

內政部營建署太魯閣國家公園管理處八十九年度研究報告

南湖大山圈谷群古冰河遺跡研究初步調查

The Primary Survey of Glacial Relics Studies in the Cirques of Nanhudasan



執行單位：內政部營建署太魯閣國家公園管理處

研究機構：台灣大學地理學研究所

研究主持人：王 鑫教授

研究人員：楊建夫、郭彥超

中 華 民 國 八 十 九 年 六 月 三 十 日

摘要

台灣高山有無冰河遺跡，學術界有正反兩方的論點。日據時代，日本學者如鹿野忠雄(1932、1934、1935)、田中薰等(1934)、富田芳郎(1934)，以及大陸學者如崔之久(1981, 1989)、施雅風(1989、1992、1994)、李吉均(1989)等，都支持台灣高山區在末次冰期(Last Glaciation)時，應發生過冰河。可是，光復後，台灣地質界卻持河源崩谷的論點。證明冰河遺跡，有賴直接證據與間接證據。直接證據的研究方法著重辨認冰坎(cirque threshold)、擦痕(striation)、冰磧(moraine)和沉積物分析，擦痕和冰坎直接指示冰河的侵蝕作用，而沉積物分析則指示冰積環境和沉積年代。間接證據的研究方法很多，一般多賴地貌調查、地貌幾何特性分析和以古氣候資訊為基礎的雪線重建。在考量研究地點的易達性，以及依據日據時代台灣高山冰河研究文獻所論述的山區後，本研究選擇了南湖大山區進行地貌調查與分析。研究結果上，本研究在上、下圈谷內找到了冰蝕擦痕，在各個圈谷內找到許多冰坎，鑑別出南湖大山區至少分布著 13 個冰斗、4 個冰盆(glacial basin)、1 個殘餘冰斗等的 18 個圈谷，以及 3 條 U 形谷(U-shaped valley)。本研究還發現上、下圈谷的四周坡地，分布著多處石流坡(rock slope)，明顯的指示出現代高山冰緣環境(periglacial environment)。

關鍵詞：末次冰期、直接證據、冰坎、擦痕、冰緣環境

ABSTRACT

There is an argument for a long about whether there are glacier relics in Taiwan alpine regions. To answer the question of the Last Glaciation landform in the Taiwan alpine regions, a survey of the historical physical environment is

necessary. There are two kinds of evidences that support Quaternary glaciers occurred in the high mountain areas, direct evidence and indirect evidence. The study of direct evidence focuses on finding the cirque threshold and striation on the surface of rocks of moraines or rock bars. These are the best evidences for the glacial landform and indicate the glacial erosion processes. While the analysis of sediments and dating can clarify the glacial genesis. The study of indirect evidence focuses on morphometry analysis and snowline reconstruction based on the palaeoclimate. Because of the far accessibility of Shesan, I choose Nanhodashan area as the study area.

According to the results of this study, the following evidences are obtained. In the terms of geomorphological analysis, there are 18 cirques and 3 U-shaped valley in total, and the cirque threshold and striation were found on the bottom in many cirques. At present, many rock slopes along every valley in Nanhodashan area, which indicates a periglacial environment.

Key Words : Last Glaciation、 direct evidence、 cirque threshold、 striation

一、前言

台灣高山有無冰河遺跡，日據時代和光復前、後期的學者們，有著不同的觀點。台灣高山沒有現代冰河，是絕對肯定的事實。但這不表示過去的地質時代裏不曾發生過冰河，也不表示過去曾發生過冰河。有無冰河遺跡，須藉由冰坎、擦痕等的直接証據，與地貌幾何特性分析、雪線重建等的間接証據來論定。雖然在 1934 年鹿野忠雄、田中薰、富田芳郎等學者，宣稱在南湖大山和雪山圈谷群內找到冰蝕地貌的証據，認定台灣高山曾發生過冰河現象。但是光復後，詹新甫(1960)、徐鐵良(民 1990)等學者卻找不到這些冰蝕証據，反而認為是其他地形作用所致。不過，自 1983 年以後，

曾昭璇(1983)、王鑫等(1999)、崔之久等(1999)、楊建夫等(1999)以冰坎、擦痕等的直接證據；王鑫等(1998)、楊建夫(1999)以冰斗地貌幾何特性的分析法，以及楊建夫(1998)、Bose(2000)以雪線重建等的間接證據；多方論証台灣高山冰河的發生。結果顯示，他們的研究結論大多傾向鹿野忠雄的冰河說。然而，冰坎、擦痕等的直接證據，以及冰斗地貌幾何特性和雪線重建等的間接證據分析方法，分散於大量前人的研究。這些研究又以中國大陸東部中、低山地第四紀冰河論戰，所引發研究風潮而積累的文獻最多。這些研究又觸發了近年來台灣高山冰河研究的熱潮。可是，這並不意味著中國大陸東部中、低山地第四紀冰河的大量研究報告，能提供徹底解決台灣冰河爭議的材料；也不意味著台灣高山冰河研究不需要這些文獻。而是需藉由這些數量龐大的論文，釐清第四紀冰河研究的癥結所在，以及提供解決台灣高山冰河問題的思辯方法和證據組合。也唯有如此，才能使台灣高山冰河爭議找尋到最佳的答案。

二、研究意義

(一)環境變遷研究上的意義

大陸學者崔之久(1996)曾言：

中國環境變遷記錄豐富多彩，其中以花粉、古植被、海面變化和山地冰川記錄較為特徵。由此，許多學者從時間序列上歸納出中國末次冰期的季風變化序列。在相互對比後，肯定了各因子變化序列基本上是同步的，可與世界其他各地進行對比。目前國際間特別重視末次冰期以來的古氣候研究，如氣候變化的週期性，不穩定、週期短且變化快的突發事件研究。要有效的解決這一問題必須綜合陸地—海洋—冰川各方面的研究成果，建立確切的時間序列及其在空間上的耦合。

在中國大陸方面，已有許多與上述有關的研究成果，但是在空間上，中國南方出現較多的空白區，對於欲恢復古季風氣候確切的時間序列，突顯了研究不足的遺憾。目前在北京大學裏，已有多位學者如崔之久等，正進行天山—太白山—台灣高山區一線的山地冰河研究，後二者的山地區正位於東亞季風區，而台灣的高山在前述的季風演化耦合機制課題裏，正是中國南方空白最多的區域。

在全球變遷的面向上，關於氣候變化空間演化的研究在北美、歐洲都是以大冰蓋(ice sheet)的進退造成南北方向上的變化為主導，來研究氣候與生態系統的變化。而在中國，除了以緯度為主的年南北方向變化的研究外，在東西方向上，隨季風進退而產生的環境變化，也已日益引起人們的注意，例如在中國西北的黃土分布區，已有豐碩的黃土研究成果。但是其他方面，如冰河、冰緣過程與季風的關係，及泥石流(土石流)與季風的關係，對環境變化在時空分選規律性的研究上，所知甚少(崔之久，1996)。可以肯定的是，東亞季風環流，夏季季風與冬季季風盛衰的時空演替，可反映在風沙—黃土—古土壤的演替中；也一樣反映在冰河進退、冰緣盛衰等的記載中。由此，

我們可以追尋這些可能反映季風盛衰的地貌線索其空間分布的規律性。若能通過建立可信的年代序列把台灣高山區—太白山(3767m)—天山(5140m)一線的冰河系列性質與演化，以及與海流及海面變化進行對比，從海陸相互作用的機制中探討東亞季風強弱及空間演化，則可能會有新的發現與認識(崔之久，1996)。

這呼應前述問題緣起所強調的「高山冰河、冰河地質與冰緣環境是近30年來才發展出的地形學研究領域」。若套入環境變遷的議題中，台灣高山末次冰期的冰河現象與冰緣環境變遷，蘊藏大量的環境變化的資訊。可是，目前台灣高山區第四紀冰河地形與冰緣的研究，卻誠如崔之久所言的「正是中國南方空白最多的區域」。

(二)環境保育上的意義

台灣整體發展已逐漸轉向環境保育重於經濟開發的政策，這也是台灣邁向已開發國家時，未來國家整體發展的主要方向。六座國家公園的成立代表環保運動上的重大勝利。然而環保是全民性的，不能侷限於少數環保團體與人士。因此，國家公園的時代意義與功能需要全面性的宣傳與倡導，使全民產生對環境的關懷，並使環保成為每個人生活作息的一部分。要達成此目標，首要工作之一，就是讓全民知道國家公園在維護或保護何種稀少性與珍貴性的資源，以及為何要保育這些資源。台灣是個擁有兩百多座三千公尺以上山峰的高山島嶼。六座國家公園中，雪霸、玉山與太魯閣三座都屬於高山資源型的國家公園，地形、地質、與地理景觀(含生物)是這三座國家公園最主要的自然資產。在高山地形上，南湖大山、雪山與玉山等山區，一直被認為擁有冰河地形遺跡—冰斗地形。然而是否真為冰河地形，在學術上至今仍無定論。如能透過學術研究，找尋到直接和間接上的証據，証實是冰河時代所遺留的地形，就更能突顯地形、地質上的稀少性與珍貴性，在環境保育上也有著重大的意義。

(三)學術上的爭論

台灣高山有無冰河遺跡，一直是台灣地形界的懸案。日據時代與大陸的學者，大多持肯定的看法。可是光復後的台灣地形、地質界多持反對的觀點。台灣高山地區的冰河地形在學術界的研究中，至今未能提出肯定的答案。除了六十多年前多位日本學者對台灣高山區從事地形、地質研究外，至今台灣無人再有更進一步的探討。所有對於台灣高山地形、地質，尤其是末次冰期地形遺跡的認識，台灣各界至今仍引用六十多年前日本學者的研究文獻，這是一項遺憾。雖然雪山圈谷群與南湖大山上、下圈谷皆已畫

入生態保護區嚴加保育，但是如能透過系統且詳盡的學術研究証實確是冰河遺跡，必然大大強化將這些圈谷畫入生態保護區的意義。因為這是一萬多年前大自然的遺產，全球少見的低緯度古冰河遺跡。同樣位於東亞島弧的日本，甚至比台灣更低緯的新幾內亞高山區，都曾進行過大規模高山地形的研究，証實末次冰期在這些高山島嶼上留下遺跡。南湖大山區的圈谷群是台灣最可能留有末次冰期遺跡的高山地帶，尤以主峰與東峰間的上、下圈谷形狀保留得最完整，且面積也大。它們是台灣高山第四紀冰河遺跡研究最理想的地區。

(四)鄉土教育上的意義

現今全台各界正努力推行鄉土及環境教育，台灣高山地區在地形、地質上可供參考的資料不多。雖然六十多年前日據時代有多篇台灣高山的研究報告，但都是描述地形、地質特徵的初步調查。在鄉土教材上，台灣高山區必定占有相當的篇幅，然而所能參考的文獻不多。現行的中、小學教科書，甚至大學用書，有關台灣高山地形的內容，幾乎全是引用日據時代的文獻，例如「最高隆起平原」、「玉山山塊」、「大武地壘」、高山「圈谷」，等等。光復後至今，地形學有許多新的理論、學說和新的觀念和解釋，以及許多新發展的地形學科。例如新發展的地形學領域有冰河地形學(glacial geomorphology)、冰緣地形學(periglacial geomorphology)等；在新觀念、新解釋上，熱帶 3000 公尺以上高山區的地形作用，已被認為是寒凍風化(frost weathering)為主，屬於冰緣區的範圍(Gerrard, 1990)。這些全是日據時代所沒有的地形觀念、解釋和領域。高山研究的成果可以藉由鄉土教材推廣給所有民眾。

三、研究目的

基於前述，本研究研擬出以下四個目的：

(一)環境變遷研究方面

填補中國南方環境變遷研究上的空白區，並提供台灣 10 萬年時距反映氣候變化的地貌變遷資訊。

(二)環境保育方面

藉由本研究成果，提供南湖山區地形、地質景觀資源稀少性、生動性與複雜性地景屬性依據，尤其是主峰周圍的 U 形谷、冰帽、冰斗與冰盆群，不但是全台僅見的冰河遺跡，也是世界少數擁有豐富冰河地貌類型於一地的山區。

(三)學術爭論方面

藉由直接與間接的多項證據，探討近 70 年來台灣高山冰蝕地形的爭論，澄清台灣高山末次冰期與現在的地形作用環境，以及提供第四紀冰河問題與高山冰緣環境的研究方法，期能建立台灣高山地形研究的基礎。

(四)鄉土教育方面

由於台灣高山區的鄉土資料非常缺乏，而高山區又是台灣地理景觀最壯麗的地區。所以本研究希望能藉由南湖大山冰河地形的研究，帶動高山區的學術研究風氣，以豐富台灣高山區鄉土教材地形、地質方面的資料庫。尤其是南湖主峰與東峰之間的平坦鞍部，是台灣高山唯一冰帽的分布區，也是世界熱帶高山地區少數的古冰帽遺跡。

四、前人的研究成果

台灣高山有無末次冰期冰河的遺跡，一直是學術長久爭論的問題。日據時代的日本學者，大陸和德國從事第四紀冰河研究的學者，以及近來台灣研究高山地形的學者，都肯定台灣高山存留末次冰期的冰河遺跡。然而光復後詹新甫(1960)與徐鐵良(1990)卻持反對的論點。由於正反兩派所提論點的年代，分別差了30年與40年，造成立論依據差異極大。所以有必要以時代為劃分依據，將正反兩派論點與發現加以對比，或可有助於釐清台灣高山冰河問題。因此，本研究將台灣冰河的爭議劃分成日據時代、光復初期與近期研究的三個時期。

(一)日據時代

台灣有無冰河地形，在學術界爭論了近七十年。首次提出台灣高山發生冰河的學者，是現今台灣大學前身台北帝大地質系教授早土坂一郎。他在1929年寫了一篇論文，刊登在“台灣博物學會會報”的第19卷。這篇論文引用矢部長克在1929年調查台灣高屏溪出海口海底地形，發現海平面以下

600 公尺海底有溺谷存在的論點。由此，推斷台灣曾比現在高出約 1000 公尺(山崎柄根著，楊南郡譯註，1998)。這段論文內容雖然未指明台灣高山區何處分布著冰河，但這已引起了鹿野忠雄的高度關切。因而導致他在 3 年後的 1932 年，發表「台灣高山地域於二三地形學的觀察(一)」的報告。這是台灣最早發現冰河遺跡的文獻。之後，引起台灣高山冰河遺跡調查的熱潮。例如 1934 年鹿野忠雄的雪山冰河地形研究，同一年田中薰、富田芳郎的南湖大山圈谷地形研究，1936 年佐佐保雄的玉山冰蝕地形調查等等，其中以鹿野忠雄的論文最多、最詳盡。這些日本學者，都發現了台灣高山地區留有許多冰蝕的遺跡，由於高度上多分布在 3300 公尺以上的山區，因而認為台灣山地只要高度在 3300 公尺以上高山地帶應該都留有冰河地貌。依據鹿野忠雄的調查，台灣高山約有 80 個冰斗(表 1)，其中以雪山山塊最多，共有 35 個，高度多在 3500 公尺以上(林朝棨，1957)。南湖大山區共有 19 個冰斗，其中 12 個密集分布在主峰周圍，高度多在 3300 3500 公尺(圖 1)。而這些冰斗的高度又與雪線高度密切相關，所以依冰斗分布的高度，鹿野認為末次冰期時南湖大山區的雪線大致在 3300 公尺附近(林朝棨，1957)，而雪山則在 3500 公尺左右。

(二)光復後的研究

光復後，台灣地形、地質界學者從事第四紀冰河的研究並不多，光復前期只有詹新甫於 1960 年所發表，題為「台灣南湖大山冰蝕地形問題商榷」的一篇論文，反對日據時代鹿野忠雄等學者冰河說的論點。光復後期論文較多，由劉志學於 1986 年所發表一篇題為「再論南湖大山之冰蝕地形」的論稿，支持日據學者的冰河說，而反對詹新甫的觀點。之後，徐鐵良於 1990 年在《地質》期刊第十卷第一期也發表一篇名為「南湖大山所謂冰川地形之檢討」的短論，傾向支持詹新甫的論點。

表 1：台灣高山圈谷數量表

分布山區	數量
雪山	35
南湖大山	19
玉山	11
奇萊連峰	6
秀姑巒山	3
中央尖山	2
合歡山	1
無明山	1
畢祿山	1
能高山	1
總計	80

資料來源：鹿野忠雄(1934)。台灣次高山彙於冰河地形研究(第 1 報)3。地理學評論，10(9):817-835。

不過，大陸知名的地形學者曾昭璇教授，曾於 1981 年代初攀登台灣玉山等高山時，觀測到這些高山在 3000 公尺以上山區，分布著許多冰河與冰緣地形。所以返回大陸後不久，也即 1983 在《熱帶地理》期刊中，發表一篇題為 台灣高山冰川地貌問題 的論文，論述雪山、南湖大山、玉山、中央山地等山區冰河與冰緣地形的分布，更並認為台灣的冰河遺跡應屬大理冰期的產物。

1995 年費立沅等在《雪霸國家公園道路沿線工程地質及地形景觀研究》伍：地形地質景觀解說 一節中，論及雪山圈谷的成因，其論點與詹

新甫和徐鐵良兩位學者相近，是反對冰河說的。同年周秉根在《中國地理學會會刊》第 23 號發表一篇題為 中國東部更新世古地理環境初探 ，多方論述包含台灣在內的中國東部中低山地發生冰河的可能性。1998 年王鑫等學者進行一系列《雪山圈谷第四紀冰河遺跡研究》計畫的野外調察時，在雪山主峰周圍的圈谷群的谷內也找到許多冰河遺留的証據，因而同意鹿野忠雄的冰河說。1997 年德國學者 Bose 在義大利召開的第四屆國際地形大會，發表一篇台灣雪山與南湖大山存在冰河地形的論文摘要。兩年後，她以這篇論文摘要為基礎，於 2000 出版的《*Geomorphology and Global Environment Change*》一書第二章：Glacial Landforms in Taiwan and a Reinterpretation of the Last Glacial Snowline Depression 中，詳細論說末次冰期早期與晚期時，台灣高山的雪線高度。

1998 年的楊建夫以及 1999 年的楊建夫、崔之久、宋國城發表台灣的雪線重建的論文，論述台灣高山現在與末次冰期晚期的理論雪線高度。1999 年，崔之久、楊建夫等人在中國大陸的《科學通報》發表 中國台灣高山第四紀冰川之確証 的論文，及 2000 年在《冰川凍土》發表 季風的發展與冰川的消失—從台灣高山末次冰期冰川發育特徵說起 的論文，論述雪山山區分布著 3 套不同時期的冰河遺跡。

(三)論點癥結

綜合各方的論點，光復後，台灣地質界多持非冰河說。除徐鐵良外，正、反雙方都至南湖大山和雪山山區進行過現場勘察，卻得出迥然不同的結論。詹新甫、徐鐵良與費立沅三方都認為南湖大山上、下圈谷和雪山 1、2 號圈谷，基本上都由地質構造控制其發育，詹新甫更認為是常態侵蝕下的地形。此外，徐鐵良以台灣山區河流源頭，都會發育出類似圓弧形的半

碗狀凹谷，也就是圈谷地形，呼籲研究者需多進行野外調查，仔細觀察和比對，不要誤以為河流源頭的圓弧形谷地，一定是冰河形塑而成的。詹新甫、徐鐵良與費立沅三方的論點相近，偏向河流地形和構造地質上的探討，但是缺乏冰河地形上直接證據，和古氣候、雪線高度和地貌幾何特性等間接證據上的分析。劉志學雖然舉出擦痕、冰礫阜等直接地貌證據，以及花粉研究證實晚更新世曾發生過冷期的間接證據，推測南湖大山應殘存冰河遺跡，但是論述不夠詳細，也缺乏文獻的支持。王鑫等學者雖發現直接證據的冰坎和冰碛壟，但沒有定年資料的佐証，以及論述冰坎的冰河地貌特性。所以對論証台灣高山冰河發生，証據上不夠充分。

綜合上述，台灣高山冰河地形爭論的癥結是：真假冰蝕地形。

表2：光復後台灣高山冰河地形爭論主要人物與論點摘要

論戰人物	發表時間	發表期刊	地形作用	立論依據	所見事實
詹新甫	1960	中國地質學會會刊，第3卷，109~111頁	1.向源侵蝕 2.岩性與構造控制 3.崩山作用	1.地形平緩處屬前期侵蝕循環 2.溪谷均為幼年期 3.板岩易剝落 4.坡面流水沖刷岩屑 5.更新世冰期氣候與今日無異	1.東南坡(傾斜坡)較緩，西北坡(崖坡)較陡，故構造控制上、下圈谷的發育 2.找不到冰斗湖 3.溪谷均呈V字形且也無懸谷 4.板岩上的擦痕是由滾落的石英沙岩所磨蝕出來的
曾昭璇	1983	熱帶地貌，第4卷，第2期，25-28頁	1.冰河作用	1.台灣山地高度大 2.氣候潮溼多雨，冰期時高山區可累積足夠冰雪 3.現場考察發現多種冰河地貌	台灣高山區分布許多擦痕、冰斗等冰河地貌，及石海等冰緣地貌
劉志學	1986	演化，第8期，65~66頁	1.冰蝕作用	1.花粉學上的古氣候依據 2.林口台地原生紅土的殘存 3.溪頭集水區不夠大	1.下圈谷呈巨大深凹的U形谷 2.南湖北峰為V形谷 3.下圈谷可見擦痕岩石碎片 4.尾碛呈冰礫阜構造

徐鐵良	1990	地質，第1卷第1期，79頁	1.向源侵蝕 2.風化作用 3.構造控制	1.台灣每年風雨侵蝕劇烈，若有冰河遺跡必定蕩然無存 2.河源頂端多呈半圓形陡壁	未至現場觀測
費立沅 劉桓吉 賴典章	1995	雪霸國家公園道路沿線工程地質及地形景觀研究	1.向源侵蝕 2.風化作用 3.岩性與構造控制	1.觀察雪山附近之岩層組構、岩層位態(產狀)、半碗狀谷底的形狀及其堆積物等特性	1.未察遍所有類似冰蝕地形。 2.看法與詹新甫和徐鐵良較接近
周秉根	1995	中國地理學會會刊，第23號	除少數高山外，中國東部中低山地無冰河作用	1.根據海陸對比關係，以及古地貌、沉積物、古氣候、古植物特爭探討中國東部地區末次冰期的古地理環境 2.以揚子鱷的生態特性修訂中國東部晚更新世的氣溫	1.更新世冰期中國東部山地的海拔高度不及今日高 2.除大興安嶺、太白山、台灣玉山有過冰河作用外，其他山地無冰河作用
楊建夫	1996	中日地形聯合大會論文集，119-122頁	1.冰河作用 2.雪蝕作用	1.以玉山北峰測站資料研判台灣高山區的現在氣候下的地形作用環境 2.冰斗和雪蝕斗的成因分析	1.由玉山北峰氣候資料研判，台灣高山現在的氣候屬於冰緣環境 2.雪山1、2號圈谷與南湖大山上、下圈谷規模大，可能由冰蝕作用而成
王 鑫 崔之久 宋國城	1998	雪山圈谷群第四紀冰河遺跡研究(I)	1.冰河作用 2.冰緣環境	1.以地勢分析法調查雪山圈谷群的地貌環境 2.以地貌幾何特性分析雪山主峰圈谷群接近真正冰斗程度 3.論點與鹿野忠雄較接近 4.以擦痕、冰坎等直接證據論證雪山確實存在冰河遺跡	雪山主峰圈谷群發現冰坎、擦痕等直接證據
	1999	雪山圈谷群第四紀冰河遺跡研究(II)			
楊建夫	1998	海峽兩岸環境地形研討會論文集(台灣部分)，81-91頁	以理論雪線模式來間接證實台灣在末次冰期發生冰河的可能性	1.以玉山北峰測站資料研判台灣高山區的現在氣候下的地形作用環境 2.由花粉研究得知上次冰候的古氣候環境，以此重建末次冰期雪線高度	1.台灣高山現在理論雪線約為4300公尺 2.台灣高山末次冰期晚期雪線為3600公尺

楊建夫 崔之久 王 鑫 宋國城	1999a	海峽兩岸環境地形研討會論文集(台灣部分), 44-60頁	1.冰河作用 2.冰緣作用	1.直接證據：著重擦痕與冰坎的研判與沉積物分析 2.間接證據：採地貌分析法與雪線重建	1.直接證據上找到擦痕、冰坎等 2.間接證據上雪山主峰圈谷群地地貌幾何特性相當類似真正的冰斗
	1999b	地質, 第19卷, 第2號, 頁16-20	1.冰河作用 2.冰緣作用	1.直接證據：以旋轉滑動理論解釋冰斗和冰坎的成因 2.間接證據：以雪線重建推估雪線高度	1.發現冰坎 擦痕等冰蝕證據, 以及碎石坡等冰緣地形 2.末次冰期時台灣玉山 雪山等高山都在雪線以上
楊建夫 崔之久 宋國城	1999	國家公園學報, 第9卷, 第1期, 81-94頁	以理論雪線模式來間接證實台灣在末次冰期發生冰河的可能性	1.以玉山北峰測站資料研判台灣高山區的現在氣候下的地形作用環境 2.由花粉研究得知上次冰候的古氣候環境, 以此重建末次冰期雪線高度	1.台灣高山現在理論雪線為4314公尺 2.台灣高山末次冰期晚期的雪線為3500-3600公尺
崔之久 楊建夫 劉耕年 宋國城 王 鑫	1999	科學通報, 第44卷, 20期, 2220-2224頁	1.冰河作用 2.3套不同時期的冰河作用遺跡	1.現場的地貌調查 2.沉積物的TL定年 3.擦痕、冰坎直接證據研判	1.雪山主峰圈谷群分布3套不同時期的冰河遺跡 2.台灣高山在末次冰期時, 同時存在早晚冰階
	2000	中國地質學會八十九年年會暨學術研討會(大會手冊暨論文摘要), 頁259-261	冰蝕作用	1.現場的地貌調查 2.擦痕、冰坎直接證據研判	1.雪山主峰圈谷群谷底都分布著冰坎 2.1號圈谷的5號冰坎出露擦痕和磨光面 3.5號和7號圈谷是冰斗湖
	2000	冰川凍土, 第22卷, 第1期, 頁7-14	1.冰河作用 2.冰積作用	1.現場的地貌調查 2.沉積物的TL定年 3.擦痕、冰坎直接證據研判 4.末次冰期全球各地雪線下降高度的對比	1.雪山主峰圈谷群分布3套不同時期的冰河遺跡 2.台灣高山在末次冰期時, 同時存在早晚冰階 3.台灣高山在末次冰期雪線下降1000公尺是合理的

楊建夫	1999	建中學報，第 5 期，349-370頁	以理論雪線模式來間接證實台灣在末次冰期發生冰河的可能性	1.以玉山北峰測站資料研判台灣高山區的現在氣候下的地形作用環境 2.由花粉研究得知末次冰期的古氣候環境，以此重建末次冰期雪線高度	1.台灣高山現在理論雪線約為4300公尺 2.台灣高山末次冰期晚期雪線為3600公尺
Margot Bose	1997	Fourth International Conference on Geomorphology (abstracts),p91	1.冰河作用 2.冰緣作用	1.以航照判別雪山和南湖大山區的地貌特性 2.以玉山北峰測站資料研判台灣高山區現在氣候下的地形作用環境	由航照研判出雪山與南湖大山分布典型冰河與雪蝕地貌
	1999	Geomorphology and Global Environment Change	1.冰河作用 2.冰緣作用	1.以航照和等高線圖判別雪山和南湖大山區的地貌特性 2.以河流源頭谷地的縱剖面特性，鑑別出冰河與河流作用的差異 3.以玉山北峰測站資料研判台灣高山區的現在氣候下的地形作用環境 4.由花粉研究得知末次冰期的古氣候環境，以此重建末次冰期雪線高度	1.由航照研判出雪山與南湖大山分布典型冰河與雪蝕地貌 2.受東北季風和高空西風影響台灣高山發育良好冰斗多朝向東北和東南方向 3.由雪線重建得知末次冰期雪線，玉山為3300公尺，南湖大山為3100公尺
Zhijiu Cui , Jianfu Yang, Gengnian, Xin Wang & Guocheng Song	2000	Chinese Science Bullitin , 45(6):566-571	1.冰河作用 2.冰積作用	1.現場的地貌調查 2.沉積物的TL定年 3.擦痕、冰坎直接證據研判	1.雪山主峰圈谷群分布3套不同時期的冰河遺跡 2.台灣高山在末次冰期時，同時存在早晚冰階

(四)雪山的古冰河研究

雪霸處於 1998 和 1999 連續兩年委託台大地理系王鑫教授進行 雪山圈谷群第四紀冰河遺跡研究。這兩期的研究區皆以雪山主峰圈谷群為主，其周圍共分布著 8 個圈谷，其研究結果如下：1.直接證據方面，找到了擦痕和冰坎等地貌證據，並鑑別出雪山主峰周圍分布著 8 個冰斗，以及判別出 5 號和 7 號圈谷是冰斗湖。這證實了雪山圈谷群在末次冰期確實發生過

冰河作用。2.間接証據方面，依地貌分析法(terrain analysis)，雪山主峰圈谷群在地貌幾何特性上，無論是直寬比、直高比與平坦指數，都相當接近冰斗的形貌特徵，尤以 1 號圈谷的規模最大，冰斗發育的程度也最高。

五、研究地區自然環境概況

依鹿野忠雄(1934)的調查，南湖山區共有 19 個圈谷，其中 12 個集中分布在南湖大山主峰、北峰、東峰與東北峰之間(圖一)。除北峰東北面的 5 號圈谷外，其餘均為完整圈谷。基於此，本研究擬以這 12 個圈谷為研究區。

(一)地形環境

南湖大山主峰附近高山林立，許多山峰和稜脈高於 3500 公尺，高度上是台灣僅次玉山山塊和雪山山塊。林朝榮(1957)認為南湖大山山塊原本與其西方的雪山山塊相連，屬同一個山塊，後受地塊運動形成地壘狀山地，之後兩山塊之間發生斷裂，形成匹亞南構造線(梨山斷層)，將兩山塊分割東西兩側。

南湖大山是中央山脈北段最高的山地。中央山脈主稜自南湖北山往西南至南湖北峰後，稜脈急轉向東，至東北峰後又轉向南至南湖東山；過東山再轉西南至主峰；過主峰後，再折向南南西，共有四個明顯的轉折點。南湖的圈谷群密集分布在北山與主峰間的中央山脈主稜兩側，依鹿野忠雄(1934)的調查共分布著 12 個圈谷(圖 1)。

本研究區內的重要山峰計有南湖大山主峰(3742m)、南湖北山(3536m)、南湖北峰(3592m)、南湖東山(3632m)、南湖東北峰(3557m)等五座，其中主峰、北山和東山是著名的百岳山峰。

(二)地質環境

南湖山區的地層主要由板岩構成，時夾有薄層細粒砂岩、始新世礫岩及石灰岩。因此，吳景祥(1975)認為構成南湖大山的地層，一部分為始新世地層，而其西斜面可能為中新世地層。根據 1997 年二版由何春蓀編著的台灣地質概論，南湖山區的這個始新世地層稱為畢祿山層(圖 2)。本研究區內 12 個圈谷的岩層，主要以板岩為主，如北峰經東北峰、東峰至主峰的稜脈，出露多處板岩露頭，但主峰頂卻出露石英砂岩為主的變質砂岩。南湖山區的這變質砂岩，呈帶狀分布，由主峰經南湖南峰南延至中央尖山。中央尖山更出露粗粒石英砂岩，甚至石英礫岩。在差異侵蝕下，這個帶狀的石英砂岩區往往形成南湖山區主要的稜脈與突出的山峰。

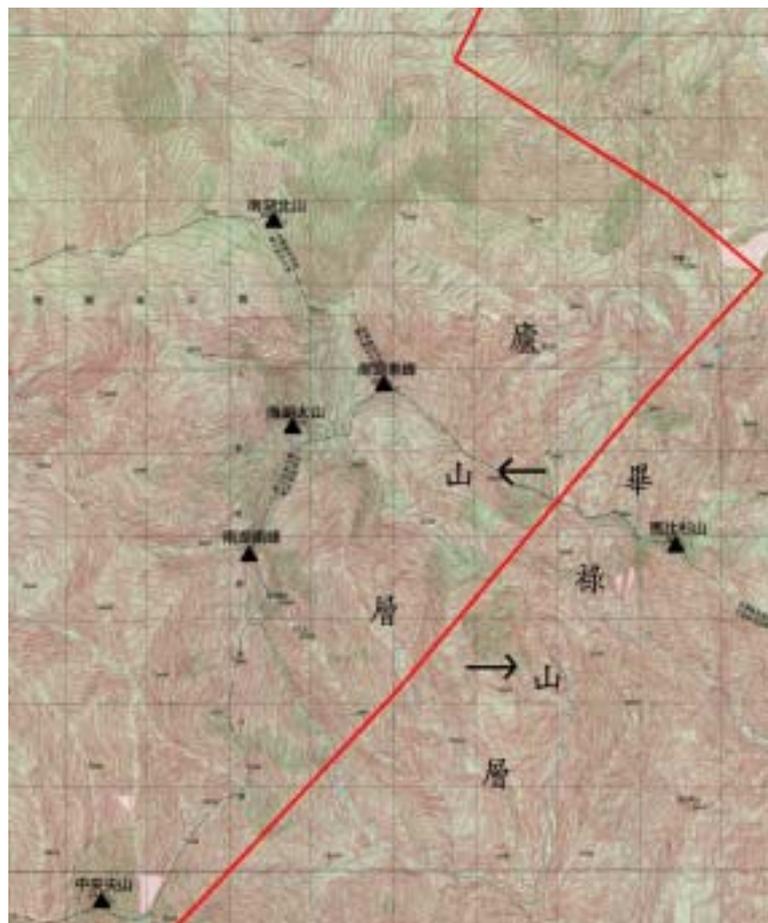


圖 2：南湖大山區地形、地質圖

(三)氣候環境

南湖大山山區半徑 50 公里內隸屬中央氣象局的氣象雨量站有三個，分別是觀霧、梨山和合歡山(表 3)。由於本計畫的研究區大都在 3300 公尺以上的山區，觀霧測站高 2087 公尺，梨山測站高 1980 公尺，高度都差了 1300 公尺。合歡山測站位南湖大山主峰西南方 30 公里的合歡山主峰頂，標高 3370 公尺，高度相當接近本計畫的研究區。梨山測站除了高度過低外，其位於合歡山北坡山腰的位置，與本計畫研究區多接近山頂的特性，差異過大。所以本研究選擇高度具有代表性的合歡山測站，描述南湖大山山區的氣候環境。

表 3：南湖大山主峰附近氣候站基本資料表

站 碼	站 名	區 域	測站高度	設立年分	距離南湖山區
COE41	觀 霧	苗栗泰安鄉	2087 公尺	76 年 5 月	35 公里
COF86	梨 山	台中和平鄉	1980 公尺	79 年 7 月	25 公里
COF95	合歡山	南投仁愛鄉	3370 公尺	79 年 7 月	30 公里

表 4：合歡山測站年平均氣溫與降水量資料表

月分 項目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年 均 溫 與 年 降 水 量
溫度()	-0.2	0.1	1.9	5.4	7.1	8.5	9.6	9.2	8.4	7.2	4.9	2.0	年均溫：5.3
雨量(mm)	87.7	267.7	505.2	319.5	665.5	608.2	203.7	475.5	137.5	61.8	46.0	43.3	年降水量：3420.6

依表三的資料，合歡山測站的年均溫為 5.3 ，最冷月 1 月的月均溫為 -0.2 ，是唯一低於 0 的月分；最暖月是 7 月，月均溫為 9.6 ，其餘各月均溫在 0 10 之間。南湖大山圈谷群大多位於 3300 公尺以上的高度上，約略與合歡山測站等高。

降水量上，合歡山測站位於南湖大山主峰西南方 30 公里，因水平距離所造成降水量上的空間差異效應不大。南湖大山圈谷群的位置接近稜頂，各圈谷的谷口方相朝北或東北，消除地形造成的背風效應。而位合歡山北坡的梨山，其年平均降水量不到 2000mm，除因其位居夏季西南季風的背風側外，北方比合歡山還高大的雪山山脈，也阻擋了冬季東北季風的溼氣。所以梨山地區的降水量遠低於合歡山山區。

由迎風效應上研判，南湖山區比合歡山區更偏東北方，所以冬季時東北季風應在南湖山區降下比合歡山區更多的降水。合歡山山的年平均降水量為 3420.6mm(表四)，南湖山區的年降水量應高於 3400mm，這比平地降水量高出許多，所以陳正祥(民 46)在氣候分區上，將這種高寒地帶分類為寒帶重溼氣候區。

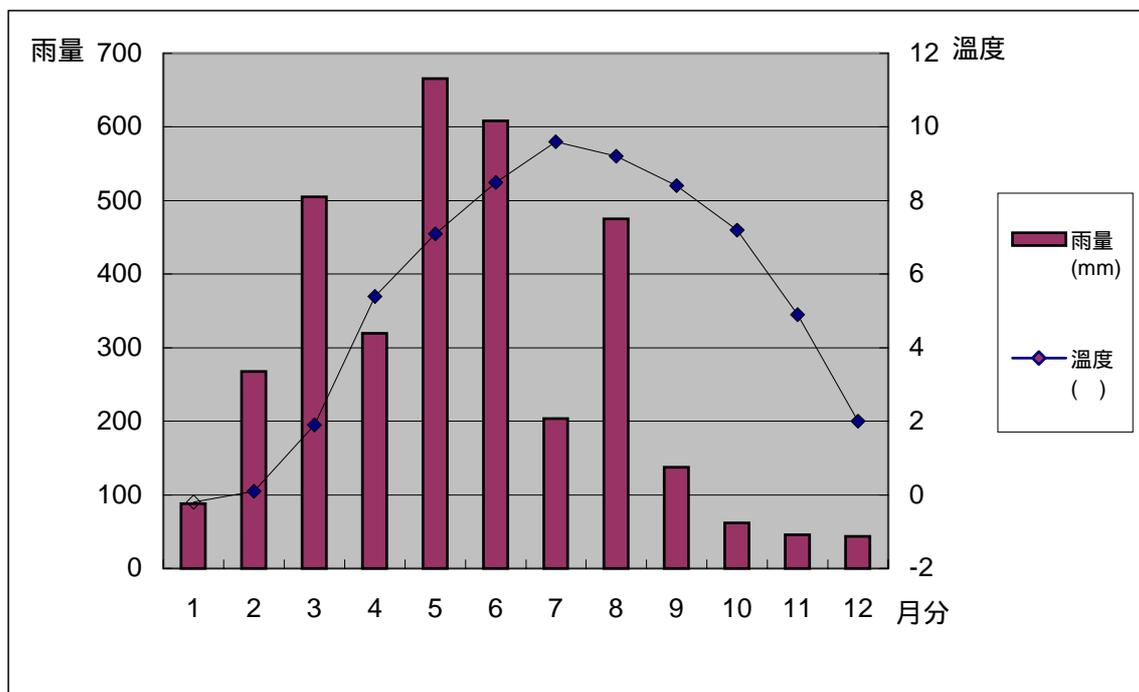


圖 3：合歡山測站氣候圖

六、研究方法

方法上，本研究著重冰河作用證據的找尋與研判。而冰河作用所遺留的證據可分直接證據與間接證據兩種，操作上分田野調查與室內分析兩項進行。

(一)直接證據

證明台灣高山區到底有無冰河地形遺跡，最直接的方法之一，就是找尋冰河作用的痕跡。這些痕跡包括冰坎、擦痕、磨光面等直接冰蝕的遺跡，以及冰磧剖面的沉積物分析。可能留有這些冰蝕遺跡的地點，位於圈谷周圍的陡崖坡面，以及圈谷底的基岩和堆積碎屑底下冰磧石的岩面上。由於台灣高山寒凍作用與塊體運動(即崩山作用)非常的劇烈，末次冰期結束至今的一萬年來，這兩種作用極可能將圈谷區原冰斗周圍陡崖的冰蝕痕跡摧毀殆盡。因此，在南湖大山的上下圈谷找尋冰蝕證據，極可能徒勞無功。較可能留有冰蝕擦痕與磨光面證據的堅硬岩面，應在圈谷底的丘狀基岩和碎屑中。理由是，末次冰期留有擦痕與磨光面的基岩和冰磧石，大都被冰後期寒凍作用崩裂與塊體運動掉落的碎塊，以及植生給覆蓋住，形成了保護作用。被埋在底層的岩石碎屑和植生覆蓋下的基岩面，留下冰蝕痕跡的可能性很高。找尋冰坎、擦痕與磨光面，需在圈谷底或四周斗壁部丘狀基岩面上，清除植被與風化碎屑。

(二)間接證據

間接證據有下列兩種分析法：地貌幾何特性分析和理論雪線。前者是

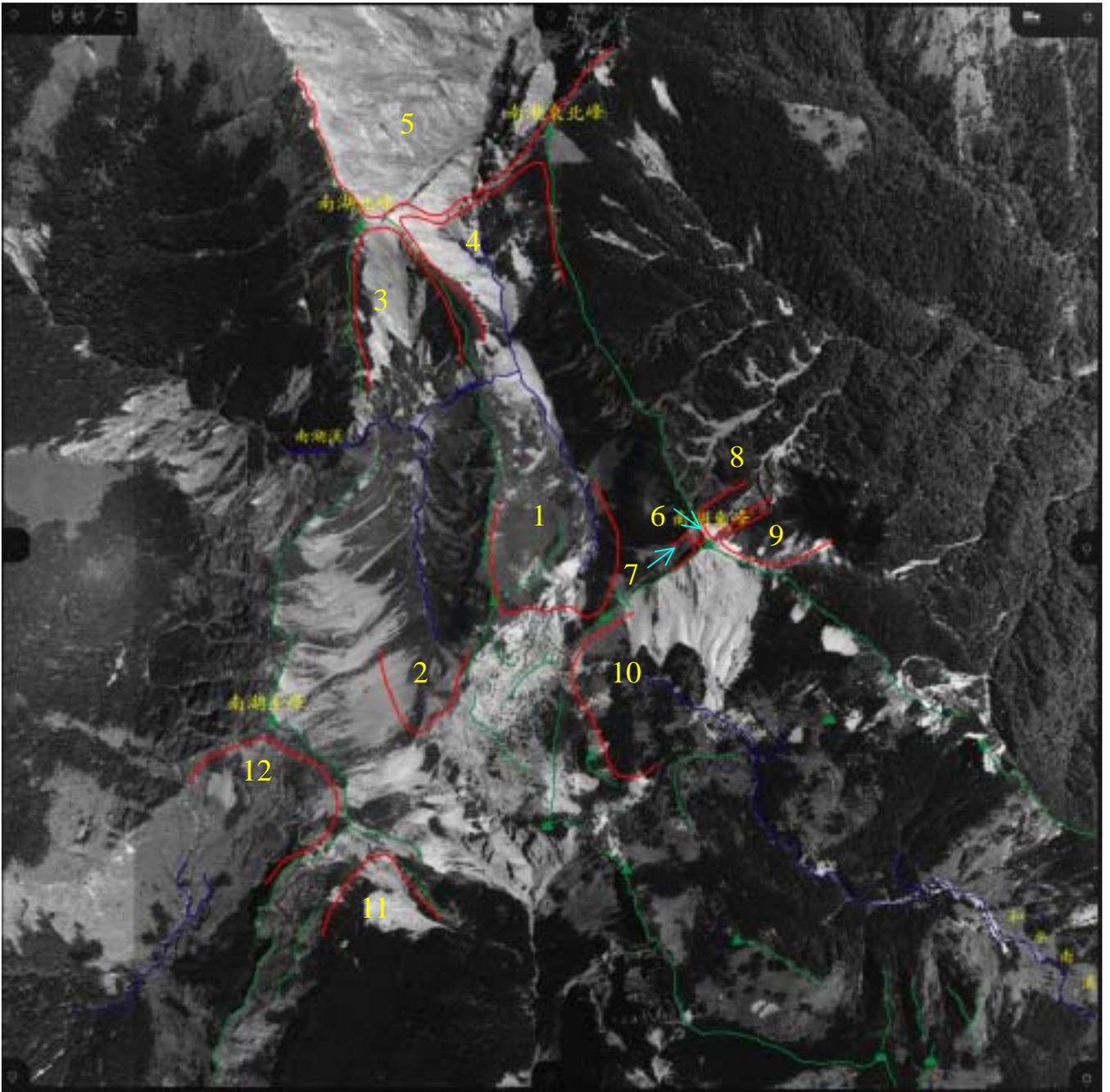
依 Andrews(Embleton and King,1975)等人的冰斗定義，分析雪山主峰圈谷群接近冰斗的程度；而後者是依施雅風(1988、1989)雪線年積量與消融量平衡線所在的原理，推算台灣高山區現在理論雪線與末次冰期雪線的高度。

七、南湖大山區冰河地貌初步分析

依據現場的地貌調查以及室內的航照判圖，本研究在南湖大山區發現 3 個 U 形谷、18 個圈谷、1 處冰貌等的主要冰河地貌(圖 5)，以及多處冰坎、冰磧丘和擦痕等直接鑑別冰河作用的地貌證據。這些古冰河遺跡比 1934 年田中薰、鹿野忠雄等學者所發現 1 個 U 形谷、12 個圈谷(圖 4)、1 處冰帽，以及少處幾處擦痕等的冰河遺跡，豐富了許多。除此之外，本研究還在上、下圈谷的四周谷壁發現許多布滿碎石的山坡，這些全是屬於冰緣地貌的石流坡，足以說明南湖大山現在的地形作用環境是以冰緣環境的寒凍風化為主。

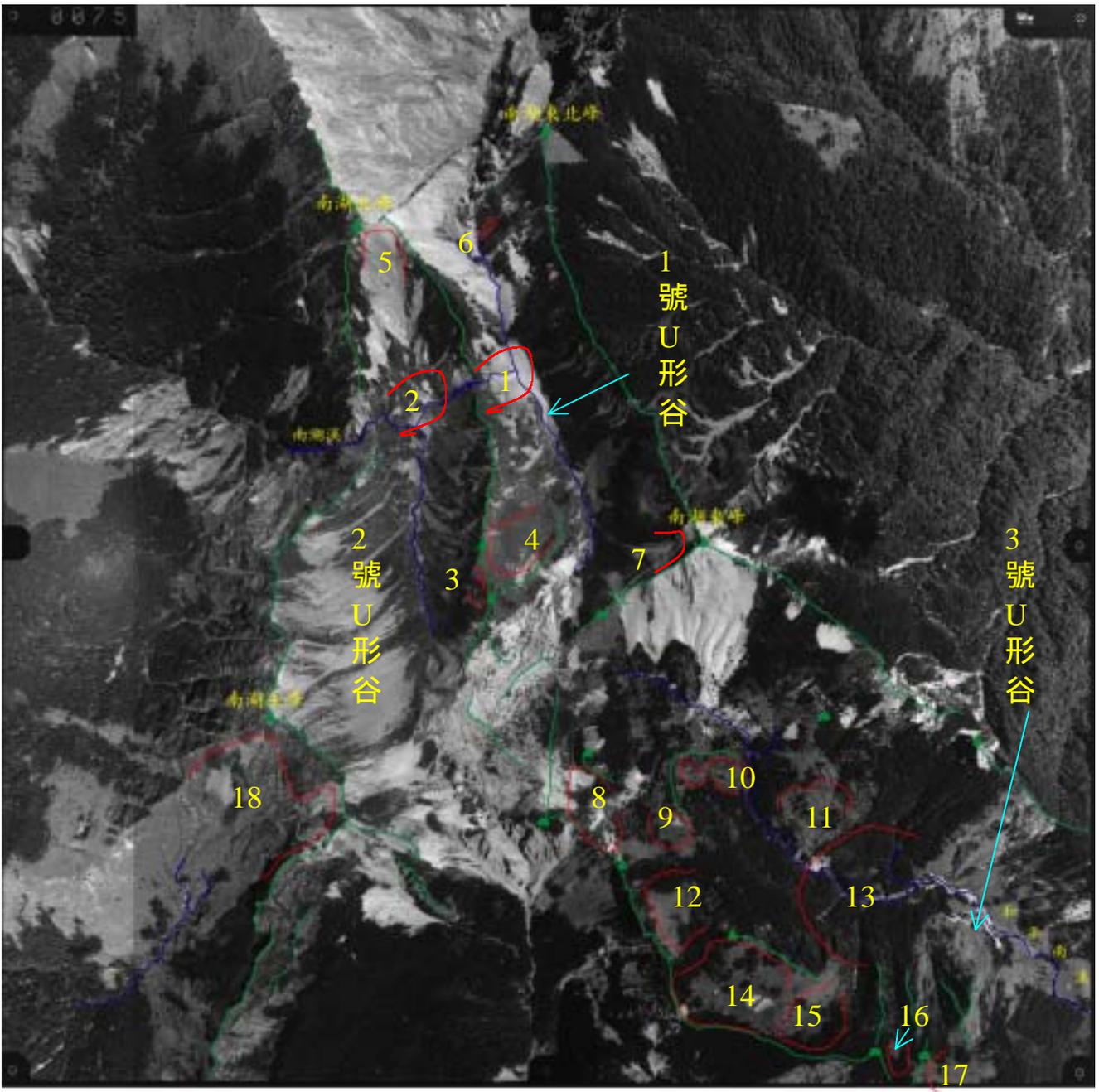
(一)U 形谷

本研究在南湖大山區發現三個 U 形谷，分別命名為 1、2、號 U 形谷。1、2、號 U 形谷即田中薰與鹿野忠雄命名的 1、2 號圈谷(圖 4)，也就是一般登山界所稱的上圈谷與下圈谷。西元 1934 年田中薰與鹿野忠雄在南湖主峰東方所發現的 1、2 號圈谷認為是冰斗。然而本研究認為，1、2 號圈谷頂端是南湖主峰與東峰間鞍部，非常平坦，應是古冰帽遺跡，這和田中薰與鹿野忠雄發現是相同的。如果南湖主東鞍部是冰帽，末次冰期時，冰河由冰帽發育，向四周谷地流出去，形成冰河的 U 形谷，以及冰河挖蝕的階狀窪地，也即冰盆(圖 8)。依此，本研究研判田中薰與鹿野忠雄的 1、2 號圈谷應是兩個 U 形谷，而非冰斗。



圖中數字代表圈谷編號

圖 4：南湖大山區航照與鹿野忠雄所發現的圈谷分布



圖中數字代表圈谷編號

圖 5：南湖大山區航照與本研究發現的圈谷、U 形谷和冰帽分布

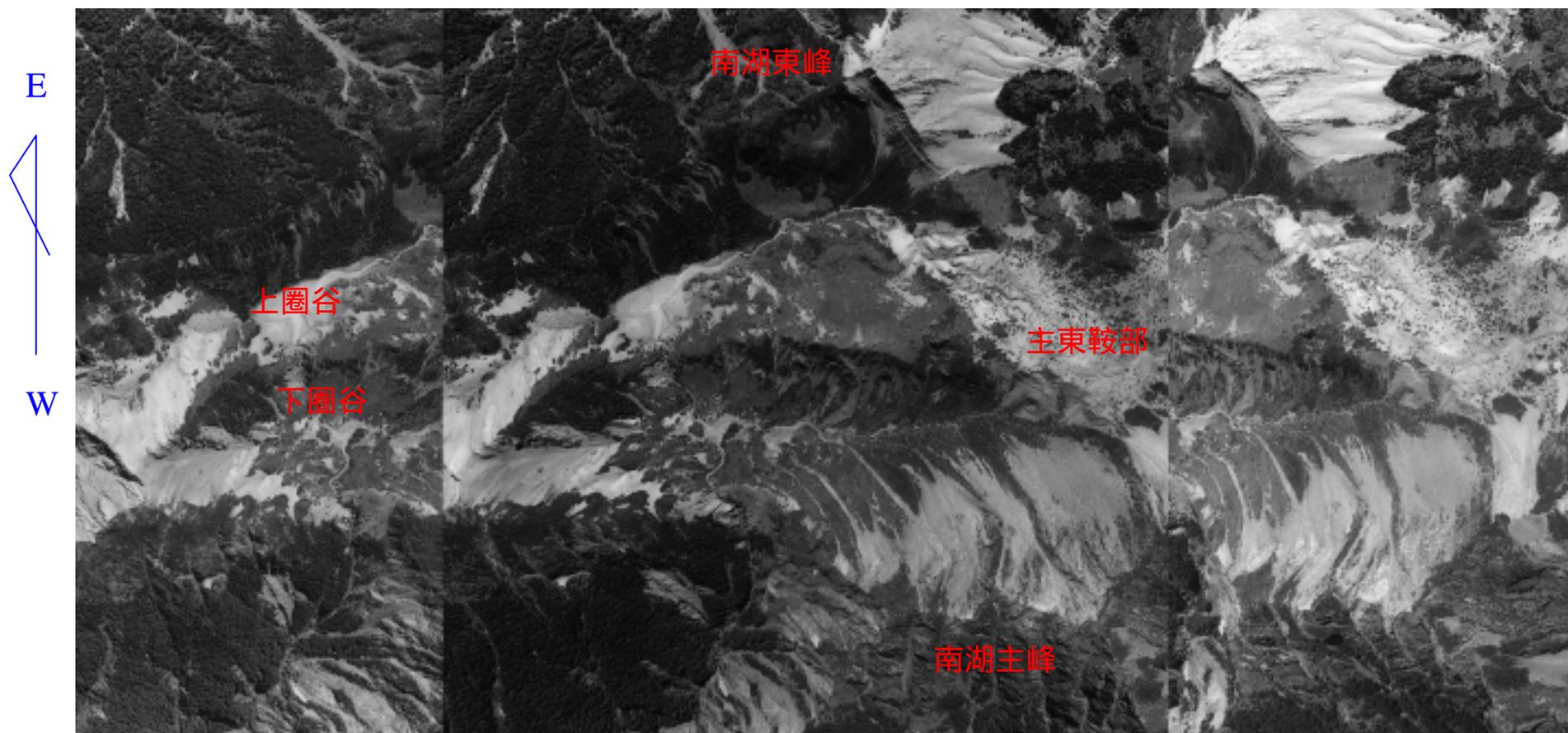


圖 6：南湖大山上下圈谷立體相對

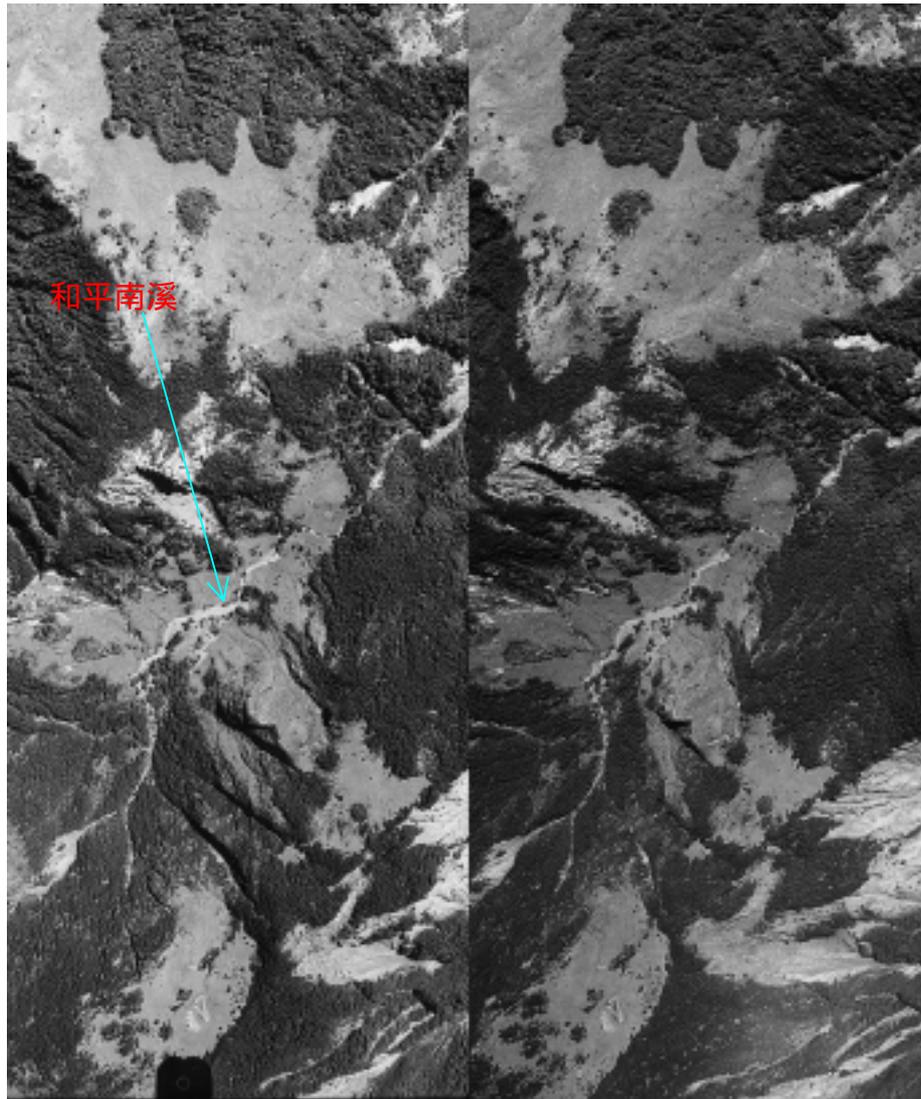


圖 7：南湖大山和平南溪源頭立體相對

3 號 U 形谷位於南湖東峰南方，也即和平南溪(又稱大濁水南溪)的源流谷地。這個 U 形谷由南湖主東鞍部眺望和平南溪谷地，很容易可以觀察出其 U 形的輪廓，所以田中薰與鹿野忠雄當年也在同樣的位置上發現這個 U 形谷。本研究發現的 3 個 U 形谷中，以 3 號 U 形谷的規模最大，長約 3000 公尺，寬約 500，谷深 300 500 公尺，朝向東南。其終端有一高約 10 公尺疑似端冰碛的丘狀堤橫互谷口，因無採樣分析與定年，所以至今仍無法確知是否為何種冰河地形。

(二)圈谷

本研究在南湖山區共發現 18 個圈谷，大都密集在和平南溪 3 號 U 形谷內。依據航照上的判識以及現場的調查，這 18 個圈谷中的 3、4、6、7、9、10、11、12、14、15、16、17、18 等 1 個呈現冰斗地貌的特徵，1、2、8、13 則為冰盆；5 號圈谷受冰後期風化、侵蝕作用，圓弧形的輪廓破壞較厲害，本研究研判該圈谷的前身應是冰斗。田中薰與鹿野忠雄在 1934 年的調查時只發現 1 個圈谷，當時編為 10 號(圖 4)。然而本研究依據現場調查，卻發現 10 個圈谷，極可能是因田中薰與鹿野忠雄當年忽略了和平南溪谷內的兩個冰盆，和南側坡頂上的連續 7 個規模不大的圓弧形窪地。

由冰河谷的縱剖面觀察，Nye(1952)、Embleton et al (1975)、Sugden et al (1976)、崔之久等(1998)都認為典型的冰河谷縱剖面是冰坎與冰盆交替出現的(圖 8)。1、2 號圈谷與 8、13 號是南湖山區 4 個典型呈現冰盆特徵的圈谷。前者位於南湖溪谷內，1 號圈谷位於上圈谷內，2 號圈谷位於下圈谷內，南湖溪切穿兩個圈谷間的冰坎形成一連串的瀑布群。後者則位於和平南溪谷內，與 1、2 號圈谷同樣是溪床上連續兩個窪地，圈谷間也同樣是瀑布群。

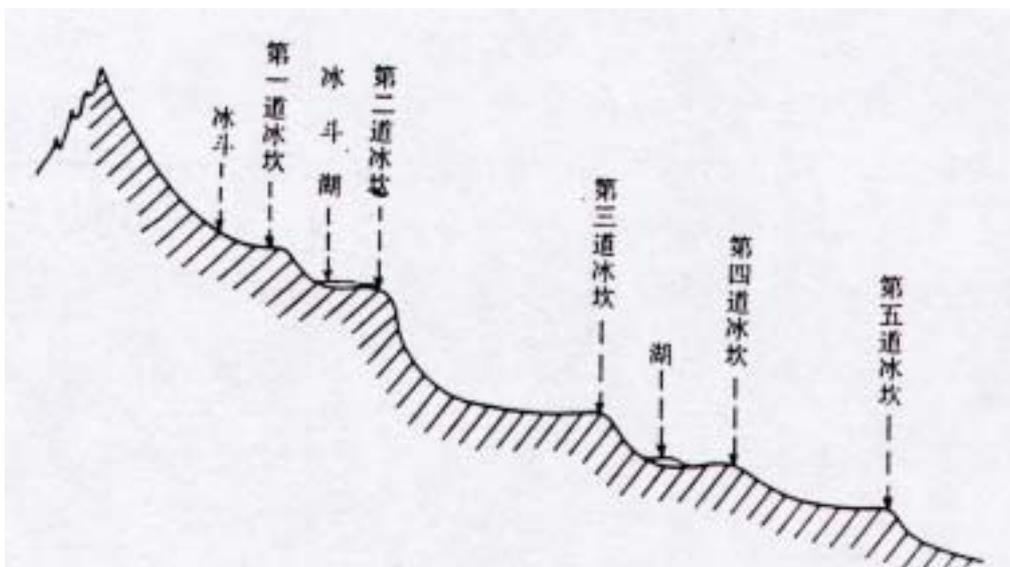


圖 8：典型冰河谷縱剖面圖(崔之久等，1998:182)

(三) 擦痕

本研究在南湖山區進行古冰河遺跡研究，最重大的發現是找到爭議已久的冰蝕擦痕。田中薰與鹿野忠雄於 1934 年宣稱在主峰下碎石堆的板岩碎塊面上找到擦痕，而 1959 年詹新甫在同樣地點卻認為是板岩或是其他較硬的岩塊墜落過程，因撞擊產生的擦痕。然而本研究在下圈谷步道沿線的基岩面上，和上圈谷的大型石英碎塊面上都發現了清晰的冰蝕擦痕(照片 1)。由於這兩處擦痕在位在石英砂岩面上，方向都與谷地平行，擦痕數量密集，擦痕所在的岩面均呈現光滑的磨光面特性。這些地貌特性的組合，充分說明這兩處擦痕都是冰河作用出來的。再與雪山 1 號圈谷 5 號冰坎磨光面上的冰蝕擦痕對比(照片 2)，兩者的特徵極為相似。所以冰河曾來過南湖大山，已當無疑問。

(四) 冰帽

南湖主峰與東峰之間地形是個鞍部，地勢非常平緩，標高約 3500 公尺，水系上是台灣海峽與太平洋的分水嶺。依據現場丈量的結果，這塊平緩的鞍部東西長約 400 公尺，南北寬約 250 300 公尺。由於其北側的上、下圈谷和東南側的和平南溪谷地，全是冰蝕的 U 形谷，本研究依此研判為冰帽地形，這和田中薰與鹿野忠雄於 1934 年的發現是相同的。本研究又依據 Nye(1952)估算冰帽中心厚度的公式： $h=(2h_0s)^{1/2}$ (式中， h 為冰帽中心厚度， s 為冰帽中心至邊緣距離， $h_0=11$ 公尺)(李吉均，1982:104)，計算出南湖主東鞍部的冰帽中心厚度約為 70 80 公尺。然而形成冰河最小的冰雪厚度需 30 公尺，顯然本研究所估算出的結果遠大於標準。由此不難想像一萬年前的地球最後一次冰期，南湖主東鞍部的形成厚約 70 80 公尺的冰帽，冰河由此中心向四周谷地流動，形成狀麗的冰河景觀。

八、結論

依據現場的地貌調查以及室內的航照判圖，本研究在南湖大山區的古冰河遺跡的研究上，得到以下的結果：

- 1.本研究在南湖山區共計發現 3 個 U 形谷、18 個圈谷、1 處冰貌等的主要冰河地貌(圖 5)，以及多處冰坎、冰磧丘和擦痕等直接鑑別冰河作用的地貌證據。這些古冰河遺跡比 1934 年田中薰、鹿野忠雄等學者所發現 1 個 U 形谷、12 個圈谷、1 處冰帽等冰河遺跡，豐富了許多。
- 2.本研究發現南湖主東之間的平坦鞍部，是個冰帽遺跡，此與田中薰和鹿野忠雄的發現是相同的。而本研究更進一步依據現場丈量的結果，估算出此冰帽中心的冰河厚度，約為 70—80 公尺。
- 3.以主北鞍部的冰帽為中心，末次冰期時冰河由此中心向四周谷地輻射而出，形成 3 個狀觀的 U 形谷。
- 4.本研究在上圈谷的步道沿線，和上圈谷乾河床的巨大石英砂岩上找到冰蝕擦痕。

引用文獻

- 王 鑫(1987)，《地形學》，台北：聯經出版社。
- 王 鑫(1989)，《雪山、大霸尖山地區地理、地形及地質景觀先期調查研究》，內政部營建署(中華民國生態協會調查研究)。
- 王 鑫、宋國城、崔之久(1998)，《雪山圈谷群第四紀冰河遺跡研究(I)》，雪霸國家公園管理處(委託國立台灣大學地理學研究所執行)。
- 中國第四紀冰川與環境研究中心與中國第四紀研究委員會編(1991)，《中國西部第四紀冰川與環境》，北京：科學出版社。
- 李四光(1942)，中國冰期之探討，學術匯刊，1(1):1-12。

- 李四光(1975),《中國第四紀冰川》,北京:科學出版社。
- 李吉均(1992), 論冰川擦痕 ,《冰川凍土》, 4(1):29-34。
- 吳景祥(1975), 台灣之高山與地質 ,《地質》, 1(2):7-20。
- 林朝燦(1957),《台灣地形》,南投:台灣省文獻委員會出版。
- 施雅風等(1988),《中國冰川概論》,北京:科學出版社。
- 施雅風、崔之久等(1989),《中國東部第四紀冰川與環境問題》,北京:科學出版社。
- 徐鐵良(1990), 南湖大山所謂冰川地形之檢討 ,《地質》, 10(1):79。
- 崔之久(1981), 論天山烏魯木齊河源的冰川冰斗 ,《冰川凍土》, 3(增刊):24-35。
- 崔之久(1981), 天山烏魯木齊河源冰磧壟與冰磧沉積的類型和特徵 ,《冰川凍土》, 3(增刊):36-48。
- 崔之久(1998), 末次冰期時陝西太白山和台灣山地冰川發育條件之比較 , 海峽兩岸地形與環境教育研討會大(大會手冊及論文摘要), 38-49。
- 崔之久、熊黑綱、劉耕年等(1998),《中天山冰凍圈地貌過程與沉積特性》, 石家莊:河北科學技術出版社。
- 陸鏡元(1986), 初論”拎溜擦痕”的鑑別 ,《第四紀冰川與第四紀地質論文集第三集》, 頁 104-125, 北京:地質出版社。
- 張徽正等(1997),《雪霸國家公園地層與構造之研究》,雪霸國家公園管理處報告。
- 詹新甫(1960), 台灣南湖大山冰蝕地形問題之商榷 ,《中國地質學會會刊》, 3:109-111。
- 楊建夫、崔之久、王鑫、宋國城(1998), 雪山地區末次冰期的冰河遺跡 , 《台灣之第四紀第七次研討會論文集》, 8-12。
- 楊南郡(1991),《雪山、大霸尖山國家公園登山步道系統調查研究報告》, 內政部營建署。
- 楊南郡譯註(1998),《鹿野忠雄》,山崎柄根著,台中市:晨星出版社。
- 費立沅、劉桓吉、賴典章(1995), 地形地質景觀解說 ,《雪霸國家公園道

- 路沿線工程地質及地形景觀研究》，雪霸國家公園管理處，51-58。
- 劉耕年(1985)，《螺髻山冰川地貌》，北京大學地理系碩士論文。
- 劉耕年(1989)，川西螺髻山冰川侵蝕地貌研究，《冰川凍土》，11(3):249-262。
- 劉桓吉(1996)，雪山至大霸尖山地區地質構造之初探，中國地質學會八十五年年會暨學術研討會大會手冊及論文摘要，479-483。
- 賴典章(1995)，《雪霸國家公園道路沿線工程地質及地形景觀研究》，雪霸國家公園管理處。
- 鹿野忠雄(1932)，台灣高山地域於二三地形學的觀察(一)，《地理學評論》，8:26-32。
- 鹿野忠雄(1934)，台灣次高山彙於冰河地形研究(地1報)1，《地理學評論》，10(7):606-623。
- 鹿野忠雄(1934)，台灣次高山彙於冰河地形研究(地1報)2，《地理學評論》，10(8):688-707。
- 鹿野忠雄(1934)，台灣次高山彙於冰河地形研究(地1報)3，《地理學評論》，10(9):816-835。
- 鹿野忠雄(1934)，台灣次高山彙於冰河地形研究(地1報)4，《地理學評論》，10(11):990-1017。
- 鹿野忠雄(1935)，台灣次高山彙於冰河地形研究(地1報)5，《地理學評論》，11(3):244-263。
- Andrews, J.T. and Dugdale, R.E. (1971), Quaternary History of Northern Cumbland Peninsula, Baffin Island, N.W.T.; Part V: Factors affecting corrie glacierization in Okoa Bay, Quaternary Res. v.1, 532-551.
- Embleton, C. and King, C. A. (1975), Periglacial Geomorphology. Glacial and Periglacial Geomorphology, vol:2, pp.1-24.
- Embleton, C. and King, C.A. (1975) Glacial Geomorphology. Edward Arnold.
- Evans, I. S. and Cox, N. J. (1974) Geomorphometry and the operational definition of cirques. *Area*, 6(2):150-153.

- Evans, I. S. and Cox, N. J. (1995) The form of glacial cirques in the English Lake District, Cumbria, *Z. Geomorph. N. F.* 39:(2)175-202.
- Gerrard, A. J. (1990) *Mountain Environments*. Belhaven.
- Goudie, Andrew (1994) *The Encyclopedia Dictionary of Physical Geography*. 2nd, Blackwell.
- Huang, C.Y. and Liew, P.M.etc (1997) Deep Sea and Lake Records of the Southeast Asian Paleomonsoons for the Last 25 Thousand Years, *Earth and Planetary Science Letters* 146, 59-72.
- Ian S.Evan & Nicholas J.Cox (1995) The form of glacial cirques in the English Lake District, Cumbria *Z. Geomorph. N. F.*, vol.39, no.2, 175-202.
- Iverson, N. R. (1991) Morphology of glacial striae: Implications for abrasion of glacier beds and fault surfaces, *Geological Society of America Bulletin*, 103:1308-1316.
- Price, L. W. (1981) *Mountain and Man*. University of California.
- Shi, Yafeng and Li, Jijun (1995) Progress in Glaciology and Quaternary Glaciation Research in China Since 1978 : *Cryosphere*, v.1, 3-16.



照片 1：南湖大山上圈谷石英碎塊的磨光面與擦痕。擦痕方向密集且一致，岩面光滑是個磨光面。岩性上坎以石英砂岩為主，抗風化侵蝕能力強。以上特性與照片 10-1 雪山 1 號圈谷 5 號冰坎岩面上擦痕完全一致，都屬於冰河擦痕。



照片 2：雪山 1 號圈谷 5 號冰坎的磨光面與擦痕。擦痕方向密集且與 1 號圈谷溪方向一致。擦痕所在岩面光滑，是個磨光面。岩性上，5 號冰坎以石英砂岩為主，膠結物質也是石英，抗風化侵蝕能力強。以上所述全都符合冰河擦痕的特性。