

七家灣溪集水區之漂流木基本特性及空間分佈狀態

陳樹群 趙益群*

摘要 七家灣溪集水區河道內之漂流木多屬於邊坡崩塌等因素所產生。本研究探討該區漂流木之基本特性、空間分佈及在河道中所扮演之角色；這些漂流木大多以樹幹（73%）而且為單根（71%）之形式散佈於河道中。河道中之漂流木多數散佈於河岸邊緣（75~95%），其次為江心洲（1~24%），少部份在河道中（1~2%）或以橫跨河道（3%）出現。高山溪河道主要係由堅硬之岩盤所組成之狹窄河道，所以尺寸較大之漂流木易阻塞於河道中；但是相對地，該處河床坡度較大，漂流木易被輸送至下游。河寬較寬且有復列沙洲存在之河道，河床坡度相對較小，漂流木容易散佈於沙洲上。這也是高山溪河道內之漂流木蘊藏量（20 m³/100m）大於桃山溪及七家灣溪（15 及 13 m³/100m）；但是，漂流木出現之頻率卻遠小於其他兩個河段之原因。

關鍵詞：七家灣溪集水區、漂流木、蓄積量、河川型態。

Essential Characteristic and Spatial Distribution of Large Woody Debris in Chiachiwan Watershed

Su-Chin Chen Yi-Chin Chao*

ABSTRACT The large woody debris (LWD) in the Chichiawan Creek is the result of landslides. This study explores the essential characteristics, spatial distribution, and the function of LWD in the Chichiawan Creek. Most of the LWD are trunks (73%) which disperse as single pieces (71%) in the channel. The highest percentage of LWD disperse on the channel margins (75~95%), following the percentage of LWD present on the sandbar (1~24%), and a small amount appears in the channel (1~2%) or across the channel (3%). The Gaoshan Creek is a narrow channel composed of hard bedrock. Therefore, the large LWD blocked up easily in the channel. However, the steep slope facilitates the transport of LWD downstream. The LWD tends to disperse on the wider and braided channel because of the mild slope. These are the reasons the Ganshan Creek (20 m³/100m) has a higher quantity of LWD then those in the Taoshan Creek and the Chichiawan Creek (15 and 13 m³/100m, respectively). However, the abundance of LWD in Gaoshan Creek is less than that of the others.

Key Words: Chichiawan creek catchment, large woody debris (LWD), accumulation volume, river morphology.

一、前言

2004年7月敏督利颱風帶來之連日豪雨造成臺灣中南部地區多處道路坍方,及中部山區嚴重土石流等天然災害。並且在野溪及道路交匯處、河道之洪氾平原上或是橋墩上游隨處可見漂流木堆積。其中,德基水庫在敏督利颱風後,在水庫內打撈 25,000m³漂流木。另外,受同年之艾莉及海馬颱風影響,流入石門水庫壩區內之漂流木經緊急打撈後,初步估計進入石門水庫壩區之漂流木體積量約 54,000m³,造成石門電廠發電機葉片受損,迫使電廠停擺(陸象豫等, 2006)。2009年8月莫拉克颱風過後漂流木遍佈臺灣沿海,進而阻塞漁港造成漁民之經濟損失,如臺東富岡漁港。漂流木除了遍佈臺灣東西沿海外,臺灣南部水庫如曾文水庫及南化水庫等,在水庫庫區內亦遍布漂流木,造成水庫管理問題。近年來,大規模洪水事件頻傳,集水區上游均有大量之崩塌地產生,崩塌地上之林木植被及崩塌所產生之大量土砂,必然會隨著大規模之洪水而下。如今,受到地球暖化影響,極端降雨、洪水等災害發生規模僅會日漸增加,所以對於土砂及漂流木等災害應格外重視。臺灣目前對於土砂之災害防治及應變方法已發展多年,但對於漂流木之發生、移動、堆積及再移動等連續過程尚缺乏相關研究。

漂流木(large woody debris, LWD)被定義為在河道中長度大於 1.0 m、直徑大於 0.1 m 且已死亡之樹木(Keller and Swanson, 1979; Andrus *et al.*, 1988; Gippel, 1995)。魏曉華等(2006)指出漂流木在集水區中可區分為進入河流與在河流內發生之兩種相關連過程,前者為河岸植被帶之樹木死亡後或通過各種方式(如崩塌、河岸沖刷、土石流等作用)進入河道;此過程為漂流木之來源,與森林植被(特別為河岸植被)之狀況、植被之干擾、地貌特徵等有直接關連性。漂流木在河流內發生之過程是指在樹木進入河道後所發生的一系列過程,包含了分解、破碎化、儲存、搬運及沉積等過程。無論何種型式的漂流木,主要聚積在溪流死水區或其鄰近岸邊、河床坡度突變處以及河川構造物附近,但暴雨後的漂流木除聚積於上述地點外,亦可能會分佈於整個河岸及海岸邊(陸象豫等, 2006)。

一般來說,漂流木遇到較大之塊石或是水流較緩處會開始沉積,而沉積時常會有單株漂流木沉積(LWD pieces),或聚集在一起形成漂流木聚積(LWD

jams)。在低河川級序中,當漂流木長度大於溪谷寬度時,漂流木會受到地形因素影響橫跨於溪谷之中,此漂流木稱之為關鍵性漂流木(key member)(圖 1A, 圖 1B; Nakamura and Swanson, 1993);經過數年之後,漂流木開始腐朽甚至斷裂,並於漂流木兩邊對水流造成導流效果,促使下游河道擴張(圖 1C; Nakamura and Swanson, 1993);如有大規模洪水事件產生,將會從上游挾帶更多漂流木而下,此時大量漂流木會重疊堆積起來堵住整個河川流路,造成上游土砂堆積導致河床抬升,進而產生落差(圖 1D; Nakamura and Swanson, 1993)。此種因大量漂流木堆積造成土砂堆積抬升河道之漂流木堆積體,稱之為漂流木壩(LWD dam)。

從上述可知,漂流木在集水區系統中是一種可以創造、改變河川流路、創造新的河相及水生環境之重要元素。尺寸較大之漂流木(如關鍵性漂流木)可作為創造豐富河川流路之構造單元。Chen *et al.* (2006)發現,坡度大於 2%或 5%之森林河流中,漂流木主要表現於階梯深潭(step-pool)之形成及河床護甲層(armoring)之構成等有重大之意義。另外,漂流木能有效減緩泥砂運移,如魏曉華等(2006)指出,漂流木對泥砂具有三種明顯之攔阻作用;一為漂流木本身可攔阻些許泥砂;二為漂流木能夠對水流產生阻擋及分流等作用;三為漂流木具有穩定河流兩岸及減低河床掏刷之作用,進而減低泥砂之形成及運移。另外,諸多研究指出,漂流木對泥砂之攔阻作用,在小集水區(3級或以下)內較為顯著(Keller and Swanson, 1979; Harmon *et al.*, 1986; Montgomery *et al.*, 1995)。

漂流木移動之相關研究如下,在河川級序較高的河川漂流木運移的距離較遠;而短的漂流木運移距離比長的漂流木遠(Nakamura and Swanson, 1994)。在上游段,漂流木的長度若大於滿槽流量的渠寬時,漂流木會趨向穩定的停止,當大洪水來時才會再次移動,或者隨著時間腐爛(Haga *et al.*, 2002)。漂流木在河川級序較低的河流(上游)對河川的形態有很大的影響,水深與渠寬可與漂流木的直徑、長度作比較(Fetherston *et al.*, 1995)。Braudrick and Grant (2001)及 Haga *et al.* (2002)指出單一漂流木的運移距離與當地水流性質有關;而影響運移距離的因子有,漂流木的長度和直徑,漂流木的密度,水深、流速及渠底粗糙度等。Abbe *et al.* (1993)更指出,當水深低於漂流木直徑的一半時,漂流木傾向於停止。另

外，影響漂流木運移的因子還有水流的剪應力與泥砂的沖刷(Manga and Kirchner, 2000)。Bocchiola *et al.* (2004)指出漂流木初始移動的位置有平行與垂直水流方向，不同的初始位置會導致漂流木移動時有滑動和滾動的差別。

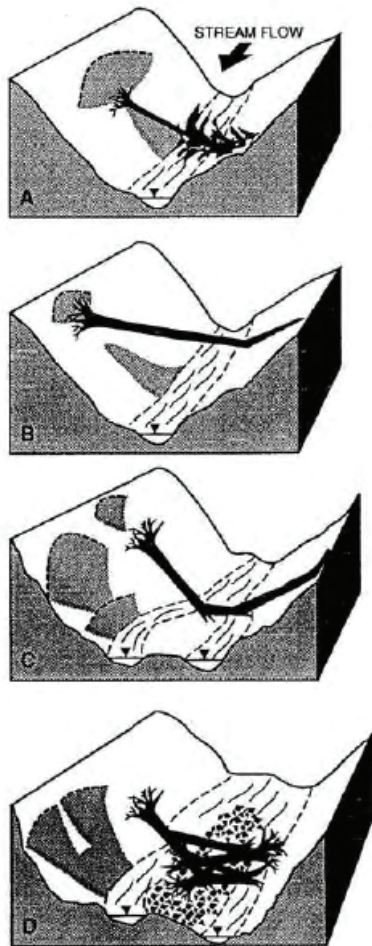


圖 1 河道展寬與漂流木進入及攔阻之關係；(A)河濱植生進入河道；(B)漂流木橫倒跨河道兩岸；(C)漂流木斷裂且影響水流促使河道往兩側發展；(D)上游進入之漂流木及泥砂受到攔阻且發展成為漂流木壩體。(Nakamura and Swanson, 1993)

Fig.1 Channel widening associated with LWD input and aggregation of LWD pieces. (A) LWD input with uprooting; (B) LWD suspended by sideslopes; (C) LWD breakage and interaction with stream flow. Diverted flow scour the toeslope resulting in sideslope failures; (D) LWD pieces aggregate into LWD-dam and trap sediment (Nakamura and Swanson, 1993)

綜合上述，歐美等國對於漂流木此議題已研究多年；地理位置相近之日本研究漂流木議題亦有 20 年之久。而臺灣針對漂流木之相關研究普遍缺乏，加上近年來颱風過後所衍生出之漂流木問題頻傳；因此，漂流木議題將是臺灣未來研究重點之一，但由於漂流常因清疏等原因，而於極短時間內清除。故為求長期觀測起見，本文以人煙罕至的高山河流漂流木為研究對象，利用現地調查方式，對漂流木進行定性及定量之空間分佈特性描述，以對初級河川之漂流木做一持續性研究。

二、研究方法

本研究為探討探討高山河流之漂流木空間分佈特性，於 2008 年 2 月及 7 月於雪霸國家公園內之七家灣溪集水區進行調查試驗研究。其中，七家灣溪集水區之基本特性（河川級序、集水區面積、河道長度等）運用 ESRI 公司所開發之 Arc GIS 進行集水區基本資料萃取。

1. 研究試區

七家灣溪集水區位於雪霸國家公園園區內，為大甲溪上游的主要支流。七家灣溪發源於雪山北稜與桃山品田支稜山脈，由北方的桃山北溪與桃山西溪匯流而下，下游處另有高山溪之入匯；河川主流長度全長約 13 km。年平均降雨量為 2,200 mm，年平均溫度為 16 °C。另外，根據臺灣電力公司於七家灣溪所設立之水文站顯示，七家灣溪之年平均流量為 12 cms（2005yr~2008yr）。七家灣溪流域地形高程介於 1,690 ~ 3,866 m 之間，平均高程為 2,581 m；集水區面積為 74 km²（圖 2、表 1）。另外，根據第三次森林資源調查（林務局，1995），七家灣溪流域內植群分佈 61% 為針葉林（冷杉、鐵杉、雲杉及檜木等），其次為針葉林與闊葉林混合林約佔 22%，最少者為箭竹林 5%。

研究區域內之防砂壩，係早年為了避免河道泥砂流入下游之德基水庫庫區而設置。近年來為了保育臺灣國寶魚-櫻花鉤吻鮭（*Oncorhynchus masou formosanus*），雪霸國家公園於 1999 至 2001 年間展開七家灣溪復育計畫（Lin *et al.*, 2004），並陸續拆除高山溪內之防砂壩。目前櫻花鉤吻鮭之復育計畫仍持續進行中。本研究調查區域除七家灣溪河道為全河道外，其餘河道因無法攀爬過防砂壩或防砂壩下游沖刷坑深且影響範圍長無法越過等因素，僅調查某部

分河段。其中，七家灣溪調查河道長 6,300m、高山溪調查河道長 1,540m、桃山西溪 180m 及桃山北溪 80m。另外，本研究將桃山北溪及桃山西溪合稱為桃山溪，以方便討論。

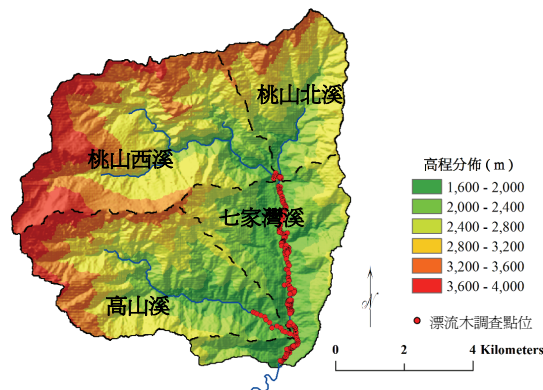


圖 2 七家灣溪集水區高程分佈及漂流木調查點位
Fig.2 Topographic elevation and LWD survey sites of Chichiawan creek

2. 評估方法

現地調查中，本研究調查長度大於 1.0 m 及直徑大於 0.1 m 之漂流木。在漂流木之堆積方向部分，以水流方向為主來判斷漂流木堆積之位置與上游水流之交角呈現何種形式，本研究將茲區分為，平行水流 (parallel)、垂直水流 (transverse) 及傾斜水流 (oblique; $45^\circ/225^\circ$ 或 $135^\circ/315^\circ$) (Baillie *et al.*, 2008)。漂流木之堆積位置區分為河道兩側 (channel margins)、河道內 (in-channel)、橫跨河道 (channel-bridge) 及沙洲 (sand bar) 等四種。在調查區域之河道內，漂流木常以幹材 (樹幹)、根株 (根部) 及少數樹枝等方式出現 (圖 3)。本研究假設漂流木幹材部位為均勻之圓柱體，利用捲尺量測漂流木幹材兩側之直徑，推求其幹材之體積。根株部位則假設為正方體，忽略根系間之孔隙，以方便推估根株之體積。

在七家灣溪集水區基本特性之萃取上主要係利用 ESRI 公司開發之地理資訊系統 (geographic information system, GIS) 配合臺灣數位地形模型 (DTM, 20m \times 20m) 進行試驗區位之高程及水系分析。另外，在七家灣溪集水區內土地利用類型，則根據第三次台灣森林資源及土地利用調查 (林務局, 1995) 後所得之土地利用圖資，套疊於七家灣溪水系及集水區範圍上萃取而得。

三、結果與討論

1. 河道中漂流木來源

在臺灣漂流木主要來源為河道兩岸崩塌致使邊坡上之林木與崩塌土石一同進入河道造成。在本研究試區內所註記及量測之漂流木，可從其外觀特性 (漂流木之斷面、材面及是否有根株) 判斷是否為自然發生或人為砍伐。相較於林木受到人工砍伐後之平整斷面相比，研究試區內之漂流木斷面多呈現不規則之纖維狀撕裂。漂流木於漂流過程中，因與河道兩岸、底床塊石及漂流木間之相互碰撞及磨損等因素，造成材面嚴重磨損，且樹皮及枝葉多已脫落，甚至附著大量泥砂或礫石於樹皮或木材內之情形。因崩塌而產生之漂流木多帶有根株；另外，枯死木或風倒木之幹材亦會連接根株。而未連根之幹材，係因為漂流木從上游到下游之漂流運移過程中，漂流木與河道中巨大塊石相互碰撞或多根木材反覆翻滾撞擊導致斷裂，亦有可能為遭受強風吹襲而折斷之林木之故 (張獻仁等, 2009)。



圖 3 漂流木尺寸量測部位
Fig.3 Measurement region of LWD

表 1 七家灣溪集水區流域基本資料表

Table 1 Basic data of Chichiawan creek

溪流名稱	溪流級序	集水區面積 (km ²)	溪流長度 (km)	平均河寬 (m)	平均高程 (m)	河床平均坡度 (m/m)
桃山北溪	1	11.37	2.74	13.45	2,559	0.086
桃山西溪	2	25.42	6.52	19.82	2,883	0.119
高山溪	1	20.99	6.69	16.54	2,577	0.076
七家灣溪	2	16.26	6.47	47.03	2,133	0.027

註：桃山北溪及桃山西溪為方便討論於文後統稱為桃山溪。



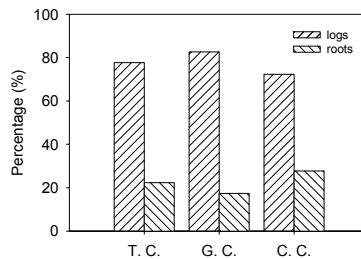
圖 4 河岸崩塌導致土砂及林木進入河道

Fig.4 Riparian landslides caused sediment and wood into channel

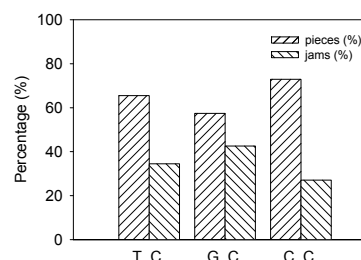
而在研究試區之漂流木外觀型態方面。木材斷面幾全呈不規則之纖維狀撕裂、形狀粗短且樹皮大多數已脫落，材面傷痕累累，更挾帶多數泥砂及礫石。在進行野外觀測調查時，在河道兩旁發現多處受到大量降雨而產生土石鬆動之滑動或崩落邊坡，洪水時河道凹岸受到水流攻擊促使河道產生侵蝕而崩塌之邊坡，或是河岸基腳受到水流侵蝕後，產生之邊坡崩塌等，使得原本生長於邊坡上之植物林群進入河道中（圖 4）。綜合上述，可推論七家灣溪集水區內漂流木之主要來源，為洪水造成河岸基腳侵蝕產生之崩塌及大量降雨使得邊坡土體滑動產生崩塌所造成。此結果與陸象豫等（2006）探討臺灣地區洪災後漂流木之主要來源相同。

2. 漂流木型態

漂流木在河道中之運移過程中受到外力之影響，如磨損或折斷，使得多數漂流木較為粗短且樹幹與根株分離等情形。整體而言，73%之漂流木以幹材之形式出現，剩下之 27%則為幹材與根株或係僅以根株方式出現；另外，在各子集水區中，幹材出現於河道上之機率約為 78%，而以幹材與根株之方式出現者，則是佔了約 22%（圖 5）。漂流木常以單根漂流木（piece），或受到地形或河岸植生等因素造成多根漂流木聚積（jam）之情形堆積於河道上。在本研究調查範圍內，共有 1,830 根之漂流木被註記及量測。整體來說，以單根漂流木出現者佔全部漂流木之 71%，而以多根漂流木聚積一起出現者佔了 29%；另外，在各子集水區中，單根漂流木出現於河道上之機率約為 65%，而以漂流木聚積之方式出現者，則是佔了約 35%（圖 5）。



(a) 幹材 v.s. 根株



(b) 單根 v.s. 聚積

圖 5 各子集水區漂流木出現形式百分比（T.C：桃山溪；G.C：高山溪；C.C：七家灣溪）

Fig.5 LWD performed patterns; (a) logs v.s. roots, (b) pieces v.s. jams; T.C.: Taoshan creek, G.C.: Gaoshan creek, C.C.: Chichiawan creek

一般漂流木在河道內，型態上除了以幹材、根株或者兩者一起出現外，還會受到地形、兩岸植生，甚至漂流木相互卡合之影響，從原本之單根漂流木轉換為群體之漂流木聚集堆積於河道上。本研究發現，漂流木聚積之位置及型態與河道特性及河濱植物有關。野外調查發現，當漂流木受到洪水事件而運移時，會受到河岸塊石、植物等影響堆積於河道兩岸，並因突出於河道中，進且影響原本之水流方向使其改變流路，形成漂流木導流堆積（flow parallel jam）之情形（圖 6(a)）；或是在犬尺交錯之河岸沙洲上，也常發現漂流木沉積於該地之蹤跡。然而，當河道受到河道中之塊石或兩岸植生之影響，造成河道窄縮之情形；此時，當漂流木長度較窄縮後之河道長且運移時呈現傾斜或垂直水流方向時，容易受到該地形影響而攔阻於此，使得隨之而來之漂流木則堆積於此處，進而在河道上形成漂流木階梯（step jam）及深潭等河道變化，且豐富該河段之河道變化（圖 6(b)）。當洪水爆發，河道內水位之際，原本一股之河道受到河道地形之影響，為了減緩水流強度，會形成兩股水路，在兩股流路中會形成水中沙洲。此時，運移中之漂流

木，會先受到水流慣性作用撞上沙洲前緣堆積於此（bar head; 圖 6(c)）；待洪水退卻之後，次要流路之水量減緩造成水位下降，漂流木因水流浮力不足開始沉積於該處，等待下一次之洪水事件來臨，才會再次啓動運移至下游。另外，尺寸較大之漂流木在運移過程中，容易受到地質構造之影響而橫跨河道，形成底流堆積之情形（underflow jam 圖 6(d)）。高山溪一號壩上游（圖 6(e)）、七家灣溪一號壩及三號壩上游之淤積區漂流木散佈，原因為防砂壩上游之泥砂堆積區，在淤滿後形成廣大且平緩之區域，使得挾帶大量漂流木之洪水受到此處腹地廣大之影響而減緩水流流速且水深減少，再加上淤積於此之大量土砂，造成漂流木因水流驅動力不足且受到土砂塊石之影響，而遍佈於此淤積區上。最後，在調查之河道內亦常見漂流木直接受到河濱植物之攔阻，形成漂流木堆積體（圖 6(f)）。

漂流木之堆積型態與河道之地形特性及河濱植物有明顯之關係。從現地調查結果可知，漂流木在較狹窄之河道內，常受到兩岸塊石之攔阻，堆積於犬尺交錯之邊灘上；少部份堆積於邊灘上之漂流木因突出於河道上，改變水流流路形成導流堆積。或者卡於河道中巨礫及塊石之間隙中，形成階梯堆積之型態。另外，亦常見漂流木在受沙洲前端及河濱植物影響而堆積。最後，受到河道地形窄縮之影響，使得尺寸較大之漂流木橫跨河道兩岸，形成底流堆積之型態。上述調查河道中常見之漂流木堆積型態皆與葉昭憲（2009）、Chen and Chao, (2010) 及 Wallerstein *et al.* (1997) 於野外調查時所常見之堆積型態結果類似。

3. 漂流木之堆積位置

漂流木堆積於河道中之位置，與當地集水區之地質狀況、河道地形及水力特性等條件有關。在研究調查區位中，漂流木大多數堆積於河道兩側之河岸邊緣（75~95%），其次為江心洲（1~24%），少部份漂流木在河道中（1~2%）或者以橫跨河道（3%）出現（表 2）。

一般而言，河道寬度越大水流容易形成多股流路，在河道平面上會出現複列沙洲之型態；相對來說，漂流木容易堆積於此複列沙洲之上。但是，堆積於此沙洲上之調查結果，卻以桃山溪較七家灣溪為多。在七家灣溪中，河道開始展寬，於洪水期間為了降低水流強度，所以流路會發展成多股之辮狀河道，所以漂流木會沿著各多股河道運移至下游；但是在洪水退卻

後，漂流木則堆積於此河道遺跡上。而本研究所以定義之江心洲係為兩側均有水流通過者；然而，七家灣溪河道雖然有廣大之沙洲遍佈，但水流通過沙洲兩側所形成之江心洲，在調查上之河段內仍屬少數，大多數仍屬於河岸邊緣。另外，在所調查之桃山溪河段，由於剛好位於桃山西溪及桃山北溪之交匯處，有數量較多之漂流木堆積於此江心洲上（24%）。因此，在所調查之河段內，桃山溪堆積於江心洲之漂流木遠大於七家灣溪。

各調查河段中水流湍急，僅有少部份之漂流木受到河道底床中大塊石之影響，出現於河道內。而漂流木要橫跨於河道需要符合兩個主要條件：第一，狹窄之河道；第二，漂流木長度夠長且直徑不宜太細。而在調查之河道中，僅有高山溪河道為狹窄且堅硬之岩盤所構成，且漂流木之尺寸較大；因此，僅在高山溪內漂流木出現橫跨河道之情形。

表 2 漂流木堆積位置數量百分比

Table 2 Percentage of LWD logs deposited location

溪流名稱	河岸邊緣 (%)	河道內 (%)	橫跨河道 (%)	江心洲 (%)
桃山溪	75	1	-	24
高山溪	95	1	3	1
七家灣溪	89	2	-	9

4. 漂流木堆積方向

高山溪子集水區內漂流木與水流方向傾斜者佔全部漂流木數量之 63%，其次為與水流方向平行（20%），與水流方向垂直者最少（17%）。在七家灣溪主流裡，漂流木水流方向水平者佔全部之 48%，與水流方向垂直者佔了 32% 為次多，最後與水流方向傾斜者最少為 20%。桃山溪子集水區內，漂流木與水流方向平行者佔了 52%，而與水流方向垂直及傾斜者各佔了 28% 及 20%（圖 7）。

Bilby and Ward (1989)、Degetto and Righetti (2004) 及 Chen *et al.* (2006) 根據現場調查結果指出，在中大型溪流中有大量漂流木於河道上之堆積方向與水流相互平行；而在小型溪流中漂流木之堆積方向，反而與水流呈現垂直之現象。此調查結果與本研究在七家灣溪及桃山溪中調查所得之結果一致，即

漂流木堆積於河道上之方向以水流方向平行居多。但是，Braudrick *et al.* (1997) 其試驗結果提出，高級序河川中之漂流木呈現與水流垂直之情形；低級序河川中之漂流木呈現與水流相互平行之情形。此結果則與本研究及 Bilby and Ward (1989)、Degetto and Righetti (2004)、Chen *et al.* (2006) 等諸位學者結果相反。另外，在高山溪集水區中，堆積於河道

上之漂流木方向則以與水流方向傾斜居多，此調查結果均與上述幾位學者所提成果相反。其主要原因，主要係由於漂流木堆積於河道上之方向，係屬於隨機的過程；再者，不管是渠槽試驗或是現地調查之結果，會受到漂流木之基本性質、水力條件及地形等條件影響，因此在漂流木堆積於河道上之方向，目前並無統一之結果呈現。

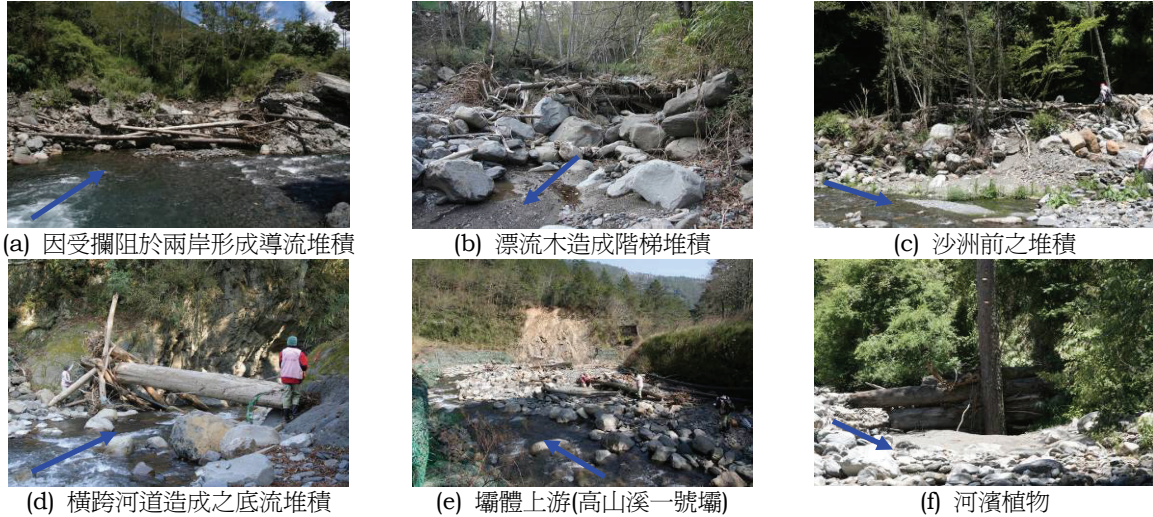


圖 6 漂流木常見之堆積型態

Fig.6 LWD deposited categories. (a) flow parallel jams; (b) step jams; (c) bar head jams; (d) underflow jams; (e) upstream dam; (f) riparian

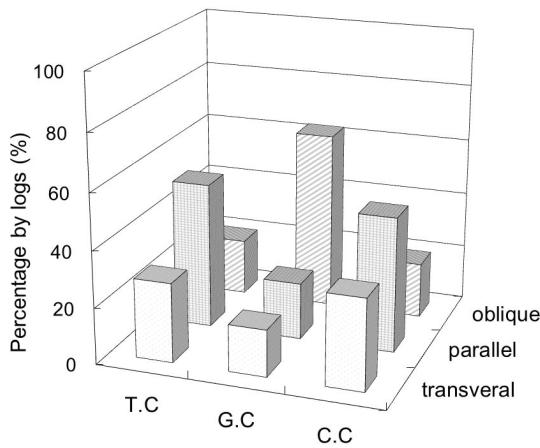


圖 7 漂流木堆積方向與不同子集水區之關係圖 (T.C: 桃山溪; G.C: 高山溪; C.C: 七家灣溪)

Fig.7 Percentage of LWD orientation with different sub-watershed; T.C: Taoshan creek; G.C: T Gaoshan creek; C.C: Chichiawan creek

漂流木在河道中穩定與否，除了漂流木本身之長度、直徑及密度等基本性質外，河道之幾何性質，如河寬、底床粒徑及水流強度等均為漂流木是否能穩定之堆積於河道中之主要因子。另外，河道上漂流木的堆積方向也與漂流木之穩定有關。Braudrick and Grant (2000) 指出，堆積於渠道上之漂流木其迎水面積從大致小分別為垂直、傾斜及平行水流；因此，漂流木垂直水流時，水流給予漂流木之拖曳力相對較大。較大之拖曳力亦促使漂流木之啟動，加上漂流木受力不均之影響，會造成漂流木堆積方向從原本之垂直水流方向，轉為傾斜甚至平行水流方向；因此，與水流方向平行之漂流木其穩定情形，較另外兩個堆積方向穩定。因此，本研究推論七家灣溪及桃山溪之漂流木屬於較為穩定之情形。

5. 漂流木體積及出現頻率

在研究試區內，所調查之漂流木平均直徑、長度及單根漂流木平均體積分別介於 24.5~36 cm、

3.0~5.3 m 及 0.46~2.67 m³；其中高山溪河道內之漂流木尺寸遠大於桃山溪及七家灣溪河道內之漂流木（表 3）。根據調查所得之結果發現，在高山溪河道內，有 20 % 之漂流木長度大於 10 m，10 % 之漂流木直徑大於 1 m。相對地，在桃山溪及七家灣溪河道內僅有 4 % 及 10% 之漂流木長度大於 10 m；在七家灣溪河道內僅有 1 % 之漂流木直徑大於 1 m，而桃山溪則無之情形（圖 8）。在各河道上之漂流木蘊藏體積分佈為 13~20 m³/100m（表 3），仍係以高山溪河道中之漂流木蘊藏量最為豐富。而漂流木於各河段內出現頻率之變化差異量亦極大（7~33 pieces/100m）；其中桃山溪（33 pieces/100m）為最多，高山溪（7 pieces/100m）最少。

高山溪河道內漂流木之蘊藏量為調查河道內最多，推測原因如下。本研究利用 GIS 崩塌地圖層萃取出高山溪集水區內崩落地之植生分佈，除了 58% 為裸露地外，分別以冷杉天針（15%）、鐵杉天針（5%）及其他天針（13%）佔多數。根據第三次森林資源調查（林務局，1995），冷杉天針、鐵杉天針及其他天針之預估材積量分別為 391、599 及 218m³/ha。從每公頃之預估材積量中，可知道此三種天然針葉樹之樹高及樹圍較其他其他樹種大；造成其進入河道後變成漂流木後之尺寸亦相對較大。所調查之河段內，高山溪平均河寬為 16.54m（表 1），但由於受到地質構造影響，高山溪常出現狹窄之河段，最窄處僅 3.13m。因此，尺寸較大之漂流木容易受到此地質構造之影響，被攔阻或堆積於由岩盤所組成之狹窄河道內（Wyżga and Zawiejska, 2005）；相反地，尺寸較小之漂流木，則容易受到洪水影響，運移至下游河道。

在桃山溪所調查之河段，為桃山西溪及桃山北溪之匯流處（圖 2 上方所示位置）；然而，此處亦為七家灣溪三號壩所在地。經過多年之泥砂淤積，此匯流處以形成一片廣大之沙洲且漂流木散佈於此沙洲上。該處之漂流木尺寸為所調查之河段中最小者，其平均直徑及長度分別為 24.5 cm 及 3 m（表 3）。1960 年代末期，林務局在七家灣溪集水區內構築了大量防砂壩，用以防止土砂進入德基水庫。因此，推論在桃山西溪及桃山北溪河道上之防砂壩，阻擋了漂流木之運移，造成尺寸較大之漂流木被攔阻於上游，僅尺寸較小之漂流木較易通過防砂壩運移至該處。因壩體上游腹地寬闊，容易造成漂流木於該處沉積；因此，該處之漂流木出現頻率較其他兩個河段為多（33 pieces/100m）；但是，漂流木尺寸卻相對較小。

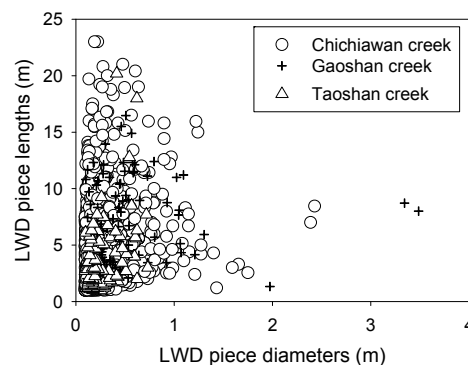


圖 8 漂流木直徑與長度關係圖

Fig.8 Scatterplot of diameters and lengths of LWD

七家灣溪河段所量測到之漂流木，主要係由桃山溪及高山溪運移出之漂流木及七家灣溪兩岸之河濱植物因崩塌等因素，進入河道所構成；因此，該河段共量測到 1,630 根漂流木。再者，漂流木除了散佈於河道兩岸外，由於七家灣溪河道較為寬闊，因此多處河段有多股河道且有大量之沙洲產生，造成漂流木大量散佈於該沙洲或河漫灘上。而沉積於該河段之漂流木，在運移之過程中飽受翻滾、撞擊、磨損及折損等因素；造成漂流木尺寸相對較小，其平均直徑及長度分別為 27 cm 及 4.6 m（表 3）。另外，雖然該河段所量測及註記之漂流木數量最多；相對地，量測範圍亦較其他兩者大。因此，該河段漂流木之出現頻率及蘊藏體積分別為 26 pieces/100m 及 13 m³/100m。

整體而言，高山溪河道內之漂流木蘊藏體積大於桃山溪及七家灣溪；但是，漂流木出現之頻率卻遠小於其他兩個河段。高山溪河道主要係由堅硬之岩盤所組成之狹窄河道，與河寬較寬且有復列沙洲之七家灣溪相比較；高山溪坡度大，漂流木易被輸送至下游，所以在高山溪河道內出現漂流木之頻率較少（7 pieces/100m）；相反地，七家灣溪坡度相對較小，漂流木因而容易散佈於沙洲上。

6. 漂流木對河川型態之影響

在 2008 年 2 月之調查中發現，在高山溪接近七家灣溪匯流口附近發現一根尺寸較大之漂流木橫跨於河道上。而此橫跨高山溪河道之漂流木形成之主要原因如下；該處河段受到地質構造影響，形成狹窄河段（7.55 m），使得漂流木在運移之過程受到此地形影響攔阻於此。高山溪河道中露出之岩盤，主要係由頁

岩由或泥岩變質而成之板岩組成，所以質地較為堅硬不易受到水流侵蝕。其堅硬之地質構造使得河道形成天然隘口，使得尺寸較大之漂流木因地形影響受到攔阻，此漂流木稱之為關鍵性漂流木（圖 9(a)）。

表 3 七家灣溪集水區內之漂流木特性

Table 3 LWD characteristic in the Chichiawan creek

	桃山溪	高山溪	七家灣溪
漂流木數量	85	115	1,630
直徑 (cm)	24.5	36.0	27.0
長度 (m)	3.0	5.3	4.6
平均單株體積 (m ³)	0.46	2.67	0.48
出現頻率 (pieces/100m)	33	7	26
蘊藏體積 (m ³ /100m)	15	20	13

2009 年 1 月再次回到該處時發現，原本橫跨河道之關鍵性漂流木，已變成一座大型之漂流木聚積體，此處稱為漂流木壩 (debris dam)；而原本橫跨於河道上之漂流木，則扮演著阻擋上游運移至下游漂流木之關鍵性角色。根據臺灣電力公司七家灣溪測站資料得知，2008 年 7 月之卡玫基、鳳凰颱風及 2008 年 9 月之辛樂克颱風七家灣溪之平均流量分別為 18 cms 及 61 cms。此颱風所帶來之洪水，挾帶大量漂流木而下，並在該處受到渠道束縮及關鍵性漂流木之影響及攔阻，造成該處堆積大量漂流木形成漂流木壩（圖 9(b)）。此漂流木壩，造成該壩上游河道抬升 3 m；下游部份，形成深潭 (pools) 及淺瀨 (riffles) 等物理性棲地。另外，除了受地質構造影響外，漂流木常見之堆積類型，大多仍與河道特性有關，尤其係河道蜿蜒及展寬處；僅少部分受到巨石或河岸植生攔阻所形成。從野外調查成果中可發現，集水區內地形地貌之改變會影響漂流木之堆積型態及堆積類型；反之，漂流木之堆積亦會影響河川地形地貌之改變。簡而言之，漂流木在河川型態上有顯著之影響且能改變河道之水力條件，如減緩渠道及坡度增加粗糙度等。Keller and Swanson, (1979) 指出漂流木之堆積在級序較小之高山河流能夠造成河床之抬升及冲刷，長時間下能夠有效儲存泥砂改變河道原本面貌，且能夠營造深潭及淺瀨等河川型態；此結果與本研究相符。漂流木

相對於河道上之河床載有較大之形狀阻力，對水流可提供較佳之阻抗能力。另外，因漂流木堆積所產生之階梯狀河道，能夠有效降低能量坡降，代表漂流木之堆積能有效降低水流強度 (Manga and Kirchner, 2000)。



(a) 受到地質結構影響而被攔阻之關鍵性漂流木 (2008/02)



(b) 受卡玫基及辛樂克颱風影響，上游運移下來之漂流木受到攔阻所形成之漂流木壩體 (2009/01)

圖 9 因受地質構造影響產生之漂流木壩體

Fig.9 Debris dam has produced by geologic structural influence. (a) LWD key member influenced to block on geological structure; (b) LWD pieces blocked to form a LWD dam influenced with Kalmegi and Sinlaku typhoon

四、結 論

本研究針對七家灣溪集水區河道內漂流木基本特性進行定性及定量調查，發現河道內之漂流木係多為崩塌災害所產生。而河道內之漂流木，因為在運移之過程中受到磨損、碰撞或折斷等外力影響，使得漂流木之根株與幹材分離，而僅以幹材 (73%) 部份出現。另外調查時發現，漂流木大多以單根 (71%) 形式出

現，少部份以漂流木聚集出現。在調查的河道內，漂流木大多數堆積於河道兩側之河岸邊緣（75~95%），其次為江心洲（1~24%），少部份漂流木在河道中（1~2%）或者以橫跨河道（3%）出現。而七家灣溪及桃山溪之漂流木與高山溪相比，屬於較為穩定之情形。

高山溪河道內之漂流木蘊藏量（20m³/100m）遠大於桃山溪及七家灣溪；但是，漂流木出現之頻率卻遠小於其他兩個河段。高山溪河道主要係由堅硬之岩盤所組成之狹窄河道，因此坡度較大，漂流木易被輸送至下游；相反地，河寬較寬且有復列沙洲存在之河道，坡度相對較小，漂流木容易散佈於沙洲上。

誌 謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會提供研究經費（NSC96-2625-Z005-001-MY3），以利本研究順利進行。

參考文獻

- 林務局（1995），「第三次台灣森林資源及土地利用調查」，行政院農業委員會。
- 張獻仁、范家翔、林素惠、向韻如（2009），「莫拉克風災漂流木形成原因之探討」，*農政與農情*，208：70-73。
- 陸象豫、黃良鑫（2006），「洪災漂流木相關問題之探討」，*林業研究專訊*，113(5)：21-24。
- 葉昭憲（2009），「木質殘材對局部河床影響之調查及渠槽試驗研究」，*中華水土保持學報*，40(1)：79-93。
- 魏曉華、代力民（2006），「森林溪流倒木生態學研究進展」，*植物生態學報*，30(6)：1018-1029。
- Abbe, T. B., D. R. Montgomery, K. Featherston, and E. McClure (1993), "A Process-based Classification of Woody Debris in a Fluvial Network; Preliminary Analysis of the Queets River. Washington," *EOS. Transaction of the American Geophysical Union*, 74: 296.
- Andrus, C. W., B. A., Long, and H. A., Frochlich (1988), "Woody Debris and its Contribution to Pool Formation in a Coastal Stream 50 Years after Logging," *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 45: 2080-2086.
- Baillie, B. R., L. G. Garrett and A. W. Evanson (2008), "Spatial Distribution and Influence of Large Woody Debris in an Old-growth Forest River System, New Zealand," *Forest Ecology and Management*, 256, 20-27.
- Bezzola, G. R., H. Sigg, and D. Lange (2004), "Schwemmholzrückhalt in Der Schweiz Driftwood Retention Works in Switzerland," *Internationles Symposium, Interpraevent 2004 - Riva/Trient*, VII: 29-40.
- Bilby, R. E. and J. W. Ward (1989), "Changes in Characteristics and Function of Woody Debris with Increasing Size of Streams in Western Washington," *Transactions of the American Fisheries Society*, 118:368-378.
- Bocchiola, D., M. C. Rulli and R. Rosso (2004), "Woody Debris Dynamics in Fire-floods Environment," *The 6th Int. Conf. on Hydrosience and Engineering (ICHE-2004)Q*, 165/1-14. Brisbane, Australia.
- Braudrick, C. A. and G. E. Grant (2000), "When do logs move in rivers?," *Water Resources Research*, 36: 571-583.
- Braudrick, C. A., G. E. Grant, Y. Ishikawa, and H. Ikeda (1997), "Dynamics of Wood Transport in Stream a Flume Experiment," *Earth Surface Processes and Landform*, 22:669-683.
- Braudrick, C.A. and G. E. Grant (2001), "Transport and Deposition of Large Woody Debris in Streams: a Flume Experiment," *Geomorphology*, 41: 263-283.
- Chen, S. C. and Y. C. Chao (2010), "Locations and Orientations of Large Woody Debris in Chichiawan Creek," *Interpraevent 2010, International Symposium in Pacific Rim*, Taipei, Taiwan, 107-113.
- Chen, X., X. Wei, R. A. Scherer, C. Luider and W. Darlington (2006), "A Watershed Scale Assessment of In-stream Large Woody Debris Patterns in the Southern Interior of British Columbia," *Forest Ecology and Management*, 229:50-62.
- Comiti, F., A. Andreoli, M. A. Lenzi and L. Mao (2006), "Spatial Density and Characteristic of Woody Debris in Five Mountain Rivers of the Dolomites (Italian Alps)," *Geomorphology*, 78: 44-63.
- Degetto, M. and M. Righetti (2004), "Dynamic of Wood Transport in Torrents," *Internationales*

- Symposium Interpravent 2004 – RIVER/TRIENT, VII: 73-81.
- Fetherston, K. L., R. J. Naiman and R. E. Bilby (1995), "Large Woody Debris, Physical Process and Riparian Forest Development in Mountain River Networks of the Pacific Northwest. *Geomorphology*, 13: 133-144.
- Gippel, C. J. (1995), "Environment Hydraulics of Large Woody Debris in Stream and River," *Journal of Environmental Engineering*, 388-395.
- Haga, H., T. Kumagai, K. Otsuki and S. Ogawa (2002), "Transport and Retention of Coarse Woody Debris in Mountain Streams: an in Situ Field Experiment of Log Transport and a Field Survey of Coarse Woody Debris Distribution," *Water Resources Research*, 38(8): 1029-1044.
- Harmon, M. E., J. F. Franklin, F. J. Swanson, P. Sollins, S. V. Gregory, J. D. Lattin, N. H. Anderson, S. P. Cline, N. G. Auman, J. R. Sedell, G. W. Lienkaemper, K. C. Romack, and K. W. Cummins (1986), "Ecology of Coarse Woody Debris in Temperate Ecosystems," *Advances in Ecological Research*, 15:133-302.
- Jackson, C. R. and C. A. Sturm (2002), "Woody Debris and Channel Morphology in First and Second Order Forested Channels in Washington's Coast Ranges," *Water Resources Research*, 38(9): 16-1~16-14.
- Keller, E. A. and F. J. Swanson (1979), "Effect of Large Organic Material on Channel Form and Fluvial Processes," *Earth Surface Processes*, 4: 361-380.
- Lin, J.Y., E. H. Tsao, T. C. Lee and S. L. Yu (2004), "Stream Physical Parameters and Habitat Requirement: The Case of the Formosan Salmon," *Ecological Engineering*, 22: 305 - 309.
- Manga, M. and J. W. Kirchner (2000), "Stress Partitioning in Streams by Large Woody Debris," *Water resources research*, 36(8): 2373-2379.
- Montgomery, D. R., J. M. Buffington, R. D. Smith, K. M. Schmidt and G. Pess. (1995), "Pool Spacing in Forest Channels," *Water Resource Research*, 31: 1097-1105.
- Nakamura, F. and F. J. Swanson (1993), "Effects of Coarse Woody Debris on Morphology and Sediment Storage of a Mountain Stream System in Western Oregon," *Earth Surface Processes and Landforms*, 18: 43-61.
- Nakamura, F. and F. J. Swanson (1994), "Distribution of Coarse Woody Debris in a Mountain Stream, Western Cascades Range, Oregon," *Canadian Journal of Forest Research*, 24: 2395-2403.
- Wallerstein, N.P., C. R. Thorne and M. W. Doyle (1997), "Spatial Distribution and Impact of Large Woody Debris in Northern Mississippi," In: Wang, S. S. Y., Langendoen, E. J., Shields Jr., F.D. (Eds.), *Management of Landscapes Disturbed by Channel Incision*. University of Mississippi, Oxford, MS, pp. 145-150.
- Wyżga, B. and J. Zawiejska (2005), "Wood storage in a wide mountain river: case study of the Czarny Dunajec, Polish Carpathians," *Earth surface processes and landforms*, 30: 1475-1494.

2010年7月19日 收稿

2010年10月4日 修正

2010年11月25日 接受

(本文開放討論至2011年9月30日)