



森林，木材利用 與 地球暖化防止

之 推廣手冊

台灣大學森林環境暨資源學系

名譽教授 **王松永** 博士



森林，木材利用 與 地球暖化防止

之 推廣手冊

森林，木材利用 與 地球暖化防止

目次

一、 地球暖化與碳循環	2
(一) 地球暖化現象	
(二) 碳循環 (流動)	
(三) 台灣溫室氣體排放在全球中的地位	
二、 防止地球暖化之森林的機能	4
(一) 林木之成長	
(二) 天然林對 CO ₂ 之吸收機能	
(三) 人工林對 CO ₂ 之吸收機能	
三、 我國 (台灣) 森林資源與木材利用之現況	12
(一) 台灣木材及紙漿之消費量	
(二) 世界木材消費之趨勢	
(三) 森林資源之現況	
(四) 木材資源之永續性生產情形	
四、 發揮防止地球暖化之木材利用的意義	26
(一) 木材利用之節能、減碳效果	
(二) 木材利用之碳貯藏 (固定) 效果	
(三) 木材利用之石化燃料替代效果	
(四) 木構造建築在減碳、固碳之效果	
五、 結語	34

一、地球暖化與碳循環

（一）地球暖化現象

地球暖化之主因，是「溫室效應」，其係陽光照射到地面，短波長之紫外線($<380\text{nm}$) 會被吸收，但長波長之紅外線($>380\text{nm}$)，因大氣層二氧化碳濃度太高而無法反射回到宇宙，致籠罩在大氣層，並轉換成熱能，導致地面與大氣層下層部分之溫度上升現象。而造成溫室效應最主要原因為人類燃燒石化燃料與煤炭及森林被破壞。如圖 1 所示。

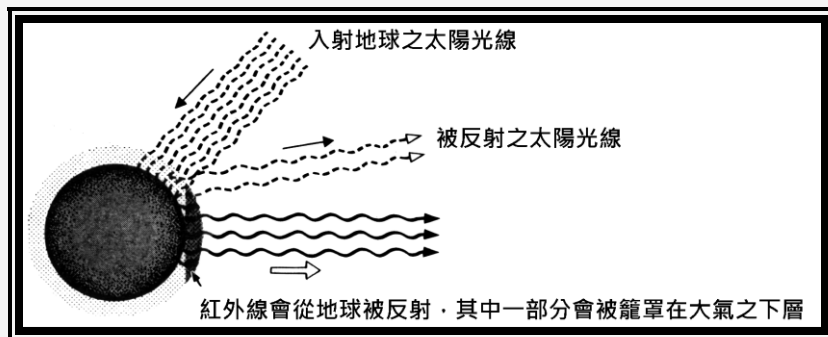


圖 1. 發生溫室效應之現象

（二）碳循環（流動）

依 IPCC (2000) 之資料，如圖 2 所示，世界之森林以生質量 (Biomass) 蓄積有 5,000 億公噸碳，而以森林土壤則蓄積有 2 兆公噸碳量。引起地球暖化之大氣中的碳量有 7,600 億公噸，森林之碳量比其高許多。此外，石化燃料及水泥生產所排放之碳量約 63 億公噸，而相對的陸域生質量 (Biomass) 所吸收碳量約 7 億公噸，海洋所吸收碳量約 23 億公噸，因此排放之碳量超出許多的狀態。

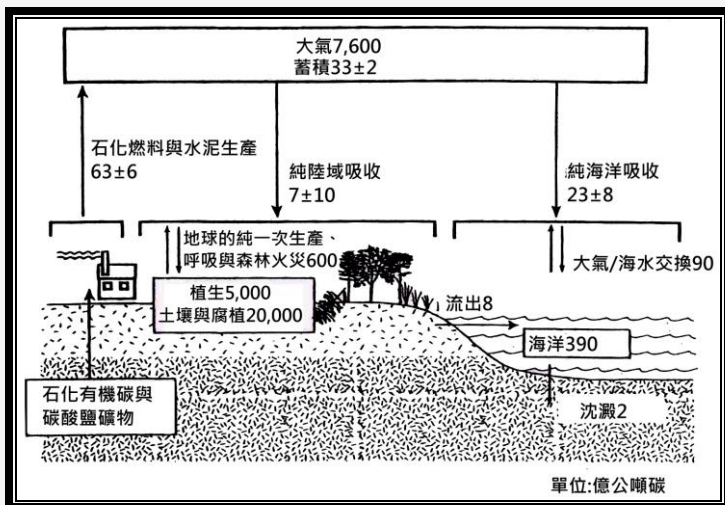


圖 2. 地球上之碳流動 (IPCC2000)

(三) 台灣溫室氣體排放在全球中的地位

台灣 1990 年二氧化碳排放量 1.3 億公噸，而後逐年增加，至 2009 年已達 2.9 億公噸二氧化碳當量 (不含森林碳匯吸收)，高居全球第 20 名，人均排放量達 12.66 公噸二氧化碳當量，高居世界第 13 名。

2010 年台灣燃料燃燒 CO_2 排放量為 270.22 百萬公噸，佔全球 0.89%，排行全球第 20 名 (台灣人口數約 2300 萬，佔全球 0.34%)，人均排放量 11.66 公噸二氧化碳當量。

台灣之溫室氣體排放以 CO_2 為最大宗，能源部門和工業部門係台灣二氧化碳的主要排放源。在 2008 年，能源部門溫室氣體排放量約佔全排放量之 88.59%，工業製程部門佔 6.09%，農業部門佔 4.03%，廢棄物部門佔 1.28%。

二、防止地球暖化之森林的機能

(一) 林木之成長

樹木係由其葉部之氣孔吸入 CO_2 ，和由根部送上來的水 (H_2O)，藉由陽光協助，在葉部（葉綠素）進行光合作用，將 CO_2 與 H_2O 轉變成葡萄糖，進而合成高分子碳水化合物，如纖維素、半纖維素及木質素等，同時會呼出氧氣。此過程會在樹幹蓄積有機質碳水化合物，使得樹木會肥大，且樹高會增高，而成長。（如圖 3 所示）

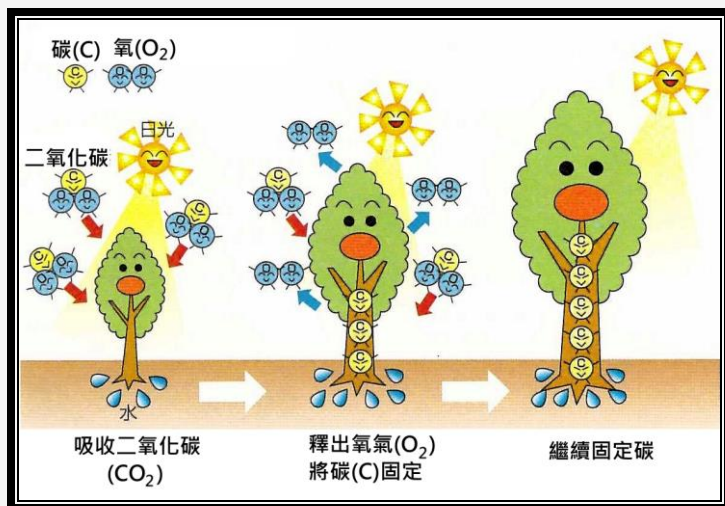


圖 3. 樹木之成長 (宮崎縣環境森林部山村、木材振興課)

為生產 1 公噸的木材，須自大氣中吸收 1.6 公噸的 CO_2 ，並且會向其周圍釋放出 1.2 公噸的 O_2 ，以 1 棵柳杉胸高直徑 50 公分，樹高 15 公尺，樹幹體積約 1 立方公尺，其絕乾密度為 350 公斤/立方公尺時，則此柳杉會固定 175 公斤 - - 碳（相當於 640 公斤 - - CO_2 ）在樹體內，每年有 5 毫米年輪形成時，則每年會將 37 公斤 - - CO_2 固定在樹體內。

就木材構成元素分析時，其主要構成元素為碳元素（C）50%，氧元素（O₂）43%，氫元素（H₂）6%，其他微量元素1%。

（二）天然林對 CO₂ 之吸收機能

天然林是以老林木為多，並非是以會旺盛吸收 CO₂ 之壯齡林木的集合體，另外又有大量枯死，倒木，所以吸收大氣中所增加之 CO₂ 的能力會減低。雖然如此，但在長年累月之中，在其大木，或土壤中仍會固定許多的碳。（如照片 1 所示）



照片 1. 天然林 - - 棲蘭山區老熟檜木林中枯立木

以日本為例，天然林若未施以經營管理措施者，IPCC 京都議定書是不承認有碳吸存效果，但若施以經營管理措施者，則每年每公頃可承認會吸存 0.90 公噸碳（相當 3.3 公噸 CO₂）。日本天然林面積有 1,350 萬公頃，只有 590 萬公頃經過經營管理措施者，會被認同吸存 531 萬公噸碳（1515.7 萬公噸 CO₂）。另外 760 萬公頃是不被認同有吸存碳效果。

(三) 人工林對 CO₂之吸收機能

森林是樹木的集合體，因樹木係有生命的，其亦會年老、病死，所以森林如不進行經營管理，在林內將充滿朽木、枯木、倒木，不但容易引起森林火災，亦會在豪大雨時形成大量漂流木，對水庫、河流造成二次公害。

以生產木材資源為目的之人工林，大部分為生長旺盛之壯齡樹木之集合體，作為大氣中 CO₂之吸收源的機能會較高。

森林在壯齡林生長旺盛，老齡林生長會衰退，其總生長量（樹木藉光合作用所生產有機物之總量），純生長量（總生長量減去樹木為維持生命進行呼吸作用所消費後所得之量），現存量（純生長量減去樹木之枯死，昆蟲、白蟻、菌類之分解，動物之攝食後所得之值），均會隨林齡增長而增加，但在約 10 - 30 年左右會達最大值後，總生長量與純生長量會維持一定，但現存量則會隨林齡增長而減低。此意味著所生長物質並非全部會被蓄積下來，其中一部分會由於枯死或動物攝食、昆蟲、白蟻、菌類分解而被消費掉。（如圖 4 所示）

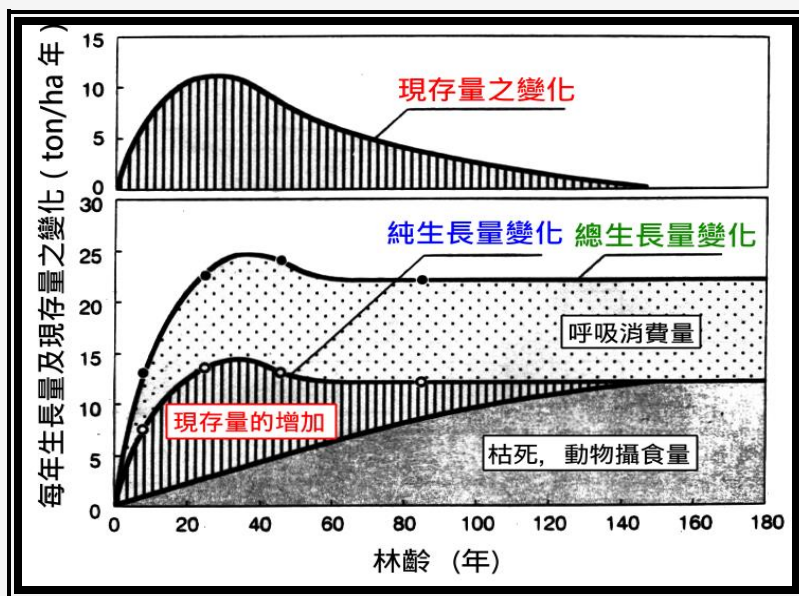


圖 4. 森林之物質生長量與林齡之變化

因此人工林須當達最大生長量過後，於適當時期，在適當地點，作計畫性的進行收穫（伐採）、再造林，即一般所稱的永續經營，從植林、育林、收穫、製造（加工）、利用、解體廢棄、再造林整個流程需永續進行。（如圖 5 所示）。

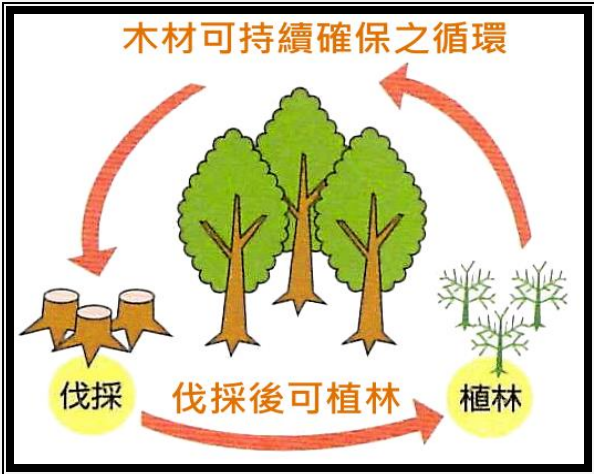


圖 5. 伐採、植林之循環
(宮崎縣環境森林部山村、木材振興課)

最近依日本之資料，森林在一年期間，每公頃之碳（CO₂）貯藏量如表 1 所示。

表 1. 日本森林每年每公頃林地之碳（CO₂）之貯藏量

單位：(t·c/ha·yr)

樹種	約 20 年生林木	約 40 年生林木	約 60 年生林木	約 80 年生木
柳杉林	3.3 (12.1)	2.3 (8.4)	1.1 (4.0)	0.8 (2.9)
扁柏林	3.1 (11.3)	2.0 (7.3)	1.1 (4.0)	0.3 (1.1)
天然生闊葉林	1.4 (5.1)	1.0 (3.6)	0.3 (1.1)	0.1 (0.4)

註：() 內之數值是將碳換算成 CO₂ 之數值。

由表 1 可看出，森林之碳蓄存量係在 20 年生林木會達最大值後，隨樹齡之增加，反而會逐漸的減低是為事實。

當就汽車耗費汽油所排放 CO_2 ，擬藉由森林進行吸收移除時，可如次考慮之：

一部汽車跑 10 公里會消耗 1 公升汽油，而 1 公升汽油會排放 2.3 公斤 CO_2 ，當一部汽車每一年跑 10,000 公里計算時，其會消耗，1,000 公升汽油，則會排放 2,300 公斤 CO_2 ($2.3 \times 1,000$)。由表 1 可看出，20 年生柳杉林木每年每公頃會吸收 12,100 公斤 CO_2 ，因此要吸收 2,300 公斤 CO_2 則需要林地面積 0.19 公頃 ($2,300/12,100$)。同理，40 年生柳杉林木則需要林地面積 0.27 公頃 ($2,300/8,400$)，60 年生柳杉林木則需要林地面積 0.58 公頃 ($2,300/4,000$)，80 年生柳杉林木則需要林地面積 0.79 公頃 ($2,300/2,900$) (如圖 6、7 所示)

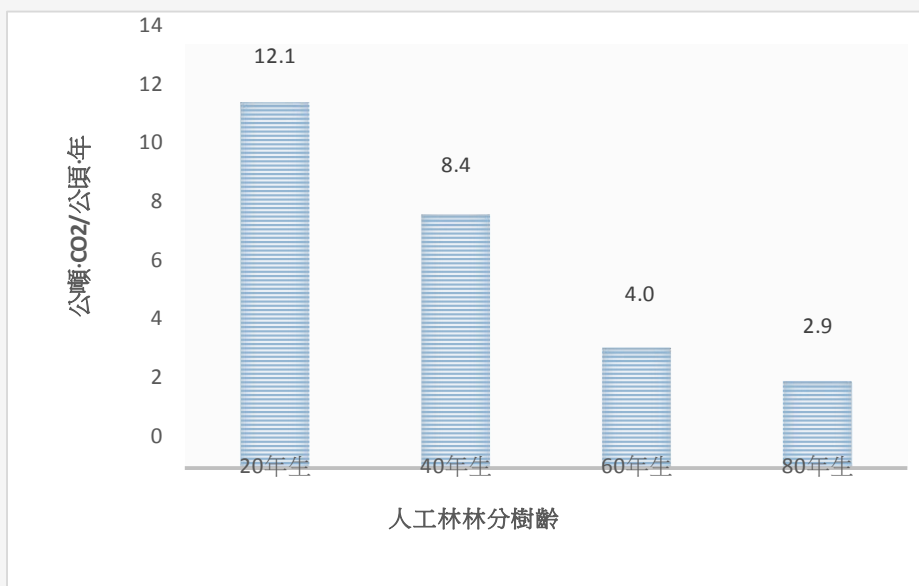


圖 6. 不同林齡人工林木每年每公頃吸收 CO_2 量

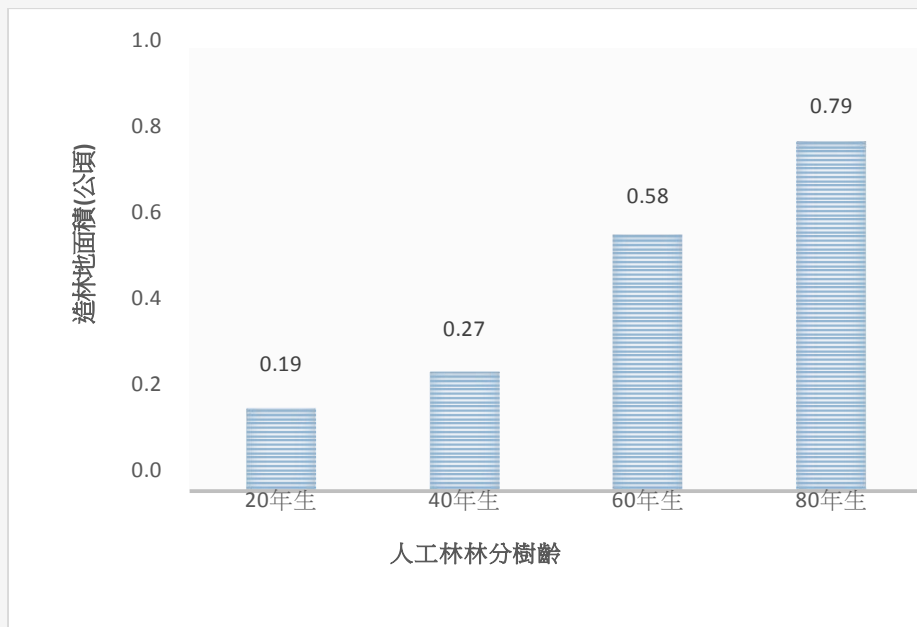


圖 7. 不同林齡人工林吸收 2300 公斤 CO₂所需林地面積

由上述可明白，吸收等量之 CO₂，壯齡之造林木會比起老齡之造林木，只要較小林地面積就可達成。

石油、煤炭、鐵礦石等之埋藏資源開採利用時，將有用竭之一天。但木質資源(木材、竹材)是可再生，對人類或環境是友善之循環型的自然素材，即使伐採利用，其後如進行新苗木之栽植，則在 30~50 年後，其仍會生長可當作材料或能源之資源。如圖 8 所示。所使用之木材量只要不超過樹木生長之量，木材即可視為永續性資源而被利用。

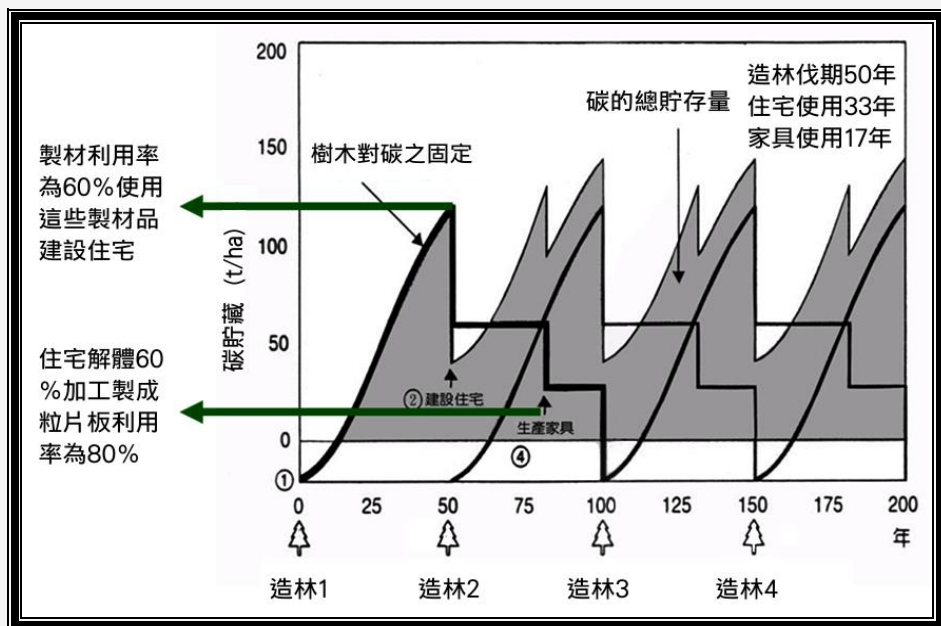


圖 8. 木材利用時碳素儲藏之永續性

(日本關東地區，二等級地位林地 1 公頃柳杉造林地)

圖 8 表示 1 公頃柳杉造林地之林木生長過程，及其林木伐採製造木材產品的利用過程，其碳累積量的經年變化模式圖。即第一世代造林經 50 年後伐採利用，在伐採跡地再進行第二世代的造林。所伐採林木之製材率為 60%，使用這些製材品建設房屋（住宅），經 33 年後，住宅解體，解體材 60% 被製造成粒片板等板材，粒片板利用率 80% 再製造成家具，家具使用 17 年後再解體，解體材如不能再製造成木質材料時，可供作生質能源使用。因在第一世代木材製品被利用的 50 年期間，第二世代造林木亦可生長 50 年，接著再進行伐採利用其木材，伐採跡地可再進行第三世代造林。如此植林、育林、伐採、製造、利用、解體廢棄、再植林整個流程乃是永續林業的經營系統。

第一世代造林木製材率 60%，木材含碳率 50%，因此在第一世代造林木生長 50 年期間所吸存碳量之 30% ($60\% \times 50\%$)，會被固定在其所建造房屋（住宅）之製材品中，維持至住宅的生命週期（33 年）解體後，解體材因 60% 可製造成木質板材，故其仍含有 18% 碳量 ($30\% \times 60\%$) 在所製造的家具中，繼續使用 17 年，而當這些製材品使用的 50 年期間正好相當於第二次世代造林木之生長期間，其又會自大氣中吸收相當量之 CO_2 ，而累積相當之碳量在造林木中，如此才能發揮真正的減碳（碳隔離）效果。

第一世代造林木製材後（製材率 60%）之 40% 邊板材及下腳材，可供製造粒片板或紙漿用途外，亦可供作生質能源之用。又木構造建築（住宅）解體材之 60% 供製造木質板材外，40% 之下腳材及廢材亦可供生質能源之用。因其係碳中性，可替代部分之石化燃料能源，並不會增加大氣之二氧化碳濃度。

以日本為例，人工林若施以經營管理措施者，可被認同有碳吸存效果，每年每公頃可吸存 1.77 公噸碳（6.5 公噸 CO_2 ），日本有 1,160 萬公頃人工林，因此可被認同吸存 2,053.2 萬公噸碳，（7,540 萬公噸 CO_2 ）。如圖 9 所示。

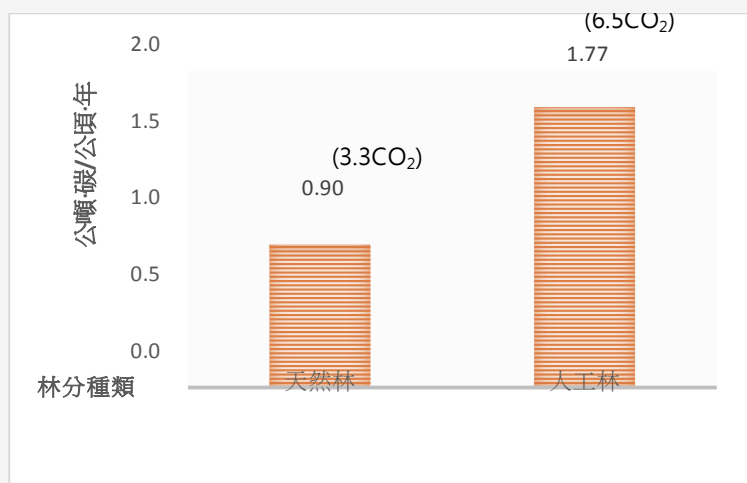


圖 9. 日本天然林及人工林每年每公頃碳吸存量

三、我國（台灣）森林資源與木材利用之現況

（一）台灣木材及紙漿之消費量

台灣在 2002~2011 年期間，木材與木質材料平均每年進口量（年），並依由原木製造時，各木質材料之加工利用率換算成原木材積（立方公尺/年）量，及進口來源百分率均示於表 2。

表 2. 台灣木材及木質材料之進口量及材積量

木材及木質材料	平均每年進口量 (立方公尺/年)	換算成原木材積 (立方公尺/年)	來自熱帶雨林分佔 (%)	來自永續經營林分佔 (%)
原木	848,555	848,555	76.53	10.24
製材品	1,212,798	2,425,596	45.88	42.92
單板	170,479	340,958	86.74	13.26
合板	727,958	1,455,916	98.16	1.46
木芯原料	410,074	585,820	100.0	0
木芯合板	48,424	96,848	100.0	0
粒片板	263,234	263,234	50.0	50.0
中密度纖維板 (MDF)	211,569	211,569	50.0	50.0
合計 (立方公尺)	6,228,496			

台灣國產木材，每年平均生產量只有 46.458 立方公尺，其只佔進口材之 0.74%，尚不及 1%。

國內每年每人消費木材量約 0.27 立方公尺，其大小相當於 3 公分×3 公分×4 公尺長之角材 75 支。

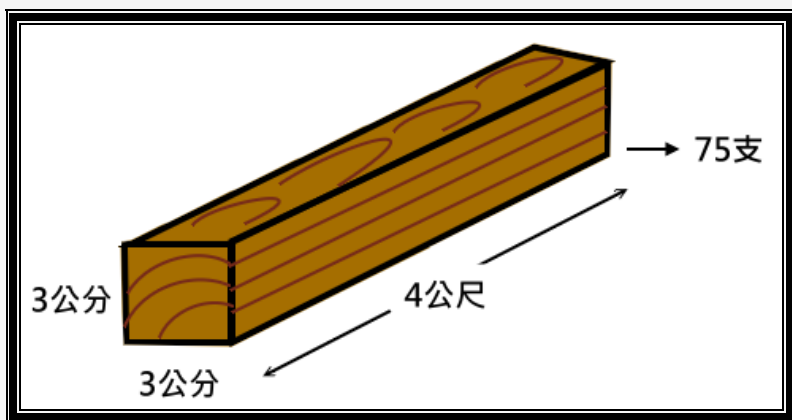


圖 10. 一般計算木材材積以才為單位，
而尺度 1 寸 × 1 寸 × 1 丈 = 1 才
1 立方公尺 $\approx$ 360 才

台灣紙及紙板消費量為 464.6 萬公噸(2007 年)，其中原生漿 125.2 萬公噸，佔 24.7%。國內直接以木片製漿者佔整體使用紙漿之 6.72%，木片約 75 - - 80 萬公噸，而製漿原料木片 98%依賴進口。廢紙紙漿約 320 萬公噸，佔紙漿原料約 73%，其中大約 75 - - 79%來自國內。

國內每年每人消費紙及紙板量約 0.202 公噸，相當於 202 公斤/人、年。

原生漿原料 98%為進口，廢紙漿原料 21 - - 25%為進口。

（二）世界木材消費之趨勢

1961 年為 19.00 億立方公尺。1991 年為 34.29 億立方公尺，2010 年為 50.69 億立方公尺，如圖 11 所示。在 1961 年~1991 年之 30 年期間，世界木材消費量增加 0.8 倍。每一人每年平均木材消費量，先進國家為 1.1~1.3 立方公尺，開發中國家為 0.4~0.5 立方公尺。

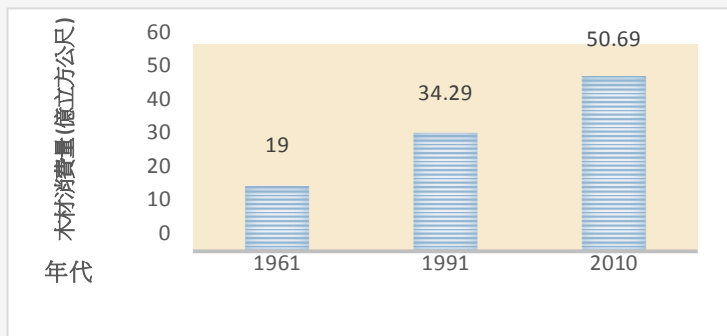


圖 11. 世界木材消費量 (1961~2010 年)

台灣每一人每年平均木材消費量約 0.27 立方公尺，加上每年每一人消費紙張及紙板 202 公斤，換算成密度 500 公斤/立方公尺之木材時，有 0.40 立方公尺，因此木材加上紙張共消費木材材積為 0.67 立方公尺，由此可看出台灣每一人每年木材消費量稍高於開發中國家，但低於先進國家甚多，如圖 12 所示。

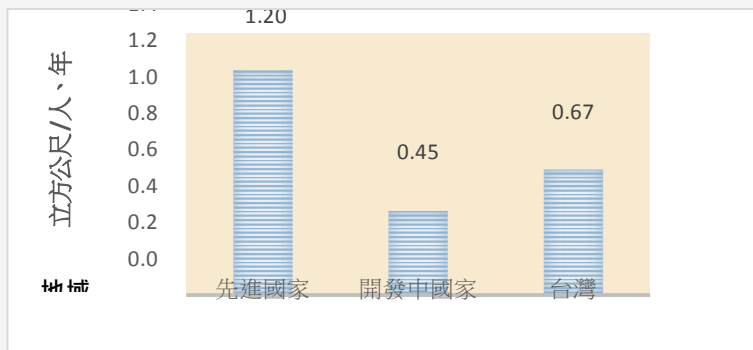


圖 12 世界各地域每年每人木材消費量

(三) 森林資源之現況

就全世界森林資源狀況來看，世界森林面積在 1,700 年代佔世界土地面積之約 50%，但現在已大幅度的降至約 30%。而 1990 - - 2005 年趨勢，4,077 億公頃 (1990 年)，4,088 億公頃 (2000 年)，3,952 億公頃 (2005 年)，全球森林面積持續的減少，主因是森林轉變成農業用地之毀林現象，每年約 1,300 萬公頃森林被闢建成農業用地。此消失掉森林面積相當於台灣全島面積 359 萬公頃之 3.62 倍。

在溫帶林 (歐洲) 是增加，但因熱帶雨林 (非洲、南美洲) 之減少，使得整體是減少的。但 1990 - - 2000 年出現森林面積淨損失的亞洲，在 2000 - - 2005 年則出現森林面積的增加，主因是中國大陸大規模的植林活動所致。

全世界林木蓄積量為 4,453 億立方公尺 (1990 年)，4,390 億立方公尺 (2000 年)，4,342 億立方公尺 (2005 年)，在此 15 年期間，只減少 2.5%，在溫帶林是增加，但由於熱帶雨林被破壞所排出較多，尤其在南美洲、非洲使得整體是微減的。

台灣森林面積 2,102,400 公頃，天然林面積 1,527,500 公頃，佔 72.7%，人工林面積 455,600 公頃，佔 20%，竹林面積 152,300 公頃，佔 7.2%。

全島森林林木蓄積量為 3.58 億立方公尺，人工林林木蓄積量為 4,767 萬立方公尺。全島森林覆蓋率達 58.5%，此可列入世界前十名，此係因近年積極進行全民造林、農地造林、平地造林所致。

但國產材自給率不及 1%，在此背景下，為培育生長旺盛之森林，使能適當的發揮森林所具有之多方面機能，有必要推動「綠循環」(Green cycle) (栽植→撫育→利用→栽植) 作業，若木材不利用，亦不實施疏伐等人為作業時，「綠循環」之平衡會被破壞，森林亦會荒廢掉。這與平常之「種稻」就必須「割稻」為相同道理。將人工林進行集約經營的林業看待。

(四) 木材資源之永續性生產情形

人工林於生長至伐期以環境友善伐採方式進行收穫，伐木後 (如 [照片 2](#))，經集材 ([照片 3](#))、造材 ([照片 4](#))、裝車 ([照片 5](#))、運搬至木材加工廠 ([照片 6](#))，製材、乾燥 ([照片 7](#))，供作建築材料之樑、柱、桁木、裝修材、地板等利用，以建造木構造建築 ([照片 8](#))、製造家具 ([照片 9](#))、裝修室內 ([照片 10](#)) 等。



照片 2. 伐木 - - 利用鏈鋸進行立木伐倒作業



照片 3. 集材 - - 長幹材疏伐木之集材作業



照片 4. 造材 - - 長幹材之造材截斷作業



照片 5. 裝車 - - 原木裝車作業



照片 6. 搬運 - 林道鐵牛車運材作業



照片 7. 木材乾燥作業



照片 8. 木構造建築 (日式樑柱工法) (鈴木健康綠營造股份有限公司)



照片 9. 家具 (鈴木健康綠營造股份有限公司)



照片 10. 室內裝修 (鈴木健康綠營造股份有限公司)

而伐採跡地再進行造林，隨著時間經過，樹木又會成長。所建造之住宅 (建築物) 亦會老朽，最後亦會被解體，但再造林之樹木亦已長大成林 (第二代造林)，可供進行第二代之收穫，再利用，如此可永續性的進行，生生不息。此為具有生命之生物資源之木材才具有之特性，其與礦物資源或石化資源會有枯竭之背景，在基本上是不同的。只要合理的經營管理森林、木材資源，即能取之不盡用之不竭。此亦可說 "wood is good"，如圖 13、14 所示。

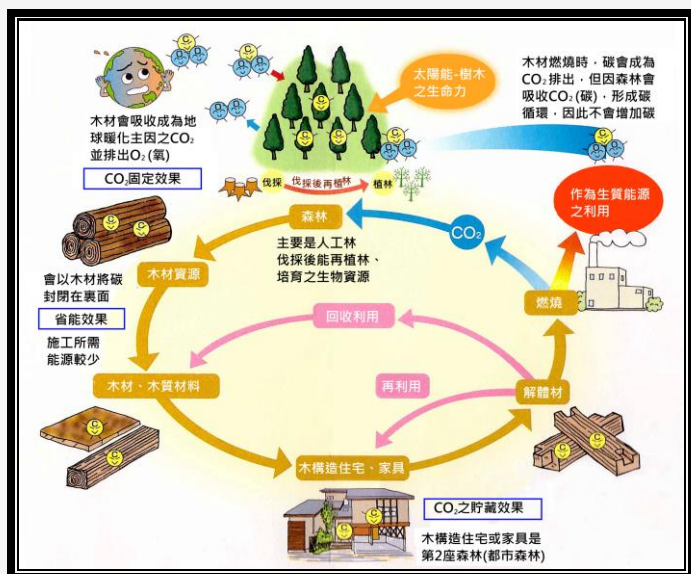


圖 13. 保護地球之森林的培育與木材利用之循環

(宮崎縣環境森林部山村、木材振興課)

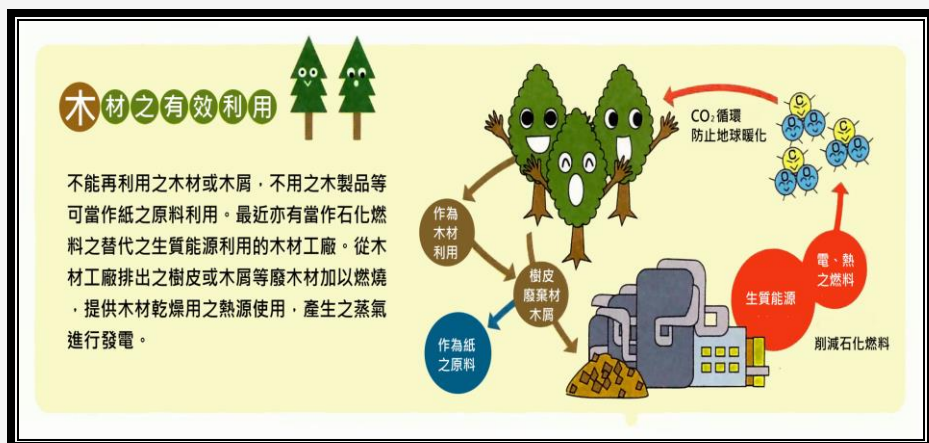


圖 14. 木材有效利用之循環

(宮崎縣環境森林部山村、木材振興課)



照片 11. 人工林 - -

日本吉野地區人工林密植未疏伐撫育前之柳杉人工林 (10,000 株/ha)

人工林於植林後，如六年內每年不進行除草，切蔓等撫育作業，林木很快會被野草覆蓋，蔓藤纏繞而死亡。但既使成林，如於樹冠鬱閉前不進行除伐、疏伐等撫育作業，使林木相互間隔疏開，陽光將無法入射進入林地，地表植生將無法生長 (如照片 11、12)，下雨時，雨水無法滲入土壤中，形成逕流，將破壞地表之生態平衡。且林分內優勢木樹幹雖高，胸徑偏小，而被壓木則會枯死，或幹形彎曲不良，收穫時砍伐所得原木，其幹形不佳，直徑小，在樹幹基部常有空洞 (照片 13)，幾乎不能當作材利用，即一般稱之「不成材」。另外，在 IPCC 京都議定書對於 1990 年前造林之林地，若未經人為撫育疏伐作業，係不認同有碳吸存效果者。國內多數的林地均屬於此種情況，若於節能、減碳、碳吸存欲得到國際間之認同時，近年應積極的推動人工林之撫育疏伐，一方面可增加木材自給率，另一方面可厚植森林資源，並獲得 IPCC 京都議定書之碳吸存的認同，日本近年來即是積極的在增加其國產木材自給率，並獲得京都議定書減碳的認同。



照片 12. 人工林 - -

竹東事業區未疏伐前柳杉人工林林相



照片 13.

柳杉人工林未疏伐之立木基部空洞

若經撫育疏伐（塊狀或行列疏伐）時，將可形成複層林狀態（[照片 14](#)），留存林木之幹形較佳，胸徑較大（[照片 15、16](#)），將來收穫時，所得原木其製材利用率較高，用途亦較廣，可作建築之結構材料，裝修材料等多方面的利用。且林地之碳吸存效果亦可得到國際間京都議定書之認同。



照片 14. 複層林 - - 柳杉人工林行列疏伐營造檜木複層林作業

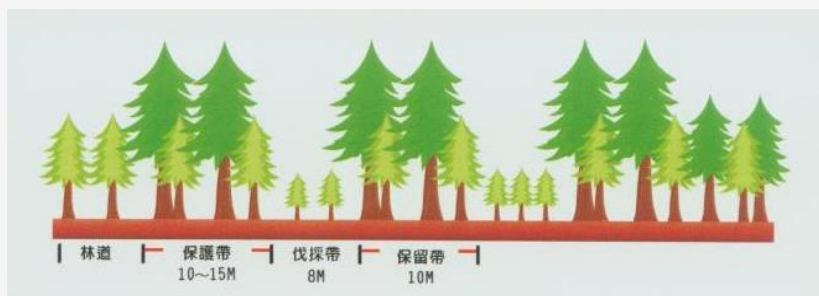


圖 15 柳杉行列疏伐營造複層林作業示意圖（輔導會保育處棲蘭山地區）



照片 15. 人工林 - - 竹東事業區下層疏伐後柳杉人工林林相



照片 16、人工林 - - 日本吉野地區人工林柳杉經撫育作業後之長伐期柳杉人工林林相

四、木材利用有防止地球暖化之作用

（一）木材利用之節能、減碳效果

木材製品如紙漿蒸解、木質板材類之熱壓、製材之人工乾燥等全部均在 200°C以下溫度即可完成。其比起需以 1000°C才能製造之鐵、水泥或陶瓷等製品，或需以 800°C溫度之塑膠，很明顯的木材製品係省能源材料。

如利用木質材料以取代那些高耗能材料時，其所消耗的能源之差的部分即可削減二氧化碳 (CO₂) 排放的部分，此可稱為木材利用之「減碳 (省能源)」效果。如表 3、4 所示。

表 3. 各種木質材料生產過程之 CO₂ 排出量 (kg - - CO₂/m³)

產品種類	材料密度 Kg/m ³	原料 生產	運輸	製造工程					流通	合計
				製材	熱壓	天乾	人乾	防腐		
原木	450	27.3	39.6							66.9
製材	天乾	450	27.3	39.6	52.0	-	-		11.0	129.9
	人乾	450	27.3	39.6	52.0		34.9		11.0	164.8
	人乾	800	27.3	39.6	52.0		227.1		11.0	357.0
	防腐製材	450	27.3	39.6	52.0		34.9	1.8	11.0	166.6
合板，單板層 積材	550	27.3	39.6	91.6					11.0	169.5
化粧單板貼面 合板	550	27.3	39.6	91.6+	18.1				11.0	187.6
集成材 (冷壓)	550	27.3	39.6	52.0			34.9		11.0	164.8
集成材 (熱壓)	550	27.3	39.6	52.0	202		34.9		11.0	366.8
防腐集成材 (冷壓)	550	27.3	39.6	52.0			34.9	1.8	11.0	166.6
木製品	550	27.3	39.6	134.3			34.9		11.0	247.1
木製家具	650	27.3	39.6	246.4			131		11.0	455.3
粒片板	650		51.5		734				19.9	805.4
OSB (定向粒片板)	650	27.3	51.5		115.6				19.9	214.3
複合木質地板	650	27.3	39.6	91.6	256.5				11.0	426.0

表 4. 橫架材與被覆材以木質材料取代鋼材之 CO₂削減量

木質材料	棟樑材 (每 1m)		大斷面樑 (每 1m)		被覆材 (每 1m ²)	
項目	鋼材 BP200/19	木材 300×50mm	鋼材 310UB40	大斷面集成材 550×135mm	鋼材 0.5mm	合板 12mm
密度 (kg/m ³)		450		550		550
重量 (kg)	5.6	6.75	40.0	40.8	4.7	6.6
CO ₂ 排放量 (kg)	14.3	2.5	102.8	19.7	12.1	2.0
CO ₂ 固定量 (kg)	0	12.4	0	67.4	0	10.9
CO ₂ 排放量－ CO ₂ 固定量 (kg)	14.3	- - 9.9	102.8	- - 47.7	12.1	- - 8.9
鋼材與木質材料之 CO ₂ 排放量之差 (kg)	24.2		150.5		21.0	
以木質材料取代鋼材之 CO ₂ 削減量 (kg/kg)	4.3		3.8		4.5	

註：(1) 木材、集成材、合板之固碳率各為 50%、45%、45%

(2) 木材乾燥及集成材、合板加熱時熱源之燃料均為木材廢料，為碳中性

(二) 木材利用之碳貯藏(固定)效果

在煤炭火力發電廠等之 CO₂ 隔離已成為話題，但其只是不會使大氣中之 CO₂ 增加，並非是減少 CO₂ 量。若將循環之木材碳隔離在大氣碳循環系之外，具體的來說，使在建築物等木材製品貯藏量增加，係可使 CO₂ 純減，此可稱為木材利用之「碳貯藏(固定)」效果。此係因木材內部涵存有 50% 碳之故。木材構成元素為 50% 碳(C)，43% 氧(O₂)，6% 氫(H₂) 及 1% 之 20 數種微量元素。因此增加木構造建築、室內裝修木材量，木質家具等均會增加碳貯藏量。

此可由表 5 看出，各種木質材料由生產過程所排放 CO₂ 量減去各材料固定 CO₂ 量，即產品碳足跡其均為負值，為 - - 458.8kg - - CO₂/m³ ~ - - 1,111.0 kg - - CO₂/m³。此意味著木質材料均為碳貯藏(固定)型材料。而其他鋼材、鋁、混凝土、鋼筋混凝土均為正值，此意味著其均為碳排放型材料。

表 5. 各種木質材料之碳足跡

產品種類		密度 kg/m³	生產過程排放 CO ₂ 量 kg - - CO ₂ /m³	產品固定 CO ₂ 量 kg - - CO ₂ /m³	產品碳足跡 kg - - CO ₂ /m³
原木 ⁽¹⁾		450	66.9	825.8	- - 758.9
製材	天乾 ⁽¹⁾	450	129.9	825.8	- - 695.9
	人乾 ⁽¹⁾	450	164.8	825.8	- - 661.0
	人乾 ⁽¹⁾	800	357.0	146.80	- - 1,111.0
防腐製材 ⁽¹⁾		450	166.6	825.8	- - 659.2
合板 ⁽²⁾ 單板層積材 ⁽²⁾		550	169.5	908.3	- - 738.8
化粧單板 ⁽²⁾ 貼面合板		550	187.6	908.3	- - 720.7
集成材 (冷壓) ⁽²⁾		550	164.8	908.3	- - 743.5
集成材 (熱壓) ⁽²⁾		550	366.8	908.3	- - 541.5
防腐集成材 (冷壓) ⁽²⁾		550	166.6	908.3	- - 741.7
粒片板 ⁽³⁾		650	805.4	1192.8	- - 387.4
OSB ⁽³⁾		650	214.3	1192.8	- - 978.5
木製品 ⁽¹⁾		650	247.1	1192.8	- - 945.7
複合木質地板 ⁽¹⁾		650	426.0	1192.8	- - 766.8
木製家具 ⁽¹⁾		650	455.3	1192.8	- - 737.5
鋼材		7600	19,524.4	0	19,524.4
鋁		2530	80,740.0	0	80,740.0
混凝土		2400	440.4	0	440.4
鋼筋混凝土			667.9	0	667.9

註：(1)、(2)、(3)之產品的固碳率各為 50%，45%，及 40%。

熱源之燃料:木廢料為碳中性。重油每公秉 (1,000L) 燃燒會排放 2950kg - - CO₂，消耗 1 度電 (1Kwh) 會排放 0.532 kg - - CO₂。

(三) 木材利用之石化燃料替代效果

木材生質能當作能源使用、可減少石化燃料之使用。木材燃燒時，其熱值雖只有燃料油之 1/4，即 1 公噸木材燃燒熱值相當於 0.279 公噸燃料油。但其排放全 CO₂ 量 66.4kg，只為燃料油 1,023kg 之 6.5%而已，且又是碳中性。可說是減緩地球暖化之有效方法之一。

(四) 木構造建築在減碳、固碳之效果

就國內三種木構造建築與鋼筋混凝土造 (RC)，及輕鋼骨構造 (SC) 等之木質材料使用量，CO₂ 排放量及 CO₂ 固定量，如表 6 所示。可看出木構造建築之每單位建築面積之木質材料使用量為 0.2125m³/m²，而 CO₂ 排放量為 55.03kg/ m² 所使用木質材料(製材、合板及其他) 材積數量雖較多，但其排放之 CO₂ 量係較少，只佔全部之 16.90%，而所使用之非木質材料 (包含混凝土及鋼筋等) 體積量雖較少，但所排放 CO₂ 量卻較多，佔 83.10%。如圖 16。

表 6. 不同建築型式單位面積之木質材料使用量，CO₂排放量及固定量

建築工法	木質材料使用量 m ³ /m ²	CO ₂ 排放量 kg/m ²	CO ₂ 固定量 kg/m ²
木構造建築	框組壁工法	0.2012	61.06
	柱樑工法	0.2014	50.83
	原木層疊工法	0.2351	53.21
	平均值	0.2125	55.03
非木構造建築	鋼筋混凝土造 (RC)	0.020	236.12
	鋼骨構造 (SC)	0.020	154.11

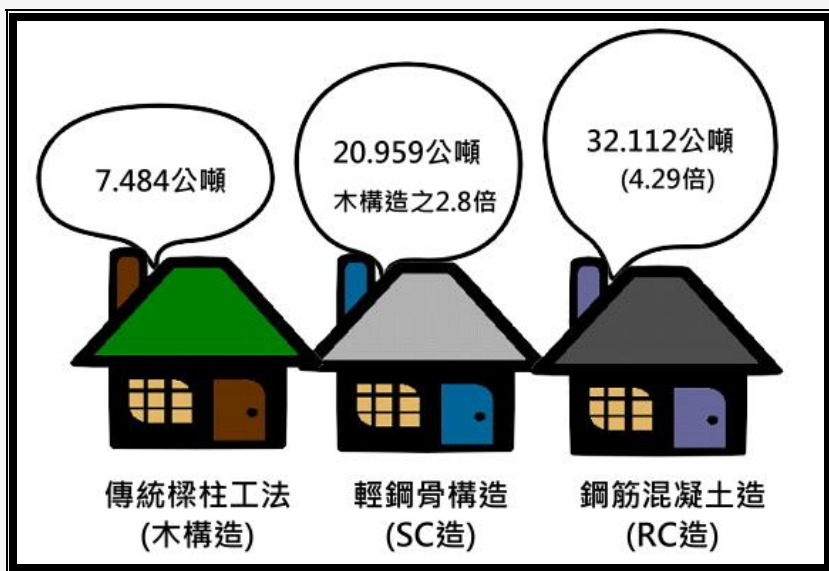


圖 16. 地板面積 136m²住宅構成材料生產時之 CO₂排放量

RC 造及 SC 造建築之 CO₂ 排放量各為 236.12kg/m² 及 154.11 kg/ m²，其各為木構造建築之 55.03 kg/m² 之 4.29 倍及 2.80 倍。

如建築面積為 136 m² (約 40 建坪)計算，則每棟木構造建築使用 28.9 m³ 木質材料，其 CO₂ 排放量為 7.484 公噸，RC 造建築 32.112 公噸，SC 造建築 20.959 公噸。而木構造建築可固定(相當隔離碳量) CO₂ 量為 26.524 公噸，RC 造及 SC 造建築各為 2.495 公噸。

若以木構造建築取代 RC 造或 SC 造建築時，其削減 CO₂ 排放量可由下式算出

削減 CO₂ 排放量 = RC 造或 SC 造之 CO₂ 排放量 - 木構造建築 CO₂ 排放量 + 木構造建築 CO₂ 固定量。

木構造建築取代 RC 造建築時，削減 CO₂ 排放量為

32.112 - 7.484 + 26.524 = 51.152 公噸。

木構造建築取代 SC 造建築時，削減 CO₂ 排放量為

20.959 - 7.484 + 26.524 = 39.999 公噸。

國內木構造建築尚在推廣初期，一般國人尚不太瞭解其環境效益及地球溫室氣體減量效應，故累積量不多。而日本全國現已累積有 3,800 萬棟住宅，因所使用木質材料而貯存碳量（隔離碳）達 1.4093 億公噸，換算成貯存 CO₂ 量為 5.0735 億公噸，此相當於日本全森林所貯藏 CO₂ 量之 18%。這些木構造建築有如都市中的 CO₂ 氣體貯藏庫，亦相當於一座都市森林，有益於緩和地球暖化。依日本資料木構造建築木材使用量為 0.20 m³/m²，CO₂ 排放量為 136.56 kg/m²。

在日本為促進國產材之利用，已在東京都港區以二氧化碳削減為主軸，期能實現低碳社會制度，實施稱為「港區模式二氧化碳固定驗證制度」，具體來說係與國產材之利用量相當之 CO₂ 固定量（碳隔離，將木材中所涵存碳隔離出大氣中 CO₂ 循環系之外）之驗證，保證林木伐採後係會再造林之自治體所生產木材之利用為其特徵。

一般木構造建築之生命週期約 40 年，但室內裝修則約 6 - 7 年會進行一次，如使用多量木材及木質材料時，可在建築物內固定多量 CO₂，若每單位建築面積所使用木材及木質材料量（m³/m²）知道時，則可由下式估算出木構造建築之碳貯藏量（固碳量）。

建築物碳貯藏量（碳固定量）=〔建築物面積（m²）〕×〔每單位建築面積之木材及木質材料使用量（m³/m²）〕×〔木材及木質材料絕乾密度（t/m³）〕×〔單位絕乾質量之碳量（t - c/t）〕。

建築主管機關如能推動建築物之碳貯藏量（碳固定量）驗證制度，將可鼓勵建築時，大量使用木材及木質材料，進而減低建築物碳足跡，並創造低碳社會。



照片 17、人工林 - - 宜蘭棲蘭山人工植育柳杉林

五、結語

IPCC 於 2013 年 9 月 27 日發表「2013 年氣候變化」報告，指出如今科學家比過去更確信地球暖化是人類活動所造成，尤其主要係燃燒石化燃料、煤炭及森林被破壞。因此減少石化燃料，並擴大森林面積及增加單位森林面積之林木蓄積量，為減緩地球暖化之重要手段。

近年來天然林禁伐，木材之來源係以永續經營之人工林所生產者為主。人工林須於最大生長過後，於適當時期，在適當地點作計畫性的收穫（伐採），再造林，即一般所稱之永續經營，從植林、育林、收穫、製造（加工）利用，解體廢棄，再造林整個流程需永續進行，如木材不使用，亦不進行疏伐作業，其綠循環（栽植→撫育→利用→栽植）之平衡會崩壞，森林亦會荒廢掉。收穫所得木材可供作建築材料之樑、柱、桁木、裝修材及家具用材使用。

面臨低碳社會的來臨，國際間已有地產地消之作法，其是地域產品在地域內消費。在日本已推動以都、道、府、縣產為單位，在行政上以「○○道產地材」進行產地驗證。

國內正推動國產材產地證明制度，期望能與國際間之森林認證機構 FSC 或 PEFC 或 SFI 等相接軌。有關地產地消之「地域」定義，依美國之建築物（大樓）之環境性能評價系統之 LEED(Leadership in Energy and Environmental Design)，對於地域資源定義為「在 500miles 以內所生產、收穫、再生、加工製造之資材」。依此觀點，國內之國產材產地地消係可視為同一「地域」範圍。

日本為促進國產材之利用，已在東京都港區以二氧化碳削減為主軸，期能實現低碳社會制度，實施稱為「港區模式二氧化碳固定驗證制度」，具體來說此係對於在建築物內所使用國產材量可固定相當之 CO₂ 量（碳隔離，將木材中所涵存碳隔離出大氣中 CO₂ 循環系之外）加以驗證，保證林木伐採後係會再造林之自治體所生產木材之利用其特徵。此作法值得國內參考推動。

書名：森林、木材利用與地球暖化防止

編著者：中華木質構造建築協會

出版者：行政院農業委員會林務局

發行人：李桃生

發行所：台北市杭州南路一段二號

電話：(02) 23515441

網址：<http://www.forest.gov.tw/>

編審小組：王松永教授、葉民權教授、蔡明哲教授、卓志隆教授、邱析榮副教授、
楊德新副教授、羅盛峰助理教授

主編：王松永名譽教授

美編：于而彥

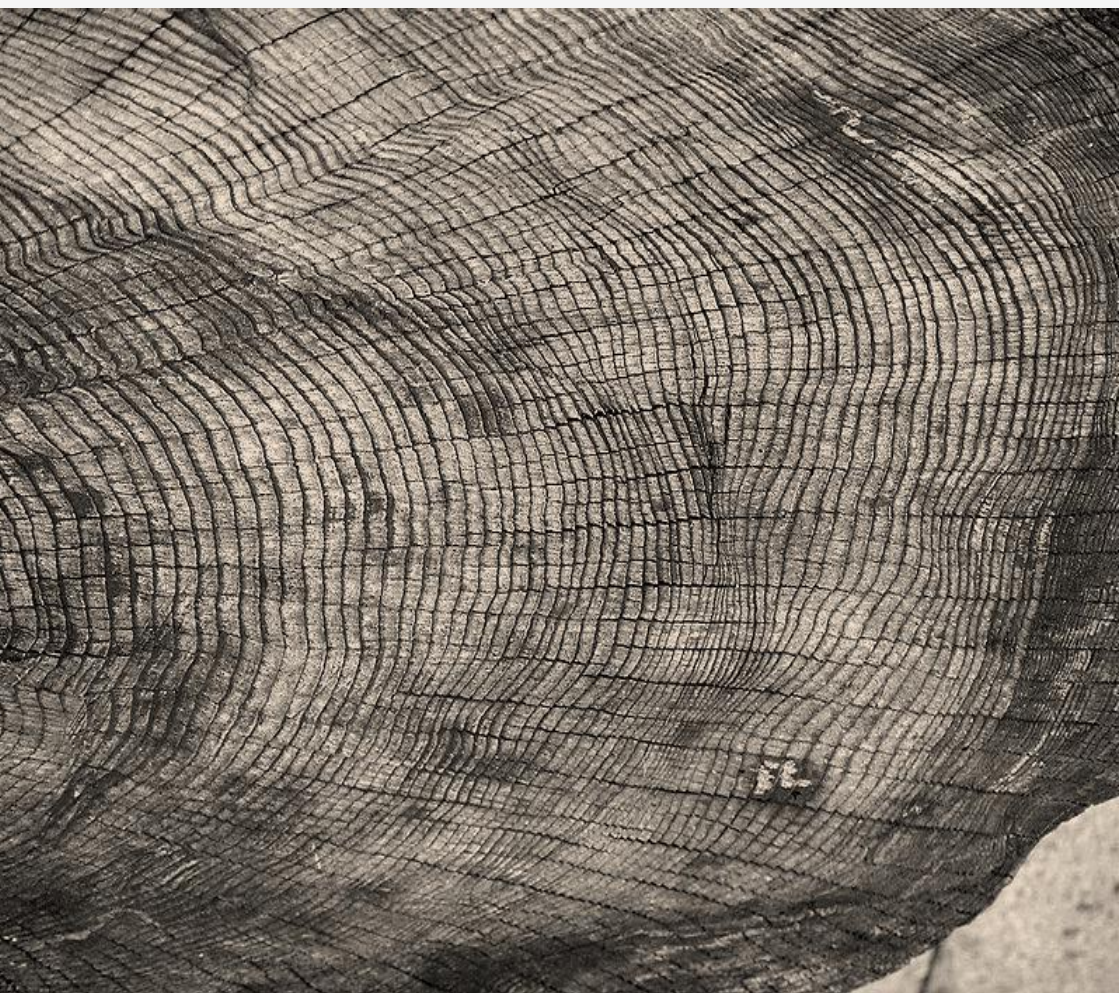
企畫執行：江上筠

印刷：萬達打字印刷有限公司

出版年月：2014 年 10 月 22 日

版次：初版

工本費：50



森林、木材利用 與 地球暖化防止



森林、木材利用 與 地球暖化防止

