

內政部營建署雪霸國家公園管理處八十七年度研究報告

雪山圈谷群第四紀冰河遺跡研究(I)

Quaternary Glacial Landform Studies on Shesan Cirques



委託單位：雪霸家公園管理處

執行單位：台大地理系研究所

主持人：王鑫、宋國城、崔之久

研究人員：楊建夫

中華民國八十七年六月三十日

目 錄

一、摘要	1
二、前言	2
三、圈谷與冰斗的區別	3
四、台灣高山冰河地形研究文獻	5
五、研究地區環境概況	10
六、雪山 1、2 號圈谷的地貌分析	13
七、討論與結論	26
八、參考文獻	28

圖目次

圖一：雪山地區圈谷分布圖	7
圖二：雪山 1、2 號圈谷位置與稜線圖	13
圖三：Andrews 的冰斗地形幾何形貌定義圖示	15
圖四：雪山 1 號圈谷西北半壁剖面	19
圖五：1 號堆石堤的反插地貌示意圖	20
圖六：北稜角的圓頂峰示意圖	21
圖七：1 號圈谷的瀑布群縱剖面	22
圖八：雪山 1、2 圈谷地貌圖	24
圖九：雪山 1 號圈谷地貌分區圖片	29
圖十：雪山 2 號圈谷地貌分區圖片	29

表目次

表一：台灣高山圈谷數量表	6
表二：鹿野忠雄對雪山 1、2 號圈谷冰河遺跡地貌分析表	8
表三：南湖大山論戰主要人物與論點摘要	10
表四：玉山測站年氣溫與雨量資料表	12
表五：1994 年玉山測站凍融循環天數統計表	13
表六：雪山 1、2 號圈谷的冰斗地形幾何特性表	16
表七：南湖大山上下圈谷的冰斗地形幾何特性	16

一、摘要

台灣高山區的冰河遺跡有正反兩方的論點，但無人對台灣高山各種發生冰河條件作全面性的探討。要解決台灣高山冰河問題，須先對台灣高山的自然環境進行詳細的調查與分析。高山區第四紀冰河研究，在方法上分直接證據與間接證據兩類。直接證據方法著重沉積物分析，尤其是鑑別沉積碎屑表面擦痕的地形作用環境。間接證據上的方法很多，一般多以地貌分析和雪線重建為主。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，本研究選擇雪山 1、2 號圈谷為研究區。在方法上採間接證據上的地貌分析法，分析雪山 1、2 號圈谷在地貌上是冰斗的可能性。研究結果顯示雪山 1、2 號圈谷在地貌上，無論是直寬比與直高比，都相當接近冰斗的形貌特徵，但是缺了冰斗最重要指標地形的冰斗坎(cirque threshold)。1、2 號圈谷內的谷坡上，現都布滿了碎石堆，明顯的指示出現代高山冰緣環境。這些碎石堆是否留有過去第四紀冰期冰河作用的痕跡，或者不在碎石堆上，在其底下伏的基岩上，這些都要更進一步的研究與探討。

關鍵詞：圈谷、冰斗、地貌分析、末次冰期、冰緣環境

Abstract

There are two viewpoints on glacial relics in Taiwan alpine region, but nobody discusses the whole aspects about Last Glacier Maximum(LGM) glacial landform in detail. To resolve the question of LGM glacial landform in Taiwan alpine area, we have to survey the physical environment. There are two methods on Quaternary research of glacier in alpine regions, direct evidence and indirect evidence. Direct evidence focuses on analysis of sediments, especially to distinguish the striation on the surface of debris, and indirect evidence focuses on geomorphologic analysis and snowline reestablishment. Because of the accessibility in Shesan, we chose No.1 and No.2 cirque of Mt. Snow as the study area, and adopted the geomorphologic analysis method for this study. Study results show that the a/c and $a/2c$ rate at No.1 and No.2 cirque of Shesan are very similar to glacial cirque, but lack the cirque threshold. On the valley slope of No.1 and No.2 cirque of Shesan, there are full of debris, this indicates the present periglacial environment in alpine region.

Key Words: cirque、glacial cirque、geomorphologic analysis、LGM、periglacial environment

二、前言

台灣高山地區的地形研究長久以來一直是個處女地，雖然光復前日本有多位學者作過相當詳盡的調查，然而描述多過成因，沒有長期觀測資料過於武斷解釋。研究高山冰河地形問題有兩個方向：一是高山現代冰河地形的探討，另一是高山第四紀冰河地形遺跡。高山現代冰河地形因為現場就是冰河地形，所以著重現代冰河地貌發育、冰河消融、冰河運動，以及引發土石流災害的積雪、雪崩、冰河消融等問題。至於高山的第四紀冰河地形，則著重冰期氣候變遷、雪線高度等課題，以及冰河地貌與冰河沉積物的判別等等。

台灣高山區與大陸東部大陸，過去都曾發生過第四紀冰河地形的爭論，兩者爭論的共同癥結都在於：真假冰河地形。雖然有不少學者以沉積物的組成與生成環境來研判冰積、河積或是坡積作用而成，例如謝又予、崔之久(1981、1983、1984、1985)的廬山地區、崔之久(1981)的天山山區及朱誠等(1994、1995、1996)的黃山、廬山山區等的第四紀沉積環境研究，但是仍遭到許多學者的質疑。又有的學者如施雅風(1988)以雪線高度理論，運用平衡線上的溫降、降水量或積雪量與蒸融量等的關係，推測現在和末次冰期的理論雪線，作為冰河發生有無的佐証。

冰河遺跡是由過去冰期的冰河作用形塑而成，所以現場冰蝕、冰積地形等地貌的判別是所有研究冰河地形者應具備的能力。冰蝕、冰積或冰緣地形的判別，須透過地貌分析的方法才能達到事半功倍的效果。因此，本研究選擇了雪山 1、2 號圈谷為研究區，並以地貌分析法瞭解雪山 1、2 號圈谷的地形、地質特性，期能解決台灣高山冰河地形的某些爭議。

三、圈谷與冰斗的區別

(一)圈谷的日文意義

圈谷的名稱來自於日文，日本人稱冰斗為圈谷。例如富田芳郎在 1934 年台灣地學記事第五卷一篇有關南湖大山的論文中，在日文標題上就將冰斗寫稱為圈谷。所以若引用日本學者的名稱，圈谷就是冰斗，雪山圈谷、南湖大山圈谷，就等於是雪山冰斗與南湖大山冰斗。

(二)圈谷的定義

在學術界，通常不把圈谷視為與冰斗同義，也就是不遷就日本學者對冰斗的原本稱呼。因為在中文的字義裏，「圈」根本沒有冰、冰雪或冰河的意義。如果將圈谷引成原日文冰斗的意義，不容易望文生義。然而冰斗二字，任何人一望即明白是冰河地形，況且中文的冰斗二字，筆劃比圈谷二字少多了。所以中文引用日文時應該轉譯為「冰斗」二字，而不該直接用中文上筆劃多且字義又失去冰河意義的「圈谷」。可是中文字義裏，圈谷容易使人聯想到圓弧狀谷地的地形，與實際地形外顯的幾何外貌，十分穩合。

根據文獻，圈谷的英文相當於 *cirque*，有廣義與狹義兩種定義。在廣義的定義中，冰河學的專書及地形百科全書中都大同小異，都定義成：

”『圈谷』(*cirque*)是一般性的(*genetic*)地形名稱，源自於法文，描述一種開口向下坡，背後是極陡上坡的圓弧地形，也有人稱圓形劇場。這種地形可應用在只要有圓弧形且呈凹窪特徵的任何地形，例如河流源頭、圓弧形海崖、圓弧形崩崖(經由落石造成)、圓弧形地滑等等。”(*Derbyshire, I. S. Evans, 1976*)

由上述定義，顯然英文的 *cirque* 原先並不是成因性(*genetic*)的地形名稱，也就是說非得一定要是冰河(或冰雪)形成的地形，而是以地

形外顯形貌幾合特性上的一般性名稱，中文名稱上譯為『圈谷』或『斗狀地』。

圈谷的狹義定義就是冰斗。在許多地形學或冰河學專書中，大多引用廣義定義，如果是冰河作用的圈谷，英文書籍通常會加上冰河的形容詞「glacial」一字，而成「glacial cirque」，中文譯為冰斗。以免與其他地形作用如河流向源侵蝕、崩山作用等所形塑出類似的圓弧型盆狀窪地混淆。

(三)冰斗的定義

冰斗的英文是「glacial cirque」，意指：

”一種位於山岳冰河源頭，經冰凍作用(*frost action*)與冰河作用(*glacial action*)形塑出具有急陡後壁(*headwall*)的圓形劇場(*amphitheater*)形或漏斗狀窪地。相鄰的兩個冰斗常將後壁刻蝕出刃嶺(*arete*)或角峰(*horn*)。“(Clark, 1985)

著名的冰河地形學者 Andrews(1971)等人，曾以冰斗的剖面定義出標準冰斗的各種地形幾何形貌。一般而言，冰斗的地形特徵大致有以下諸項：(1)冰坎(*cirque threshold*)、(2)漏斗狀圓弧型窪地、(3)冰斗後壁陡崖、(4)冰斗後壁的刃嶺或角峰。冰坎是冰斗最前端的突起小丘，在冰河退卻的間冰期，冰坎後方的漏斗狀圓弧窪地常形成個湖泊，稱為冰斗湖。冰斗窪地的正後方，也就是過去冰斗內冰河移動方向的正後方，是個坡度在 40 度以上的陡崖。例如中國陝西南部屬秦嶺的太白山，主峰八仙台(右稱東太白)高 3767 公尺，是中國東部除台灣外的最高峰。其附近發育許多形狀標準的第四紀冰斗，冰斗後壁陡崖的坡度，大多在 40~50 度之間。而在全球中高緯地區已被証實是第四紀冰河作用所形塑的冰斗，冰斗後壁陡崖的坡度常常超過 45 度，有的甚至幾近垂直。例如挪威境內約騰海(Jotunheim)的維索史考特邦(Vesl-Skautbotn)冰斗，其冰斗後壁陡崖坡度就有 60 度之陡(Embleton and King, 1975)。

(四)雪蝕斗與冰斗

雪蝕(nivation)一詞是由Matthes在1900年所創，主要是爲了說明美國懷俄明州(Wyoming)大角山(Bighorn Mountains)的冰河作用區內，一些起伏不大、規模小且原先是V字型的山谷，被削成了U字型，但又不像是冰河作用的山谷地形。經Matthes的觀察這小型U字型谷地及其源頭的圓盆型小規模窪地，應該是冰河退卻後融冰與雪冰(firn)形塑而成。這種冰河地區前方的融冰與雪冰形塑地表的作用，稱之爲「雪蝕作用(nivation)」。嚴格點說雪蝕作用在分布區或地形營力上，屬於冰緣區(periglacier)的「冰雪」作用，而非冰河區的「冰河」作用。

換句話說經由雪蝕作用形塑的漏斗狀窪地就是「雪蝕斗」，屬廣義圈谷的一種，英文爲「nivation hollow」或「nivation cirque」。與冰斗比較，在規模上雪蝕斗較冰斗小了一號。最小的雪蝕斗長直徑只有幾公尺到數十公尺，中型雪蝕斗約100~300公尺，300公尺以上是大型雪蝕斗。由於雪蝕斗與冰斗之間在地形的幾何形貌太像了，因此是否有地形演育上的關係，目前還不是很清楚。很可能某些冰斗的發育剛開始先形成雪蝕斗，之後斗狀地愈來愈大，冰雪也愈積愈多、愈厚，再配合氣候也愈來愈冷，以致於達到冰河的規模，形成冰斗(Thorn, 1988)。

四、台灣高山冰河地形研究文獻

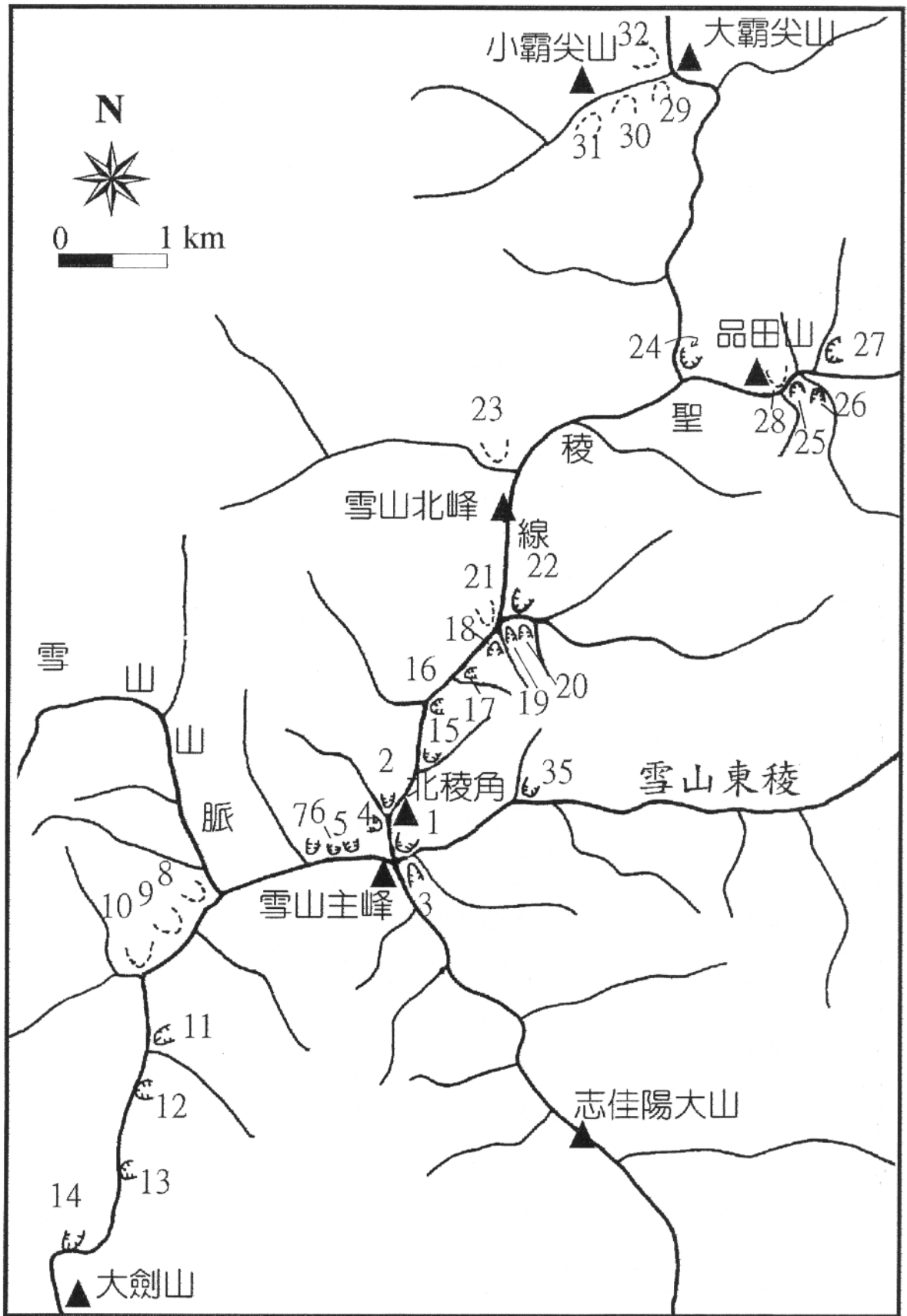
(一)日據時代

台灣高山有無末次冰期的冰河遺跡，一直是學術長久爭論的問題。除了日據時代的與大陸從事第四紀冰河研究的學者，肯定台灣高山存留末次冰期的冰河遺跡外，光復後的台灣地形、地質界只有詹新甫(1960)、劉志學(1986)與徐鐵良(1990)三篇有關南湖大山冰蝕地形爭論的報告。日據時代台灣高山冰河地形調查的非常詳細，如鹿野忠雄(1934)的雪山冰河地形研究，富田芳郎(1934)的南湖大山圈谷地形研究，佐佐保雄(1936)的玉山冰蝕地形調查等等，其中以鹿野忠雄的研究報告最多、最詳盡。鹿野忠雄與其他高山冰河研究的日本學者發現，台灣高山冰河地形的許多冰蝕遺跡，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遺跡。依鹿野忠雄(1934)的調查，台灣高山約有 80 個冰斗(表一)，其中以雪山山塊最多，共有 35 個(圖一)，高度多在 3500 公尺以上(林朝棨，1957)。南湖大山共有 19 個冰斗，高度多在 3400~3500 公尺。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 3400~3500 公尺附近(林朝棨，1957)，而雪山則在 3500 公尺左右。

表一：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。



圖一：雪山地區圈谷分布圖

1. 雪山 1、2 號圈谷的冰斗地貌分析

鹿野忠雄曾對雪山的冰蝕地形作過完整的調查，他在雪山山區總共發現 35 個圈谷，大都規模小，且破壞很厲害，有的已成懸谷狀，落差近 600 公尺(崔之久，1989)。其中冰斗地形最顯著而完整的是雪山 1 號圈谷，其次為 2 號圈谷。這些圈谷中，鹿野忠雄發現了不少冰河遺跡，在冰蝕地形上，除了 1、2 號圈谷完整的冰斗形貌外，鹿野還發現許多研磨面、圓頂突起、羊狀岩、有條痕之岩面、U 形谷、懸谷等(林朝棨，1957)；冰積地形則有漂石、岩海、冰碛狀小丘與端堆石堤(terminal moraine)。

表二：鹿野忠雄對雪山 1、2 號圈谷冰河遺跡的地貌分析

圈谷	冰蝕地形	冰積地形	其他地貌分析	備註
雪山 1 號圈谷	<ol style="list-style-type: none"> 1. 谷底平坦 2. 圈谷崖壁受冰蝕作用呈階段狀岩壁；圈谷分兩西北與東南兩岩壁，東南半壁有兩個谷階(kartreppen)，各長 50 公尺，高約 7 公尺。 3. 圈谷末端有個冰蝕谷，延伸至等高線 3000 公尺處。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 圈谷末端中央有高 50 公尺以上的冰碛丘狀小丘。 2. 圈谷底部有端堆石堤狀地形，長 40-50 公尺，高 15-25 公尺。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 圈谷呈長橢圓形 2. 圈谷側壁被崖錐埋沒，成 30-35 度的斜坡。 3. 崖面由軟硬岩互層而成。 4. 冰蝕谷較平常溪谷寬，橫剖面呈圓滑曲線。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 冰蝕谷是由雪山冰帽所流下之冰舌形塑而成，冰舌末端可能低於海拔 3000 公尺。
雪山 2 號圈谷	<ol style="list-style-type: none"> 1. 谷底有出露一谷階，高約 20 公尺。 2. 圈谷末端是個冰蝕谷，呈 S 形，延伸至等高線 3400 公尺處，長約 1200 公尺。 3. 冰蝕谷底平坦，寬約 400 公尺 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 圈谷末端有高 20 公尺，寬約 50 公尺的端堆石堤，露出的部分長 150 公尺，其餘被岩屑埋沒。 2. 圈谷底下的冰蝕谷內有三道端堆石堤： <ol style="list-style-type: none"> (1). 上端堆石堤：長 100 公尺，寬 20-30 公尺，高 10 公尺。 (2). 中端堆石堤：長 200 公尺，寬 25 公尺，高 15 公尺。 (3). 低端堆石堤：長 100 公尺，寬 15 公尺，高 7-15 公尺。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 圈谷壁被岩屑埋沒而成 35 度斜坡 2. 圈谷內堆滿岩屑 3. 冰蝕谷三個端堆石狀小丘的成因，可能是岩屑直接由崖壁崩落，也可能是冰床上的冰體或崩下的冰片向下方移動而將崖錐碎屑搬運而來。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 冰蝕谷裏的三道端堆石堤與圈谷末端的端堆石堤成斜交，其成因不明。

由 1、2 號圈谷形貌完整，所以鹿野對其冰河地貌作了詳細的描述與分析(表二)。兩個圈谷都分布在雪山主峰附近偏北的坡上，在冰蝕地形上都有冰斗的外形，谷底皆平坦，谷壁上都有谷階，圈谷末端也都有 U 形的冰蝕谷；1 號圈谷因規模大，所以冰舌可以伸入至等高線 3000 公尺以下的地區。在冰積地形上兩者的底部都有端堆石堤，也就是端冰磧，1 號圈谷末端的東南半壁上有一高約 50 公尺的冰磧丘狀小丘，而 2 號圈谷下方的冰蝕谷內有三道成因不明的端堆石堤狀地形。

2. 雪山 1、2 號圈谷其他冰河遺跡

此外，鹿野在 1、2 號圈谷內外找到不少擦痕、磨光面、羊背岩等冰蝕的證據，其中冰河擦痕最普遍，在高度 3500 公尺以上地區的岩面上到處都是，例如主峰東北側 3500 公尺處的一塊板岩上，擦痕清晰可見(崔之久，1989)。北稜角位在雪山主峰北方 500 公尺，與主峰遙遙相對，是個呈圓頂狀的岩石山峰，鹿野認為北稜角是整個山頭受冰河作用而成的研磨面，也就是磨光面。雪山主峰東延山稜上有連續三個大圓頂突起的山頭，因整個山稜很像羊群，所以鹿野認為這是羊群岩，也就是羊背岩。其實不止是東稜發現羊背岩，雪山主峰附近的緩起伏瘤狀山頭，例如北延至北峰的北稜，雪山西稜以及北稜中間一條東延的小山稜都是平坦的稜頂，也都是羊背岩，其上發現了擦痕和磨光面的冰河作用遺跡。這些羊背岩的瘤狀山頭成因，鹿野認為：在末次冰期時，雪山是個冰帽冰河，這些山頭當時被冰帽覆蓋，所以被冰蝕而成瘤狀的羊背岩。鹿野還強調，雪山主峰周圍這些緩起伏山頭和平坦的稜頂，是雪山地壘上前期地形循環的準平原面或老年期地形面，在「無否認冰帽冰河存在之有力證據」之下，「可以推想冰帽冰河之形成，因冰河發育於平坦面上者」(林朝棨，1957)。此外，在主峰與北稜角之間山稜，地形上是個鞍部，鹿野認為是劍背山稜(arete)，也就是刃嶺。

(二)光復後的研究

光復後的台灣地形、地質界只有三篇反對日據時代遺留冰蝕地形的報告(表三)。嚴格一點說，光復後的這兩篇反對冰河說的報告，詹新甫(1960)這篇題為「*台灣南湖大山冰蝕地形問題商榷*」的論文，只是現場短暫停留的地形、地質的野外考察報告。台大地質系學生劉

志學(1986)在其系的系刊－演化第八期，寫了一篇名為”再論南湖大山之冰蝕地形”的論稿，以地理位置、古氣候及現場所見冰河作用證據(如冰礫阜-kame)質疑詹新甫的論調。而徐鐵良(1990)在”地質”期刊第十卷第一期所刊登一篇名為”南湖大山所謂冰川地形之檢討”的報告，只是一篇支持詹新甫的短論。可惜的是他們三人論証的地點是南湖大山而非雪山，但是兩山緯度差不多，東西距離約 20 公里，而雪山比南湖大山只高 100 公尺，且圈谷數量也多，因此三位學者的論點可以適用於雪山。綜合三人的論點基本上對圈谷成因持不同的解釋，詹新甫與徐鐵良支持河流向源侵蝕的觀點，而劉志學則持冰蝕作用。

表三：南湖大山論戰主要人物與論點摘要

論戰人物	發表時間	發表期刊	地形作用主張	立論依據	所見事實
詹新甫	1960	中國地質學 學會會刊 Vol.3,109~111	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.更新世冰期的氣候與今日無異	1.東南坡(傾斜坡)較緩，西北坡(崖坡)較陡。 2.找不到冰斗湖 3.溪谷均呈V字型且也無懸谷
劉志學	1986	演化，No.8 ,65~66	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型谷 2.南湖北峰則為V字型 3.下圈谷可見擦痕岩石碎片 4.尾積呈冰礫阜構造
徐鐵良	1990	地質,Vol.10 ,No.1,79	1.向源侵蝕 2.風化作用 3.岩性與構造控制	1.台灣每年風雨侵蝕劇烈 2.河流下游大量板岩礫屑 3.河源頂端多呈半圓形陡壁	未至現場觀測

五、研究地區環境概況

(一) 地理位置

本研究選擇雪山 1、2 號圈谷研究區(圖二)。雪山位於台中市東北方 60 公里，是雪山山脈的最高峰，海拔 3886 公尺，也是台灣的第二高山。日據時代稱次高山，光復後蔣公賜名興隆山。附近山區 3000 千公尺以上的高峰林立，以大霸尖山最著名，現已畫入雪霸國家公園內。雪山 1 號圈谷位雪山主峰東北面，行政區屬台中縣和平鄉平等村；2 號圈谷位於雪山主峰北方 500 公尺處，行政區屬苗栗縣泰安鄉梅園村。

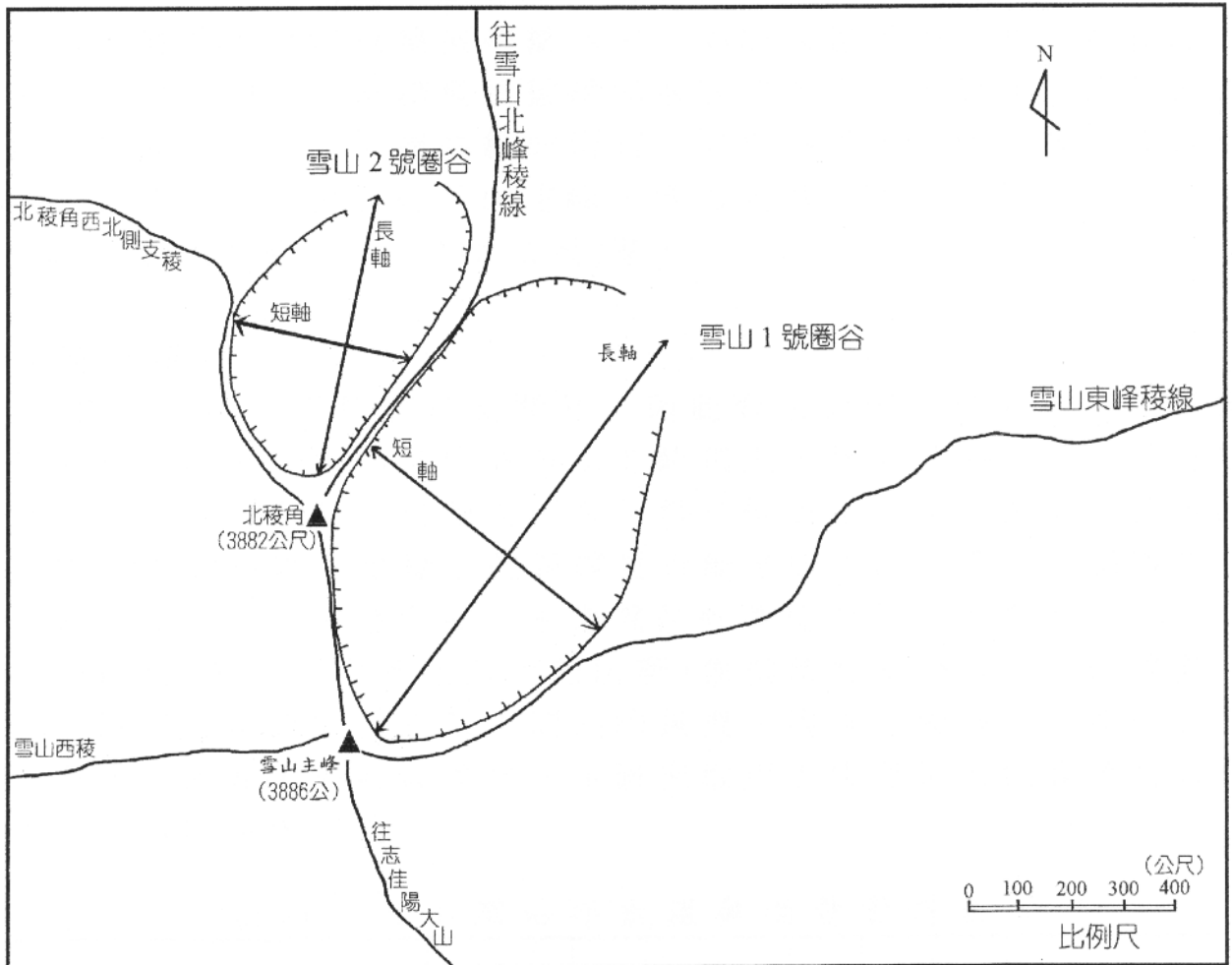


圖 1：雪山 1、2 號圈谷位置與稜線圖

圖二：雪山 1、2 號圈谷位置與稜線圖

(二)環境因子概況

雪山主峰高 3886 公尺，是台灣僅次玉山主峰的第二高峰。依據林朝棨(1957)台灣地形一書中的說法，雪山山區與南湖山區保有最高隆起準平原面，因後來的地塊運動相對上升而形成地壘狀山地。林朝棨又指出，雪山高度大且緯度高，所以有顯著的冰河地形遺跡，尤其主峰東北面的圈谷(即雪山 1 號圈谷)，是台灣圈谷地形中形態最完善，而且規模也最大的一個。

1.地質環境

雪山山區出露的岩層以變質砂岩爲主，石英含量高，相當堅硬。據劉桓吉等人(1996)的研究，這個以變質砂岩爲主的地層，即四稜砂岩。這個地層一直北延，通過了大霸尖山。依據劉桓吉等人的研究雪山山區的構造，可能以箱型褶皺爲主，軸部通過雪山北峰，再往北通過大、小霸尖山。這個箱型褶皺軸部通過的地方，大致與雪山至大霸尖山的稜線一致。該地層的組成岩石，岩性堅硬，更使這條稜線特別高聳。軸部附近的百岳有雪山主峰、雪山北峰(3702 公尺)、大霸尖山(3492 公尺)、小霸尖山(3445 公尺)等。

2.氣候環境

由於雪山附近沒有氣候測站，因此取用隸屬中央氣象局的玉山測站資料依測。玉山測站位於玉山北峰頂上，標高 3848 公尺，這個高度與雪山的 3886 公尺相差不多。但在位置上，玉山測站位於雪山南方約 100 公里處。這樣子的距離是否能造成玉山與雪山間明顯的氣候差異，並沒有人作過研究。不過就氣候環境而言，水平距離 100 公里的兩地點，如果不考慮地形上的阻礙，氣候環境不會有太大的改變。確切一點說，本研究假設玉山測站的氣溫、雨量等資料，與雪山之間並沒有水平距離上的明顯差異。本研究取用玉山測站的氣候資料來分析雪山山區的氣候環境。

表四：玉山測站年氣溫與雨量資料表

項目 月分	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年均溫與年雨量
溫度(°C)	-1.3	-1.2	0.9	3.2	5.4	6.6	7.4	7.2	7.0	5.9	3.9	0.8	年均溫：3.8
雨量(mm)	1220	1592	160.8	201.7	454.4	612.8	408.4	437.6	329.8	130.8	90.1	920	年雨量：3157.2

[資料來源]：中央氣象局民國 55 年至 74 年玉山測站資料

3. 冰緣環境

全球的冰緣分布在兩大區，一是曾受末次大陸冰河覆蓋區而環繞現在冰河前緣的地區；另一是溫帶與熱帶的高山區。台灣是亞熱帶的高山島，因此 3000 公尺以上的山地，應可見冰緣環境。高山地區形塑地表最主要的營力是「寒凍風化」(frost weathering)與塊體運動兩種 (Gerrard, 1990)。在高山區，寒凍風化作用又以凍融作用 (freeze-thaw action) 的破壞力最大。凍融作用的強弱或有效性，與凍融循環的次數或頻度 (frequency) 以及冰點以下的溫度高低有關。也就是說，一年之中溫度由零度以上至零度以下的變化，或是零度以下至零度以上的變化，次數越多，凍融作用越強。此外，一次凍融循環，溫度降到零度以下越多，冰凍楔裂 (ice wedging) 的破壞力越大，凍融作用也越強。所以雪山山區發生凍融作用的環境，須由凍融循環與冬季低溫值來分析。凍融循環依時間長短分成季節與日循環，顯然前者在雪山山區小區域尺度、短時距的地形作用分析上，較不可靠，而後者則較適切。

本研究擬以玉山測站 1994 年的逐日、逐時氣溫資料作初步分析。玉山測站每日的逐時氣溫觀測，並不是每 1 小時記錄一次，而是一天只記錄 2、5、8、9、11、14、17、20、21、23 時 10 次。但這並不影響凍融循環次數的計算，因為在計算凍融循環次數時是以日為單位。1994 年玉山測站所測得的最低溫是 1 月 24 日凌晨 2 時的 -10.7°C ，最高溫則是 11 月 12 日 14 時的 16.9°C 。凍融循環上 1994 年有 84 天，全日在 0°C 以下的有 24 天 (表五)。

雪山因位置偏北，最大圈谷面朝東北，冬季正好迎向東北季風，凍融循環潛力在次數上很難斷定是比玉山多或少，但低溫值極可能較玉山低。同時因最大圈谷坡向的效應，冬季可能比玉山冷溼。如果能擁有雪山最大圈谷現場的氣候資料，來証實雪山比玉山凍融潛力較大，則可推論雪山最大圈谷的凍融作用強度應大於玉山。所以鹿野忠雄所調查出的 80 個台灣高山圈谷，為何大都位於雪山 (35 個) 與南湖山區 (12 個)，這極可能與凍融作用的強弱密切相關。

表五：1994 年玉山測站凍融循環天數統計表 (單位：日)

項目	月分	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計
凍融循環天數		16	18	19	3	0	0	0	0	1	5	8	14	84
低於 0°C 天數		10	8	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24

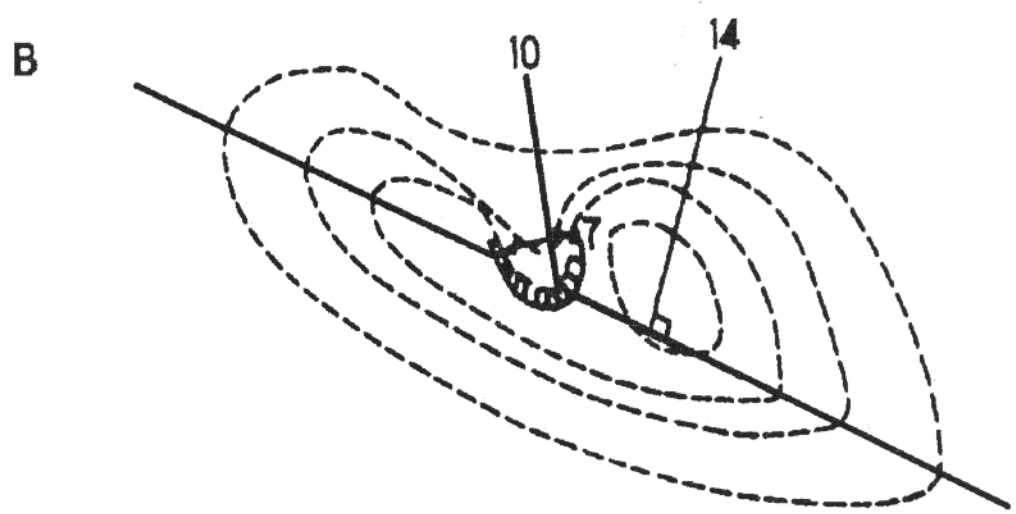
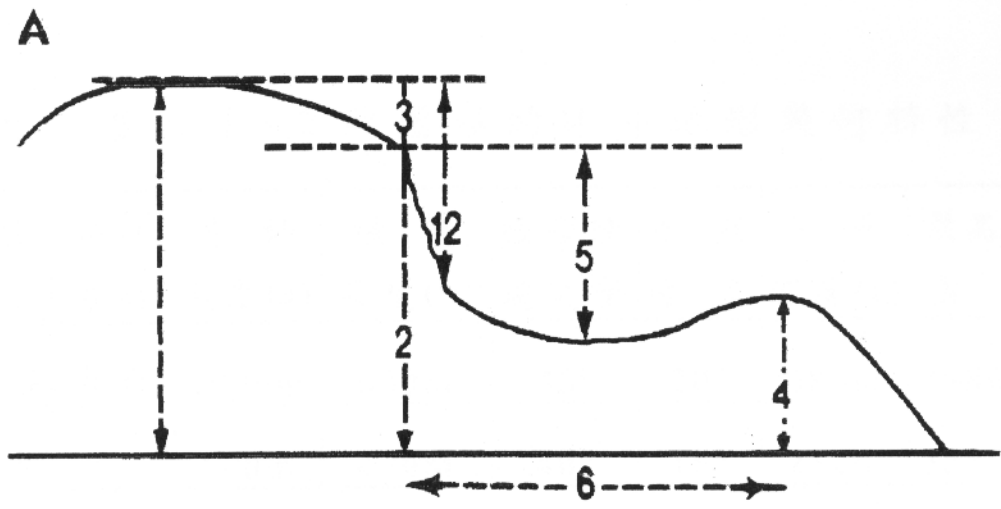
[資料來源]中央氣象局玉山測候所 1994.1~1994.12 逐日、逐時氣候資料。

六、雪山 1、2 號圈谷的地貌分析

台灣的地質脆弱，地形作用非常強烈，所以高山冰河遺跡的直接證據，極可能在一萬多年來，已被高山區的地形作用破壞殆盡。沒有直接證據，並不能論斷台灣沒有發生過冰河。因為冰河作用除留有直接證據如擦痕與磨光面等外，還有一些冰積物質。這些冰積物質被冰期的冰體與間冰期的河水搬運至冰河作用區以外沉積。所以只要能找到並證明這些冰河沉積物，同時合理的解釋為何搬運至現在位置，也能佐証台灣是否曾有冰河發生。問題是如何証實它們是冰積物，有操作上的困難，而且曠日費時。所以雪山冰河地形的問題，須先以間接證據法分析雪山各圈谷是否為冰河地形的可能性，因為操作簡易，且省時、省力。高山第四紀冰河地貌的間接證據法，有地形幾何特性與雪線重建兩種分析法，而本研究採取前者。

(一) 雪山 1、2 號圈谷的地形幾何特性分析

冰斗的地形幾何特性是由 Andrews 等學者於 1971 所提出的。他們根據統計英國、加拿大等地的冰斗幾何形貌，定義出冰斗地形的最基本幾何特性，包括：開口方向、直軸與橫軸長度、直軸後壁陡坡與盆底緩坡的坡度、冰斗高度(即冰斗深度)、冰斗最高與最低點的海拔高度等(圖三)。事實上冰斗被冰體逐漸刻蝕成圓形劇場形貌的論點，還只是近一百年的事。1860 年 A.C.Ramsay 認為冰斗的岩盆造形，可能與盆負荷大量的冰雪有關；1873 年研究冰斗的學者 Gastaldi 也持同樣的說法，認為不論是軟岩或硬岩組成的冰斗，其內所累積的冰雪能將斗底蝕成圓形下凹的窪地，不以冰蝕作用去解釋冰斗的成因，是很困難的(Andrews, 1971)。若我們以此來看雪山的 1、2 號圈谷得到了表六的結果；同時我們也比對了南湖大山的上、下圈谷(表七)。



圖三：Andrews 的冰斗地形幾何形貌定義圖示

(資料來源：Embleton, C. and King, C. A. (1975) °Periglacial Geomorphology °Glacial and Periglacial Geomorphology, vol:2, 209。)

表六：雪山 1、2 號圈谷的冰斗地形幾何特性

幾何特性 圈 谷	開口 方向	直 軸 長度(a)	橫 軸 長度(b)	後壁陡 坡坡度	谷 底 坡 度	冰 斗 深度(c)	最高點 高 度	最低點 高 度
雪山 1 號圈谷	東北	1000m	600m	35°	20°	386m	3886m	3500m
雪山 2 號圈谷	北	600m	400m	40°	15°	252m	3882m	3630m

1 號圈谷後壁陡坡坡頂就是雪山主峰：3886m 谷底高度：3500m

2 號圈谷後壁陡坡坡頂就是北稜角 : 3882m 谷底高度：3630m

表七：南湖大山上下圈谷的冰斗地形幾何特性

幾何特性 圈 谷	開口 方向	直 軸 長度(a)	橫 軸 長度(b)	後壁陡 坡坡度	谷 底 坡 度	冰 斗 深度(c)	最高點 高 度	最低點 高 度
上圈谷	北北東	1200m	600m	25°	10°	120m	3632m	3410m
下圈谷	北北東	900m	600m	30°	15°	200m	3742m	3340m

南湖大山上圈谷後壁陡坡坡頂在南湖東峰西南側：3530m 谷底高度：3410m

南湖大山下圈谷後壁陡坡坡頂在南湖主峰東南側：3540m 谷底高度：3340m

1、直高比 (length-height ratio, a/c)

冰斗幾何形貌各種指標中，直軸與高度的比值(簡稱直高比， a/c)最為常用，也最具代表性。因為直高比可以反映冰斗形貌特性與發育的程度。第一個用直高比來描述冰斗幾何特性是 G.Manley。西元 1959 年，Manley 對英國湖區(English Lake District)的冰斗進行調查，他發現這些冰斗直高比率介於 2.8:1 和 3.2:1 之間。而 Andrew(1971)在北美巴芬島的冰斗研究，直高比率平均是 4.29:1；而中國青藏高原南部數以千計保存良好末次冰期的冰斗湖，據統計其直高比介於 2.0~3.0 間。至於南湖大山區的上、下圈谷的直高比分別是 4.5:1 及 10:1(表七)，顯然下圈谷的直高比值接近北美巴芬島，但諸多地理環境迥異，作為南湖大山上、下圈谷地形形態上是否接近冰斗的對比，須進一步研究。在氣候環境較類似台灣高山的青藏高原南部，其冰斗的直高比介於 2.0~3.0 間，顯然南湖大山區上、下圈谷的直高比過大；也就是冰斗高度(即 c 值)不夠。根據雪山的 1、2 號圈谷的幾何形貌特性(表六)，1、2 號圈谷的直高比率分別是：2.59:1 和 2.36:1，接近青藏高原南部的冰斗的數據，比南湖大山的上、下圈谷更接近冰斗形貌。

2.平坦指數 (length-2height ratio, $a/2c$)

量測冰斗幾何形貌特性還可用平坦指數($F=a/2c$)。英國冰河與冰緣地形大師 Derbyshire(1976)曾用平坦指數來表示冰斗發育程度。真正冰河塑造的平坦指數很小，在 1.7~5 間。雪蝕窪地的平坦指數為 4.25~11 間。但平坦指數還須考量 ab 面(長軸與直軸所構成的平面)的坡度， ab 面的坡度大致與 a 軸的坡度相當。冰斗的 ab 面坡度大致在 15° ~ 20° 間，而雪蝕窪地的 ab 面坡度則在 15° ~ 35° 間(Derbyshire, 1976)。依表七的數據，南湖大山區的上、下圈谷的平坦指數分別是 2.25 和 5，接近冰斗；但是 ab 面的坡度分別是 10° 與 13° ，都不在冰斗與雪蝕窪地的範圍內。至於雪山 1、2 號圈谷的平坦指數分別是：1.29 和 1.18，這低於 1.7~5 冰斗的平坦指數；而 ab 面坡度，則分別是 20° 與 15° ，是接近冰斗的 ab 面坡度。

(二)雪山 1 號圈谷地貌分析

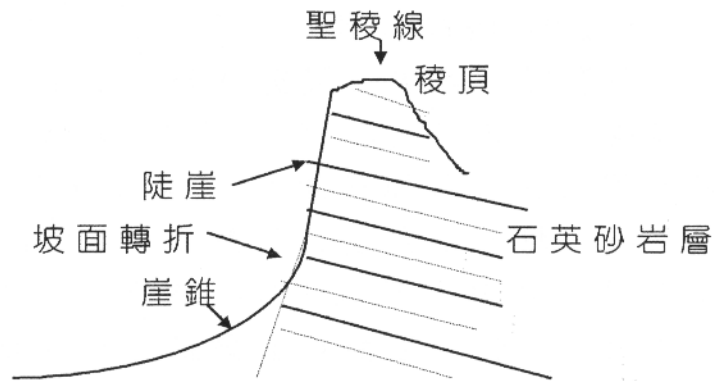
雪山 1 號圈谷位於雪山主峰的東北面，開口朝東北。依現場地貌調查，1 號圈谷直軸終端位於雪山黑森林避難小屋後方瀑布群的上方，約略在等高線 3400 公尺處，所以量得直軸長約 1200 公尺，而橫軸最處寬約 800 公尺。1 號圈谷內大都是碎石，有相當大面積長著低矮叢狀的玉山杜鵑或是玉山圓柏植物。圈谷谷壁平均坡度約 30 度，谷底坡度約 15 度，主峰與北稜角下至 3800 公尺高度處，坡度最陡，達 45 度以上。主峰與北稜角都是圓頂山頭，雪山東稜至 3690 峰，以及稜角至雪山北峰之間都是緩起伏的圓頂山峰。依野外地貌調查，以及航空照片與一萬分之一像片基本圖的判視，1 號圈谷計有碎石坡 (rock slope)、崖錐 (talus)、陡崖 (erosion scar)、谷階 (kartreppen)、堆石堤、圓頂峰、蝕溝 (gulley)、瀑布群 (hanging falls) 等八類。各類地貌分析如下：

1. 碎石坡與崖錐

1 號圈谷的碎石坡主要分布在兩處，一處在東南谷壁的稜頂至 1、2 號谷階的坡面上，另一處在谷底。1、2 號谷階以上至稜頂的這處碎石坡，大致由主峰與北稜角間鞍部往東延伸約 1000 公尺，至 1 號圈谷終端一條北延的小稜線止，這條稜線大致就是 1 號圈谷區的森林界線。由於碎石坡由稜頂分布至高差約 100 公尺的岩階，所以可以研判出碎石坡的主要成因以冰緣區的寒凍風化為主；又由於這些碎石坡由坡頂至岩階，坡度逐漸減緩且厚度增加，這主要是受碎石下坡運動(或稱坡積作用)的影響。谷底的碎石坡位於 1 號圈谷溪南北兩側，溪北側碎石坡位於西北谷壁崖錐的下方，而溪南側碎石坡則位於 1、2 號谷階下方。谷底碎石坡平均度約在 10~15 度間，大都覆蓋上低矮的玉山杜鵑與玉山圓柏等的高山灌叢植物。谷底的碎石來源有二，一是來在於 1 號圈谷溪南北兩側碎石坡和崖錐上的碎石，藉由下坡作用搬運而來；另一來源是原地風化而來，寒凍風化是主要營力。

1 號圈谷的崖錐主要分布在西北谷壁。西北谷壁在坡型上屬反插或崖坡，所以崖面上的崩落碎屑就積在崖坡的下方，坡形上形成明顯的陡緩轉折的凹坡(圖五)。西北谷壁崖坡的分布範圍，由北稜角南面往東北一直延伸至 1 號與 15 號圈谷間的稜線，長約 600 公尺，平均坡度約 45 度。在航照上西北谷壁的崖坡上有 5 條蝕溝，崖錐位在每條蝕溝下方，共有 5 堆有且個個相連，形成複合型崖錐。5 堆崖錐的坡度都是上陡下緩，最陡處約 25 度，緩處為 15 度。崖錐上的碎石

來源依西北谷壁的地貌特性研判，以塊體運動為主，夏季的暴雨和冬季的冰雪都能加速其崩落。



圖四：雪山 1 號圈谷西北半壁剖面

2. 陡崖

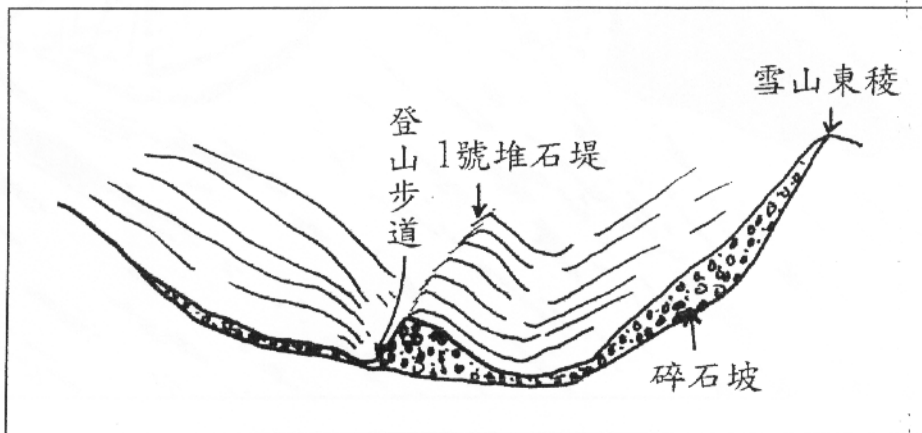
1 號圈谷內的陡崖有兩處，一處在北稜角至 15 號圈谷稜脈的東側，另一處在 3 號谷階下方。北稜角至 15 號圈谷間的陡崖是個反插坡(圖五)，顯然由地質構造控制陡崖的發育。陡崖頂部是北稜角北延的稜脈，崖頂至崖底落差約 50 公尺。3 號谷階下方的陡崖位於黑森林避難小屋的後方，1 號圈谷溪流經此處陡崖形成一連串瀑布群(圖八)。鹿野忠雄(1934)研究並沒有提到這個陡崖，但認為 1 號圈谷的下方是個移化的冰蝕谷，冰蝕谷地形向下游繼續至高度 3000 公尺處，因而據此推測第四紀末次冰期時，雪山冰帽所流下的冰舌，終端在可能在高度 3000 公尺處的下方低處(林朝棨，1957)。

3. 谷階

1 號圈谷有 3 處谷階分布。1、2 號谷階分別位在主峰東北 200 公尺與 500 公尺的東南谷壁上，1 號谷階高度約在 3700 公尺，2 號谷階約在 3600 公尺處，兩者各長 50 公尺，高約 7 公尺(鹿野忠雄，1934)。1、2 號谷階在現場調查時上面布滿碎石，不易確認。3 號谷階在 2 號陡崖的上方，長約 50 公尺，寬約 30 公尺。1 號圈谷溪切蝕過 3 號谷階，使溪床出露石英砂岩的基盤。溪谷的東西兩側谷階各有一橫堆石堤，其上長滿茂密的冷杉林，這堆石堤是否為端冰磧或是崩積崖錐，因未挖剖面分析，所以並不清楚。依 King 等(1975)的研究，屬於冰河地形的谷階，其成因有：陸地漸歇性隆起，冰雪曾長時間駐留，雪崩等。

4. 堆石堤

1 號圈谷共有 7 條堆石堤，大都分布在 1 號圈谷溪的東岸。1 號堆石堤位於黑森林步道出口至 2 號谷階下方，平行 1 號圈谷溪，海拔高度約 3500~3550 公尺，長約 200 公尺，高約 10 公尺，寬約 30 公尺。1 號堆石堤與東南半壁的碎石坡間，隔著一個寬約 10 公尺的小乾谷，形成坡面反插的現象(圖五)。2、3、4、5、6 號堆石堤位於 1 號圈谷外側依序排列(圖八)，除 6 號堆石堤外，大致與 1 號圈谷溪平行，規模都比 1 號堆石堤小。6 號堆石堤位在 3 號岩階上，是所有堆石堤中高度分布最低的，約略在 3300 公尺，其方向與 1 號圈谷溪成垂直。溪對岸是 7 號堆石堤，規模比 6 號小了許多，原本與 6 號是連成一體的，被 1 號圈谷溪沖斷而分列兩岸。由於 6 號堤的下方是瀑布群，有可能是鹿野忠雄所研判的懸谷，所以 1~5 號堆石堤位於溪畔，平行溪谷極可能是末次冰期的側冰碛；而 6 號則因位於所有堆石堤的最終端，同時又垂直溪谷，所以是端冰碛。7 號堆石堤規模很小，且在陡坡的下方，是由崩落碎屑所形成的崖錐。鹿野忠雄(1934)的報告中在 1 號圈谷末端，發現有道長 40-50 公尺、高 10-25 公尺的端堆石堤狀小丘，本研究在現場並未發現這道堆石堤。



圖五：1 號堆石堤的反插地貌示意圖

5. 圓頂峰

1 號圈谷附近有兩處明顯的圓頂峰分布，一處是北稜角，另一處是雪山東稜。北稜角的圓頂峰(圖六)位於雪山主峰北方 500 公尺處，峰頂的北稜角高達 3882 公尺，只比主峰低 4 公尺。由主峰北望北稜角，東、南、西兩面是陡崖，坡度達 60 度以上。近峰頂處坡面轉緩至 20 度以下，北延至雪山北峰的稜脈更緩，平均坡度約在 15 度以下。

雪山東稜由主峰至 3690 峰間約兩公里的稜脈上，連續有三座緩起伏的圓頂峰由於。由於找到冰河的擦痕，所以鹿野忠雄認為北稜角以及雪山東稜三個圓頂峰，是整個山頭受冰河作用而成的研磨面，因此研判是冰蝕的羊背岩地形。由於現場調查並沒有發現冰河擦痕，同時這四個圓頂峰的坡面較陡的崖面，大都位在反插坡向上，極可能由構造控制這些圓頂峰的發育。



圖六：北稜角的圓頂峰示意圖

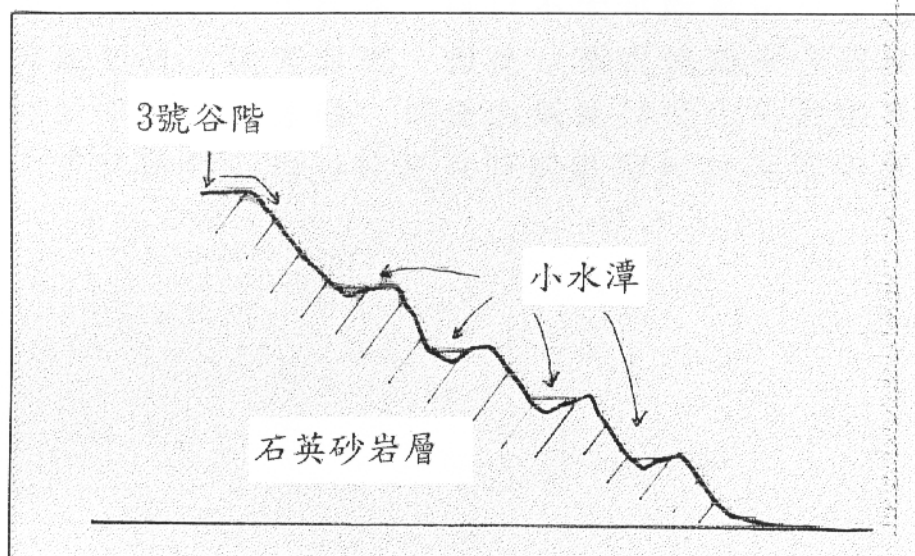
資料來源：鹿野忠雄(1934)。台灣次高山彙於冰河地形研究(第 1 報)2。地理學評論，Vol.10, No9, 817-835。

6. 蝕溝

1 號圈谷的蝕溝明顯分布在西北半壁的陡崖上，由北稜角至 15 號圈谷間的坡面上，共有 5 條蝕溝。這些蝕溝都由北稜角北延的稜頂，往下切蝕至陡崖底部。由稜頂至崖底頂的碎屑經由蝕溝往下滾落，形成陡崖底下呈扇狀的崖錐。

7. 瀑布群

3 號谷階和 6 號堆石堤下方約落差 50 公尺的陡崖，1 號圈谷溪由此切穿而過，形成一連串的瀑布群，有 5 層較明顯的瀑布(圖七)。落差最大瀑布在第一層，約高 10 公尺，其餘各層的落差大都在 5 公尺左右。每一個瀑布下方都有一個小水潭，以第三瀑的最大、最深。由於瀑布周為森林茂密，露頭少，溪床上的被流水不斷沖刷，因此不易找得冰蝕的遺跡。但在地貌上，這個瀑布群很可能是末次冰期時所形塑而成的懸谷，瀑布頂上的谷階，厚厚的冰雪曾駐留在此一段相當長的時間。



圖七：1 號圈谷的瀑布群縱剖面

(三)雪山 2 號圈谷地貌分析

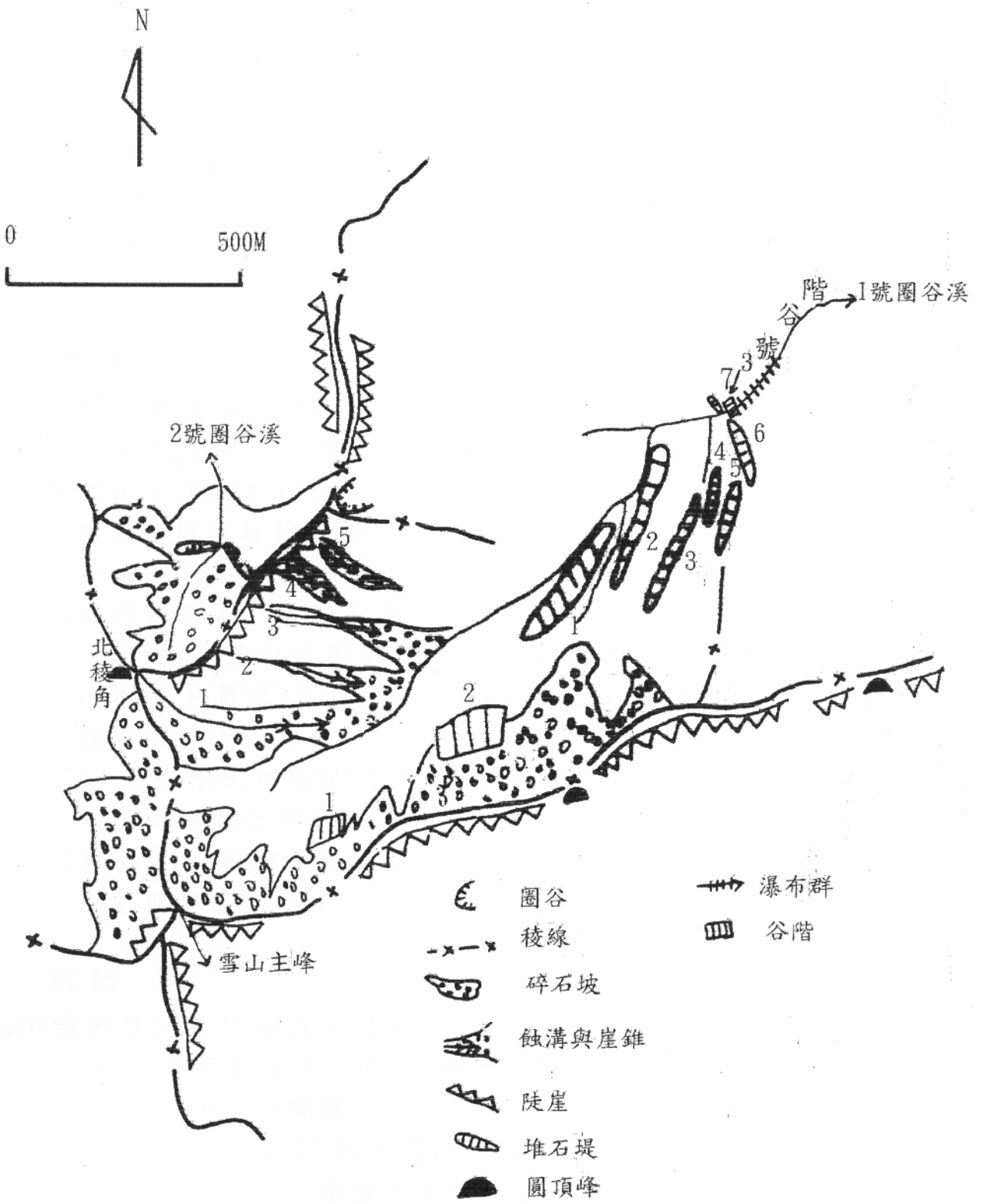
2 號圈谷位於北稜角的北面，開口朝北。谷內的地貌只要是碎石坡和堆石堤兩類。

1. 碎石坡

2 號圈谷內的谷壁全為碎石所覆蓋，從周圍稜頂一直分布到谷底，崖錐地貌不明顯。碎石全是石英砂岩組成，粒徑大都在 10~30 公分。由現場地貌特性研判，2 號圈谷的碎石坡與 1 號圈谷內的，同是冰緣地區寒凍風化作用的產物。

2. 堆石堤

2 號圈谷的谷底末端有一道明顯的堆石堤，由西側稜脈延伸而來，與 2 號圈谷溪垂直。由現場目測研判，這個堆石堤約長 50 公尺，高約 3-5 公尺，寬約 10 公尺。然而在鹿野忠雄 1934 年的報告中，測得該堆石堤高 20 公尺，寬 50 公尺，長 150 公尺，與本研究有很大的出入。由於 2 號圈谷這道堆石堤離後方坡面有段距離，除了極大的暴雨外，谷內長期處於無水狀態，所以不太可能是由崖錐延伸至谷內形成，也不可能是流水搬運而來。因此，極可能是末次冰期時，2 號圈谷冰斗冰河的末端的端冰積；但是由氣象局雪山地區冬季積雪可達三個月以上的資料研判，也可能是長時間駐留於此冰雪所搬運成的。



圖八：雪山 1、2 號圈谷地貌圖

七、討論與結論

經由現場地貌調查，雪山 1、2 號圈谷大部分區域的碎石坡屬於冰緣地形；堆石堤、圓頂峰、谷階、瀑布群等則接近冰河地貌特性；陡崖則由構造控制；蝕溝則是冰後期地面流水和塊體運動聯合形塑而成。然而本研究僅由現場地貌的粗查，以及航照和像片基本圖的判讀分析雪山 1、2 號圈谷的地形環境，因此還有許多問題須進一步的研究得知。

(一) 討論

- (1) 1 號圈谷西北半壁崖錐的碎石與東南半壁的碎石坡上的碎石，明顯的反映不同的地形作用，但是碎石形狀上的差異，或是碎石表面上是否留有不同作用的痕跡，則有待更進一步的調查。
- (2) 1 號圈谷的堆石堤除 7 號外，其餘 6 道堆石堤依其地貌特徵，極有可能是冰河的產物，但缺乏這 6 道堆石堤詳盡的沉積物分析資料，因此還有待更進一步的研究確定是否冰河所為。
- (3) 由堆石堤與谷階的位置研判，若雪山地區果真在末次冰期產生冰河，冰河的末端或冰舌應當延伸至圈谷外更低海拔的地方，但這缺乏直接證據予以支持。
- (4) 鹿野忠雄與本研究所研判的地貌類型與規模，有所出入，這須至現場由精密儀器作更仔細的量測。
- (5) 碎石坡與堆石堤等碎石堆積地貌的厚度是多少？其下基盤是否留有末次冰期的痕跡？

(二) 結論

1. 由地貌幾何特性分析，雪山 1、2 號圈谷相當接近冰斗形貌特徵。
2. 1 號圈谷無明顯冰坎，而 2 號圈谷底雖有堆石堤，堤底基岩是否成坎狀，需進一步調查。
3. 1、2 號圈谷內布滿碎石，明顯呈現高山冰緣環境特性。
4. 擦痕、磨光面等直接證據，本研究並無發現。兩圈谷內堆石堤群，在微結構上是否留下冰河證據，需進一步分析。

八、參考文獻

中文部分

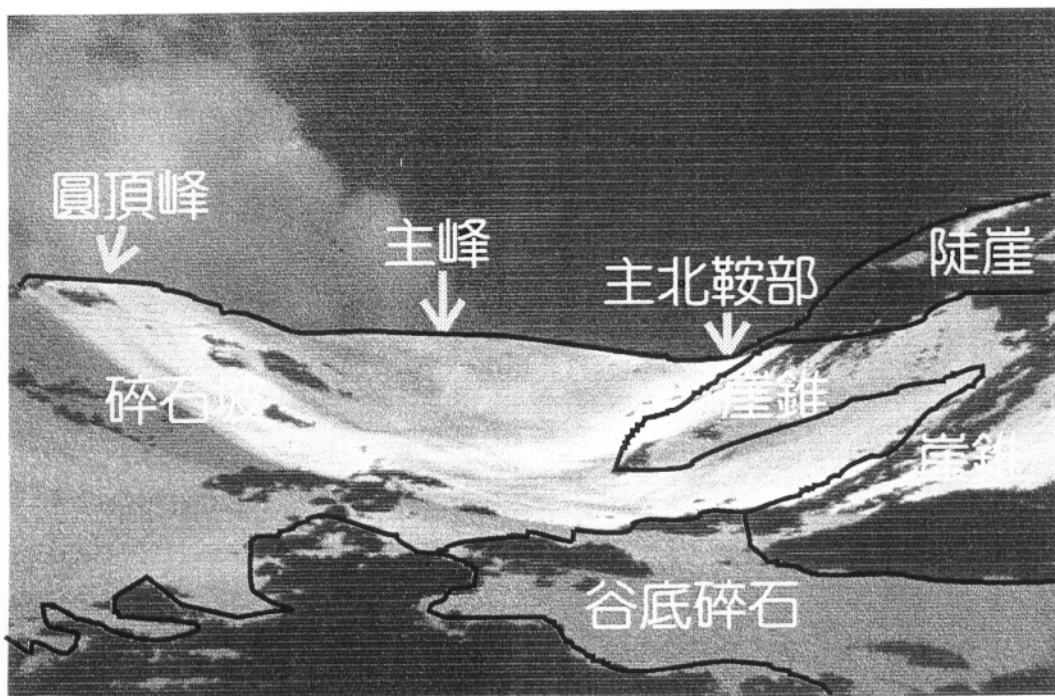
1. 中國第四紀冰川與環境研究中心與中國第四紀研究委員會編(1991)。中國西部第四紀冰川與環境。科學出版社。
2. 朱誠、張建興等(1994)。黃山逍遙溪區第四紀沉積環境研究。南京大學學報, Vol.30, No.3, 511-524。
3. 朱誠(1995)。對廬山東麓第四紀沉積物物源及新構造運動的新認識。地理學報, Vol.50, No.1, 41-50。
4. 朱誠(1996)。廬山、黃山與天目山地區第四紀沉積環境比較研究。地理科學, Vol.16, No.1, 37-44。
5. 李四光(1975)。中國第四紀冰川。科學出版社。
6. 林朝檠, 1957。台灣地形, 台灣省文獻委員會出版。
7. 周中民, 1993。中國神農架古冰緣地貌類型。冰川凍土, vol.15, No:2, pp.219~224。
8. 施雅風等(1988)。中國冰川概論。科學出版社。
9. 除馨、何才華等(1992)。第四紀環境研究方法。貴州科技出版社。
10. 施雅風、崔之久等(1989)。中國東部第四紀冰川與環境問題。科學出版社。
11. 徐鐵良, 1990。南湖大山所謂冰川地形之檢討。地質, Vol.10, No.1, 79。
12. 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, Vol.3, 增刊, 36-48。
13. 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, No.3, 109-111。

14. 劉志學，1986。再論南湖大山之冰蝕地形。演化(台大地質系系刊)，No.8，.65-66。
15. 劉桓吉(民 85)。雪山至大霸尖山地區地質構造之初探。
16. 劉耕年(1989)。川西螺髻山冰川侵蝕地貌研究。冰川凍土，Vol.11, No.3, 249-262。
17. 謝又予(1981)。九江-廬山地區第四紀沉積環境的初步探討。地理集刊，No.13，106-132。
18. 謝又予、崔之久(1983)。廬山"冰川遺跡"質疑。地理學報，Vol.38，No.3。
19. 謝又予、崔之久(1984)。廬山古冰川質疑。地理學報，Vol.39，No.2。
20. 謝又予、崔之久(1983)。中國廬山類冰碛與天山冰川沉積物特徵比較研究。中國第四紀研究，Vol.6，No.2。
21. 謝又予(1986)。太白山冰緣地貌的初步研究。地理科學，Vol.6, No.2，183-192。

外文部分

1. Chorley, R. J., Schumm, S. A. & Sugden, D. E. (1984)。Geomorphology。Methuen。
2. Clark, A. N. (1985)。Longman Dictionary of Geography。Longman。
4. David Drewry (1986)。Glacial Geologic Processes。Edward Arnold。
5. Derbyshire, E. and Ives, I. S. (1976)。ch.15: The Climatic Factor in Cirque Variation。Geomorphology and Climate，pp.447~494。
6. Embleton, C. (1987)。Geomorphological Processes in Cold Environments。Horizons in Physical Geography，Macmillan Education，134~150。
7. Embleton, C. and King, C. A. (1975)。Periglacial Geomorphology。Glacial and Periglacial Geomorphology，vol:2，pp.1~24。

8. Gerrard, A. J.(1990) ◦ Mountain Environments ◦ Belhaven ◦
9. Fahey, B. D.(1983) ◦ Frost action and hydrating as rock weathering mechanisms on schist : a laboratory study ◦ Earth Surface Processes and Landforms , vol.8 , pp.535 ~ 545 ◦
10. Gerrard, A. J.(1990) ◦ Mountain Environments ◦ Belhaven ◦
11. Goudie , Andrew(1994) ◦ The Encyclopedia Dictionary of Physical Geography ◦ 2nd , Blackwell ◦
12. Ives, Jack D.(1985) ◦ Mountain Environments ◦ PPG, No.9, 425-433 ◦ 15 Ives, Jack D.(1987) ◦ The Mountain Lands ◦ from: *Horizons in Physical Geography* , Macmillan Education , 232-249 ◦
13. Ives , J. D.(1987) ◦ The Mountain Lands ◦ Horizons in Physical Geography , Macmillan Education , pp.232 ~ 249 ◦
14. Price , L. W.(1981) ◦ Mountain and Man ◦ University of California ◦
15. Selby , M. J.(1989) ◦ Earths Changing Surface ◦ Oxford , pp.388 ~ 467 ◦
16. Selby , M. J.(1993) ◦ Hillslope Materials and Processes ◦ Oxford ◦ pp.137 ~ 141 ◦
17. Thorn , C. E.(1976) ◦ Quantitative evaluation of nivation in the Colorado Front Range ◦ Geological Society of America Bulletin , Vol.87 , 1167 ~ 1178 ◦
18. Thorn , C. E.(1988) ◦ Nivation : a geomorphic chimera ◦ Advances in Periglacial Geomorphology , Wiley , 3 ~ 32 ◦
19. Washburn , A. L.(1973) ◦ Periglacial Processes and Environments ◦ Edward Arnold , 1 ~ 4 ◦



圖九：雪山1號圈谷地貌分區圖



圖十：雪山2號圈谷地貌分區圖