

哭泣的「天使眼淚」

— 世界級地景嘉明湖的快速消失

楊建夫*、曹常鴻**、林大裕***、黃一元****

摘 要

山岳是台灣立國的根本，多山尤多高山是台灣的自然環境特性，放眼全球這種多高山的自然環境非常稀有且珍貴；不但有著世界級的高山景觀，有的景致或生態景觀是唯一性。登山是台灣很普遍的戶外活動，不論是台灣本島山岳區的健行、縱走，還是國外的極高山「攀登」或基地營健行，台灣都能與國際水準接軌。嘉明湖登山管制是最近最熱門的登山界議題。嘉明湖有著「天使的眼淚」之說，最早極可能來自齊士崢於 2003 年發表「天神的眼淚」的論文，而至今學術界一直在對嘉明湖是否為隕石坑和冰河地形爭論不斷，但最近的研究因為發現越來越多的冰河作用的證據，因此冰河作用形成的論點較為人所採用。

但本研究依隕石說的相關文獻，認為在形成兩種地形的地質年代並不衝突，兩種成因都曾發生過；也就是說隕石撞擊是在 10 萬年前，之後的末次冰期時，7 萬年前雪山冰期早期開始了冰河作用，直到 1 萬年前雪山冰期晚期結束，而嘉明湖則可延續至 7000 年前冰河完全消融。這意味著，末次冰期冰河來臨時，隕石坑就存在了，反而更容易累積冰雪形成現在橢圓形冰斗湖或冰蝕湖的形貌。此外，本研究還發現嘉明湖周圍分布著 6 條平行山稜和 5 條 U 形谷地，比對南湖大山和雪山山區都有著類似的地形特性，而研判應該是末次冰期遺留下的冰河地形。此外，近幾年嘉明湖登山客的人次急增，造成登山步道因登山客踩踏，以及近幾年颱風和極端降雨事件，已將登山步道沿線多處路段沖蝕成深溝，甚至小型的崩坍地；不少的沖蝕土石沉積在嘉明湖中，造成湖的形狀快速變形和淤積量急速增加，加快消失的時間。再加上冬季寒凍風化凍融作用的擠壓力量，和融成水後的降低抗剪強度，以及坡面上重力造成的崩山作用使土體下滑，都使得嘉明湖周圍集水區坡面的土壤層，在上述的地形作用機制下，加速往湖區滑動，更加快嘉明湖被土石淤滿而消失的時間。

關鍵字

天使的眼淚、末次冰期、冰河作用、凍融作用、加速侵蝕

*康寧大學休閒管理學系助理教授

**正修科技大學財務金融學系副教授，通訊作者，聯絡方式：(07) 7310-606#5218，0911-273-648，
ch.tsaur@msa.hinet.net，高雄市鳥松區澄清路 840 號正修科技大學金融管理系

***康寧大學休閒管理學系講師

****中華健行登山會副理事長

哭泣的「天使眼淚」

——世界級地景嘉明湖的快速消失

楊建夫、曹常鴻、林大裕、黃一元

一、前言

本研究主要動機來自於 2014 年 12 月 10 日林務局台東林管處的嘉明湖管制入山措施-封山，引發不少登山界不小的抗議與爭議聲。嘉明湖之所以易引發一般大眾的關注，尤其是登山界的聲音，主要原因有三：夠美、可及性高（離南橫公路很近）、「天使的眼淚」（論文的名稱為「天神的眼淚」）的高名氣。造訪過嘉明湖的山友非常多，這意味著入山管制的林務局（或農委會）與警政署，只要依規定辦理入山申請的程序，就可很容易的依法入山。然而依林務局台東林管處的資料，2012 年（民 101 年）以來大量登山客，尤其在假日湧入嘉明湖山區，造成湖區周圍環境產生很大的衝擊，包括登山步道凹陷而導致的溝槽化，野生動物食性與棲息環境的強烈衝擊，加速土壤流失，以及留下大量垃圾等環境破壞。隕石坑和冰河說也是這 10 多年來學術界關注的焦點，但隨著冰河證據一一的發現，和齊士崢（2003）、何立德等（2010）較多學術上的研究，以及科普文章上郭雅欣（2008）、楊建夫（2015）等多傾向冰河的論點與陳述。在山岳旅遊面向上，楊建夫（2014）認為嘉明湖有著世界級的景致，和在台灣最美登山路線的評估上，南二段高居第二名。此外，嘉明湖有著「天使的眼淚」之譽，是誰或是由哪一個文獻最早命名，依本研究的多方查證，居然是「不詳」！

二、嘉明湖管制上的爭議

封山事件

依「林務局台東林管處 103 年 11 月 4 日處理嘉明湖國家步道總量管制研商會議」的資料，其內容主要是針對嘉明湖 2012 年（民 101 年）以來登山遊客激增，造成假日登山人數是非假日的 2.4 倍，假日住宿嘉明湖山屋人數更為非假日的 3.7 倍（表 2、表 3），嘉明湖山屋可供 70 人住宿。以及造成環境的破壞，如步道因高度且密集的踩踏使得土壤密實化，影響植物的生長；踏面（步道）凹陷、溝槽化，而造成土壤流失；露營活動帶來大量廢棄物（垃圾、廚餘、排遺等），造成環境、水源的污染，和野生動物食性與棲息環境的強烈衝擊等。其中較為嚴重並在媒體高度關切報導的事件包括：2014 年 228 連續假日超過 800 人入山，第一個假日更超過 500 人；2014 年 8 月 23 日由台灣極限鐵人協會及台灣路跑馬拉松協會主辦的「2014

嘉明湖越野跑」活動等。因此，台東林管處決議 2014 年 12 月 10 日起實施封山管制，直至 2015 年 4 月 1 日開放入山。開放後的新措施包括每天 140 人的總量管制-向陽與嘉明湖山屋各 70 人床位，以及平日 300 元、假日 400 元的山莊收費（嚮導與揹工都得付費）。不過 2015 年中視的新戲「失去你的那一天」，劇組曾於 6 月 18 日至嘉明湖取景、拍攝，卻留下大量垃圾（尤其是菸蒂、道具、行動糧包裝等）的事件。

表 2：嘉明湖國家步道入山人數統計資料

年度	101			102			103		
	假日	非假日	合計	假日	非假日	合計	假日	非假日	合計
1 月	442	111	553	327	254	581	25	661	686
2 月	417	102	519	331	363	694	956	206	1,126
3 月	580	179	759	761	225	986	1,060	342	1,402
4 月	716	271	1,032	275	196	471	955	669	1,624
5 月	416	276	692	366	222	588	1,610	544	2,154
6 月	346	65	411	708	437	1,145	1,190	663	1,853
7 月	774	383	1,157	341	442	783	1,164	577	1,741
8 月	193	145	338	284	236	520	954	315	1,269
9 月	528	130	658	218	28	246			
10 月	1,130	375	1,505	429	587	1,016			
11 月	945	747	1,692	618	280	898			
12 月	695	149	844	512	233	745			
總計	7,227	2,933	10,160	5,170	3,503	8,679	7,914	3,977	11,891

表 3：嘉明湖避難山屋住宿人數統計資料

年度	102			103		
	非假日	假日	合計	非假日	假日	合計
1 月	352	322	674	389	366	755
2 月	692	180	872	935	221	1,156
3 月	1,100	264	1,364	2,032	457	2,489
4 月	1,238	274	1,512	2,551	956	3,507
5 月	1,110	300	1,410	3,153	741	3,894
6 月	1,444	430	1,874	2,247	915	3,162
7 月	1,121	724	1,845	2,344	1,113	3,457
8 月	1,215	414	1,629	1,907	583	2,490
9 月	1,604	153	1,757			
10 月	2,306	1,137	3,443			
11 月	1,598	407	2,005			
12 月	1,025	344	1,369			
總計	14,805	4,949	19,754	15,558	5,352	20,910

（資料來源：林務局台東林管處 103 年 11 月 4 日處理嘉明湖國家步道總量管制研商會議附件 1。）

國家公園生態保護區與特別景觀區的管制，或是最近很夯的阿塋壹古道（旭海觀音鼻自然保留區）健行，都有著 270 人數上的總量管制，登玉山主峰每天只開放 92 人（單攻主峰的

一天來回不在此限)，因為新改建的排雲山莊床位只能容納 92 人。值得省思的是，嘉明湖這個可媲美世界級高山美景的湖泊，居然不在玉山國家公園範圍內，也非向陽國家森林遊樂區內，只在一個稱為「關山野生動物重要棲息環境」的保護區內。請注意一件事：國家公園與自然保留區是台灣六類保護區的一種，經營管理上以「環境保育」為主，且有著國家公園法作為有效與最佳的經營管理手段；也就是說若在保護區外或國家公園區外，雖然美景與地形、地質與生態景觀的重要性不輸給國家公園區內，進入賞景或健行，比進入保護區容易；但是當時玉山國家成立前的環境資源調查，尤其是最後一次範圍界定的考察活動¹，沒有將嘉明湖和周圍草原景觀，以及湖的東南方三條平行的冰河U形谷（U-shaped valley）遺跡劃入（楊建夫，2015），不過本研究團隊在今年（2015年）8月兩次嘉明湖的考察，和經建三版的兩萬五千分之一等高線地形圖的判讀，發現有著更多的6條平行稜脈的5條U形谷（圖3）。

三、學術爭論的澄清

學術上嘉明湖成因的爭議有二：隕石說與冰河說。末次冰期（The last ice age or The last glaciation）冰河說的證據較充足且明確，同時附近不只嘉明湖本身是個形狀很完美的冰斗湖（圖1），附近還有與雪山、玉山、南湖大山、大霸尖山、合歡山等台灣名山積雪深厚的冰河中心（如冰斗或高山冰帽）像四周流動的冰河遺跡，規模較大的冰河遺跡除冰斗外，還有如瀑布群和U形谷（圖2）、冰河分流等；小規模的地形則有冰坎、冰蝕擦痕、冰磧（端冰磧、側冰磧等）。其他屬於現代氣候下的冰緣地形如石流坡（rock slope，可通稱為「碎石坡」）、雪蝕斗或雪蝕窪地等。



圖 1：嘉明湖是冰斗湖，也可能是隕石坑



圖 2：嘉明湖東南方的一條冰河 U 形谷

¹ 本研究第一作者於 1982 年 5 月中旬參與由張長義教授在台大地理系開授的環境資源經營與管理課程的玉山國家公園預定範圍戶外教學活動-從觀高開始沿著八通關古道至終點的玉里，當年參與人員有嚮導-歐陽台生，和黃文卿、蔡佰祿等先後都曾任國家公園處長的官方委員們

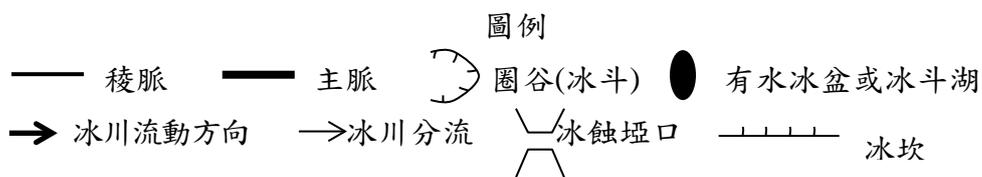
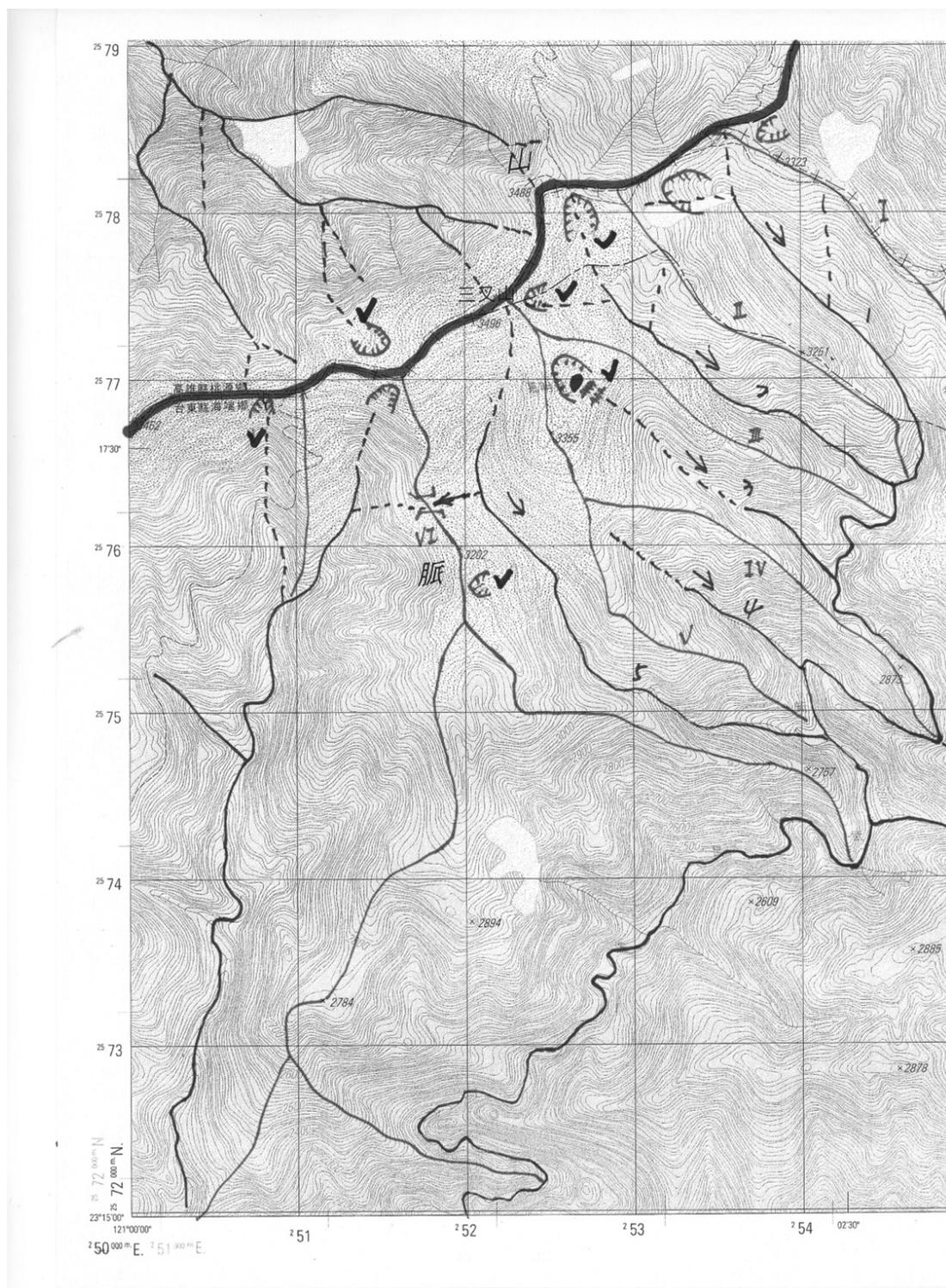


圖 3：嘉明湖第四紀末次冰期重要冰河地遺跡分布

(一) 冰河說

1、前人研究

冰斗 (glacial cirque) 是山岳冰河的源頭，形狀如開了一個口的碗或圓形劇場，該地形名稱最初來自法語的「cirque」一詞，日治時代如鹿野忠雄等學者使用「圈谷」的日文漢字稱呼 (楊建夫，2000)。王鑫 (1999、2000a)、楊建夫 (2000) 都認為若冰斗最前方的冰坎沒有被風化或冰河侵蝕成缺口，有時形成池塘或小形湖泊，稱為「冰斗湖」(cirque lake)。依齊士崢 (2003) 和何立德等 (2010) 的研究，嘉明湖周圍包括三叉山與向陽山的山區，共計發現 7 處冰斗，嘉明湖屬於冰斗湖，嘉明湖東南方分布兩道冰坎和冰坎上留有冰蝕擦痕 (圖 3)，以及端冰碛。這些沉積物透過齊士崢的螢光定年，嘉明湖的最後冰河消失約在 7000 年前。其他山區的定年，則有楊建夫 (2000) 在雪山一號冰斗定出約是 10,000 年前；另有德國學者 (Hebenstreit and Bose, 2003) 在南湖大山則定出約 7000~9000 年前的冰河消失年代。

至於嘉明湖何時發生冰河作用，目前文獻沒有定出確切的年代，只確定發生過冰河現象。比較其他山區，冰期較清楚確定的是雪山山區，楊建夫 (2000)、楊建夫等 (1999)、Cui et al. (2000、2002) 都認為雪山山區於末次冰期時發生過冰河作用；依冰河沉積物的熱螢光定年大致分 7 萬年至 3 萬年前的雪山冰期早期，3 萬至 1 萬年前的雪山冰期晚期。雪山冰期早期時，雪山一號冰斗的冰河 (或雪線) 至少可發育至 3000 公尺處，冰舌甚至可低至 3000 公尺以下數百公尺。而雪山冰期晚期冰河發育至原雪山黑森林避難小屋附近 (現已拆除)，海拔約 3300 公尺處；也就是在黑森林瀑布群的頂部，冰舌則可伸延至 3100 公尺處的 369 山莊水源地 (往雪山北峰的步道途中)。

2、新冰河證據的發現

U 形谷是山岳冰河重要的冰河地貌證據，王鑫 (2000)、楊建夫 (2000、2005) 認為尤其是位在河流源頭的溪谷，因為地形規模與集水區面積不成比例，外加上這些寬闊的谷地幾乎沒有流水，侵蝕力不夠強大到形成數百公尺寬、數公里長且成直線形的谷地。台灣高山有著重要冰河遺跡的雪山、南湖大山、玉山、合歡山等，都發現上述特徵的 U 形谷。除冰河地形的特徵外，另須注意的是 U 形谷的野外判識和地圖判讀，等高線的高度值，以及 U 形谷的孕育源頭不一定是冰斗；郭彥超、王鑫 (2000)、楊建夫 (2003) 等都認為南湖大山的「上圈谷」、「下圈谷」是 U 形谷，因為源頭是南湖主峰與東峰間的高山冰帽 (ice cap)，不過何立德等 (2010) 卻認為是冰斗。以嘉明湖位置為中心，其東北和西南各有 3 條平行且平均高度約 3000 公尺共計 6 條的稜脈，並形成包括嘉明本身流出冰坎形成山谷且高度約 2800~2700 公尺，長度約 2000 公尺~3000 公尺的 U 形谷。所以對比上述其他台灣高山區，同樣的高度，類似的地形

特徵，也同樣是類似地形作用下的結果（徐美玲，1988；楊建夫，2000）。透過最新 google earth 的影像，台灣還未經系統調查且有著前述大規模與地形特徵明顯的山區是東郡大山區。

（二）隕石說

認為嘉明湖是隕石撞擊形成的論點，主要是當年任職經濟部中央地質調查所所長的陳肇夏教授團隊為主。陳肇夏、李元希等（2000）在中國地質學會學報發表隕石坑說法的論文中，認為隕石坑的撞擊年代至少是 10 萬年前。主要的證據是嘉明湖區周圍發現許多表面光滑如玻璃，且這些微小的石英粒中鑲嵌只有隕石帶來的鎳和磁鐵礦等物質，以及石英顆粒碎裂程度高等隕石撞擊的證據。陳肇夏等（2000）在中央地質調查所的「地質」科普期刊中內容的陳述中，接受台灣雪山與南湖大山有著冰斗的冰河遺跡的論點；不過在嘉明湖成因上卻持著非冰河成因的看法。陳肇夏的研究團隊曾引中山大學陳鎮東（Chen, C. T., 1997）嘉明湖底沉積物約為 4000 年的碳 14 定年資料，作為嘉明湖形成的年代該在 4000 年左右，而認為冰河消失年的 7000 年或久遠一點的 1 萬年前，有著很長年代上的斷層；以及該團隊在現場所調查周遭山區的集水區或集冰雪區域所需的地形高度和面積都不夠大，且氣候的水熱條件也不夠。如三叉山只有 3496 公尺，而嘉明湖的海拔高度約 3300 公尺，高度落差太小，累積出的冰雪量不夠形成冰河冰，挖蝕出冰河源頭的冰斗。

（三）隕石-冰河並存說

雖然持冰河說的學者與研究文獻以及地形證據較多，不過，這些研究成果不能完全成為「非隕石坑」唯一理由！道理很簡單，須從時間序列或事件先後發生的次序來思考。如果冰斗先形成，後再被隕石撞擊，冰河的遺跡或證據都會被徹底毀滅掉；反之，先有隕石坑，再發生冰河作用，留下大量冰河遺跡（圖 4、圖 5），卻也留下過去隕石的證據，這是有可能的。其實冰斗不一定在冰河消失後必定成為冰斗湖，例如雪山一號冰斗（全台最大的冰斗），沒有冰斗湖就不會有湖泊沉積物，卻可能有端冰碛或側冰碛（lateral moraine）等冰河沉積物。如果 10 萬年前真有約 10 公尺直徑的隕石撞出嘉明湖的隕石坑，而台灣發生冰河的年代最早約在 7 萬年前開始，1 萬年前結束，有些冰雪累積厚的山區可再延緩至 7000 年前完全消失。簡言之，還真有可能 10 萬年前先來個隕石撞擊，形成隕石坑；而該隕石坑，依陳肇夏研究團隊的說法約長 330 公尺、寬 210（或 220）公尺、深 35 公尺，有可能進入到 7 萬年前的冰河期時，這個隕石坑有利於累積冰雪，逐漸形成冰河源頭的冰斗，並在數萬年冰雪和冰河的侵蝕和其他風化作用下破壞了不少原留下的隕石證據。而 7000 年前嘉明湖的冰河完全消失後，並沒有馬上是個冰斗湖，約在 4000 年前氣候變濕暖，嘉明湖山區有著較多的降水（雪和雨），

逐漸積水成為現在所見的「蛋形池」，平均深 6 公尺，每千年以 33cm 的沉積速度（依陳鎮東 1997 年的研究），形成湖底的沙泥和有機物（如植物的花粉等）。

此外，嘉明湖周圍分布著許多緩起伏的凹窪地形（圖 5），極類似雪山翠池附近大量冰斗群，和雪山西稜博可爾山（大安溪的源頭，也是冰斗）、火石山、頭鷹山至大雪山的緩起伏地形和地表的高山箭竹草原景觀（王鑫，2000a）。而楊建夫（2005）的研究也指出合歡山區，尤其是合歡北山周圍高山箭竹分布區，上述的緩起伏地形和小型冰斗（也可能是雪蝕斗），也有明顯類似的地形特徵。



圖 4：向陽山東南面的冰斗遺跡



圖 5：三叉山南面的緩起伏窪地，極可能是冰河或冰雪(雪蝕)挖蝕出的地形遺跡

四、世界級的景觀

（一）高山景觀

台灣的地理位置非常特殊，除了地底構造屬於太平洋火環一部分，板塊碰撞且上升迅速形成的島嶼，多火山、斷層、地震、地質脆弱等自然環境，卻也帶給特別多特殊台灣地形、地質景觀，甚至超快速度的地殼隆升，形成全球唯一縱貫全島，山脈（mountain ridge）連續沒有中斷的高山島，甚至是「高山景觀」（alpine landscape）島。簡單地說，生態景觀上有著明顯垂直變化的山岳區；也就是說從低海拔的熱帶雨林或熱帶季風雨林，經中低海拔的常綠闊葉林，中海拔的針闊混合林，高海拔的針葉林或溫帶針葉至寒帶針葉林，直至更高海拔（峰頂附近）的苔原草甸植物景觀。台灣知名高山如玉山、雪山、南湖大山、合歡山等山區，等可見到這種垂直的高山景觀生態。同樣有著不少超過 3,000 公尺高山（多為火山）的印尼，或是馬來西亞沙巴第一高峰的 Mt. Kinabalu（4095 公尺），都可稱為有著高山的國家，可是這些山岳區從低海拔到高海拔生態景觀仍屬於熱帶雨林，所以是個有高山卻「沒有高山景觀」

的國家！日本和紐西蘭與台灣同樣是板塊碰撞的高山島嶼，可是兩者均位於溫帶，生態景觀變化上少了熱帶生態帶，且垂直景觀上多是針葉林居多，都屬於有高山卻無高山景觀的島國。

（二）評估因子

楊建夫(2014)曾以生動性、稀有性、感知度與可及性等四個因子，且給予 1~10 的評分，評估台灣山岳地區的整體景觀美質。生動性指得是活的、壯麗、類型較多樣的且令人感動。例如地勢高差很大的峽谷、崩崖、瀑布與湖泊（也就是水體，這是最重要的因子）等；在視覺景觀或是觀光旅遊上，流水、湖泊、溼地、海洋等的水體或水域，是擁有較高吸引力的，往往容易吸引觀光客造訪而成為風景區或是度假勝地。稀有性是指難得一見的景觀，如隕石坑、野柳的女王頭與燭台石等鬼斧神工的地形景致（野柳是台灣十大地景的第一名）。感知度主要指知名度，民眾熟知的程度。可及性又可稱易達性（accessibility），指交通方便的程度，一般而言等級越高可通達公路（如省道）的可及性，高於沒有公路或是等級低的道路（如林道），例如合歡山區有台 14 甲線省道直達合歡主峰、東合歡山、北合歡山、石門山等百岳的登頂步道，是全台可及性最高的高百岳分布區。嘉明湖所在山區屬於台灣傳統登山界高山路線分區的「南二段」，生動與稀有性都是 10 分的滿分；感知度 9~10 分，若純以嘉明湖單一景致而言則可得 10 分；可及性則因南橫至今受莫拉克風災影響沿線許多路段大規模崩坍，至今還未通車，中南部登山客需由南回公路，而北部則由北回和花東線到台東關山轉入南橫公路的終點出來，可及性較不佳，所以排名第二，僅次於雪山東翠池線（表 3）。

表 3：台灣十大最美的登山路線

排名	路線	生動性	稀有性	感知度	可及性	總分	備註
1	雪山主東翠池線	10	10	10	10	40	十大地景
2	南二段	10	10	9~10	9~10	38~40	天使的眼淚
3	能高安東軍縱走線	10	9	8	9	38	高山湖泊
4	南湖群峰線	9~10	10	9~10	8	35~38	最美的 U 形谷與最豐富的冰河遺跡
5	聖稜線 O 型縱走	7~9	10	9~10	10	34~38	日治的美譽
6	玉山群峰線	6~7	7	9~10	10	32~34	最高的山塊
7	玉山主峰線	6	7~8	10	10	32~33	第一高峰
8	大小霸尖山 (大霸群峰線)	7~8	10	9~10	5	31~33	十大地景
9	八通關古道線	8	8	9	7	32	唯一國家級古道
10	合歡群峰	6	7	9	10	32	遊憩設施最完善

五、嘉明湖的快速消失

嘉明湖之所以在 2014 年 12 月 10 日封山前這麼著吸引大量登山客入山，就是本身是稀有且有著學術爭議的高山湖泊，再加上蛋形的外形而博得「天使的眼淚」之譽。這意味著一旦嘉明湖的景致消失，是否還吸引前述大量湧入的登山人潮，結果很清楚的是：「大大地失去吸

引力」。知名學者如王鑫（1997）、葉文等（1996）都認為水體是所有景觀中最具吸引力景致，或構景要素；若更具稀有或文化上的特性，吸引力更大，前者則如世界第一高瀑的天使瀑布，以及第一寬瀑位在美加國界上的尼加拉瀑布（都是世界自然遺產）；後者如杭州西湖（世界文化遺產），台灣日月潭等。而因登山客過多造成眾多環境衝擊中，最糟的結果是：嘉明湖加快淤積速度而快速消失；沒有水體的窪地或冰斗能稱作「天使的眼淚」嗎！

（一）加速侵蝕的地形作用

1. 自然沉積

依陳鎮東（1997）每千年 33cm 的自然沉積速率來算，平均深度 6 公尺的嘉明湖將約於 18,000 年後淤滿消失。不過這個計算不納入氣候上的蒸發和降水間的水平衡關係，也不考量東南方冰坎的高度（圖 1），也就是陳肇夏（2000）隕石說的 35 公尺隕石坑最大深度。

2. 凍融作用

凍融作用（frost and thaw action or cycle）是寒凍風化（frost weathering）的一種自然地形營力，也就是氣溫上有著 0°C 上下的環境氣溫變化，造成水體產生結冰和解冰的現象。水結成冰體積會膨脹約 10%，會對周遭土壤或土石產生擠壓的力量而位移，如果這種作用產生在斜坡上，加上重力產生的剪力推移，就是所謂的崩山或崩壞作用（mass movement）。凍融作用主要有兩種類型：季節型與日夜型，台灣的高山屬於日夜型的循環（day and night cycles）（楊建夫，2000）；此外，解冰後，斜坡上的土體因含水而降低抗剪強度，下移速率會加快，下移的量也會增多。這是一種冰緣地貌（periglacial landform）常見地形作用，稱之為土石緩滑（solifluction，有學者另譯成「土石（壤）蠕移」）（圖 7）。



圖 6：嘉明湖營地的冰坎和沖蝕溝



圖 7：嘉明湖畔土石緩滑的凍脹土丘

3. 人為踩踏加速沖蝕

指的是登山步道因人為踩踏，造成凹陷、溝槽化，降雨時易成為逕流（runoff）集中的臨時排水溝谷（gully），產生明顯的溝蝕作用（gully erosion）（圖 8、圖 9）。



圖 8：登山步道因人為踩踏造成凹陷、溝槽化



圖 9：登山步道因人為踩踏凹陷，經強烈降雨後形成沖蝕溝

（二）加速侵蝕的現象

由於登山遊客不斷地湧入、踩踏，以及嘉明湖山區地質上多屬岩質脆弱的板岩，部分抗蝕性高的輕度變質石英砂岩則成了向陽山、三叉山和向陽山北峰等較明顯的山峰。大多抗蝕性差的山區則有著天然崩坍或大型崩坍-如向陽大崩壁，或登山步道受大量且密集人為踩踏形成凹陷、溝槽化（圖 8），甚至成為梅雨、颱風、夏季午後熱雷雨（西北雨或）等降雨強度極大的臨時逕流（runoff）集中的小河溝（或溝蝕作用），在步道沿線邊坡土壤層較厚或是地質更脆弱且較陡的坡面，形成明顯的蝕溝；例如往三叉山和嘉明湖三叉路口前的步道，約 12K 處（圖 9）。

就是因為登山客過多，超過嘉明湖周遭環境的承載量（environmental carrying capacity），所以三叉山下坡往嘉明湖叉路（直昇機停機坪）的步道原本是一條步道，大量登山客，尤其是假日，過於密集的踩踏，造成路面凹陷且經溝蝕作用形成難以行走的溝槽，結果造成登山客以原溝槽化的步道為中心，往兩旁的玉山箭竹草坡自行再踩踏出多條的步道（圖 10）。這些新步道又重新因前述的過程，再度凹陷與溝蝕作用後形成新的溝槽，結果整個溝槽化的步道面積快速擴大；而溝蝕作用則把舊的溝槽化步道繼續加深、加寬，經溝蝕作用的溝槽化步道的土石則被降水沖蝕至嘉明湖畔沉積。所以在步道終點的湖畔可以見到原本步道內的土石在湖岸沖積出的呈手指狀的小型沖積扇（圖 11）。



圖 10：通往嘉明湖原本只有一條登山步道
因人為踩踏造成凹陷、溝槽化後，形成多
條步道，加速沖蝕嚴重



圖 11：登山步道因人為踩踏凹陷、溝槽化後，
沖刷的土石沉積在湖岸邊，使得湖水變淺

六、結論與討論

本研究除了萃取前人冰河與隕石說相關文獻的重要論述外，還透過 2015 年 8 月兩次嘉明湖考察活動，與 2004 年至嘉明湖所見景觀的比較（圖 12、圖 13）。

（一）結論

1、學術爭論的澄清

嘉明湖區的成因有二：隕石說與冰河說。依陳肇夏（2000）研究團隊隕石說的相關文獻，隕石撞擊是在 10 萬年前，約 10 公尺直徑的隕石撞出嘉明湖的隕石坑，約長 330 公尺、寬 210（或 220）公尺、深 35 公尺。冰河說則是有齊士崢（2003）、何立德等（2010）的論點為主；齊士崢（2003）在嘉明湖的端冰磧（terminal moraine）取樣，透過螢光定年認為嘉明湖的冰河在 7000 年前消失（郭雅欣，2008），這意味著，末次冰期冰河來臨時，隕石坑就存在了，反而更容易累積冰雪形成現在橢圓形的冰斗湖或冰蝕湖的形貌，因此研究者認為在形成兩種地形的地質年代並不衝突，兩種成因都曾發生過。不過郭雅欣（2008）曾引朱倣祖駁斥隕石的論點，朱倣祖認為石英碎裂、光滑玻璃現象和含磁鐵礦與鎳的結果，就人為的營火或森林火災也能造成此種高溫石英現象。



圖 12：2004 年所拍攝的嘉明湖景致



圖 13：2015 年 Facebook 網友揹著腳踏車至嘉明湖的景致，明顯的裸露地面積增大

2. 加速侵蝕造成嘉明湖區快速消失

近幾年嘉明湖的登山客的人次急增，造成登山步道因登山客踩踏，以及近幾年颱風和極端降雨事件，已將登山步道沿線多處路段沖蝕成深溝，甚至小型的崩塌地。不少的沖蝕土石堆積在嘉明湖中，造成湖的形狀快速變形和淤積量快速增加，加快消失的時間。在加上冬季寒凍風化凍融作用的擠壓力量，和坡面上重力造成的崩山作用，都使得嘉明湖周圍集水區坡面的土壤層，在透過急增登山客的踩踏加速往湖區滑動，更加速嘉明湖被土石淤滿而消失的時間。若計算近幾年的加速侵蝕量，從 2012 年至今約 4 年，三叉往嘉明湖的步道和原先湖畔露營區的步道共約長 1000 公尺，若只計算主步道，則其槽溝化後平均深 50cm、寬 100cm，兩旁另新踩踏出的多條步道合計其槽溝化的量，約相等於主步道槽溝化的量（南北兩條天然蝕溝的沖蝕量計入陳鎮東所稱的每千年 33cm 的自然沉積量之中；因沒有土石緩滑的測量，所以也不計入因該作用滑入嘉明湖的淤積量）；嘉明湖長約 120 公尺、寬 80 公尺、平均深於 6 公尺。在上述的數據下，4 年來的淤積速度是 1.3cm/yr.；也就是說只依現場目測的人為踩踏溝槽化後，沖蝕至湖中的沉積速率是每年約 1.3 公分，若再加上原本的自然沉積速度，約不到 500 年嘉明湖就消失了。

（二）討論

1. 嘉明湖的成因目前學術文獻多傾向冰河說，齊士崢（2003）在湖的出口找到兩道冰坎與坎上的冰蝕擦痕，和湖岸的端冰碛，以及周遭山區與向陽山的至少 4 個冰斗等重要冰河證據。然而這僅止於重要冰河源頭的冰斗地貌為主，透過內政部最新版兩萬五千分之一的等高線地形圖研判，嘉明湖為中心的東北與西南方共有 6 條平均 3000 公尺以上的平行稜脈，和 5 條寬闊且似 U 字形的谷地。這些地貌特徵在雪山、南湖大山、合歡山等已證實有冰河遺跡的高山區，都有著類似的平行稜脈與 U 形谷地。同樣地理環境的地形對比，是重要地

形學推論同樣地形作用的重要方法之一（崔之久等，2000；楊建夫，2000、2005）。但是目前還無相關學術文獻。

2. 嘉明湖區-至少包括向陽山和拉庫音溪谷地，或整個南二段，是本研究主觀認定的世界級景致；但以學術觀點而言，仍需世界遺產、世界地質公園等認定標準和申報程序，以及美質景觀上等的相關研究來確認。
3. 嘉明湖因加速侵蝕現象產生快速的淤積是事實，不過淤積量和速率目前仍缺乏相關量化的調查資料詳細計算出消失速度。
4. 若以保護區或台灣山林永續經營的面向來看，嘉明湖區目前僅是「關山野生動物重要棲息環境」，雖然屬於保護區的一種，但管制較國家公園（國家公園法）或自然保留區（文化資產保存法）寬鬆；以及相關區內環境破壞復育的相關經費有限。這意味著公部門管理單位的不夠重視嘉明湖區快速消失的重視度外，也極可能受限於經費不足等因素。
5. 嘉明湖的湖名依維基百科的資料，過去生活與此的布農族稱為「Shinubeshi 池」，意為「月亮的鏡子」。不過光復後製作第一版的五萬和兩萬五千分之一等高線地形圖的軍方測量官，因過去的地圖沒有（或沒查閱到）嘉明湖的湖名，因此在現場進行三角測量時，取兩位測量官名字中的各一個字「嘉」和「明」，就成了現在今日在兩種比例尺上地圖的湖名。至於「天使的眼淚」之名，查遍所有文獻和網路資料，完全沒有該稱譽的由來。而 1998 年 11 月 28 日聯合報第 10 版第一次出現嘉明湖隕石坑發現的新聞（標題為：嘉明湖 彗星訪台的足跡），也沒有「天使的眼淚」的報導。所有年代可查證並有著「天使的眼淚」之說的資料、文獻，全都出現在 2003 年齊士崢在《中國地理學會刊》發表〈天神的眼淚-嘉明湖湖盆是隕石坑還是冰斗？〉之後。顯然嘉明湖這個「天使的眼淚」美麗的稱呼，當始於「天神的眼淚」一字之差。

七、引用文獻

1. 王鑫，《地景保育》，1997，頁 147-156。
〈雪山圈谷群第四紀冰河遺跡研究（I）〉，《雪霸國家公園管理處合作計畫》，1998。
〈雪山圈谷群第四紀冰河遺跡研究（II）〉，《雪霸國家公園管理處合作計畫》，1999。
〈雪山圈谷群第四紀冰河遺跡研究（III）〉，《雪霸國家公園管理處合作計畫》，2000a。
〈南湖大山圈谷群古冰河遺跡研究初步探討〉，《太魯閣國家公園管理處合作計畫》，2000b。
2. 何立德、陳淑樺、齊士崢，〈台灣第四紀高山冰川後退模式〉，《地理學報》，59，2010，頁 19-38。

3. 林務局,〈林務局台東林管處 103 年 11 月 4 日處理嘉明湖國家步道總量管制研商會議-伍、討論事項:案由一:為研議本處嘉明湖國家步道入山遊客總量管制事宜〉,2014。
4. 徐美玲,〈野柳多孔狀岩石之研究〉,《國立台灣大學理學院地理學系研究報告》,13,1988,頁 141-155。
5. 崔之久、楊建夫、劉耕年、宋國城、王鑫,〈中國台灣高山第四紀冰川之確証〉,《科學通報》,44(20),1999,頁 2200-2224。
6. 崔之久、楊建夫、劉耕年、宋國城、王鑫,〈季風發展與冰川的消失-從台灣高山末次冰期冰川發育特徵說起〉,《冰川凍土》,22(1),2000,頁 7-14。
7. 陳肇夏、李元希、鍾三雄、何元震、謝凱旋,〈南部中央山脈的嘉明湖窪地是否為一隕石坑?〉,《中國地質學會會刊》,43(4),2000,頁 667-686。
8. 陳肇夏、李元希、鍾三雄、陸挽中、賴慈華、黃文正、謝凱旋、何元震,〈台灣中央山脈南部嘉明湖窪地成因之探討〉,《地質》,20(1、2-合刊),2000,頁 1-20,經濟部中央地質調查所。
9. 郭雅欣,〈嘉明湖是隕石坑嗎?〉,《科學人》,台北市:遠流,77,2008:07,頁 108-111。
10. 楊建夫,〈雪山主峰圈谷群末次冰期的冰河遺跡研究〉【未刊行】,台北市:國立台灣大學地理學研究所博士論文,2000。
11. 楊建夫,〈南湖大山冰河爭論之新証據〉,《第七屆全國大專院校登山運動研討會論文集》,2003:03,頁 15-34。
12. 楊建夫(主持人),〈合歡山區末次冰期冰川地貌發育之特徵〉,《國科會研究計畫》,計畫編號:93-2116-M-426-001,2005。
13. 楊建夫,〈解讀台灣 3000 米以上高山〉,《戶外探索》,17,2014,頁 24-33。
14. 楊建夫,〈冰河作用與冰期的基本認識〉,《中華登山》,171,2015:01,頁 17-22。
15. 楊建夫,〈嘉明湖的爭議〉,《中華登山》,173,台北市:中華民國健行登山會,2015:07,頁 24-27。
16. 楊建夫、崔之久、宋國城,〈台灣高山區上次冰期晚期的雪線高度探討〉,《國家公園學報》,9:11,1999,頁 81-94。
17. 葉文、明慶忠、楊志耘,《雲南山水景觀論》,(昆明:雲南科技出版社,1996),頁 2-4。
18. 齊士崢,〈天神的眼淚-嘉明湖湖盆是隕石坑還是冰斗?〉,《中國地理學會刊》,32,台北市:中國地理學會,2003,頁 1-16。
19. Cui, Z., Yang, J., Liu, G., Wang, X., & Song, G., Discovery of Quaternary glacial evidences of



- Snow Mountain in Taiwan, Chinese Science Bulletin, 45 (6) (Sep.,2000) , pp.566-571.
20. Cui, Z., Yang, J., Liu, G., Wei, Z., Wang, X., & Song, G., The Quaternary glaciation of Shesan Mountain in Taiwan and glacial classification in monsoon areas, Quaternary International, 97-98 (2002) , pp.147-153.
21. Lou, J. Y. and Chen, C. T., Paleoclimatological and paleoenvironmental records since 4000 aB.P. in sediments of alpine lakes in Taiwan, Science in China (Series D) , 40 (1997) , pp.424-431.
22. Hebenstreit, R. and Bose, M., Geomorphological Evidence for a Late Pleistocene Glaciation in the High Mountains of Taiwan Dated with Age Estimates By Optically Stimulated Luminescence (OSL) , Z. Geomorph. N.F., 130 (2003) , pp.:31-49, Germany: Berlin.