 (citizen science) 計畫。成員主要透過網路社群聯繫與傳遞訊

息。雖然容易藉由群眾協力迅速累積大量資料，但這種被動式取得的機會型資料，往往存在高度的空間與物種偏好等人為取樣偏差，不易比對空間資料的代表性，在統計與資料應用上大大受限 (Chyn *et al.* 2019)。

為了能更精準估算臺灣野生動物路死現況和監控其受脅情形，路殺社自 2018 年起推動「系統化路死動物同步大調查」（以下簡稱路殺系統化調查）(<https://roadkill.tw/spa/report>)，以方格法的方式先將臺灣本島劃分成 1,440 個 5×5 km 的樣區方格，再依生態氣候分區（蘇 1992）與道路密度定義每一個樣區方格，最後依據各個生態氣候分區的面積比例，以分層逢機取樣方式選取 420 個具有代表性的樣區方格，開放參與民眾認養。所有參與者於每年 1、4、7 及 10 月各進行一次調查，調查前需先於認養之樣區內設定 2 條不同道路類型（省道 (1W)、縣道 (2W)、鄉道 (3W) 或其他道路 (4W) 如市區道路、林道、防汛道路及農用道路等）作為調查樣線，每條調查樣線長度最少 3km，於每季調查時

記錄所有發現之死亡陸域脊椎動物與陸蟹（林等 2018）。為了提升民眾參與意願並降低調查門檻，路殺系統化調查不限制參與者調查時使用的交通方式，調查者可以自行選擇使用步行、腳踏車、機車或汽車進行道路沿線路殺調查紀錄。

評估臺灣野生動物整體路死現況時，除了考量調查樣區之代表性外，主要影響路死動物現況評估的因子還有路殺屍體殘留率 (carcass persistence rates) 與調查偵測率 (observer detectability) (Guinard *et al.* 2012; Guinard *et al.* 2015; Korner-Nievergelt *et al.* 2015; Barrientos *et al.* 2018)。路殺屍體殘留率為路死動物屍體可以在道路上殘留的時間，會受物種種類、天候因素等影響。調查偵測率指的是調查者在道路上觀察到路死動物的機率，包含有主動與被動人為影響偵測率的因子，如傳統的野外生態調查者或機會型記錄者較容易有物種偏好，常見種、嫌惡種或小型動物容易被視而不見或被判斷為不重要而不予回報，此為調查者個人偏好主動影響偵測率。其它像

是調查時使用的交通方式、屍體大小、物種類群 (taxon) 與環境等，也都會影響調查者對路死動物屍體的偵測率，這類因子則屬於人為影響偵測率的被動因子。

許多研究比較不同交通方式對路死動物調查偵測率的影響，歐洲研究測試步行、騎腳踏車與開車的調查結果後，發現步行與腳踏車的調查偵測率顯著高於開車 (Erritzoe *et al.* 2003; Guinard *et al.* 2012)。使用步行執行調查，雖可有效提高調查偵測率，但需耗費較多的時間，也無法執行長距離的調查。因此，大多數的路死動物調查研究仍使用汽車作為調查工具，以時速 20km/hr 行進調查 (Erritzoe *et al.* 2003; Guinard *et al.* 2012; Santos *et al.* 2015; Slater 2002)。

路死動物屍體的體型大小也是影響偵測率的關鍵因子，越大的屍體越容易被偵測到，多數哺乳動物與鳥類的體型相較於兩生類與爬行類的體型大，同時哺乳動物與鳥類的屍體也比兩生類能在道路上殘留更久的時間，也就更容易被調查者所偵測 (Barrien-

tos *et al.* 2018; Guinard *et al.* 2015; Santos *et al.* 2015)。其次，調查者經驗也有可能影響調查偵測率 (Slater 2002)，路殺系統化調查仰賴超過 300 位志工參與，方能在一個月的調查時間內完成全臺監測，但其中有 54.4% 的調查小隊並未能長期持續參與調查，44.6% 的樣區未能維持長期認養調查 (林等 2021)，顯示部份的樣區與參與者是處於變動的狀態。

高度不確定的資料品質會導致低估路死動物數量或熱點呈現的分布偏離現實狀態，也將導致道路經營管理決策偏差，因此降低資料的不確定性是重要的研究課題 (Guinard *et al.* 2012; MacKenzie *et al.* 2002)。因此本研究將針對不同交通方式對路死動物屍體調查偵測率試驗，以了解調查者經驗差異、4 種交通方式在不同道路型態、調查者行進速度、物種類群、路死動物屍體大小間的偵測率差異，研究結果將有助於校正臺灣野生動物路殺總量的估算，以及評估不同動物類群受路殺威脅情形。

## 材料與方法

### 路死動物屍體盲測調查試驗

為了解不同交通方式（步行、腳踏車、機車與汽車）在不同道路類型（省道、縣道、鄉道與其他道路）上對路死動物屍體偵測率之影響，本研究於南投縣及台中市低海拔丘陵區域，分別依 4 種不同道路型態設立樣線，每段樣線長度約 1km，總計 45 段道路樣線（圖 1、附錄 1）。2018 年 3、7、10 月與 2019 年 7、9 月期間共 18 位人員（包括 5 位路殺社公民科學研究團隊的專業調查人員以及 13 位志工）參與，分別使用步行、腳踏車、機車與汽車進行調查，累計執行 8 次路死動物調查。每次執行路殺偵測率試驗時，每條樣線隨機分配任一交通方式予 4 名不同的調查者進行調查，為了減少調查時互相干擾，由速度最快的交通方式優先出發，依序是使用汽車、機車、腳踏車，最後是步行者，每位調查人員出發時間間隔 1 分鐘。所有調查者在調查時僅拍照記錄，不移動或移除路死動物屍體，以避免影響其他調查者的紀錄。調查時以智慧

型手機記錄發現的所有路死動物屍體，並於路死動物屍體旁放置 8cm 比例尺卡拍攝記錄，以作為後續路死動物體型大小估算的參考依據。同時為了比對與確保資料正確性，除拍攝路死動物屍體證據照片外，亦將使用的交通方式、調查起迄時間、路死動物屍體紀錄、坐標與照片編號等資訊逐一記錄於紙本表格，並透過樣線長度與調查起迄時間粗估每個調查旅次的行進速度 (km/hr)。

調查結果之照片依交通方式與動物類群分類儲存後，逐筆比對。每條樣線 4 種交通方式的調查結果照片，皆逐一交叉比對以釐清每個路死動物事件，以獲得該樣線上所有路死動物屍體總事件數，再分別求得不同交通方式的調查相對偵測率（以下簡稱偵測率）（公式 1）。

$$\text{交通方式的偵測率} = \frac{\text{交通方式調查到的路死動物屍體事件數}}{\text{樣線上所有路死動物屍體總事件數}} \quad \text{公式 1}$$

*i*: 步行、腳踏車、機車與汽車

### 估算路死動物屍體面積

使用開源影像分析軟體 ImageJ，透過照片中的比例尺卡，設定照片

中長度與真實長度之比例關係，測量換算路死動物屍體的面積 (cm<sup>2</sup>) (Abramoff *et al.* 2004)。本研究假設單一路死動物屍體在分散成複數個屍塊的情況下，其中最大塊者將會優先吸引到調查者注意，因此僅以最大屍塊做為散落路死動物屍體的代表面積。逐一量測和估算所有記錄照片的路死動物屍體面積後，再進一步分析比較各動物類群屍體面積、行進速度與 4 種交通方式的關係。

### 模式分析

模式一：將偵測率進行羅吉斯機率轉換 (邏輯轉換) (Logit transformation) 後作為依變數 (Warton and Hui 2011) (公式 2)，再使用廣義線性模式 (Generalized linear model) 分析調查使用的交通方式、行進速度、專業調查人員 / 志工 (簡化為 TRUE / FALSE 的變數)、道路類型如何影響偵測率，並利用訊息理論研究法 (Information theoretic approach) 進行比較，以尋找出最被資料所支持的模式 (Burnham and Anderson 2002)。本研究以 R mult-

comp 的 `glht` 函數，在多個變因共同描述的模式中，同時考量了其他變因對依變數的影響下，以 Tukey Contrasts 進行各個類別變因間的兩兩平均值比較 (Pairwise)，分別檢視交通工具之間、專業調查人員與志工、道路類型之間是否有差別。

$\text{logit} = \log[\text{偵測率} / (1 - \text{偵測率})]$  公式 2

模式二：將使用不同交通方式調查是否發現某一屍體的事件轉換為 1/0 的布林值 (Boolean values)，作為屍體偵測與否的模式檢測之依變數，用以分析每一個路死動物屍體的被偵測率，分別檢測在使用不同交通方式的情境下，行進速度、動物類群、屍體面積等 3 項因子如何影響路死動物屍體被偵測與否。本研究利用訊息理論研究法，進行以上不同獨立變數組合的模式間比較，以尋找出數個  $\Delta\text{AICc}$  小於 2 的模式變數組合進行平均。

### 模式預測能力驗證

分別對兩生類、爬行類、鳥類與哺乳類等 4 種動物類群的屍體資料，

從中抽取出 80% 做為訓練資料 (Training data set)，依據前述方式產生新的平均模式，並以抽取後剩餘的 20% 樣本作為測試資料 (Test data set) 進行驗證。將測試資料先投入模式中獲得預測結果，並與真實結果比較，再透過 ROC/AUC 曲線的表现檢視模式的預測能力。

### 情境模擬

再以情境模擬產生新的調查條件，以 4 種交通方式的行進速度範圍為取樣基準，投入時速 1km 階序漸增的速度於模式中，以本研究調查到的路死動物屍體類群與面積大小為背景值，預測單一路死動物屍體被發現的機率。透過模式模擬的結果，可獲得未來執行路殺系統化調查時，模式建議的最佳交通方式與調查行進速度。

## 結果

### 調查結果

本研究共完成 558 樣線次調查（省道 126 次、縣道 170 次、鄉道 118 次、其他道路 144 次），總努力

量 657.3km（省道 153.64km、縣道 202.34km、鄉道 132.74km、其他道路 168.55km）。步行調查的行進速度最慢，時速在  $2.68 \pm 0.73$  km/hr，腳踏車  $4.44 \pm 1.56$  km/hr，機車  $6.25 \pm 2.7$  km/hr，汽車  $9.51 \pm 4.16$  km/hr，4 種交通方式最慢到最快的速度範圍為：步行 1.25~6.75 km/hr、腳踏車 1.88~9.75 km/hr、機車 2.19~19.05 km/hr、汽車 1.76~26 km/hr。整體來看，總計記錄到兩生類共 1,801 隻 (71.50%)、爬行類 601 隻 (23.86%)、鳥類 68 隻 (2.70%) 與哺乳類 49 隻 (1.95%)，其中步行可調查到的總屍體量最多 74.95%，腳踏車 34.34% 與機車 30.81% 結果相似，而汽車最少僅 12.43%。在各類群動物屍體之間也是步行調查結果最多 72.88~76.47%，駕駛汽車調查到的路死個體比例最少，尤其是兩生類的路死屍體僅調查到 10.66%。動物類群間則是哺乳類與鳥類的屍體比兩生類與爬行類較容易被調查到，尤其是駕駛汽車調查時，哺乳類與鳥類的屍體被調查到的比例約是兩生類與爬行類的三倍（表 1）。

表 1、使用步行、腳踏車、機車與汽車等 4 種交通方式調查的各類群動物屍體調查偵測率。  
Table 1. Summaries for carcass number of animal taxonomic rank by class, detected by four survey methods: walk, bicycle, scooter, and car.

Survey method	Amphibians	Reptiles	Birds	Mammals	Total
Walk	75.51% (n=1,360)	72.88% (n=438)	76.47% (n=52)	75.55% (n=38)	74.95% (n=1,888)
Bicycle	31.15% (n=561)	40.93% (n=246)	57.35% (n=39)	38.78% (n=19)	34.34% (n=865)
Scooter	29.21% (n=526)	32.28% (n=194)	51.47% (n=35)	42.86% (n=21)	30.81% (n=776)
Car	10.66% (n=192)	13.14% (n=79)	35.29% (n=24)	36.73% (n=18)	12.43% (n=313)
Total	1,801	601	69	48	2,519

檢視每條有效調查樣線次的偵測率，結果顯示步行的調查偵測率最高 73.77±19.53 % (n=143)、腳踏車的偵測率其次 41.94±18.64% (n=129，因調查中發生腳踏車故障與爆胎等問題，故樣本數少於其他 3 種交通方式) 與機車的調查偵測率 30.57±19.6% (n=143)，汽車的調查偵測率最低 12.29±16.06% (n=143) (附錄 2)。

本研究記錄到的兩生類屍體平均面積大小為 21.00±15.48cm<sup>2</sup> (n=1,138)、爬行類 27.22±36.72cm<sup>2</sup> (n=373)、鳥類 58.44±59.07cm<sup>2</sup> (n=69)、哺乳類 78.04±66.01cm<sup>2</sup> (n=48)。由於路死動物

屍體在道路上被車輛反覆輾壓，極容易散落成大小不一的屍塊碎片，因此在同一類群中記錄到的路死動物屍體大小差異極大，兩生類與爬行類路死事件發現最小的屍體碎片僅有部分皮膚或鱗片，鳥類為殘缺的羽毛，哺乳類則是部分皮毛，若是新鮮的完整屍體狀態，蛇類壓平的屍體最大表面積可與鳥類、哺乳類的屍體表面積大小相似 (附錄 3)。

### 模式分析結果

模式一：路死動物調查整體偵測率經過羅吉斯機率轉換的數值符合常

表 2、各模式組合之比較與排序，以訊息理論研究法之 AICc 對調查樣線上整體偵測率進行模式選擇之結果； $\Delta AICc$  是各模式的 AICc 與具有最低 AICc 值（本研究最低 AICc 為 1701.66）模式的差值。

Table 2. Ranking of models of survey condition and variables—speed, vehicle, expert and road type—in relation to carcass detection ratio on a transect line.  $\Delta AICc$  indicate the difference of AICc between a model and the model with the lowest AICc (in this case, 1701.66).

Model	K	AICc	$\Delta AICc$	AICc weight	Log-likelihood
行進速度+交通方式+專業調查人員+道路類型	10	1701.66	0.00	0.97	-840.63
行進速度+交通方式+專業調查人員	7	1708.70	7.04	0.03	-847.25
行進速度+交通方式+道路類型	9	1727.70	26.04	0.00	-854.69
行進速度+交通方式	6	1731.60	29.93	0.00	-859.72
交通方式+專業調查人員+道路類型	9	1790.39	88.73	0.00	-886.03
行進速度+專業調查人員+道路類型	7	1849.74	148.08	0.00	-917.77
行進速度+專業調查人員	4	1863.98	162.31	0.00	-927.95
行進速度+道路類型	6	1877.99	176.33	0.00	-932.92
行進速度	3	1888.64	186.97	0.00	-941.30

態分布，以調查行進速度、交通方式、專業調查人員、道路類型 4 項變因排列組合的各種模式組合中，4 項變因皆投入的模式的模式表現最好（公式 3），且其他模式組合的  $\Delta AICc$  皆大於 2（表 2）。

偵測率 ~ 截距 + 行進速度 + 交通方式 + 專業調查人員 + 道路類型 公式 3

在所有只排除一項變因的模式當中，排除交通方式的模式將得到最大的  $\Delta AICc$ ，顯示交通方式是影響偵測率的最主要變因。以 Tukey Contrast 兩兩比較交通方式之間的差別（附錄 4.1），步行的偵測率高於腳踏車與機車，腳踏車與機車之間的偵測率沒有

顯著差異 ( $p=0.165$ )，而腳踏車與機車的偵測率顯著 ( $p<0.001$ ) 高於汽車。

而模式組合中若排除行進速度這項變因，則得到第二大的  $\Delta AICc$ ，行進速度對偵測率為負相關 (coefficient=-0.183,  $p<0.001$ )，模式顯示行進得越快越容易忽略掉路死動物的屍體。專業調查人員有顯著優於一般志工的偵測能力 ( $p<0.001$ ) (附錄 4. 2)。道路類型在模式間比較下是較不重要

的因子，但仍應被保留於模式中，主要在其他道路中的偵測率顯著低於省道 ( $p=0.003$ )，亦低於縣道與鄉道，在統計上為邊緣顯著 ( $p=0.072, p=0.056$ ) (附錄 4. 3)。

模式二：檢測 4 種交通方式分別對路死動物屍體的偵測率結果，步行對單一路死動物屍體的偵測機率，最低  $AICc$  的模式組合為屍體面積；腳踏車與機車，最低  $AICc$  的模式組合

表 3、在分別使用 4 種交通方式進行路死動物調查情境下，以廣義線性模式解釋：單一路死動物屍體被偵測與否，和路死動物屍體類群、屍體面積、行進速度的關係。多種變因組合中，僅顯示  $\Delta AICc \leq 2$  的變數組合。路死動物類群為類別變數，在模式中拆分為 4 個類群（兩生類、爬行類、鳥類、哺乳類）的布林值變數，此表 + 號代表動物類別變數被納入變因組合。

Table 3. Under the different conditions of surveying by four types, models combine with variables, including carcass area, speed, class, and the interaction term of area\*speed to describe the detection chance of each carcass. This table only shows models with  $\Delta AICc < 2$ . (Animal class is a categorical factor being split into four dummy variables, “+” mark means class was a part of the model variables.)

Survey methods	Intercept	Area	Speed	Class	Area*Speed	df	Log-likelihood	AICc	$\Delta AICc$	$\omega_i$
detected by	0.891	0.006				2	-853.420	1710.8	0	0.572
Walk ~	1.182	0.007	-0.114			3	-852.704	1711.4	0.58	0.428
detected by	0.327	0.011	-0.219			3	-996.281	1998.6	0	0.524
Bike ~	0.543	0.003	-0.270		0.002	4	-995.37	1998.8	0.19	0.476
detected by	-0.256	0.018	-0.181			3	-875.072	1756.2	0	0.709
Scooter ~	-0.179	0.016	-0.194		0.001	4	-874.956	1757.9	1.78	0.291
detected by	-1.028	0.022	-0.216	+		6	-446.092	904.2	0	0.292
Car ~	-0.913	0.025	-0.231			3	-449.113	904.2	0	0.292
	-1.238	0.033	-0.193		-0.001	4	-448.432	904.9	0.65	0.211
	-1.345	0.031	-0.179	+	-0.001	7	-445.435	904.9	0.7	0.205

為：屍體面積 + 行進速度；汽車對單一路死動物屍體的偵測機率，最低 AICc 的模式組合為：屍體面積 + 行進速度 + 路死動物類群（表 3），以當中  $\Delta AICc \leq 2$  的變數組合，所產生的平均模式為最後結果（附錄 5）。

檢視步行、腳踏車、機車與汽車 4 種交通方式模式結果之截距的信賴區間（附錄 5），顯示步行的偵測機率明顯高於 0.5，汽車的偵測機率則明

顯低於 0.5。屍體面積與行進速度的交互作用皆不顯著，而 4 種交通方式中，只有步行的行進速度在各種模式組合中都不會顯著影響偵測率，其餘 3 種交通方式顯示越快的交通方式，屍體面積對偵測機率的影響越顯著。在汽車調查的狀況下鳥類會有比較高的偵測率，其他調查方法中偵測機率則不受路死動物類群所影響。並以模式模擬當調查者使用不同交通方式時，對

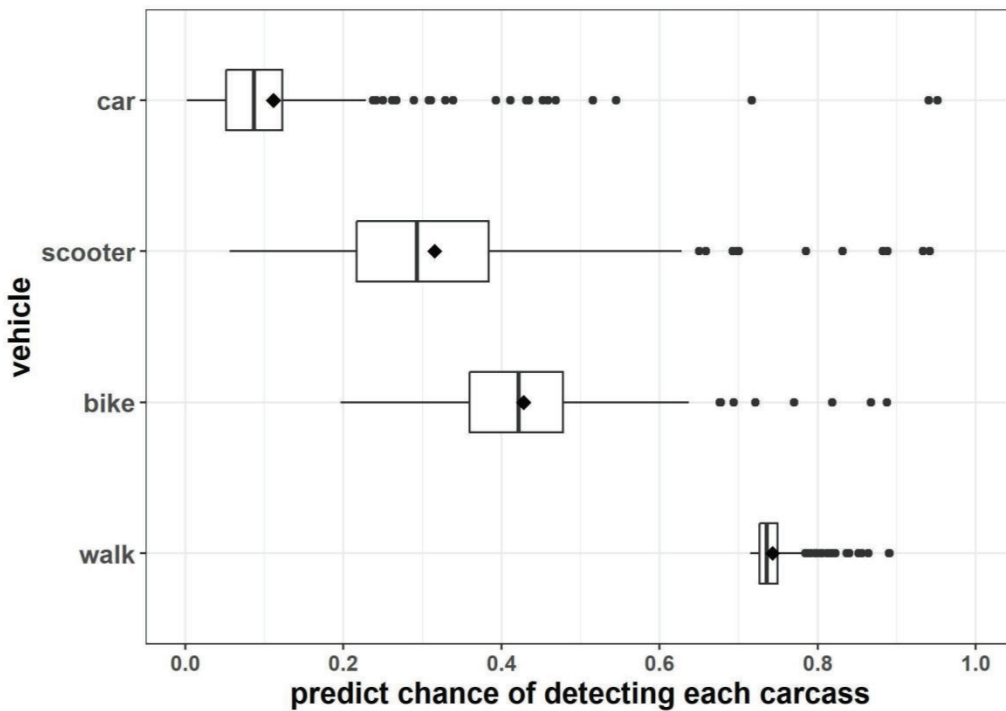


圖 3、以平均模式預測當調查者使用不同交通方式時，對個別路死動物屍體偵測機率（◆：平均值）為：步行  $0.75 \pm 0.01$ 、腳踏車  $0.42 \pm 0.11$ 、機車  $0.32 \pm 0.16$ 、汽車  $0.11 \pm 0.12$ 。

Fig. 3. Boxplot of predicted chance of detecting carcasses by the averaged model of four vehicle types (◆: mean value). Chances of four vehicle types were: walk  $0.75 \pm 0.01$ , bicycle  $0.42 \pm 0.11$ , scooter  $0.32 \pm 0.16$ , and car  $0.11 \pm 0.12$ .

各別路死動物屍體偵測機率結果為步行  $0.75 \pm 0.01$ 、腳踏車  $0.42 \pm 0.11$ 、機車  $0.32 \pm 0.16$ 、汽車  $0.11 \pm 0.12$  (圖 3)，模式驗證 AUC 值為步行 0.568、腳踏車 0.605、機車 0.628、汽車 0.798。由於步行調查的偵測率高，所有的步行速度下無論是體型大或小的路死動物皆可被偵測到，因此屍體面積與行進速度兩項因子在步行調查的模式中對偵測率影響的效應不顯著。而在汽車調查的情境下有較佳的預測能力，可以透過路死動物屍體類群、移動行進速度、屍體面積等特徵推論該一屍體能否被偵測到。

### 路死系統化調查情境模擬

結果顯示步行調查的機率皆在 0.7 以上 (行進速度 1~6km/hr)；使用腳踏車 (1~10km/hr) 或機車 (2~15km/hr) 調查發現路死動物屍體的機率相似，但機車在時速在 11km 以上發現路死動物屍體的機率開始低於 0.1；使用汽車 (2~26km/hr) 作為調查工具時，偵測率最高僅 0.2，若汽車行駛在時速 7km 以上發現路死動物屍體的機率開始低於 0.1。在相同時速 5km/hr 的情境下，

步行的偵測率最高 (中位數：0.708)，其次是腳踏車 (0.360) 與機車 (0.302)，汽車的偵測率最低 (0.155)，且僅有機車的一半 (圖 4)。

### 討論

許多研究結果皆顯示，調查偵測率會直接影響真實路死動物數量估算與熱點分布評估結果 (Barrientos *et al.* 2018; Guinard *et al.* 2012; Santos *et al.* 2015; Teixeira *et al.* 2013)，本研究發現，最主要影響整體路死動物調查偵測率的因子為交通方式與調查行進速度，其次是調查者經驗，道路類型的影響較小，也就是說不同道路類型對路死動物調查偵測率的影響可以忽略不計。而影響每一個屍體被發現與否最關鍵的因子為路死動物屍體的面積大小與調查行進速度；當使用機車與汽車這兩種移動速度較快的調查工具時，物種類群影響才開始顯著，鳥類屍體在道路上相較其他類群最容易被發現。

使用交通工具的調查效率比步行調查好，可以更快速與省力的完成，也能執行更長的調查樣線，有助於提

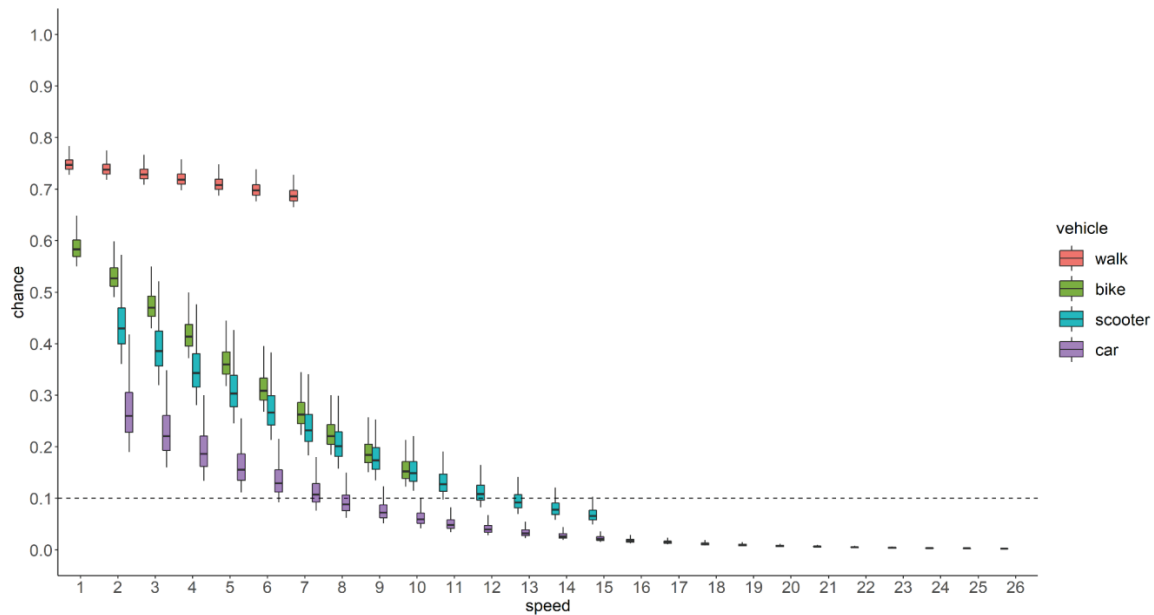


圖 4、以本研究調查到的路死動物屍體類群與面積大小為背景值，模擬步行總時速 1~6km、腳踏車 1~10km、機車 2~15km、汽車 2~26km 的情境下的調查偵測率，步行約 0.7、腳踏車：0.2~0.6、機車：0.1~0.4、汽車：0~0.2，最慢速度情境下的預測偵測率中位數：步行 0.74 (1km/hr)、腳踏車 0.53 (1km/hr)、機車 0.43 (2km/hr)、汽車 0.26 (2km/hr)。

Fig. 4. We set the carcass's class and area as control variables, and used the sequential gradient of speed to simulate the survey scenarios from slow to fast through the average models to generate detection probabilities of each carcass in the sample.

升路殺系統化調查的參與率，但無論是使用腳踏車、機車或是汽車，當調查者行進的速度越快，對道路上路死動物屍體的偵測率則越低，對整體路死動物數量估算所造成的誤差也越大。本研究結果顯示，步行的調查者可以搜尋到最多的路死動物屍體，而汽車最少，尤其是當汽車行駛的速度高於 7km/hr 時，偵測率僅有 0.1，顯示若調查者使用汽車作為調查交通方

式時，將會有嚴重低估路殺數量的情形，這點於國外研究相同 (Santos *et al.* 2015; Teixeira *et al.* 2013)。Slater (2002) 比較開車與步行調查結果同樣發現開車調查到的路死動物屍體數量只有步行的 18%；而法國研究也顯示調查者開車時對鳥類路死屍體的偵測率比步行低 33% (Erritzoe *et al.* 2003; Guinard *et al.* 2012; Guinard *et al.* 2015)。

本研究結果更進一步顯示，在同樣的調查行進速度下，腳踏車與機車的偵測率無顯著差異，但駕駛汽車的調查者，其調查偵測率卻遠低於腳踏車或機車（圖 4），這可能是因為調查者在汽車中的視野與機動性受限所致，若調查者又身兼汽車駕駛，必需耗費更多的注意力在交通路況安全，因而難以兼顧調查專注力，導致偵測率降低。儘管步行可以獲得最佳的調查偵測率，但公民科學的實務需要設法提高群眾的參與動力，並在試驗設計上降低參與門檻，過度複雜的調查方法或嚴苛的條件都會降低志工參與動機。因此，最可行的方式是鼓勵調查參與者盡量使用腳踏車或機車，並同時降低交通方式的行進速度，以獲得較高的調查偵測率。

雖然本研究結果中專業調查人員（路殺社公民科學研究團隊）的調查偵測率高於志工，但由於路死動物屍體直接暴露於道路上且為靜止狀態，相較於活體動物而言，是較容易被參與調查者目擊發現，其調查技術門檻較低，不會受到動物的行為與活動時

間變異影響，也不會因鳥音的辨識不易而被忽略，或是像蝙蝠需要特殊音波偵測器輔助調查 (Guillera-Arroita 2017; MacKenzie *et al.* 2002)。Barrientos 等人 (2018) 發現調查者的經驗並不顯著影響路死動物屍體的調查偵測率，若志工經過一定的練習與熟悉路死動物的調查方法，將可與研究人員有相似的調查結果。因此，在推動路殺系統化調查工作前，有完整的調查方法說明與行前訓練，培養具經驗與調查敏感度的志工群，以及後續維繫固定樣區與固定志工，將可降低因調查經驗生疏而產生的偵測率下降等問題。

交通部於 103 年 6 月 13 日依公路法第 4 條規定，訂定「公路路線系統分類基準」及附表「設定要素表」，就運輸需求、地區人口數，再依各都市階層間之聯絡路線，區分服務之公路等級與基準，其中公路行政分類系依公路法第 2 條各級公路之定義，分為國道、省道、市道及縣道、區道及鄉道等 4 級 6 類，6 類道路類型設置時的道路寬度、最高速限和可容納車

流量都有一定基準值且有所不同，這除了會影響動物被路殺的機率，同時也可能影響路死動物調查者的調查偵測率，例如調查者在車流量大的省道調查時，相對於車流量很低的鄉道調查而言，必需分心注意車況和路況，可能因此降低路死動物調查偵測率。

本研究結果顯示路殺動物偵測率僅於其他道路與省道間有顯著差異，與縣道和鄉道的差異性則在統計顯著邊緣。整體而言，相較其他因子，本研究發現道路類型對路死動物偵測率的影響，在本研究探討的所有因子中相對較小。換句話說，未來以系統化路死動物調查成果回推估算全台每年路死動物總量時，僅需以調查者使用的交通方式來做偵測率的校正，以推算接近真實數據的路死總量，可以不需考慮不同道路類型對偵測率的影響。

本研究也與許多研究結果一樣，路死動物類群對偵測率沒有特別顯著的影響 (Barrientos *et al.* 2018)，這可能是因為除了兩生類以外，爬行類(蜥蜴、蛇、烏龜)、鳥類(大型、小型、

猛禽)和哺乳類(蝙蝠、齧齒目、食肉目)各類群內的不同物種體型差異極大，而難以單純用此物種類群來含括比較，若能將物種類群再拆分成小分類群，則較能貼近屍體大小導致的偵測率差異 (Santos *et al.* 2015)。

而路死動物屍體的大小才是影響偵測率最主要的原因。過往研究以動物體重為路死屍體大小的代表值，動物體重越小就越容易被錯過 (Barrientos *et al.* 2018; Santos *et al.* 2015)。由於面積比體重更能代表影響偵測率的因子，因此本研究採用路死動物屍體的面積，作為調查偵測率的檢測數值，模式結果顯示路死動物屍體的面積越大，被偵測的機率越高，尤其是在移動速度快的開車調查時影響更為顯著。

由於本研究樣區選在臺灣中部低海拔丘陵區域執行，調查月份為3、7、9、10月，雖然執行了558條樣線次調查，但調查結果中的哺乳類和鳥類屍體數量偏少。整體而言，歷年路殺系統化調查記錄到最多的是兩生類(59%)，爬行類21%、鳥類11%、

哺乳類 8% 及陸生蟹類 1% (林等 2021)，本研究雖然同樣是兩生類最多 (71.50%)、爬行類其次 (23.86%)，但記錄到的鳥類 (2.70%) 與哺乳類 (1.95%) 比例嚴重偏低，也未記錄到陸生蟹類的路死事件，特別是缺乏記錄到大型鳥類與中型哺乳類的動物屍體，這樣的調查成果或多或少都影響了動物類群偵測率模式的表現。

本研究團隊推行路殺系統化調查，主要目標是為了估算臺灣野生動物路殺年總量並監控年間變化，以及評估不同動物類群受到路殺威脅情形。本調查偵測率的研究結果可以提升路殺年度總數量模式估算準確度。然而調查頻度與取樣季節也會影響路死狀態評估，例如微氣候變化導致的動物行為不易被少數調查事件偵測到，因此也可能錯估動物道路致死的風險，尤其是陸蟹與兩生類有繁殖遷移 (breeding migration) 群體移動的習性，常在繁殖季某個大雨後的夜晚大量出現在特定區域上。在墾丁香蕉灣、港口溪溪口及綠島龜灣的奧氏後相手蟹 (*Metasesarma aubryi*)，其繁殖季主

要受雨季與月亮影響，每年農曆 5 ~ 9 月期間的月底會大量聚集後降海釋幼，且集中發生於清晨天未亮前及黃昏日落後的幾小時內 (林 2010)，此外兩生類中的梭德氏赤蛙 (*Pseudoamphispiza sauteri*) (關 1999；賴 2002) 與拉都希氏赤蛙 (*Hylarana latouchii*) 在秋冬也會有短期且數量密集的繁殖遷移 (陳 2019)。這類繁殖遷移行為容易面臨特定路段、極短時間內大量路死事件的威脅，而這種瞬間發生的事件，不容易被一年四次的路殺系統化調查觀察記錄到 (Santos *et al.* 2015)，需要在地觀察者長期持續監測才能掌握到當地短期的路殺熱點路段和路殺高峰，進而在動物繁殖季特定的夜晚進行道路管控降低動物路死風險 (劉 2015)。

此外，路死動物屍體殘留率也會影響路殺結果的估算，路死動物屍體在道路上有可能因為人為清除、被其他動物再次撿食 (scavenger, 食腐者)、車子輾壓支解、大雨沖刷等種種原因而消失。大多數的路死動物屍體只能在道路上殘留很短的時間，超

過 76% 的動物屍體無法在道路上殘留超過兩天，像是兩生類、蜥蜴、蛇、小型鳥類、蝙蝠與小型哺乳動物的屍體大多都只能在道路上殘留一天，越大的屍體可以殘留得越久，只有少數的大型鳥類與食肉目動物的路死屍體可以維持超過 4 天 (Barrientos *et al.* 2018; Guinard *et al.* 2015; Santos *et al.* 2015)。表示路死動物的調查結果可能過度凸顯大型動物，卻低估小型動物的受脅程度。

在臺灣也有道路管理與地方環保單位例行性清除路死動物屍體。交通部高速公路局即透過路容清潔及事故處理人員在例行工作時，同步進行國道上的路殺動物調查作業 (劉等 2019)。本研究團隊在路殺系統化調查期間就曾遇到地方公所清潔隊員早上清潔道路一併清除路死動物的情形，因此極有可能會因調查員未能在清潔隊員工作之前偵測到路死動物屍體，而低估該路段路殺風險的情形。另一方面，鄉間被輾斃的臭青公 (*Elaphe carinata*)、南蛇 (*Ptyas mucosus*) 和中大型哺乳動物新鮮屍體也

偶有被人撿拾食用的情形 (林德恩 私人通訊)。路死動物屍體同時也會被遊蕩犬貓或其他食腐者 (黑鳶 (*Milvus migrans*)、黑冠麻鷲 (*Gorsachius melanolophus*)、鳳頭蒼鷹 (*Accipiter trivirgatus*)、白尾八哥 (*Acridotheres javanicus*) 等) 撿拾的情形，這些食腐動物會清除道路上的動物屍體，也有可能是在取食的過程中在道路上停留過久，增加其被路殺的風險。

由於臺灣位於亞熱帶氣候區天候濕熱，屍體分解速度快，且溫度雨量以及食腐者的組成與溫帶地區不同，加上人為影響的環境條件、民情、道路管理與車流量也與溫帶地區有很大不同，若直接以 Santos 等人 (2011) 的研究成果做為臺灣道路上屍體殘留率，來估算臺灣每年的動物路死總量是有疑慮的。因此估算臺灣地區路死動物屍體在道路上的殘留率，將是未來必要的路殺研究課題之一。

## 結論

由本研究結果可得知，調查者維持低速行走可以偵測到最多的物種與

數量。但在大規模與高頻度的監測網絡中，如何獲得足夠的數據同時維持公民科學調查資料的品質，以及維繫參與志工的熱情，是需要適度取舍的。

因此，考量調查努力量與可行性，建議使用機車做為交通工具執行系統化路死動物調查，並盡量維持 6km/hr 以下的低時速，且完成整條樣線的調查時間不低於 30 min。同時，為了減少調查經驗的影響，培養具有經驗的志工以及維持固定樣區固定志工，也是研究團隊需要重視的工作之一。

### 謝誌

感謝交通部公路總局「中部地區友善道路改善計畫」與行政院農業委員會林務局的「國土生態保育綠色網絡建置計畫」經費支持。同時感謝羅祈鈞、徐苑佐、陳昱凱、陳惇聿、陳志耘、陳宏年、黃煒誠、黃昱凱、王嘽慶、張儀婷、吳怡慧、鍾偉賢、詹朕勳與 Arthur Bureau 協助本研究現地調查；以及林家琪協助路死動物屍體照片與調查事件關係表整理；蔡芷怡、陳晉宇、鄧文翔協助路死動物屍體照

片量測與體型估算。

### 引用文獻

公路法第 4 條第 5 款：「第一項公路路線系統之制定，公路主管機關應依第二條定義，並按其功能及設計標準擬訂；其分類基準，由交通部定之。」

林芷韻。2010。奧氏後相手蟹降海釋幼之導向行為機制研究。靜宜大學生態學研究所碩士論文。

林德恩、莊庭瑞、陳宛均、陳志耘、陳昱凱、林毅倫、鄧東波、麥館碩、張仕緯。2018。馬路上的福爾摩斯 - 路殺社。2018 科普論壇，台中，國立自然科學博物館。

林德恩、陳宛均、林毅倫、陳昱凱、蔡富安、陳惇聿、姚牧君、鍾明光、張仕緯、莊庭瑞。2021。臺灣動物路死觀察網 - 那十年我們一起走過的路。行政院農業委員會特有生物研究保育中心。南投。臺灣。

陳運萱、林春富、李育睿、陳歆、葉

- 大詮、蔡雅芬、張仕緯、林濬哲。2019。九份二山路死兩棲爬蟲類與哺乳類動物。921 地震 20 週年研討會 - 九份二山生物多樣性與環境復育成果發表論文集，南投，行政院農業委員會特有生物研究保育中心。
- 劉月梅。2015。幫大山背梭德氏赤蛙過馬路。荒野快報 274: 16-17。
- 劉威廷、許永暉、鍾昆典、莊榮州。2019。路死誰守：高速公路護生指南。交通部高速公路局。新北市。
- 賴肅如。2002。海拔對台灣山區梭德氏赤蛙生活史變異之影響。國立台灣大學動物學研究所博士論文。台北。
- 關永才。1999。關刀溪森林生態系兩棲動物群聚之研究。林業研究季刊 21: 33-40。
- 蘇鴻傑。1992。臺灣之植群：山地植群帶與地理氣候區。臺灣生物資源調查及資訊管理研習會論文集。
- Abràmoff, M. D, P. J. Magalhães and S. J. Ram. 2004. Image processing with ImageJ. *Biophotonics international* 11: 36-42.
- Barrientos, R., R. C. Martins, F. Ascensão, M. D'Amico, F. Moreira and L. Borda-de-Água. 2018. A review of searcher efficiency and carcass persistence in infrastructure-driven mortality assessment studies. *Biological Conservation* 222: 146-153.
- Burham K.P. and D.R. Anderson. 2002. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach. New York: Springer. 488 p
- Chyn, K., T. E. Lin, Y. K. Chen, C. Y. Chen and L. A. Fitzgerald. 2019. The magnitude of roadkill in Taiwan: Patterns and consequences revealed by citizen science. *Biological Conservation*, 237, 317-326.
- Erritzoe, J., T. D. Mazgajski and Ł. Rejt. 2003. Bird casualties on Euro-

- pean roads — a review. *Acta Ornithologica* 38: 77-93.
- Guillera-Arroita, G. 2017. Modelling of species distributions, range dynamics and communities under imperfect detection: advances, challenges and opportunities. *Ecography* 40: 281-295.
- Guinard, É., R. Julliard and C. Barbraud. 2012. Motorways and bird traffic casualties: Carcasses surveys and scavenging bias. *Biological Conservation* 147: 40-51.
- Guinard, É., R. Prodon and C. Barbraud. 2015. Case study: a robust method to obtain defendable data on wildlife mortality. *Handbook of road ecology* 96.
- Korner-Nievergelt, F., O. Behr, R. Brinkmann, M. A. Etterson, M. M. P. Huso, D. Dalthorp, P. Korner-Nievergelt, T. Roth and I. Niermann. 2015. Mortality estimation from carcass searches using the R-package carcass — a tutorial. *Wildlife Biology* 21: 30-43.
- MacKenzie, D. I., J. D. Nichols, G. B. Lachman, S. Droege, J. Andrew Royle and C. A. Langtimm. 2002. Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one. *Ecology* 83: 2248-2255.
- Mazerolle, M. J. 2020. AICcmodavg: Model selection and multimodel inference based on (Q)AIC(c). R package version 2.3-1, <https://cran.r-project.org/package=AICcmodavg>.
- Meijer, J. R., M. A. J. Huijbregts, K. C. G. J. Schotten and A. M. Schipper. 2018. Global patterns of current and future road infrastructure. *Environmental Research Letters* 13: 064006.
- Santos, S. M., F. Carvalho and A. Mira. 2011. How long do the dead survive on the road? Carcass persistence probability and impli-

- cations for road-kill monitoring surveys. PLoS ONE 6: e25383.
- Santos, S. M., J. T. Marques, A. Lourenço, D. Medinas, A. M. Barbosa, P. Beja and A. Mira. 2015. Sampling effects on the identification of roadkill hotspots: Implications for survey design. *Journal of Environmental Management* 162: 87-95.
- Slater, F. M. 2002. An assessment of wildlife road casualties - The potential discrepancy between numbers counted and numbers killed 3: 33-42.
- Teixeira, F. Z., A. V. P. Coelho, I. B. Esperandio and A. Kindel. 2013. Vertebrate road mortality estimates: Effects of sampling methods and carcass removal. *Biological Conservation* 157: 317-323.
- Van der Ree, R., D. J. Smith and C. Grillo. 2015. *Handbook of road ecology* (1st ed.). Chichester, West Sussex: Wiley Blackwell.
- Warton, D. I. and F. K. Hui. 2011. The arcsine is asinine: the analysis of proportions in ecology. *Ecology* 92: 3-10.

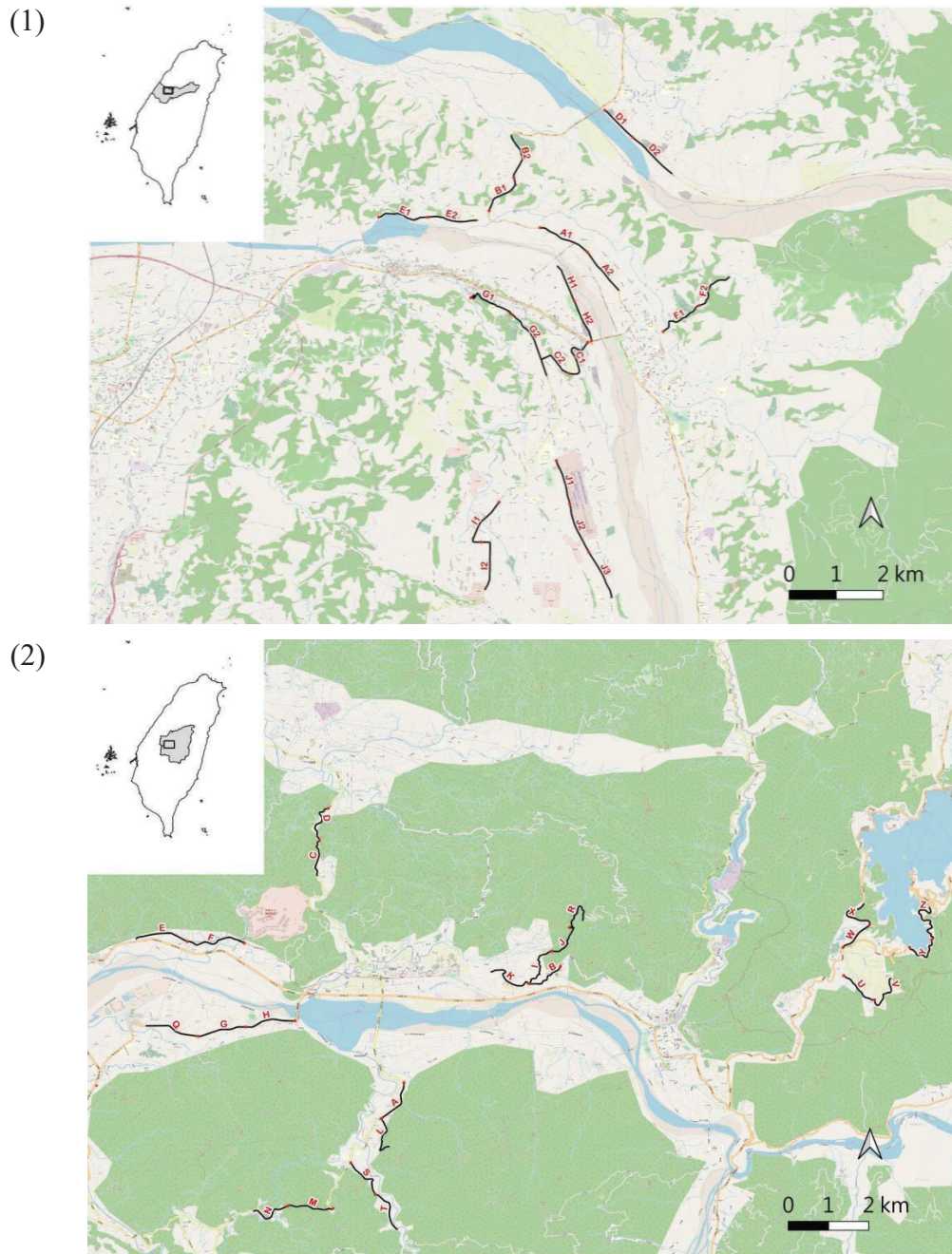


圖 1. 以不同交通方式測試路死動物偵測率的調查樣線地圖，包含 4 種道路類型（1W：省道、2W：縣道、3W：鄉道、4W：其他道路），(1) 臺中市樣區 21 段道路樣線；(2) 南投縣樣區 24 段道路樣線。

Figure 1. The transect maps of the roadkill detection probability test by different modes of transportations in (1) Taichung City (21 transects) and (2) Nantou County (24 transects), which included four types of roads (1W: Provincial Highways, 2W: County and City Highways, 3W: Township and District Roads, 4W: Others).

附錄 1、南投縣及臺中市低海拔丘陵地區路死動物屍體偵測率試驗的 45 條樣線路段資訊（1W：省道；2W：縣道；3W：鄉道；4W：其他道路）。

Appendix 1. Forty-five transects' information. These transects were located on low-elevation hills in Nantou County and Taichung City (1W: Provincial Highways, 2W: County and City Highways, 3W: Township and District Roads, 4W: Others).

區域	路段代號	道路類型	距離 (km)	起點緯度	起點經度	終點緯度	終點經度
Region	Id	Road type	Distance	Start longitude	Start latitude	Terminal longitude	Terminal latitude
南投縣	A	2W	1.20	23.8009	120.7891	23.7921	120.7833
南投縣	B	3W	1.00	23.8292	120.8274	23.8249	120.8198
南投縣	C	2W	1.00	23.8599	120.7686	23.8514	120.7680
南投縣	D	2W	1.16	23.8677	120.7707	23.8599	120.7686
南投縣	E	4W	1.30	23.8353	120.7363	23.8359	120.7238
南投縣	F	2W	1.50	23.8349	120.7502	23.8353	120.7363
南投縣	G	1W	1.20	23.8145	120.7505	23.8122	120.7389
南投縣	H	1W	1.20	23.8159	120.7625	23.8145	120.7506
南投縣	I	4W	1.27	23.8250	120.8197	23.8329	120.8251
南投縣	J	4W	1.00	23.8329	120.8252	23.8386	120.8296
南投縣	K	3W	1.30	23.8250	120.8197	23.8279	120.8105
南投縣	L	4W	1.20	23.7921	120.7837	23.7854	120.7855
南投縣	M	2W	1.18	23.7702	120.7719	23.7709	120.7608
南投縣	N	2W	1.10	23.7708	120.7607	23.7696	120.7525
南投縣	Q	1W	1.36	23.8122	120.7388	23.8147	120.7263
南投縣	R	4W	1.13	23.8387	120.8296	23.8405	120.8328
南投縣	S	3W	1.20	23.7814	120.7762	23.7736	120.7822
南投縣	T	3W	1.20	23.7736	120.7822	23.7652	120.7875
南投縣	U	3W	1.00	23.8270	120.8965	23.8211	120.9039
南投縣	V	3W	1.10	23.8210	120.9041	23.8262	120.9079

南投縣	W	1W	0.90	23.8338	120.8963	23.8394	120.9028
南投縣	X	1W	1.20	23.8394	120.9029	23.8444	120.9014
南投縣	Y	1W	1.10	23.8339	120.9126	23.8356	120.9179
南投縣	Z	1W	1.60	23.8357	120.9180	23.8435	120.9175
臺中市	A1	1W	1.19	24.2840	120.8064	24.2789	120.8163
臺中市	A2	1W	1.11	24.2789	120.8163	24.2710	120.8228
臺中市	B1	1W	1.03	24.2875	120.7958	24.2944	120.8009
臺中市	B2	1W	1.08	24.2944	120.8009	24.3032	120.8004
臺中市	C1	2W	1.28	24.2601	120.8164	24.2536	120.8125
臺中市	C2	2W	1.18	24.2536	120.8125	24.2532	120.8077
臺中市	D1	2W	0.87	24.3085	120.8200	24.3028	120.8259
臺中市	D2	2W	1.17	24.3028	120.8259	24.2953	120.8340
臺中市	E1	3W	1.12	24.2862	120.7726	24.2862	120.7828
臺中市	E2	3W	1.07	24.2862	120.7828	24.2855	120.7932
臺中市	F1	3W	1.10	24.2623	120.8322	24.2678	120.8398
臺中市	F2	3W	1.04	24.2678	120.8398	24.2736	120.8460
臺中市	G1	4W	1.26	24.2694	120.7919	24.2659	120.8005
臺中市	G2	4W	1.26	24.2659	120.8005	24.2564	120.8067
臺中市	H1	4W	0.91	24.2604	120.8172	24.2687	120.8136
臺中市	H2	4W	1.00	24.2687	120.8136	24.2604	120.8172
臺中市	I1	2W	1.27	24.2268	120.7978	24.2184	120.7941
臺中市	I2	2W	1.30	24.2184	120.7941	24.2086	120.7949
臺中市	J1	4W	1.05	24.2354	120.8098	24.2264	120.8126
臺中市	J2	4W	1.20	24.2264	120.8126	24.2163	120.8166
臺中市	J3	4W	1.16	24.2163	120.8166	24.2069	120.8214

附錄 2、使用步行、腳踏車、機車與汽車等 4 種交通方式的調查偵測率。

Appendix 2. A summary table for the detection ratio by four survey transportation types: foot, bicycle, scooter, and car.

Vehicle	Minima	1st.Qu.	Median	3rd.Qu.	Maxima	Mean	SD.	n
Walk	0	0.638	0.779	0.867	1	0.738	0.195	143
Bike	0	0.312	0.413	0.538	1	0.419	0.186	129
Scooter	0	0.17	0.303	0.4	1	0.306	0.196	143
Car	0	0	0.077	0.176	1	0.123	0.161	143

附錄 3、兩生類、爬行類、鳥類與哺乳類等 4 類群路死動物屍體面積 (cm<sup>2</sup>)。

Appendix 3. A summary table for the animal carcass's area. We measured partial samples of amphibian and reptile carcasses, and all samples of birds and mammals.

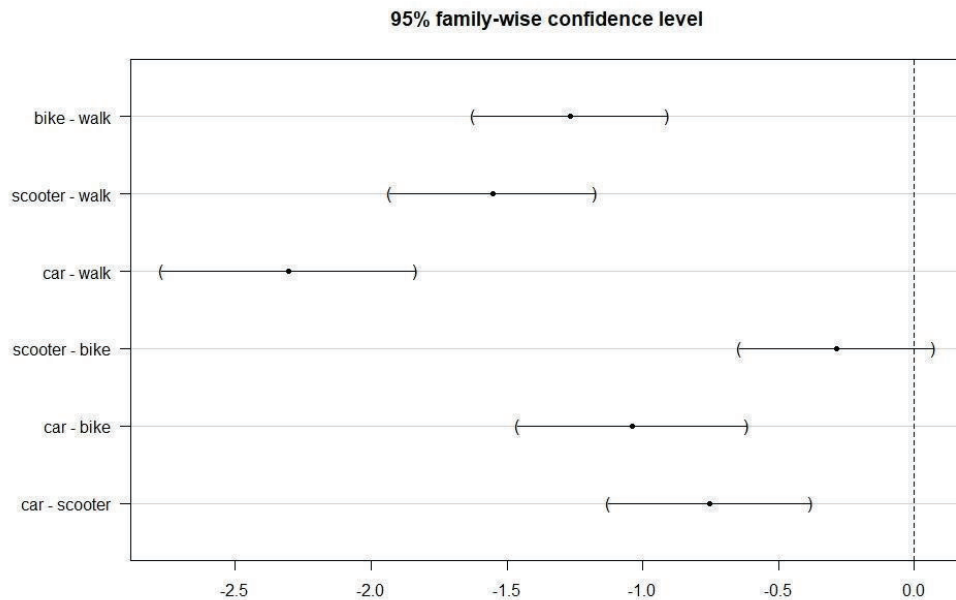
類群	Minima	Q.1	Median	Q.3	Maxima	Mean	SD.	n
兩生類	1.21	10.43	17.17	27.17	129.11	21.00	15.48	1,138
爬行類	1.90	8.40	15.36	31.19	364.92	27.22	36.72	373
鳥類	3.13	24.07	39.21	68.56	321.18	58.44	59.07	69
哺乳類	9.28	25.69	63.08	111.35	326.30	78.04	66.01	48

附錄 4、以 R multcomp::glht() 函數，在多項變因的模式中（偵測率 ~ 行進速度 + 交通方式 + 專業調查人員 / 志工 + 道路類型），同步檢驗 3 個類別變因（交通工具、專業調查人員或志工、道路類型）的內部兩兩比較，以 Tukey Contrasts 檢驗均值的比較（偵測率 ~ 行進速度 + 交通方式 + 專業調查人員 / 志工 + 道路類型），結果顯示 (1) 步行的偵測率高於腳踏車與機車，腳踏車與機車之間的偵測率沒有明顯分別，而腳踏車與機車的偵測率明顯高於汽車；(2) 專業調查人員有顯著優於一般志工的偵測能力；(3) 道路類型在其他道路中的偵測率顯著低於省道。

Appendix 4. Using R package multcomp::glht function to conduct the Simultaneous Tests for General Linear Hypotheses Multiple Comparisons of Means by Tukey Contrasts on three category factors: Vehicle, Agent (expert or volunteer) and Road type, within following model: Fit: glm (formula = det.rate.logit ~ Speed + Vehicle + Agent + Road type). (1) The detection rate of roadkill survey was better than that by foot than by bike or scooter, and it was no different between bike and scooter. But the detection rate of bike and scooter was better than that by car. (2) Expert surveyed better than volunteers. (3) The detection rate on the road type of 4W was lower than 1W.

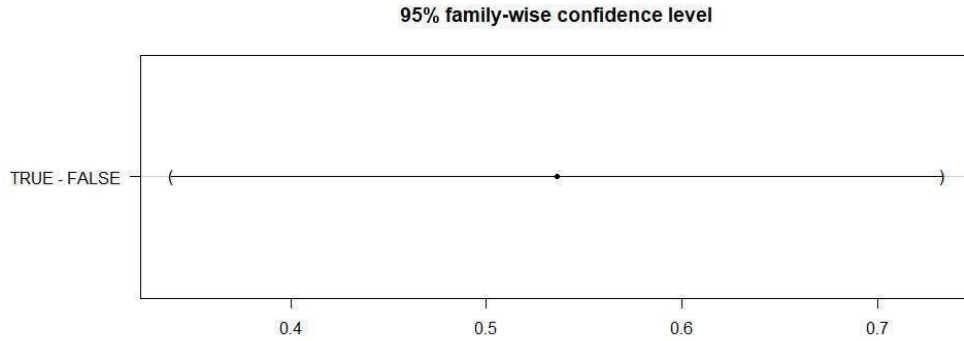
(1) 交通方式 Mode of transportation.

Linear Hypotheses:	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )	
bike - walk == 0	-1.2652	0.1397	-9.059	<0.001	***
scooter - walk == 0	-1.552	0.1478	-10.498	<0.001	***
car - walk == 0	-2.3043	0.1824	-12.631	<0.001	***
scooter - bike == 0	-0.2868	0.1396	-2.055	0.165	
car - bike == 0	-1.0391	0.1646	-6.314	<0.001	***
car - scooter == 0	-0.7523	0.1453	-5.177	<0.001	***



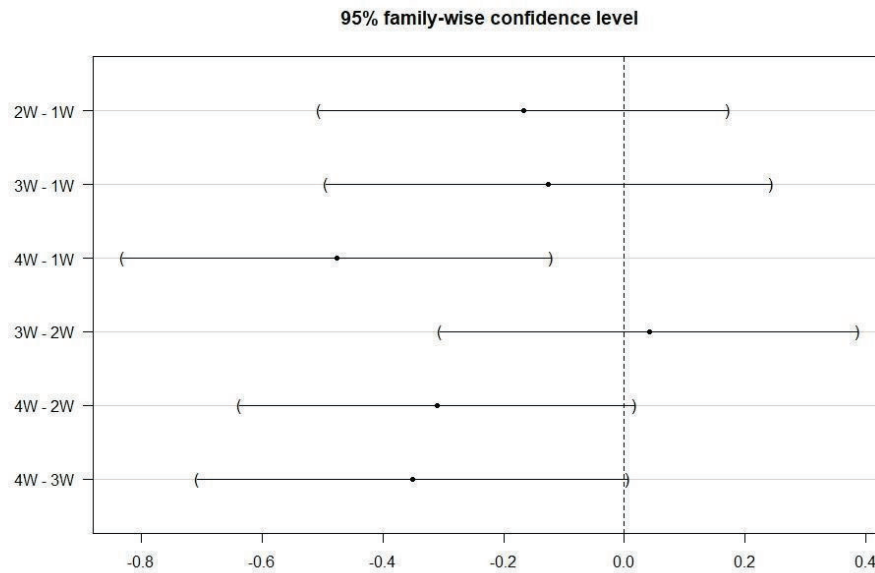
(2) 專業調查人員與志工 (Expert or volunteer)

Linear Hypotheses:	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )
TRUE - FALSE == 0	0.537	0.101	5.326	<0.001 ***



(3) 道路類型 Road type

Linear Hypotheses:	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )
2W - 1W == 0	-0.167	0.132	-1.262	0.586
3W - 1W == 0	-0.126	0.144	-0.876	0.817
4W - 1W == 0	-0.477	0.138	-3.445	0.003 **
3W - 2W == 0	0.041	0.135	0.304	0.990
4W - 2W == 0	-0.310	0.128	-2.428	0.072 .
4W - 3W == 0	-0.351	0.139	-2.525	0.056 .



附錄 5. 模式二，(1) 步行、(2) 腳踏車、(3) 機車與 (4) 汽車等 4 種調查方式的平均模式，各個相關係數以及 95% 信賴區間。

Appendix 5. 95% Confidence interval plot in horizon line ranges and coefficients of averaged models aside of four survey methods: (1) foot, (2) bicycle, (3) scooter and (4) car.

