

臺灣的岩石風化與土壤形成之特性

文◎ 林榮潤

「天增歲月人增壽，春滿乾坤福滿門」；「岩受風化土增厚，春風化雨綠滿地」。雖然歲月不待人，但卻讓我們成長與享受生命，而大地的演變與地質作用，亦豐富我們的生活與環境。臺灣島受到歐亞板塊與菲律賓海板塊的擠壓，使得地形狹窄且地勢崎嶇，各種地形的岩石風化程度，以及所孕育出的土壤結構也有所差異。以下就讓我們來瞭解臺灣的岩石風化與土壤形成之特性。

不同的學者依據不同的特性，也劃分出不同的地質單元。1897年Merrill在研究岩盤以上的地質時，發現隨深度變化有不同的地質材料分布，且是現地母岩風化作用下的產物，因此認為現地堆積的未固結岩層皆屬於Regolith。1997年Fookes認為岩石(IA)是岩質新鮮、無風化跡象的岩體，而土壤(IB~VI)則依據不同的風化程度劃分為6種等級，此劃分可對應國際岩石力學學會的風化等級。另外，2001年

岩石的風化與風化的表層

岩石的風化主要受到溫度、水、大氣與生物等因素的影響，使地殼表面堅硬的岩石在原地發生破碎與分解作用，國際岩石力學學會(ISRM)於1981年提出風化等級，依新鮮的岩盤受風化作用產生風化的岩塊、岩屑與土壤等材料之不同風化程度，分成6級並描述其特性，其地質單元主要可劃分成：(1)風化的表層（亦稱風化層、岩屑或Regolith）；(2)新鮮的岩盤。

國際岩石力學學會提出的風化等級與描述表	
分級	描述
新鮮(I)	岩質新鮮，無可見岩質風化跡象，或僅在主要不連續面（節理）有輕微氧化鐵鏽染變色。
輕微風化(II)	整個岩體之不連續面上具輕微明顯的氧化鐵鏽染；部分長石礦物已受風化分解。
中度風化(III)	岩石材料風化分解成土壤者不到一半，新鮮或微變色之岩石仍脈絡相連或以團塊狀存在。
高度風化(IV)	岩石材料風化分解成土壤者超過一半，新鮮或微變色之岩石以不連續脈絡或團塊狀存在；岩心可用手指捏碎，通常岩心回收率低。
完全風化(V)	所有的岩石材料完全分解變成土壤，但原始岩石結構仍可分辨；用手指或加水，材質即碎裂成碎屑、粉砂及黏土顆粒；所有的長石礦物已轉變成黏土；通常岩心漏失。
殘餘土壤(VI)	所有岩石材料已分解變成土壤，原始岩石結構已不可分辨；通常體積已大量改變，但材料並未明顯移位；土壤通常可用手來挖掘，且易受地表侵蝕。

Eggleton與2006年Goudie等人則依據岩石與土壤的產狀進行劃分，其中固結新鮮的岩石定義為岩盤，岩盤以上的部分為Regolith；Regolith針對該土層的特性作定義與描述，又可劃分成兩類，分別是Pedolith與Saprolite。Pedolith主要包含土壤與風化程度較高的土層，而Saprolite則可分為Saprolite與Saprock；上層的Saprolite定義為有20%以上的岩石礦物受風化，但主要岩石結構仍保留，而下層的Saprock可稱為風化岩塊，有低於20%的岩石礦物受風化，故岩石形成團塊分布，此可比對1992年Harned與Daniel所提出的新鮮岩盤過渡帶(Transition Zone)。

綜合上述前人研究，本文彙整相關的地質分層成果，主要分層為Regolith與岩盤(Bedrock)。由於Regolith一詞的翻譯名稱有風化層與岩屑等，但探究該字彙來自希臘文ρεγος(rhegos)，意指blanket（覆蓋）與lithos（石頭），故Regolith中文翻譯名稱應有「覆蓋」與「風化」的詞彙較佳，本文先以Regolith統稱岩盤以上的地質材料。因此，根據國際岩石力學學會風化等級，若岩石判釋屬於新鮮(I)，表示岩質新鮮，無可見岩質風化跡象，或僅在主要不連續面（節理）有輕微氧化鐵鏽染變色，則該岩層屬於新鮮岩盤；而岩盤以上的覆蓋物皆屬於Regolith，包括有土壤、回填物、沖積層、崩積層、Saprolite與Saprock等。

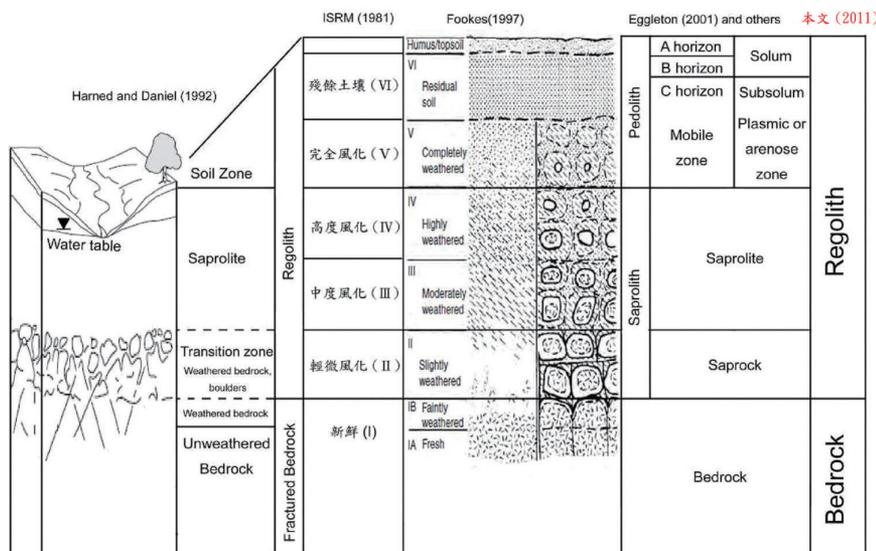
土壤的形成

根據上述岩石受風化作用產生不同風化程度的材料，其中土壤是國際岩石力學學會完全風化等級以上的產物。然而，在不同的條件下，所形成的土壤的特性也不同！土壤的形成主要有5個影響因素，分述如下：

1. 母質基岩

土壤母質會影響早期土壤化育階段的土壤性質，包括：養分含量、風化程度及土壤的粒徑等。舉例來說，花岡岩屬於火成岩類的深成岩，在成岩階段由包溫反應系列可知，岩漿在冷卻時，因熔點不同而結晶出不同的礦物，故花岡岩在地表下深成的環境中，熱量不易散失，冷卻速度較慢，有足夠的時間使礦物慢慢地結晶，所以花岡岩顆粒較大，其所發育的土壤質地亦較粗；相反地，沉積岩或變質類的頁岩與板岩的土壤質地則較細。

風化程度上，沉積岩中的軟弱頁岩與膠結程度差的砂岩，受地質構造與應力作用下，造成岩石弱面裂隙分布廣，容易風化形成土壤。養分含量上，鈣質岩較矽質岩石所發育的土壤pH值較高。花岡岩中的長石與雲母易風化、富含鉀素，而石英則不易風化，使得砂粒殘留在土壤中，故花岡岩母質上發育的土壤，往往砂粒比例適中。而由於頁岩富含粘土物質，風化形成的土壤質地黏度高；石英砂岩主要是由石英顆粒組成，風化形成的土壤砂質較多、養分較少。



Regolith與岩盤分類剖面示意圖。

2. 氣候

高溫與潮濕的氣候容易加速土壤的形成，蒸發、降雨、

日照等因素也會增加物理及化學風化，故不同的氣候條件會影響土體礦物物質分解與淋洗，形成不同種類的土壤。此外，氣候會影響植生的生長，亦影響生質的累積及有機質的分解速率。

3. 生物

生物因子主要是影響有機質的質與量，熱帶地區植生茂密，有機物質較多，微生物與生物的分解速度也較快；相反地，沙漠區則較低。另外，針葉林與闊葉林的吸收養分與落葉性質不同，而植物的根系也會提升土壤的物理與化學風化，所以對於土壤性質的影響差異性也不同。然而，人為的開發對於土壤影響程度可能大於其他的因子。

4. 地形

母質基岩會影響地形地貌的發展，由地質學家常引述「地形反應岩性，岩性控制地形」之法則就可窺探究竟。舉例來說，軟弱頁岩或砂頁互層的地層易受河川侵蝕與其他風化作用，形成差異侵蝕或崩塌凹陷等地形特徵。而地形坡向與溫度的變化，迎風面與背風面的降雨或乾濕度，以及地勢形狀或山脊河谷的位置等，會影響地表水或地下水的流動與蘊藏，使降雨以及河川侵蝕與堆積等作用，也影響了土壤的發展與形態。整體而言，坡度陡的地形，因地表逕流較大，土壤侵蝕作用明顯，所以土壤厚度較淺。

5. 時間

土壤生成時間的長短，影響土壤化育的階段，但主要影響因子還是以氣候、生物、地形及母質的影響較大。

土壤的分類

根據土壤的形成條件與特性等，可將土壤種類歸納以進行分類。現在學術界多採用美國農業部土



壤分類系統(Soil Toxonomy)，取代過去的分類法，前者分類系統由6個分類綱目(Category)所組成，依據此分類定義，美國土壤調查局(Soil Survey Staff)於2006年制訂出12種土綱土壤，臺灣雖然不大，但除了冰凍土綱外，其餘土壤皆可在臺灣地區發現！然而過去的土壤分類主要依照土壤母質來源、顏色或特性來命名，如：石質土、崩積土、沖積土、鹽土、灰壤、黃壤、紅壤、黑色土、臺灣黏土等，因此本文仍沿延用早期的土壤分類進行說明，並括弧註解新的分類名稱。

1. 石質土（新成土）

母岩經由簡單的物理與化學風化作用生成的土壤，其厚度通常很淺，含石量（岩屑）較多，排水與通氣良好，但土層淺肥力低；大都分布於山坡地或森林地的陡峭區，故地形不穩定，甚易崩塌，不宜農牧用途，只宜造林與保育。

2. 崩積土（新成土）

山區坡度較緩和的崩積地形上，其鄰近的岩石或土壤物質經由滾動、滑動或崩塌等重力作用，使得大小顆粒不同的土壤、岩屑與岩塊堆積在一起，故淘選度較差；由於未受河川搬運作用，其堆積物的顆粒成角粒狀，故與沖積層的沉積特徵不同。由於土壤沒有化育作用，新生成者表土有機物多，堆積時間較久後，有機質分解殆盡，土壤顏色則較淡，整體含石量多，排水與通氣良好，可用作農牧地，但為避免坡地地質災害，須做好水土保持的工作。

3. 沖積土（新成土、弱育土）

卵礫石、砂或粘土等地質材料，經由河川搬運與堆積作用而沉積，故淘選度較佳，顆粒度成圓狀；然而因成岩作用較不完全，所以膠結度較差，主要分布於臺灣西部平原區。表層的土壤層隨著時間風化與人為耕作後，其厚度會堆積較厚，且顏色呈淡黃色。整體而言，新沖積土在新分類系統上均屬於新成土，而較老的沖積土則屬於弱育土。

4. 鹽土（新成土）

臺灣的鹽土主要分布於西部的濱海平原，此地區位於海水與淡水的交會處，蒸發散量大於降雨量，土壤排水不良，鹽分較高。

5. 灰壤（弱育土、極育土、淋澱土）

在高山低溫多雨的針葉林地區，土壤有明顯的灰色層，其下有一層暗紅色淋澱層。土壤呈強酸性，肥力貧瘠。

6. 黃壤（弱育土、淋溶土）

母岩經由弱度化育而生成的土壤，有時因淋洗作用較強，養分流失且有明顯的痕跡，多呈黃、黃棕或紅棕色，多分布在坡度起伏較緩的丘陵地上。土壤多呈酸性，肥力偏低。

7. 紅壤（極育土、氧化物）

紅壤化成土作用盛行於熱帶或亞熱帶高溫多雨的氣候條件下，有機質分解迅速，使土壤中的物質淋洗剩下鋁、鐵氧化物，故土壤呈紅色。此土壤主要分布於臺灣西部的台地堆積層，排水與通氣良好，但土質偏酸性，肥力差。

8. 黑色土（灰燼土、黑沃土、膨轉土）

整個土壤剖面大部分多為黑色土壤物質者皆是黑色土，多分布於陽明山火山灰堆積、花東地區的火成岩等地區。

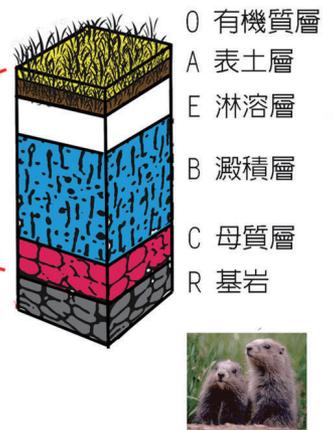
9. 臺灣粘土（弱育土、淋溶土）

此土壤的土層厚實，質地黏密，呈塊狀或柱狀，有些有粘粒洗入作用，耕性差，主要分布於雲林、嘉義、臺南、高雄四縣之西部山麓帶前的低矮平緩的台地上。

土壤剖面

上述不論任何類別的土壤，其主要的分層為：(1)有機質層、(2)礦物質層，如下圖所示；但在不同條件下，土壤的分層與厚度會有所差異，後續將詳細說明之：

1. 有機質層（O層）：主要是未分解的枯枝落葉，在森林中常有這一層，而草原則不明顯，甚至沒有。
2. 礦物質層：因成土作用的差別，又可分為A、E、B、C、R數層。



土壤剖面 (soil profile)

| 土壤剖面圖。

A層（表土層）：最接近地表，主要由礦物質與腐植質相互組成，故顏色較深暗。

E層（洗出層或淋溶層）：因降雨或地表逕流影響土體礦物物質分解與淋洗，其洗出的物質有：黏土、有機物質、鐵及碳酸鈣等，最後留下最難移動而且抗風化最強的礦物質如石英等，因此本層土壤顏色較淺，常為灰白色，顆粒較粗。

B層（洗入層、澱積層或化育層）：由該層上方往下聚積而成，或由下方母岩往上風化而成。由於洗入的礦物質及黏土會填充在土壤孔隙中，所以本層土壤緻密，且顏色一般為棕色或紅棕色。

C層（母質層）：由母岩（基岩）的風化物如岩屑與些微的土壤構成，因未受成土作用，所以並不是真正的土壤，質地上較粗，而顏色則較淺。

R層（母岩或基岩）：地殼的基盤岩石，完全未受風化的岩層，依地質條件可分成三大岩類，包括有沉積岩、火成岩與變質岩。

臺灣的地質與土壤分布

土壤的形成在不同的條件下，會形成不同的土壤；即使在相同的母岩或岩層下，因為不同的氣候、生物、地形與時間等條件，會產生不同的土壤。以下探討臺灣在不同的地質條件所形成的地質分區中，其土壤種類的分布情形：

1. 西部濱海平原（第四紀沖積層）

第四紀沖積層除了西部濱海平原區之外，亦包括蘭陽平原與花東縱谷平原，其第四紀的卵礫石、砂或粘土等地質材料，經由河川搬運與堆積作用沉積成沖積平原，故主要土壤為沖積土層。這類土壤是臺灣地區的主要耕地土壤，母岩多來自山區與丘陵的砂頁岩，但中、南部平原及蘭陽平原是來自於中央山脈的板岩，而花東縱谷平原則是由源自於中央山脈東部的片岩所沖積而成。由於該土壤的地質

條件與化育時間不同，因此土壤性質變化及差異很大。

2. 西部麓山地質區（新第三紀碎屑岩）

西部麓山區的地層以新第三紀碎屑狀沉積岩為主，多屬淺海相至濱海相的沉積環境，主要的岩石是砂岩和頁岩的互層，局部夾有石灰岩和凝灰岩的凸鏡體或薄層。本區土壤除了石質土、崩積土類以及部分河流的沖積土類之外，最大的特色為台地的紅土層與礫石層，例如：林口台地、八卦山台地、斗六丘陵以及鳳山台地等；由於紅土與礫石排水佳，該地區的農民多種植高經濟作物，其中臺灣茶最具特色。另外，陽明山火山灰堆積地區有黑色土壤，整個土壤剖面大部分多為黑色土壤物質。

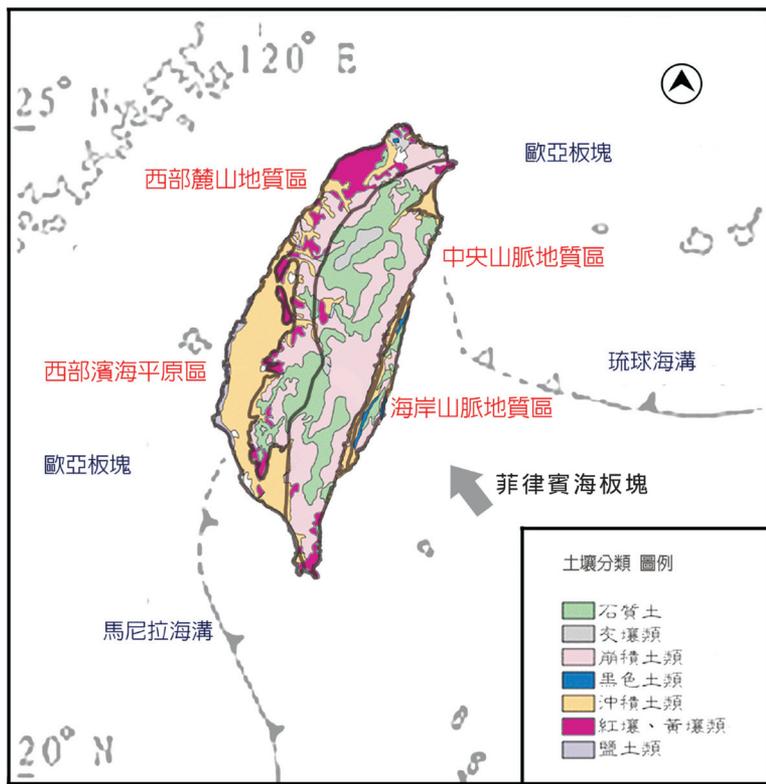
3. 中央山脈地質區

中央山脈包括所有亞變質的第三紀地層和先第三紀的變質雜岩系，受造山運動影響強烈，故變質作用與地質構造發達。在中央山脈的西翼地區（第三紀亞變質岩）有雪山山脈帶（硬頁岩或板岩）與脊樑山脈帶（板岩或千枚岩），而東翼地區（先第三紀變質雜岩）有太魯閣帶（片岩、大理岩、花岡岩）與玉里帶（片岩、蛇紋岩）。由於本區地形坡度陡峭，且岩層次生構造發達，故本區多為新鮮岩盤，其土壤層多是較薄的石質土（新成土），而崩塌的岩屑則堆積在較平緩的地區，使土壤形成崩積土類。另外，在低溫多雨的針葉林地區，土壤有明顯的灰色層，則有灰壤分布。

4. 海岸山脈地質區（新第三紀火山岩）

本區內的地層以火山岩、含有火山物質的沉積岩、濁流作用造成的碎屑沉積岩、混雜無層理的混同層為其代表，其岩相及層序和臺灣西部的新第三紀地層有相當的差異；故土壤除了石質土與崩積土類之外，花東地區的火成岩等地區有黑色土類，特性如陽明山火山灰堆積的黑色土壤。

本文特別感謝地質調查所資源地質組、國立成功大學水工試驗所與地球科學系，以及中興工程顧問社等，提供研究與學習的機會。



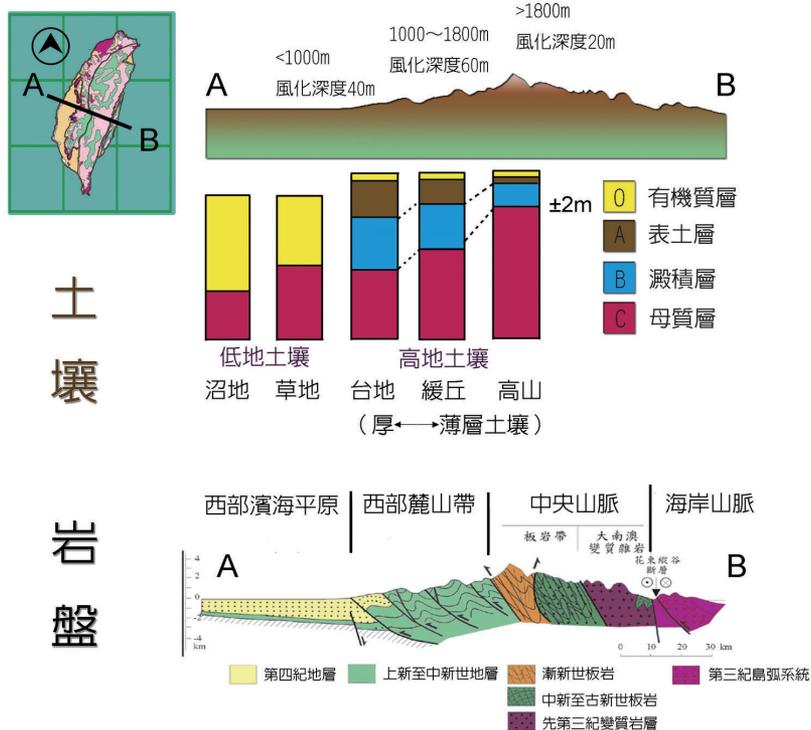
臺灣土壤與地質分區分布圖。

(澱積層B層以上)方面，大部分的土壤厚度約為0至2公尺厚，雖然坡度與土壤厚度無絕對的關係，但坡度愈平緩的地區，其厚度有愈厚的趨勢。

整體而言，由臺灣島岩石風化深度與土壤厚度的分布情形可知，愈往中央山脈兩側的地區，其風化深度與土壤厚度愈深；不同的地形，其土壤的結構亦有所差異，例如：高程愈高的高地，其土壤孕化作用不完全，使得表土層較薄且土壤澱積作用較不顯著，而低地的土壤有機質層則較厚。因此，地形與地質等條件是影響土壤的孕育與發展的重要因素之一。岩石的風化與土壤的形成著實影響我們的環境與生活，不論工程或農業方面，因此造就人文與自然資源豐富的福爾摩沙島。

剖析臺灣島

臺灣受到歐亞與菲律賓海板塊的擠壓，使得地形狹窄且地勢崎嶇，各種地形所孕育出的土壤結構也有所差異。透過經濟部中央地質調查所的工程地質探勘資料庫，將不同地區與高程的地質鑽探資料進行統計分析，成果顯示高程高於1,800公尺的高山，尤其是中央山脈地質區，因地形坡度陡峭，且岩層次生構造發達，故岩質多為新鮮岩體，其風化物質不易保存於地表，風化深度平均約20公尺；其次，中央山脈與西部麓山帶中高程介於1,000公尺至1,800公尺的山區，因地形坡度較陡，地質構造與層理發達，使得岩石裂隙因河川下切作用或裂隙地下水流通顯著，故風化深度較深約有60公尺；而高程小於1,000公尺的地區，因風化物質較易保存，風化深度平均也有40公尺。土壤厚度



土壤 岩盤

臺灣土壤與地質剖面分布圖(修改自謝兆申與王明果，1989及Teng, 1990)。