

# 壽山國家自然公園石灰岩洞穴發育模式

何立德<sup>1</sup>，齊士崢<sup>1,5</sup>，任家弘<sup>2</sup>，梁世雄<sup>3</sup>，呂政豪<sup>4</sup>，李宗穎<sup>1</sup>，陳鈞<sup>1</sup>，陳佳宏<sup>1</sup>

<sup>1</sup>國立高雄師範大學地理學系；<sup>2</sup>國立高雄師範大學教學發展中心；<sup>3</sup>國立高雄師範大學生物科技系；<sup>4</sup>國立澎湖科技大學觀光休閒系；<sup>5</sup>通訊作者E-mail: chyisj@nkn.edu.tw

**[摘要]** 壽山國家自然公園最重要的地景就是由珊瑚礁石灰岩構成的地景。形成石灰岩洞穴、溝、谷等地形景觀最重要的地形作用是塊體運動或崩塌作用，而非石灰岩溶蝕作用。意即壽山的洞穴或溝、谷等「空間」，主要並不是石灰岩被溶蝕、消失後的「殘餘空間」，洞穴亦非「溶洞」，洞穴中的空間主要是因為石灰岩塊發生滑移，或石灰岩塊崩塌、堆疊產生的，稱壽山石灰岩分布區的地形為「喀斯特地形」並不恰當。因此，我們彙整調查成果，提出壽山主要石灰岩地景的發育模式，說明洞穴的成因及人們在洞穴中活動面臨的潛在危險。

**關鍵字：**壽山、石灰岩洞穴、塊體運動

## A Development Model of Limestone Caves in Shoushan National Nature Park, Taiwan

Lih-Der Ho<sup>1</sup>, Shyh-Jeng Chyi<sup>1,5</sup>, Chia-Hung Jen<sup>2</sup>, Shih-Hsiung Liang<sup>3</sup>, Cheng-Hao Lu<sup>4</sup>, Tsung-Ying Lee<sup>1</sup>, Chun Chen<sup>1</sup> and Jia-Hong Chen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Geography, National Kaohsiung Normal University; <sup>2</sup>Center for Development of Teaching and Learning, National Kaohsiung Normal University; <sup>3</sup>Department of Biotechnology, National Kaohsiung Normal University; <sup>4</sup>Department of Tourism and Leisure, National Penghu University of Science and Technology; <sup>5</sup>Corresponding author E-mail: chyisj@nkn.edu.tw

**ABSTRACT** Shoushan National Nature Park is primarily composed of limestone landscape. Mass wasting rather than limestone solution forms the geomorphological features here, such as limestone caves, fissures, and valleys. Specifically, the void of caves, fissures, and valleys are relict spaces formed by slippage of limestone or stacking of fallen rock blocks, rather than limestone-dissolving processes. Since caves in the Shoushan area are not solutional caves, it would be erroneous to describe the geomorphological landscapes here as karst landscapes. We provide results from field investigation of Shoushan National Nature Park to support our argument and propose a limestone caves development model, which demonstrates the cause of the limestone caves and the potential hazards that cavers confront.

**Keywords:** Shoushan, limestone caves, mass movement

### 前言

壽山國家自然公園於2011年12月6日正式開園，由「壽山國家自然公園籌備處」

推動各項業務，並於2019年設立「壽山國家自然公園管理處」。珊瑚礁石灰岩構成的地景是壽山國家自然公園重要的自然景觀。研究團隊於2012年開始接受壽山國家

自然公園的委託，同時也自行進行壽山地區石灰岩地景類型與分布、潛在崩塌危險及洞穴環境監測的研究(王詩辰 2007，高雄市臺灣地理學會 2012、2013、2019，洪慧珊 2013，林庭宇 2016，陳鈞 2017)、發表研究成果(齊士崢等 2013，Jen *et al.* 2017，Chen and Ho 2017，Lee *et al.* 2019)，以及撰寫解說書「壽山國家自然公園—探索壽山—地景篇」(齊士崢、何立德 2017)。一般來說，溶蝕作用是石灰岩和其他可受酸性水溶蝕的岩類分布區特殊的地形作用，對這些地區的地景發育常有重要影響。因此，相關教科書談到「喀斯特地形」、「石灰岩地形」或「岩溶地形」，大多著眼於討論溶蝕作用、溶蝕作用形成的地形景觀與洞穴內化學沈澱作用產生的洞穴岩或洞穴石灰華 (speleothem)。可能也因此，一般人會認為壽山洞穴的成因是溶蝕作用，並稱之為「溶洞」(solutional cave) (如楊吉壽 2016)。然經過調查、分析，因為壽山較大規模的洞穴，並不具有一般在地下水面附近溶蝕的洞穴特徵，如具有水平延伸的洞穴形貌，洞穴岩壁上多有地下水流磨蝕而成的圓滑表面等等，而是具有崩塌作用所形成的上窄、下寬的高窄洞穴特徵，或岩塊堆疊形成三角形空間 (Gillieson 1996)。因此我們認為壽山地區較大規模的洞穴、溝、谷等石灰岩地景，均是崩塌作用或者塊體運動 (mass movement or mass wasting) 的結果。這樣的說法並非指稱溶蝕作用不重要，畢竟壽山大多數洞穴內都有溶蝕後再化學沈澱形成的洞穴岩。故本文最重要的目的是彙整過去的調查、研究成果，再進行洞穴製圖與調查，提出壽山洞穴與溝、谷等主要石灰岩構成的地景是塊體運動形成的證據，以闡明壽山地區洞穴的「洞穴空間」，並不是石灰岩被溶蝕、消失後的「殘餘空間」，這些「空間」主要是石灰岩塊發生滑動後產生的，或由崩塌的石灰岩塊堆疊形成的。其次再由修正的洞穴發

育模式，推測壽山石灰岩體塊體運動的移動特徵或者再度移動的可能性，說明人們在洞穴中活動可能面臨的潛在危險性。

#### 一、壽山地質與地形特徵

壽山山體南北長約6公里，東西寬約2公里，最高點是三角山，高約海拔355公尺，稜線位於山塊中央。依高度、坡度、坡向、水系發育等地勢特徵，壽山可以區分為以下四個區域(圖 1)，各個區域也有不同的潛在危險類型(王詩辰 2007，高雄市臺灣地理學會 2012、2013)，包括：

1. 臺地狀的中壽山：壽山中段為頂部平坦的高地，海拔高度在350公尺以上，石灰岩體最厚。整體地形呈現較高的臺地狀，周邊以大約100公尺高差的陡坡與海拔高度大多在250公尺以下的南、北壽山為界，鼓山的地名的由來或許就是由於這樣似臺地的地形。

2. 盆地狀的北壽山：北壽山四周幾乎被較耐侵蝕的石灰岩體構成的高地圍繞，高地中間是以泥岩為主的古亭坑層構成的低矮丘陵地，水系發達，呈現不明顯的單面山、同斜脊地形。泥岩地層層理的走向大約東北西南向，向東南傾斜大約25°。

3. 階地狀的南壽山：南壽山地區整體呈現由石灰岩構成的階段狀大型平台地形，壽山公園、動物園都位於這樣的平坦面上，低階平坦面最下部露出泥岩。

4. 以陡坡為主的西壽山：西壽山地區目前崩塌活動性最高，尤其是中、南段高差較大的區域。坡頂是石灰岩陡崖，下坡是覆蓋崩積石灰岩的泥岩斜坡，上陡、下緩，上凹、下凸的崩塌地形比比皆是，地形組合複雜，顯示本區在更新世末期可能發生數個大型地滑(齊士崢等 2013，林庭宇 2016，Jen *et al.* 2017)。

構成壽山的地層是上新世晚期(僅最底部屬於中新世末期)至更新世早期，以青灰色泥岩為主的古亭坑層，和覆蓋其上的高

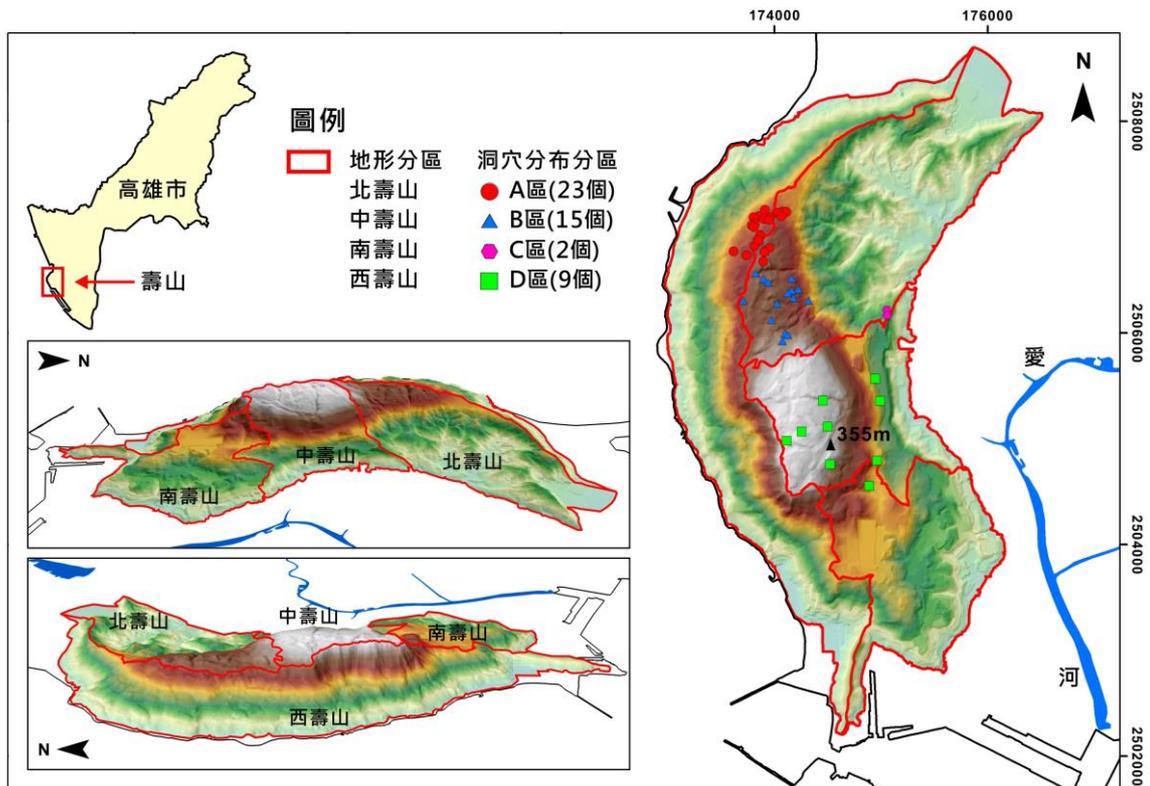


圖 1. 壽山地形與洞穴分布圖

雄石灰岩體、壽山石灰岩體(圖 2) (陳華玟、吳樂群、錢憲和 1994, 陳華玟、謝凱旋、何信昌, 1998, 王士偉 2006, Wang *et al.* 2006)。高雄石灰岩體年代是早更新世中期, 與泥岩整合接觸的, 主要是由富含碳酸鈣質的生物碎屑所組成, 呈透鏡狀, 最大厚度約550公尺, 位於台地狀的中壽山區域, 石灰岩體厚度向南、北遞減至百餘公尺。高雄石灰岩體的走向大約北偏東約 $10^{\circ}$ 至 $20^{\circ}$ , 向東南傾斜, 傾角在 $30^{\circ}$ 至 $40^{\circ}$ 之間, 在壽山頂部傾角較緩。壽山石灰岩年代約是晚更新世, 分布於壽山東南側, 與下伏的古亭坑層不整合接觸, 其上無任何地層覆蓋, 岩性以含珊瑚的石灰岩岩塊為主, 厚度約20公尺。

壽山斷層斷層自壽山東北側山腳呈東北西南向穿過壽山, 屬於高角度逆斷層, 斷層面的走向約為北偏東 $30^{\circ}$ (接近高雄石灰岩體的走向), 向東南傾斜 $70^{\circ}$  (Heim and Chung 1962, 陳華玟、謝凱旋、何信昌

1998)。因為斷層並未穿過覆於平原地區的沉積層, 由捷運工程施工時鑽井所得之腐木定年資料得知, 壽山斷層在距今八千餘年來未再活動(MAA 1995, 張徽正等 1998, 林啟文等 2000, 許中立、郭玉麟、王杰俊 2005), 經年代校正(Reimer *et al.* 2013), 斷層在距今9581-9487年以來未曾再活動(Jen *et al.* 2017)。另一處位於半屏山區的主要構造是從東北往西南延伸至壽山北部, 走向與壽山斷層相近的半屏山背斜(Sun 1963, 鍾廣吉 1989)。

## 二、研究方法

本研究首先根據民間探洞團體的記錄資料(曾騰貴、黃文俊 2006), 建立調查洞穴清單。洞穴調查工作區分為三個部分, 其一是以手持式GPS接收器(Garmin Oregon 550t)記錄石灰岩洞穴出入口的座標與海拔高度。因詳細座標資料涉及國家自然公園經營管理業務需求, 故僅以洞穴分布圖表

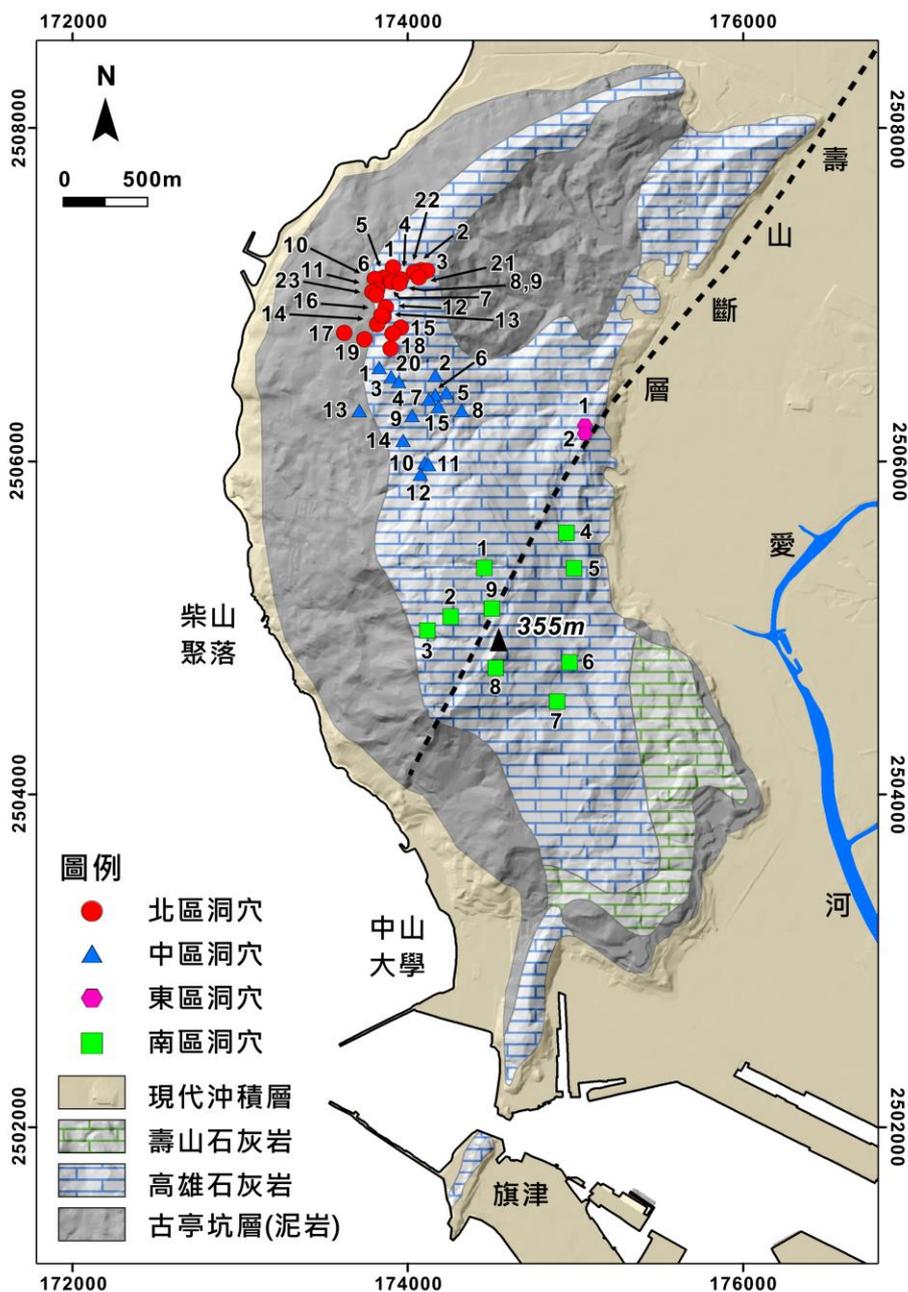


圖 2. 壽山地質圖

示(圖 1與圖 2)。其二是應用傳統的洞穴調查與製圖方法 (Ganter 2000)，在洞穴內設立導線，利用傾斜儀和手持式雷射測距儀 (Trimble HD150)測量、記錄洞穴通道的走向及長、寬、高，將洞穴走向特徵資料繪製分區與全區玫瑰圖 (rose diagram)，以評估洞穴走向與區域構造特徵之間的關係，以及洞穴橫剖面的主要形貌特徵。其三是

進行五個洞穴的詳細測繪與記錄，詳細測繪的工具為傾斜儀和手持式雷射測距儀，除將測繪成果繪製為洞穴平面圖、剖面圖外，圖上並記錄洞穴岩分布位置與類型，及洞穴內堆積的崩塌岩塊和其他特殊的機械性、化學沈澱造成的現象等，如新生的岩體裂隙等。另本研究的分析工作將一併計入鍾廣吉(1989、2008)在台泥壽山礦區內

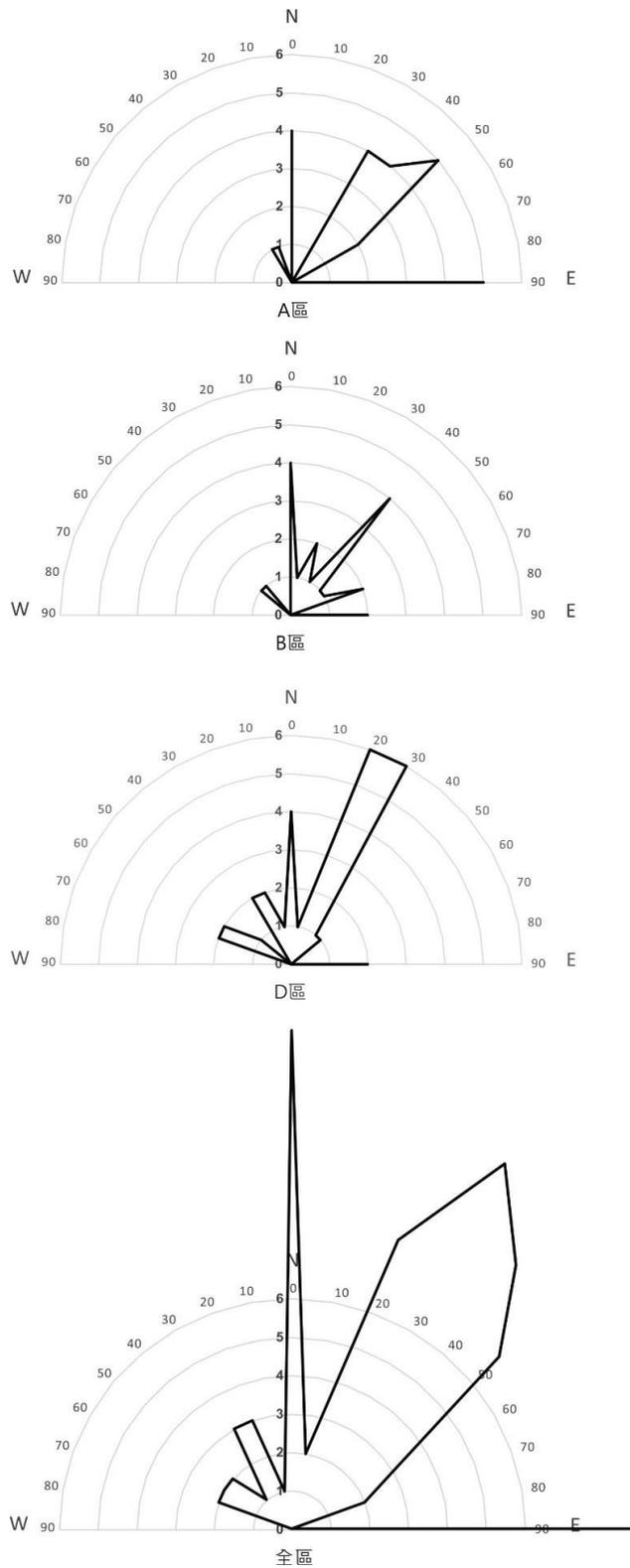


圖 3. 壽山石灰岩洞穴通道的走向次數分布圖

曾調查的5處石灰岩洞穴(壽山礦區一號至五號洞，本研究編號為D04、D05、D06、D07、D08，現已封閉、無法進入)的形貌、走向與洞口海拔高度資料。

### 三、研究結果

本團隊過去記錄44個天然洞穴(高雄市臺灣地理學會 2012、2013、2019)，加上鍾廣吉(1989，2008)記錄的5個洞穴(D04-D08)(圖 2)，本研究總計分析、討論49處天然洞穴。考量洞穴的位置、集中狀況及其與主要登山步道的關係，洞穴分布區分為A、B、C、D四區。所有洞穴均有入口位置及海拔高度資料，其中38個洞穴可觀察洞穴橫剖面類型，36個洞穴進行通道走向測量，共得到78筆通道走向資料。

### 四、洞穴分布

A區洞穴位於北壽山與西壽山交界的石灰岩高地附近，共有23處天然洞穴，佔天然洞穴總數的46.9%，洞口分布高度介於海拔170公尺至230公尺之間，洞穴長度多介於10至30公尺。B區洞穴位於北壽山、西壽山與中壽山交界區附近，共有15處洞穴，洞穴數量佔總洞穴數量的30.6%，洞口分布高度介於190公尺至300公尺，洞穴長度與北區相似，僅B10洞穴區分兩段，中間有長約40公尺的狹窄開放峽谷連接，使得總長超過90公尺。C區洞穴位於北壽山靠近中壽山交界區附近的山腳地帶，僅有2處洞穴，洞穴數量佔總數量的4.1%，洞穴高度均在4公尺左右，長度則在30公尺左右。D區洞穴位於中壽山高地與東側礦場斜坡，共有9處，數量佔洞穴總數的18.4%。位於高地的洞口高度介於275公尺至340公尺，位於礦場斜坡的洞穴高度較低，據鍾廣吉(1989)的洞穴位置圖研判，高度大約介於100公尺至175公尺。此區的洞穴以D03和礦區中的D04、D06 長度較長，均超過100公尺，其餘的洞穴長度多在20公尺以下。整體來說，壽山

洞穴主要分布於北、西壽山交界區和中壽山台地邊緣，洞口分布高度由北向南增加，洞穴長度大多介於數公尺至數十公尺，長度超過100公尺僅有D03、D04與D06。

### 五、洞穴通道走向與洞穴形狀

總計36個天然石灰岩洞穴、78筆的通道或長軸的走向資料(圖 3)中，A區的洞穴通道走向共計17個洞穴的26筆資料，以北偏東20-70度居多(明顯位於第一象限，後續註記為大約北偏東走向)，共15筆，其次為東西向共5筆與南北向共4筆，北偏西走向的資料有2筆。B區的洞穴通道走向共計10個洞穴的20筆資料，以北偏東走向居多，共11筆，其次為約南北向5筆居次，東西向及北偏西走向的各2筆。C區僅C02一筆資料，呈南北向，未以圖表示。D區的洞穴通道走向共計8個洞穴的31筆資料，以北偏東走向最多，共14筆，較明顯北偏西走向的共9筆，約南北向的6筆，東西向則為僅2筆。整體而言，大約北偏東走向的共40筆，佔資料總數的51.3%;大約南北向的共16筆，佔資料總數的20.5%;東西向共9筆，佔資料總數的11.5%;較明顯呈現北偏西走向的約13筆，佔資料總數的16.7%。

由洞穴通道走向次數資料，可觀察到即使構成洞穴的岩體已經因為滑移、崩塌偏離原來的位態，絕大部分的洞穴通道走向仍然與區域地質構造—壽山斷層和半屏山背斜軸部的走向相近，或與岩體抬升時所產生的共軛節理破裂面相近。除此之外，溝、谷、陡崖的延伸走向也相似，如「泰國谷」為南北走向、「猴岩陡崖」為東西走向、「山龍溝」與「富家溝」為東北西南走向，亦均是沿著裂隙方向發育(高雄市臺灣地理學會 2012)。因此，構造運動應力產生的岩體裂隙與石灰岩洞穴、溝、谷的發育應該有密切關係，或者可以推測洞穴主要是沿著岩體裂隙發育的。

其次，本研究依據洞穴的寬度、高度

特性，將洞穴區分為洞穴通道的橫剖面形狀高度大於寬度的高窄型、洞穴通道的高度接近寬度的低寬型，和巨大岩塊堆疊形成的崩積型洞穴三類(高雄市臺灣地理學會 2012、2013、2019)。高窄型洞穴多呈鈍角三角形、倒漏斗狀或長條狀，數量最多，A區的23個天然洞穴，記錄的18個剖面形狀有13個為高窄型；B區的15個天然洞穴，記錄的12個的剖面形狀有11個為高窄型；C區的2個天然洞穴，記錄的1個洞穴的剖面形狀亦為高窄型；D區的9個天然洞穴，記錄的8個洞穴的剖面形狀有7個是高窄型。總計高窄型洞穴佔39個有剖面形狀洞穴記錄的82.1%，或即使計算未能進入調查剖面形狀的其餘洞穴，高窄型洞穴數量也佔49個天然洞穴的65.3%，此特徵應符合崩塌並沿著岩體裂隙發育洞穴的推論。崩積型洞穴總計6個，佔紀錄洞穴總數的15.4%，A區是A04、A12、A14、A19和A21，B區是B14，此類型洞穴多分佈於珊瑚礁石灰岩陡崖邊緣，洞穴通道常呈三角形，洞穴內部可明顯觀察到堆疊的破裂巨大岩塊(高窄型和崩積型洞穴數量佔49個天然洞穴的77.6%)。低寬型洞穴數量最少，目前僅有3個案例，且其中2個案例是洞穴末端形狀，並非整個洞穴皆為低寬型；包括洞穴橫剖面呈鐘狀的D07(位於礦區，目前已封閉)，橫剖面呈現平頂狀的A22洞穴末端，與橫剖面呈倒吊寬漏斗狀的A02洞穴通道末端。推測A22洞穴末端通道是沿著石灰岩層層面開始發育，因此洞穴頂部呈現平直狀；A02洞穴末端通道的頂部有一垂直裂隙，而且該通道連接著高窄型洞穴通道，因此推測這段通道可能是高窄型通道的發育初期。

## 六、洞穴測繪

本研究共進行B02(圖4)、B05(圖5)、B12(圖6)、B15(圖7)和C02(圖8)等5個洞穴的詳細測繪與觀察記錄。

B02洞穴長約16公尺，主要通道寬約2

公尺，洞頂與洞底落差約6公尺，北側石室最大寬度可達6公尺。主要特徵是洞頂平坦，如階梯狀下降，從最高洞頂的6公尺，依序降至3公尺與1.5公尺高。因為平坦的洞穴頂部與岩層層面一致，洞穴底部堆疊著許多巨大珊瑚礁石灰岩崩積岩塊，故推測洞穴空間的成因是岩體沿著層面拉開，洞頂懸空的岩體受重力作用而崩落。洞穴內洞穴岩發育極發達，洞頂裂隙已被封閉，洞穴岩以流石(flowstone)與鐘乳石(stalactite)為主，緣石(rimstone)則出現在少數地區。

B05洞穴總長約35公尺，寬約10公尺，形貌上屬於高窄型的狹長洞穴。洞穴可分為前後兩段，前段橫剖面呈高聳的三角形，洞底到洞頂的高度可達16公尺，大量土壤與岩屑、岩塊從5公尺寬的洞口沖入，堆積在洞口下方的斜坡與洞底；洞穴後段主要由大規模岩塊堆積而成，厚度估計達10-12公尺，岩塊直徑可達數公尺，顯示過去曾發生大規模的岩體崩落。目前洞穴內部發育發達的洞穴岩，洞穴頂部的主要裂隙已受洞穴岩封閉，不過在陡立岩壁表面可見化學沈澱的層狀洞穴岩與珊瑚礁石灰岩之間已發育裂隙。

B12洞穴總長約70公尺，通道寬約2至3公尺，洞口與洞底落差約8公尺，洞穴橫剖面呈高、窄的三角形，形貌上屬於高窄型狹長洞穴。洞穴內部有一寬廣的石室，石室長約20公尺、寬約15公尺，上方有直徑約10公尺的天井，天井頂部邊緣與下方崩積層表面約有10公尺的落差，與洞穴最低處約有20公尺的落差。洞穴內部尚有一道長約23公尺，寬約2公尺的支線洞穴，以及一處小石室，內有石柱與石筍。寬廣石室四周的洞穴岩表面覆蓋地衣、苔癬，應是陽光可由天井照入石室，且洞內、外空氣流通，使洞穴岩已停止發育，此現象亦可說明天井應是晚近才形成的。高窄型洞穴通道頂部，多已被化學沈澱形成的洞穴岩封閉，僅洞穴入口通道前段和天井下方可

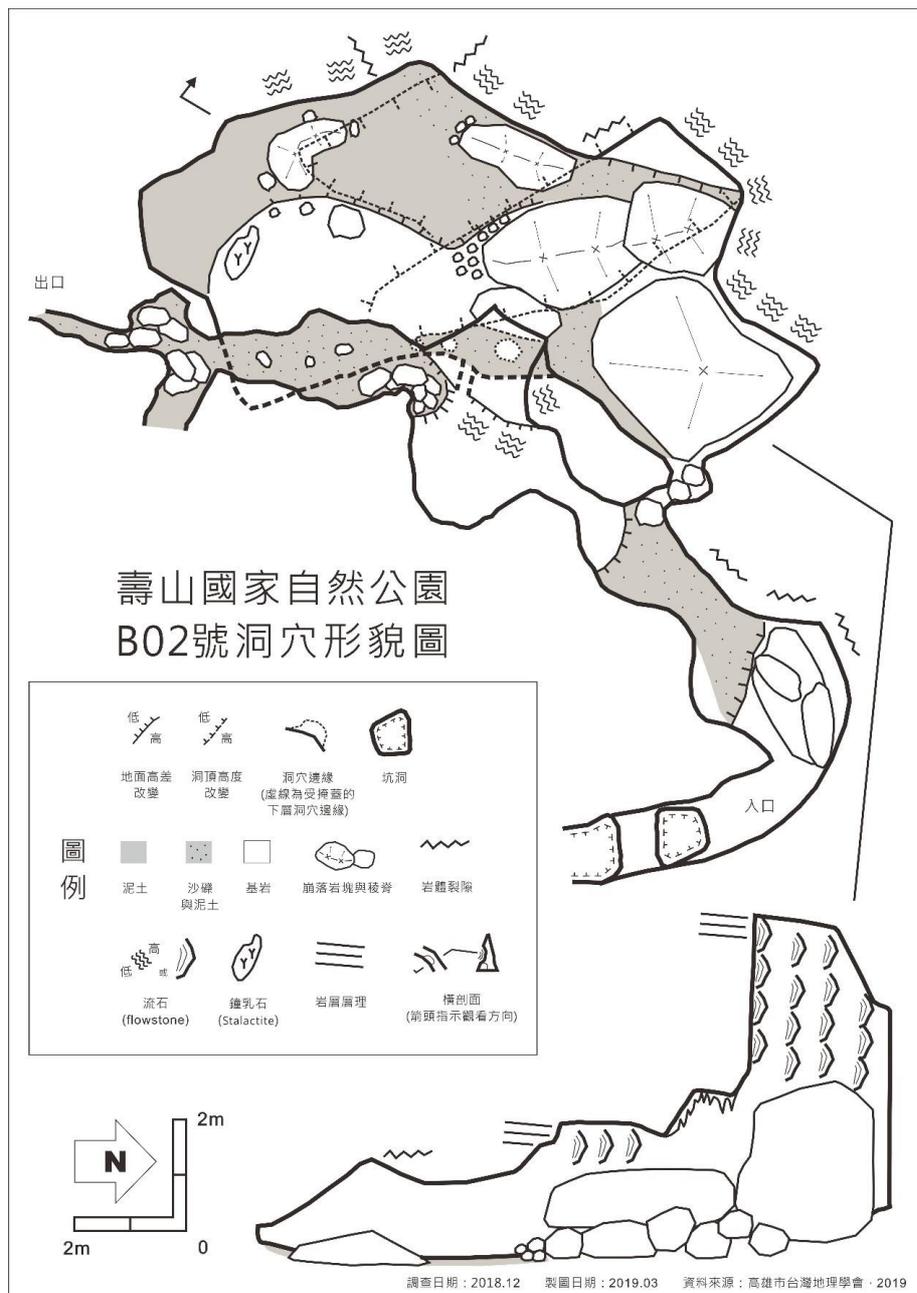


圖 4. B02洞穴形貌測繪圖

發現近期崩塌的崩積物質，這是洞穴目前落石危險性較高的地方。

B15洞穴總長約17公尺，寬約2-2.5公尺，洞口與洞底落差約4公尺，形貌上屬於高窄型狹長洞穴。洞口斜坡的坡度超過45度，主要由崩積的泥土與岩塊堆積而成。內部的剖面形狀呈高、窄三角形。洞穴內崩積的大岩塊集中分布在洞穴前段主通道與支

通道交叉處，及洞穴後段。洞穴後段崩積岩塊的規模較大、數量較多，岩塊稜角分明，且有一懸空岩塊卡在岩壁之間，且懸空岩塊與岩壁的接觸點已被洞穴岩膠結。洞穴內部發育發達的洞穴岩，如懸空岩塊上、下部，洞穴頂部主要裂隙也已被洞穴岩封閉。

C02洞穴長約33公尺，洞口與洞底落差

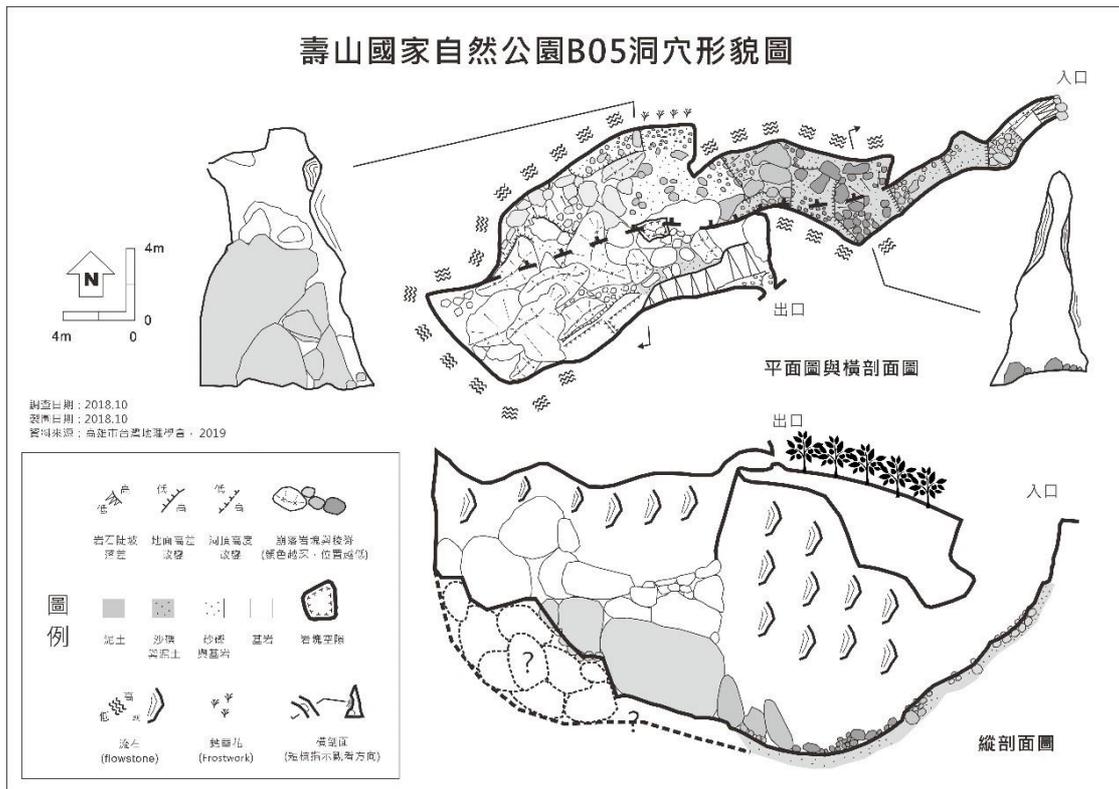


圖 5. B05洞穴形貌測繪圖

約6公尺，橫剖面最寬約4公尺，高度則多在4公尺左右。大致而言，主要洞穴通道的高度大於寬度，雖偶爾呈上寬、下窄的倒三角形，洞穴仍可歸類為高窄型的狹長洞穴。洞穴中後段有洞中洞(圖 8虛線範圍)，長約8公尺、寬約2-4公尺、高約1公尺，外形約呈水平狀。洞穴內有少量崩積珊瑚礁石灰岩岩塊，然洞穴中目前並無大規模落石的條件。

## 討論

由於大部分的洞穴長度大於寬度、洞穴的長軸延伸方向接近區域主要構造線延伸方向、洞穴剖面形狀呈高窄形，及洞穴內經常有崩積的巨大珊瑚礁石灰岩塊(包括2012年、2013年調查的B04、D03，洞穴內部都堆疊巨大的珊瑚礁石灰岩塊)，因此我們認為壽山的石灰岩洞穴主要是由珊瑚礁石灰岩體發生滑移、崩塌造成的。由於主

要溝、谷的延伸方向與洞穴類似，溝、谷岩壁表面常可發現已停止化學沈澱作用的鐘乳石、流石等洞穴岩(圖 9)，顯示其應曾歷經洞穴期，然後再發展成為溝、谷，故依據「遍歷性假說」(ergodic assumption)建立的洞穴發育模式如圖10(高雄市台灣地理學會 2012、2013)。推測位於壽山較高處的石灰岩體，因為下邊坡受侵蝕、失去支撐之故，岩塊開始滑移，形成洞穴，再逐漸發展成為溝、谷、殘餘孤立岩壁等。

然而，由洞穴詳細的調查、測繪與製圖(圖 4 至圖 8)，可以發現高窄型的B02、B05、B12、B15和C02洞穴中堆疊石灰岩岩塊，巨大岩塊的最大直徑可達數公尺，最大厚度可達十餘公尺。不過目前這些洞穴內的空間並無發生如此大規模崩塌與產生這些巨大岩塊的地形條件，而且這些洞穴的洞頂主要裂隙多已被化學沈澱形成的洞穴岩封閉。可建這些巨大岩塊很可能是洞穴生成的「同時」堆疊在洞穴內部的，也

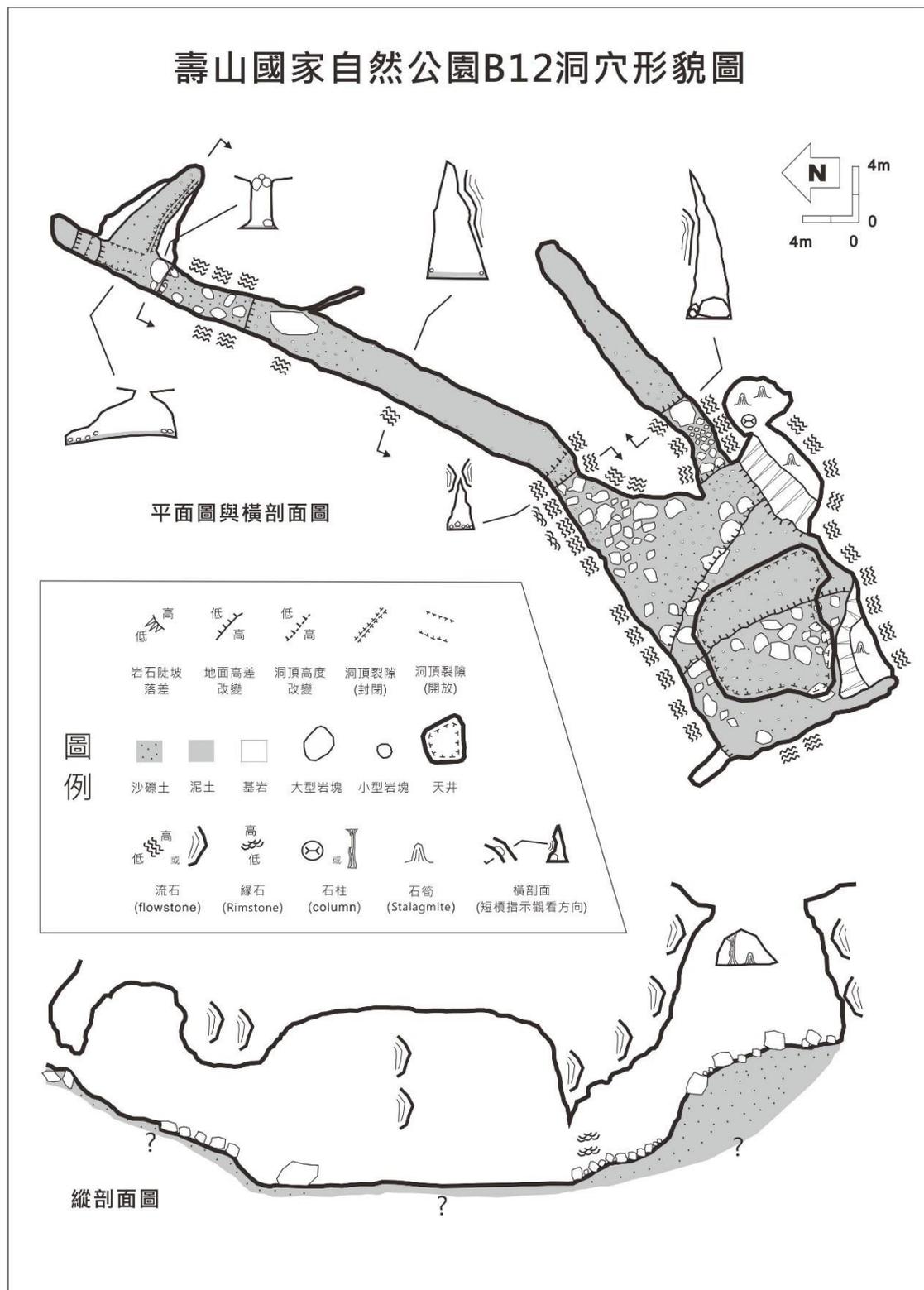


圖 6. B12洞穴形貌測繪圖

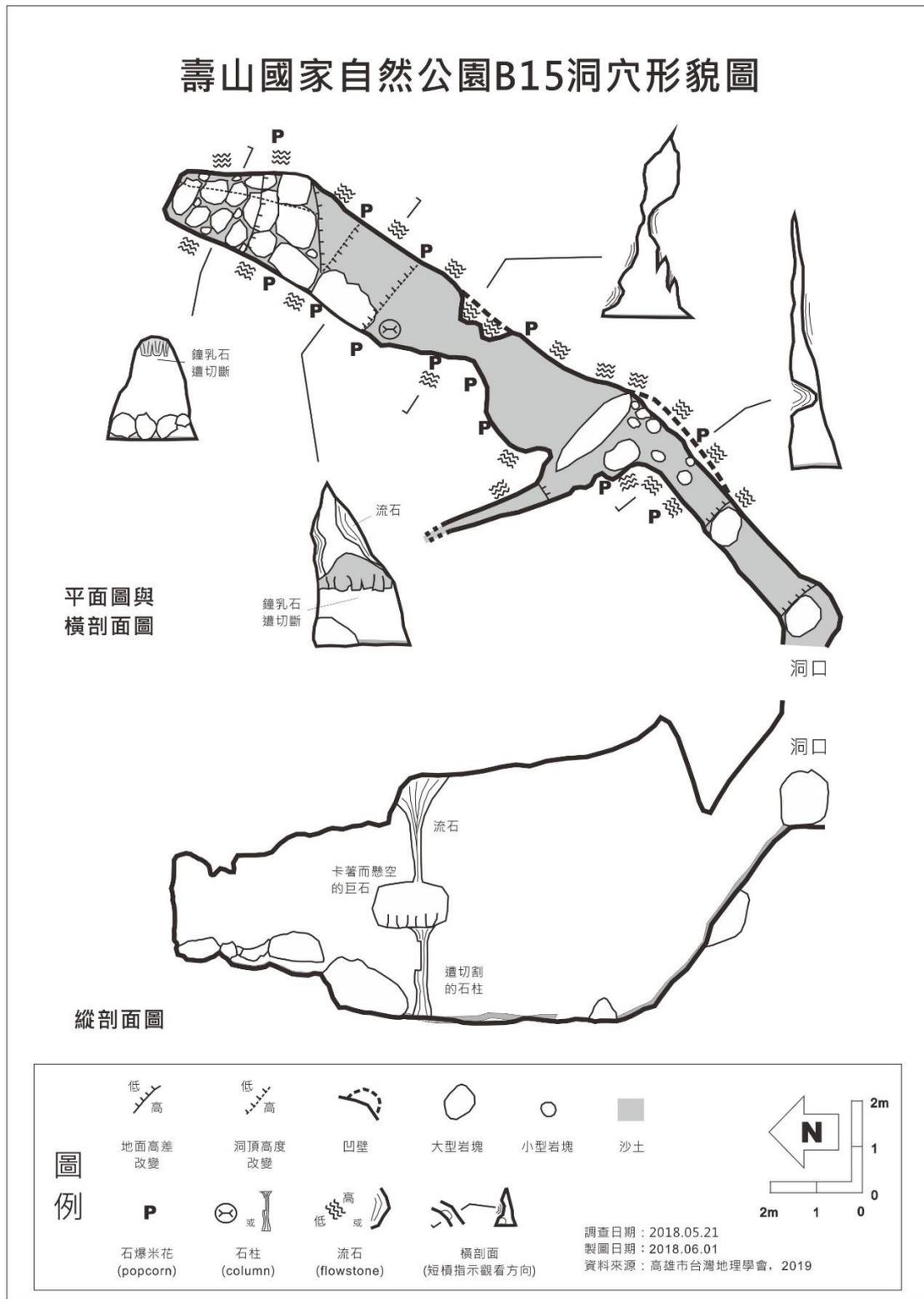
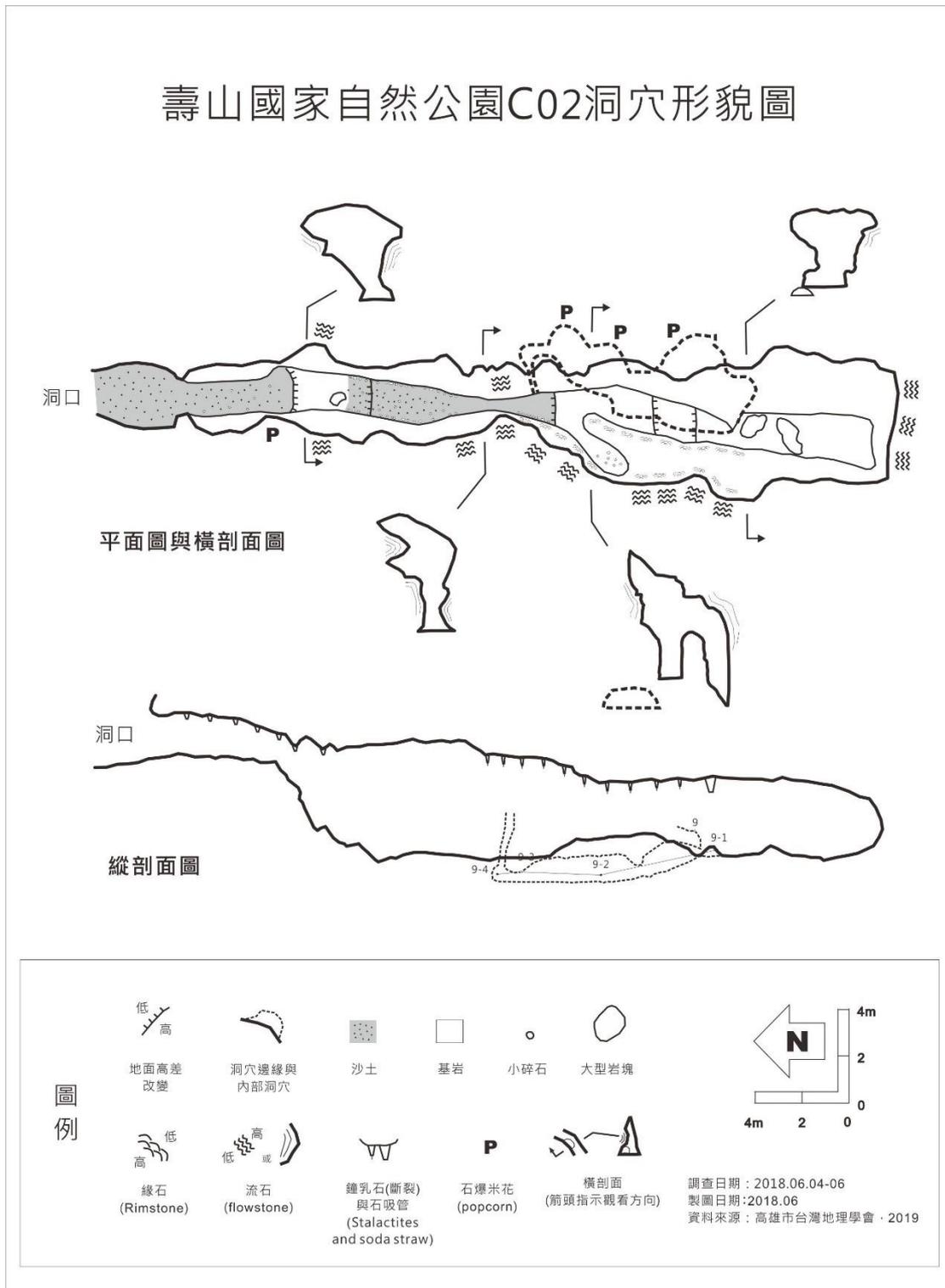


圖 7. B15洞穴形貌測繪圖



就是形成洞穴的作用就是形成洞穴內堆疊的巨大岩塊的作用，這「作用」無疑是塊體運動或岩體的滑移、崩塌。

其次，我們可以在一些受日照影響的石灰岩溝、谷的岩壁發現已生長苔蘚的洞穴岩(主要是流石、鐘乳石等)，有的石灰岩

溝、谷岩壁並未發育洞穴岩(圖 9)。這個現象有兩種意義，其一是這些溝、谷現在的環境條件無法再發育洞穴岩；其二是有些溝、谷在過去相當長的一段時間裡曾屬於洞穴階段。因此我們認為，洞穴、溝、谷均是岩體崩移形成的，不過洞穴、溝、谷不一定存在必然的演變階段關係，也就是圖 10 是洞穴發育的概念性模式，且岩體滑移形成石灰岩洞穴、溝、谷的過程並非緩慢、持續的運動過程。洞穴與溝、谷的成因較可能是間歇發生的特殊災變事件，如大規模地震事件造成崩塌。當特殊災變事件發生時，有的石灰岩體滑移、崩落形成洞穴，同時洞穴內堆積巨大落石岩塊，之後則有較長時間靜止不動，故在洞壁、洞頂形成洞穴岩，洞頂裂隙也在這個時期被洞穴岩封閉。有的石灰岩體滑移，直接形成溝、谷，所以有些岩壁上並未發育洞穴岩。劇烈的災變事件應發生許多次，所以有些溝、谷岩壁上發育洞穴岩，顯示溝、谷在過去一段時間處於洞穴階段，再由洞穴擴大形成溝、谷。依據我們提出的洞穴發育模式，廣泛的洞穴岩年代學研究應可推測特殊災變事件的發生時間與頻率，並對瞭解壽山大規模崩塌(齊士崢等 2013, Jen *et al.* 2017)發生過程與更大區域災害事件提供幫助。

最後，雖然由石灰岩洞穴的調查、測繪，發現形成洞穴的岩體滑移、崩塌已經有相當長的時間未再發生，形成洞穴內堆疊巨石的地形環境已經不復存在。不過壽山的石灰岩洞穴畢竟是由岩體滑移、崩塌造成的，洞穴內都是落石等塊體運動的危險區，進入洞穴活動當然有高度的潛在危險。目前洞穴內部落石危險程度較高的區域，主要是洞穴出入口和洞穴內的天井。另一項重要的潛在危險是洞穴內珊瑚礁石灰岩表面化學沈澱的層狀洞穴岩的剝落、崩塌，目前在B02、B05、B15的洞穴入口附近的確可以看到許多裂隙都沿著洞穴岩

和珊瑚礁石灰岩體的界面發育，B05也發現已崩落的洞穴岩岩塊(圖 11)。這類型的崩落作用推測可能是因為隨著洞穴岩逐漸發育而荷重增加，以至於洞穴岩沿著與珊瑚礁石灰岩的界面剝離。目前尚無法預測這類型潛在危險的發生時間，進行裂隙監測、標示危險區域，並管制、公告人員僅能於乾旱季節進入洞穴，當然可以降低遭遇危險的機率，不過最難以預測的是何時會發生大規模的特殊災變事件，如較大規模的地震造成的危險，參訪洞穴的人恐怕仍須十分注意。

## 結論

因為壽山地區的石灰岩洞穴大多呈高窄的狹長形，長軸方向大約平行於區域主要的斷層線、背斜軸延伸方向，剖面形狀常呈三角形，洞穴內也常堆積大量崩塌岩塊，或者洞穴就是由崩積岩塊堆積形成。而且石灰岩溝、谷壁常可見流石、鐘乳石等洞穴岩，顯示其應是由洞穴發展而形成。故我們推測壽山的洞穴和溝、谷、孤立的石灰岩壁地形，主要是由石灰岩塊滑移造成的，石灰岩洞穴空間並非溶蝕造成的，也就是這些洞穴並非「溶蝕洞穴」。

許多洞穴中堆積巨大崩積岩塊，但洞穴內部現在的空間規模與地形特徵，並不存在崩塌並形成這些巨大岩塊的條件，亦非形成這些巨大岩塊後遺留的地形特徵。而且目前洞穴頂部的主要裂隙，已被化學沈澱的洞穴岩封閉，顯示洞穴空間已經相當長時間未曾因石灰岩體移動而擴大。再由前段所述，石灰岩溝、谷壁常可見洞穴岩，顯示這些溝、谷在過去一段相當長的時間，是處於洞穴階段。因此推測由石灰岩崩移形成洞穴、洞穴內堆積大量當時形成的崩積岩塊，再發育成為溝、谷的過程並不是緩慢、持續的，而較可能與間歇發生的特殊災變事件有關，如由地震等災害

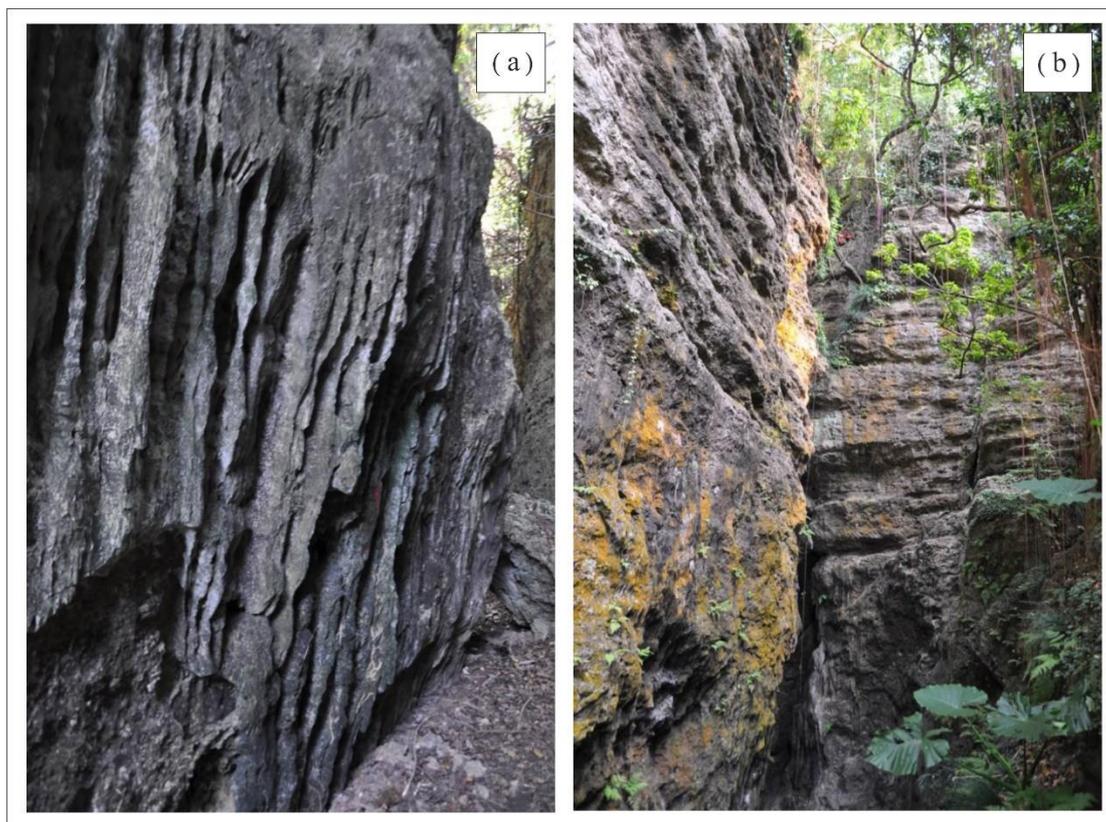


圖 9. 壽山石灰岩溝、谷的岩壁常可見停止發育的流石、鐘乳石等洞穴岩，如(a) 大猴洞附近的峽谷。有時岩體快速滑動，使得洞穴岩發育不明顯，如 (b) 泰國谷的岩壁

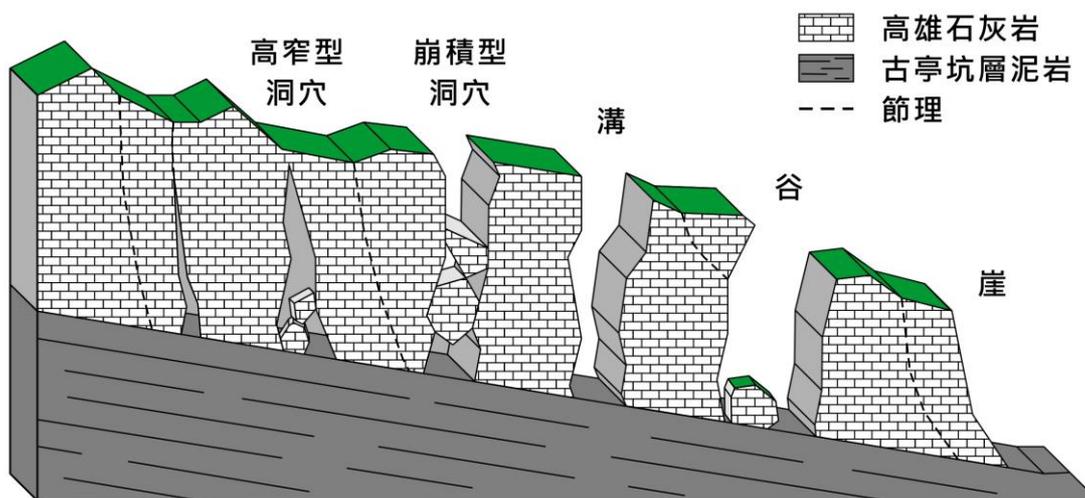


圖 10. 壽山洞穴發育模式圖

事件造成的石灰岩體突然、間歇性的大規模移動。不過石灰岩體發生大規模滑移的時間、頻率，目前尚無從得知。

石灰岩洞穴是由巨大石灰岩塊滑移、崩落造成的，洞穴內當然有高度的潛在危

險。由現況觀察，洞穴的出、入口，或B12的天井，當然是潛在落石危險程度最高的區域。而我們對洞穴、溝谷發育過程的推論，和洞穴現況的觀察，表面上看來洞穴內落石頻率似乎並不高，以至於洞穴主要

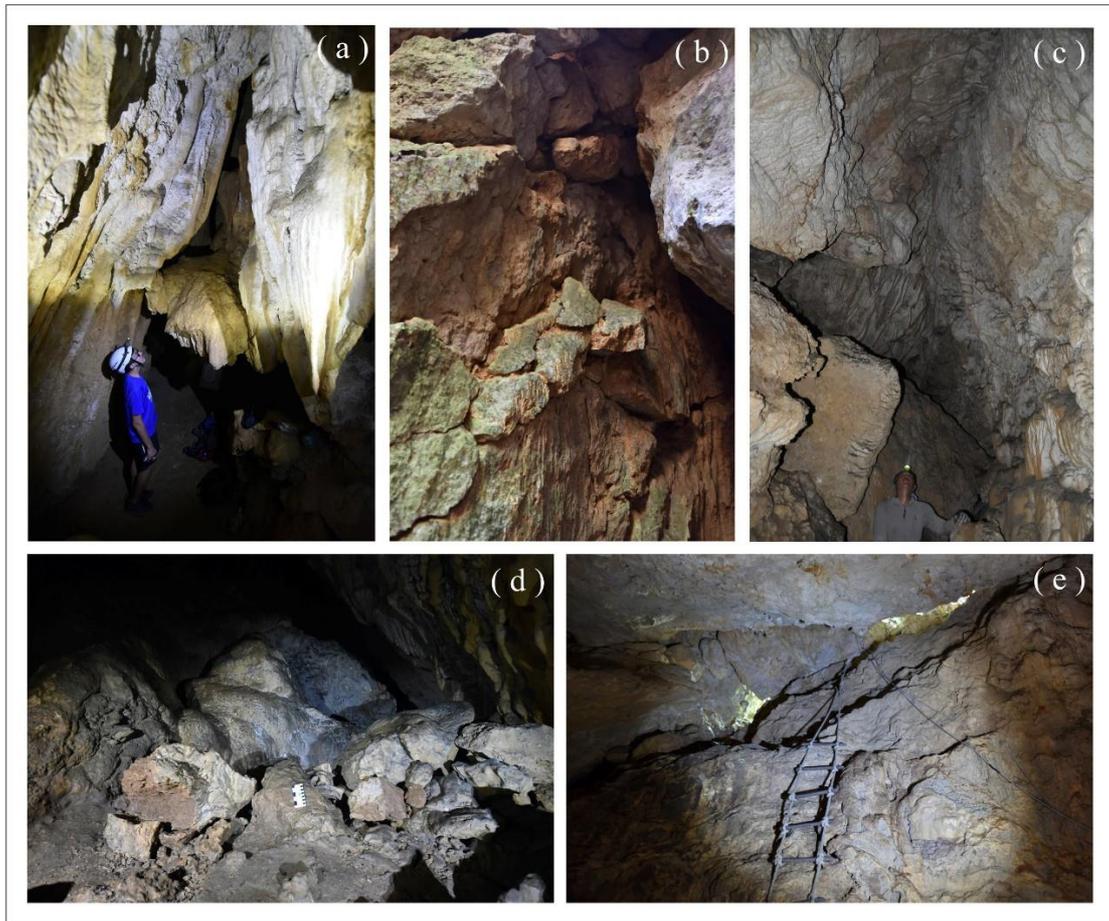


圖 11. (a)是B15崩落、懸空且被洞穴岩膠結的岩塊，洞穴頂部亦被洞穴岩封閉。(b)是B05洞口洞穴岩崩塌後的痕跡。(c)是未進行測繪的A09已被洞穴岩膠結、封閉的洞穴頂部。(d)是B05崩落的洞穴岩岩塊。(e)是B05入口陡峻崖壁上已經發育裂隙的洞穴岩

裂隙、岩壁已被洞穴岩封閉。不過特殊災變事件何時再發生，還有目前較常見的局部地區洞穴岩與石灰岩壁之間已出現裂隙的狀況，何時崩落實難預期，參訪洞穴的人不可輕忽在洞穴內活動的高度潛在危險性。

### 誌謝

完成壽山洞穴的調查研究，要特別感謝國家自然公園管理處的支持（計畫編號107T1-03），及歷任籌備處主任與同仁的協助。感謝兩位專家學者細心審查初稿，提供寶貴建議，使本文更臻完善。對於廖文泉先生、黃揮能先生在進行洞穴調查時的

導引，一併致謝。最後，感謝國立高雄師範大學地理系大學部林蓮因、蔡宸豐、邱致平、苗淇宥、林學澤、韓博倫、蔣建和、曾振萇等同學們在野外調查工作上的協助。

### 引用文獻

- 王士偉。2006。臺灣西南部珊瑚礁在矽質碎屑古環境中最初發育機制之探討。臺灣大學海洋研究所博士論文，190頁。
- 王詩辰。2007。柴山地景資源與潛在崩山危險評估。國立高雄師範大學碩士論文，150頁。
- 林啟文、張徽正、盧詩丁、石同生、黃文正。2000。臺灣活動斷層概論(第二版)

- 暨五十萬分之一臺灣活動斷層分佈圖說明書。經濟部中央地質調查所。
- 林庭宇。2016。高雄壽山西側的大規模地滑研究。國立高雄師範大學碩士論文，93頁。
- 洪慧珊。2013。壽山國家自然公園石灰岩洞穴的經營管理。國立高雄師範大學碩士論文，163頁。
- 許中立、郭玉麟、王杰俊。2005。高雄市哨船街邊坡崩塌整治之探討。坡地防災學報 4(2):71-82。
- 高雄市臺灣地理學會。2012。101年壽山國家自然公園地景資源調查暨地表變形監測規劃計畫報告書。壽山國家自然公園籌備處，108頁。
- 高雄市臺灣地理學會。2013。102年壽山國家自然公園區石灰岩洞穴地景資源調查暨西壽山地表變形監測計畫報告書。壽山國家自然公園籌備處，99頁。
- 高雄市臺灣地理學會。2019。壽山國家自然公園石灰岩洞穴環境監測計畫成果報告書。國家自然公園管理處，178頁。
- 陳鈞。2017。高雄壽山國家自然公園猩猩洞的微氣候變動研究。國立高雄師範大學碩士論文，93頁。
- 陳華玟、謝凱旋、何信昌。1998。五萬分之一臺灣地質圖幅(圖幅第六十一號)暨說明書—高雄。經濟部中央地質調查所。
- 陳華玟、吳樂群、錢憲和。1994。臺灣南部高雄地區早更新世半屏山石灰岩與古亭坑層的接觸關係。經濟部中央地質調查所特刊 8:101-119。
- 張徽正、林啟文、陳勉銘、盧詩丁。1998。臺灣活動斷層概論—五十萬分之一臺灣地區活動斷層分布圖及說明書。中央地質調查所特刊第10號。
- 曾騰貴、黃文俊。2006。高雄市壽山登山步道彩色全圖。檢索自網址：<https://www.waytogo.cc/document/map/kaohsiungmt.jpg>，檢索日期：2020年05月14日。
- 楊吉壽。2016。高雄柴山溶洞。高市野鳥學會，302頁。
- 齊士崢、呂政豪、任家弘、何立德、陳永森、周漢文、林淳惠、薛忞侑。2013。高雄壽山的古巨型地滑研究。國家公園學報 23(2):53-66。
- 齊士崢、何立德。2017。探索壽山地景篇。內政部營建署，200頁。
- 鍾廣吉。1989。高雄地區的石灰岩洞與鐘乳石。地質 9 (2): 249-274。
- 鍾廣吉。2008。臺灣的石灰岩。臺灣地理百科96，遠足文化。
- Chen C and LD Ho. 2017. Recreational impacts on the microclimate of the Gorilla Limestone Cave in Shoushan National Nature Park of Taiwan. *European Geosciences Union General Assembly 2017*.
- Ganter J. (2000) A guide to cave mapping (2nd ed.), National Speleological Society, Huntsville, Alabama. 28 pages.
- Gillieson D. (1996) *Caves: processes, development and management*, Wiley-Blackwell. 340 pages.
- Heim A., CT Chung. 1962. Preliminary observations on the structure of the Kaohsiung Limestone Mountains. *Petroleum Geology of Taiwan* 1:23-30.
- Jen, CH., JH Chen, HF Lei, LD Ho, HW Zhou, TY Lin, CH Lu, MY Hsueh and SJ Chyi. 2017. Recent movement of the Late Pleistocene Shoushan slump, southwestern Taiwan, based on landform surveys. *Quaternary International* 452:12-21.
- Klimchouk A., D Ford, A Palmer and D Wolfgang. 2000. *Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers*, National Speleological Society, Huntsville, Alabama. 527 pages.
- Lee TY, LD Ho, C Chen and SJ Chyi. 2019. Monitoring the microclimate of limestone caves close to the urban area – case study from Mt. Shoushan in Kaohsiung, southern Taiwan. *European Geosciences Union General Assembly 2019*.
- MAA, 1995. *The investigation report of Shoushan Fault of northern Red Line of Kaohsiung MRT*, p.59.
- Reimer P. J., MGL Baillie, E Bard, A Bayliss, JW Beck, PG Blackwell, CB Ramsey, CE Buck, GS Burr, RL Edwards, M Friedrich, PM Grootes, TP Guilderson, I Hajdas, TJ Heaton, AG Hogg, KA Hughen, KF Kaiser, B Kromer,

- FG McCormac, SW Manning, RW Reimer, DA Richards, JR Southon, S Talamo, CSM Turney, JVD Plicht and CE Weyhenmeyer. 2009. IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal. BP. *Radiocarbon* 51(4):1111-1150.
- Sun SC. 1963. The reef limestone and the geologic structures in the vicinity of Kaohsiung City, Taiwan. *Petroleum Geology of Taiwan* 2:47-64.
- Wang SW, SY Gong, HS Mii and CF Dai. 2006. Cold-seep carbonate hardgrounds as the initial substrata of coral reef development in a siliciclastic paleoenvironment of southwestern Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences* 17(2):405-427.