

年輪資料學的簡介及應用於逕流估計的方法

于 國 安*

一、前 言

樹年學 (Dendrochronology) 為年輪的系統性研究，用以鑑定某一年輪為某一年代的產物。所以又叫樹輪年代鑑定 (tree-ring dating)。 (圖一) 最初利用這種方法的為 A. E. Douglass。他是位天文學家，他想某一現象的定期出現可能反映太陽黑子的活動。於是他以年輪寬窄的週期性出現做研究，結果證明他的假設是對的。由於這個創想，附帶也發現砍伐時間不明的樹木都可用這種方法推算出明確的砍伐年代。於是藉著許多後起學者的研究，而導成樹年學的形成，如今已有六十幾年的歷史了。年輪不再單是用來計算樹木生長歲數，年輪可用在許多方面。考古學家利用考古蹟地的建築木材，起火後所成的木炭，鑑定了許多年代不明的部落；水文學家發現過去數百年的降雨，逕流情形；氣象學家發現高山雪線的升高和降低次數與發生年代，過去氣溫，氣壓情形；環境學家用此估計啮齒動物（如刺蝟）族群的大小和年代關係，空氣污染等；地貌學家用來估計土壤沖蝕率 and 地貌變動。

Dr. Edmund Schulman (1945, a) 說過：「水力發電，灌溉水源，土壤保育問題和遠期氣候預報，使得我們需要知道幾世紀長的降雨和河川逕流的年年變化記錄。」因為近代水文學家（主張利用統計學理論於水文研究；古典水文學家則否）雖然可用統計學的方法將有限的水文資料加以運用，推算將來流量的大小。但一般說來這種方法的有效性不會超過觀測記錄時間的三倍。即 50 年的水文記錄只能用來估計 150 年以下的水庫最大容水量。況且一般流量站的記錄，世界上超過 50 年的不多。氣象上有乾年、溼年的現象，就是某連續幾年都為濕年，降水較多；接下來連續幾年則為乾年降水較少。如果用這幾年的逕流資料（假設流量站剛好設於濕年），則統計得的逕流會很大，以此設計的水庫增加了許多不必要的經費；反之則常使水庫失效。美國有幾個水庫，用統計得的逕流量來建築，但築成後一、二年就遇上超過估計的容水量而崩壞。原因就是流量記錄太短，所有的記錄都是乾期水量，（或許流量站設立前一、二年逕流量非常大。）於是就有些人想到以百年以上樹木對逕流的反應來估計水文記錄。其中有 Schulman (1945a, 1945b, 1947, 1956), Phipps, Lassetter, Hardman and Reil (1936), Keen (1937), Anteus (1938), Potts (1962), Gatewood and et al, (1964), and Stockton (1971) 等人。

二、氣候和樹輪生長

樹木生長有四種現象即呼吸、蒸散、光合和同化。年輪的寬窄依同化作用的大小而定，而同化作用所要的碳水化合物則為光合作用的產物。如果蒸散作用正常，樹木的養份和水份充足，加上呼吸作用所消耗的少，則毫無疑問的為寬年輪。Daubenmire (1967) 列出影響此四者之因子為土壤、水、溫度、光、大氣、生物和火。如果其他因子持常不變，則水分的供應影響樹輪的大小。一般說來立地的水源多為降水。故樹輪的生長反應與降雨的起伏度一致。實際上 Schulman 發現逕流與樹輪的相關係數 " r " 比雨量與樹輪的 " r " 大。

三、採用方法

1. 樹年學方面

用 Douglass 的方法。Stokes (1968) 和 Glock (1937) 的著作，將這種方法詳細闡明。後面會略提到一點。

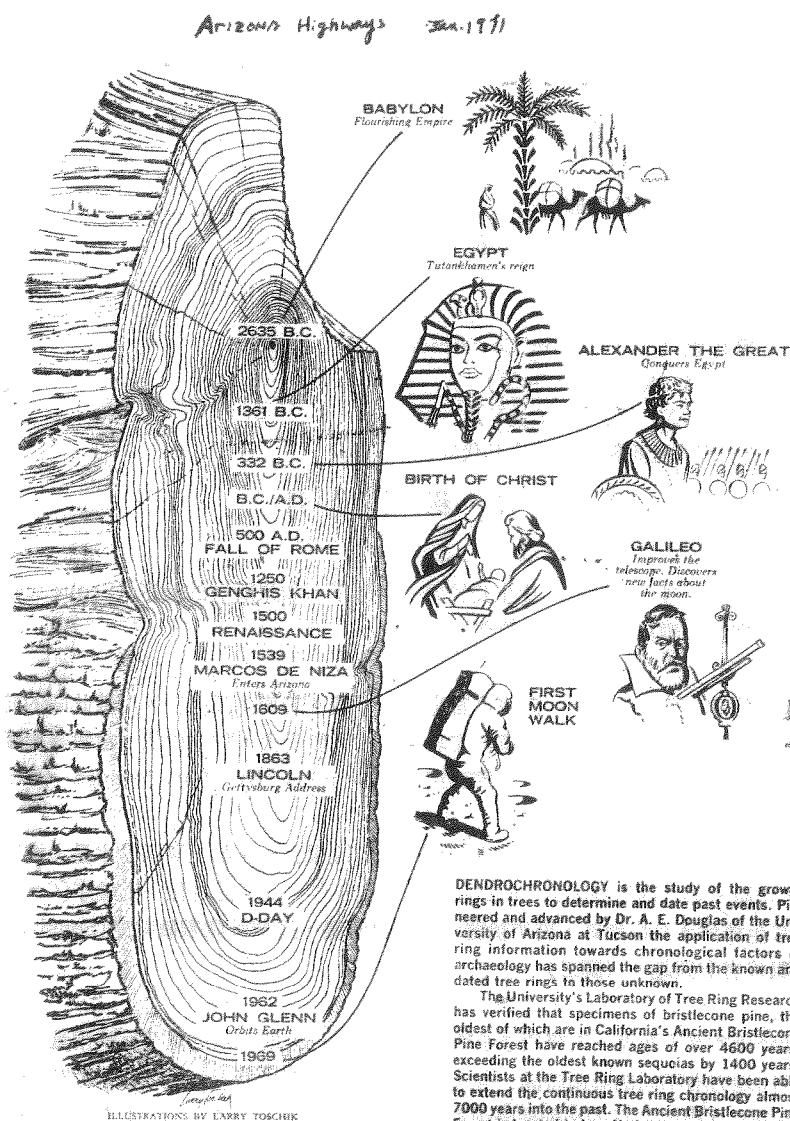
2. 水文學方面

* 美國亞利桑那大學研究生

本系57年畢業校友

集水區的平均降雨是用徐昇法和等雨線法得來。逕流記錄則由集水區出口流量減進口流量得到。(Linsley 1958)

Arizona Highways Jan. 1971



3. 統計學方面

統計學只能處理我們所知道的資料。樹木生長和降雨或逕流的關係，可以統計學證明。雖然以年輪寬窄所劃出的生長曲線與降水關係複雜，但以有限的水文記錄和長期樹生長曲線，估計長期水文資料還是非常有效。迴歸方程 (Regression Equation) 和多項線形迴歸方程式 (Multiple Linear Regression Equation) 可用來計算。這裡僅列出迴歸方程式。

迴歸方程式為 $Y - \bar{Y} = b(X - \bar{X})$

Y 為年雨量

$\bar{Y}$ 為平均年雨量

X 為年輪寬度

$\bar{X}$ 為平均年輪寬度

b 為降雨和年輪寬度的斜率

$$b = \frac{\sum(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sum(X - \bar{X})^2}$$

相關係數 (Correlation Coefficient) 為

$$r = \frac{\sum(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X - \bar{X})^2 \sum(Y - \bar{Y})^2}}$$

r 值愈高，此迴歸方程式愈具代表性。

四、樹年資料

1. 區域觀察

採樣區域應該有均一性，即所有的樹生長於同一情形下，如果所有的輪序 (Sequence) 有同樣的起伏度，則樹生長的寬度可導出可靠的氣候資料。

2. 採樣環境

品種，低層植物 (Understory) 和密度都應列入考慮。若樹生長過密，則彼此間的競爭會抹殺氣候對他們的影響。林地的突然疏放會促使輪寬的突增。樹輪寬度受火，林木砍伐，放牧等影響而降低相關係數。至於樹種則皆採用松類 (Conifer)。美國西南部以 Douglas fir (*Pseudotsuga taxifolia*) 最具代表性。用凋葉木輪紋則較差。

採樣地點則取排水較佳地區如丘頂，礫石土，林緣處疏鬆立地。如土層深含水量大或地下水位高，則水份供應不絕，則降水影響樹生長不大，所以年輪的寬度年年一樣。這叫做一致輪序 (Complacent Ring Series)；相反若生於排水良好地區，則年輪隨雨量大小而變，這種叫做靈敏輪序 (Sensitive Ring Series)。樹年學家僅對後者有興趣。(圖二)

3. 生長季節

生長季節和降雨季節很重要。若降雨季節與生長季節同時，則年輪的寬窄反映雨量的多寡 (Kozlowski, 1962)。不同地方有不同的降雨時間，有人發現用水年 (Water year) 求得的相關係數比用曆年 (Calendar) 求得的高。但需注意的是即使降雨不多，若土壤水份 (Antecedent Moisture Content) 充足，樹生長率仍不會降低，此為上季降水對植物的延後作用 (Carrying Over Effect)；相反，土壤表面冰凍，水不能滲入，雖降水大，年輪仍窄。熱帶地區若水份供應不缺乏，如雨林 (Rain Forest)，樹全年生長，則年輪不大明顯，但若有乾濕季之別，則樹輪分析是可應用。

五、年輪種類

1. 單輪 (Single Ring):

即由春材 (Spring Wood) 和秋材 (Summer wood) 所組成的年輪，通常一個單輪代表一年時間。

2. 複輪和假輪 (Double Ring or False Ring)

樹木在春季生長勢很大，細胞大而壁薄，故稱之春材，此時水分供應較足，氣候溫和，秋季時水分供應較少，氣溫蕭殺，形成層的分生組織產生小而壁厚的細胞，就是秋材。但在樹木停止活動以前 (Dormant)，在秋材形成的當中又得雨水，則生勢重起，形成層再分生薄壁細胞，於是造成複輪。有時這種情形會重複出現。在人為環境下，最高一年可有七個偽輪，所以分別這種假輪頗為重要。如果誤認複輪為二或三個單輪，那就導致水文推算的錯誤。複輪可在高倍顯微鏡下分別出來。秋材和春材的界線不清楚則為複輪。

3. 強化輪 (Reinforced Ring)

由於壓力的緣故，樹幹受力面細胞增強。由此種年輪可知風向，風力和起風時間。當然地質變動時，樹木傾斜亦會造成這種年輪。依樹種的不同，強化部位有的發生在上坡面樹幹，造成拉力；有的發生在下坡面，造成推力。

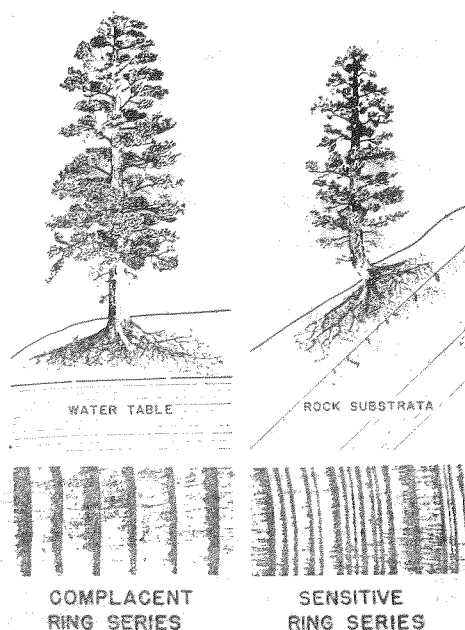


圖 二

4. 遺輪和局部遺輪 (Missing Ring and Local Absent Ring)

如果條件不佳，則樹木停止生長，二年中僅有一個年輪發生，則其中一個為遺輪。但有時在分析同一樹幹的不同斷面，可以發現遺輪的局部存在。這就是局部遺輪。遺輪可用其他的樣品比較出來。

六、實地採樣

1. 記錄取樣地點的位置、方向、高度、坡度、土壤、母岩和樹種、樹高、直徑、密度、日期、樣品號碼，採樣者。
2. 樣品種類
 - a. 整個橫斷面：用鋸子鋸取，通常 2 公分厚。

- b. 長方形橫斷面：將整個橫斷面切二刀，取有心材部棄二旁之半圓形部。
- c. 三角形橫斷面：多取於樹樁。通過心材的最大直徑取一楔形樣品。
- d. 圓條形樣品：用鑽孔器（通常用Swedish Increment Borer）在樹幹取樣，通常一樹取二個（相對方向各一）即足以代表全樹。
- e. 木炭和攷古蹟地木：

3. 樣品處理

a. b. c. 三種樣品，本身強度够，不需特別處理，只要將斷面鉋光。圓條形樣品則需放入塑膠管內，以防折斷。携入室內陰乾，膠入木條的U型槽內，等膠乾後以刮鬍刀片和沙紙鉋光。木炭和腐木則浸入汽油和石蠟的溶液中，等硬化後，僅用剃刀削光。但木炭的最佳剖面為折斷面而非鉋光面，因有時削下的碎屑會填住空隙而使輪紋不清楚。若用電木和丙酮的溶液或Alvar（商標名）則防範性更佳。

七、室內作業

1. 年輪點數

用手持放大鏡（hand lense）式顯微鏡（低倍）來數年輪。由心材開始每10年於樣品上打一點，50年打二點，100年打三點。

2. 骨圖繪製

骨圖（Skeleton Plot）為將年輪寬窄表示於方格紙上，以便與其他樣品所繪成的骨圖相互定代（Cross-dating）。其法為取一方格紙，每一格代表一年，而將這一年的輪寬度劃於紙上。比較整個樣品中年年輪寬，其相對愈窄的，在紙上的代表線愈長。

3. 相互定代

用點好的樣品，骨圖或藉記憶，將年代不明的樣品確定其年代。即寬輪對寬輪，窄輪對窄輪。若相符合，則一樣品知年代，另一樣品年代亦知。（圖三）

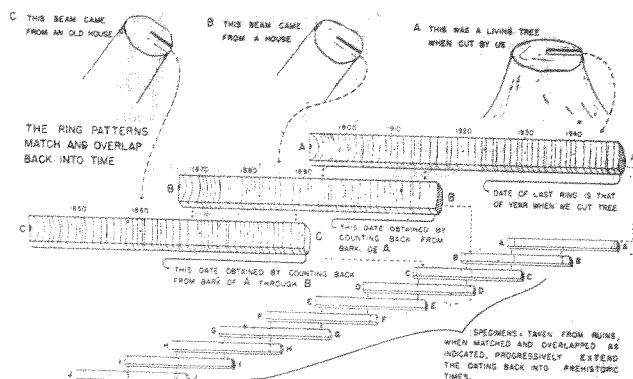


圖 三

4. 主圖（Master Chart）組合

將同一地區的許多樣品所繪製的骨圖，組成一個。往後此一地區所搜集的任何樣品都可以主圖來確定年代。

5. 輪寬測量

用測微儀 (Micrometer) 量每個年輪的長度然後以長度為縱坐標, 年代為橫坐標繪於方格紙上。

6. 標準化 (Standardization)

將量得的輪寬變成比例值。首先就第 5 步所得的圖找出生長勢線 (Trend Line)。用某年勢線之值除其年的寬度所得的比值。再繪在方格紙上, 這種圖也叫做年輪指數圖 (Ring Indices)

八、年輪和水文資料的比較

1. 水文記錄時間愈久, 比較結果愈佳。
2. 用相關係數分析計算的結果與觀察結果的偏差。
3. 林木冬眠時, 降水雖大植物不能用, 若為降雪則等到春融成逕流時, 植物才能利用, 故年輪指數與逕流相關係數比降水的大。但土壤經連續幾年小雨, 而相當乾燥, 若突然再經大雨則土壤吸收水量大而逕流却少。

$$RO = P - ET - I \pm \Delta S \pm \Delta G$$

RO 為逕流, P 為降水, ET 為蒸散、蒸發, I 為滲透, ΔS 為土壤水分變化, ΔG 為地下水變化。但樹木可利用這種土壤水, 所以年輪較寬。有時將這種過高或過低的情形不要 (filter out), 相關係數值就會大增。Douglass 用 Hann's Equation (如 $b' = \frac{a+2b+c}{4}$, a, b, c. 為連續三年輪寬, b' 為求得之 b 年輪寬) 來降低偏差。Stockton (1971) 亦證明用 Hann's Equation 修正的值比沒有修正的值其 r 高。

4. 利用上百年的輪寬資料和數十年的水文資料, 推得上百年的水文資料。如用此推得資料再由統計方法 (Iirsley 1958, 第 11 章) 來預測未來數百年水文情形。

九、結 語

臺灣地處亞熱帶, 為防洪蓄洪灌溉區。水文資料之取得為相當要緊的一件事。雖然沒有歷史悠久的流量站, 但大自然已記錄於樹幹內。只要找到靈敏度高的樹種, 即不難獲得此種資料。由此資料, 對於臺灣省的治山防洪及大水庫的興建都可做詳細的判斷。

十、參考資料

1. Antevs, Erret, "Rainfall and Tree Growth in The Great Basin," *Am. Geograph. Soc. Spe. Publ.* 21, 1938.
2. Daubenmire, R. F., *Plant and Environment*. New York: John Wiley and Sons Inc., 1967.
3. Douglass, A. E., "Notes of The Technique of tree-ring Analysis." *Tree-ring Bulletin*. Vol. 7, no. 1; vol. 7, no. 4; vol. 8, no. 2; vol. 10, no. 4. Tucson: University of Arizona Press.
4. Fritts, Harold C., *Bristlecone Pine in The White Mountains of California*. Tucson: The University of Arizona Press. 1969.
5. Gatewood, J. S. and et al., "General Effects of Drought on Water Resources of The Southwest," *U.S.G.S. Prof. paper* 372-B. 1964.
6. Glock, Waldo S., *Principles and Methods of Tree-ring Analysis*. Washington D.C.: Carnegie Institute of Washington. 1937.
7. Hall Jr., E. T., "Preserving and Surfacing Rotted Wood and Charcoal." *Tree-ring Bull.*

vol.12, no.4.

8. Hardman, George, and O.E. Reil, "The Relationship between Tree Growth and Stream Runoff in The Truckee River Basin, California-Nevada," *Univ. Nevada Ag. Exper. Sta. Bull.* 141, 1936.
9. Hawley, Florence, *Tree-ring Analysis and Dating in The Mississippi Drainage*. Chicago: The University of Chicago Press.
10. Keen, F. P., "Climatic Cycles in Eastern Oregon as Indicated by Treerings," *Mon. Weatherly Review* 65(5) : 175-188. 1937.
11. Kozlowski, T.T., Ring and Tree Growth," *Tree Growth*. New York: Donald Press Co., 1962. pp.23-56.
12. Lassetter, Jr., Ray, *A Dendrochronological Investigation in The Clinch River Drainage, Tennessee*. M.S. Thesis. Tucson: Library, U.A.
13. Linsley Jr., Ray K., et al., *Hydrology for Engineer*. New York: McGraro-Hill Book Co., 1958.
14. Phipps, Richard L., "The Potential Use of Tree-ring in Hydrologic Investigations in Eastern North America with some Botanical Considerations." *Water Resource Research*. vol.6, no.6. pp.1634-1640.
15. Potts, H.L., "A Six Hundred Year Record of Drought Recurrences," Paper presented at the First Water Resources Engineering Conference, Am. Soc. Civil Engineers, May 18, 1962. Omaha, Nebraska.
16. Schulman, Edmund, *Tree-ring Hydrology of the Colorado River Basin*. Tucson: U.A. Oct. 1945a.
"Tree-ring and runoff in the South Platte River Basin," *Tree-ring Bull.* Tucson: U.A. vol.2, no.3, 1945b.
"Tree-ring Hydrology in Southern California." *Tree-ring Bull.* Tucson: U.A. no.4, 1947. ,
Dendroclimatic Changes in Semiarid America. Tucson: U.A. Press. 1956.
17. Stockton, Charles Wayne, *The Feasibility of Augmenting Hydrologic Records Using Tree-ring data*. Dissertation for Ph.D. Tucson: U.A. Library. 1971.
18. Stokes, Marvin A., and Terah L. Smiley. *An Introduction to Tree-ring Dating*. Chicago: The Univ. of Chicago Press Ltd. 1968.