

部編大學用書

森林水文學

陳信雄著

國立編譯館 主出 編版

部編大學用書

森林水文學

陳信雄著

國立編譯館主編
出版

中華民國七十三年十月一日台初版

森 林 水 文 學

版 權 所 有
翻 印 必 究

定價：精裝新台幣叁佰貳拾元
平裝貳佰捌拾元

著 者：陳 信 雄

主 編 者：國 立 編 譯 館
出 版

印 行 者：國 立 編 譯 館

館 址：台北市舟山路二四七號

電 話：三 二 一 六 一 七 一

森林水文學

序 言

森林水文學的主要宗旨，是在於闡述及分析森林在自然生態環境中所佔的實質地位與在水文上所具有的功能。在以往有關林學的教科書中，常提到：「森林具有調節氣候和涵養水源的功能」，這僅屬於一般概念性的說法。科學進步至今，再經過前人不斷研究的成果，吾人深知森林除了賦有生產木材的實質價值外，確有保育水資源，以及保護土地資源的功能，前者可以說是屬於森林經營的範疇，後者則是森林水文學研究的主要目的，但生態環境極為複雜，森林水文又受森林經營方式的影響，要在這種複雜的環境中，研究森林的實質功能，而在森林經營上兼顧木材生產及調節水源，實非易事。因此到目前，有關森林在防洪及水資源保育功能之研究，仍祇限於定性上的解釋，如何能達成定量上的判釋，是森林水文研究者今後的任務與目標。

近年來由於人口的急劇增加，工商業之快速發展，需水量亦隨之增加，水資源的保育利用，成了全球性的問題。本省林地面積約一百八十餘萬公頃，佔總面積一半以上，較高海拔地區均有良好之森林覆蓋，再以本省天然水資源雖頗為充沛，但因降雨集中，河川陡急，可利用之水資源漸感不足，有效解決途徑是多建水庫，惟興建水庫費用龐大，且理想壩址亦頗稀少，如何以森林經營方法增加林地土壤蓄水以延長河川之低流量及充實地下水，亦為森林水文上重要課題。

本文作者陳信雄教授，民國五十年畢業於台灣大學森林學系，復在日本東京大學農學院砂防工學教室跟隨山口伊佐夫教授進修森林水文，並專注於地下水測定及崩場地治理規劃問題，故兼有森林及水文之基本訓練，民國六十二年獲博士學位後即返國任教於台大森林學系

2 森林水文學

，傳授森林水文、防砂工程、水土保持及崩場地調查與分析等課程，其間並協助外島及本島缺水地區探測地下水及其規劃利用，且對崩場地之性態作長期觀測，以爲規劃及治理之參照，工作認真，思考縝密，能夠理論與實際並用，所獲績效顯著，受國科會及農發會之獎助亦多。今以教學及研究之瞬，完成「森林水文學」著作，其中涉及森林水文因子之總論及各論，對森林經營之相關因素亦有詳盡解說，在國內所屬首見，對在校學生及研究工作者均有俾益，故樂爲序。

葛錦昭 謹識

72年3月12日

自序

台灣的山地佔全省面積三分之二以上，其上之覆蓋物可以說大部分是屬於森林。因此森林的消長，左右本省整個命脈，絕非過言，更何況森林皆位於河川上游地區，無論在防洪或水資源保育上，皆有無比的潛力，如何瞭解森林在這些環境中所生之影響力，有賴於森林水文學之研究。

然而在這些複雜的自然環境中，研討森林在集水區水文過程中所產生之作用，無疑的是一件非常困難之事，再加上在這些生態環境中，以機械化的數理模式，想理出一個頭緒，更是有其一定的限度，更何況有關森林的各項試驗研究，皆屬於長期性的觀測與分析，往往無法在短期內獲得令人滿意之結論，影響了整個森林水文學研究上之進度。所幸在國外有關森林水文學之研究有其相當的歷史，有許許多多的研究結果，可供我們節省不少重行摸索的時間與經費，因此本書對文獻之引用，列為重要部分，其理由即基於此。

目前我國坊間已有不少水文學之書問世，這是由於有關水文學之研究，已有很長的歷史淵源，並已建立相當完整之研究體系，森林水文學雖為應用水文學之一部門，然其所牽涉的自然環境非常複雜，能以系統的解釋，並加以闡述適當的研究方法之書，則付諸缺如。筆者不嫌才疏學淺，蒐集先進先賢之研究成果，除了強調森林對水資源與防洪之效果外，林地降雨後，其成為逕流的變化過程，林地內之地下水文，森林水文之觀測實驗方法，森林與水質等資料，予以有系統的整理。至於在森林水文學上重要部門之一的坡地的崩塌與土砂流出等問題，由於本省在這方面的研究歷史甚短，資料更是缺乏，尤其是森林伐採後，土砂流失之觀測，是今後森林水文研究上的必要資料，這些皆有待於今後之加強。

2 森林水文學

森林水文之研究是長期而艱辛的工作，所蒐集之資料，皆是先進先賢披星戴月，辛勤的成果，編者以森林水文研究者之一份子，將這些資料編集成冊，除了感謝這些先進的辛勞之外，並期望達成拋磚引玉，激起更深的研究，促使本省的森林水文研究，列予世界水準是為至盼焉。

最後感謝行政院農業發展委員會祕書長葛錦昭先生在百忙中撥冗作序，以及國立編譯館館長熊先舉先生賜予編寫之機會，在此致由衷的謝意。

國立台灣大學森林學系 陳信雄識

72年3月14日

森林水文學

目 錄

序言.....	1
自序.....	1
第一章 緒 論.....	1
第一節 森林水文學之意義.....	1
第二節 森林水文學之研究方法與展望.....	6
第三節 森林水文學之研究史實.....	14
第四節 森林水文學之地位與關聯科學.....	51
第二章 水文循環與水文收支.....	53
第一節 一般水文循環.....	53
第二節 集水區之水文收支.....	61
第三節 臺灣的自然環境與水文收支.....	63
第三章 森林與降水.....	75
第一節 林內降水量.....	75
第二節 森林之增雨作用.....	82
第三節 山地降水量.....	84
第四節 降雨資料之整理與分析.....	88
第四章 集水區形態學.....	111
第一節 概論.....	111
第二節 集水區之地形形態.....	111
第三節 集水區之地質及其調查方法.....	132
第五章 蒸發散 (Evapotranspiration)	163
第一節 林木的蒸散.....	163

2 森林水文學

第二節 蒸散量之測定·····	164
第三節 林地面蒸發·····	169
第四節 林地之蒸發散·····	169
第六章 截留·····	189
第一節 樹冠截留·····	189
第二節 截留測計·····	190
第三節 下層植生之截留·····	193
第四節 林地地被物截留·····	194
第五節 林分之截留降水量·····	195
第七章 入滲與滲透·····	197
第一節 概論·····	197
第二節 有關入滲與滲透之理論·····	202
第三節 滲透係數之測定·····	206
第四節 室內滲透試驗實例·····	209
第八章 土中水·····	215
第一節 緒論·····	215
第二節 土中水之狀態·····	216
第三節 土中水之運動·····	219
第四節 土壤水份測定法·····	225
第五節 森林與土壤水份·····	236
第九章 逕流與水文歷線·····	241
第一節 總論·····	241
第二節 逕流之要素·····	242
第三節 逕流歷線與逕流成分·····	244
第四節 枯水期間逕流量之推算法·····	254
第五節 洪水期逕流量之推算法·····	255

第六節 森林經營與逕流·····	268
第十章 森林對沖蝕與堆積之影響·····	279
第一節 沖蝕·····	279
第二節 集水區內土砂之推算·····	285
第三節 集水區內土砂之移動與堆積·····	290
第四節 森林與土砂流出·····	302
第十一章 森林與洪水·····	313
第一節 洪水概論·····	313
第二節 洪水處理上之問題點·····	317
第三節 本省近年來洪水災害·····	318
第四節 以河川水文資料分析水災成因·····	325
第五節 以河川上游集水區崩塌資料分析水災成因·····	331
第六節 森林與洪水·····	335
第十二章 森林水文與林業·····	341
第一節 集水區經營·····	341
第二節 森林與集水區經營·····	346
第三節 臺灣集水區問題的研究·····	347
第四節 水與土砂及森林·····	352
第五節 林業的重要性及其衰退傾向·····	355
第十三章 森林與水質·····	361
第一節 森林與溪流水質·····	361
第二節 伐採與水質·····	361
第三節 除草劑施佈與水質·····	362
第四節 林地施肥與水質·····	363
第五節 森林緩衝帶對農藥過濾之效果·····	363
第十四章 森林水文觀測資料之整理與分析·····	371

4 森林水文學

第一節	森林水文資料蒐集之分類法及其相互之關係·····	371
第二節	最小平方法之原理·····	377
第三節	最小平方法之應用與實驗式之求法·····	380
第四節	森林水文學觀測資料之分析·····	398
第五節	最大逕流量推算式之檢討·····	409
第六節	連續降雨型曲線之求法·····	416
第七節	集水區水比電阻之測定·····	427
第十五章	森林與地下水文·····	435
第一節	總論·····	435
第二節	本省地下水分區·····	440
第三節	有關地下水之基本概念·····	443
第四節	地下水之水文收支·····	452
第五節	地形與地下水·····	457
第六節	森林與水資源保育·····	461
編後語	·····	469
索引	·····	471
參考文獻	·····	485

第一章 緒 論

第一節 森林水文學之意義

一、水文學之定義

水文學 (Hydrology) 是自然地理學 (Physical geography) 的一部分，關係到陸地上之地表面、地表下、和地表上空等舉凡水分形態的研究，俱包含在其中的一門學問。諸如水的分布、循環與運動，水的物理、化學性質，以及生物環境對水的作用等各項，都在研究範圍之內。水文學所研究的部分既相當廣泛，且其界線亦不十分明顯，舉例來說，以降雨的現象而言，可以列入「氣象學」或「水文學」的領域內，亦有所謂「水文氣象學」(Hydrometeorology) 的部門研究降雨的現象。

再說有關與人類生活不可或缺的水，其應用科學上更可分為「森林水文學」(Forest hydrology) 以及「農業水文學」(Agriculture hydrology) 等部門；又「河川工程學」(River engineering) 與水文學亦有相當密切的關係。至於水文學應針對什麼問題，據 Wisler 及 Brater 曾指出下列項目：

(一) 溪流之逕流量能否充分的符合下述之要求：

⊖ 都市用水，灌溉用水及工業用水。

⊖ 航行。

⊖ 遊樂活動。

(二) 爲了某種用途，貯水池是否必要。如屬必要，其容量要多大？

(三) 在防止洪水對策方面，橋樑、暗渠、壩之溢水口，其設計上，機率最大洪水量應採取多少？

(四) 台地或沼澤地之排水對集水區逕流有多少之效果？

2 森林水文學

(戊)土地利用之變化或森林之伐採，對地下水位或逕流量，其影響如何？

由上述可知，水文學所包括之範圍相當的廣泛，其內容包括地球物理、氣象、地理、地質、土木、農業工程以及森林等。總結言之，水文學是研究地上以及地下水資源消長的科學。

二、森林水文學之意義與目的

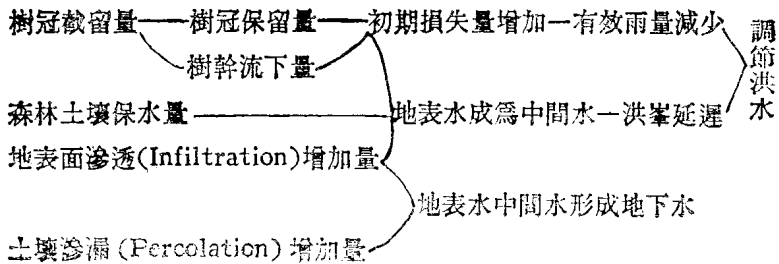
由前述可知，水文學是研究自然環境中水分循環過程的一種科學，而森林在這種水分循環過程中，佔着極為重要的地位，闡述森林在水分循環過程中所扮演的角色，就是本書的主要目的。尤其台灣山地面積佔全省總面積三分之二以上，這些山地幾全由森林所覆蓋，因此森林的存廢，對本省社會經濟而言，實有舉足輕重的地位。吾人深知森林除了賦有生產木材的有形價值外，尚有保育水資源，以及保護土地資源上無形的功能。前者是屬於森林經營的範疇，後者則是森林水文學研究的主要目的。但森林所處之生態環境極為複雜，要在這種複雜的環境中，把握森林無形的功能，實非易事。到目前為止，有關森林在防洪及水資源保育功能之研究，也止於定性上的解釋而已；如何能達成定量上的解釋，進而有效掌握變數，以增進人類生活的福祉，是森林水文學研究的最終目的。

近年來由於人口的增加，農工商業之發展，促使山坡地的不斷開發，舉凡工業用水、生活用水亦日益增加，於是乎水資源的開發保育與利用，成了全球性的問題，且其情況有日趨嚴重之勢。木材之缺乏尚可藉進口等方式予以補救，然而水資源的缺乏或水質的問題，則需賴上游集水區之合理經營來長期的維護與改善方能見功，因此更需瞭解森林水文之特性。而森林水文學在一般觀念上，是依賴森林及水土保持，以調節洪水與保護水資源，並進一步的對土地資源的保護。根據目前的研究結果，森林水文學的主要對象，是藉森林來調節洪水與

保護水資源，如森林經營得當，自能充分發揮其效果。以下分段加以敘述，以供參考。

三、森林與調節洪水

森林對調節洪水的現象，可自下列各點說明之：



由上簡圖可知：由於初期損失量的增加，致減少有效雨量（此與直接逕流有關），遂而降低洪峯。地表面滲透能的增加，可使洪峯全面降低；而土壤滲漏增加，將增加地下水貯存量。按上述現象，森林土壤的保水現象與滲浸現象同時進行，也就是在滲浸現象進行時，土壤的含水量亦繼續發生變化，因此大部分的降雨是依賴這現象予以調節。

由於上述的現象所調節的水量，在一般結構的地質上，地表水與中間水除了形成地下水外，大部分淪於損失。

尤其在台灣西部沉積岩地帶，由於基岩與堆積層間，往往形成不連續的結構，因此滲浸於地下深處的雨水，成為長期的貯存或蒸發散失而損失。由上述的現象所謂調節的洪水量，其實際的效果如何，確是值得研討的問題。而以目前的情形，生長林木的山地地區，對水資源的調節亦最具功效。但是在都市近郊，以及蘊藏天然資源的都市，由於山坡地的開發，而使洪水量的調節降至最少。此外由於現代土木等技術的進步，無論都市或農地的土地利用，均走向極度的集約，本來森林對於水資源有調節作用，由於開發森林、利用森林，甚至破壞森

4 森林水文學

林，終致無法發揮其功能。這種現象已成為全世界共同的傾向，因此位於集水區上游與下游地區，除了森林外，對多目標水庫的興建，殊感必要。

四、森林與多目標水庫

顧名思義，多目標水庫之意義是對於灌溉、發電、防洪等多種目標，靠水庫來調節運用。由於牽涉的因素甚多，因此有很多問題值得檢討。尤其位於西太平洋諸島地區的日本、台灣等，更不同於大陸性區域。這些地區想利用多目標水庫開發河川，其情況將極為困難。一般而言，有兩項問題值得考慮，一是地形上的問題，另一個是氣象上的問題。

在狹窄且急峻之地形形態的山岳地區，其山岳面積佔整個集水區面積極大的比率，若想在集水區域內設置如大陸性地區之大規模蓄水庫，是極不可能的事。像台灣及日本，除土地狹小之外，由於土地利用的集約，以及自然資源的複雜，如欲建立一合理的水庫，將會遭受到許許多多的困難。

在氣象上，本省係屬於年平均雨量在2500mm以上的多雨地區，且這些年雨量中，大部分集中於颱風季節，因此所形成的表面逕流，較之大陸性地區相同集水面積之逕流為大，故需要大容量的水庫。

為了詳細說明多目標水庫的實際效益，茲將台灣、日本與美國等多目標水庫之狀況，列表於次，以資比較：

表 1—1 臺灣、日本、美國多目標水庫之比較

地 區 別		臺 灣	日 本	美 國
項 目				
集水面積	km ²	3,400	7,000	170,000
水 庫 數 目		21	28	17
平均每一水庫負擔集水面積	km ²	163	250	10,000
雨	年雨量mm	2,520	1,800	1,300
量	過 去 最 大 雨 量	1,127mm/24hr.	880mm/24hr.	280mm/48hr.
年 流 量	m ³ / 年	250×10 ⁶	300×10 ⁶	800×10 ⁸
多 目 標 水 庫	全貯水量m ³	8.8×10 ⁶	30×10 ⁶	180×10 ⁸
	全貯水量／ 年 流 量 %	3.5	10	23
	洪 調 節 量 m ³	3×10 ⁶	9×10 ⁶	135×10 ⁸
	洪水調節量 ／年流量%	1.2	3.3	17

由上表可知，在水庫的調節容量上，也就是說，在調節洪水的效果上，因受先天條件的限制，台灣與日本較之美國，實有小巫見大巫之別。

由此可知，由於地形與氣象的因素，台灣的多目標水庫，實無法發揮其功能。但在此必須強調者，本文絕無意否定多目標水庫的功能，而是說，僅靠多目標水庫來調節洪水與保護水資源，至少對台灣來說，是極為困難之事。但無可否認的，在集水區中下游所設置的多目標水庫，其在管理上或經營上仍舊是極為重要的。

一般而言，僅依賴水庫則難期達成多目標經營的功能，必須由森林與多目標水庫兩方面來著手，才能達到治理下游的功效。如果經一段時期後，上游與下游間發生無法配合的現象時，必須考慮在上游或下游地區選擇適當的地點，實施人工補注 (Artificial recharge) 地

6 森林水文學

下水等工程，以應實際之需要。

森林雖能調節洪水，但也會發生相當量的水分損失。這種損失量又依降雨前之森林以及林地狀況而定，並成為補充集水區內初期需水量（包括樹冠保留量），此為第一次損失量；其次降雨成為逕流後，一部分滲透於集水區內，是為第二次損失量；而第一次損失量較之第二次損失量，無論在面積上或水量上均較大。第一次損失量於降雨到達地面的同時，即發生極大的調節洪水作用之效果，惟對有效雨量而言，則形成相反的作用。

前節已述及，所謂森林調節洪水的功能，是靠第一次損失量加上地表水變成中間水之量，在量的比例上，當推前者佔極大的比率。

如將森林特性與降雨條件相對照，少雨地區與多雨地區將產生不同的形態。

在少雨地區（年平均雨量在 1000mm 以下者），由森林所損失之量，將佔極大的比率，此對需水與供水將發生不利之影響。

相反的，在多雨地區（年平均雨量在 1800mm 以上者），降雨多屬豪雨性雨量，由森林所消耗的量，除具調節洪水的作用外，在水利用的立場上，可減少無效洩洪量，不致發生相反的效果。此現象自與多目標水庫的經營目的相符。在其管理計劃上，亦可獲得較大之調節容量，並使水庫的經濟效果增加甚多。位於西太平洋諸島地區如台灣日本等皆屬後者地區，因此根據上述的看法，森林在水文上的價值，是相當值得重視。

第二節 森林水文學之研究方法與展望

一、森林水文學的研究方法

森林水文學不同於其他應用科學，因此研究森林水文學的先決條件，應先取得觀測資料。直至目前為止，必須仰賴直接觀察，來判斷