

台灣島的侵蝕率

文・圖／陳宏宇（地質科學系教授）

世界上最著名的“自然”（Nature）科學期刊在2003年12月11日第426期，發表了一篇有關台灣島近半世紀來大自然演化的論文——〈台灣島之侵蝕、逕流變化與地震間之關係〉。這篇由台灣大學地質科學系及英國劍橋大學地球科學系兩個研究團隊共同合作研究的成果指出，台灣島近30年來的侵蝕率比過去的一萬年或百萬年的侵蝕率高出了3至5倍以上的比例。由於這項特殊的研究成果可以提供給研究台灣島在大自然演化過程中的一個重要參考，而受到世界的肯定。因此，目前相關台灣島地質特性的探討，在國際地球科學界掀起了一股研究的熱潮。本項研究工作除了英國劍橋大學研究群的主持人 Hovious 教授，以及台灣大學地質科學系研究群的主持人陳宏宇教授之外，主要參與研究的人員還包括劍橋大學 Dadson 先生、美國 Dade 博士、Willett 博士、Stark 博士、台灣大學地質科學系胡植慶教授、謝孟龍博士、地理環境資源系林俊全教授、經濟部水利署洪銘堅博士以及太魯閣國家公園處陳孟江先生等多位研究人員。本研究工作也同時獲得了英國自然環境研究會、英國皇家學會、中華民國國家科學委員會，以及經濟部水利署的支持與贊助。

摘要

台灣島自1970至2000年以來，每年有將近384百萬噸之懸浮沈積物被運送至外海，共佔了全球懸浮沈積物總量的1.9%。如果再加上160百萬噸的河床沈積物，則總沈積物之輸出量每年會超過500百萬

噸，使得台灣平均侵蝕率可以達到每年5.2mm。對於台灣面積僅佔全球0.024%而言，可以想見，台灣島是受到了大自然快速的侵蝕作用。如果以近30年來部份地區每年15mm至60mm的侵蝕率來和過去幾個世紀作一個比較，可以發現這個結果比過去一萬年來5mm至12mm的侵蝕率，以及百萬年來3mm至6mm的侵蝕率高出了3至5倍左右。此侵蝕率之高低，不僅與島內不同的地質材料強度，以及斷層的分佈等地質環境有關係，更與地震及颱風有相當密切的關連性。

前言

台灣島係由於菲律賓海板塊碰撞於歐亞板塊所造成。過去五百萬年以來，碰撞造成之抬升作用，使得台灣地區每年約以5至7mm之速率持續上升，同時亦造成台灣地區岩性分佈的多樣性，從西部地區逆衝斷層前緣輕度變質的晚第三紀沈積物，至雪山山脈板岩區，再繼續往中央山脈延伸至早第三紀綠色片岩區。岩石分佈相當複雜，也成為許多國內外學者競相研究之對象。

台灣地處於亞熱帶氣候帶，平均每年受到大約4個颱風的襲擊，年平均降雨量可達到2500mm以上。另外，頻繁的地震所造成山崩發生的頻率，也相對的增加，例如921地震造成了中部地區約百分之五的山坡地發生崩坍的現象。由於河流之下切能力相當強，因此，台灣島在處於板塊擠壓以及快速抬升如此特殊的地質環境中，快速的侵蝕率可謂是必然的結果。



研究方法

本研究工作主要是以台灣地區近年來的侵蝕現象，來比較到過去一萬年來以及百萬年來，各不同時期的侵蝕率。首先，統計近 30 年來台灣地區河流之懸浮沈積物的含量，將台灣 150 條主要河流域測站量測到之資料，來計算近年來本島之侵蝕率。其次，收集台灣 20 個河階的碳 14 定年結果，從河階的下切速率中，來計算過去一萬年來的侵蝕率。過去百萬年以來之侵蝕率，主要是利用山嶺內岩體存有之磷灰石，以核飛跡定年的方法來推算。

研究結果

本研究發現，台灣每年（1970 年至 2000 年）有將近 384 百萬噸之懸浮沈積物被運送至外海，其侵蝕率為每年 3.9mm。如果加上 160 百萬噸的河床沈積物於運送至外海前先堆積於河道或氾濫平原中，則總沈積物之輸出量每年會超過 500 百萬噸，其平均侵蝕率可以達到每年 5.2mm。近 30 年來，台灣東部以及西南部侵蝕率較高，西部以及北部較低，而南部的逆衝斷層帶鄰近區域之侵蝕率，可達到每年 60mm，而北部及西部則僅為每年 1 ~ 4mm。

比較台灣過去一萬年以來的侵蝕率也同樣呈現出，南部較北部高，東部較西部高的趨勢。北部約為每年 1.5mm，東部介於 5 至 15mm 之間，而位於西部逆衝斷層帶之河流的下切速率則可達到 15 mm 以上。

核飛跡的研究顯示，在過去百萬年來，中央山脈以東之侵蝕率為介於 3 至 6mm 之間，中部逆衝斷層帶以及南部地區為介於 1.5 至 2.5mm 之間。相對來說，近一萬年來高達每年 5 至 12mm 的河流下切速率，以及近 30 年來西部逆衝斷層地區每年平均高達 15mm 的侵蝕率成為目前本島侵蝕率的一個重大特徵，也意謂著西部地區的構造作用正處於活躍的時期。

討論

近年來，台灣除了西南部地區侵蝕率為每年約 60mm，較過去高以外，其他各地區在一萬年來的侵蝕率與近 30 年來的侵蝕率，大抵上是相類似的，台灣北部地區侵蝕率則較其他地方稍低。各地區的農地發展以及土地利用雖然也會影響整體侵蝕率，但台灣都市化的地區主要集中在西部平原之沿海地區，山體內所佔之比例相當少，故對於侵蝕率的影響應該不大。因此，造成近 30 年來南北侵蝕率差異的原因並非上述兩項因素。

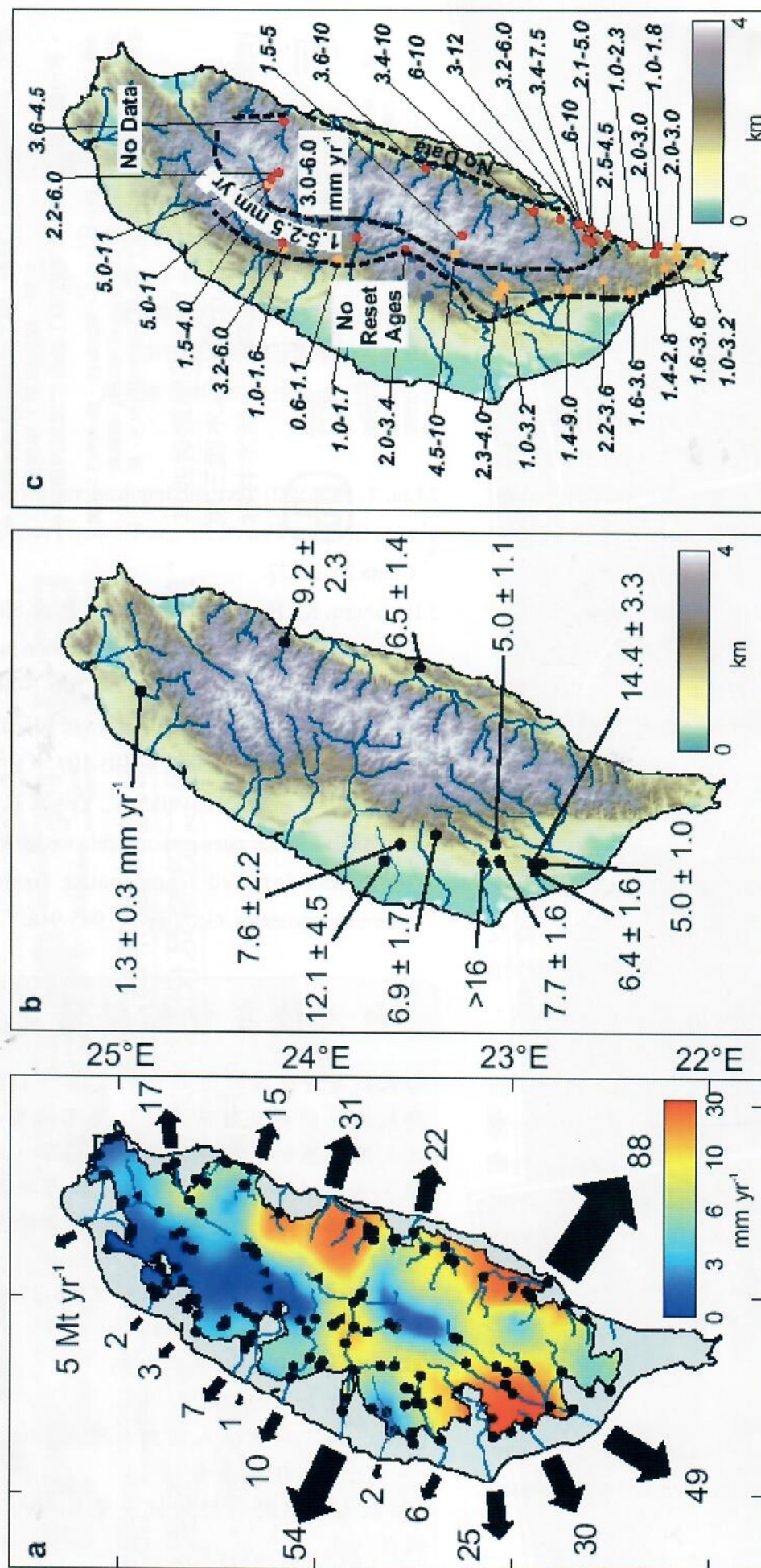
為了找出影響侵蝕率的主要因素，研究工作也將侵蝕率與其他資料進行對比結果發現，台灣各地區之河流動力與侵蝕率之關係在中央山脈地區是吻合的，即高河流動力之下會造成侵蝕率上升，不過在北部以及西部地區卻無法解釋，北部地區在高河流動力情況之下，侵蝕率並沒有相對提昇的現象。因此，其他因素也可能影響著侵蝕率的變化，包括了各地區岩石分佈變化以及沈積物的生成率。

本研究從 23 個區域共 1114 個不同岩石強度樣品的資料中發現，本島岩石強度介於 0.1 至 253MPa 之間。大致上，由南往北，岩石強度越高，越靠近中央山脈，由西往東，岩石強度亦有升高的趨勢。從研究中也發現，台灣侵蝕率最高的西部逆衝斷層帶，其岩石強度相當低，這點印證岩性對於侵蝕率產生相當程度之影響。

從西南部高侵蝕率與北部低侵蝕率的比較顯示，沈積物生成量對於侵蝕產生極大的影響，其主要的兩個動力，包括了(1)地震造成之崩落土石，以及(2)颱風引起之崩落土石。

就地震與侵蝕間的關係而言，過去的地震紀錄顯示台灣東部以及西南部為地震發生較頻繁之區域，相對的北部地區，發生地震之頻率較少。歷史記載，在 921 地震發生之前，北部共發生過 3 次芮氏規模超過 6 以上的地震，但南部卻發生過 11 次。由過去累積的地震釋放能量與侵蝕率相對比，發現其相關係數比其他因素來的高，由此顯示地震確實對於侵蝕之發生有著顯著的影響。

就颱風與侵蝕間的關係而言，由於颱風期間豐沛



三十年來的侵蝕率

一萬年來的侵蝕率

一百萬年來的侵蝕率



的雨量常會造成坡體不穩，形成山崩，使得沈積物的來源增加。當颱風發生的頻率較大時，逕流的變化量也較大。以台灣地區來說，逕流變化量最大的地區為東部，因為東部每年受到颱風侵襲的機會較台灣各地區都還要高，其次為北部以及南部，西部地區為最低，主要是因為北部及南部地區並不像西部一樣，可以受到中央山脈的保護減低颱風的威力。經過比對發現，逕流變化量與侵蝕率之間的相關性最高，也即當逕流變化量變大，侵蝕率便有上升之趨勢。因此，台灣侵蝕率主要的因子為逕流的變化量，也就是颱風的影響。

總體而言，從30年來侵蝕率之分析發現，侵蝕率主要受制於颱風以及大規模地震發生頻率之影響，各局部地區之地質、地貌以及降雨特性，雖有部分影響，並非決定侵蝕率之主要關鍵因素。但就長期而言，該地區斷層的分佈狀況，則是決定侵蝕作用速率的主要因素。

結論

台灣島的沈積物是主要來源於造山帶，而造山帶之演化過程除了受地底下擠壓變形的控制外，亦受到地表上表面侵蝕作用的影響。造山帶之侵蝕作用主要係由於河流在流動過程中之下切作用所造成。當然，山崩所造成之侵蝕亦佔有相當大之比例。而侵蝕之動力主要是來自於降雨與地震兩個因素，而不同年代會有不同的侵蝕率。研究結果發現，台灣過去之侵蝕率為介於3至6mm/yr之間。由最近台灣地區30年來之侵蝕率的變化發現，侵蝕之強弱不僅與島內不同岩石種類的分佈有關係，更與地震及颱風有相當密切的關連性。 (本欄本期策劃：海洋研究所陳汝勤教授)

參考文獻

1. Teng, L. S. (1990) Geotectonic evolution of late Cenozoic arc-continent collision in Taiwan. *Tectonophysics* 183, 57-76.

陳宏宇 小檔案

現任台灣大學地質科學系教授

1987 英國倫敦大學地質科學系博士

1988 台灣大學地質科學系副教授

1995 台灣大學地質科學系教授

曾任：中國地質學會秘書長、

台北市政府都市計畫委員

2. Liu, T. K. (1982) Tectonic implications of fission-track ages from the Central Range, Taiwan. *Proc. Geol. Soc. China* 25, 22-37.
3. Hartshorn, K., Hovius, N., Dade, W. B. & Slingerland, R. L. (2002) Climate-driven bedrock incision in an active mountain belt. *Science* 297, 2036-2038.
4. Li, Y. H. (1976) Denudation of Taiwan island since the Pleistocene epoch. *Geology* 4, 105-107.
5. Willett, S. D., Fisher, D., Fuller, C., Yeh, E. C. & Lu, C. Y. (2003) Erosion rates and orogenic wedge kinematics in Taiwan inferred from apatite fission track thermochronometry. *Geology* 31, 945-948.

台大校友會館整修募款

台大校友會館擬於近期重新裝潢，以擴大服務校友。但截至目前為止，募集經費尚有不足，因此懇祈 校友學長共襄盛舉，踴躍捐款，金額多少不拘，捐款金額可抵扣所得稅。請洽台大校友會文化基金會陳慧宜秘書。

電話：(02)2321-8415，2396-3708

傳真：(02)2392-0748

劃撥郵局：台北立法院郵局

帳號：19830027

戶名：財團法人國立台灣大學校友會文化基金會

(捐款人芳名將刊登於校友雙月刊內，以資徵信。)