

# 鋪面步道對降低遊憩衝擊的影響—以陽明山國家公園為例

林秀娟<sup>1</sup>，梁宇暉<sup>2</sup>，徐勝一<sup>1</sup>，許嘉恩<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> 國立台灣師範大學地理學系；<sup>2</sup> 美國北卡州立大學公園遊憩與觀光管理學系；<sup>3</sup> 通訊作者 (jesheu@ntnu.edu.tw)

**[摘要]** 本研究探討依步道環境與設計的步道鋪面，如何有效降低遊憩的環境衝擊。以陽明山國家公園為研究地點，提出步道「鋪面有效性指數」(Surfacing Effectiveness Index, SEI)，計算步道鋪面管理能達到降低衝擊的有效程度。研究方法採用既成事實分析(after-the-fact analysis)進行步道調查，以 20 m 距離之間隔抽樣 (Distance-based sampling)，調查步道共 16 km 長。本研究整合步道「鋪面有效性指數」與環境、使用者活動及步道管理等三方面的影響變數，統計分析「鋪面有效性指數」與其影響因子的關係，並提出影響變數與鋪面有效性的迴歸關係式。比較結果得知：(1)影響鋪面有效性的主要因子是坡向夾角與腹地寬度，坡向夾角與鋪面有效性為正相關，步道的腹地寬度與鋪面有效性為負相關；(2)植群差異也會影響步道衝擊管理的成效，石板步道與石階步道在草地環境的鋪面有效性較好。本研究成果可作為國家公園管理單位在進行步道管理或步道更新時的評估依據。

**關鍵字：** 步道鋪面、遊憩衝擊、鋪面有效性、陽明山國家公園

## A Study in Yangmingshan National Park: Factors Influencing the Effectiveness of Trail Surfacing to Minimize Recreational Impact

Hsiu-Chuan Lin<sup>1</sup>, Yu-Fai Leung<sup>2</sup>, Sheng-I Hsu<sup>1</sup> and Jia-En Sheu<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Department of Geography, National Taiwan Normal University, <sup>2</sup> Department of Parks, Recreation and Tourism Management, North Carolina State University, <sup>3</sup> Corresponding author (jesheu@ntnu.edu.tw)

**ABSTRACT** This research is a study of trail surfaces in Yangmingshan National Park that had been designed with reference to their surrounding environment and how the design had effectively minimized recreational impacts. An after-the-fact analysis method was used. Sampling was carried out at 20-m intervals of eight trails with 16km in total, to evaluate current trail surface conditions. A Surfacing Effectiveness Index (SEI) was proposed to analyze impacts from environmental conditions, trail management, and use intensity. The results from stepwise multiple regression analysis showed that SEI correlated significantly and positively with slope alignment angle, and negatively with potential expansion width. Stone slab surface trails and stone steps in open grassy areas were more effective in minimizing trail impacts than in forested areas.

**Keywords:** trail surfacing, recreational impact, surfacing effectiveness, Yangmingshan

## 前言

對於遊憩衝擊的研究，目前國外多是以無鋪面步道為研究對象，對鋪面步道的研究則相對較少，更遑論去探討步道的鋪面對降低遊憩衝擊的成效(Nepal and Way 2007)。步道的表面增設鋪面，除了可以防止步道的土壤裸露和減少土壤沖蝕(Cole 1993, Marion and Leung 2004)，不同的步道鋪面也可以豐富遊客的遊憩體驗 (Giles 2002, Cahill et al. 2008)，因此選擇合適的鋪面被認為是減少遊憩衝擊的步道管理方式 (Manning 2004, Hill and Pickering 2006)。然而有的鋪面可能在特定環境下較不耐遊憩衝擊，而造成環境的破壞、降低遊憩的品質、並增加維護的費用。因此，評估步道的鋪面能否有效降低遊憩衝擊，或是瞭解影響鋪面成效的各種環境因素，可作為管理者在進行步道管理或鋪面更換時的參考依據。

國家公園的遊憩活動多半集中在已開發的遊憩區與遊憩步道上，其環境敏感度雖然不如原始的自然地區或保護區，但是因為高使用頻率及遊客行為的影響，所造成的環境惡化的程度往往已超出自然恢復的能力。為了維護遊憩品質，管理者的遊憩管理行動，多半是集中在需要大量經費的步道路面與周邊設施的整修維護(Jubenville 1995, Dixon et al. 2004)，藉由增加步道抵抗力與改變使用方式，以強化步道對遊憩衝擊影響之抵抗力，因此鋪面的使用便成為公園管理單位普遍應用的步道管理工具(Stankey 1973, Cole 1993, Manning 2004, Cahill et al. 2008)。然而，不同步道鋪面的運用，在控制遊憩衝擊對環境影響範圍的成效，是否能有效達成管理上的目標？這對於具有保護生態環境責任的國家公園來說更為重要。

台灣地區的國家公園因為遊客密度高，加上氣候與地形等因素，常見到有鋪面的步道，這與國外的步道多為無鋪面的土路或岩石路不同，因此也突顯出鋪面步道研究的重要。大部分的研究都指出，遊憩管理的效能是減輕步道衝擊的重要因素(Marion 1994, Farrell and

Marion 2002, Nepal and Way 2007)。再者，從關於步道衝擊的研究結果指出，有許多因素對環境衝擊的影響比遊客量多寡的因素大，例如：步道坡度、坡向夾角、步道構造、步道維護等(Cole 1987, Leung and Marion 1996)，其中步道構造便與鋪面材料及型式有關。步道鋪面設施是重要的遊憩資源管理工具，然而怎樣的步道鋪面設施是適當的？對步道規劃者與管理者而言，是一項重要的課題。

為探討鋪面步道的衝擊管理成效，以前人研究的各種步道衝擊因子為範圍，將其區分為環境因子、使用者活動因子與步道管理因子三大類，分別說明如下：

環境因子(Environmental factors)：包括土壤和植群因子(soil and vegetation factors)與地形因子(topography factors)。步道以踐踏所引起的生態衝擊，對土壤與植群的影響最大。對土壤的影響包括：土壤壓實、土壤沖蝕及泥濘等；對植群的影響包括：植物覆蓋減少及植物組成改變 (Liddle 1975, Hall and Kuss 1989, Cole 2004)。綜合上述，步道沿線兩旁之土壤裸露為步道衝擊的主要問題，也最被經營者與遊客所關注，衝擊在不同的植群生態系會有不同影響，例如樹林環境或草地環境。

地形因子與步道衝擊有關，因為地形的特性影響了遊客的分佈，影響遊客行走時的分散或集中，或是行走的時間，所以步道所在的位置，對遊憩衝擊的影響往往大於使用量(林晏州 1990, Cole 1991, Marion and Leung 2004)。另外，地形會影響使用者在上坡與下坡行走時，因為視野的不同，所造成的衝擊也不同(Bayfield 1973)。研究指出步道坡度與土壤沖蝕有關，土壤流失量與坡度及降雨量也有顯著的正相關(劉吉川 2004)。通常坡向夾角大於45度且經過適當設計的步道，邊坡較陡會限制遊客使用到較窄的步道踏面，有利於遊客集中，所以沖蝕、泥濘與步道加寬等步道退化的情況會最小(Agate 1996, Demrow and Salisbury 1998, Marion and Leung 2004)。一般步道規劃通則與地形有關的有：步道長度、坡度、橫向

坡度、腹地寬度等因素考量(李嘉智 2005)。綜合上述，地形的影響因子，主要有步道位置離入口處之距離、坡度、坡向夾角、腹地寬度、眺望視野等。

使用者活動因子 (user factors)：步道衝擊與使用的類型有關，如果單純以健行活動為主的步道，其主要的衝擊為踐踏所造成，會造成步道加寬，增加衝擊發生的面積，使用者人數(遊客量)為影響步道寬度主因(Dixon 2004)。

步道管理因子 (trail management factors)：使用量並非一直與衝擊相關，當使用量無法控制時，仍可改以控制其它經營管理參數，以降低衝擊(Stankey 1973, 劉儒淵 1989)。例如對基地進行強化(hardening)處理，設置鋪面這類的基地經營(site management)措施，以增加自然環境的耐久性(Jubenville and Twight 1993, 謝思怡 2000)。一般步道規劃通則與步道本體有關的有：步道寬度、表面材質特性、安全及維護管理等因素考量(李嘉智 2005)。合宜的步道鋪面可以減少環境衝擊，但過度的使用鋪面也會帶來負面的影響(楊秋霖 2003)。步道鋪面的型式也必須被列入考量，劉儒淵等人(2004)認為步道鋪面的型式，會影響了步道表面的排水，應該分析步道鋪面的型式，避免不良的步道鋪面可能造成的土壤沖蝕與土壤流失，進而影響了植群的生態。步道鋪面種類對降低環境衝擊的研究，可以提供資訊讓我們減少去用到不利於自然生態的鋪面種類或設計(Kahklen 2001, Godefroid and Koedam 2004)，這對於生態環境的保護與生態旅遊品質的提升，都有莫大的幫助。綜合上述，步道管理的影響因子，主要有步道寬度、步道材質等。

國外步道的鋪面研究，比較多的資料是關於步道的規劃與建構的方式(Hesselbarth and Vachowski 2007)，主要是針對新的步道進行規劃與設計，而對於已發生嚴重衝擊的舊有步道該如何處理，則少有討論，也缺乏鋪面對於減緩衝擊方面管理成效的探討。近期幾個步道鋪面研究的案例，多數是關於鋪面步道對植物生

態衝擊的影響，例如植物種類的改變與鋪面類型的關係(Godefroid and Koedam 2004, Hill and Pickering, 2006, Nepal and Way 2007)或是遊客對步道鋪面的感受與體驗(Cahill et al. 2008)。國內在鋪面步道的研究，多關注於步道鋪面的有無對衝擊的影響(謝思怡 2000, 黃萬侯 2007, 林晏州 2003, 邱鶴斌 2006)，至於針對鋪面類型與步道遊憩衝擊管理的研究，顯得相對缺乏。

填補上述缺乏研究的部份相當重要，就理論上而言，步道的永續性發展需建立在使環境衝擊最小化(Marion and Leung 2004)；就實務上而言，分析環境與使用因子可以提供遊憩資源管理者在步道設計、選線與步道維護上，有價值的資訊並作有效的遊客管理策略(Nepal 2003)，而正確的選擇鋪面設施也可以減少經費的浪費(Worboys et al. 2001)。有鑑於此，本研究選擇陽明山國家公園有經常維護管理的步道入口區段，對鋪面設施與環境影響進行分析研究。研究的目的為：(一)使用量化的指數來反應鋪面管理的成效；(二)探究步道鋪面如何有效降低遊憩衝擊。

## 材料與方法

### 一、調查區與田野調查

#### 1. 調查區與鋪面步道類型

以陽明山國家公園為研究區域，陽明山國家公園是台灣最接近都會區的一個國家公園，亦為國內外觀光旅遊之重要景點。陽明山氣候型態上沒有明顯的乾季，年雨量多達四千公厘(陳文恭、蔡清彥 1984)。陽明山國家公園管理處成立之前，國家公園內山徑步道已遍達各山區及遊憩據點，在民國 80 年時基於遊憩的需求，進行全區步道系統及遊憩據點之設施整理改善規劃(吳夏雄 1991)。園內步道健行活動盛行，而使得各步道出現不同的衝擊問題，步道的退化會使得上述的價值受到嚴重影響，因此需要重視步道衝擊的管理。目前，美國林務署依據遊憩使用頻繁的程度，重點監測步道及其

出入口 (Leung and Marron 1999, 劉吉川 2006)。有鑑於步道出入口的遊憩衝擊受到經營者的重視，為維護管理而採取較多種的鋪面。因此，本研究以遊憩使用的鋪面步道，並以主要入口區段的步道作為取樣範圍，進行衝擊調查與研究。陽明山國家公園管理處總共規劃有 12 條遊憩步道路線，選擇鄰近停車場及公車站，交通可及性高之步道，共選出 8 條步道入口(圖 1)，根據抽樣步道調查所得之鋪面類型，共有石板、碎石、石階、木框碎石、木框碎石階與混凝土等六種。

## 2. 步道調查方法與時間

本研究的調查對象為鋪面步道，就各取樣步道建置完成的時間以及其建置時施工對環

境的影響，因為年代久遠及環境變遷等因素，所以不列入環境的變項中探討。研究採既成事實之分析 (after-the-fact analysis) (劉儒淵 2002)，調查遭受衝擊之樣區的環境實體。經由文獻回顧及現地調查，擬定步道衝擊的主要調查項目(表1)，包括衝擊問題、環境及使用狀況、步道管理，作為後續的分析。

(1)衝擊問題:以研究區域鋪面步道沿線觀察普遍出現之步道問題，有土壤裸露寬度、土壤沖蝕深度。土壤裸露寬度為測量鋪面兩旁土壤裸露寬度的加總，土壤沖蝕深度考量鋪面排水性的差異，造成步道旁土壤沖蝕的嚴重性，記錄兩旁出現沖蝕最深處之深度與鋪面底部的距離。

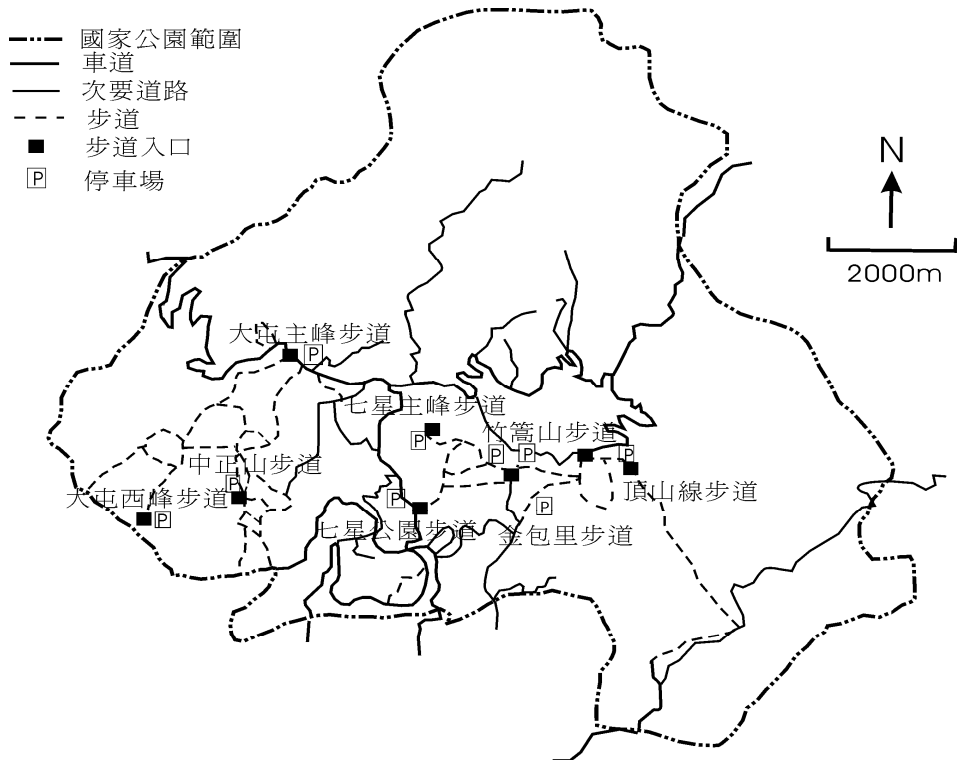


圖1. 八條調查步道入口位置圖

表1. 步道衝擊調查變項定義與操作

	調查變項	定義與操作	單位	方法*
衝擊問題	土壤裸露寬度	測量步道左右兩旁土壤裸露之寬度然後相加	cm	fm
	土壤沖蝕深度	測量步道兩旁土壤沖蝕深度最深處與步道鋪面底部之間的高度差，記錄沖蝕最深處之深度	cm	fm/ fo
環境及使用狀況	坡度	步道坡度以傾斜儀測量鋪面步道之縱向坡度，若為階梯則以量尺架於兩踏階前緣，以傾斜儀靠在量尺上測量步道縱向坡度。	度	fm
	坡向夾角	計算步道邊坡之坡向與步道軸線之夾角角度，角度範圍0~90度	度	fm
	腹地寬度	步道垂直剖面空間中，左右水平地面線能提供步行活動之最大寬度，以測量人員在現場模擬使用者能活動到達的最大寬度測量之	cm	fm
	步道位置離入口處之距離	樣點位置距離步道入口之步道長度	cm	fm
	上下坡	上坡、平、下坡	是/否	fo
	眺望視野	記錄該樣點是否具有遠眺之眺望視野	是/否	fo
	環境植群	將環境植群分為 樹林 或 草地	是/否	fo
	遊客量	調查假日遊客量，計算步道入口，每小時平均通過的遊客人次數	人次/時	fm
步道管理	鋪面寬度	測量步道鋪面的寬度	cm	fm
	鋪面材質	記錄步道鋪面之材質：石材、碎石、石階、木框碎石、木框碎石階與混凝土	是/否	fo

fm: 測量調查；fo: 觀察調查

(2)環境及使用狀況：植群差異分為樹林環境與草地環境。步道坡度以傾斜儀測量鋪面步道之縱向坡度，若為階梯則以量尺架於兩踏階前緣，以傾斜儀靠在量尺上測量步道縱向坡度。坡向夾角以步道軸線與步道邊坡坡向之夾角角度計算之。步道兩側地形與植群會影響可使用的活動範圍，因此腹地寬度的測量以測量人員在現場模擬，在輕鬆狀況下步道左邊可行走的位置為起點，以皮尺測量到步道右邊使用者可行走的位置為終點，測量左右水平地面線能提供步行活動之最大寬度。上下坡分為上坡、平、下坡三類，眺望視野則以該樣點是否具有遠眺之眺望視野。步道位置離入口處之距離指的是樣點位置距離步道入口之步道長度，以間

隔距離累加可得。遊客量以平均每小時進入步道的遊客人次計算之。

(3)步道管理：步道本體最主要的差異在於鋪面寬度與鋪面材質，鋪面寬度以皮尺直接測量鋪面的寬度，鋪面材質則以觀察記錄其類型。

於2008年4月進行田野調查，採用95%±10%信賴水準內的系統抽樣方法，以每條步道自入口開始調查2km，抽樣間隔為20m(Hawes et al. 2006)，8條步道共計調查16km，共獲得800個步道樣點資料。從每條步道入口處開始，以半徑10cm之測距輪每20m間隔設一抽樣點，每一抽樣點測量並記錄各種調查變項(表1)。因為步道的遊憩壓力主要集中在假日遊客大量湧入所產生的破壞，因此遊

客量調查選擇假日的遊客使用量，以週六與週日各一日，總共2日，調查時間從上午9點到下午5點，考量各步道相對的遊客分佈，同時由8位工作人員在8條抽樣步道入口處，記錄步道遊客人次，最後計算出平均每小時遊客人次。

## 二、資料分析

### 1. 鋪面有效性指數

步道鋪面設計與管理之目的，是為了引導遊客在鋪面上活動，因此步道鋪面兩旁不應該有土壤裸露。採取「鋪面寬度」與「土壤裸露寬度」為觀測變項，是因為它具有普遍出現及易監測的特性，而且是最直接相關又容易測量之變量，將其轉換為比率單位，可以直接應用在步道的管理與監測上，有助於步道的衝擊管理。

本研究對「鋪面有效性」的定義為：「在步道管理上，用不同的鋪面將人為活動的衝擊控制在能夠承受的鋪面範圍內，以達到將遊憩衝擊範圍降低之目的，而步道鋪面對衝擊範圍有減低的成果，即為鋪面有效性。」換言之，沒有衝擊量發生的時候，就代表鋪面有效性達到 100%。綜合上述，建立的鋪面有效性指數 (Surfacing Effectiveness Index, SEI) 的表示式如下：

公式 1 (鋪面有效性指數)：

$$(SEI) = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{W_{s_i}}{W_{s_i} + W_{t_i}} \right) 100\%$$

SEI：鋪面有效性指數 (0~100%)

Ws：鋪面寬度

Wt：土壤裸露寬度

i=1,2,...,n 樣點

### 2. 鋪面有效性指數(SEI)逐步迴歸模式

為了瞭解影響鋪面(管理)有效性的因素，以迴歸分析法求得最佳解釋的預測模式，六種鋪面類型中，木框碎石階與混凝土鋪面步道，因為樣點數較少，無法以迴歸分析法來分析，因而不在迴歸分析的步道種類中。就樣點資料

足夠之四種鋪面類型，進行鋪面類型有效性模式之迴歸分析。以鋪面有效性指數(SEI)作為依變項(Y)；將步道位置離入口處之距離(X1)、腹地寬度(X2)、草地(X3)、樹林(X4)、眺望視野(X5)、坡度(X6)、坡向夾角(X7)、步道遊客量(X8)、上坡(X9)、平(X10)、下坡(X11)等變數作為自變項，進行迴歸分析，其中草地、樹林、眺望視野、上坡、平、下坡為虛擬變項，因此採用逐步(stepwise)迴歸分析法，探討石板、碎石、石階、木框碎石的鋪面有效性指數與影響因子之最佳解釋的預測模式，建立下列的關係函數：

設 Y：各鋪面類型有效性指數；則  $Y=f(X1、X2、X3、X4、X5、...X11)$

### 3. 腹地寬度與鋪面有效性指數(SEI)之關係

當步道腹地寬度較大時，不同的鋪面材質造成使用者走出步道範圍的機率也各不相同。因為，鋪面有效性指數(SEI)以百分比(%)的方式呈現，所以腹地寬度也必須轉換為腹地寬率，作為實際步道旁可允許使用者走出的空間寬度與鋪面寬度之比率。考量步道的使用量與植群相同的情況下，分別探討步道在草地與樹林環境中，步道兩旁「腹地寬率」因素，對鋪面有效性的影響關係。並在相同植群與相同使用量的同一條步道上，比較不同鋪面的有效性與腹地寬率的關係差異。本研究最後以鋪面類型較多之步道，分析步道兩旁腹地寬率與步道的鋪面有效性之關係，計算其線性關係式與建立兩者關係之散佈圖。

公式 2：步道兩旁腹地寬率=(腹地寬度-步道鋪面寬度)/步道鋪面寬度

## 結果與討論

### 一、步道鋪面環境與鋪面管理狀況

#### 1. 環境與使用狀況

如表 2 所示，以步道遊客量總平均為每小時 150 人次而言，竹篙山步道、頂山線步道、金包里步道、大屯主峰步道，此四條步道為高使用率的步道，其他四條步道相較前者為較低

使用率的步道。研究區域調查所得的鋪面類型共分爲六種，其步道鋪面的環境狀況，如表 3 所示。計算步道鋪面類型的比例，石板步道佔 43.5%，石階步道佔 35%，碎石步道佔 13.75%，其餘爲木框碎石步道、混凝土步道、木框碎石階步道三種，數量較少僅佔 7.75%。而這六種材質的鋪面所分布的植群環境，將分別以樹林環境與草地環境來探討。在樹林環境下，六種鋪面材質的步道都有；而在草地環境中，則缺少木框碎石及木框碎石階兩種材質。調查結果發現，遊客使用量較多之鋪面類型有木框碎石階步道爲平均 220 人次/小時，碎石步道爲平均 202 人次/小時，而遊客使用人次數最少的是石階鋪面步道，爲平均 106 人次/小時。

## 2. 步道鋪面管理狀況

鋪面步道管理目的是爲了合理的讓遊客在鋪面上活動，在所調查的八條步道中，利用敘述統計計算之後，各步道 SEI 的平均值，如表 4 所示，從鋪面有效性的高低，可以反應出各步道之鋪面管理成效。在八條步道中，七星公園步道段的石板鋪面與木框碎石鋪面步

道，步道 SEI 平均值爲 57%及 58%，管理成效很不理想；而石階鋪面步道的管理成效，則以大屯西峰步道段最不理想，步道 SEI 平均值爲 53%。因此，在上述步道當中，對於管理成效不理想的，應注意步道衝擊的監測與研究改善方法。

如表 5 顯示，抽樣步道鋪面類型之平均鋪面寬度，在 120cm 以內的有：木框碎石階 98cm、石板 108cm、石階 113cm；步道寬度較寬，大於 120cm 以上的有：木框碎石 141cm、混凝土 193cm、碎石 377cm。分析鋪面寬度與遊客量之關係，結果顯示鋪面寬度與遊客量相關(Person 相關係數 0.318,  $p < .01$ )。土壤裸露寬度最大的是木框碎石步道，土壤裸露寬度平均 120cm，土壤裸露寬度最小的是石階步道(平均 53.3cm)與碎石步道(平均 54.9cm)。經由公式(1)計算 SEI 之高低順序分別爲碎石步道(平均 92%)、石階步道(平均 76%)、混凝土步道(平均 74%)、石板步道(平均 71%)、木框碎石階步道(平均 62%)、木框碎石步道(58%)。比較結果得知碎石步道對於步道衝擊的管理成效最好。

表2. 假日平均遊客量

步 道	擎天崗			大屯山		七星山		中正山
	竹篙山	頂山線	金包里	大屯主峰	大屯西峰	七星公園	七星主峰	中正山
步道平均遊客量 (人次/小時)	263	175	220	183	85	110	110	52
步道總平均遊客量 (人次/小時)	150							

表3. 六種不同材質的鋪面步道的環境與使用狀況，括號內數字爲標準差

鋪面	樣點數	草地 (%)	樹林 (%)	坡度 (度)	腹地寬 (cm)	坡向夾角 (度)	遊客量 (人次/小時)
石板	348	46	54	18(15)	268(128)	35(36)	170(62)
碎石	110	35	65	5(5)	579(277)	69(36)	202(33)
石階	280	42	58	24(12)	215(97)	11(19)	106(59)
木框碎石	32	0	100	8(7)	342(105)	30(31)	110(0)
木框碎石階	4	0	100	53(8)	121(20)	5(0)	220(0)
混凝土	26	65	35	22(9)	356(250)	42(34)	157(81)

表 4. 各步道鋪面有效性平均值 (n 為樣點數，「—」表示無資料)

步道名稱	鋪面有效性%																	
	石板有效性			碎石有效性			石階有效性			木框碎石有效性			木框碎石階有效性			混凝土有效性		
	n	最低/最高	平均	n	最低/最高	平均	n	最低/最高	平均	n	最低/最高	平均	n	最低/最高	平均	n	最低/最高	平均
竹篙山	54	27/100	71	27	30/100	71	13	55/100	79	—	—	—	—	—	—	6	44/100	74
山頂山	86	41/100	68	—	—	—	14	66/80	76	—	—	—	—	—	—	—	—	—
線金包	72	30/100	66	—	—	—	18	49/100	88	—	—	—	4	38/100	62	6	60/100	83
里大屯	9	81/100	94	83	86/100	98	8	88/100	93	—	—	—	—	—	—	—	—	—
主峰大屯	64	31/100	67	—	—	—	22	33/74	53	—	—	—	—	—	—	14	42/100	70
西峰	26	33/84	57	—	—	—	42	32/100	60	32	34/100	58	—	—	—	—	—	—
七星公園	37	20/100	90	—	—	—	63	20/100	92	—	—	—	—	—	—	—	—	—
七星主峰	—	—	—	—	—	—	100	37/100	74	—	—	—	—	—	—	—	—	—
中正山	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 5. 各鋪面類型之衝擊與鋪面有效性指數(SEI)，括號內數字為標準差

平均鋪面類型	樣點數	鋪面寬度 (cm)	土壤沖蝕深度 (cm)	土壤裸露寬度 (cm)	鋪面有效性指數 (SEI)
石板	348	108(24)	11.7(10)	61.9(65)	71%(20)
碎石	110	377(83)	2.8(11)	54.9(93)	92%(16)
石階	280	113(28)	14.5(10)	53.3(62)	76%(21)
木框碎石	32	141(25)	5.8(4)	120(83)	58%(15)
木框碎石階	4	98(0)	21.8(11)	75(86)	62%(35)
混凝土	26	193(105)	13(10)	68.7(59)	74%(21)



### 3. 步道坡度對步道沖蝕深度的影響

「鋪面材質」對步道沖蝕深度的影響，經由單因子變異數分析，得到鋪面材質對步道沖蝕深度影響是顯著的( $F=23.78$ ,  $p<.01$ )。而各鋪面類型的土壤沖蝕深度與坡度的關係，經相關分析，如表 6 結果顯示，石板步道、石階步道、木框碎石步道及木框碎石階步道之坡度與土壤沖蝕深度達顯著相關，而碎石與混凝土步道之坡度與土壤沖蝕深度則未達顯著相關。

#### 二、鋪面類型與鋪面有效性指數(SEI)之關係

不同步道鋪面類型及其有效性指數逐步迴歸分析，分析四種最主要之鋪面類型，由表 7 中的四項迴歸分析，所得到的結果如下：

##### 1. 步道鋪面有效性指數(SEI)逐步迴歸模式

###### (1)石板鋪面步道

由石板與各種變數的逐步迴歸結果指出(表 7, 迴歸 1), 腹地寬度、樹林二個因子, 對石板鋪面有效性可以解釋 40.5%的變異量 ( $n=348$ ,  $Durbin-Watson=1.573$ )。而  $Durbin-Watson$  的殘差值接近 2(在 1.5~2.5 之間), 沒有發生自我相關現象。而對石板步道鋪面有效性不利的因子是腹地寬度與樹林環境。

###### (2)碎石鋪面步道

由碎石與各種變數的逐步迴歸結果指出(表 7, 迴歸 2), 坡向夾角、遊客量、腹地寬度、上坡此四個因子, 對碎石步道 SEI, 可以解釋 63.1%的變異量( $n=110$ ,  $Durbin-Watson=1.139$ )。對碎石步道鋪面有效性, 有利的因子為坡向夾角; 不利的因子是遊客量、腹地寬度與上坡。

###### (3)石階鋪面步道

由石板與各種變數的逐步迴歸結果指出(表 7, 迴歸 3), 步道位置離入口處之距離、腹地寬度、眺望視野、坡向夾角及樹林等五個因子, 對石階鋪面有效性可以解釋 49.2%的變異量( $n=280$ ,  $Durbin-Watson=1.523$ )。結果顯示, 對石階步道有效性有利的因子為位置離入口距離與坡向夾角等因子, 離步道入口愈遠, 則

有效性愈好, 坡向夾角大的石階步道有效性愈好。不利的因子是腹地寬度、眺望視野與樹林。

#### (4)木框碎石鋪面步道

由木框碎石與各種變數的逐步迴歸結果指出(表 7, 迴歸 4), 坡向夾角對木框碎石步道 SEI, 可以解釋 20.7%的變異量 ( $n=32$ ,  $Durbin-Watson=1.778$ )。對碎石步道鋪面有效性, 有利的因子為坡向夾角。

#### 2. 共同影響因子

如表 7 結果所示, 整體而言, 腹地寬度、坡向夾角、植群為多數共同影響的因子, 在腹地寬度愈寬的情況下, 遊客行走出鋪面範圍而造成環境衝擊的情況愈嚴重, 而坡向夾角愈大, 步道有效性愈好。如表 5 所示, 比較「腹地寬度」因子的  $Beta$  係數, 發現腹地寬度對石階步道( $Beta=-0.419$ )的有效性影響, 比石板、碎石步道更顯著, 表示石階步道在有腹地寬度的情況下, 其有效性降低最為顯著。比較「坡向夾角」因子的  $Beta$  係數, 發現坡向夾角對碎石步道( $Beta=.359$ )的有效性影響, 比石階步道更顯著。比較「樹林」因子的  $Beta$  係數, 發現樹林對石板步道( $Beta=-0.212$ )的有效性影響, 比石階步道更顯著。在樹林環境下時, 石板步道的有效性比石階步道的有效性差。

#### 3. 各別影響的因子

##### (1) 眺望視野、上下坡

如表 7 結果所示, 眺望視野、上下坡為虛擬變項, 眺望視野則只對石階步道鋪面有效性有顯著影響。上坡對碎石的鋪面有效性為負相關。

##### (2) 遊客量與步道位置離入口處之距離

遊客量因子出現在對碎石步道有顯著影響, 影響係數-0.017, 顯示遊客量愈大, 其步道有效性愈差, 遊客量與碎石步道的衝擊有關, 而且反應比其他材質更為明顯。位置離入口距離因子只對石階步道鋪面有效性有顯著影響, 顯示石階步道上位置離入口距離愈遠, 其步道有效性愈好, 衝擊在離入口愈近處愈明顯較大。

表 6. 土壤沖蝕深度與步道坡度之相關分析

衝擊指標	石板坡度	碎石坡度	石階坡度	木框碎石坡度	木框碎石階坡度	混凝土坡度
土壤沖蝕深度	.268*	.103	.411*	.360*	.177*	.266

\*: p&lt;.01

表 7. 步道鋪面有效性指數逐步迴歸分析表

依變項	被選取的自變項	B	Beta	t	p Two-tailed
迴歸 1:石板鋪面有效性指數	腹地寬度	-.061	-.384	-7.931	.000
	樹林	-8.548	-.212	4.375	.000
n=348 Adjusted R Square=.405, Durbin-Watson=1.573					
迴歸 2:碎石鋪面有效性指數	坡向夾角	5.839	.359	4.205	.000
	遊客量	-.017	-.294	-3.935	.000
	腹地寬度	-.014	-.234	-3.349	.001
	上坡	-.352	-.136	-2.327	.022
n=110 Adjusted R Square=.631, Durbin-Watson=1.139					
迴歸 3:石階鋪面有效性指數	步道位置離入口處之距離	.018	.442	10.030	.000
	腹地寬度	-.090	-.419	-9.696	.000
	眺望視野	-7.882	-.175	-3.272	.001
	坡向夾角	.147	.134	3.024	.003
	樹林	-4.576	-.108	-2.057	.041
n=280 Adjusted R Square=.492, Durbin-Watson=1.523					
迴歸 4:木框碎石鋪面有效性指數	坡向夾角	.226	.482	3.017	.005
n=32 Adjusted R Square=.207, Durbin-Watson=1.778					

### 三、腹地寬度與鋪面有效性指數(SEI)之關係

由前述分析可知，腹地寬度是影響步道鋪面有效性的主要因子，在相同植群與相同使用量的同一條步道上，比較不同鋪面的有效性與腹地寬率的關係差異。選擇具有鋪面類型較多之步道，草地環境以竹篙山步道為主，而樹林環境為七星公園步道。接著分析步道兩旁「腹地寬率」與「步道的鋪面有效性」之關係，建立兩者關係之散佈圖及推導其線性關係式。

由圖 2 結果顯示，在草地環境條件下，三種鋪面皆達顯著相關(p<.05)，腹地寬率增加時，石階步道係數較高，由係數高低顯示，遊客容易走出步道範圍的順序為：石階步道>碎石步道>石板步道。由圖 3 結果顯示，三種鋪面皆達顯著相關(p <.05)，在樹林的環境中有腹地時，遊客容易走出步道範圍的順序為：石板步道>石階步道>木框碎石步道。整體可解釋的變異量，以樹林的資料較高(木框碎石

$R^2=.6137$ 、石板  $R^2=.6114$ 、石階  $R^2=.7457$ )。

### 四、綜合討論

#### 1. 鋪面步道衝擊與有效性指數之運用

調查抽樣的步道雖然都是在入口處，但從鋪面步道的環境與使用狀況(表 3)，六種不同材質的步道類型在環境與使用條件，其平均值之標準差較大，其鋪面類型之環境條件差異較大，顯示步道環境設計上缺乏一致性的準則，也可能是陽明山在地形上與氣候上多變的特色，造成步道環境條件的差異較大。

從步道鋪面類型的環境狀況分析(表 4)，發現遊客使用量較多之鋪面類型有碎石與木框碎石階，石階遊客使用人次數最少。可看出管理單位面對較多遊客使用的步道，喜歡採用碎石類之鋪面的管理方式，或使用較多的鋪面類型，最多用到四種鋪面類型。而遊客量較少的步道，鋪面類型也較少，例如調查遊客使用

人次數最少的中正山步道，就僅有一種步道類型。碎石步道鋪面有效性最好，顯示管理單位給予這些步道段落較多的關注與管理。木框碎石步道的鋪面有效性最差，原因在於管理單位缺乏維護，木框內的碎石減少且凹陷，樹林環境下潮濕泥濘時，遊客多走步道外。

Newsome et al. (2002)認為好的步道設計，步道表面材料可以降低遊客的踐踏效應，可視為有效資源保護的方法。而國內在鋪面步道的研究，缺乏對鋪面材質類型的探討，大多在於步道有無鋪面的衝擊差異、鋪面的維護狀況及遊客意見調查。謝思怡(2000)研究指出無鋪面的步道，對植物覆蓋度減少率與植群衝擊指數的變化上有顯著的影響。黃萬侯(2007)認為步道鋪面對步道加寬有顯著影響。林晏州(2003)也指出不同步道鋪面種類會影響步道規範遊客動線的感受，而使衝擊有所不同。邱鶴斌(2006)認為缺乏維護的步道鋪面，會使遊客走出步道，造成較高的衝擊。有別於上述的研究成果說明，透過本研究提出的鋪面有效性指數(SEI)，可更瞭解各鋪面類型在管理遊客使用衝擊範圍的結果，是否達到管理的目標，是少數針對不同鋪面類型對環境衝擊管理影響的研究。

## 2. 影響鋪面管理成效之因子差異

### (1) 步道遊客量的影響

遊客量是影響衝擊量的重要因素，但是對不同鋪面類型分析結果，僅有碎石步道顯示，遊客量不利於其鋪面管理的有效性。Dixon et al. (2004)研究指出使用者人數為影響步道寬度的主因，而研究結果也顯示步道的遊客量與鋪面寬度相關。

### (2) 步道坡度對衝擊管理有效性的影響

為何在步道 SEI 逐步迴歸模式中，步道「坡度」因子對鋪面管理的有效性影響不顯著？推估原因為步道的類型，已經將坡度的範圍限制在有限的範圍內，例如碎石步道的步道坡範圍從 0~8 度，所以步道坡度的影響不顯著。儘管步道坡度對各別鋪面類型的衝擊範圍，影響較不顯著，但是，步道類型的分類與

步道坡度有關，而步道坡度也會影響步道建造的形式及鋪面材質的選擇。根據劉吉川 (2004) 研究結果，步道坡度與土壤沖蝕有關，而調查的六種鋪面步道中，除了碎石與混凝土步道外，其餘四種鋪面步道的步道坡度皆與土壤沖蝕有關。

### (3) 腹地寬度對衝擊管理有效性的影響

整體上，由迴歸分析結果指出，腹地寬度大對於石板、碎石與石階等鋪面的有效性皆不利，腹地寬度對石階步道的影響較大。但是，考量植群環境的影響下，不同材質鋪面可能的衝擊差異，草地環境下，腹地寬度對衝擊管理有效性的影響，以石階最為明顯，而樹林環境下，腹地寬度對衝擊管理有效性的影響，以石板步道最為明顯。推估原因為，在草地環境時，當遊客走到坡度較陡的石階步道，因為視線較好，遊客就會喜歡走到柔軟的草地上。而在樹林環境時，當遊客走到坡度較陡的石階步道，因為視線受限及不安全的因素，比較不會走出步道，當遊客在坡度平緩的石板步道，可能因為視線及安全因素較好，就會比較容易走出步道。

## 3. 鋪面類型對衝擊管理的差異

Manning (1999)曾提出四項衝擊管理策略，其中一項是建議增加步道的耐久性與增加有效空間的供給，透過適合的鋪面所提供出可供使用的空間，使衝擊的機會降至最低因此，本研究透過「步道鋪面有效性指數」評估，首先可以反應各步道或各鋪面類型的管理的成效，並可藉此指數的運用，方便以量化研究的方式，進而瞭解各種不同鋪面步道類型所受到的衝擊的原因，據此建議該類型步道應該加強注意的地方。

在結果顯示，步道的類型在控制衝擊範圍的成效上是有差異的，在短期方面，可以知道各鋪面類型現況的問題，告知管理者應針對評估結果不符合管理水準的，應立即謀求改善；長期方面，可以持續監測與評估鋪面類型的管理成效的變化趨勢發展，可以幫助未來步道改善的決定。

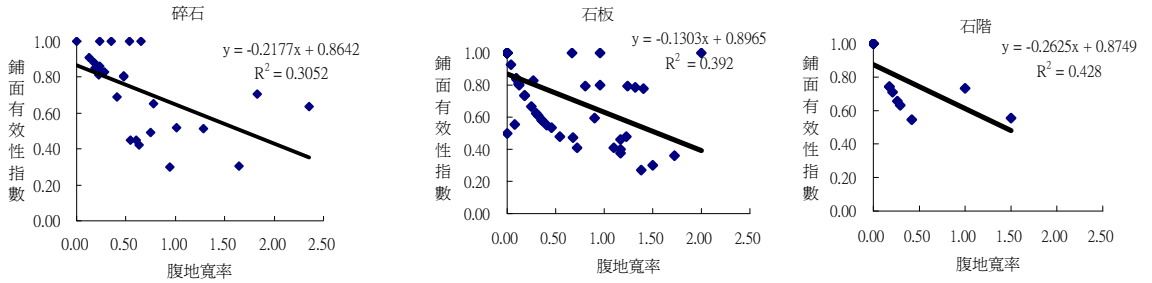


圖2. 竹篙山步道各鋪面類型之腹地寬率與鋪面有效性指數關係圖

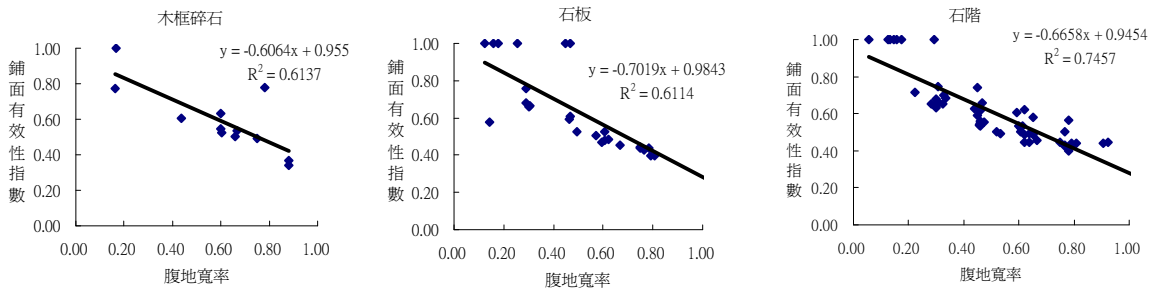


圖3. 七星山步道各鋪面類型之腹地寬率與鋪面有效性指數關係圖

許多步道衝擊的研究指出遊憩使用具有高度集中性(Cole 1993, Liddle 1997, Newsome et al. 2002, Manning 1999, Marion and Leung 2004)，而鋪面步道的目的是藉由引導性，使衝擊集中在預估控制的鋪面設計管理範圍，達到環境衝擊範圍最小化。以下就本研究最主要的四種鋪面，討論其環境與使用對鋪面有效性指數的影響如下：

### (1)石板

衝擊發生的型態與當地生態系有很大的關係，在較不具抵抗力的植群類型環境下，該地區的步道更容易退化(Liddle 1997)，而結果也反應出，植群差異與腹地寬度，為明顯影響石板步道 SEI 之主要因子。可見環境因子比使用因子的影響大，因為石板步道多數是以前山區居民的交通路線，步道坡度的範圍較寬，從 0~60 度，也是陽明山國家公園最主要之步道鋪面類型，其遊客量比碎石步道小，其鋪面寬度平均 108cm，地形因子中的腹地寬度影響土

壤裸露寬度，故影響石板步道鋪面管理有效性。步道衝擊與植群環境有關係，樹林的衝擊量比草地大，因為樹林因為其底部較陰暗多半為耐陰性植物，耐陰性植物不耐踐踏莖葉易斷，造成土壤踐踏裸露愈大(Weaver and Dale 1978)，而結果也反映出，石板在樹林環境下的有效性比草地差。

### (2)碎石

坡向夾角、遊客量、腹地寬度與上坡，為明顯影響碎石步道之 SEI 之主要因子。顯示環境及使用因子皆會影響 SEI，這是因為碎石步道的遊客量明顯較多，遊客量不利於其鋪面管理的有效性。可能與地形因素有關，碎石材料鬆散的特性限制了其使用的坡度範圍在 0~8 度之間，這樣的坡度讓遊客可以很輕鬆行走，所以當腹地寬度愈大時，使得遊客走出鋪面範圍的機會也加大。由於碎石材料鬆散，在上坡的坡面土壤裸露寬度較大。為何是上坡而非下坡，可能與上下坡的坡度或坡長有關，此點可

留待進一步的分析去檢驗。當坡向夾角大，表示步道兩側坡形陡，兩旁坡地的地形上，具有約束衝擊範圍的效果，有利於遊客集中的特性 (Agate 1996, Demrow and Salisbury 1998, Marion and Leung 2004)，有助於控制碎石鋪面的土壤裸露寬度，這也是大屯主峰步道比竹篙山步道的碎石鋪面有效性較好的原因。

### (3) 石階

腹地寬度、位置離入口距離、眺望視野、坡向夾角及樹林等五個因子，為明顯影響石階步道之 SEI 之主要因子。石階步道的平均遊客量是最小的，但是其 SEI 不是最好的。石階步道鋪面寬度為平均 113cm，步道平均坡度 24 度，坡度大、遊客量少，因此造成土壤裸露的原因，主要是地形與植群，石階步道在腹地愈寬情況下，遊客行走出鋪面範圍造成環境衝擊的情況愈大，可能因為石階步道的坡度很陡，行走較累的情況下，有腹地的地方通常是遊客停留休息的點，也會聚集較多的人可能坐下聊天或等待，所以有腹地的地方其有效性變差。推估石階步道因為坡度較大的情況下，通常遊客行走速度會較慢，遊客的密度也會降低，可能因為如此，步道位置離入口處之距離愈遠，則步道沿線衝擊範圍愈小。地形會影響使用者在上坡與下坡行走時，因為視野的不同，所造成的衝擊也不同 (Bayfield 1973)，在研究區域中石階步道的坡度較大，因為視野的不同，推估眺望視野的有無對遊客的視覺感受比在平坦的地形，感受的差異會比較強烈，可能因為視線引導動線或觀賞景觀的緣故，容易影響遊客走出步道鋪面的範圍。石階步道在樹林環境下的鋪面有效性也比草地環境差，如同石板步道之研究結果。

### (4) 木框碎石

坡向夾角為明顯影響木框碎石步道 SEI 之主要因子。由於木框碎石坡度平均 8 度，腹地寬度平均 342cm，遊客可以輕鬆行走，因此當坡向夾角大時，兩旁坡地的地形較陡，可能因為安全的顧慮，遊客比較會走在鋪面的範圍內，有利於遊客集中，同理，當坡向夾角小時，

步道兩旁的土壤裸露情況明顯嚴重許多。

## 結論

本研究的目的是在於探討各鋪面步道類型之衝擊管理成效，並探討步道環境與使用因子如何影響步道鋪面在降低遊憩環境衝擊的有效性表現。研究過程提出的鋪面有效性指數 (SEI, 公式 1) 可以清楚的表達，鋪面步道與鋪面步道類型在控制衝擊範圍的有效性表現。結果顯示碎石步道目前的步道設計比較接近使用需求，步道擴張的幅度不大，顯示衝擊的管理成效較佳 (92%)。而木框碎石目前的步道設計與使用需求相差最大，步道擴張的幅度最大，顯示衝擊的管理成效最差 (58%)。土壤沖蝕深度則與鋪面類型、步道坡度與有關。

不同步道鋪面類型的鋪面有效性受到不同的因子所影響，研究結果顯示，遊客使用量與地形是影響鋪面步道設計在選擇材質與鋪面寬度的重要因素，此結果可提供鋪面步道在衝擊研究與管理方面的檢討，並提供步道鋪面更新設計時的參考。

對於管理單位，建議加強對鋪面步道的規劃設計與檢討。由於現行管理單位並無制定步道的統一準則，現有步道多是以原有路徑再鋪設，調查結果也發現各步道鋪面類型與步道規劃顯得雜亂與缺乏準則。由各步道鋪面之 SEI，發現問題較嚴重的步道，其遊客量不是最大的，但是步道鋪面管理的有效性卻是偏低的，這與國家公園的步道多為舊道路網絡，很少步道是針對遊憩的目的而設計，故不能符合承受遊客使用與兼顧降低資源劣化有關，因此步道衝擊的問題會持續存在。例如七星公園步道就是如此，其坡度過陡與坡長過長，違反了一般步道的設計準則，而其各鋪面類型的步道 SEI 普遍偏低，也是最差的一條步道。坡度陡使得土壤沖刷嚴重，坡向夾角小使得步道坡度平坦處的腹地寬度較寬，不利於遊客集中，也使得衝擊問題不易控制，因此，步道的規劃設計檢討是有必要的。

對於不同的衝擊程度，就應該有不同的管理與維護方式。研究中也發現在低使用量的步道，其步道衝擊狀況還比高使用量的步道嚴重。可能的原因在於遊客量多的地點，通常比較受到管理單位的重視，其管理與設計會比較完善，造成步道衝擊較小。因此，合適的管理與設計確實會降低對步道周圍的環境衝擊。

本研究所提出的鋪面有效性指數，適用於鋪面步道的管理，唯不同鋪面類型的影響有別，因此需要對不同地區的鋪面步道進行檢驗。最後，本文提供二點後續研究建議。第一，鋪面步道類型與衝擊問題的相關性，需要更多不同的鋪面材料繼續研究，步道類型與衝擊問題的關聯性，是可以深入研究的課題。第二，鋪面類型對遊客行為及遊客選擇，是否造成明顯的影響？這也是另一個關於鋪面步道管理可以研究的重點。

## 引用文獻

林晏州。1990。健行步道遊憩容許量之評定，東海學報 31：613-627。

林晏州。2003。玉山國家公園步道遊憩承載量及經營管理策略之研究，國家公園學報 13(2)：27-48。

李嘉智。2005。森林步道設置規劃與設計，森林遊憩設施規劃設計與施工研習會暨 94 年度林務局育樂工程計畫內容說明。

吳夏雄。1991。陽明山國家公園全區步道系統及遊憩據點之設施整理改善規劃報告，內政部營建署陽明山國家公園管理處，共 91 頁。

邱鶴斌。2006。里龍山自然步道植群與土壤衝擊評估與影響因素之研究，屏東科技大學森林所碩士論文。

陳文恭、蔡清彥。1984。陽明山國家公園之氣候，台灣大學大氣科學系研究。

黃萬侯。2007。國家公園內遊憩步道之旅遊衝擊評估—以墾丁國家公園為例，國立屏東科技大學森林研究所碩士論文。

楊秋霖。2003。步道規劃設計重點及案例說明，2003 國家步道系統建置發展研討會，pp.3.1-3.6。

劉吉川。2004。北大武山國家步道之土壤踐踏監測，中華林學季刊 37(4)：393-405。

劉吉川。2006。LNT架構下的遊憩衝擊研究，國家步道環境優化研討會—Leave No Trace，143-156。

劉儒淵。1989。戶外遊憩對環境之衝擊及其管理維護，戶外遊憩研究 2(1)：3-18。

劉儒淵。2002。合歡山區步道沿線植群與土壤衝擊之研究，行政院農業委員會 91 年度科技研究計畫成果報告，20 頁。

劉儒淵、曾家琳、沈介文。2004。從遊憩衝擊觀點探討登山步道之規劃設計—以玉山國家公園塔塔加步道為例，朝陽設計學報 4：107-130。

謝思怡。2000。社頂、龍磐地區踐踏效應影響因子之研究，國立屏東科技大學熱帶農業研究所碩士論文。

Agate E. 1996. *Footpaths: a Practical Handbook*. British Trust for Conservation Volunteers. The Eastern Press Ltd, London.

Bayfield NG. 1973. Use and deterioration of some Scottish hill paths. *Journal of Applied Ecology* 10,635-644.

Cahill K, Marion JL and Lawson SR. 2008. Exploring visitor acceptability for hardening trails to sustain visitation and minimise impacts. *Journal of Sustainable Tourism* 16(2),232-245.

Cole DN. 1987. Research on soil and vegetation in wilderness: A state-of-knowledge review. In: Lucas, Robert C., comp. *Proceedings-National Wilderness Research Conference: Issues, State-of-Knowledge, Future Directions*; Fort Collins, CO. General Technical Report INT-220. Ogden, UT: USDA Forest Service, Intermountain Research Station: 135-177.

Cole DN. 1991. *Changes on Trails in the Selway-Bitterroot Wilderness, Montana, 1978-1989*. Research Paper INT-212. Ogden, UT: USDA Forest Service, Intermountain Research Station. 5p.

Cole DN. 1993. Minimizing Conflict between Recreation and Nature Conservation. In: Smith, D.S. and Hellmund, P.C.(eds.), *Ecology of Greenways: Design and Function of Linear Conservation Areas*, (pp. 105-122). Univ. of Minnesota Press, Minneapolis, MN.

Cole DN. 2004. Monitoring management of

- recreation in protected areas: the contributions and limitations of science.  
<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2004/mwp002.htm>
- Demrow C and Salisbury D. 1998. *The Complete Guide to Trail Building and Maintenance*, 3<sup>rd</sup> edn. Appalachian Mountain Club Books, Boston, Massachusetts.
- Dixon G, Hawes M and McPherson G. 2004. Monitoring and modeling walking track impacts in the Tasmanian Wilderness World Heritage Area, Australia. *Journal of Environmental Management* 71, 305-320
- Farrell TA and Marion JL. 2002. The Protected Area Visitor Impact Management Framework: a simplified process for making management decisions. *Journal of Sustainable Tourism* 10(1),31-51.
- Giles AD. 2002. *Exploring the social, environmental and economic aspects of trail surfacing decisions*, Master thesis, Environmental Studies in Geography, University of Waterloo, Canada.
- Godefroid S and Koedam N. 2004. The impact of forest paths upon adjacent vegetation: effects of the path surfacing material on the species composition and soil compaction. *Biological Conservation* 119:405-419.
- Hall CN and Kuss FR. 1989. Vegetation alteration along trails in Shenandoah National Park, Virginia. *Biological Conservation* 48, 211-27.
- Hawes M, Candy S and Dixon G. 2006. A method for surveying the condition of extensive walking track systems. *Landscape and Urban Planning* 78, 275-287.
- Hesselbarth W and Vachowski B. 2007. *Trail Construction and Maintenance Notebook*. Publication 0723-2806-MTDC-P, USDA Forest Service, Technology and Development Program, Missoula, Minnesota
- Hill W and Pickering CM. 2006. Vegetation associated with different walking track types. *Journal of Environmental Management* 78(1),24-34.
- Jubenville A and Twight BW. 1993. *Outdoor Recreation Management: Theory and Application*. State College, PA: Venture Publishing, Inc.
- Jubenville A. 1995. Trail and site management are the key to untrammeled wilderness, *International Journal of Wilderness* 1(2), 23-25.
- Kahklen. 2001. A method for measuring sediment production from forest roads. USDA Forest Service. Pacific Northwest Research Station, Research Note PNW-RN-529
- Leung YF and Marion JL. 1996. Trail degradation as influenced by environmental factors : a state-of-knowledge review. *Journal of Soil and Water Conservation* 51,130-6.
- Leung YF and Marion JL. 1999. Assessing trail conditions in protected areas: application of a problem-assessment method in the Great Smoky Mountains National Park, USA. *Environment Conservation* 26, 270-279.
- Liddle M. 1975. A selective review of the ecological effects of human trampling on natural ecosystems. *Biological Conservation* 7, 17-36.
- Liddle M. 1997. *Recreation Ecology: the Ecological Impact of Outdoor Recreation and Ecotourism*. Chapman & Hall, London.
- Manning R. 1999. *Studies in Outdoor Recreation: Search and Research for Satisfaction*, 2<sup>nd</sup> edn. Oregon State University Press, Corvallis, Oregon.
- Manning RE. 2004. Managing impacts of ecotourism through use rationing and allocation. In: Buckley, R. (ed.), *Environmental Impacts of Ecotourism*, (pp. 273-286). Wallingford, UK: CABI Publishing.
- Marion JL and Leung YF. 2004. Environmentally sustainable trail management. In: Buckley, R. (ed.), *Environmental Impacts of Ecotourism*, (pp. 229-243). Wallingford, UK: CABI Publishing.
- Marion JL. 1994. An assessment of trail conditions in Great Smoky Mountains National Park. *Research/resources management report, US Dept of the Interior, National Park Service, Southeast Region, Atlanta, GA, USA*, 155 pp.
- Nepal SK. 2003. Trail impacts in Sagarmartha (Mt. Everest) National Park, Nepal: a logistic regression analysis. *Environmental Management* 32, 312-321
- Nepal SK and Way P. 2007. Characterizing and Comparing Backcountry Trail Conditions in Mount Robson Provincial Park, Canada. *Royal Swedish Academy of Sciences* 36(5),394-400.
- Newsome D, Moore SA and Dowling RK. 2002. *Natural Area Tourism: Ecology, Impacts and Management*. Channel View Publications, Clevedon, UK.
- Stankey GH. 1973. *Visitor perception of wilderness recreation carrying capacity*. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Experiment Station, 62pp.
- Weaver T and Dale D. 1978. Trampling effects of hikers, motorcycles and horses in meadows and forests. *Journal of Applied Ecology* 15, 451-457.
- Worboy GL, Lockwood M and De Lacy T. 2001. *Protected Area Management: Principles and Practice*. Oxford University Press, Melbourne.