

從粗木質殘體 (CWD) 的腐朽速率談檜木林天然更新的影響及檜木林的保育策略

文：賴明洲、薛怡珍 / 東海大學景觀學研究所教授、台灣大學森林學研究所博士生

本文簡略探討粗木質殘體 (Coarse Woody Debris, 簡稱CWD) 的腐朽速率對檜木林天然更新的影響及檜木林的保育策略。CWD是森林生態系或溪流生態系中殘存的枯立木 (snag)、倒木 (fallen wood)、枝椏 (branch and twig) 及根系 (root) 等死木質物之總稱，倒木往往是CWD中最主要的組成成分 (Harmon et al., 1986)，在森林生態系結構和功能方面，扮演著極為重要的作用。它們一般可在系統內存在幾十年至數個世紀，因此粗木質殘體的生態影響與活樹相比並不遜色。在森林生態系統內，它們具有減少水土流失，影響土壤發育，貯存營養和水分，供給物流和能流，提供動植物生境等功能，而且CWD也是生態系統中被人忽視的重要碳庫。一般而言，為便於實際調查研究，學者將CWD最小直徑定為2.5cm或10.0cm (陳華、徐振邦, 1991)。儘管Graham於1925年曾指出倒木是森林生態系中一個生態單位，但一直到Harmon et al.於1986年在《Advances in Ecological Research》發表《The Ecology of Coarse Woody Debris in Temperate Ecosystem》一文，才奠定了CWD相關研究的理論基礎。

CWD自形成便開始不斷地分解腐爛，釋

放及歸還養分，因此，劃分倒木腐爛程度是進行倒木養分研究的基礎。Fogel et al. (1972) 依據倒木外表特徵提出五級的倒木腐爛階段，隨後MacMillan (1981)、Maser et al. (1984)、Lienkamper (1987) 及Rikhari (1998) 等更補足了CWD的研究。CWD的存在提供了許多陸生、水生生物的棲息地，而許多微生物、菌類、昆蟲、無脊椎動物等從CWD更容易從中獲得能量及養分，同時許多維管束植物的幼苗及根部多建立在CWD上生長。對許多以樹洞築巢的鳥類，枯立木的存在是這些鳥類族群很重要的一個棲息地。

台灣的檜木林係由柏木科 (Cupressaceae) 扁柏屬 (Chamaecyparis) 的紅檜與扁柏所組成之森林，分佈海拔1,400 m ~ 2,600 m之間 (柳楨, 1975)。檜木的結實有明顯豐歉之差異 (陳清梅, 1985; 彭令豐, 1988)，種子落下時期，依地區、海拔高、年度而有所差異，但其最盛期出現在秋末至冬季之間 (陳清梅, 1985)。一般而言，檜木的種子飛散距離與地形、風等狀態息息相關。陳清梅 (1985) 提出檜木種子有效飛散距離約同於母樹之高度，超過此一距離則種子飛散量相對減少。由此可知，檜木林的天然更新，與母樹種子飛散有效涵蓋範圍息息相關。一般檜

木林之幼樹多出現於樹冠破裂處或火災、山崩、路旁等土壤裸露區域（柳楮，1975），松浦作治郎（1942）亦提出檜木良好更新條件為林下草燒失地，露出地、根張處、倒木幹、木片及苔蘚著生之樹皮上，同時並認為最佳之更新處理方式為整理露出地。由此可知，適當的天然檜木苗床取決於適當的光度與土壤裸露。洪良斌（1975）、羅卓振南等（1989）對於天然檜木林更新研究中亦指出，經過整地處理使土壤裸露之區域檜木幼苗數量較其它未經處理或粗放處理之區域為多，且幼苗分佈亦較均勻，而雜草的入侵是妨礙林下更新之重大因子。然在光度方面，台灣檜木林其成木的耐陰性居於陽性松類與陰性冷杉之中間習性（郭寶章，1995）。林下相對光度與幼苗之生長成正比，亦即強度擇伐區之光度較強，幼苗生長較佳，反之則生長較差（羅卓振南等，1989）。

紅檜更新主要受限於種子飛散距離，適於土壤裸露處發芽以及幼苗發育相對光度50

~80% 等因子，當林內發生風倒木或小崩塌產生孔隙地，則可符合上述因子進行天然更新，然而這樣小區域的更新方式恐怕尚不足以維繫整個紅檜林之延續。倘若紅檜林長期（千年以上或更久）處於安定無干擾狀態下，則可能因林齡老化且更新不繼而為闊葉樹所取代。因此紅檜演替上的特性在於以長壽的特徵等待適當崩塌地出現，進行下一代紅檜林的延續。若此一觀念屬實，則紅檜林的分佈將動態變化於原生地四周，而原本紅檜母樹林終將因林內無法自行更新而為闊葉樹取代。陳玉峰、楊國禎（1999）也認為紅檜林下無法天然更新，需崩塌地、火災更新或倒木行二代木更新。

因此觀測檜木林地內的CWD之邊、心材腐朽速率，是否造成養分循環系統障礙，天然更新苗木的發育是否因之受阻，檜木幼苗在倒木邊材腐爛後根系是否能繼續深入因富含精油而不腐的心材內定根生長等等是相當重要的，一般粗木質殘體（倒木、枯立木）

表1 - CWD五級分類系統

評估指標	第一級 腐爛階段	第二級 腐爛階段	第三級 腐爛階段	第四級 腐爛階段	第五級 腐爛階段
樹皮覆蓋率 (%)	> 95	79~95	25~75	5~25	< 5
樹皮上的苔蘚	存在	存在或無	無	無	無
邊材	完整	部份變軟	腐爛但存在	完全腐爛	無
心材	完整	完整	完整	結構不完整	無
樹皮	完整	完整	脫落	脫落	無
> 3cm 的小枝條	存在	無	無	無	無
大枝條	> 1m	< 1m	< 0.5m	殘存	無

(引自Rikhari & Singh, 1998)

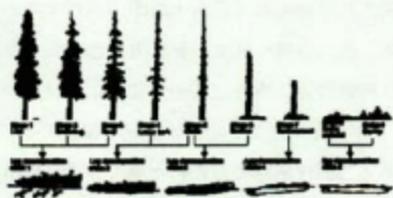


圖1・枯立倒木腐爛階段（引自Maser et al., 1979）



圖2・第一級腐爛階段

高出地面，受光量較大，有利於樹種的種子
降落萌發。其腐爛階段一般可劃分成五級
(Maser et al., 1978)，茲說明如下（如表1、
圖1）：

第一級腐爛階段：新產生的倒木，木材
新鮮，樹皮完整，樹幹完好（如圖2）。



圖3・第二級腐爛階段



圖4・第三級腐爛階段



圖5、第二級腐爛階段

第二級腐爛階段：樹皮完整，材色改變，但木材機械性能及使用價值未受影響（如圖3）。

第三級腐爛階段：樹皮部分脫落，邊材開始腐爛（如圖4、圖6）。

第四級腐爛階段：樹皮大部分脫落，材質鬆軟，苔蘚覆蓋度達80%以上，植物根系穿透木質部（如圖5、7）。

第五級腐爛階段：木材粉碎失去原有形態，被雜木種類所覆蓋（如圖8、圖9、圖10）。

舉例來說，檜木木材極耐腐爛，第三級倒木向第四級過渡需要時間極長（數百甚至上千年）。不同腐爛級別的倒木或枯立木，可



圖6、冷杉樹木（第三級腐爛階段）



圖7·冷杉倒木（第四級腐爛階段）



圖8·第五級腐爛階段



圖9·冷杉倒木（第四級腐爛階段→第五級腐爛階段）



圖10·冷杉倒木（第五級腐爛階段）

由單位面積上幼苗數或覆蓋度判定，易腐爛的樹種，進入第四級後則由於孔隙過多，濕度大，易分解，養分豐富而含氮量高，故天然更新幼苗生長迅速。倒木的分解一般是呼吸、淋溶和自然粉碎綜合作用的結果，倒木的分解速率常數也就是呼吸、淋溶作用引起的分解（礦化）速率和自然粉碎作用常數之和。從表2也可看出不同樹種的分解速率及分解時間，一般來說針葉樹的倒木分解速率要比闊葉樹種的倒木分解速率來得慢，且慢得很多（如表1）。

再者，溫度、水分、材質和倒木胸徑大小等因子都會影響倒木的分解速率。花旗松及檜木類的木材中因為含有難於分解的多酚類（林肇威，1979；許志明，1973），故比其它樹種的倒木分解緩慢。而檜木類的倒木直徑普遍比其它者為粗，故亦是倒木分解緩慢的原因之一。王松永等（1980）利用室內接種腐朽菌以研究十八種台灣產木材之耐腐性，其結果顯示白腐菌以紅檜、扁柏、台灣杉、相思樹、柚木等樹種耐腐性較強；褐腐

菌則以紅檜、台灣二葉松、台灣杉、苦扁桃葉石櫟等耐腐性較強。扁柏、相思樹、柚木、樺木等樹種耐腐性最強，心材較邊材耐腐性強。

檜木倒木心材木質部因長年不朽，其二
表2. 倒木分解模型

樹種 Species	分解模型 Decaying model	分解速率 k Decay rates	50% 乾重分解掉的時間 Year of 50% dry weight loss
紫 檜 <i>Tilia amurensis</i>	$Y=0.45e^{-0.0275t}$	0.0275	25
紅 松 <i>Pinus koraiensis</i>	$Y=0.37e^{-0.0162t}$	0.0162	43
異葉鐵杉 <i>Tsuga heterophylla</i>	$Y=0.35e^{-4t}$	0.0156-0.0192	44-38
花旗松 <i>Pseudotsuga menziesii</i>	$Y=0.39e^{-4t}$	0.005-0.010	140-70
檜 木 <i>Chamaecyparis</i>	—	—	估計的數百上千年

(修改自陳華等, 1992)

分之一乾重分解掉的時間估計約數百上千年，木材硬如石，影響檜木的天然更新甚鉅（如圖11），同時由於檜木幼苗主根無法深入倒木木質部（如圖12），下種於岩石表面的檜木幼苗枯死狀，有如下種於不腐朽的倒木一般（如圖13）；且倒木上的檜木幼苗將因長年不朽的心材而無法繼續獲得養分而枯死，下種於檜木根部的幼苗因無法繼續獲得養分而枯死（如圖14、圖15）。依據上述，我們再回過頭來看檜木林的保育策略認識問題。

「檜木」這個台灣森林組成中重要的一份子，因其木材不易腐朽與氣味芳香的特性，一直廣為人類所偏好與利用，尤其台灣

因其氣候與地形特性，所產生的檜木品質皆較世界其它各地優良，且數量亦多。因此檜木對國人而言已因長期廣泛的生活利用與相伴，而漸漸對其產生一股依賴的情懷。以台灣為例，因為歷史的因素，致使成熟的檜木

林在早期遭受大量的砍伐，因此現今檜木林的保育與永續經營課題，更是重要而應予以重視。如何才能使這一具有特殊意義的資源永存，作者提出以下幾點策略以供參考（賴明洲等，2001）。

一、對檜木林進行「永續經營的保育」而非「單純的保護」

依據Dasmann（1984）定義：「保育（conservation）」乃為對某事物之一種小心保存（preservation）與保護（protection），尤其是對自然資源有計畫的經營，以防止濫用、破壞或忽視。由此可知，對一環境資源的保

育，應是脫離不出生物多樣性之永續且確保供給人與長久福祉之自然基礎。換句話說，保育即對自然資源加以有計畫性的妥善保護、適當培育及明智之利用，以使其可以永續不斷，生生不息的留存且為人類所利用。

而因森林是一種動態生態系，其演替不是優生性變化即為劣生性變化，故造成某種基因資源消失並非不可能，再加上檜木林型之立地條件與天然更新之生態特性，若對檜木林只加以消極的單純保護，讓它隨著自然時間演替，相較於濫砍的殘忍，這是一種忽視的無情，而封存後的檜木林是否會滅絕？亦無人能知，恐龍的滅絕即是一種自然因素的結果，而這對檜木林懷抱有深厚依賴的我們，情何以堪去面對這樣的可能性。因此以生態性永續經營的方式來保育及善用檜木木材資源才是明智的。

二、以「生態系的經營」為準則

「生態系的經營」是一種時代趨勢，這種長遠的理想與目標應用在森林中乃是強調生物的多樣性、森林的更新與林地的生產力，故須在生態、社會及經濟三大主軸均衡下進行，因此在基因多樣性及永續經營之前提下，採取「適應性經營方式」和尊重當地居民之「共識性的經營計畫」是有其必要的。

三、劃定「檜木林自然永續經營區」

依據洪富文等（1999）文中提到台灣目前檜木林生機旺盛，族群大，且適生區域仍然相當普遍，並非有瀕臨絕種的趨勢，因此在符合生態原則下，適度的供給檜木木材或枯立倒木應是被允許的。然而因人們對檜木依賴情感的過深，所產生恐其滅絕的不安全感，使得不斷有如何保存檜木林的相左意見與不同聲音的出現。因此本文建議以蒐集科學證據，建立公正性之精神，將台灣部分檜木林劃定為「檜木林自然永續經營區」，並在其中規劃出「封存保護區」（完全封存，不予任何人為操作）、「保育經營區」（依循自然法則，進行人為輕度之干擾與幫助）及「經營管理區」（如同森林遊樂區之人為經營方式，開放民眾親近）等三種完全不同之保存經營方式，並以經濟學角度來分析其「效益與風險」、「效益與成本」及「成本有效性」等結果，以做為經營檜木林之對照及評估準則。

四、永續經營的保育作業

檜木之枯立倒木的產生與其生態之淺根、木材不易腐朽之特性及颱風、雷電等自然危害因素，形成一種循環、息息相關的現象，因此造成天然檜木林之易損傷、苗木生長於倒木上的不穩定性（有文指出因有枯立倒木的橫陳林地，可使檜木形成踩高跳形具較生長在淺薄土層穩定之板根，但由於生長在坡度陡峭的環境，其土壤層通常淺薄，使

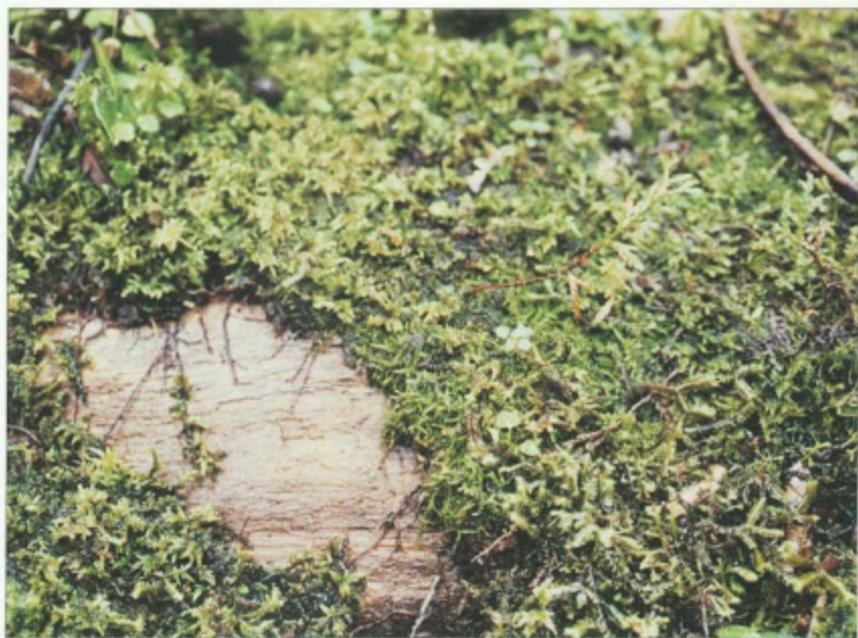


圖1・檜木倒木心材木質部長年不朽，其硬如石，影響檜木的天然更新甚巨

得檜木淺根容易風倒而造成孔隙更新，此乃長期演化結果，此現象並非意味紅檜喜好淺薄土壤，其可能是長期演化適應之結果。故換個角度想，檜木在枯立倒木上形成蹠高蹠形板根，乃是不得不的自然演化結果，且若生長在枯立倒木上之檜木較生長在土層裡穩定性高，為何在檜木林中有許多二代木、三代木甚四代木的出現？此乃因林地無空隙供檜木天然更新下種，故檜木種子不得不於枯倒木上發芽生長形成二代木，但也因二代木的不穩健，枯倒後又產生三代木，如此週而復始可能終將使得檜木林相欠缺成熟穩健而

遭入侵破壞，此種自然演替風險比予以人工輕度干擾更令人擔憂。）與天然更新的困難，在在皆使林業從業人員憂心其永續之風險，故在種種林業專業之研究報告中指出移除小部份枯立倒木之整理作業而不破壞檜木林的前提下，以篩法自然之方式如移除枯立倒木整理出林地空隙以利檜木林母樹天然下種更新、小面積塊狀或帶狀擇伐、由技術熟練之人員進行避免伐倒損傷生立木之作業、採取架空索道或直昇機（尤為環境敏感區）或氣球集材等方式之保育作業來永續經營檜木林殆為可行之道。

圖2 - 檜木幼苗主根無法深入倒木木質部，側根發達



圖3 - 下種於岩石表面的檜木幼苗枯死狀，有如下種於不穩穩的倒木一般





圖14・樹木上的檜木幼苗因長年不均的心材而無法繼續獲得養分而枯死

再者人類對檜木之利用已產生一種依賴性的情感，因此在為永續檜木林的存在以移除其枯立倒木之目的下，將其加以利用，乃是對其最卑微的求取方式，一點也不為過，且亦符合人類為生態系的一份子，在不阻斷生物元素循環的原則下，與生態系中的其它生物形成互利結合，因此在檜木的天然林中進行它的自然遊戲規則，加入人為善意的操作，以確保其永續的存在而同時能供給利用殆有其必要。

五、嚴格地監測經營及執行的成效以建立全民保育之共識

保育檜木林，切不可因噎廢食，如同不



圖15・下類於檜木根部的幼苗因無法繼續獲得養分而枯死

可因刀子會傷人，即將刀子的功用一律抹殺，我們要監測的是使刀的人，規範的是用刀的法則；故深奧的學術理論、超高的理想與長遠的目標，皆遠不如真正落實與嚴格監測執行來得令人信服。因此保育經營檜木林，除了是將生態過程的嚴格監測與適應性的經營納入，使其經營作業更加謹慎與完整外，得到全民的信賴與重視並建立保育共識，以共同承擔協助此一永續經營之長久責任，亦是當務之急。

引用文獻（請選洽作者）