

莫拉克颱風在楠梓仙溪誘發之洪水 與土石流作用及其溢淹範圍的含意

Flooding and Debris Flow Triggered by Typhoon Morakot and their Geomorphic Implications, Nanzisian Stream

翁毓穗 Yu-Shui Weng* 沈淑敏 Su-Min Shen**
莊永忠 Yung-Chung Chuang***

Abstract

Taiwan is subject to landslide, debris flow and flooding hazards which are mainly induced by major typhoon and earthquake events. A very recent case is that Typhoon Morakot caused overwhelming life and property losses from upstream valley to coastal area in the Kaoping River basin, August 2009. Geomorphic effects triggered by this major event are worth to do further research. This study aims to understand the spatial distribution of various geomorphic processes, and discuss the implication of flooded area induced by Typhoon Morakot, within the study area of the Nanzisian Stream (Chishan Stream). Geomorphic interpretation and mapping are completed by using historical maps, aerial photographs and orthomaps from early 20th to 2009 (after the typhoon).

Results show (1) 22 stream-type debris flows mainly occurred in the upper sections and flooding were widespread in the lower sections, and (2) the flooded area were limited within the active-channels zone identified from 1948 aerial photos and historical maps. Over last several decades, along with the reclamation of farmlands, the Nanzisian Stream has been significantly channelized. This process is not unique but has experienced for most major rivers in Taiwan. Occupation of former active-channel zones is particular worrying when it is suspect that the frequency of extreme rainfall events is rising.

Keywords : geomorphic change, flooding, debris flow, aerial photograph interpretation, flood zone delineation.

* 國立臺灣師範大學地理學系碩士

Master, Department of Geography, National Taiwan Normal University.

** 國立臺灣師範大學地理系副教授，通訊作者

Associate Professor, Department of Geography, National Taiwan Normal University, Corresponding author.

***加拿大英屬哥倫比亞大學地理學系博士後研究

Ph.D. Postdoctoral Fellow, Department of Geography, The University of British Columbia.

摘要

臺灣地形陡峻，山崩、土石流、洪水等地形作用活躍，除了少數例外，多由大規模、低頻率的豪雨或地震所誘發。2009年莫拉克颱風挾帶的超大豪雨，造成高屏溪沿線—從上游到河口、海岸地區—生命財產的嚴重損失。此高達200年重現期的降水和洪水所造成的地形作用，值得進一步探究。本研究以楠梓仙溪(旗山溪)為研究區，從地形判讀著手，套疊近百年的圖資影像，以了解研究區各河段在莫拉克颱風時的地形變動，並比對洪水溢淹範圍與近自然河道範圍的異同，討論其在洪氾區域劃設上的含意。所採用圖資中最早為20世紀初期的臺灣堡圖，最近期則為2009年莫拉克颱風後的正射影像，其中包含1940年代末期拍攝的航空照片。航照和正射影像判釋結果顯示，莫拉克颱風在楠梓仙溪旗山和民生間的河谷，誘發22處溪溝型土石流作用，主要分布在較上游河段；主流沿線洪水溢淹情形普遍，愈往下游淹水範圍愈大，但各河段所淹沒的地形單元，不盡相同；洪水溢淹的範圍，皆為20世紀前半葉河岸工事興修前，河道的流路或河岸低地。換句話說，隨著土地開發與河川工事興修，河道流路範圍逐漸縮減，莫拉克颱風之200年重現期洪水溢淹區域，並未超出50年前的近自然狀態的河道範圍。20世紀是臺灣快速向中上游河谷開發的時期，主要河川多經歷河川工事興修與河川地開發的過程，在臺灣地區極端降雨事件頻率日漸提高的隱憂中，實有必要檢視河流沿岸洪水溢淹的潛在風險，以降低受災風險。

關鍵字：地形變遷、氾濫、土石流、航照判讀、洪水區域劃設

前言

臺灣地形陡峻，山崩、土石流、洪水等地形作用活躍，除了少數例外(如國道三號七堵路段在2010年4月的地滑)，這些地形、地質災害多由大規模、低頻率的豪雨或地震所誘發。例如，已多所討論的1996年賀伯颱風造成的山崩、土石流災害；1999年集集地震直接造成的山崩，以及後續由強降雨所誘發的山崩。同時，氣候變遷和如何因應極端氣候帶來的更大災害，也被熱烈討論(參見吳宜昭等，2010)。不幸的是，2009年8月莫拉

克颱風挾帶的超大豪雨，造成臺灣的中南、東部重大災情。高屏溪從上游到河口、海岸均有災情(國家災害防救科技中心，2009)，與1958年的八七水災或1996年的賀伯颱風相較，有過之而無不及，尤其小林村複合式災害與生命傷亡最引人側目(國家災害防救科技中心，2009；陳聯光等，2009；陳樹群、吳俊鉉，2009)。

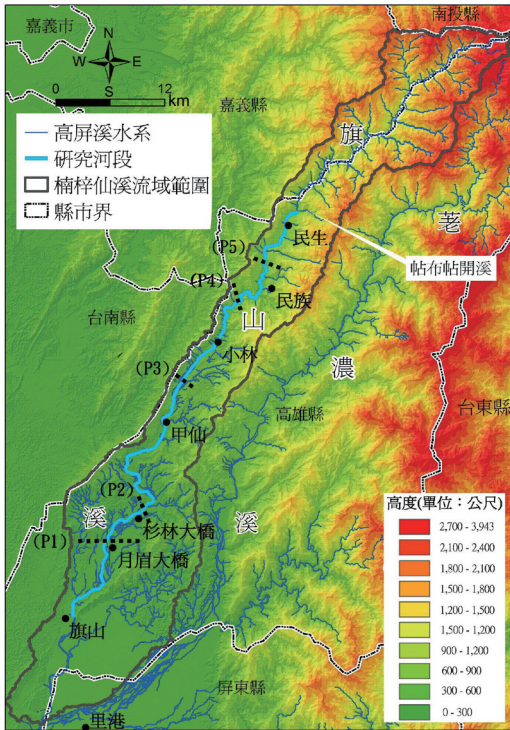
短期的地形變動不至於超越當代地形期的作用範圍，例如，颱風豪雨造成的土石流事件，多發生在有先存土石流

扇的位置上 (沈淑敏等, 2007)。此外, 天然災害造成的損失有增無減, 也和邊際土地的開發利用有關。隨著開發需求的提高, 氾濫原、沖積扇等仍可能受洪水或土石流影響的地形面也被開發利用, 災害損失自然也與日遽增。所以, 為了解山區氾濫原的地形變動和受災原因, 本研究以楠梓仙溪 (旗山溪) 為例, 探討莫拉克颱風造成的土石流和洪水作用, 以及近自然河道範圍在洪氾區劃設上的意義。本研究採用的方法主要是地形判讀和地形繪圖 (geomorphic mapping), 比對近百年來多個時期的圖資影像, 包括最早20世紀初期的臺灣堡

圖到最近期2009年莫拉克颱風後的正射影像, 以及1940年代末期的航空照片。主要判釋的地形變動為溪溝型土石流和洪水溢淹範圍。

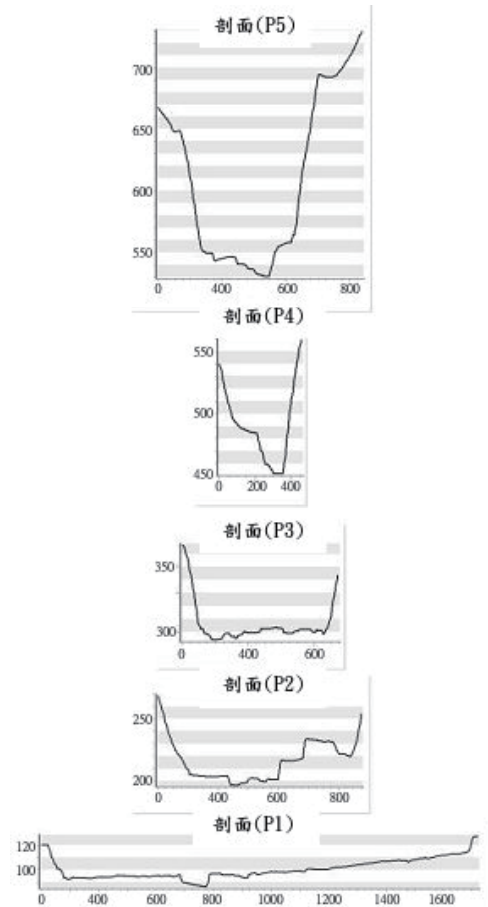
研究區概述

楠梓仙溪 (今政府單位多稱旗山溪) 是高屏溪主要支流之一, 發源於玉山西南坡, 在里港附近與荖濃溪匯合。楠梓仙溪全長約117 km, 流域面積約842 km² (經濟部水利署水利規劃試驗所, 2008; 以下行文省略經濟部), 本文以帖布帖開溪口至旗山間的河谷為研究區, 河流長約63 km, 集流面積約520



註：河谷橫剖面圖 (P1)-(P5) 位置在地圖中以虛線標示。

圖1 楠梓仙河流域位置、高度圖



km²，流域形狀狹長(圖1)。研究區大致可分為五段，由下游往上游依次為：旗山至杉林段、杉林至甲仙段、甲仙至小林段、小林峽谷段、民族至民生段。谷床寬度(不含階地)大致向下游開展(圖1，剖面1-5)，以旗山至杉林最廣，可達2 km(圖1，剖面1)，小林峽谷段最窄，不及100 m(圖1，剖面4)。研究區內出露地層為第三紀的沈積岩，主由砂岩、頁岩和砂頁岩互層所構成(宋國城等，2000)。

楠梓仙溪沿線河階與扇階斷續分布，其特徵為：(1) 階地大多分布於主流的東側；(2) 以階地類型的分布而言，上游區以沖積扇階地為主，下游區較多底岩(岩

石) 階地(龔琪嵐，2002)。流域內的河階堆積物無紅土，張瑞津等(2004)將之對比為低位11階：小林峽谷上游的民族至民生一帶，階地沿河分布(該研究暫將階序對比為FT8~FT10)，多屬扇階；峽谷下游的小林至旗山一帶，則以低位階地為主(階序對比為FT1~FT11)。

高屏河流域降雨集中於5-10月，主要降雨形式為梅雨和颱風雨，約占全年降雨量90%，且年降雨量的空間差異大，可自玉山之3,400 mm降至沿海2,000 mm(水利署第七河川局，2009)。因降雨特性使然，河川的洪枯流量差異大。2009年8月中度颱風莫拉克(Morakot)所攜帶之豪雨驚人，改寫本流域多項歷史記錄。陳

表1 本研究使用之圖資影像的類別、範圍與年代

圖資名稱	比例尺	實際測繪或 拍攝年代	旗山-杉林	杉林-甲仙	甲仙-小林	小林峽谷	民族-民生
紙本航空照片	約 1:20,000	1948-1952	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙*1
		1976-1979	●	●	●	×	×
		1985	●	●	●	○	○
		1999	⊙	⊙	⊙	×	×
數值航空照片		1997	×	●	●	×	×
		2000	●	×	×	×	×
		2005	×	×	×	●	●
正射影像	1:5,000	2001	●	●	●	●	●
		2009	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
像片基本圖	1:5,000	1987-1988 (第三版)	●	●	●	×	×
	1:10,000	1980 (第一版)	×	×	×	●	●
臺灣堡圖	1:20,000	1904	⊙	⊙	⊙	×	×
蕃地地形圖*1	1:50,000	1914	×	×	×	⊙	⊙
實測地形圖*2	1:50,000	1927-1930	⊙	⊙	⊙	×	×

符號說明：「⊙」本文中圖表呈現採用；「●」：本研究有進行判者，但本文未圖示；「○」：圖資可得但本研究未採用；「×」：圖資不可得。

*1.1948-1951年的航照，缺民族至民權之間的河段。

*2.本研究採用的1/50,000日治地形圖為上河文化舊圖新出的版本，此圖集結合蕃地地形圖與實測地形圖。

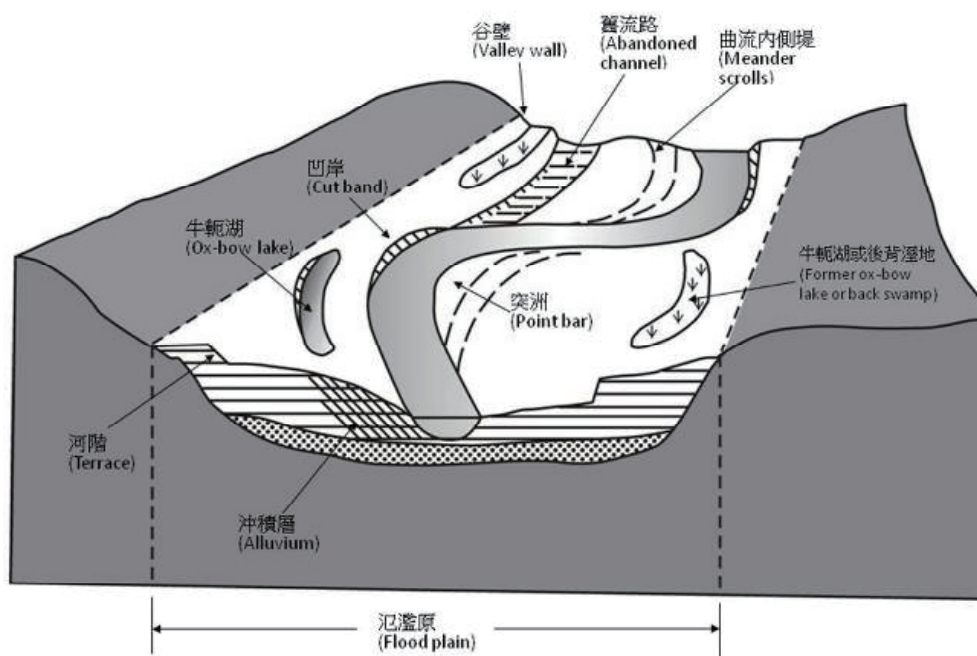
樹群與吳俊鉉 (2009) 為了解小林村堰塞湖的形成和潰決歷程，曾進行旗山溪雨量 and 河川水位分析。以甲仙測站為例，從降雨起始至停止 (8月6-10日) 的累積雨量達2,142 mm；以楠峰橋和杉林大橋水文站為例，兩站的水位至少各升高約5 m 和8 m。水利署第七河川局 (2009) 分析結果也顯示，在旗山溪出口及月眉站洪流量分別為 $9,308 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ 及 $6,840 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ，即洪峰流量大於旗山溪公告治理基本計畫200年重現期 (「高屏溪治理規劃檢討報告」(2008年1月) 及「美濃溪治理規劃報告」(2005年12月) 之計畫流量，在杉林大橋站實測到的最大洪水位也接近200年重現期之水位。

圖資與地形判讀

臺灣山區河谷平原幾已開發，原始地形樣貌也被改造，若欲還原自然狀態下的地形特徵和探知地形變化訊息，圖像資料應是最能有效展現這類訊息的素材 (沈淑敏、張瑞津，2003)。本文藉由判釋航空照片、像片基本圖和正射影像，並與歷史地圖比對，以掌握楠梓仙溪氾濫原地形特徵，以及河道在少有人為開發前的樣貌與接續的河道變遷。

(一) 圖資影像的蒐集、套疊、與數化

本研究採用的圖資影像包括代表20世紀初期的臺灣堡圖、蕃地地形圖、實測地形圖，20世紀中葉以降則以判讀航空照片、像片基本圖與正射影像，涵蓋年



典型的氾濫原包含河道本身、突洲、牛軋湖、舊流路(abandoned channels/ paleochannel)、自然堤、後背濕地等地形特徵。這些特徵在較大河流的氾濫原非常明顯，但是在較小的河流上，許多特徵可能很難辨別，因為小河流之氾濫原上的堆積特徵可能變動的很快 (Leopold, *et al.*, 1995; Brierley and Fryirs, 2005)。

圖2 氾濫原的典型地形特徵示意圖 (轉繪自Goudie, 2004)

代自1904至2009年(表1)。對本研究區而言,1948年航空照片上的影像,呈現的是楠梓仙溪氾濫原人為影響較少時期的地形樣貌,而且河道地形特徵與20世紀初期和1930前後出版的地形圖也頗為一致,因此1948年航空照片所判釋的結果,應可代表本研究區氾濫原和河道地形的近自然狀態(翁毓穗,2010)。所有被採用的圖資,座標系統均轉換為TWD97平面座標系統,以便套疊比較。

(二) 谷床地形和溢淹範圍的判釋

本研究判釋並數化的谷床地形和地形作用的範圍,主要包含氾濫原(及其上的小地形單元)、河道、土石流扇,以及莫拉克颱風之土石流和洪水作用的溢淹範圍。氾濫原上主要判釋的小地形單元,包括主要流路(primary channel)、次要流路(secondary channel)、沙洲(分有植被和無植被)(vegetative bar and non-vegetative bar),以及舊流路(abandoned channels)等。氾濫原邊界以谷壁趾部或河階崖外緣為準,數化在谷壁趾部坡度變化最顯著之處。氾濫原與河道形態的關係密不可分,兩者所構成之平面形態配置的關係,以及氾濫原上的舊流路等地形特徵,為解讀近期河流作用方式的基礎(圖2)。本區發達的河階與扇階地形,則主要參考張瑞津等(2004)南部地區河階地形資料庫計畫的研究成果。

在判讀和數化各式圖資時,遵循以下原則。在歷史地圖方面,首先數化圖上和河流地景相關的符號,再加以解讀。例如,臺灣堡圖的圖例中,有田地、荒地、河川岩壁和沙地等符號可直接參考,研究者進一步由河道多分流、荒地和沙地分布其間的配置狀況,將圖中標

示為沙地的部分解讀為無植被的沙洲,圖中標示為荒地的部分解讀為有植被沙洲,兩者分布的範圍即視為該時活動河道的範圍(圖3A、3B)。

在航空照片和(數值)正射影像方面,根據影像上物體的顏色、形狀、排列和組織等特徵,判釋出不同的地形單元。例如,莫拉克颱風誘發之土石流與洪水的溢淹範圍,因為判釋自颱風後不久即拍攝的正射影像(向經濟部中央地質調查所申請使用),土砂的反射值強與周圍農地差異大,或以谷口為頂點向外呈扇狀展開的形狀,都頗容易判別。在1948年航空照片上,農地的排列較規則,和沙洲呈現的特徵顯著不同,判定兩者界線並無困難;又考量該時楠梓仙溪少有河岸保護工,經常淹水區開闢為農地的機率較小,所以研究者據此判斷在有農田開發的河段,以此界線為近自然狀態下活動河道的邊界(圖3C、3D)。

此外,本研究進行各期圖資的氾濫原地形繪圖時,凡已經被開闢為農地(包含之前屬於河道的部分),均以「氾濫原」的圖例符號表現;影像上判釋為沙洲與流路的部分,則視為該時期的活動河道範圍。氾濫原上的舊流路或土石流扇,很可能是地形再作用(reworking)的場域,因此特別予以注意。但此二種地形的起伏不大,而且在影像上的反射值常與周圍環境相似,只有剛發生溢淹後較容易辨識(沈淑敏等,2007),因此本文盡可能蒐集航空照片,採用數值航測系統或使用反光立體鏡,以判釋出此二種地形。例如,大邱園東側有一分流河道(圖7A),後來已經被開發為農地,因地形起伏小(圖7D),在平面影像上難以分辨,是判釋立體像對而得知的。

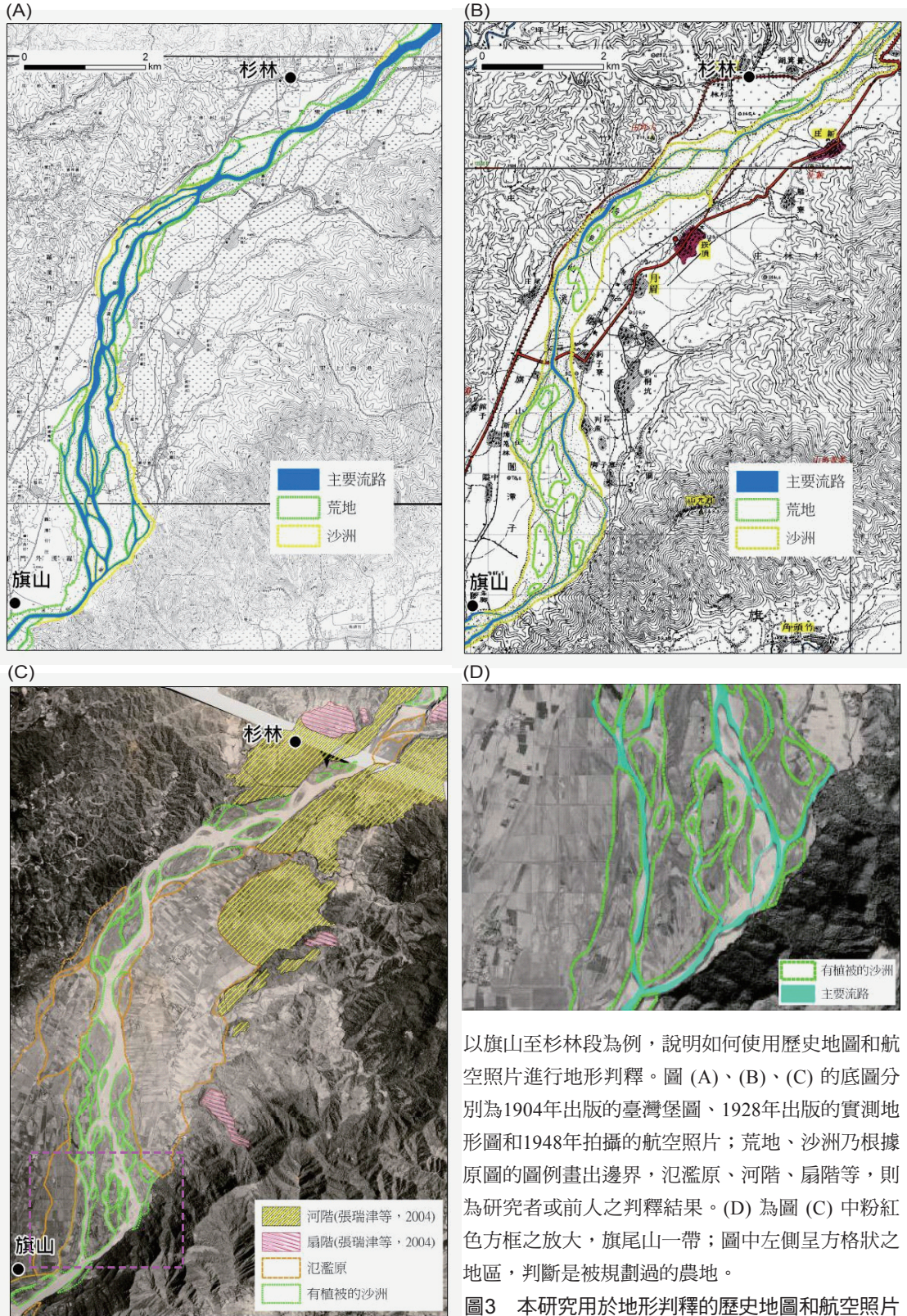
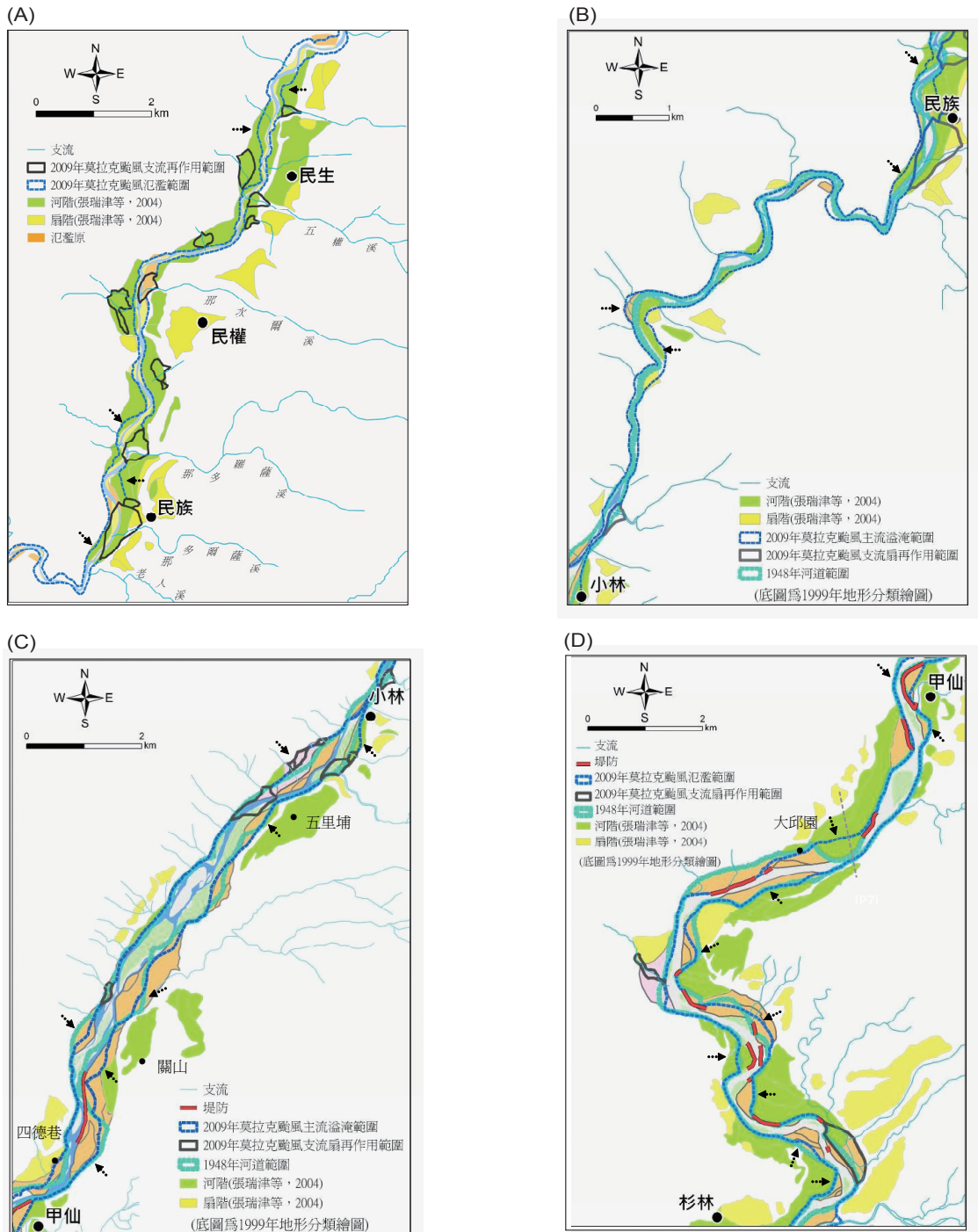


圖3 本研究用於地形判釋的歷史地圖和航空照片



莫拉克颱風造成本研究區內22條支流再作用 (即發生土石流)，民族至民生段12處 (A)，小林峽谷段1處 (B)，甲仙至小林段7處 (C)，杉林至甲仙段2處 (D)。

圖4 楠梓仙溪民生至杉林間莫拉克颱風洪水溢淹範圍、颱風前河道範圍和1948年河道範圍之疊合圖

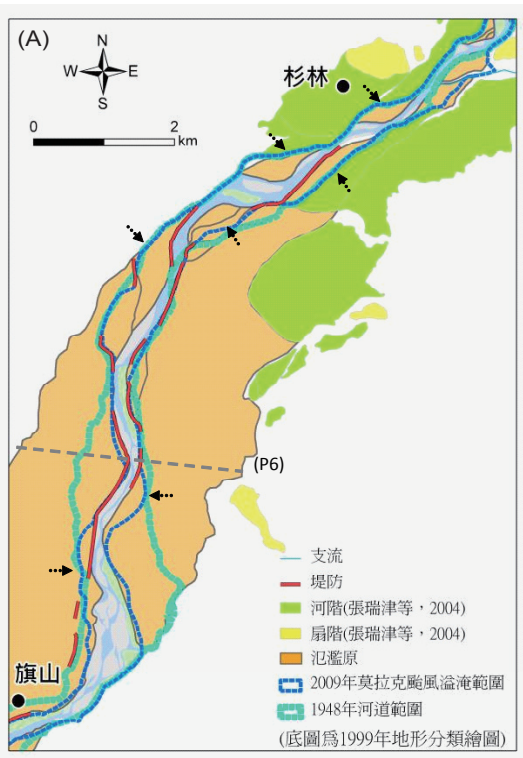
莫拉克颱風誘發的洪水和土石流作用

中度颱風莫拉克 (Morakot) 為2009年度第8號颱風，所誘發的洪水和土石流，造成重大災情。本研究套疊比對莫拉克颱風洪水範圍和颱風前河道範圍，以了解洪水溢淹的空間分布。若前者在後者之外側，則表示河水溢出河道，發生洪水災害。結果顯示，若只計算溢淹河段數，則民族至民生段5處，小林峽谷段4處，甲仙至小林段7處，杉林至甲仙段10處，旗山至杉林段7處 (圖4、圖5；即深藍色虛線在橘色／淺綠色界線之外側，以虛線箭頭標示)；單一溢淹河段的長度與範圍，有愈往下游愈大的趨勢，例如旗山至杉林間各溢淹河段的長度多大於1公里。大量土石除了來自上游，兩側支流也是重要供給者。根據莫拉克颱風前後拍攝的影像

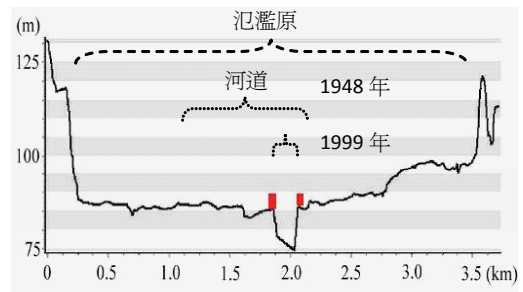
比對，本研究區內有22條支流發生土石流；而且在空間分布上，有往下游漸減的趨勢：民族至民生段12條，小林峽谷段1條，甲仙至小林段7條，杉林至甲仙段2條 (蜈蚣潭、火山階下) (圖4)，旗山至杉林段則無 (圖5A) (表2)。

整體而言，莫拉克颱風造成本研究區主流河道沿線普遍的洪水溢淹，愈往下游淹水範圍愈大。在上游河段，除了主流的溢淹，支流土石流造成的溢淹相對更顯著 (表2)。所有地形系統均受制於上一尺度特性的規範，包括出露地層強弱、河谷平面形態、所處相對區位、谷床開闊程度等因子，以下進一步說明此次洪水與土石流作用的特徵。

在洪水方面，本研究區上游河谷狹窄，幾乎沒有氾濫原發育；小林峽谷主



(B) – 剖面P6



氾濫原上，除了活動河道的部分，都已經被開發利用，主要是農田。剖面P6位置以灰色虛線標示於圖 (A) 中。堤防資料主要判釋自各年度影像，並參考第七河川局 (2009) 旗山溪河川構造物分布位置圖而繪製。

圖5 楠梓仙溪旗山至杉林間莫拉克颱風洪水範圍、颱風前河道範圍和1948年河道範圍之疊合圖

受硬岩控制，河道幾乎等於谷床；民族至民生谷床較寬，扇階、河階地形發達，但階崖相對高度大，階崖類似谷壁，同樣會限制現今河流的橫向擺移 (Brierley and Fryirs, 2005)。颱風期間大量土石所造成的地形效應，在主河道表現於垂直加積上，即河道顯著淤埋。幾處位於緊鄰河道之埋切階地上的農田也遭殃，如民生部落上游的河段以及民族部落附近的河段 (圖4A)。

較下游的甲仙至小林和旗山至杉林段，河谷呈東北—西南向的直線狀，谷床逐漸開闊 (圖1剖面P1、P3)，來自上游或兩側支流的沈積物容易停積於此，加上沈積物顆粒仍較粗，有利於網流河道形態的發育，又受降雨之季節性影響，洪枯流量變化大，從歷史地圖上可見，此二河段確實呈現「荒溪型」的河道特性 (圖3A、B，圖6插圖)。這次溢淹的範圍，除了是緊鄰現今河岸的地帶，還有多處是之前的分流道，例如甲仙以北 (圖6的B2位置) 和大邱園 (圖7)。相對的，杉林至大邱園間河道隨著河谷曲折而呈彎曲狀，其洪水溢淹處則大多是突洲 (point bar) 的位置 (圖4D)。不論早期分流河道或突洲，都是氾濫平原比較低窪的地方，也是相對較晚開發之處 (翁毓穗，2010)，即使修建了堤防，其洪水風險還是較高。

在土石流作用方面，愈位於下游的支流，河道和子集水區的坡度較低，而且

本次降雨量也是向下游遞減，符合發生次數向下游河段遞減的趨勢。值得一提的是，莫拉克颱風土石流溢淹範圍，不論各子集水區面積的大小，幾乎都是位在先存的土石流扇面上，表示這個地形面仍在繼續形成中。颱風豪雨只是又一次誘發該溪流之土石流，也再次證明先存的地景已經「明示」該處可能發生的地形作用 (沈淑敏等，2007)。至於小林峽谷段只判讀出1處土石流作用，可能是因該段子集水區的底岩抗蝕性較高，也可能是主流河道流幅窄、流速快 (或說沒有足夠的成扇空間)，支流供給的土石難以在此停留，不易發育河流堆積地形 (圖4B)。

近自然河道範圍 在氾濫區劃設上的意義

分析莫拉克颱風之慘重災情，常有以「險峻的河情、破紀錄的降雨、921集集地震鬆動邊坡而產出的超量土石」為重要因素。水利署第七河川局 (2009) 分析，莫拉克颱風不但洪水位破紀錄，而且挾帶大量土石 (與單純洪流相比，土石流體積增大10%~40%)，對河防安全之威脅大增。以甲仙為例，甲仙鄉上游最大2日累積暴雨量為 1,397 mm，超過堤防治理規劃設計之1,226 mm，洪水土石加以上游堰塞湖潰堤所增加的瞬間洪峰，衝破甲仙左岸堤防，淹沒約18 ha土地及甲仙攔河堰管理中心 (林世明等，2010)。近200年重

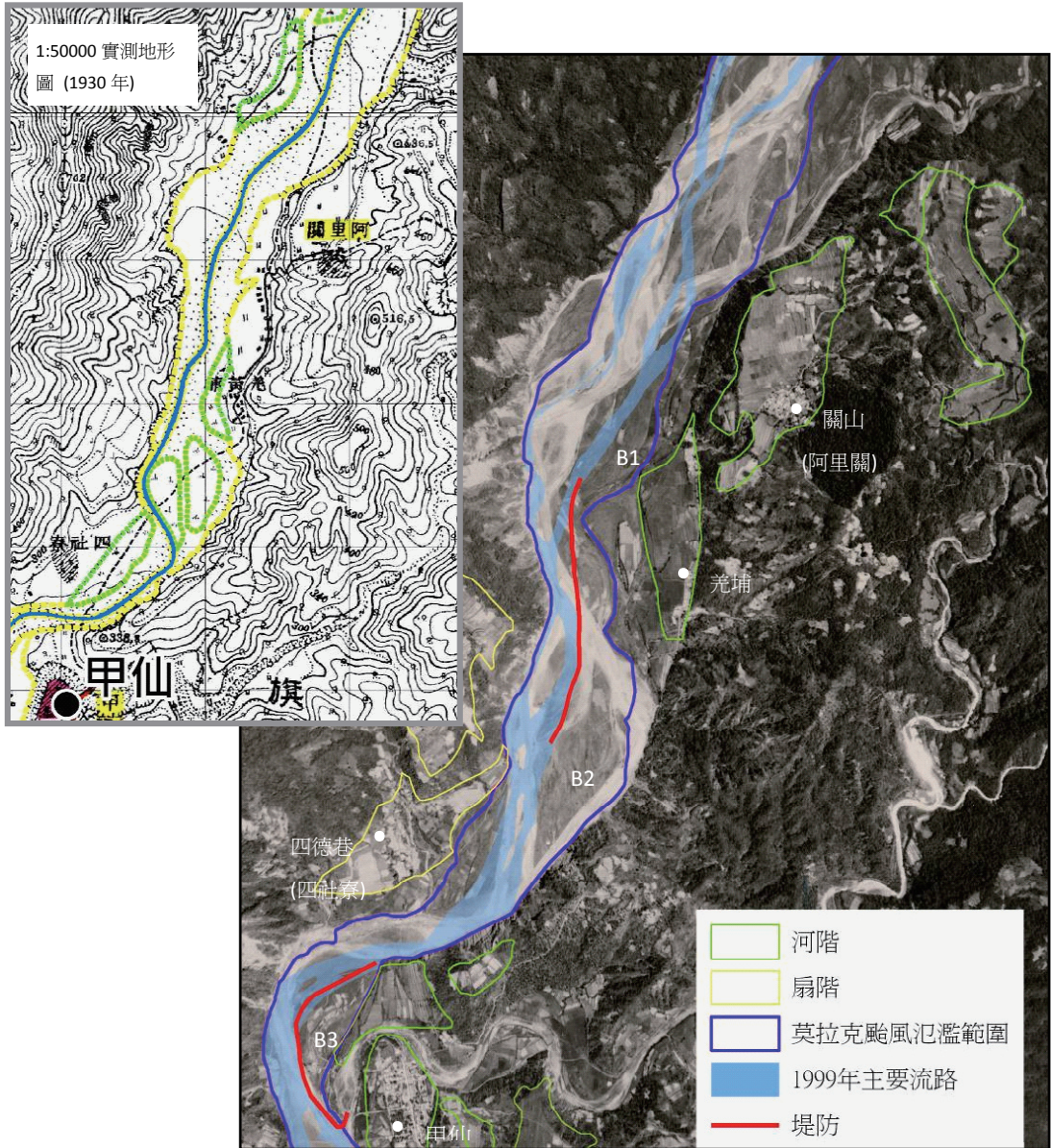
表2 本研究區各河段莫拉克颱風誘發的洪水和土石流作用

河段	下游 → 上游				
	旗山至杉林	杉林至甲仙	甲仙至小林	小林峽谷	民族至民生
洪水溢淹	7處	10處	7處	4處	5處
土石流	0條	2條	7條	1條	12條

現期的莫拉克颱風洪水，溢出「現今的」楠梓仙溪主河道，淹沒無數良田，似乎是典型的「自然」災害。

本研究比對莫拉克颱風洪水溢淹範圍和1948年航照判釋而得之河道範圍 (該時

期人為開發活動有限)，發現前者很少超出後者範圍，不論颱風前是否已興修堤防 (圖4C、4D，圖5)，而1948年的河道範圍大致符合1928年實測地形圖和1904年台灣堡圖的範圍 (例如，圖3)。幾處洪水溢淹



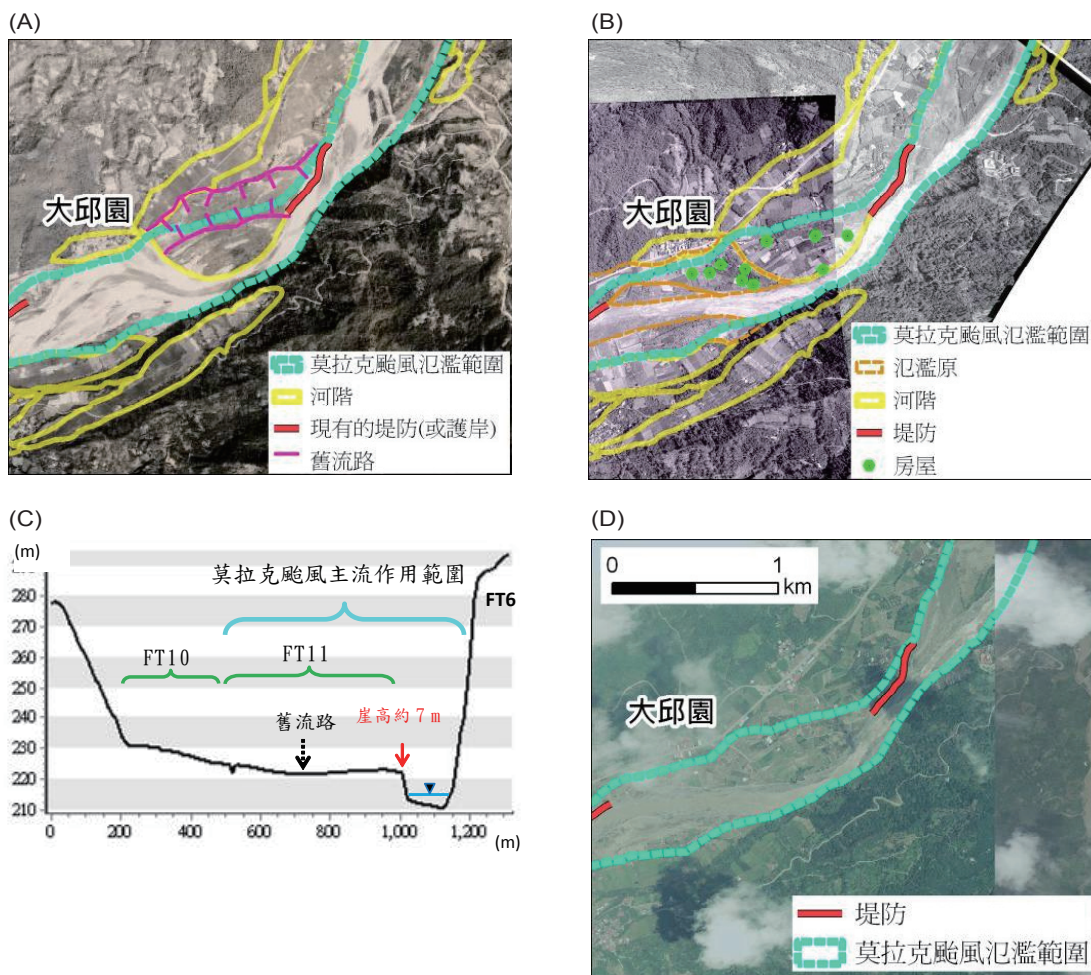
註：本圖的底圖為1948年航空照片。

圖6 楠梓仙溪甲仙至小林段河道變遷和莫拉克颱風溢淹範圍圖

範圍超出1948年河道範圍的地點，在20世紀初期屬河道沙洲，颱風前已有的防洪工事，也都受損，包括保護突洲的或阻截原有分流的堤防。例如：

- (1) 甲仙上游側原河道 (1948年時) 被寬廣沙洲一分為二，之後修築堤防將河水引導至西側流道，但莫拉克颱風時，洪流冲破阻截分流的堤防，淹沒原來的分流河道 (圖4C、圖6的B2處)。

- (2) 甲仙西側在1948年已經開墾，所以在該時期，筆者將之分類為氾濫原而非活動河道 (圖4D、圖6的B3處)，但比對歷史地圖可知，該地在20世紀初期仍為網流中的沙洲，到1920年代末期河道偏向右岸 (西側)、突洲浮現。
- (3) 大邱園附近在莫拉克颱風前與現今河道間有7 m的小崖 (圖7D)，前期研究將附近判釋為河階 (FT11) (張瑞津等，2004)，但颱風時也被溢淹



本圖之相關位置可參見圖4D。颱風前之 (圖B) 以1999年拍攝之航照影像代表，剖面P7採用莫拉克颱風前的5 x 5 m DTM製作。

圖7 大邱園附近河段1948年 (A) 與2009年莫拉克颱風前後 (B和C) 之河道變化對照圖

(圖7C)。檢視歷史圖資，發現該地在1904年屬活動河道的一部份(具有河中沙洲的特徵)，1928年為荒地，1948年航照上可見零星農田，並可判釋出舊流路(圖7A)。1985年(航照)舊流路上也開闢為農地，且上游端有河岸工事，到1999年甚至已有房舍(或工寮)座落(圖7B)。

綜合歷年多版圖資的地形判釋結果可知，楠梓仙溪氾濫原上農田不斷擴張，伴隨著堤防等河岸工事的興修，河道位置被固定，河道寬度也明顯縮減，莫拉克颱風時淹沒的農田，多是20世紀中期以來才陸續開發的。此案例顯示，在地窄人稠的臺灣島，檢討自然災害的原因時，不能忽略邊際土地開發所種下的遠因。

莫拉克颱風損毀許多防洪結構物，也促使水利工程人員再思考河川治理規劃的方向。經濟部水利署(2010)的《風雨挑戰—莫拉克颱風災滿週年水利重建記事》一書中，署長序言中提到：「……人與河爭地，總有一天老天爺會把它統統給收回去！……原來在河岸邊的土地已變成河道，當地居民希望我們修復河堤……即使這個壓力非常大，我們還是只能搖頭……」(楊甫偉，2010)。陳春宏(2010)彙整多條災情嚴重河流之治理規劃檢討，認為學習順應自然，重新檢討堤線，檢討局部放寬河川治理法線，以適當擴大河寬以順暢水流，及回復應有之行水區等，期能留給河道足夠空間，順導洪水，減少洪災損失。

這種想法與歐美國家流域管理機構開始接受「河流自我調整」的觀念一致。20世紀末以來歐洲遭逢數次大洪災，促使荷蘭等水利大國認清人為工程在防治洪災上

的侷限性，體認唯有自然河川的本身才有可能「馴服」自己的洪水；將原有的洪水平原還給河川，回復河川原本就具有的蓄洪能力，才是解決水患威脅的治本之道。在因應氣候變遷的可能衝擊下，更已進行如「侵蝕廊道」(erodible corridor)、「還地於河」(space to move)、「河道擺移區域」(CMZ, channel migration zone)等計畫(Brummer, *et al.*, 2006; Pie'gay, *et al.*, 2005; Rohde, *et al.*, 2005; Sear and Arnell, 2006; 轉引自Brierley and Fryirs, 2009)，不再對抗河流行為(fluvial behavior)。但是對臺灣的河流而言，該保留多少空間給河流才足夠呢？

內政部營建署在1992-1997年即提出洪氾地區的劃設原則，最初以洪水沖積平原為對象(地層為全新世沖積層或土壤屬沖積土性質且坡度小於15%即屬之，又稱為潛在洪水平原)，後來又納入「常浸水區」、「設計洪水頻率100年洪水到達地區」(有些地區採50年洪水頻率到達地區)(2010/9/2查詢)。針對莫拉克颱風受災地區，《莫拉克颱風災區河川洪氾區土地使用管制辦法》第3條：「洪氾區應依實際地形、洪水紀錄及預測結果劃定之……」(全國法規資料庫，2010/9/9查詢)。根據上述之洪水沖積平原定義，幾乎全臺的平原地區均屬之，而全新世乃指一萬年以來的地質時期，就發展洪災的調適策略而言，實用性有限。水文水理模式常用來推估不同洪水重現期(如5、10、50、100年)的流量和洪氾區，目前臺灣有少數河段採200年重現期的最高標準施作河防工事。但在擔心氣候變遷衝擊加劇(吳宜昭等，2010)或極端降雨事件發生頻率增加的疑慮下(許晃雄，2004；盧孟明等，2007)，

模式推估須將氣候變遷情境納入考慮，推估的不確定性更高。

環境變遷或生態復育研究，需盡可能還原自然環境的原初樣貌，以做為分析的基準 (baseline)。本研究藉由圖資套疊，發現楠梓仙溪的河道範圍和地形特徵，從20世紀初期到中葉大致相符，由氾濫原上土地利用的狀況可研判，該段時期的活動河道範圍，可視為在沒有顯著人為干擾下河道擺移和洪水溢淹的最外界。而莫拉克颱風造成之200年重現期的洪水 (水利署第七河川局，2009)，雖受到河堤約束，溢淹範圍也很少超出20世紀前半葉之活動河道邊界 (圖4、圖5)。雖然目前還不確知該時期的活動河道屬於何種時間尺度的水文—地形作用產物，但在考量楠梓仙溪「河流自我調整時所需空間」的課題時，20世紀前半葉近自然狀態的河道範圍，顯然頗具參考價值。

臺灣山區河谷平原的地形變動有明確文字記載的歷史有限，但過去幾十年間幾乎將氾濫原開發殆盡，現今河道狀況多是築堤束水的產物。楠梓仙溪的個案研究顯示，在氣候變遷衝擊的疑慮下，少有人為干預時期之「近自然狀態的活動河道範圍」，應可作為評估洪水溢淹潛勢的重要參考。而善用現存的歷史地圖和航空照片 (尤其臺灣堡圖、實測地形圖和1950年前後拍攝的航照)，是還原山區河道原貌的可行方案之一。未來還需結合古水文和洪水推估的比對分析，以及氾濫原的定年研究，以釐清所還原之近自然狀態的河道範圍，是何種時間尺度的產物。

結 論

本研究選擇楠梓仙溪為研究區，以河流特徵反映河流行為的架構，透過多期圖資影像掌握各時期的河流地形特徵並繪製地形分類圖，探討莫拉克颱風造成的土石流和洪水作用，以及近自然河道範圍在氾濫區劃設上的意義。

莫拉克颱風造成楠梓仙溪沿線普遍的洪水溢淹，愈往下游淹水範圍愈大，但各河段所淹沒的地形單元，不盡相同。在上游河段，除了主流的溢淹，支流土石流造成的溢淹相對更顯著。在小林以下河段，規模達200年洪水重現期之莫拉克颱風的溢淹範圍，皆為早期之流路，並未超出20世紀前半葉的河道流路範圍。

面對未來極端降雨可能增加的情況，實應認真思考不再以工程方法為對抗河流行為的主要手段，而應將「河流自我調整」(轉引自Brierley and Fryirs, 2009)和洪水風險的概念納入國土規劃與流域防洪減災的策略中。本文建議針對臺灣主要河流，確認其「近自然狀態」活動河道的範圍，可作為評估洪水溢淹潛勢的重要參考。而除了詳查存留在圖資或地景中相對明確可資辨認的原活動河道邊界，繪製谷床和氾濫平原的地形分類圖外，未來還需可結合古水文和氾濫原的定年研究，以釐清所還原之近自然狀態的河道範圍，是何種時間尺度的產物，即20世紀下半葉以來，楠梓仙溪沿線興修之河岸工事，大多保護的是1950年代以前的活動河道範圍。

謝 辭

本文乃受國科會補助之專題研究計

畫 (96-2625-Z-003-002-MY3, 2009/8/1-2010/7/31)。中央地質調查所提供山崩計畫研究成果，環境工程組魏正岳先生、張啟偉先生指導數值航測技術，以及中央研究院人文社會科學中心提供1950年代前後之航空照片影像，使本文得以順利進行。兩位匿名審查人的寶貴意見，以及本系臺灣地形研究室同仁和助理的協助，特此一併致謝。

引用文獻

- 宋國城、林慶偉、林偉雄、林文正 (2000) 1/50,000臺灣地質圖說明書：甲仙圖幅，51。
- 沈淑敏、張瑞津 (2003) 圖像資料在臺灣地區地形變遷研究上的應用與限制，臺灣師範大學地理研究報告，38: 67-86。
- 沈淑敏、葉懿嫻、黃健政、張瑞津、劉盈劭 (2007) 花東縱谷北段的土石流扇和土石流溪溝的認定，中華水土保持學報，38 (4): 311-324。
- 林世明、謝志能、蔡瑋文 (2010) 汨汨水流、源源不絕—高屏堰及甲仙堰修復，風雨挑戰—莫拉克颱風災滿週年水利重建記事，臺北：經濟部水利署，98-113。
- 吳宜昭、陳永明、朱練容 (2010) 台灣氣候變遷趨勢，國研科技，25: 40-46。
- 許晃雄 (2004) 東亞降水年際變化研究—台灣的旱澇問題，國際合作處網頁 <http://www.nsc.gov.tw/int/ct.asp?xItem=7818&ctNode=1796>
- 翁毓穗 (2010) 從多期圖資影像探討1904-2009年間旗山溪氾濫原的地形變遷，臺灣師範大學地理研究所碩士論文。
- 陳春宏 (2010) 堤線重新檢討、決勝千里—高屏堰及甲仙堰修復，風雨挑戰—莫拉克颱風災滿週年水利重建記事，臺北：經濟部水利署，298-309。
- 陳樹群、吳俊鎡 (2009) 莫拉克颱風引致小林村堰塞湖之形成與潰決歷程，中華水土保持學報，40 (4): 377-392。
- 陳聯光、游繁結、劉格非、林聖琪、柯明淳 (2009) 莫拉克颱風重大崩塌災害歷程探討，中華水土保持學報，40 (4): 329-338。
- 國家災害防救科技中心 (2009) 莫拉克颱風災害概述，地工技術，121: 75-82。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所 (2008) 高屏溪治理基本計畫，臺中縣：經濟部水利署水利規劃試驗所。
- 經濟部水利署第七河川局 (2009) 旗山溪河床穩定研究，屏東市：經濟部水利署第七河川局。
- 楊甫偉 (2010) 序二—迎向挑戰，風雨挑戰—莫拉克颱風災滿週年水利重建記事，臺北：經濟部水利署，6-11。
- 張瑞津、楊貴三、沈淑敏 (2004) 臺灣島河階地形資料庫的建置 (2/3)—南部地區，臺北縣：經濟部中央地質調查所。
- 楊貴三、沈淑敏 (2010) 臺灣全志：地形篇，臺北市：國史館臺灣文獻館。
- 盧孟明、陳佳正、林昀靜 (2007) 1951-2005年台灣極端降雨事件發生頻率之變化，大氣科學，35 (2): 87-104。
- 龔琪嵐 (2002) 楠梓仙河流域與荖濃河流域之地形演育研究，高雄師範大學地理研究所碩士論文。
- 全國法規資料庫 <http://law.moj.gov.tw/>

- index.aspx, 下載日期: 「2010.09.09」
內政部營建署網頁 <http://gisapsrv01.cpami.gov.tw/fcu-gis/new/all-I4.htm>, 下載日期: 「2010.09.02」
- Brierley, G. J. and Fryirs K. A. (2005) *Geomorphology and River Management: Application of the River Styles Framework*, Australia: Blackwell.
- Brierley, G. J. and Fryirs, K. A. (2009) Don't Fight the Site: Three Geomorphic Considerations in Catchment-Scale River Rehabilitation Planning, *Environmental Management*, 43 (6): 1201-1218.
- Brummer, CJ, Abbe, T. B., Sampson, J. R. and Montgomery, D. R. (2006) Influence of vertical channel change associated with wood accumulations on delineating channel migration zones, Washington, USA. *Geomorphology*, 80: 295-309.
- Goudie, A. S. (2004) *Encyclopedia of geomorphology*, New York: International Association of Geomorphologists.
- Leopold, L. B., Wolman, M. G. and Miller, J. P. (1995) *Fluvial processes in geomorphology*, San Francisco and London: W. H. Freeman and Company.
- Tectonophysics*, 408: 63-77.
- Pie' gay, H., Darby, S.E., Mosselman, E. and Surian, N. (2005) A review of techniques available for delimiting the erodible river corridor: a sustainable approach to managing bank erosion, *River Research and Applications*, 21: 773-789.
- Rohde, S., Schutz, M., Kienast, F. and Englmaier, P. (2005) River widening: an approach to restoring riparian habitats and plant species, *River Research and Applications*, 21: 1075-1094.
- Sear, D. A. and Arnell, N. W. (2006) The application of palaeohydrology in river management, *Catena*, 66: 169-183.

99年11月5日收稿

99年12月10日修正

99年12月17日接受