

合歡山區登山步道土壤沖蝕之研究

劉儒淵^{1,2}

(收稿日期：2004年2月25日；接受日期：2004年4月21日)

摘 要

本研究以步道土壤沖蝕量為指標，採用步道截面重複測量方法，設置步道截面之固定觀測樣區，自2002年11月至2003年10月止，針對太魯閣國家公園合歡山地區的三條主要登山步道遭受遊客踐踏衝擊所產生的土壤沖蝕效應與程度，分別進行兩次之調查監測，同時探討其與遊客數量、步道沿線環境及植群衝擊調查介量間之關係。

研究結果顯示各步道之土壤沖蝕程度因遊客使用密度與其他環境條件的不同而呈現明顯的差異，合歡東峰步道由於承受的遊客踐踏壓力最大，其步道截面一年來之平均土壤沖蝕量達 $169.1 \text{ cm}^3/\text{cm}$ ，步道寬度擴張率達6.56%，為三條步道中沖蝕程度最嚴重者；北合歡山步道之年平均沖蝕量 $99.3 \text{ cm}^3/\text{cm}$ ，步道寬度擴張率1.52%；另石門山步道沿線因有若干平行步徑而分散登山遊客，其步道截面之年平均沖蝕量僅 $96.5 \text{ cm}^3/\text{cm}$ ，唯步道寬度擴張率達3.66%。

藉由步道寬度擴張率或表面凹陷深度的量測，均可據以推估步道土壤沖蝕的程度；而以步道截面斷面積的變化情形，供為評估土壤沖蝕程度的指標，與採用植群覆蓋減少率(CR)評估植群衝擊效應，或以土壤硬度增加率(SHI)反映土壤性質變化所得結果頗為一致，不失為戶外遊憩區步道衝擊監測作業中，評估遊憩衝擊程度之簡易而實用的技術。

本研究並依據相關的調查、監測結果，提出若干改善或防治步道土壤沖蝕之建議事項，供為有關單位及專家學者在從事遊憩衝擊研究或經營時之參考。

關鍵詞：踐踏衝擊，步道惡化，土壤沖蝕，步道截面，合歡山區

一、前 言

建構國家步道系統為目前政府積極推展生態旅遊，邁向綠色矽島目標的重要施政項目之一，因為步道系統的規劃設置，提供遊客欣賞自然與遊憩的空間，為生態旅遊地各項景觀施業

1. 台灣發展研究院生態暨資源保育研究所。
2. 通訊作者。

中極為重要的一環，尤其是以自然型或山野型景觀資源為主的森林遊樂區、國家公園及其他原野生態旅遊地等為然。經營管理單位可利用完善的步道規劃，配合有效的經營管理策略，引導或疏散遊客，避免遊憩活動集中在某些據點，造成過度利用；或引導遊客遠離資源脆弱、易遭破壞地區，而不致造成難以為回復的衝擊。也可視實際需要，鼓勵遊客集中使用，使對環境的衝擊得以控制，局限在事先規劃的範圍內，不致擴及他處(劉儒淵、曾家琳，2003a)。

步道因遊憩使用[主要是遊客踐踏、破壞行為(depreciative behavior)或其他因素]，常造成各種不同型態與程度的衝擊，而導致步道惡化(trail deterioration)的現象，包括步道分生(trail proliferation)形成多條平行小徑(parallel multiple treads)、植群消失或組成改變、土壤緊壓化(soil compaction)、步道加寬(soil widening)及步道沖蝕(trail erosion)等問題，不但破壞了遊憩環境品質，也造成遊客之視覺衝擊而影響其遊憩體驗(Leung and Marion, 1999；彭育琦，1997)。其中步道沖蝕包含步道表面的侵蝕(incision)與土壤流失(soil loss)兩種現象，形成了溝蝕(gully erosion)(USDA 1977)，被認為是遊憩活動對土壤最嚴重且持久的衝擊型態(Marion, 1994；Leung and Marion, 1996；劉儒淵，2000b)。步道沖蝕的情形一旦發生，不管是繼續或停止使用，勢將維持一段時日，無法如植群或土壤的衝擊效應，通常在停止遊憩使用一段時間後，就會有某些程度的回復(Hammit and Cole, 1998)。因此在進行步道衝擊研究或戶外遊憩區步道系統規劃設計與經營管理時，土壤沖蝕的防治應是最重要且不可忽視的課題之一。

合歡山為太魯閣國家公園範圍內最主要的遊憩區之一，更是台灣最著名的高山賞雪據點，然過度且密集的遊憩使用，已對該區各主要登山步道沿線之植群與土壤造成相當程度的破壞。根據筆者等先前之調查研究結果顯示，各步道兩側原有路面上之地被植物被剔除，以致表土裸露、凹陷，遇雨輒積水而泥濘難行，有些路段更因表土遭沖刷流失，形成沖蝕溝，遊客被迫繞道而行，或在原步道旁另闢小徑通過，形成數條平行小徑，致步道的總寬度擴張了許多(劉儒淵、曾家琳，2003b)。

本研究之目的在於調查與分析登山遊客之踐踏對太魯閣國家公園合歡山區各主要登山步道沿線土壤沖蝕之型態與結果，設置固定樣區，定期調查監測各步道寬度之擴張、凹陷及沖蝕程度之變化，探討影響步道劣化之因子，並與步道沿線之植群衝擊效應相互對照。研究結果除供為遊憩生態學方面之學術研究參考外，並提供經營單位適合採行的衝擊監測方法與經營策略，俾能有效的達到減低遊憩衝擊，維護自然資源與遊憩品質之目標。

二、相關文獻回顧

有關步道因遊憩使用或其它原因所造成的衝擊，在目前的研究中並沒有明確的定義，而常以各種不同的名詞出現，例如步道衝擊(trail impact)、步道沖蝕、步道耗損(trail wear)、步道劣化(trail degradation)以及步道惡化等。Leung and Marion(1996)曾根據各名詞所包含的步道問題加以彙整分類如表一所示。

表一. 步道狀況用詞之分類

步道問題 Trail problem	步道狀況用詞			
	步道衝擊 trail impact	步道惡化 trail deterioration	步道劣化 trail degradation	步道沖蝕 trail erosion
破壞行為	V			
步道分生(平行小徑)	V	V		
植群覆蓋消失或組成改變	V	V		
土壤緊壓化	V	V	V	
步道加寬	V	V	V	
步道侵蝕及土壤流失	V	V	V	V

(資料來源：Leung and Marion, 1996)

步道衝擊是包含最廣的名詞，它包含了物理的(physical)、生態的(ecological)以及由構造物和使用所造成的衝擊。而它和其它名詞最大的不同點，在於它包含了常被忽略的遊客行為，其它名詞則是反映出特定的步道問題；步道惡化則包含了步道分生和植群衝擊評估；步道劣化則更侷限在步道表面受使用的影響，探討土壤密實、步道加寬、步道侵蝕以及土壤流失等最重要的步道問題；而步道沖蝕是最狹隘的名詞，特別指出是對步道侵蝕及土壤流失的評估。

Leung and Marion(1996)指出，目前已發表有關步道劣化方面的研究報告遠較植群衝擊方面的文獻為少。回顧遊憩生態學(recreation ecology)相關的研究文獻，可以發現自 1920 年代即有踐踏對步道沿線植群衝擊的研究報告發表(Cole 1987； Kuss *et al.*, 1990)，然而步道劣化的相關研究遲至 1970 年代才陸續被提出，惟近十餘年已有蓬勃發展的趨勢，類似的研究同時在世界各不同地區被發表，Leung and Marion (1996)將其歸納後大略分為以下四個不同的主題：

- (一) 探討有關步道劣化的型式與等級的描述性研究。
- (二) 探討有關使用與劣化的關係之分析研究。
- (三) 探討有關環境與劣化的關係之分析研究。
- (四) 探討步道之經營管理的成效之評估研究。

而這四個主題的排列順序也反映了每一個主題相關研究的數量，其中有關描述性的研究最多，而關於步道經營管理成效的評估研究則非常少。前述各類型的研究中最常被檢驗的變項有：步道寬度(包括總寬、踐踏寬、裸露寬度等)、步道侵蝕深度、步道土壤沖蝕或沉積量、及有否分生步道等。

在國外，藉由步道表面土壤沖蝕或沈積情形之定期而精確的調查測量，不僅是常被用來作為監測步道環境改變的可行方法，更為戶外遊憩區衝擊經營的主要工作項目之一(Leonard and Whitney, 1977; Cole, 1983; Wenger, 1984; Leung and Marion, 1999)。而國內步道衝擊研究的方向多數偏重在遊憩據點或步道沿線植群與土壤性質改變的調查，及其與環境因子的相關分析，或遊客對植群衝擊可接受改變限度之調查訪問等(如王相華, 1988; 劉儒淵與黃英塗, 1989; 陳昭明等, 1989; 林國銓等, 1991; 楊武承, 1991; 錢學陶與楊武承, 1992; 劉儒淵, 1992-1999, 2002a; 林秀娟, 1996; 彭育琦, 1997; 陳嘉男, 1998; 謝思怡, 2000; 劉儒淵等, 2001; 吳孟娟, 2002; 洪怡萍, 2003; 劉儒淵與曾家琳, 2003b)。近年來也有若干登山步道遊憩承載量評定之報告出爐(賴明洲與薛怡珍, 2000; 劉儒淵等, 2002; 吳孟娟與林晏洲, 2002; 林晏洲, 2002); 林壯沛等(1984)曾就四條不同坡度的林道進行路面沖蝕之調查，而特別針對步道沿線土壤沖蝕之研究極少，目前僅有筆者自 1992 至 2000 年在玉山國家公園塔塔加地區所完成的兩篇長期調查監測報告發表(劉儒淵, 1995, 2000b)，實有加強研究之必要。

三、研究地區環境概況

(一) 自然環境

合歡山區位於台灣中部南投縣與花蓮縣交界，中央山脈中段，北接畢祿山、鋸山；東鄰屏風山、奇萊北峰，為東部立霧溪及西部大甲溪與濁水溪之發源地。全區山勢起伏，除合歡主峰外，知名山峰尚有合歡東峰、西峰、北合歡山、合歡尖山、石門山及石門北峰等，其中以北合歡山(海拔 3,422 m)為最高。對外交通以台 14 甲中橫霧社支線為主要聯外道路，西接台 14 線可達霧社、埔里及台中；東接台 8 線中橫公路往西可至梨山，往東可達花蓮(賴國祥, 2000)。

本區地質大部份是由堅硬或是經過輕度變質的第三紀巨厚泥質沉積岩組成，此地質亞區的岩層曾被稱為中央山脈的硬頁岩和板岩帶或硬頁岩和板岩系。中央山脈地質區內大部分的沉積物是深灰或灰黑色劈理良好的硬頁岩、板岩以及千枚岩，也就是經過變堅或變質的泥質岩石。這些岩石中常含有許多小石英脈。土壤母質來源為千枚岩物質或千枚岩的風化物質，土類則大都為灰化土或板岩暗色崩積土。草生地土壤經暗化作用、鬆化作用、棕化作用及初期的灰化土作用等成土作用，發育成暗色表層及轉化 B 層。

本區氣候冷而多濕，冬寒有積雪，平均溫度 1 月約為 2°C，7 月約為 10°C。年雨量約 3,500 mm，年平均降水日數 145 天，主要集中於 5~6 月，12 月至 1 月最少。平均相對溼度約 80%，霜期則達 6 個月。

本區植被完整，主要為臺灣冷杉(*Abies kawakamii*)林、鐵杉(*Tsuga chinensis* var. *formosana*)林與臺灣二葉松(*Pinus taiwanensis*)林，此外紅毛杜鵑(*Rhododendron rubropilosum*)、玉山杜鵑(*R. pseudo-chrysanthum*)、香青(*Juniperus squamata* var. *morrisonicola*)及刺柏(*J. formosana*)灌叢則分布於大面積之玉山箭竹(*Yushania niitakayamensis*)草生地之中。步道沿線之地被植群則以玉山箭竹最佔優勢，且常與高山芒(*Miscanthus transmorrisonensis*)上下列位，在迎風面形成較乾燥之低矮草甸；而於低窪谷地，因土壤較厚、濕度較高，可形成高 2 公尺的高厚草甸(洪怡萍, 2003)。各植群鑲嵌分布且顏色調和，配合地形景觀及日出、雲海、夕照等，構成一幅賞心悅目的畫面。

(二) 調查步道之現況

合歡群峰是由一連串綿延的峰巒組成，各峰頂幾乎全被箭竹所覆蓋，其登山步道亦多在箭竹坡上蜿蜒。選定供為遊憩衝擊調查監測之步道包括石門山、北合歡山及合歡東峰步道等三條最主要之登山步道，茲分述各步道之使用現況如下：

1. 石門山步道：由中橫公路霧社支線 33.5K 處舊滑訓中心對面之登山口(海拔 3,120m)，沿平緩的山稜向北攀爬，水平距離約 700m，僅需 30 分鐘即可抵達峰頂(3,237m)。步道寬度 70-100 cm 之間，部分路段鋪有枕木或石板階梯，是合歡山區最容易登頂的的百岳，遊客使用密度極高，步道前段鋪面有明顯凹陷，土壤沖蝕情形嚴重；步道旁有多條分生步道，偶有路面加寬或面狀土壤裸露情形。
2. 北合歡山步道：北合歡山一般慣稱為「合歡北峰」，但它其實是座獨立的山峰，和合歡山系並不相連(吳立萍等，2002)。其登山口(海拔 2,850 m)位於霧社支線 37.1K 小風口附近，從登山口至反射板間有二條平行路線，西側路線沿稜線攀登，另一條則於東側山腰蜿蜒而上，兩者於反射板附近會合後，經過一段箭竹草坡而達峰頂。本研究選定由西側登山口攀爬的稜線步道為調查對象，其水平距離約 1,900 m，寬度約 70 cm，亦屬自然的泥土鋪面，無任何人工設施物。
3. 合歡東峰步道：本研究選定登山遊客最多的路線，即由合歡山莊對面霧社支線 33K 處之登山口(3,150 m)，至東峰峰頂(3,421 m)，水平距離約 900 m，海拔高度變化約 270 m，登頂花費時間約需 60-70 分鐘。步道寬度約 70-100 cm 不等，全線之鋪面無任何人工設施物，呈現完全自然的狀況。前段坡度甚陡且多分歧，也有分生步道，及路面加寬或面狀土壤裸露情形，更具有明顯的沖蝕溝，其深度甚至可達一個人的高度。中段以後坡度較緩，在低矮箭竹草坡上蜿蜒，步道衝擊情形較為緩和；步道後段視野極為開闊，可眺望遠山。

四、研究方法

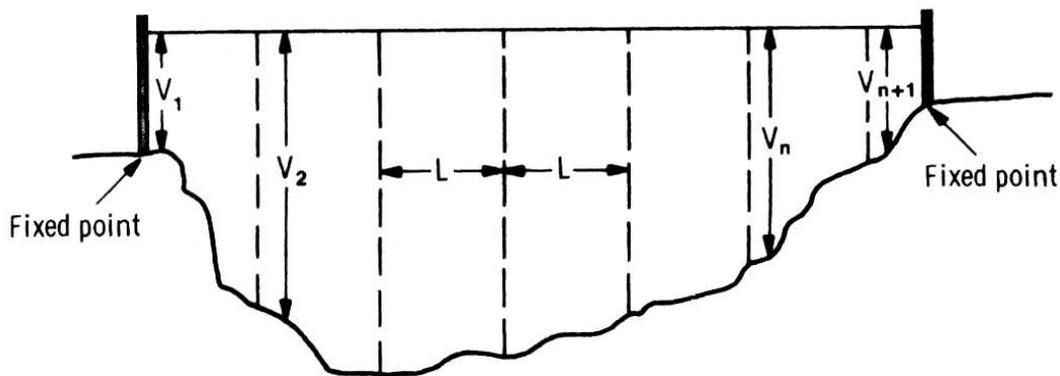
在國外戶外遊憩區的衝擊經營實務上，常被用來作為評估步道環境改善的監測技術可概略的區分為三種類型，包括步道分段小樣本的重複測量(replicable measurements)、大尺度取樣的快速調查(rapid survey samples)，以及完整的審視步道狀況之普查技術(census techniques)等。此外，只要沒有樹冠遮蔽，在某些情況下航空攝影(aerial photography)不失為有效而經濟的衝擊監測方式(Hammitt and Cole, 1998)。而前述各類型的步道衝擊調查監測方法各有其優缺點，經營者可視其經營目標、精密度的需求、人力與經費上之考量等不同，選擇適用的方法施行之(劉儒淵，2003a)。

(一) 土壤沖蝕量之測計

本研究採用由美國生態學者 Leonard R. E. 與 Whitney A. M. 兩人於 1977 年所提出，而被普遍應用之步道截面(trail transect)重複測量法，來進行步道表面土壤沖蝕或沉積情形之調查與監

測，其固定樣區內截面之設置，以及土壤沖蝕(沉積)量之測量統計方法如下：

1. 針對筆者於2002年11月在每一步道所設置的各個固定觀測樣區(每間隔約100 m 設置一處截面樣區，其中石門山步道設置7處、北合歡山步道12處、合歡東峰步道9處，總共28個樣區)，於樣區中心與步道垂直方向的截面上，在步道兩側適當位置，釘上直立的樁柱(地籍測量用之硬塑膠樁)作為固定點，固定點的設立需預留步道寬度擴張的範圍。
2. 測量時先在兩個固定點的樁柱上拉一條水平的直線，並刻劃標記，其高度應超過任何植被或微地形。
3. 按固定的間隔距離，利用劃有刻度之線鉈或鋼(捲)尺來量測水平直線與地表間之垂直距離。各垂線之間距約5~20 cm，視其步道寬度而定，每一截面所測量之垂直數目原則上應不少於15個。



圖一. 步道截面設計示意圖 (仿 Cole, 1983)

4. 以下列公式計算圖一之水平線以下之步道橫切面之面積。

$$A = \frac{V_1 + 2V_2 + \dots + 2V_n + V_{n+1}}{2} \times L$$

其中 A：橫斷面之面積；

$V_1 \sim V_{n+1}$ ：水平線與地表間各垂直線之距離；

L：垂直線之水平間距。

5. 定期重複測量兩次，除調查各截面之步道寬度及凹陷深度外，並比較前後兩次調查所得截面橫斷面積之變化，其差值即為該截面之土壤沖蝕量或沉積量，單位為 cm^3/cm ，而據以評估遊客踐踏對步道惡化之效應，調查工作別在2003年4月及10月間進行。

(二) 步道土壤沖蝕與植群衝擊效應之相關分析

運用 Pearson 相似性係數檢定法，以 SPSS for Windows 套裝軟體(張紹勳與林秀娟，1995) 統計各步道所有調查樣區(截面)各項步道惡化效應之調查介量(parameters)，以及植群與土壤衝擊效應之調查介量(劉儒淵、曾家琳，2003b)兩兩間之相關情形，除探討各項劣化效應與其環境因子之關係外，並提供選定步道衝擊監測指標因子之參考。

五、結果與討論

(一) 土壤沖蝕量之調查結果

由設置在合歡山區三條主要登出步道上的固定截面，在 2002~2003 一整年間兩次定期測量與記錄各步道截面之寬度、凹陷深度，及計算其橫斷面積之變化等資料，並據以推算各步道截面之平均沖蝕量及累計沖蝕量，其結果經彙整列如表二所示，由該表可以明顯看出各步道在遭受不同遊客使用密度之踐踏衝擊後所產生的土壤沖蝕效應與程度。圖二~四則為根據各步道第 5 樣區之截面歷次調查所得資料(參閱附錄一)所繪製之橫斷剖面圖，可以看出各該截面之寬度擴張與表土凹陷之變化情形。茲就各步道之調查統計結果略述如下：

1. 石門山步道

本步道因主線部分路段有石板、枕木與碎石級配鋪面之施設，故樣區截面設置在沒有鋪面之路段，其步道寬度在一年間增加了 3.1 cm，擴張率 3.56 %；步道截面之年平均凹陷深度 1.06 cm；截面之平均斷面積約增加 11.2%，全年的平均土壤沖蝕量 $96.5 \text{ cm}^3/\text{cm}$ ；每單位寬度(cm)之沖蝕量 $1.11 \text{ cm}^3/\text{cm}$ ，為三條步道中土壤沖蝕程度最輕微者。現地觀察發現，石門山步道登山口就在中橫公路旁，雖然利用此步道攀登石門山的遊客甚多，但因步道旁有多條分生步道，分散了行走在主線的遊客數量，相對的降低其土壤沖蝕效應，唯如將各條平行小徑之沖蝕量加以合併計算，其總沖蝕量將甚為可觀。

2. 北合歡山步道

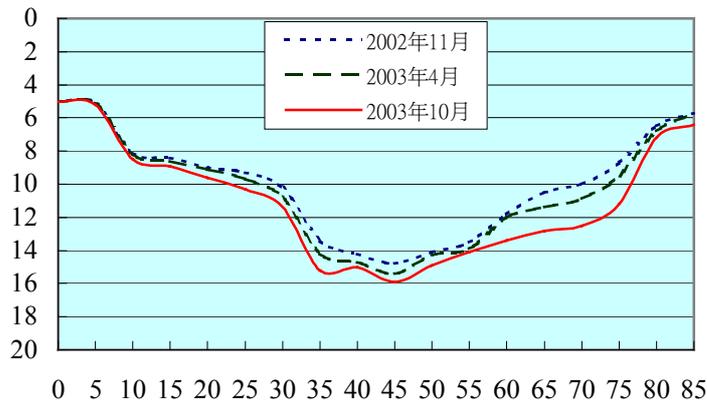
該步道登山口由於距合歡山莊或太魯閣國家公園合歡山遊客中心等主要遊憩據點稍遠，步道路程較長且坡度較陡，其登山遊客人數較少。由表 2 之調查統計資料可看出，本步道調查路段內 12 個樣區(截面)之平均步道寬度過去一年間僅增加 1.1 cm，年平均擴張率約 1.52 %，遠較石門山步道為低，而步道表面之平均凹陷深度為 1.26 cm；截面之平均斷面積約增加 16.0%，全年的平均土壤沖蝕量 $99.3 \text{ cm}^3/\text{cm}$ ，每單位寬度(cm)有 $1.35 \text{ cm}^3/\text{cm}$ 之沖蝕量，可見其土壤沖蝕程度略高於石門山步道。

表二. 合歡山區各步道之土壤沖蝕量統計表

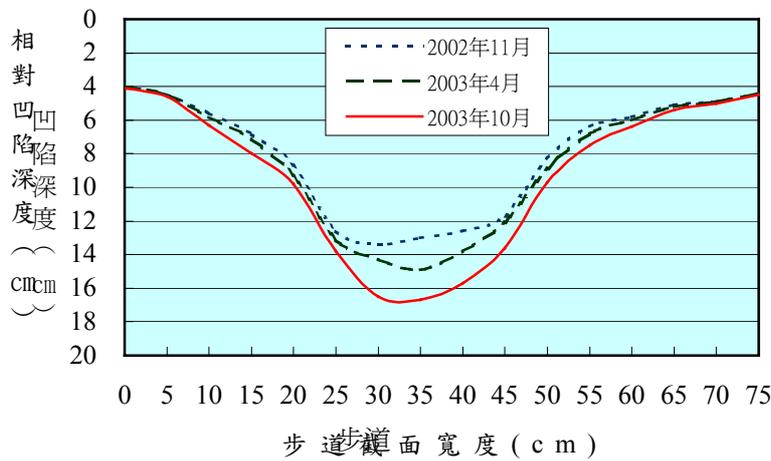
步道別	調查時間	平均寬度 (cm)	平均寬度擴張率(%)	平均凹陷深度(cm)	平均斷面積 (cm ²)	平均沖蝕量 (cm ³ /cm)	每單位寬度 (cm) 沖蝕量 (cm ³ /cm)
石門山步道	2002.11	84.8	—	—	865.2	—	—
	2003.04	85.4	0.71	0.38	898.4	33.2	0.39
	2003.10	87.9	2.93	0.68	961.7	63.3	0.72
	2002-2003	+3.1	3.66	1.06	+ 96.5 (11.2%)	96.5	1.11
北合歡山步道	2002.11	72.6	—	—	621.3	—	—
	2003.04	72.9	0.41	0.49	659.2	37.9	0.52
	2003.10	73.7	1.10	0.77	720.6	61.4	0.83
	2002-2003	+ 1.1	1.52	1.26	+ 99.3 (16.0%)	99.3	1.35
合歡東峰步道	2002.11	74.6	—	—	960.4	—	—
	2003.04	75.7	1.47	0.62	1012.6	52.2	0.69
	2003.10	79.5	5.01	1.52	1129.5	116.9	1.47
	2002-2003	+4.9	6.56	2.14	+ 169.1 (17.6%)	169.1	2.16

3. 合歡東峰步道

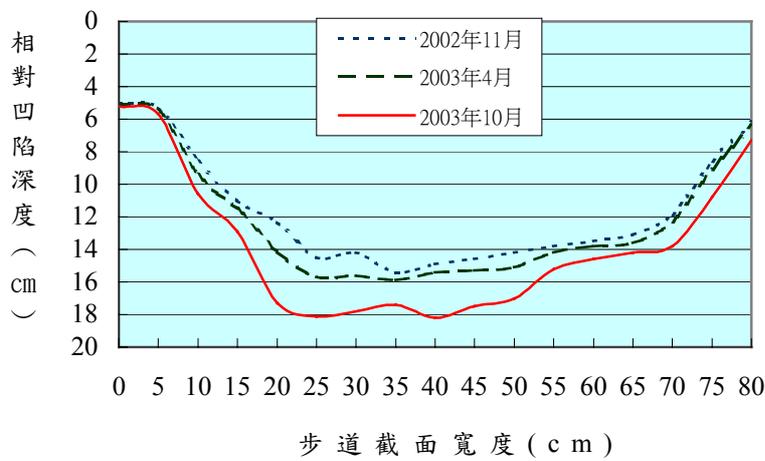
該步道的登山口就在合歡山莊與松雪樓等遊憩據點之停車場邊，步道登山口起約 200 m 之路段雖然坡度稍陡，但因其展望極佳，遊客使用的密度極高，沿線有多條分生步道及捷徑，而路面加寬或面狀土壤裸露情形嚴重，更具有明顯的沖蝕溝，9 個節面樣區設置在步道之主線上。由表二的調查資料及第 5 樣區之步道截面圖(圖四)可以看出，一年來合歡東峰步道的平均寬度由原來的 74.6 cm 增加至 79.5 cm，平均年擴張率達 6.56%；步道截面之年平均凹陷深度為 2.14 cm，幾乎達石門山步道的 2 倍；截面之平均斷面積增加了 17.6%，年平均土壤沖蝕量 169.1 cm³/cm，每單位寬度 (cm) 之沖蝕量更高達 2.16 cm³/cm，土壤沖蝕程度為合歡山區三條調查步道中最嚴重者。



圖二. 石門山步道第5樣區截面之剖面變化



圖三. 北合歡山步道第5樣區截面之剖面變化



圖四. 合歡東峰步道第5樣區截面之剖面變化

綜觀合歡山區三條步道一年來兩次調查監測結果顯示，各步道無論是平均土壤沖蝕量或每單位寬度(cm)之土壤沖蝕量等步道惡化程度均以合歡東峰步道最為嚴重，其次為北合歡山步道，石門山步道則較為輕微。而比較前後兩次之調查結果可以看出，第2次調查的各項步道惡化變項之衝擊效應約為第1次調查時的2倍，究其原因應與第2次調查之間隔期間為春至秋季，氣候較為暖和，利用各步道登山之遊客較多(冬季前往合歡山區賞雪的遊客雖然很多，但多數只在公路兩側或山莊附近的幾處據點活動，較少利用步道攀登峰頂)，而夏季較豐富的降雨也是造成步道土壤沖蝕程度加劇的可能原因之一。

根據國內外相關的研究結果顯示，影響步道之土壤沖蝕效應與程度差異的原因，除與步道寬度及遊客使用量之差異有密切關係外，各步道沿線環境因子之差異，包括植被、坡度(含步道坡度與兩側坡度的坡度)、坡長、土壤質地、降雨，以及森林火災與鋪面施工等干擾因素，均為可能的影響因子(Dotzenko et al., 1967; USDA, 1977; Leonard and Plumley, 1979; Burde and Renfro, 1986; Jubenville and O'sullivan, 1987; Kuss et al., 1990; Leung and Marion, 1996, 1999; Hammitte and Cole, 1998; 林壯沛等, 1984; 陳昭明等, 1989; 鍾弘遠 1992; 陳信雄, 1995; 林秀娟, 1996; 彭育琦, 1997; 劉儒淵 1995, 2000b; 劉儒淵等, 2004)。

筆者於1996至1999年在玉山國家公園塔塔加地區就三條主要登山步道土壤沖蝕之長期調查監測結果，也可明顯看出各步道土壤沖蝕程度有很大的差異，其中塔塔加步道平均每年 $216.5 \text{ cm}^3/\text{cm}$ 之沖蝕量，遠較玉山步道($95.7 \text{ cm}^3/\text{cm}$)及沙里仙步道($49.4 \text{ cm}^3/\text{cm}$)為高。唯就每單位寬度之土壤沖蝕量加以比較，則以沙里仙步道之截面平均每1cm寬度之土壤流失量 $0.81 \text{ cm}^3/\text{cm}$ 為最高，其次為玉山步道之 $0.65 \text{ cm}^3/\text{cm}$ ，塔塔加步道則僅為 $0.55 \text{ cm}^3/\text{cm}$ (劉儒淵, 2000b)。

參考國外相關的研究也可以發現類似的情況，即不同步道因環境因子及使用狀況的不同，其土壤沖蝕程度會有很大的差異，例如 Helgath(1975)調查美國 Montana 州 Selway-Bitterroot Wilderness 的步道系統，測得其步道樣區截面之年平均沖蝕量為 $109.7 \text{ cm}^2 (17 \text{ in}^2)$ 。而 Cole(1991)針對同一地區長達11年之衝擊監測結果發現，大部份步道截面之斷面積並無明顯的變化，但在某些鄰近營地的路段，其截面之斷面積卻增加了 $1,858 \text{ cm}^2 (2 \text{ ft}^2)$ ，年平均沖蝕量達 168.9 cm^2 。另 Ketchledge and Leonard(1970)測得 Adirondach Mountains 之步道平均每年侵蝕凹陷的深度約 $2.54 \text{ cm} (1 \text{ in})$ ，而 Marion(1994)之調查發現在大煙山國家公園內的步道約有4.5%的路段，其凹陷深度達 $30 \text{ cm} (1 \text{ ft})$ 以上。

(二) 土壤沖蝕與其他步道衝擊效應之相關性分析

1. 步道惡化效應

由於本研究所調查的三條步道在環境條件及遊客使用量方面均有所的差異，唯目前各步道之惡化現象(包括寬度擴張，表面凹陷及土壤沖蝕量等)應係前述各影響因子綜合作用之結果，不易由單一因子來推測或評估各步道惡化程度之差異。表三為應用 Pearson 相似性係數檢定法，以 SPSS for Windows 套裝軟體之程式分別統計運算各步道樣區截面惡化效應之各項調查介量兩兩間之相關情形所得結果。由該表可明顯看出，步道之年平均沖蝕量與單位寬度(cm)之沖蝕量間具有顯著相關，達0.01%的顯著水準；又步道截面之凹陷深度分別與土壤之年平均沖蝕量及單位寬度之沖蝕量均極具相關，且達0.01%的顯著水準。至於步道截面之寬度則僅與寬度擴張率及年平均沖蝕量具有相關，達0.05%的顯著水準；而步道年平均寬度擴張率則與各該步道之土壤沖蝕量具顯著相關，且達0.01%的顯著水準，另分別與凹陷深度及單位寬度之沖蝕量具有相關，達0.05%的顯著水準。換言之，藉由步道寬度擴張率或表面凹陷深度的量測，可據以推估步道土壤沖蝕的程度，適合作為評估步道惡化的指標因子。

表三. 合歡山區各步道截面之惡化效應相關矩陣 (n=28)

變數	平均寬度 (cm)	年平均寬度 擴張率(%)	年平均凹陷 深度(cm)	年平均沖蝕 量(cm ³ /cm)	單位寬度沖蝕 量(cm ³ /cm)
步道平均寬度(cm)	1.0				
年平均寬度擴張率(%)	0.685*	1.0			
平均凹陷深度(cm)	0.465	0.673*	1.0		
年平均沖蝕量(cm ³ /cm)	0.693*	0.894**	0.797**	1.0	
單位寬度沖蝕量(cm ³ /cm)	0.247	0.659*	0.883**	0.879**	1.0

註：1.顯著水準 * 表 $p < 0.05$ ，**表 $p < 0.01$ ，p 為機率值 (Pro-value)

2.分析方法：Pearson 相關分析

2. 植群衝擊效應

遊客踐踏對步道的衝擊效應最容易反應在步道兩側植群與土壤情況的改變上，並造成遊客的視覺衝擊，影響其遊憩體驗(Cole, 1987; 劉儒淵, 1996)，而衝擊影響範圍通常在步道兩側 2 m 之內(Cole, 1979; 陳昭明等, 1989)。表四為筆者等在同一時期另外採用由植群覆蓋減少率(cover reduction, CR)、植項變異度(floristic dissimilarity, FD)及指標植物—玉山箭竹(*Yushania niitakayamensis*)之高度降低率(height reduction, HR)等三種介量以及三者所合成的「植群衝擊指數」(Index of Vegetation Impact, IVI)來探討合歡山區同樣的三條登山步道兩側 2 m 內之植群衝擊效應，與應用土壤硬度增加率(soil hardness increase, SHI)評估土壤性質變化所得結果(劉儒淵、曾家琳, 2003b)。對照表二及表四可以看出，本研究利用土壤沖蝕效應為指標之步道衝擊調查結果，與應用 CR、FD 及 SHI 等三種評估衝擊效應之介量所得的衝擊程度與變化趨勢之結果頗為一致，即合歡東峰步道之衝擊程度最為嚴重，其次為北合歡山步道，石門山步道則較屬輕微。

表四. 合歡山區各主要步道兩側之植群與土壤衝擊效應統計表

步道別	植群衝擊效應				土壤衝擊效應
	CR (%)	FD (%)	HR (%)	IVI (%)	SHI (%)
石門山步道	39.6	42.5	29.2	37.2	27.5
北合歡山步道	39.5	63.7	33.6	45.6	37.1
合歡東峰步道	46.0	68.6	14.8	43.1	52.0

資料來源：劉儒淵、曾家琳(2003b)

進一步以 Pearson 相關檢定法分析合歡山區各步道之步道惡化效應因子與植群、土壤硬度變化等衝擊效應調查介量間之相關性，其結果如表五所示。由該表可明顯看出，植群覆蓋減少率(CR)、植項變異度(FD)及土壤硬度增加率(SHI)三項調查介量均與各項步道惡化效應因子間具有顯著相關，且達 0.01%的顯著水準；地被植物高度降低率(HR)除了與步道寬度的年平均擴張率具顯著相關(達 0.01%的顯著水準)，而與截面的平均寬度略具相關外(達 0.05%的顯著水準)，與其他步道惡化效應因子間均不具相關。至於植群衝擊指數(IVI)因係由 CR、FD 及 HR 等三項介量所合成，致其與步道惡化效應因子間僅步道寬度的年平均擴張率一項具顯著相關，與其他步道惡化效應因子間則具略具相關。

此等相關分析結果可由以下的推論加以解釋，即遊客使用量越大，步道的寬度及其擴張率將隨之增加，步道兩側的植群及土壤衝擊程度愈為嚴重，致步道截面相對的凹陷深度及土壤流失量亦相對的增加。唯因影響步道衝擊效應的因子也受步道截面的環境狀況，如坡度、坡長、土壤質地及降雨等所影響(Leung and Marion, 1996；Hammit and Cole, 1998；林壯沛等，1984；陳信雄，1995；劉儒淵，2000b；劉儒淵等，2004)，其相互關係甚為複雜，何者的影響力較大有待作深入的探討，不宜遽下定論。

表五. 合歡山區登山步道之惡化與植群及土壤衝擊效應之相關性分析結果 (n=28)

衝擊調查介量	步道惡化效應				
	平均寬度	年平均寬度擴張率	年平均凹陷深度	年平均沖蝕量	單位寬度 (cm)沖蝕量
覆蓋度減少率(CR)	0.942**	0.904**	0.797**	0.786**	0.725**
植相變異度(FD)	0.905**	0.824**	0.738**	0.711**	0.872**
高度降低率(HR)	0.618*	0.708**	0.392	0.487	0.294
植群衝擊指數(IVI)	0.664*	0.713**	0.604*	0.635*	0.608*
土壤硬度增加率(SHI)	0.857**	0.855**	0.725**	0.907**	0.912**

註：1.顯著水準 * 表 $p < 0.05$ ，**表 $p < 0.01$ ， p 為機率值(Pro-value)。

2.分析方法：Pearson 相關分析

綜合前述筆者在合歡山區所採用各項調查介量來評估步道衝擊效應與程度之結果顯示，CR、FD、SHI 及各項步道惡化因子均可充分反映步道沿線植群與土壤性質變化，以及土壤沖蝕情形。唯就生態旅遊地遊憩環境監測與管理實務而言，因為遊客比較容易察覺的是步道沿線地被植物的消失與土壤裸露所造成的視覺衝擊，以及因步道表面泥濘或產生沖蝕溝致崎嶇難行所造成的不便，但是對植物種類的改變通常不會介意，甚至根本沒有察覺，況且調查步道寬度及凹陷深度之變化，以及兩側 CR 及 SHI 改變的操作技術甚為簡易，絕大部分的現場工作人員都能勝任(劉儒淵等，2001)。因此筆者認為 CR、SHI 以及本研究所採用之步道截面土壤沖蝕量變化等介量，均適合作為評估步道衝擊效應與程度之客觀而實用之監測指標，或供為訂定可接受的改變限度(limit of acceptable change, LAC)之指標。不過應特別注意的是，本研究所調查的三

條步道均是最熱門攀登屬於台灣百岳的合歡群峰之登山路線，部分路段穿越「生態保護區」或「特別景觀區」，依國家公園土地分區使用管制之相關規定，經營管理單位基於自然保育的考量，也應對步道沿線植相變異度(FD)的增減予以高度關切，隨時掌控其變化並採行有效的衝擊防治與保育措施(劉儒淵，2000a；劉儒淵、曾家琳，2003b)。

六、結論與建議

(一) 結論

本研究以步道土壤沖蝕量為指標，採用步道截面重複測量方法，設置固定觀測樣區(截面)，自2002年11月起至2003年10月止，連續針對太魯閣國家公園合歡山區的三條登山步道遭受遊客踐踏衝擊所產生的土壤沖蝕效應與程度，分別進行兩次之調查監測，同時探討其與遊客數量、步道沿線環境及植群、土壤衝擊調查介量間之關係，研究結果獲致以下若干結論：

1. 各步道之土壤沖蝕程度因遊客使用密度與其他環境條件的不同而呈現明顯的差異，合歡東峰步道由於承受的遊客踐踏壓力最大，其步道截面三年來之年平均土壤沖蝕量達 $169.1 \text{ cm}^3/\text{cm}$ ，步道寬度擴張率6.56%，為三條步道中沖蝕程度最嚴重者；北合歡山步道之年平均沖蝕量 $99.3 \text{ cm}^3/\text{cm}$ ，步道寬度擴張率1.52%；另石門山步道調查路段之登山遊客人數最少，其步道截面之年平均沖蝕量 $96.5 \text{ cm}^3/\text{cm}$ ，步道寬度擴張率3.66%。唯換算為截面單位寬度(cm)之沖蝕量仍以合歡東峰步道的 $2.16 \text{ cm}^3/\text{cm}$ 為最大，其次為北合歡山步道($1.35 \text{ cm}^3/\text{cm}$)，而石門山步道則僅有 $1.11 \text{ cm}^3/\text{cm}$ 。
2. 藉由步道寬度擴張率或表面凹陷深度的量測，均可據以推估步道土壤沖蝕的程度；而以步道截面斷面積的變化情形，供為評估土壤沖蝕程度的指標，與採用植群覆蓋減少率(CR)及土壤硬度增加率(SHI)兩項調查介量所得結果頗為一致，均不失為戶外遊憩區步道衝擊監測作業中，評估遊憩衝擊程度之簡易而實用的技術。

(二) 建議事項

以下根據本研究針對合歡山區步道劣化之調查監測結果，提供若干建議事項，供為管理單位在從事步道衝擊經營實務，或專家學者在從事遊憩生態學的相關研究工作時之參考：

1. 設置固定觀測樣區，定期進行步道衝擊調查

合歡山區為太魯閣國家公園範圍內遊客最常造訪的地區之一，各登山步道沿線均因遊憩使用而產生程度不一的踐踏衝擊效應，尤其以合歡東峰步道前段因為未施設人工鋪面，步道加寬及土壤沖蝕等劣化現象最為顯著，不但不利遊客行走(尤其是溶雪或雨後泥濘、積水時)，更造成遊客視覺與景觀上的衝擊，影響其遊憩體驗。合歡北峰及石門山步道之土壤劣化程度雖相對的較合歡東峰步道為輕，但因這三條步道都穿越「生態保護區」或「特別景觀區」的範圍，其遊憩衝擊的可接受改變限度(LAC)應是比較嚴苛的，經營管理單位不宜予以忽視。筆者建議應

在各登山步道選定若干適當地點，設置步道衝擊監測的固定樣區，進行定期且長期的調查分析，並列為該地區整體環境變遷監測系統的重要工作項目之一。步道固定樣區定期調查的項目應包括各步道的遊客數量、性質、活動類型及旅遊動向等基本資料，以及可充分反應步道衝擊效應，且操作簡易而實用的衝擊指標因子，如以樣區的植群覆蓋度減少率(CR)、土壤硬度增加率(SHI)來評估步道沿線植群與土壤衝擊程度；記錄步道截面的寬度及凹陷程度來推估土壤沖蝕量等，經營管理單位可視實際需要自行決定擬採用的調查監測介量。藉由定期的調查監測結果可掌控步道環境的變遷，評估各步道之衝擊程度是否超過其可接受的改變限度，俾施行適當的衝擊防治策略。

2. 步道衝擊防治措施的檢討與改善

合歡山區各條登山步道因可及性甚高，登山遊客人數眾多，步道沿線之植群與土壤衝擊效應頗為嚴重，尤以合歡東峰之前段為然，其裸露的步道踏面仍持續加寬，每年平均高達 $169 \text{ cm}^3/\text{cm}$ 的土壤沖蝕量也較國內外各戶外遊憩區每年約 $100 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ 之步道土壤沖蝕量(Hammit and Cole, 1998；劉儒淵, 2000b)高出許多。因此考量遊客需要、視覺景觀與資源的保育，重新就合歡山莊前方的玉山箭竹草坡上攀登合歡東峰之賞景、健行步道系統加以規劃與改善有其必要性。另石門山步道上現有石板或枕木步道之寬度不足，造成兩側多條平行小徑與捷徑之情形均有待改善。至於步道鋪面之設計、施工技術等，則可參考國內外的相關文獻，如美國國家公園或原野遊憩地區的步道經營管理手冊(Wenger, 1984；Hooper, 1993)；或國內針對風景區或國家公園的步道規劃、設計與施工準則(如黃世孟 1986；曹正、朱念慈, 1989；曹正、李瑞瓊, 1989；內政部營建署, 1993；呂國彥、楊宏志, 1995；雷師凱, 1995；彭育琦, 1997；行政院農業委員會林務局, 2003；劉儒淵等, 2004)。

3. 其他

此外也應配合採行各項可減輕步道植群衝擊及土壤沖蝕的措施，如加強森林防火教育宣導及步道沿線之防火措施，以減少發生森林火災的潛在危險；或藉由解說員的引導，可避免遊客同時集中在某些路段，減少其離開步道而造成踏面加寬或其他踐踏衝擊效應的可能，必要時也可在各步道實施定時或定點的遊客數量管制。

七、誌謝

本研究承行政院農業委員會補助經費(計畫編號 92 農科-2.3.2-林-F1)；野外調查期間得到農委會特有生物研究保育中心高海拔試驗站主任賴國祥博士、曾耀德先生，以及太魯閣國家公園合歡山管理站前主任李秋芳小姐等人的協助，調查研究工作方得順利進行，筆者謹致謝忱。

八、引用文獻

- 王相華，1988。遊樂活動對天然植群之影響及其經營計劃體系，台大森林研究所碩士論文，共89頁。
- 內政部營建署(譯)，1993，國家公園步道經營管理手冊，美國內政部國家公園署丹佛服務中心出版。
- 行政院農業委員會林務局，2003，國家步道系統設計規範。
- 呂國彥、楊宏志，1995。步道規劃準則，台灣林業，21(7)：2-8。
- 吳立萍、張瑩瑩、劉政儒，2002。合歡山步道，太魯閣國家公園管理處與貓頭鷹出版社共同出版，共165頁。
- 吳孟娟，2002。步道衝擊預測模式與其遊憩容許量評定之研究，台大園藝研究所碩士論文。
- 吳孟娟、林宴州，2002。健行步道遊憩容許量之研究，國家公園學報，12(2)：125-140。
- 林晏州，2002。玉山國家公園高山步道遊憩承載量調查，內政部營建署玉山國家公園委託研究報告，共163頁。
- 林秀娟，1996。遊憩活動對溪頭大學池土壤及植群之衝擊與其管理策略之研究，東海大學景觀研究所碩士論文，共141頁。
- 林壯沛、盧惠生、漆陞忠、黃正良，1984。林道路面之沖蝕調查，台灣省林業試驗所試驗研究報告第429號，共12頁。
- 林國銓、邱文良、施炳霖，1991。恆春熱帶植物園步道兩側植群及土壤的受害調查，林業試驗所研究報告季刊，6(4)：357-365。
- 洪怡萍，2003。合歡山地區步道衝擊及其影響因子之研究，東海大學景觀學研究所碩士論文，共87頁。
- 陳信雄，1995。沖蝕，國立台灣大學森林學系防砂工程學研究室出版。
- 陳昭明、蘇鴻傑、胡弘道，1989。風景區遊客容納量之調查與研究，台大森林研究所印行，共208頁。
- 陳嘉男，1998。奧萬大森林遊樂區之遊憩資源衝擊及其經營管理策略，東海大學景觀學研究所碩士論文。
- 曹正、朱念慈，1989。國家公園設施規劃設計準則及案例彙編，內政部營建署委託東海大學環境暨景觀研究中心研究報告。
- 曹正、李瑞瓊，1989。觀光地區遊憩活動設施規劃設計準則研究報告，交通部觀光局委託東海大學環境暨景觀研究中心研究報告，共133頁。
- 彭育琦，1997。塔塔加地區步道衝擊及其影響因子之研究，東海大學景觀學研究所碩士論文，共131頁。
- 黃世孟，1986。風景區公共設施設計準則及參考圖集，交通部觀光局委託台灣大學土木工程研究所研究報告。
- 雷師凱，1995。登山步道的設計與施工。林務局「登山步道設計與施工」講習班講義，共23頁。
- 張紹勳、林秀娟，1995。SPSS for Windows統計分析，松崗電腦圖書公司。
- 楊武承，1991。保護區遊憩衝擊與實質生態承載量之研究—以台北市四獸山植群為例，國立中興大學都計研究所碩士論文。

- 劉儒淵，1992。遊客踐踏對塔塔加地區植群衝擊之研究，台大實驗林研究報告，6(4)：1-40。
- 劉儒淵，1993。踐踏對玉山步道沿線高山植群衝擊之研究，台大實驗林研究報告，7(3)：53-72。
- 劉儒淵，1995。塔塔加地區步道土壤沖蝕及其監測之研究，台大實驗林研究報告，9(3)：1-19。
- 劉儒淵，1996。戶外遊憩對天然植群之衝擊，中華林學季刊，29(2)：35-58。
- 劉儒淵，1999。遊憩發展對塔塔加高山生態系干擾之監測研究(三)，國科會88年度專題研究計畫成果報告，共7頁。
- 劉儒淵，2000a。高山地區遊憩資源衝擊研究，太魯閣國家公園管理處主辦「高山生物多樣性研討會」(2000年5月20-21日)論文集，89-104頁。
- 劉儒淵，2000b。塔塔加地區步道土壤沖蝕及其監測之研究(二)，台大實驗林研究報告，14(4)：201-219。
- 劉儒淵，2002。戶外遊憩區步道衝擊之調查監測(技術手冊)，台大實驗林。共30頁。
- 劉儒淵，2003a。登山步道衝擊與環境監測，2003國家公園登山研討會(2003年8月23-24日)論文集，294-304頁，太魯閣國家公園管理處出版。
- 劉儒淵，2003b。生態旅遊地步道衝擊之調查監測，行政院環保署主辦「生態旅遊地環境監測機制」研習會(2003年11月25-26日)研習手冊，37-56頁，中央研究院動物研究所出版。
- 劉儒淵、曾家琳，2003a。登山步道遊憩衝擊之調查監測，農委會林務局主辦「生態系經營—永久樣區理論與實務探討」研討會(2003年2月25-26日)論文集，97-112頁。
- 劉儒淵、曾家琳，2003b。合歡山區步道衝擊之研究，台大實驗林研究報告，17(3)：141-151。
- 劉儒淵、黃英塗，1989。遊樂活動對溪頭森林遊樂區環境衝擊之研究，台大實驗林研究報告，3(2)：33-51。
- 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，朝陽科技大學設計學院主辦「2004綠設計與規劃研討會」(2004年3月21-22日)論文集，A5：1-24。
- 劉儒淵、陳嘉男、賴明洲，2001。奧萬大森林遊樂區步道衝擊之研究，台大實驗林研究報告，15(4)：249-271。
- 劉儒淵、薛怡珍、賴明洲，2002。高山步道遊憩承載量之探討—以雪霸國家公園雪山主峰為例，雪霸國家公園登山研討會(2002年6月29日)論文集，7-18頁。
- 錢學陶、楊武承，1992。保護區遊憩衝擊與實質生態承載量之研究--以台北市四獸山植群為例，戶外遊憩研究，5(1)：19-55。
- 賴明洲、薛怡珍，2000。雪山主峰線山步道承載量之計量研究，內政部營建署雪霸國家公園管理處，共90頁。
- 賴國祥，2000。合歡山的綠色精靈：植物解說圖鑑，行政院農業委員會特有生物研究保育中心出版，共256頁。
- 謝思怡，2000。社頂、龍潭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。

- 鍾弘遠, 1992。坡地開發、水土保持植生工程設計要覽, 地景企業股份有限公司。
- Burde, J. H. and J. R. Renfro. 1986. Use impacts on the Appalachian Trail. In: Proceedings--National Wilderness Research Conference:Current Research. pp.138-143. USDA Forest Service. General Tech. INT-212. Ogden, Utah.
- Cole, D. N. 1983. Assessing and monitoring the backcountry trail conditions. USDA Forest Research Paper INT-450, 5p.
- Cole, D. N. 1987. Research on soil and vegetation in wilderness: a state-of-knowledge review. In: Proceedings--National wilderness research conference: issues, state-of-know-ledge, future directions. 1985, July 23-26, Fort Collins, Co. Gen. Tech. Rep. INT-200 Ogden UT: USDA Forest Service, Intermountain Research Station, 1987: 135-177.
- Dotzenko, A. D., N. T. Papamichos, and D. S. Romine. 1967. Effect of recreational use on soil and moisture conditions in Rocky Mountain National Park. Journal of soil and Water Conservation 22(5):196-197.
- Hammitt, W. E. and D. N. Cole. 1998. Wildland recreation: Ecology and management. (2nd ed.) John Wiley and Sons, Inc. N.Y.
- Helgath, S. F. 1975. Trail deterioration in the Selway-Bitterroot Wilderness. USDA Forest Service Research Note INT-193. 15p.
- Hooper, L. 1993. NPS trails management handbook. National Park Service, USDI.
- Jubenville A. and K. O'sullivan. 1987. Relationship of vegetation type and slope gradient to trail erosion in interior Alaska. Journal of Soil and Water Conservation 42(6):450-452.
- Kuss, F. R., A. R. Graefe, and J. J. Vaske. 1990. Visitor impact management--A review of research. National Parks and Conservation Association, Washington, D.C.
- Leonard, R. E. and A. M. Whitney. 1977. Trail transect:A method for documenting trail change. USDA Forest Research Paper NE-389.8pp.
- Leonard, R. E. and H. J. Plumley. 1979. The use of soils information for dispersed recreation planning. In: Proceedings--Recreational impact on wildlands. pp.50-63. USDA Forest Service. Pacific Northwest Region. Report No. R-6-001-1979. Seattle, Washington.
- Leung, Y. E. and J. L Marion. 1996. Trail degradation as influenced by environmental factors: state-of-the-knowledge review. Journal of Soil and Water Conservation 51(2):130-136.
- Leung, Y. E. and J. L Marion. 1999. The influence of trampling interval on the accuracy of trail impact assessment. Landscape and Urban Planning 43:167-179.
- Marion, J. L. 1994. An assessment of trail conditions in Great Smoky Mountains National Park. Final report. USDI National Park Service, Great Smoky Mountains National Park, Gatlinburg, TN. 155p
- U.S.D.A. 1977. Procedure for computing sheet and gully erosion on project area. USDA Soil Conservation Service. Technical Release No.51. (Revision 2)
- Wenger, K. F. (ed.) 1984. Outdoor recreation management. In: Forest Handbook (2nd.edition) John Wiley and Sons, Inc. N.Y.

附錄一. 合歡山區各調查步道第5樣區截面之土壤量統計表

1. 石門山步道

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2002.11.	5.0	5.1	8.1	8.4	9.0	9.3	10.2	13.4	14.2	14.8	14.1	13.5	11.8
2003.04.	5.0	5.1	8.2	8.6	9.1	9.7	10.8	14.2	14.7	15.4	14.3	13.9	12.0
2003.10.	5.0	5.2	8.5	8.9	9.6	10.3	11.4	15.2	15.0	15.9	14.9	14.1	13.4
	65	70	75	80	85	斷面積(cm ²)		沖蝕量(cm ³ /cm)		平均凹陷深度(cm)		單位寬度(cm)沖蝕量(cm ³ /cm)	
2002.11.	10.5	10.0	8.7	6.5	5.7	846.7		—		—		—	
2003.04.	11.4	10.9	9.5	6.8	5.8	900.0		35.3		0.39		0.41	
2003.10.	12.8	12.5	11.2	7.2	6.4	959.0		59.0		0.67		0.69	
合計 (2002.11.~2003.10.)						+ 94.3		94.3		1.06		1.10	

2. 北合歡山步道

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2002.11.	4.0	4.5	5.6	6.8	8.7	12.6	13.4	13.0	12.6	11.7	8.3	6.4	5.8
2003.04.	4.0	4.5	5.8	7.1	9.3	13.1	14.3	14.9	13.8	12.1	8.9	6.8	6.0
2003.10.	4.1	4.6	6.3	8.0	9.8	13.8	16.5	16.7	15.7	13.6	9.7	7.5	6.4
	65	70	75			斷面積(cm ²)		沖蝕量(cm ³ /cm)		平均凹陷深度(cm)		單位寬度(cm)沖蝕量(cm ³ /cm)	
2002.11.	5.1	4.9	4.4			618.0		—		—		—	
2003.04.	5.2	4.9	4.4			654.3		36.3		0.46		0.48	
2003.10.	5.4	5.0	4.5			716.5		65.2		0.78		0.83	
合計 (2002.11.~2003.10.)						+ 98.5		98.5		1.24		1.31	

3. 合歡東峰步道

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2002.11.	5.0	5.3	8.6	11.0	12.3	14.5	14.2	15.4	14.9	14.6	14.2	13.8	13.5
2003.04.	5.1	5.4	9.4	11.5	14.1	15.7	15.6	15.9	15.4	15.3	15.1	14.2	13.8
2003.10.	5.2	5.7	10.6	12.9	17.3	18.1	17.8	17.4	18.2	17.5	17.0	15.2	14.6
	65	70	75	80		斷面積(cm ²)		沖蝕量(cm ³ /cm)		平均凹陷深度(cm)		單位寬度(cm)沖蝕量(cm ³ /cm)	
2002.11.	13.1	11.9	8.6	6.2		957.5		—		—		—	
2003.04.	13.6	12.3	9.1	6.4		1010.8		53.3		0.64		0.67	
2003.10.	14.2	13.8	10.8	7.3		1136.8		126.0		1.51		1.58	
合計 (2002.11.~2003.10.)						+ 179.3		179.3		2.15		2.23	

Studies on the Trail Erosion of Hohuanshan Area, Taroko National Park, central Taiwan

Ju-Yuan Liu^{1,2}

(Manuscript received 25 February 2004 ; accepted 21 April 2004)

ABSTRACT: This study was conducted at Hohuanshan area, a famous alpine snow-seeing site located in central Taiwan, aiming to explore the pattern and extent of trail degradation caused by visitors' trampling impacts. Monitoring was carried out from November 2002 to October 2003. With the method of reduplicate measurement on trail transect, three trails were sampled according to the density of trampers, and the amount of soil erosion was adopted as the indicator for impacts. The relationships between erosional impacts and trampers' density and the environmental factors along the trails were examined. Some rudimentary conclusions are as follows:

1. The extent of trail erosion varied with the amount and density of trampers. The soil erosion of Mt. East Hohuan Trail transect per year is as high as 161.9 cm³/cm. This figure represents the most serious extent of erosion among the three trails. The expanding rate of trail width is 6.56 %. The soil erosion of Mt. West Hohuan Trail transect is 99.3 cm³/cm per year and the expanding rate of trail width is only 1.52%. While on Mt. Stonegate Trail, the former figure is merely 96.5 cm³/cm and the latter is 3.66%.
2. In addition to the use-level of the trails, slope and soil texture of treads are the other significant factors that affects the degree of erosion.
3. Using the changes of transect area as an indicator estimating the degree of trail erosion considerably accords with the use of Index of cover reduction(CR) and soil hardness increase(SHI). Those parameters should be the easy and practical indicator for monitoring the extent of trampling impacts in the trail management of outdoor recreation areas.

Some suggestions were offered to the authorities concerned to minimize the impacts of trail erosion in their management.

KEYWORDS : trampling impact, trail deterioration, soil erosion, trail transect, Hohuanshan Area

1. Department of Ecology and Nature Conservation, Taiwan Development Institute.

2. Corresponding author.