

大地的血脈～河川研究

文・圖／黃誌川

河川，是輸送陸域物質到海洋的重要通道，猶如身體內的血液循環系統，聯繫著各式各樣的地球新陳代謝。因此，降雨轉變成逕流的過程往往與集水區內的生物地球化學反應息息相關。而在臺灣，快速且劇烈的颱風在河川輸送物質方面更扮演著重要的角色。我們的研究工作主要是透過對河川水流的化學分析與水文模式來瞭解造山帶小河川的沈積物和營養鹽輸出特性。

沈積物方面，眾所皆知，地震、颱風造成的崩塌、土石流是河川輸砂的主要來源。然，我們的研究表明：地震與颱風引發的崩塌，只有在震度大於5級以及日最大降雨超過600mm以上的條件會發生大規模、毀滅性的崩壞。在地理區位上，地震所引發

的崩塌好發在陡坡、稜線附近；反之，豪雨所引發的崩塌偏好聚集在較緩的坡面與下坡處。但，可能是陡坡的內谷效應（inner gorge effect），這樣的現象不如國外明顯。以崩塌特性來看，曾經崩塌的地方有很高的機率（50-80%）會重複發生，且這些崩塌過的地方往往需要超過50年的時間，才能在土壤有機碳量（SOC）、落葉量（litterfall）上恢復舊觀（圖1）。若從沈積物收支的角度來看，大事件的沈積物輸出的絕對量雖然大，但相對量（沈積物輸出量比上土砂提供量）來看卻比不上中級尺度的暴雨事件。因此一場大事件往往需要許多年才能將這些不穩定的土石移除。從這個角度來看，河川的沈積物輸送與當時的崩塌面積息息相關，可作為一有

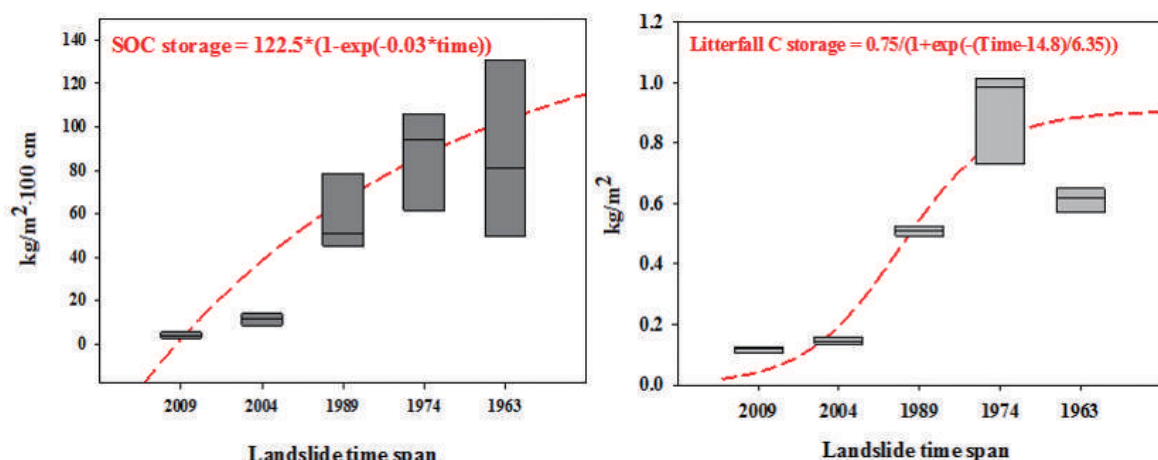


圖1：崩塌發生後，土壤有機碳（soil organic carbon, SOC）的重新演化趨勢（左）；每年枯落物掉產量的變化趨勢。從圖中可看出，崩塌發生後，起碼需要30年以上的時間，當地生態系在土壤有機碳以及枯落物的產量上才會逐漸恢復舊觀。

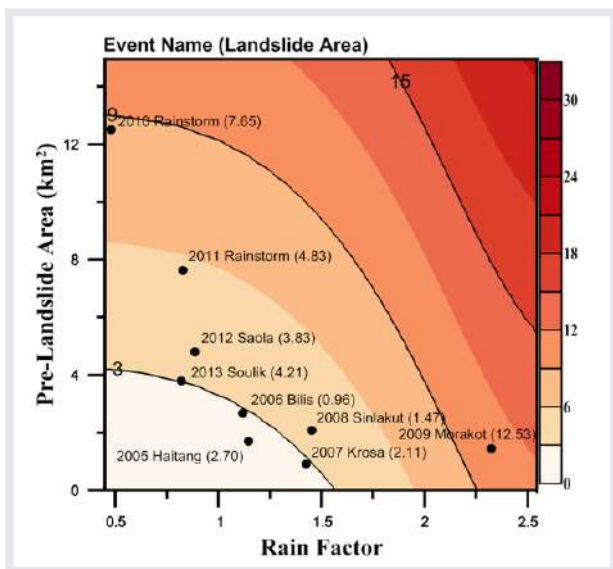


圖2：崩塌地面積為降雨規模與前期崩塌地的函數。若前期的崩塌地尚未恢復的狀況下，即便中級規模的降雨也會導致可觀的新生崩塌地。

效的參數來精進土砂模式的模擬能力圖（圖2）。若從降雨、河川流量與沈積物輸送量的規模來看，我們發現：降雨每增加1.0倍，河川反應會增加1.5倍，但沈積物輸送會增加2.0倍。這種增揚的連鎖反應（magnified chain reaction），需在本土的情境模擬下納入思考，不可一味採用國外的情境與估計結果。

營養鹽方面，以溶解性無機氮（DIN，dissolved inorganic nitrogen，包含 NO_2 、 NO_3 、與 NH_3 ）輸送來說。DIN主要來源有大氣沉降、生態系生

產（e.g.固氮作用）、肥料與廢水，因此與農業活動、人口數量相關。從臺灣的少人為干擾的集水區來看，臺灣的DIN大氣沉降量為全球平均值的4-6倍，但河川中DIN濃度小於 0.5mg/L 與全球其他少干擾區域相當，為健康的貧養狀況。顯示臺灣的森林生態系有極高的能力來留存或使用大量的氮沉降。但，隨著農業活動與人口數量的增加，其留存能力會快速降低（圖3），導致輸出量急遽上升。此外，臺灣的DIN輸出有另一項特色是：單位面積的DIN輸出量遠高於世界平均值，在濃度相若的情況下，高輸出量表示流量為臺灣營養鹽輸出的主要控制因素之一。若從集水區內部來看，颱風引發的崩塌扮演著類似

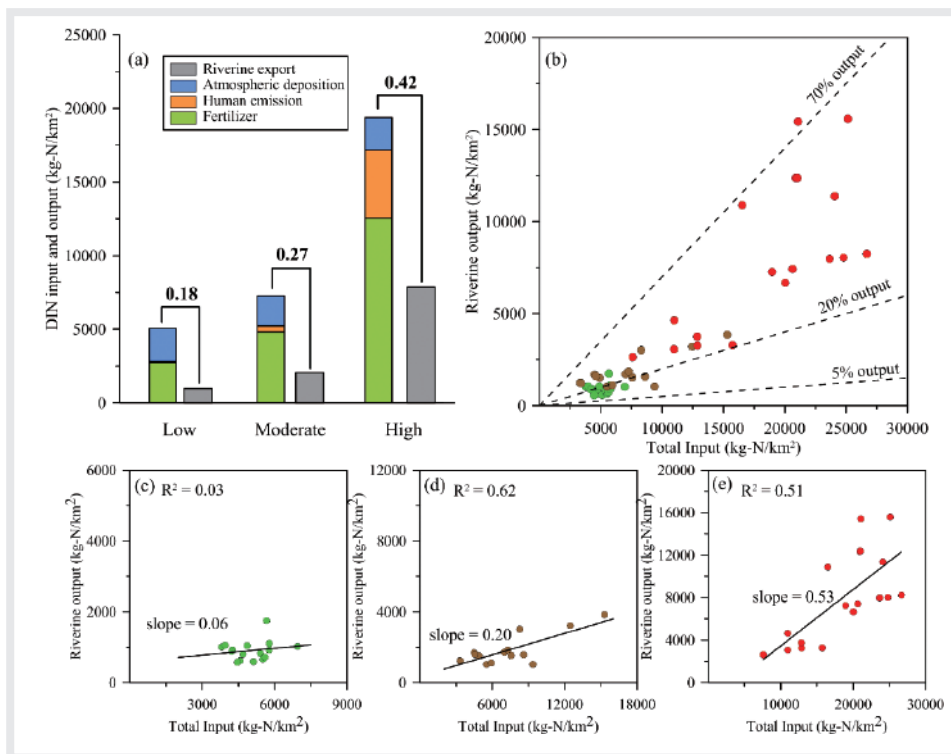


圖3：不同人為干擾下，河川中溶解性無機氮輸出的變化。可以看出隨著人為干擾的增強，溶解性無機氮的輸出比例會急速上揚，增加優氧化的威脅。

伐林的效果，讓後續的森林演替吸收大量的DIN，也避免了水體優養化的風險（圖4）。以河川輸送來看，DIN在颱風時期的輸出量與年輸出量相較，約占40%與流量比例相當，且與農業及人口密度呈現高度相關。以單位面積輸出量的比較來看，一單位農業面積的DIN輸出量約為一單位森林面積的200倍，高出世界其

他國家甚多。一方面是因為潮濕、高溫的環境讓我們的農作一年可以有2-5穫，而需要大量的農肥。另一方面顯示山區的農業可能有過度施肥的問題。若以河川從上游到下游的DIN物種變化來看，在淡水與感潮區的交界有較高的 NO_2 ，可能暗示著有一特別的氮循環作用偏好發生在這種環境。總的來說，臺灣的山地集水區在高沈降的條件下，由於旺

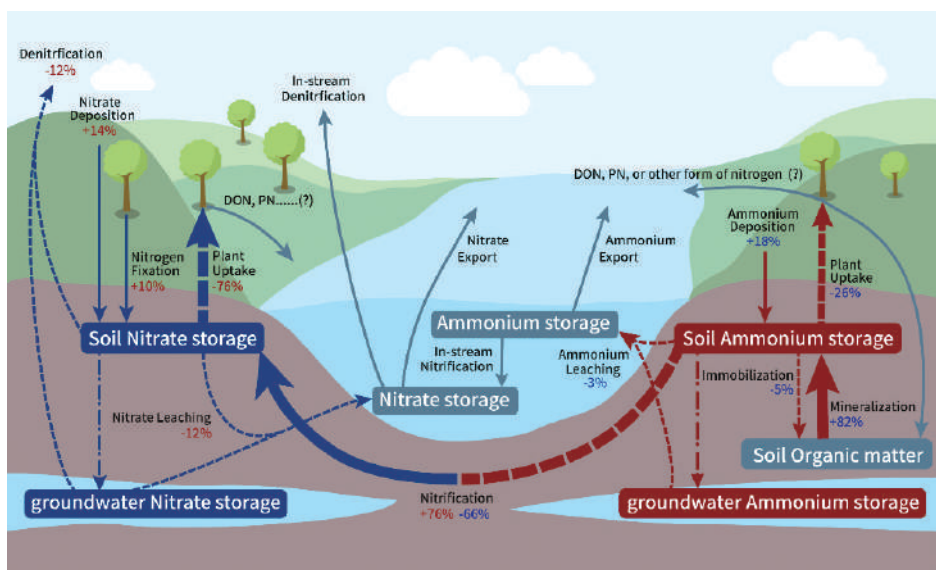


圖4：臺灣山地集水區氮循環概略圖。從圖中可看出土壤有機質(soil organic matter)的礦化(mineralization)到硝化作用(nitrification)到植物吸收可能是臺灣山地氮循環的主要途徑。而颱風造成的氮輸出（包含：顆粒態與溶解態的氮物種），可能是主要的移除途徑。

盛的森林生長讓集水區有較高的留存或吸收的能力，避免了優養化的發生。然一旦超過容受能力，河川則會輸送大量DIN到下游與河口，顯示我們河川的脆弱性。另外，目前在臺灣對於氮循環中兩個關鍵作用（固氮作用、反硝化作用）仍缺乏在集水區尺度的觀測與理解，需進一步研究。【圖：本期專題策畫／地理系林俊全教授】



黃誌川 小檔案

學歷：

臺大地理系學士（1993-1997）、碩士（1997-1999）、
地理環境資源學系博士（1999-2003）

經歷：

中國文化大學地理學系助理教授（2009-2010）

臺灣大學地理環境資源學系助理教授（2010-2014）、
副教授（2014-2018）、教授（2018- 至今）