

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

河川網路之信息熵分析及其於計劃集水區碎形推估上之應用

**The Analysis of Informational Entropy of River Networks and Its
Application to Fractal Estimation of Project Watersheds**

計畫類別：■個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC - 89 - 2211 - E - 002 - 143

執行期間：89年8月1日至90年7月31日

主持人：王如意 國立台灣大學農業工程學研究所教授
研究人員：王鵬瑞 國立台灣大學農業工程學研究所博士班研究生
研究人員：黃欣怡 國立台灣大學農業工程學研究所碩士班研究生

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立台灣大學農業工程學研究所

中華民國九十年十月二十三日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

河川網路之信息熵分析及其於計劃集水區碎形推估上之應用 The Analysis of Informational Entropy of River Networks and Its Application to Fractal Estimation of Project Watersheds

計畫編號：NSC 89-2211-E-002-143

執行期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人：王如意 國立台灣大學農業工程學研究所教授
研究人員：王鵬瑞 國立台灣大學農業工程學研究所博士班研究生
研究人員：黃欣怡 國立台灣大學農業工程學研究所碩士班研究生

一、中文摘要

本研究之目的為建立一種機制，期使碎形之理論可實際應用於集水區之逕流推估上。一般碎形河川網路生成之方法乃利用碎形生成單元(fractal generator)經遞迴疊代(recursive replacement)之方法繁衍合成，本研究並進一步引用寬度函數(width function)詮釋集水區之河川網路結構，進而利用歸納之方法推導出適合各種碎形生成單元類型之寬度函數通式以繁衍合成碎形河川網路，並代入寬度函數為主軸之地貌型瞬時單位歷線(width-function based geomorphologic instantaneous unit hydrograph, WF-GIUH)模式以進行集水區之降雨 - 逕流推估。研究中並以河川網路信息熵(informational entropy)與累積寬度函數(cumulative width function, CWF)作為選擇合適碎形生成單元之判別標準。本研究選用臺灣北部淡水河流域以及中部大甲溪流域之德基水庫上游集水區數場颱風事件作為模式檢定與驗證以評估模式之適用性。由研究結果顯示，本研究已成功地將碎形理論實際應用於集水區之逕流推估應用上，且該機制可進一步加以研析以期能適用於中上游集水區之颱風事件逕流模擬，俾供臺灣集水區防洪規劃及水土保持研析之參考應用。

關鍵詞：碎形生成單元、寬度函數、信息熵。

Abstract

An approach by applying the fractal concept to estimate hydrologic response is proposed in this study by matching suitable self-similar networks (SSNs) to a specific watershed and modeling the runoff with a width-function based geomorphologic instantaneous unit hydrograph (WF-GIUH). In order to work out the identification between a specific basin and SSNs that are generated by generators, a generalized width function is derived. Subsequently, cumulative width functions (CWF) on the basis of the derived function, as well as the informational entropies are used as criteria to decide the best pattern of the generator for the specific watershed. The WF-GIUH model is then applied to calculate the runoff of the project watershed

as an outcome of the estimation. To assess the adaptability of the estimation model, several watersheds of northern and middle Taiwan are selected as study areas. The analytical results of the outflow estimation indicate that the fractal algorithm can be implemented successfully for the calculation of hydrologic responses.

Keywords: Fractal generator, Width function, Informational entropy.

二、緣由與目的

一般地貌型瞬時單位歷線模式主要是針對一特定河川級序所建立者，若要分析另一種不同級序之集水區則必須建構另一種不同之模式。明顯地，地貌型瞬時單位歷線所建立之模式亦並不適合作為分析不同比例尺度下之降雨 - 逕流過程。因此，從上述兩點得知：水文學中尺度問題對於探討降雨 - 逕流過程實為一重大之瓶頸。

1976年由Kirby提出寬度函數之理論有效地將河川網路類型與集水區逕流反應予以結合；而Fiorentino與Claps首先於1992年將寬度函數求得之訊息熵(informational entropy)應用於河川網路中，且經由合成及天然河川網路等一連串之試驗後，於1993年Fiorentino等人發現寬度函數求得之訊息熵與河網級序、河網量值(magnitude of river network)與地形直徑有相當密切之關聯。

本研究以筆者近數年來對地貌型水文模式之研究為基礎，輔以國內外相關研究之文獻，再藉由上述各項理論及解析工具蓬勃研發之結果，建立一種機制可將碎形之理論實際應用於集水區之逕流推估上進行不同比例尺度下之河川網路逕流特性之研究，期冀可有效地改善地貌型水文模式於模擬時所受地文尺度效應之影響，並可進一步提供水文模擬時，妥慎選擇合宜地文尺度之依據與參考。

三、研析步驟

(一) 通式推導

本研究首先發展兩種不同形式之寬度函數通式，且均可有效地計算各種不同主流原始河網疊代

後各種距離下之寬度函數。茲將此二類通式之示意圖繪如圖1並概述如下：

1.第一類通式

(1)當 $r=1$ 時：

$$W_m(j) = W_1(1) \cdot W_{m-1}(j) = 1 \cdot W_{m-1}(j), \quad (1)$$

$$j=1,2, \dots, U_{m-1}$$

(2)當 $r=2,3, \dots, \Delta_1$ 時：

$$W_m[(r-1)U_{m-1} + j] = W_1(r) \cdot W_{m-1}(j), \quad (2)$$

$$j=1,2, \dots, U_{m-1}$$

2.第二類通式

上述之通式並無法滿足所有之主流原始河網型式，亦即當其 $\Delta_1 \neq \Lambda_1$ 時即無法適用第一類通式。因此，王氏等人乃推導出適用於 $\Delta_1 \neq \Lambda_1$ 之第二類通式，即

(1)當 $r=1$ 時：

$$W_m(j) = W_1(1) \cdot W_{m-1}(j) = 1 \cdot W_{m-1}(j), \quad (3)$$

$$j=1,2, \dots, J_{m-1}$$

(2)當 $r=2,3, \dots, \Delta_1$ 時：

$$W_m[(r-1)J_{m-1} + j] = W_1(r) \cdot W_{m-1}(j) + W_1(r-1) \cdot W_{m-1}(J_{m-1} + j) \quad (4)$$

$$j=1,2, \dots, J_{m-1} \quad \text{if } r=2,3, \dots, U_1 - 1$$

$$j=1,2, \dots, U_{m-1} \quad \text{if } r=U_1$$

(二) 河網型態辨識

首先利用河川網路信息熵分析數種可能之主流原始河網型態，並進一步將其設定為SSN中之碎形生成單元，再利用SSN之寬度函數通式獲得各類型河網之寬度函數。研究中再經由上述各種類型河網累積寬度函數(cumulative width function, CWF)之計算，並與研究集水區內真實河網之累積寬度函數比較，則可得到各類型河網之累積寬度函數差異最大值(maximum difference of cumulative width function, UCWF_{max})，最後即選擇具有最小UCWF_{max}之河網型態為該集水區之主流原始河網型態。

(三) 模式建立

為充分瞭解不同型式主流原始河網於實際流域上之實用性，本研究以台灣北部淡水河流域及中部大甲河流域為實例研析之對象。淡水河流域為台灣第三大河川，河流全長 159 公里，流域面積 2726 平方公里；研究中選定其支流大漢河流域上游之橫溪集水區及三峽溪集水區與另一支流新店流域之景美溪上游寶橋集水區為北部地區之研究區域。大甲河流域為台灣第五大河川，河流全長 140 公里，流域面積 1235 平方公里；研究中選定德基水庫上游集水區為中部地區之研究區域。將研析流域之颱風資料輸入寬度函數之降雨 - 逕流模式，並

藉由 SCE 參數優選方法以優選出最佳參數 μ 與 D_L ，並與其他颱風場次進行驗證，藉以評估主流原始河網之適用性。

四、結果與討論

本研究應用碎形理論之自我相似性以選定之原始河網進行疊代，並從事天然河川網路之降雨 - 逕流模擬。對於研究流域中簡化河川網路之步驟為將面積門檻值為 1 之河川網路逐步以河溪級序為門檻簡化至最大河溪級序為 2 之河川網路。列舉其中二個研究流域之集水區河川網路由繁至簡之簡化結果如圖 2 至圖 5 所示。茲將研究所獲致結果分述如下：

1.寶橋集水區

本集水區驗證之結果列於表 1，並列舉其中一場，如圖 6 所示。其推估之歷線於整體趨勢之掌握上具有相當不錯之結果。

2.三峽集水區

五場颱風之驗證模擬結果於效率係數上皆達到 90% 以上，其他評估驗證結果之參數如表 2 所示；並列舉其中一場琳恩颱風為例展示如圖 7 所示。該場次之洪峰到達時刻提早 9 小時，究其原因應為此颱風之逕流歷線有兩個高洪峰之狀況，且最高之洪峰出現於第二個高峰處，而模擬結果雖亦能掌握實際資料有雙峰之趨勢，然而模擬結果均以第一個高峰為最大洪峰發生處，因此發生洪峰到達時間於實際值與模擬結果產生差異，惟於整體之模擬上仍令人滿意。

3.橫溪集水區

評估驗證結果之各項參數列於表 3。整體而言，模擬之結果頗為理想。相較上述兩個集水區於洪峰到達時間之準確性，橫溪集水區所獲致之結果相當良好，並列舉其中一場，如圖 8 所示。

4.德基水庫上游集水區

評估驗證結果之各項參數表列於表 4。模擬結果列舉一場歐菲莉颱風如圖 9 所示，其中模擬洪峰到達時間較晚之原因與觀測資料之準確性應有較大之關係。

五、結論

綜觀上述四個研究之集水區，所選擇之原始河網應有相當之代表性。除去觀測資料誤差之因素外，大部分之模擬結果均能掌握其趨勢，因此就整體而言應可接受各集水區之原始河網予以替代天然河川。因此，本研究已成功地將碎形理論實際應用於集水區逕流推估之應用上，且該機制可進一步加以研析俾供臺灣集水區防洪規劃及水土保持研析之參考應用。

六、計畫成果自評

本研究計畫以地貌型水文模式之研究為基礎，輔以國內外相關研究之文獻，再藉由上述各項理論及解析工具研發而建立一種機制，期使碎形之理論實際應用於集水區之逕流推估上，並進行不同比例尺度下之河川網路逕流特性之研究。茲將本研究所獲致之主要成果分述如下：

1. 完成計畫流域歷年來氣象、水文、地文及河川網路等相關資料之蒐集、建檔及研析。

- 完成集水區之 DEM 資料整理及圖幅接合等工作，並進一步修正及填補錯誤之 DEM 資料。利用自動化方式建構河川網路，完成不同大小之面積門檻值所擷取流域中各子集水區不同尺度之河川網路，並予以繪製成圖。
- 完成計算及統計 Horton-Strahler 河溪定律之相關地文參數，並完成研究區域內數種碎形生成單元合成之河川網路繁衍，以進行河網碎形分析與信息熵關係式推導，並以研究區域內不同子集水區之河川網路碎形特性加以統計與驗證，進而建立碎形與信息熵間關係式之理論架構。
- 本研究中已完成以主流原始河網替代天然河川網路之構想，研析結果中發現主流原始河網不僅有通式計算以滿足河川網路中之 Horton - Strahler 法則，更有一套完整之寬度函數計算通式以推求地貌型瞬時單位歷線模式，期能實際地模擬降雨 - 逕流之過程。
- 本研究中可確定主流原始河網疊代次數之多寡並不影響模擬之結果，由此除可確認天然河川網路本身之自我相似性外，更說明以原始河網替代河川網路後之尺度不變性，可有效解決尺度效應之問題。

綜合上述之各項成果可知，本研究計畫已達致所預期完成之各項工作目標，且研習過程中由摸索、瞭解、鑽研而進一步辯證台灣集水區獨特之河川網路在水文模擬上之重要性。本計畫之研究成果不僅可有效地改善地貌型水文模式於模擬時所受地文尺度效應之影響，並可藉此水文與地文數位化結合之研究結果，以進一步協助達成集水區永續經營與管理之目標。

七、參考文獻

- 王如意、王鵬瑞：「流域河網之碎形分析及其於地貌型逕流模式建構上之應用」，農委會水利科技研究發展計畫 - 農業水資源經營技術研究計畫報告，民國 87 年 9 月。
- 王如意、高銘佐、王鵬瑞：「碎形生成單元於河川網路上之應用」，八十九年度農工研討會，民國 89 年 12 月。
- 王如意、陳展榮、王鵬瑞：「河川網路寬度函數之地貌型瞬時單位歷線模式」，農業工程學報，第 46 卷第 4 期，民國 89 年 12 月。
- Claps P., M. Fiorentino and G. Oliveto, "Informational Entropy of Fractal River Networks," *J. Hydro.* 187, 145-156 (1996).
- Rodriguez-Iturbe, I. and A. Rinaldo, *Fractal River Basin* (Cambridge University, United Kingdom, 1996), pp.468-508.
- Wang, Ru-yih and Peng-jui Wang, "Evaluation of the Fractal Dimensions of River Networks Using two Types of Width Function," *Proceeding of the 12th Congress of APD-IAHR* (2000).

謝誌

本研究計畫承蒙 行政院國家科學委員會工

程處提供研究經費，謹致謝忱。

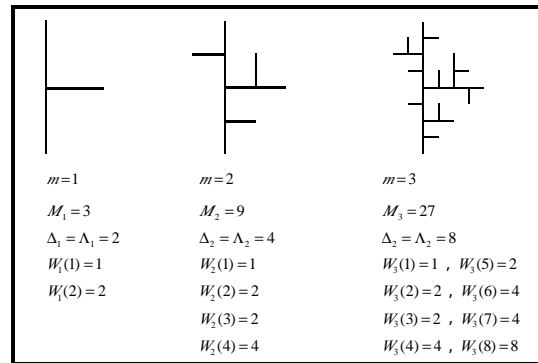


圖 1(a) 第一類通式之原始河網寬度函數分布圖

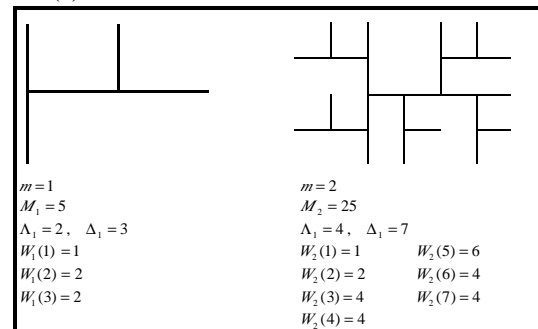


圖 1(b) 第二類通式之原始河網寬度函數分布圖

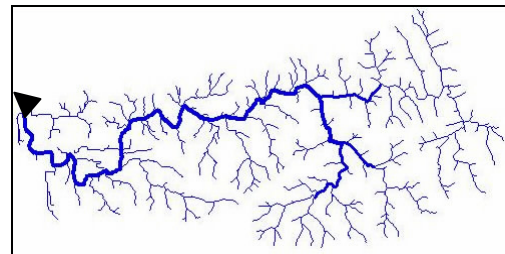


圖 2 寶橋集水區河川網路圖

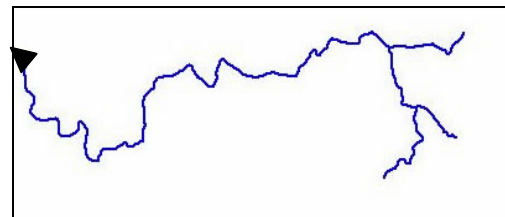


圖 3 寶橋集水區河川網路簡化後示意圖

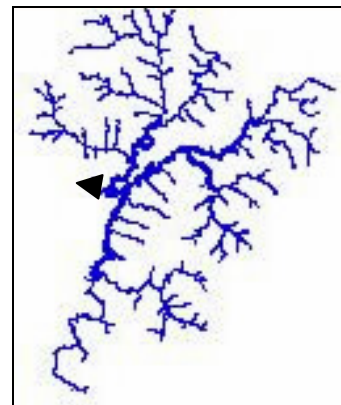


圖 4 德基水庫上游集水區河川網路圖

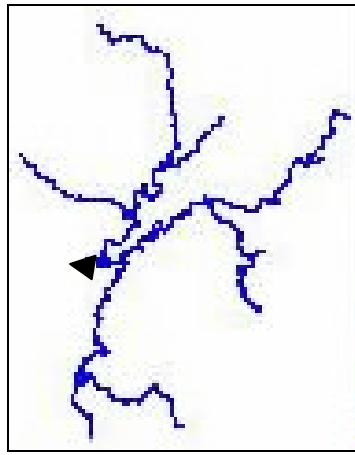


圖 5 德基水庫上游集水區河川網路簡化後示意圖

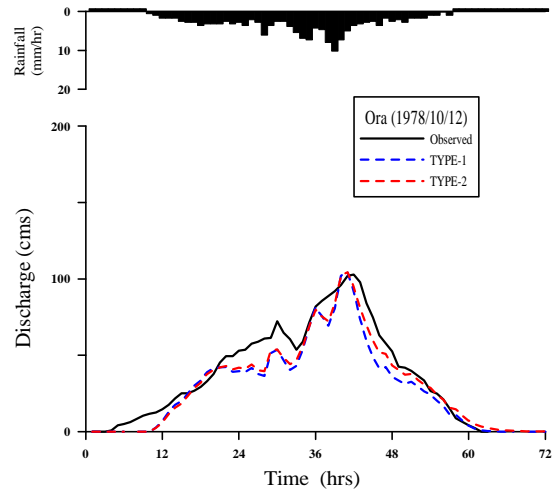


圖 8 橫溪集水區歐拉颱風驗證圖

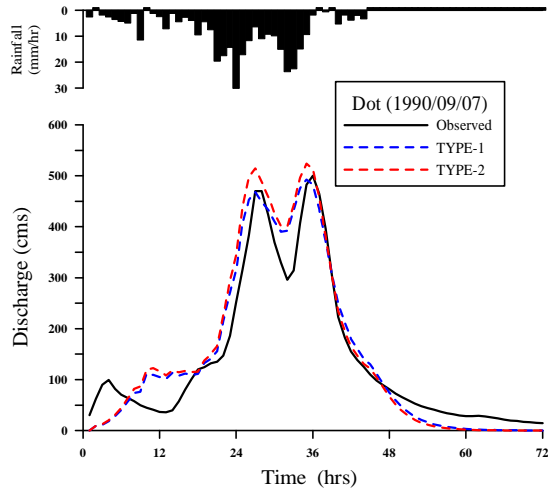


圖 6 寶橋集水區黛特颱風驗證圖

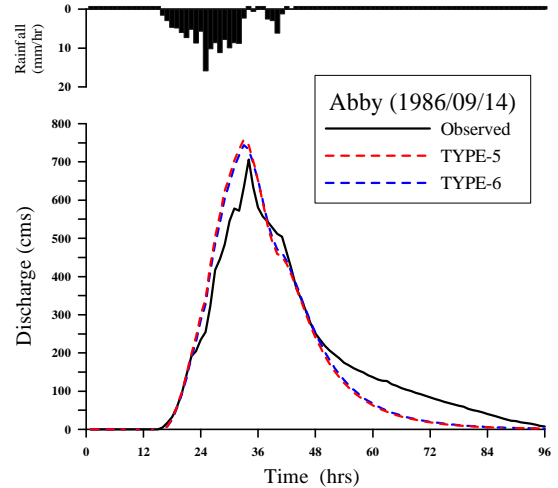


圖 9 德基水庫上游集水區艾貝颱風驗證圖

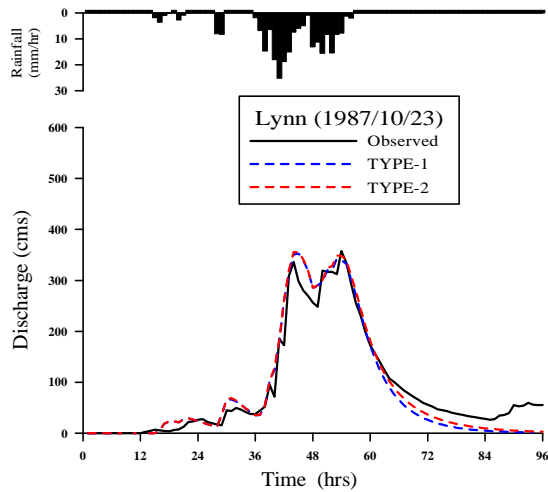


圖 7 三峽集水區琳恩颱風驗證圖

表 2 三峽上游集水區颱風場次驗證結果表

項目	CE	EQP(%)	ETP(hrs)	VER(%)
歐敏(Irving)	0.94	3.05	-14	11.98
艾貝(Abby)	0.92	19.77	2	-8.73
賽洛馬(Thelma)	0.94	-4.07	2	-6.51
琳恩(Lynn)	0.96	-1.35	-9	-6.82
寶莉(Polly)	0.95	-24.17	-1	-7.29

表 3 橫溪集水區颱風場次驗證結果表

項目	CE	EQP(%)	ETP(hrs)	VER(%)
歐拉(Ora)	0.98	1.39	-1	-13.31
琳恩(Lynn)	0.96	-23.95	1	-12.15
寶莉(Polly)	0.85	-26.43	0	-13.75

表 1 寶橋集水區颱風場次驗證結果表

項目	CE	EQP(%)	ETP(hrs)	VER(%)
葛拉斯(Gladys)	0.83	-9.61	1	-9.61
黛特(Dot)	0.87	-8.11	1	3.237

表 4 德基水庫上游集水區颱風場次驗證結果表

項目	CE	EQP(%)	ETP(hrs)	VER(%)
茱迪(Judy)	0.96	14.03	-3	-6.75
艾貝(Abby)	0.96	7.36	-1	-7.03
歐菲莉(Ofelia)	0.94	-13.41	6	-6.18
楊希(Yancy)	0.96	21.83	1	-6.77