

地形學的時代性格

臺灣地形研究室

國立臺灣大學地理環境資源學系

編者按：長久以來，地形學做為學院裡的一個科目，實際上是有許多意義的。隨著人類社會受到氣候變遷的影響，整個棲地也受到威脅。各種尺度的氣候變遷，直接造成地表地形的作用。當人們無法承受時，便成為災害。

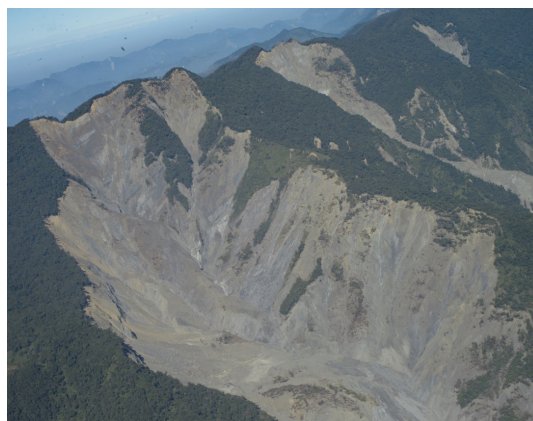
因此地形學的時代性格變得相對凸顯這個學科存在的意義。國際地理學會也特別成立一個地形與社會的委員會，探討地形學與社會的關連。這些關連背後牽涉到人類發展的課題，而地形學協助我們瞭解地表的許多災害的背景與可能的發展，從而瞭解如何去面對大自然的挑戰。對台灣而言，這更是一個永續發展的挑戰。瞭解並應用地形學的概念，無形中變成了今日我們必須學習的一課。

對台灣而言，地形作用伴隨島嶼的生成，當地形作用的規模與頻率增加時，都會造成這個島嶼無法承受的災害。如果不謹慎面對，則很容易讓國家發展受到天然災害影響陷入衰敗的窘境。而氣候變遷的極端降雨則是我們需要更小心的地方，因為台灣地勢陡峻，又位處於亞熱帶氣候帶，颱風、豪雨、季風帶來許多的沖蝕作用，以及相對的泥沙搬運、堆積，很容易造成許多的災害。以莫拉克颱風帶來接近3000公釐的雨量，造成地表嚴重的沖刷外，高屏溪河床有些路段，一夕之間墊高了近60公尺，也就是20層樓高。許多原住民部落原來位在半山腰，突

然發現原來家裡旁邊的小溪，變成大河，而家前的大河（高屏溪）竟然快沖刷到家裡了。當然這些都是地形研究的素材，但是對國家發展而言，這些卻是不可承受的重擔。



莫拉克颱風後的河床淤積狀況



高屏溪的大型崩塌空拍照片

英國地形學會正因為如此多的課題，而撰寫了一本小冊子，介紹什麼是地形學？本刊將其改寫後，提供讀者瞭解地形學的特性與時代的挑戰。

在今天的世界，全球環境變遷的方式與如何影響人類活動，受到了普遍的關心。普遍重視氣候變遷、物種滅絕的威脅，但是人類的棲地與自然地景如何的變遷與演育呢？我們去瞭解地景如何改變，是認識地球系統及提升環境管理能力的一大關鍵。因為自然地景及人們與自然的交互作用間，仍有許多問題尚未解答。我們可以很容易的舉出下列的議題：

為什麼地球上部分是山脈而其他地方卻遠比其更加平坦？

為什麼喜馬拉雅山那麼高？

為什麼部分澳洲內陸地區接近甚至低於海平面？

撒哈拉沙漠的沙從哪來的？

大峽谷多老了？

格陵蘭的冰河後退速度有多快？

英國海岸線在21世紀預測的海平面上升下降變化速度有多快？

山崩的天然災害是不是更加嚴重？在台灣，崩塌是如何影響我們的活動呢？

我們如何運用最佳的方式，保存及管理地景？

整體而言，地形學是一門研究地貌，如山丘、峽谷、沙丘、洞穴，起源與發展，以及這些地貌如何結合形成地景的科學。也因此，它成為了提供各種上述問題解答的一大關鍵。地形學研究包含了量化分析地貌的形狀，監測地表近地表的變化（如流動水、冰、風），如何形塑地貌的營力（作用力），瞭解其變遷。同時說明地景因為營力、火山活動、氣候和海平面變遷及人類活

動干擾所帶來的改變。這些改變如何提供地貌變化與變化作用研究的應用，瞭解現今變化作用與地貌改變研究，或是朝向參與未來地貌變化及變化作用研究，將可提供人類社會面對這些改變時，減災與調適的重要依據。

地形學的研究對象為何？

地形學為一門整合的科學。地表的地貌特性，受到構造運動與氣候條件的差異，會產生許多的區域特性，特別是在自然地理、地質學、生態學等領域表現出來。傳統上地形學研究方法主要聚焦在田野調查，描述和測量，包含自然實驗（如研究區內的小試驗或是利用實驗室的水槽進行模擬）。

1970年代早期，地形學開始利用從各種衛星和太空船所獲得的地球和其他星球高解析度地表地形影像。許多影像現今已經可以免費的在網路上閱讀（如利用虛擬地球，如Google Earth）。另外，大量建基在電腦運算的地形模型（如數值高程模型，Digital Elevation Models, DEM），變得更加容易閱讀；地表監測的數值模型、地質年代（定年）技術（如光螢光定年（luminescence），與宇宙同位素（cosmogenic isotope analysis）進步快速，讓我們可以更加瞭解地形的形成原因與年代。

因此新時代的地形學研究方法更常結合新的影像、模型、技術，以去量化地貌改變的速率及時間尺度。現在以可以利用十年前還無法想像的技術，去評估、測量、定年，以建立多樣的地貌及地景模型。這些技術進步提供了許多以存在多年，探討地球表面演化問題的解釋，同也提供了其他星球表面（大部分在火星上）發展的的資訊。

地形學為什麼重要？

除了解釋過去地景如何形成、今日的地景

特性、未來可能的改變，地形學的重要性，隨著對多樣的環境調查、管理的面向，貢獻隨之上漲。

例如，構造地質學者想要瞭解地球表面侵蝕，如何影響在發育中的造山帶之岩石變質的紋理；石油地質學者想要瞭解今日世界的沉積過程，以增加對地殼的探測，找出大量儲存在沉積岩中的石油和天然氣；工程師用對於侵蝕和沉積的知識，使推測出的邊坡穩定度的臨界值更加精確，或是在基礎建設預定地上，預測河道的變化；考古學家對於侵蝕和堆積如何影響保護區內的史前文物，或其他過去人類社會的證據，感到興趣；生態學家瞭解地形學作用，使用在地表、沉積物、水文模型這些重要的領域中，特別是藉由瞭解如何利用「地景多樣性」，保存複雜的自然地景，進行重要的生態多樣性的保存。

簡單來說，地形學提供檔案、知識與相關資料，補足其他學科領域所需。在許多案例中，地形學所考慮的事件常跟環境調查方法和永續環境管理連貫在一起。

地形學的學術形象

儘管地形學的重要性不言而喻，但並沒有廣為其他領域所知。部分原因在於地形學並不是一個單獨存在的學科，主要是存於地理系中，像是英國、澳洲。但是在大部分美國的地質或地球科學系中，地形學是在這些科系教授。然而，仍然有大多數國際性、全球性組織致力於支持或推廣地形學，包含英國地理學會（British Society for Geomorphology, BSG）、國際地形學會（International Association of Geomorphologists, IAG）。

廣受歡迎的視覺地球像是Google Earth，利用影像激起大眾對地球上地貌、地景，以及對其他星體的高度興趣；我們列

了10個地形學要素，解釋為何地形學應該被視為一門整合、連貫的、動態的、創新的及有關連的科學。這些概念，或可稱為10個每人都應該知道的地形素養。10個為什麼地形學很重要的理由，簡單附在下表中。

1.地景受到塊體運動所形塑

地貌被地形作用所形塑，其必和物體在地球表面運動有關，像是岩石、沉積物、水。這些運動通常往下運動（也就是從高往低地方移動，例如重力引起的山崩，或是邊坡上崩積物被逕流搬運），但同時也會往上運動（從低往高處移動，例如營力抬昇、火山爆發、風的活動）。個別的地貌可以被認定為主要受侵蝕作用。

2.地景形塑過程中受到多種因素的改變

多樣的營力、地質、氣候、生態因素，是地表作用和物體運動的主要因素。不同的營力作用可以影響潛在的物體運動顯著抬升（例如陸地地殼聚合、抬升）或是塌陷（例如地殼板塊破裂處的斷陷下落）；不同的岩性（岩石種類）有不同的風化、侵蝕程度；氣候條件中溫度、濕度，都是潛在影響風化和決定水的固態或氣態因素之一。

大致上，地形學研究在各種不同因素，綜合的效應下，如何形塑地球陸地表面。例如，崎嶇的山脈帶普遍被發現在有著旺盛營力舉升、在氣候條件常有大雨或大雪下，岩性有易受風化、侵蝕的地方（如紐西蘭南阿爾卑斯山、臺灣）。平坦地帶、平原則傾向被發現在營力作用較少或不活動的區域，特別是在岩性較強或是氣候較乾燥的地方（如非洲或是澳洲中部），以及冰棚和冰河大多位在高緯地區或是海拔較高的地方，這邊水分仍然成固態可以使其全部或部分整年結冰；厚土覆蓋的邊坡大多傾向在濕潤地帶發展，因此穩定的植生生長可以使其安定發

表1 10個為什麼地形學很重要的理由表

1.	地景受到物體運動所形塑	地貌受到地形作用所形塑，其必然和物體運動有關，如岩石、沈積物、水通過地球表面。
2.	地景形塑過程中受到多種因素的改變	多樣的營力、地質、氣候、生態因素為物體運動的主要因素，影響地貌形塑。
3.	地景作用在不同尺度中運作	營力、地質、氣候、生態因素會在不同時間、空間尺度，影響不同物體運動、地形作用。
4.	地球的地景是動態的	地貌和地景並非穩定不變的，會隨時間改變與發展。
5.	動態的地景通常是複雜的	在營力、地質、氣候、生態條件改變下，內部調整也會導致地貌和地景發生改變。
6.	地景儲存了過去的檔案	地景帶有自身發展的歷史，其可藉由對相關地景、沈積物研究中找出或重建。
7.	全球氣候變遷影響地景動態變化	持續的全球環境改變下，導致了地景的發展、改變。例如全球暖化和海平面上升使湖泊沙漠化、冰棚、冰河後退、海岸侵蝕。
8.	人類活動會影響地景動態變化	越來越多的地形作用與地景、地貌發展，受到人類活動影響。
9.	地景變得越來越危險了	全球環境改變與人類活動造成了天然災害的規模與發生頻率增加，陸地地表與社會經濟層面都受到影響。
10.	成功的環境管理需要地形學知識	地形學可以提供關鍵的環境管理因素，包含地景保存、生態系的保存與復育、遺產保存及碳地景。 (carbon landscaping)

育；另外活動的風成沙丘大多在乾燥、沙漠地區、缺乏植被覆蓋的地區出現。整體而言，因為區域的氣候條件與構造運動，造成了區域間地形發育的差異。

3.地景作用在不同尺度中運作

營力、地質、氣候、生態因素在不同時間空間尺度下，影響了地形作用和物體運動的改變。有些因素有低頻率/規模大的特徵，因為其作用發生時間相對不規則，但造成巨大物體移動（例如區域內營力舉升，像是斷層作用），也會發生在大尺度地貌中（例如造山帶）；其他因素則為高頻率/規模小，因為其作用發生時間相對規律，但是只有小規模物體移動（例如土壤的在重力作用下發生的

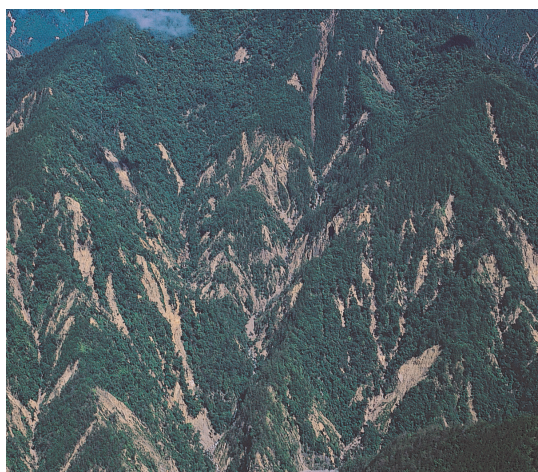
潛變，或是局部風化小沖蝕溝）事件造成下雨時在邊坡上發生淺層地滑），或發生在小尺度地貌變化。

4.地球的地景是動態的

地貌和地景並非穩定不改變的，而是動態且隨時間發展的。雖然地形學者瞭解地貌與地景的動態性，但是大眾並不完全瞭解，所有地貌、地景都會變動的。會隨時空間、時間改變。舉例來說，氣候變乾燥時，植被減少，降低了土壤穩定度，造成土壤受到風與水的侵蝕、流失；氣候變濕潤時，先前形成的風成沙丘會因為植被重新生長而穩定下來。

小尺度地貌（例如邊坡沖蝕溝）可以快

速改變，原因為只需要移動少量物體便可看出變化。某些河道在堤防逐漸被加高度的情況下，大致上仍處在穩定階段，但是這讓河道高過圍繞在附近的氾濫平原，最終堤防在洪水時潰堤，形成新河道。這些河床比兩側沖積平原還要高的現象，在台灣的東部更常見。主要的原因是集水區上游帶來大量的泥沙。



5.動態的地景通常是複雜的

地貌和地景演育的主因通常為外部因素，包含和營力、火山、氣候、海平面或人為的干擾，但是地貌/地景發展也可能由內部調整，發生與外部因素不相關。例如在穩定的河道，沉積物搬運、支流移動下，發生側蝕作用，甚至形成曲流河道，並演育出環流丘和牛軋湖。在某些情況下，內部和外部因素可以結合，造成地貌/地景的改變，例如邊坡可能隨著時間穩定的進行堆積，坡角越來越大，最終可能超過坡度穩定度的安息角，地貌可能仍然處於穩定狀態，直到邊坡受到外部因子因為震動（地震）觸發、崩落或是強降雨事件誘發邊坡的不穩定。

6.地景儲存了過去的檔案

過去發生的地形變遷，都會表現在地貌的發育過程。地景涵蓋了過去地球演育的歷史，可以透過相關的地貌和沉積物研究，讓我們解讀並重組這些歷史。在北半球，許多中、高緯度地區的地景，擁有獨特的演育過



程，例如冰原或冰河地形。過去地景的天然證據在不同的環境條件下容易被後來的地形作用所消除。儘管如此，如果保留足夠的證據（儘管可能支離破碎），地形演育的歷史便能清楚的被解讀、重組，包括地景形成原因、變遷的速率，以及內營力、外營力造成地貌改變的可能性。重組地形演育的歷史，使我們可以理解近期和現代地景的改變原因，也可以幫助我們控管、推估在全球氣候變遷下，未來地景可能發生的改變，並評估人類影響環境的嚴重性。



7.全球環境變遷影響地景動態變化

全球暖化、海水面上升等全球環境的變遷，正驅使地貌演育，包括沙漠湖泊乾涸、冰原和冰河退化，以及海岸線侵蝕。雖然地貌和地景對於外在因素的反應可能會因為內部力量的一再調整而變得很複雜。在全球環境變遷下的作用會有越來越傾向劇烈且不可逆的現象。這些也是地形學研究的「熱點」。這些地貌包括冰原、冰河、沙漠、沙丘、湖泊、三角洲與珊瑚礁。有些地景的發育，也可以轉而影響環境變遷，因為許多地貌都和氣候的「臨界點（tipping point）」（即地區的環境現象可能會影響全球暖化的現象）與生態「熱點」（即擁有重要生物多樣性的地區將遭受到威脅）有直接的連結。

舉例來說，南極與格陵蘭的冰原加速後退，將會造成海水面上升，但也會減少地球的反照率，並影響海水濃度，進而影響海溫、海流，以及全球熱能的再分配。可能會導致氣候暖化、海水面上升。海洋暖化和海流改變可能會加速海岸線侵蝕，也可能對紅樹林和珊瑚礁造成負面衝擊。我們現在仍未透徹了解這些地區性或全球性的地貌改變，但可確定的是，這些改變非常重要。舉例而言，沙漠湖泊乾涸，加上風的作用，將會導致空氣中的塵土量增加，且牽涉到氣候與生態系統，包括複雜且成因鮮為人知的颶風產生、海洋優養化與陸域生物的營養供應鏈。



8.人類活動會影響地景動態變化

許多地形、地貌或地景的演育過程，會受到人類活動的影響。人為活動對地形演育過程有直接影響，可能促進自然環境變遷的速率（例如：截彎取直），也有可能降低自然演育、變遷速率（例如：河岸、海岸保護工程）。許多人類活動也會牽涉到地球表面塊體的運動，最明顯的例子即是挖礦，而塊體運動也可能影響到疏濬河川、河口，及大壩和水庫的建造等其他的人為活動。由於近期人類活動對形塑地表型態有支配性的影響，「人類世」的概念已經被提出。



超抽地下水導致的地層下陷

9. 地景變得越來越危險了

全球環境變遷和人為活動增強了地形災害的頻率和規模，地表穩定性無時無刻不受到影響，人們也開始意識到災害所帶來的社經衝擊。多數地形災害的發生頻率低，但是規模大且變動快速，例如洪水、地滑、地震與火山噴發；其他的災害則發生頻率高，但規模小且變動緩慢，例如因為地下水位漸進上升所引起的土壤鹽鹼化。自然災害在人類歷史當中是一大威脅，古今皆然；然而有許多證據顯示大氣暖化與海平面上升將會增加極端氣候與洪水、乾旱、颶風與暴風雨等相關災害的規模和頻率。在某些山區，冰河退後導致冰磧湖大小與數量增加，這些亂石堆砌成的壩體將會對當地造成威脅，因為冰磧壩體非常不穩定，一旦遇到地震或地滑，將會變得更加脆弱，容易崩塌。在台灣則是有因為崩塌，造成堰塞湖及潰堤的威脅。由於人口增加，地方上人為活動也跟著增加，也使得地表面對極端氣候時變得更加脆弱、無法抵擋（例如：山谷、河川氾濫平原和低海拔海岸地區），也造成地形災害發生的規模和頻率上升。

10. 成功的環境管理需要地形學知識

地形學可作為環境管理的關鍵，包括環境保育、遺跡保存、生態保護和保育。地貌和地景可能因為他們自身的美觀性和稀有性而被保存，包括作為聯合國教科文組織世界遺產清單的一部分。出現在世界遺產清單的地景主要有美國的大峽谷國家公園、南非的馬羅提-德拉肯斯堡公園、阿根廷的冰川國家公園，這些地方可以名列清單的關鍵皆是因為他們特殊的地貌和地景，且對觀光客頗具吸引力。更廣泛地來說，熟知地形形成過程和地貌可以為許多生態演育過程、模式提供範例。舉例而言，河川和氾濫平原通常展示出動植物棲息區域隨著洪水的頻率、深度、和持續時間的差別所做出的反應。因此，了解河川與氾濫平原的地形學，包括驅動因子和地形演育速率，可以為設計一個近乎原始地保護區提供策略，也可以幫助我們為惡化的環境系統做保育計畫。地形學的其他應用還包含透過了解風化作用及速率來幫助我們訂定保護建築與社區保護的策略。