

2025年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號	180012
參展科別	地球與環境科學
作品名稱	富貴角風稜石形成機制之探討

就讀學校	臺北市立龍門國民中學
指導教師	陳英杰
作者姓名	郭昀澂 陳柏勛

關鍵詞	<u>風稜石、風蝕</u>
-----	---------------

作者簡介



我們是郭昀澂和陳柏勛，目前就讀於臺北市立龍門國中。我們對自然科學充滿好奇，尤其熱衷於地球科學領域的探索。我們喜歡透過實地觀察和動手做實驗來解答心中的疑惑，同時享受從數據中找出答案的過程。希望透過這次科展來增進自己的科學探究能力，並分享我們的研究發現，讓更多人了解風稜石的奧妙。

2025 年臺灣國際科學展覽會
研究報告

區別：北區

科別：地球與環境科學科

作品名稱：富貴角風稜石形成機制之探討

關鍵詞：風稜石、風蝕（最多三個）

編號：

（編號由國立臺灣科學教育館統一填列）

摘要

臺灣北部海岸富貴角地區的風稜石母岩為兩輝安山岩，經過風化、風蝕及海蝕而形成目前獨特之外觀。這些岩石源自火山噴發形成的熔岩流，岩漿冷卻形成熔岩塔，裂解後受外營力作用逐漸成形。不同地理位置的風稜石受侵蝕的影響差異顯著：海岸邊的風稜石同時受到海浪和風的影響，外型較圓鈍；陸地部分則因受到海蝕影響較小，外型較為尖銳。另外，本研究利用噴砂實驗進一步驗證不同風速和風向對風稜石生成過程的影響，並分析其形態差異及地質學意義。

Abstract

This study investigates the formation mechanism of ventifacts at Cape Fugui on Taiwan's northern coast. These ventifacts are composed of two-pyroxene andesite, shaped through weathering, wind erosion, and coastal erosion. The rocks originated from lava towers formed by volcanic eruptions; after magma cooled, the lava fractured and gradually weathered under external forces. Moreover, the erosion effects on ventifacts vary significantly by geographic location: those along the coast are influenced by both seawater and wind, giving them a more rounded appearance, while those further inland are less affected by coastal erosion, resulting in sharper surfaces. Sandblasting experiments were also conducted to further verify the effects of different wind speeds and directions on the erosion process of ventifacts, analyzing their morphological differences and geological significance.

壹、前言

一、研究動機

在學校上地科課時，在課本中看到了形狀獨特的風稜石，當下看到覺得很有趣：大自然是怎麼做到的？進一步看課本的解釋後，卻發現關於風稜石的描述甚少，僅提到：「風稜石是安山岩剝落下後經過本身的翻轉以及風向的改變，然後長期暴露在風的吹拂下，才會形成這樣形狀特殊的石頭。」課本的介紹使我對風稜石的形成過程產生一些疑問，於是開始進行相關的研究。

我們利用課餘時間進行富貴角地區的實地觀察，想進一步了解風稜石的生成環境與外在條件。我們觀察到風稜石的生成與風力、岩石的材質及其暴露時間有著密切關係，特別是它們形狀的多樣性(圖 1)，似乎反映了不同方向的風以及風力的變化。我們注意到有些風稜石受到風力的侵蝕較為明顯強烈，而有些風稜石因為地理位置較為隱蔽，表面則比較光滑，也因此引發我們針對這些岩石於侵蝕過程中的差異性進行深入的分析。



圖 1 形狀獨特的風稜石(本圖為作者本人拍攝)

此外，在調查過程中，我們同時發現當地的海蝕作用對某些風稜石的形成有所影響，這促使我們思考海蝕和風蝕之間的關係，以及這些風稜石究竟是在什麼樣的條件下形成的。我們希望透過這次研究，能夠更具體地解答風稜石的生成機制，並為未來關於風稜石的研究提供更多實地觀察的數據和證據。

二、研究目的

- (一)調查北海岸風稜石稜角、稜面等相關數據
- (二)比較不同地理位置的風稜石外型上的差異
- (三)探討臺灣北部海岸風稜石形成的可能機制
- (四)分析影響風稜石形成的各種自然環境條件

三、文獻回顧

過去數十年地質學家對於風稜石的研究集中在風化與侵蝕過程的影響，以及其形成過程中的多重因素。根據 Smith（2005）的研究，風稜石的形成與長期的風化作用密切相關，特別是在乾旱和高風速的環境下。臺灣地區的風稜石由於受到東北季風的影響，呈現出獨特的風蝕形態。Jones（2010）則強調了海岸地區的海蝕作用對風稜石形狀的改變，指出海浪的侵蝕和風的結合作用使岩石更加圓滑。

此外，陳文山等（2003）對於臺灣北海岸的研究指出，該地區的風稜石由於受到海風和海水的雙重影響，呈現出較其他地區更為複雜的侵蝕形態。這些研究強調了風稜石的地質價值，但在風稜石形成的細節方面，特別是臺灣北海岸的多樣形態，仍然有待深入研究。本研究將進一步探討臺灣北海岸風稜石的形成機制，特別是風和海水的交互作用如何影響其外型。

貳、研究設備及器材

一、噴砂設備

用於模擬不同強度與方向的風力，觀察風對安山岩樣本的侵蝕效果。此設備(圖 2)可調整風速及風向，便於模擬富貴角地區可能的自然風力條件。

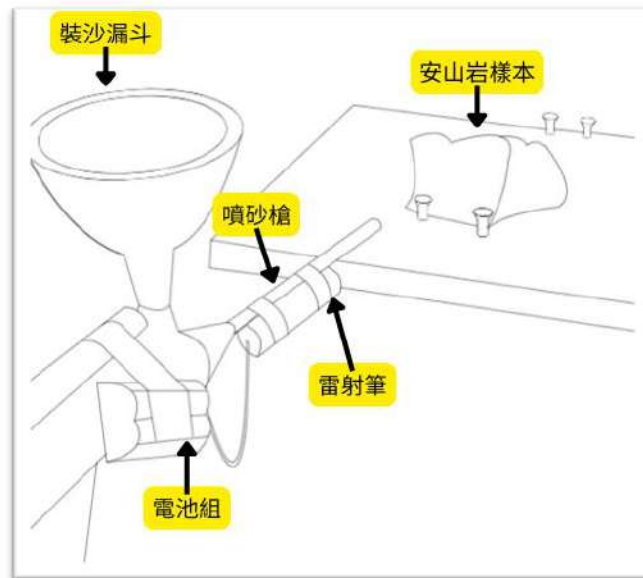


圖 2 噴砂槍及其擺設位置(本圖為作者本人繪製)

二、安山岩樣本

安山岩為本研究的主要實驗材料，這些樣本為兩輝石安山岩，採集自本研研所在富貴角區域，這些岩石在地質活動中形成，並暴露在自然環境中，能適當模擬風稜石的風蝕過程。

三、數位風速計

本儀器用來測量地調現場的風速及噴砂實驗風洞內的風速，能確保實驗環境下的風力條件能夠精準控制，並記錄不同地理位置風速的差異。

四、電子磅秤

本儀器用於測量安山岩樣本在每次噴砂實驗前後的重量變化，透過重量損失來評估岩石受風蝕的程度。

五、高精度雷射測距儀

本儀器用於測量安山岩樣本表面隨著風力侵蝕後的形態變化，特別是邊角處的形變程度，亦可以測定地調現場風稜石與海岸線的距離及位置。

六、攝影設備

本設備用於記錄樣本隨風蝕變化的視覺影像，特別是安山岩樣本於噴砂實驗過程中隨時間經歷的形狀改變，這些影像可作為實驗報告中的佐證資料。

七、計算機與分析軟體

本設備用於處理實驗數據，包括風速及實驗樣本的重量變化、侵蝕程度、表面形變量等。使用統計軟體進行數據整理與分析，以獲得關於風稜石生成機制的具體結論論。

參、研究過程及結果

一、野外實地調查臺灣北部海岸風稜石的分布情形以及周圍環境

先後於 113 年 6 月 30 日、7 月 5 日、7 月 22 日、8 月 11 日、8 月 25 日進行實地調查採樣，共計五次。

(一)戶外地調的範圍區域

本研究選取富貴角及青山瀑布為研究區域，涵蓋沿海和內陸地帶，以分析不同環境下風稜石的外形與形成過程。而安山岩採集地點為麟山鼻、白沙灣、海灣新城、富貴角、老梅石槽及青山瀑布等六處，如圖 3 所示。



圖 3 地調及岩石採集範圍

(取自：Google Earth)

(二)觀察風稜石的所在環境並測量其所在位置的風速

觀察地調範圍內的風稜石，其所在位置的地形及風的來向，並測量當時的風速，觀察地形地物並且拍攝周圍環境。測量風速的方法：先用風速計測出風速並用手機拍照儲存，再把所有風速數值利用 Google 試算表算出平均值。

此外，為了觀察潮汐變化對風稜石的影響，參考交通部中央氣象署公告的潮汐資料（圖 4），我們選定在漲潮與退潮不同時段進行地調，以觀察海水面到達的最高和最低範圍，以判斷哪些風稜石受海浪影響較小而不易受到海蝕。此現場調查過程有助於理解潮汐因素如何影響風稜石的形成。

新北市 石門 潮差：小 未來30天	滿潮 	02:40	102	107	248
	乾潮 	09:39	-79	-73	68
	滿潮 	15:50	102	107	249
	乾潮 	22:23	-13	-8	133

圖 4 地調當天潮汐表，為當月最大潮

(取自：交通部中央氣象署)

(三)測量選定的風稜石的各項數值

首先找出風稜石的風蝕面，並利用手機軟體 FieldMove Clino App 測量風蝕面向及風蝕面傾斜角度，截圖儲存；再利用量角器測量不同風蝕面之間的夾角，並拍照留存；同時測量風稜石所在位置的經緯度，並記錄下來。。

(四)觀察風稜石的裂面角度

利用量角器測量兩風蝕面之間的夾角，我們分別測了「海岸邊風稜石裂面夾角度數」以及「步道上安山岩節理裂面夾角度數」，結果如下圖 5 及圖 6。

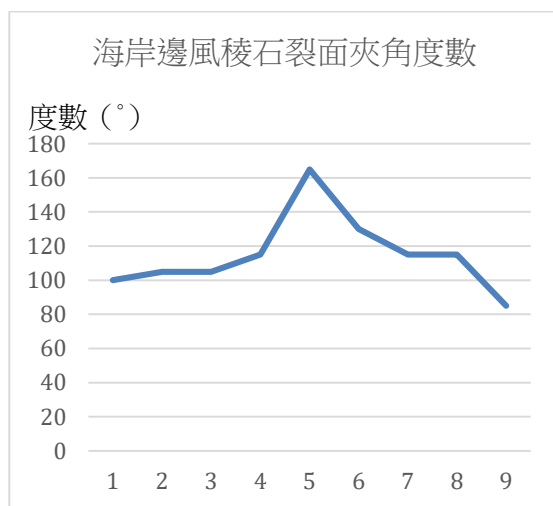


圖 5 海岸邊風稜石裂面夾角度數

(本圖為作者本人繪製)

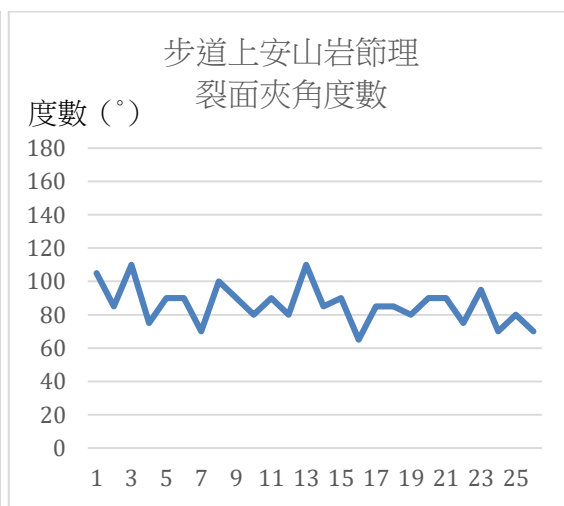


圖 6 步道上安山岩節理裂面夾角度數

(本圖為作者本人繪製)

經過角度的測量，我們發現海岸邊風稜石的裂面角度通常介於 80° ~ 160° 之間，而步道上的角度則是位於 60° ~ 110° 之間。這些角度的差異顯示了風稜石在不同位置受風蝕的影響程度。位於海岸邊的風稜石夾角較大（ 80° ~ 160° ），這說明海浪對這些岩石的侵蝕較為明顯。因此，海岸邊的風稜石多數呈現出更穩定的形狀，且風蝕面相對平緩。

相較之下，步道上的風稜石夾角較小（ 60° ~ 110° ），可能反映出該區域風力更集中，且受到風沙磨蝕的影響更大。這些風稜石處於比較暴露的環境，受到來自單一或較少方向的強風磨蝕，導致角度更為尖銳，且岩石表面的風化作用更加顯著。

整體而言，風稜石的夾角反映了其所處環境中的受風蝕力量的差異以及受海蝕與否的影響。統計數據顯示，風稜石的形成機制不僅受風力大小和風向影響，還與其所在位置的地理環境密切相關。位於海岸邊的風稜石更可能受到海浪的影響，而步道上的風稜石則更容易受到強風的直接磨蝕。

二、噴砂實驗

為了模擬自然環境下的風蝕作用，本實驗進行了噴砂試驗，主要目的是觀察不同材質樣本在風沙磨蝕條件下的變化，並驗證安山岩及石膏在模擬風沙環境中的物理機制。

(一)材料與工具

1. **灘沙**：實地採集並經處理後作為噴砂材料。
2. **岩石樣本**：選用安山岩和石膏，分別模擬不同材質的磨蝕情況。
3. **實驗設備**：包括空壓機、噴砂槍及風洞、錄影設備等。

(二)實驗步驟

實驗按照以下流程進行，詳細步驟流程如圖 7：

1. 採集並處理灘沙，製作噴砂工具。
2. 岩石樣本和石膏樣本經過處理後，固定於實驗場地。
3. 設定噴砂量及範圍，進行風沙磨蝕試驗。
4. 分別對安山岩及石膏進行噴砂，觀察風蝕情形。



圖 7 噴砂實驗步驟流程圖(本圖為作者本人繪製)

本實驗透過控制單位時間的噴沙量和磨蝕時間，模擬不同風蝕條件下的物理作用過程，此噴砂實驗結果作為後續風稜石形成機制探討的重要參考依據。

(三)噴砂實驗結果

在噴砂實驗中，我們測量了安山岩(圖 8)和石膏樣本(圖 9)在風蝕下的磨蝕量，結果顯示凹面磨蝕量顯著高於凸面。這可能是由於風帶沙在岩石凹面區域更容易停留和翻滾，進而產生較多的磨蝕作用。在相同風速下，凹面的磨蝕量比凸面多出約 20%。這一結果說明，岩石的表面形狀會影響風蝕強度，且凹面更容易累積沙粒進行持續打磨。

不同風速和沙粒大小的實驗也顯示出對磨蝕效果的顯著影響。當風速提升至 15 m/s 時，無論凹面或凸面的磨蝕量均明顯增加，凸面平均退縮 10mm，而凹面平均約 0.2 cm，證明風速越大，磨蝕效果越佳。而當沙粒增大至直徑 1 mm 時，石膏和安山岩的凹面均產生較為明顯的凹陷，凸面則維持相對平滑。

此外，噴砂實驗後安山岩(圖 8)生成新的稜線而石膏樣本(圖 9)則無此現象。這是因為安山岩相較於石膏具有更高的硬度，使其能夠在持續的風蝕下保有稜線結構。相對而言，硬度較低的石膏在沙粒衝擊時更容易被磨平，難以形成稜線。



圖 8 岩石噴砂後出現清楚稜線
(本圖為作者本人拍攝)



圖 9 石膏經噴砂後原有稜線消失
(本圖為作者本人拍攝)

肆、討 論

一、風稜石的分布

風稜石屬於兩輝安山岩，依據臺灣北部地質圖(莊文星，1999) (圖 10)，安山岩分布範圍在竹子山附近以及富貴角地區，我們選定這些地點進行地質調查。

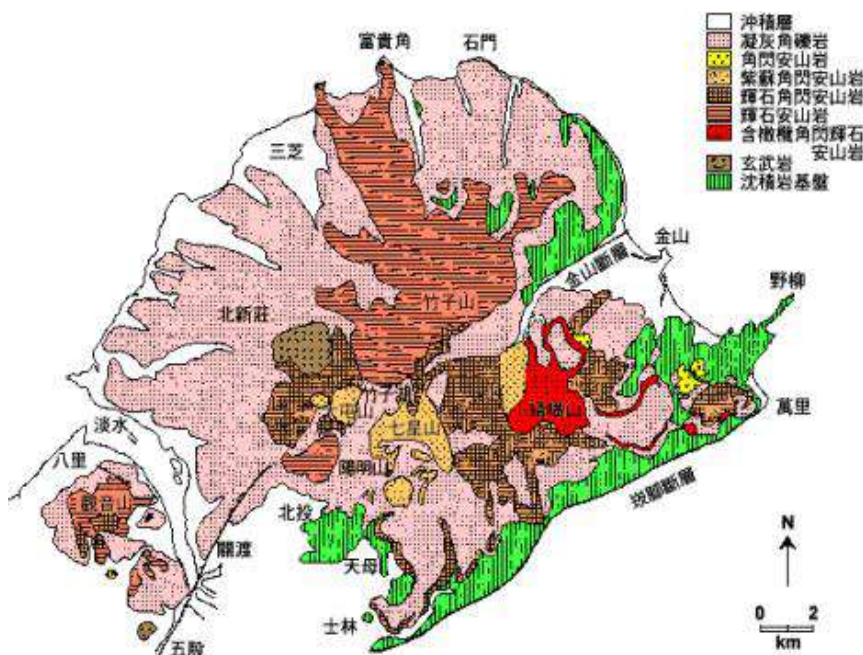


圖 10 臺灣北部地質圖(圖片來源：莊文星，1999)

二、富貴角風稜石的特徵

富貴角風稜石的母岩為竹子火山的兩輝安山岩熔岩，主要成分為斜長石、普通輝石和紫蘇輝石。岩質緻密堅硬，具有細晶質組織，並含有黑色的輝石斑晶。由於節理發達，因此表層熔岩多裂面呈龜裂狀(圖 11)，而內層熔岩則呈現圓弧狀(圖 12)。風稜石的形態受到岩石裂面分布的影響，決定了風稜石的面與稜的生成與形狀。岩石成分及結晶狀態則影響其表面的粗糙度，細小結晶顆粒使表面光滑(圖 13)，而結晶顆粒較大或岩質不均則使表面呈粗糙狀(圖 14)。



圖 11 表層熔岩裂面呈龜裂狀的安山岩(本圖為作者本人拍攝)



圖 12 安山岩內層熔岩呈現圓弧狀 (本圖為作者本人拍攝)



圖 13 表面光滑的風稜石 (本圖為作者本人拍攝)



圖 14 表面呈粗糙狀的風稜石 (本圖為作者本人拍攝)

在富貴角地區，多數風稜石單面的面積在 1 平方公尺以下，最大的可超過 5 平方公尺，表面多呈內凹或外凸曲面，裂面之間的夾角位於 $60^{\circ}\sim 110^{\circ}$ 。稜角在風蝕作用下顯得尖銳，而海蝕作用則使其變得圓鈍。

風稜石表面常見孔穴和溝槽的特徵。孔穴為風沙鑽磨而成，多為圓形或橢圓形(圖 15)，侵蝕作用集中於岩質較軟的部分。溝槽則因風沙磨蝕產生，其多位於與吹沙成斜交的風蝕面邊緣，橫剖面呈 V 字形(圖 16)。



圖 15 風稜石上的孔穴
(本圖為作者本人拍攝)



圖 16 風稜石上的溝槽
(本圖為作者本人拍攝)

三、富貴角風稜石的類型

根據地理位置可將富貴角的風稜石分為以下三種類型：

(一)濱線風稜石：分布於岬角灘及灣頭灘的珊瑚礁上，位於平均潮面所達範圍內，受波浪營力為主，表面多呈黑褐色，孔穴向下引深，稜角圓鈍，逐漸失去風稜石特徵(圖 17)。



圖 17 濱線風稜石(本圖為作者本人拍攝)

(二)沙灘風稜石：密集分布於沙灘上，受到強風與海浪的交互作用。盛行風向的風蝕面光滑明亮，稜角尖銳，孔穴和溝槽方向與盛行風向一致。若前方有巨石障礙物阻擋，則缺乏風蝕特徵。背風面與濱線風稜石相似，底部因漲潮時的夾沙磨蝕呈灰白色 (圖 18)，高度 10-30 公分，越靠近濱線高度越高。



圖 18 沙灘風稜石(本圖為作者本人拍攝)

(三)沙丘風稜石：零星散布於面向盛行風的沙丘頂及坡面，其風蝕面的面積小於上述兩種類型。因受到的風蝕最強，因此表面特別光滑，富有尖銳的稜角以及發達的溝槽，大部分風稜石具有多數風蝕面，僅少部分風稜石風蝕面為單一面或兩面 (圖 19)。



圖 19 沙丘風稜石(本圖為作者本人拍攝)

四、風稜石所在地區的自然環境

風稜石的形成與其所處的自然環境有密切關係，這包括地形、氣候、植被覆蓋等因素。具體來說，富貴角的地理位置使其長年受到東北季風的影響，這也是形成風稜石的主要力量之一。海岸地區的風強勁且方向穩定，使得風稜石的稜線逐漸成形。

此外，富貴角海風攜帶著大量的沙粒，加劇了岩石表面的磨蝕，特別是在無植被保護的地方(圖 20)。與此同時，潮汐與海水侵蝕也是重要的環境因素，這些力量對岩石的形態產生影響，特別是在岩石表面的圓鈍與尖銳程度方面。在內陸地區，由於風速較低且有植被遮擋保護，岩石受侵蝕的力量明顯減弱，使得不臨海的風稜石外型較為尖銳(圖 21)。



圖 20 海邊無植被保護的風稜石 (本圖為作者本人拍攝)



圖 21 步道上被植被保護的風稜石 (本圖為作者本人拍攝)

本研究中，我們特別進行了漲潮與退潮時的實地勘查，以確定海平面最高和最低位置，了解潮汐對風稜石的影響範圍。我們觀察到位於海平面最高點以上的風稜石，因為海浪無法直接作用，其受海蝕的影響較小，因此稜角依然保持相對尖銳。相較之下，位於潮間帶範圍內的風稜石經常受到海浪的侵蝕，外型較為圓鈍，並且表現出典型的海蝕特徵。

這些觀察結果與風稜石的形態形成機制密切相關，說明了海蝕和風蝕在不同狀況條件下對岩石的影響強弱不一，並驗證參考文獻中針對風稜石形成過程的理論解釋。

五、北海岸風稜石

北海岸的風稜石，可以依據其位置分為富貴角、麟山鼻的東岸與西岸。經過我們實地調查，發現這些不同位置的風稜石，雖然形成時代相近，但卻是以不同的樣貌在地表呈現(表 1)，地調後結果歸納如下：

- (一)東岸岩石大多比西岸岩石破碎；富貴角岩石體積普遍小於麟山鼻的岩石；
- (二)西岸岩石的稜角比東岸岩石尖銳；富貴角岩石的稜角比麟山鼻的岩石圓鈍；
- (三)西岸風稜石表面會較東岸光滑；麟山鼻風稜石的表面較富貴角粗糙。

綜觀上述現象，我們推測其最主要原因是風蝕作用力的差異，因為臺灣北部長年受東北季風影響，位於東邊的岩石所受風蝕會較西邊強，故受到盛行風強力磨蝕後，東西邊的風稜石外觀差異會越來越顯著。

表 1 富貴角與麟山鼻的東、西岸風稜石的樣貌比較(本表為作者本人拍攝製作)

	西岸	東岸
富貴角		
麟山鼻		

六、山區與海岸地區風稜石差異

我們在竹子山熔岩流範圍內的青山瀑布一帶勘查，發現該處露頭的安山岩和富貴角附近的安山岩有一些相似處，如：節理（圖 22、圖 23）；但相反的，也有一些不同之處，如：青山瀑布幾乎沒有像富貴角一樣的風稜石。



圖 22 富貴角附近的安山岩節理
(本圖為作者本人拍攝)



圖 23 青山瀑布一帶的安山岩節理
(本圖為作者本人拍攝)

不同地調區域的環境因素，有相似也有不同：青山瀑布位在內陸的淺山區，幾乎不受風蝕；雖然這兩處都受到流水的侵蝕，但富貴角地區岩石主要是受到海水的侵蝕，而青山瀑布一帶所受的則是溪水的侵蝕(表 2)。

表 2 青山瀑布與富貴角一帶安山岩所受侵蝕種類(本表為作者本人繪製)

地區\所受侵蝕種類	風	水
富貴角	○	○(海水)
青山瀑布	×	○(溪水)

綜合上述，青山瀑布與富貴角的安山岩雖然有一些相似處，但由於它們處於不同的地理環境，因此受到的自然侵蝕方式有所差異。具體來說：

(一)風化與風蝕作用差異：富貴角位於沿海地帶，岩石非常容易受到海風的持續侵蝕，可能導致其出現風稜石的風蝕特徵。而青山瀑布位於內陸地區，幾乎不受海風的影響，因此缺少風蝕特徵。

(二)流水侵蝕作用差異：兩個地點都受到水的影響，但水的來源不同。富貴角的岩石受到海水侵蝕，這導致了其風稜石的獨特形態和侵蝕特徵。相對地，青山瀑布一帶則主要受到河流水的影響，這樣的水流侵蝕方式雖然也會形成節理，但不會像海水那樣劇烈侵蝕岩石表面，從而導致了表面形態的差異。

(三)地理位置和氣候的影響：富貴角因為臨海，受風、潮汐、海水等多種因素的影響，岩石表面更容易被磨蝕。而青山瀑布位於內陸，周圍環境相對封閉，氣候條件也更為穩定，流水的影響主要是溪水沖刷，而非劇烈的海水侵蝕或風蝕。

這些不同的環境條件導致兩地安山岩表面特徵的差異，雖然它們在岩石構造上可能相似，但表面特徵卻受到不同的侵蝕力量影響，進而呈現出不同的形態。

七、北海岸風稜石的地質意義與保護策略

(一)地質學價值：風稜石是由岩石長期受到風化和侵蝕所形成的特殊地貌，尤其北海岸的風稜石，是受到海風、海水與潮汐等聯合作用的結果。這些地質現象展示了風化與侵蝕的過程，提供了研究自然環境變遷和地球動態過程的寶貴資料。對地質學家而言，風稜石不僅是研究地質演化的重要見證，也是分析風蝕與海洋侵蝕作用的實地範例。

(二)生態與環境價值：風稜石所在的海岸地區往往是生態系統的組成部分。海岸生物群落依賴這些岩石形成的微環境，這些環境包括潮間帶生物的棲息地、潮水交替影響的動植物群落(如圖 24、25)。保護風稜石不僅有助於維護這些自然地貌，還能保護該地區的生物多樣性和生態平衡，防止人為活動對環境的破壞。



圖 24 風稜石分布點的海藻、珊瑚礁

(本圖為作者本人拍攝)



圖 25 珊瑚礁圍著風稜石生長

(本圖為作者本人拍攝)

(三)文化與景觀價值：北海岸的風稜石除了具備地質學和生態學上的價值之外，還是臺灣重要的自然景觀，具有旅遊和教育價值。這些奇特的岩石形態吸引了大量遊客，對當地經濟帶來了積極影響。同時，它們也是重要的地質教育資源，能讓公眾理解自然侵蝕過程，並認識自然環境的脆弱性。

(四)地景保護的重要性：風稜石不僅有著不凡的價值，它們也非常脆弱。受到人為活動、氣候變遷、遊客不當行為等因素的影響，這些自然景觀可能會

遭受不可逆的破壞。因此，制定相關法令並嚴格執行保護政策是當務之急，這包括限制過度開發、引導負責任的生態旅遊、以及提高大眾對風稜石的保護意識。確保這些獨特的自然資源能夠長期保存，對於我們而言是至關重要的責任。

伍、結論

本研究透過對臺灣北部海岸富貴角地區風稜石的實地調查和實驗模擬，說明風稜石的形成機制及其受環境影響的多樣性。首先，風稜石的形成過程主要包括以下幾個步驟：**(一)岩石生成**：風稜石由兩輝石安山岩組成，這些岩石在火山活動中生成，並裸露出地表持續受自然環境影響。**(二)風化作用**：長時間的裸露，岩石表面受到化學和物理風化的影響，包括水的滲透侵入、溫度的變化和各種化學反應，導致岩石的結構逐漸弱化崩解。**(三)強風侵蝕**：強風將沙粒和小石塊吹向岩石表面，這些大小不一的顆粒在風力的作用下碰撞岩石，進一步削弱其表面，形成凹槽和孔穴等各種形狀。**(四)海水侵蝕**：沿海地區海浪的拍打和潮汐的變化對岩石造成侵蝕，這與風的作用共同影響岩石的形狀。**(五)形狀形成**：經過長時間的風化和侵蝕，岩石表面形成獨特的形狀，這些形狀通常呈現出平滑的曲線或凹陷，少數具有特定的紋理。這些過程共同交互作用，使得風稜石在形狀和外觀上具有獨特的特徵。

富貴角的風稜石在強勁的東北季風和海浪作用下，呈現出明顯的稜線與獨特的形態特徵。實地調查顯示，靠近海岸的風稜石由於同時受到海風和海水的侵蝕，其表面較為圓鈍，而位於內陸的風稜石則主要受風蝕影響，稜線較為尖銳。簡言之，風力、風向和潮汐作用對風稜石的演變起著關鍵作用。而我們的噴砂實驗進一步證實了風速與風向對風稜石形態的影響顯著，在極高風速下強風中夾帶的沙粒對岩石的磨蝕效應非常顯著，此結果可說明為何有些地區的風稜石外形較為尖銳。

此外，我們比較海岸地區與內陸地區風稜石形態上的差異，發現富貴角和麟山鼻的風稜石在經歷了相似的地質事件後，由於地理位置、植被覆蓋以及海水與風力的不同影響，表現出不同的外形特徵，正反映出環境條件對風稜石形成和演變的重要性。最後，本研究聚焦風蝕與海蝕在塑造北海岸風稜石過程中的協同作用，並關注風稜石的地質教育價值和環境保護策略。由於這些風稜石不僅是自然風蝕與海蝕的典型範例，

還具有文化和景觀價值，應該採取適當的保護措施，以確保這些自然景觀能夠長期保存。

綜上所述，臺灣北部海岸富貴角風稜石的形成機制是多因素交互影響的結果，本研究為風稜石的生成與演變過程提供了新的見解，期待能成為未來相關研究的參考依據。

陸、參考文獻資料

陳文山、楊志成、楊小青、劉進金(2003)。從火山地形探討大屯火山群的地層層序與構造。經濟部中央地質調查所彙刊，第十六號，116。

石門鄉鄉公所(1997)。石門鄉誌-地理篇。臺北縣：林誠偉。17-19。

莊文星(1999)。臺灣之火山活動與火成岩，自然科學博物館(第 323 頁)。

<https://www.google.com.tw/intl/zh-TW/earth/>

<https://www.cwa.gov.tw/V8/C/M/tide.html>

Péter L.Várkonyi、Julie E.Laity、Gábor Domokos(2016).Quantitative modeling of facet development in ventifacts by sand abrasion。取自

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1875963715000968>。

Ning, WX.、Huang, XQ.、Wang, XS. (2019).Abrasion rates of ventifacts。取自

<https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-019-0881-x>。

Nathan T. Bridges、James Phoreman、Bruce R. White、Ronald Greeley、Eric E. Eddlemon、Gregory R. Wilson、Christine J. Meyer(2005).Trajectories and energy transfer of saltating

particles onto rock surfaces: Application to abrasion and ventifact formation on Earth and Mars °

取自 <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2004JE002388>

Jasper Knight(2002).Wind abrasion (ventifaction) on Donegal and Oregon coasts and implications for the sediment dynamics of coastal systems ° 取自

<https://meridian.allenpress.com/jcr/article-abstract/doi/10.2112/1551-503636.sp1.441/28046/Wind-abrasion-ventifaction-on-Donegal-and-Oregon>

Jasper Knight 、 Helene Burningham(2019).Sand dunes and ventifacts on the coast of South Africa °

取自 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1875963718301617>

Julie E. Laity ° Topographic Effects on Ventifact Development, Mojave Desert, California(2013).

取自 <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02723646.1987.10642315>

Julie E. Laity 、 Nathan T. Bridges(2009).Ventifacts on Earth and Mars: Analytical, field, and laboratory studies supporting sand abrasion and windward feature development ° 取自

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X08004340>

【評語】 180012

研究透過對臺灣北部海岸富貴角地區風稜石的實地調查和實驗模擬，說明風稜石的形成機制及其受環境影響的多樣性。可以加強節理形成因素與環境變動因素，以及海蝕之影響之討論。