

登山步道衝擊與環境監測

劉 儒 淵

台灣發展研究院生態暨資源保育研究所研究員

【摘要】

戶外遊憩區步道狀況的長期調查與監測，可以反應出步道規劃設計的良窳、人為干擾的程度，使經營者能瞭解該步道的使用遊客人數是否超過其容納量，且能掌握何處、何時需要施行哪些經營措施，或據以評估經營策略之有效與否，為戶外遊憩區(尤其地處高山地區者)經營管理上重要的課題。本文探討步道衝擊之調查方法與監測技術，並以太魯閣國家公園合歡山區登山步道衝擊效應之調查監測為例，供為步道衝擊相關研究與經營管理實務上之參考。

【關鍵字】：步道、遊憩衝擊、植群衝擊指數(IVI)、衝擊監測

壹、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，為戶外遊憩區各項景觀施業中極為重要的一環，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風景區等為然。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，侷限在事先規劃的範圍內，不致擴及他處(劉儒淵與曾家琳 2003)。

步道因遊憩使用(主要是遊客踐踏或其他因素)，常造成各種不同型態與程度的衝擊而導致步道劣化(trail degradation)的現象，包括遊客的破壞行為(depreciative behavior)、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 & Marion 1996；彭育琦 1997)。

步道沿線環境衝擊之調查與監測結果，可以反應出步道規劃設計的良窳、人為因子干擾(遊客踐踏衝擊)的程度，使經營者能瞭解該步道的使用遊客人數是否超過其容納量(承載量)，且能掌握何處、何時需要施行哪些經營措施(如改變及強化路面質地、變更步道穿越路線等)，或據以評估經營策略之有效與否，為戶外遊憩區經營管理上重要的課題(Hammit & Cole 1998)。可見規劃完善的步道系統不僅是戶外遊憩區應提供的最主要遊憩服務設施之一，經營者更可藉由步道沿線生態環境改變之調查與監測，了解步道狀況，俾作各項維護與衝擊防治工作，而達成遊憩資源保育經營的目標。尤其高山地區之環境條件通常較中、低海拔地區為惡劣，各項自然資源也較脆弱，對人為干擾較具敏感性，其抵抗力(resistance)及受干擾後之回復能力(resilience)均較差，其步道沿線之遊憩衝擊效應通常較中、低海拔

地區為嚴重，或資源受害程度有隨海拔升高而加劇的趨勢，因此高山地區登山步道之衝擊問題更為遊憩生態學者與經營者所重視(劉儒淵 2000a)。

貳、步道衝擊之相關用詞

有關步道因遊憩使用或其它原因所造成衝擊的用語，目前並沒有明確的定義，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)、步道劣化以及步道惡化(trail deterioration)等。Leung & Marion(1996)曾依照各名詞所包含的步道問題加以彙整分類如表 1 所示。

步道衝擊是使用最廣的名詞，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(trail incision)及土壤流失的評估。

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 & Marion, 1996)

參、步道衝擊之空間型態

遊憩使用因具有高度集中的特性，因此各遊憩據點(如露營區、野餐區、營火場、或景觀眺望點等)與連接其間之步道就成為戶外遊憩區內遊憩衝擊最嚴重的地方，Manning (1979)將其稱之為衝擊的「節與鍊」(node and linkage)。步道的衝擊型態與露營區者類似，是由高度衝擊的步道邊緣，經改變較小的步道兩側，以至未經干擾的邊鄰地區，呈現一致的漸變現象。

大部份的泥土步道表面地被植群消失，土壤裸露而緊壓，由於常遭遊客踐踏的影響，步

道面上偶會積水而加速土壤沖蝕，使得樹根與岩石裸露，甚至因路面加深而淪為排水溝，步道因而難以使用，遊客或登山健行者只好另闢良蹊，造成路面加寬及擴大衝擊面積。正如營地上的衝擊區 (impact zone) 一樣，步道通常是刻意開闢為高度衝擊區的，經營的目標在使步道發揮其功能，儘可能讓遊客留在步道鋪面上，不致加寬衝擊面積。如有規劃周詳之步道系統，則可產生引導作用，衝擊僅發生於步道邊緣，在遊客數量未達某一限度時，步道能保持原設計寬度，而其外側之天然植群即可維持原來面貌。國內大多數戶外遊憩區為了防止步道表面的沖蝕，及提供舒適的行走路面，常修築石板或水泥鋪面，亦有將鋪面作成階梯狀者，此種鋪面雖顯得不太自然，然多數遊客易於行走，也能將活動範圍侷限於鋪面，而避免兩側坡面之土壤或植群遭受大規模的破壞。

步道兩側可視為殃及區 (intersite zone)，也有土壤的緊壓化與沖蝕情形，然不若路面顯著；兩側的植群組成與未受干擾地區不大相同，此乃微生育地變化所導至，由於遊客踐踏及步道的開闢，土壤性質、含水率及地面光度均有所變化，故能適應的植物種類也隨之改變，多屬生長低矮且耐踐踏之所謂路邊植物 (roadside plants)，並且有許多為遊客無心而帶入的外來雜草。就戶外遊憩區之型態及經營目標而言，除非負有生態保護之任務或經營者注重原始植群之保育，原則上步道兩側植物種類的改變，對戶外遊憩景區之素質不但沒有損害，反而有益，因微生育地之改變，導至物種歧異度 (species diversity) 之增加，可使細部景致之內容更加豐富。當然，此種改變必須局限在少數遊覽路線或遊憩據點附近，才不致使戶外遊憩區之天然植群特性產生全面性的改變 (蘇鴻傑 1987；劉儒淵 1989)。

肆、步道衝擊之調查監測方法

基於環境保育之考量，戶外遊憩區的每一條步道，無論新闢或既有步道的整建，在規劃設計的階段，即應對遊憩活動可能造成的衝擊預作評估，供為遊憩服務設施、活動地點及路線、利用型態、容納量等之決策參考。步道開放使用後，遊憩資源衝擊之調查研究，更為經營管理上重要的措施之一，用以制定管理策略，並不斷的監測衝擊程度，以修正管理策略。

一、步道衝擊之研究方法

回顧以往國內外有關遊憩活動對步道沿線生態衝擊之研究，常以下列三種方式進行 1. 既成事實之分析 (after-the-fact analysis)；2. 對改變現象作長期監測 (monitoring of change through time) 及 3. 模擬試驗 (simulation experiment) (Cole 1979；蘇鴻傑 1987；劉儒淵 1989，林秀娟 1996)。以上三種遊憩衝擊研究法，均以環境實體為調查對象，包括天然植群、土壤、野生動物、空氣及水資源等，觀察之樣品採用遭受衝擊、未遭受衝擊或遭受不同使用量及衝擊之樣區，加以對照比較。在國內已開放之戶外遊憩區，如欲在短期內對各步道之遊憩衝擊效應有所瞭解，俾施行各項防治措施，可採用「既成事實之分析」方法進行調查研究。惟為有效掌控遊憩衝擊程度，維護遊憩環境品質，則宜儘可能在人力及經費許可下，進行定期之衝擊監測作業。

二、步道衝擊監測技術

而在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變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 (Hammitt & Cole 1998)，茲分別略述如下：

- (一)重復測量：以系統或逢機取樣設置若干永久樣點，定期精確地觀測步道情況改變之定量監測法。例如豎立固定樁，連續觀測步道橫斷面積之改變，可探知土壤沖蝕或沈積情形等細微的變化(Cole 1983；Summer 1986；Jubenville & O'Sullivan 1987)。另有人發展出一套用立體攝影來量測步道橫斷面積的技術，定期定點拍攝步道情況改變情形，作為研判步道沖蝕的依據(Rinehart *et al.* 1978)。
- (二)快速測量取樣：步道沿線每間隔若干距離，選取數個樣區作快速的調查測量法。調查的介量包括步道寬度、路面凹陷深度、植被覆蓋度，或其他足以反應遊憩衝擊的步道況狀，由研究者或經營者視實際需要選擇 1~2 項進行調查，由於不設固定觀測樣點，調查工作較為省事。
- (三)普查技術：另一種步道監測技術則是針對整個步道系統進行普查。先設計一份清單，列出各種步道狀況之調查項目，如土壤沖蝕、凹陷、積水、泥潭、植被消失、樹根裸露、岩石露出、車輛輪溝等等，各項並分別訂有不同程度之分級。將所有步道加以分段(例如以 0.5 公里為一單元)，比照快速測量法之方式實地調查描述單元內各項步道情況之數目與等級，最後統計顯示全區步道各單項因子遭受衝擊之百分比(Cole 1983；Leung & Marion 1999)。

此外在某些情況下，航空攝影(aerial photography)不失為有效而經濟的衝擊監測方式，只要沒有樹冠遮蔽，空中照片是監測遊憩用地劣化面積、數目與過程的良好方法。而前述幾種步道之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，選擇適用之方法施行之(劉儒淵 1995)。儘管其方法有異，然為降低步道之衝擊，維護步道況狀良好，發揮其功能之目標則是一致的。

伍、步道衝擊之調查介量

雖然包括天然植群、野生動物、土壤、空氣及水等各項環境因子，均可作為步道沿線遊憩衝擊之調查對象，唯根據國內外之研究結果顯示，遊憩活動對原野地或戶外遊憩區生態環境之衝擊，最容易反應在植群與土壤的改變上，也最容易造成遊客之視覺衝擊，而為經營者所重視(Saunders & Shew 1986；Cole 1987；陳昭明等 1989；劉儒淵 1996)。另 Graefe *et al.* (1986) 及蘇鴻傑(1987)等人更指出，植群對遊憩衝擊具有較高之敏感度，且易於觀測，常可作為步道環境衝擊監測上之指標(indicator)，在經營決策或遊憩容納量之決定上，佔有重要地位，尤其當戶外遊憩區之經營目標著重在自然資源之保育與遊憩品質之維護時，對天然植群所受到的遊憩衝擊應有徹底之瞭解(Kuss 1986)。

一般用來描述植群衝擊的介量並不是很多，主要包括植群的數量(amount of vegetation)、植群組成(vegetation composition)及植物的情況等三類，而且要瞭解這幾個介量所需植群生態學的知識遠比土壤或其他因子簡單，因此植群衝擊之調查研究在整個遊憩生態學的領域裡佔有非常重要的地位(Hamitt & Cole 1998)。

步道沿線的土壤沖蝕，包含步道表面的侵蝕與土壤流失兩種現象，又稱為溝蝕(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 & Marion 1999；劉儒淵 1995)。步道沖蝕的情形一旦發生，勢將維持一段時日，不管是繼續或停止使用，無法如其他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(Hamitt & 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。由

美國生態學者 Leonard R. E. 與 Whitney A. M. 兩人於 1977 年所提出之步道截面(trail transect)重複測量法經常被用來進行步道表面土壤沖蝕或沉積情形之調查與監測。

不論選用植群的變化或土壤沖蝕量作為步道衝擊調查監測之指標因子，在設置樣區調查時，宜選擇不同遊客使用量之步道加以比較，才能分析衝擊程度與使用強度間之關係，因此必須蒐集各步道在淡旺季、假日與非假日之遊客人數及特性、活動種類與旅遊動向等之基本資料，調查研究的工作才能落實。

陸、步道衝擊之研究概況

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 & Marion (1996)將其歸納後大略分為以下四個不同的主題：

- 一、探討有關於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、步道沖蝕（橫斷面積或沉積量）和有否分生步道等。

而國內有關遊憩資源衝擊(recreation resource impact)方面的研究逐漸受到重視，並有若干步道衝擊的調查研究報告陸續發表，筆者曾扼要的加以摘錄彙整(劉儒淵與曾家琳 2003)，唯多數偏重在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(limit of acceptable change, LAC)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; 劉儒淵 1992-1999, 2002a; 林秀娟 1996; 彭育琦 1997; 陳嘉男 1998; 謝思怡 2000; 吳孟娟 2002; 洪怡萍 2003)。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; 吳孟娟與林晏州 2002; 中華民國戶外遊憩學會 2002); 而劉儒淵(1995, 2000b)則是國內唯一針對步道劣化所進行土壤沖蝕之長期調查監測報告。

柒、合歡山區步道衝擊之調查

合歡山為台灣最著名的高山賞雪據點之一，由於該地區為太魯閣國家公園範圍內最主要的遊憩區之一，過度且密集的遊憩使用，已對各項自然資源造成顯著的衝擊，經實地勘察結果發現，遊憩衝擊主要集中在各登山步道沿線，除植被覆蓋減少、植物種類改變、植物高度降低及表土裸露、土壤緊壓等植群與土壤之衝擊效應外，更有明顯之沖蝕、分生步道、積水及石門山步道石板鋪面鬆動等步道劣化現象，不但降低了該區之環境品質，影響遊客之遊憩體驗，更將導致該區整個生態系之結構與功能產生劇烈之變化。以下摘錄筆者等於 2002 年

7 月至 2003 年 5 月間針對合歡北峰、東峰及石門山等三條主要登山步道沿線之遊憩衝擊效應所作之調查分析結果供為參考(劉儒淵 2002a；洪怡萍 2003)

一、遊憩衝擊樣區調查結果

以植群變化為指標，設定樣區，調查分析合歡山區之合歡北峰、東峰及石門山等三條主要登山步道沿線之遊憩衝擊效應，調查介量包括植群覆蓋度減少率(CR)、植相變異度(FD)、及指標植物(玉山箭竹)之植株高度降低率(HR)等三項，並輔以土壤硬度增加率(SHI)之變化。除比較在不同的遊憩使用型態下，各步道沿線所承受的衝擊程度之差異，並探討其與環境因子間之關係。

(一)衝擊影響範圍

由各步道連續梯度樣區之植群與土壤衝擊效應階檢定結果顯示，三條步道遊憩衝擊之影響範圍均在步道邊緣 2 公尺範圍內，且第 2 小區之衝擊程度較第 1 小區減輕許多，第 3 小區以後衝擊的程度已甚輕微。

(二)植群與土壤衝擊效應

各步道每間隔 50 公尺在步道兩側設一個對照樣區組(若某一側之邊坡過於陡峭，則就僅在一側設置樣區組)，每個樣區組調查 A、B 兩小區，其對照小區(D)除非受到地形限制，儘可能設在下邊坡 5 公尺以外未受干擾之地區(相當於連續梯度樣區之第 6 小區)。分別調查記錄各樣區組之步道寬度、坡度、鋪面形式與邊坡坡度，以及各小區之土壤硬度、地被植群覆蓋度、植物種類及組成及玉山箭竹之平均高度等資料，統計分析各步道之各項植群與土壤衝擊效應，其結果經彙整如表 2 所示。

表二、合歡山區各主要步道兩側調查之植群與土壤衝擊效應統計表

步 道 別	小 區	植群衝擊效應			土壤衝擊效應
		CR (%)	FD (%)	HR (%)	SHI (%)
石門山步道	A	51.7	56.5	43.5	36.3
	B	27.4	28.4	14.9	18.6
合歡北峰步道	A	43.7	66.0	46.7	41.7
	B	35.2	61.3	20.5	32.5
合歡東峰步道	A	51.8	78.4	20.1	64.4
	B	40.2	58.8	9.4	39.5

註：A 表步道鋪面(或設計寬度)邊緣 0-1 公尺之調查小區，B 表步道邊緣 1-2 公尺之調查小區

(三)遊憩衝擊程度之評估及分級

表三係根據前述各步道調查樣區之 CR、FD 及 HR 等三項植群調查介量未經加權處理所合成之植群衝擊指數(Index of Vegetational Impact, IVI)及其分級，圖 1 並將其繪成柱狀圖。由該圖、表可明顯看出合歡山區各步道植群衝擊程度。

其步道邊緣 1 公尺 A 小區之衝擊程度均屬 II 級的中等程度，三條步道之差異不大，B 小區則以合歡山北峰步道之 IVI 植(39%)較高，介於 I~II 級之間，而石門山及東峰步道 B 小區之 IVI 值則屬 I 級輕微的衝擊程度。

表三、合歡山區各步道之植群衝擊指數(IVI)及分級

步道別	小區	植群衝擊指數IVI (%)	衝擊程度分級
石門山步道	A	50.6	II
	B	23.5	I
合歡北峰步道	A	52.1	II
	B	39.0	I
合歡東峰步道	A	50.1	II
	B	36.1	I

註：A：步道邊緣 0-1 公尺之調查小區 I：植群衝擊程度輕微
 B：步道邊緣 1-2 公尺之調查小區 II：植群衝擊程度中等

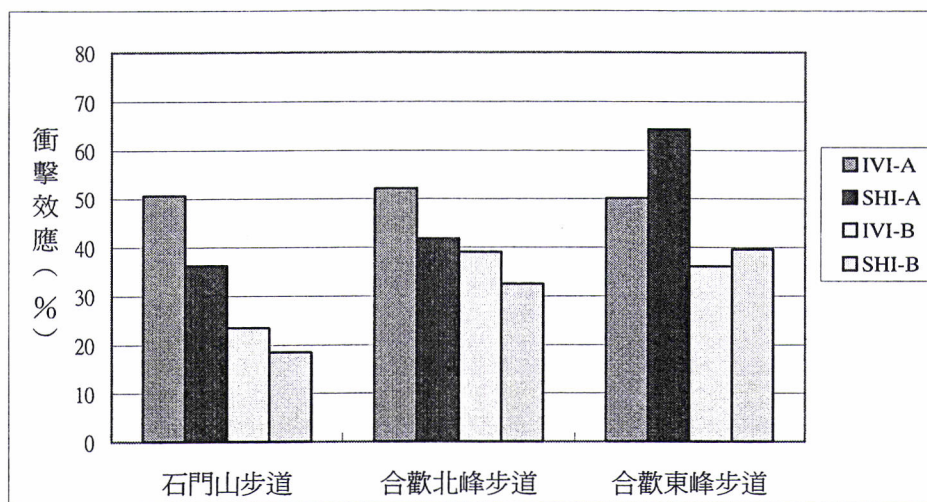


圖 1 各步道之 IVI 與 SHI 之衝擊效應柱狀圖

二、可接受改變限度(LAC)之測定

本研究採用「植群覆蓋度」為指標因子，由訪談員於 2002 年 10~11 月間針對前往合歡山區從事各項遊憩活動之現地遊客進行步道沿線遊憩衝擊之 LAC 問卷調查，請受訪者參考所附的六張不同土壤裸露等級(相對於植群覆蓋度)的照片，填答其認為無法接受的土壤裸露度之等級，並據以訂定該指標因子在本調查地區之 LAC。

經 405 份受訪遊客對步道邊緣土壤裸露度的等級不可接受程度之間卷統計分析結果如表 4 所示。受訪的遊客認為步道邊的土壤裸露度在 3 級(CR 植 40%)以上便無法接受的比例最高，其次為第 2 級者，佔 27.2%。另有 9.4%的受訪者要求步道邊緣之土壤應百分之百有植被覆蓋，而僅極少數(5.2%)的受訪者認為步道邊之土壤要完全裸露(第

6 級)才無法接受。全體受訪者平均無法接受之等級為 3.09，即約 42 %之土壤裸露度。因此本研究據此初步判定合歡山區之步道可接受改變的標準，即步道旁 1 m 範圍內之植群覆蓋度減少率(CR)不得小於 40 %，也就是至少應保有 60 %之地被植物覆蓋度。

表四、受訪者對步道旁不同土壤裸露度無法接受改變之分配狀況

受訪者	土壤裸露度之等級 (CR, %)						平均數	
	1 (0 %)	2 (20 %)	3 (40%)	4 (60 %)	5 (80 %)	6 (100 %)	數值	(%)
人數	38	110	119	71	45	21	3.09	(42)
(%)	9.4	27.2	29.4	17.6	11.1	5.2		

捌、結語

目前包括玉山、雪霸及太魯閣等高山型國家公園範圍都面臨著極大的遊憩壓力，過度且密集的遊憩使用，已對園區內各主要登山步道沿線與宿營地附近的植群、土壤、野生動物及水等各項自然資源造成相當程度的衝擊。此等衝擊情形，不僅發生在提供遊憩服務之「遊憩區」，連可及性較低之「生態保護區」與「特別景觀區」亦未能倖免，致與國家公園之經營旨趣大相逕庭，而顯露出國家公園管理單位在該地區之經營目標、土地分區規劃與實際經營管理上之矛盾現象。因此探討登山步道遊憩衝擊的本質與影響，研提適於供為評估步道衝擊程度之綜合性指標，以及遊憩衝擊防治策略、監測方法之擬定等，實為推展生態旅遊，及從事高山生態系研究與保育上極為重要的課題。

目前林務局正積極推動「國家步道系統計畫」，以既有步道為基礎，藉由自然及人文資源的調查與彙整，於考量步道設置的供給與需求層面，並兼顧景致可及性、資源涵蓋性、生物多樣性、文化獨特性、功能多樣性等多元前提下，經由適度的整體規劃設計運用生態材料、生態工法等予以整修建置，使對環境破壞及景觀衝擊降至最低，並配合環境解說的運用協助自然教育的推展延伸林野景致，活絡山村經濟(行政院農業委員會林務局 2002a, b)。在此一國家步道系統的規劃與執行過程中，步道沿線遊憩環境衝擊的調查與監測作業扮演著極為重要的角色，本文提供相關的調查監測技術，希望有助於該計畫之執行與落實。

參考文獻

1. 王相華 1988 遊樂活動對天然植群之影響及其經營計劃體系 台大森林學研究所碩士論文。
2. 中華民國戶外遊憩學會 2002 玉山國家公園高山步道遊憩承載量調查 玉山國家公園委託研究計畫期末報告。
3. 行政院農業委員會林務局 2002a 國家步道實務 森林育樂手冊，p. 27-49。
4. 行政院農業委員會林務局 2002b 國家步道系統設計規範 (期末報告)。
5. 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 東海大學景觀學研究所碩士論文。
6. 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。
7. 吳孟娟 2002 步道衝擊預測模式與其遊憩容許量評定之研究 台大園藝學研究所碩士論文。
 8. 吳孟娟、林宴洲 2002 健行步道遊憩容許量之研究 國家公園學報12(2):125-140。
 9. 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。
 10. 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, 208頁。
 11. 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。
 12. 彭育琦 1997 塔塔加地區步道衝擊及其影響因子之研究 東海大學景觀研究所碩士文。
 13. 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 中興大學都市計畫研究所碩士論文。
 14. 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。
 15. 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。
 16. 劉儒淵 1993a 遊憩活動對八通關地區植群衝擊之研究 台大實驗林究報告7(1):1-32。
 17. 劉儒淵 1993b 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。
 18. 劉儒淵 1994 登山步道之遊憩衝擊及其防治 林務局登山設施觀摩研討會講義。
 19. 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。
 20. 劉儒淵 1997 塔塔加地區遊憩資源衝擊及其監測之研究 國科會85年度專題研究計畫成果報告, 50頁。
 21. 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, 7頁。
 22. 劉儒淵 2000a 高山地區遊憩資源衝擊之研究 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。
 23. 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。
 24. 劉儒淵 2002a 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。
 25. 劉儒淵 2002b 戶外遊憩區步道衝擊之調查監測(技術手冊) 台大實驗林。
 26. 劉儒淵、曾家琳 2003 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。
 27. 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。
 28. 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。
 29. 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論文集, 第7-18頁。
 30. 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。
31. 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。
 32. 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。
 33. 蘇鴻傑 1987 自然保護區之保育管理 中華林學會「發展森林遊樂與加強自然保育」研討會講稿 (76年2月26日)。
 34. Cole, D. N. 1979 Reducing the impact of hikers on vegetation: An application of analytical research methods. In: Proceedings--Recreational impact on wildlands. pp. 71-78. USDA Forest Service, Pacific Northwest Region, Seattle, Washington.
 35. Cole, D. N. 1983 Assessing and monitoring the backcountry trail conditions. USDA Forest Research Paper, INT-450, 5pp.
 36. Cole, D.N. 1987 Research on soil and vegetation in wilderness: a state-of-knowledge review. In Lucas, R. C. (compiler) Proceedings--national wilderness research conference: issues, state-of-knowledge, 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.
 37. Graefe, A.R., F.R. Kuss, & L. Loomis 1986 Visitor impact management in wildland setting. In: Lucas, R.C.(ed.), Proceedings: National wilderness research conference: current research. pp. 432-439. International Research Station, Ogden, UT.
 38. Hammitt, W.E. & D.N. Cole 1998 Wildland recreation: Ecology and management. (2nd ed.) John Wiley & Sons, Inc. N.Y.
 39. 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.
 40. Kuss, F. R. 1986 Impact ecology knowledge is basic. In: Lucas, R. C.(ed.) Proceedings--National wilderness research conference : current research. p. 92-94.
 41. Kuss, F. R., A. R. Graefe, & J. J. Vaske. 1990 Visitor impact management--A review of research. National Parks and Conservation Association, Washington, D.C.
 42. Leonard, R. E. and A. M. Whitney. 1977 Trail transect : A method for documenting trail change. USDA Forest Research Paper NE-389. 8pp.
 43. Leung, Y. E. & 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.
 44. Leung, Y. E. & J. L Marion. 1999 Assessing trail conditions in protected areas: application of a problem-assessment method in Great Smoky Mountains National Park, USA. *Environmental Conservation* 22(4) : 270-279.
 45. Manning, R. E. 1979 Impacts of recreation on riparian soils and vegetation.

- Water Resources Bulletin* 15:30-43.
46. Rinehart, R. P., C. C. Hardy, & H. G. Rosenau. 1978 Measuring trail conditions with stereo photography. *Journal of Forestry* 76:501-503.
 47. Saunders, P. R. & R. W. Shew. 1986 Vegetation, soil, and water monitoring in proposed wilderness of the Inland Empire of the Pacific Northwest. In: Lucas, R. C. (ed.) Proceedings-- National wilderness research conference: current research. pp.108-113. International Research Station, Ogden, UT.
 48. Summer, R. M. 1986 Geomorphic impacts of horse traffic on montane landforms. *Journal of Soil and water Conservation* 41(2):126-128.
 49. 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).