

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

即時加熱退火隨機碎形河網寬度函數生成之研析及其於水  
文規劃之應用

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2211-E-002-038-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣大學生物環境系統工程學系暨研究所

計畫主持人：王如意

計畫參與人員：洪君伯

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 10 月 15 日



# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

即時加熱退火隨機碎形河網寬度函數生成之研析及其於水文規劃之應用

## An Analysis of Real-Time Heating and Annealing Width Function Generation of Random Fractal River Network and Its Application to Hydrological Planning

計畫編號：NSC-92-2211-E-002-038

執行期限：92年8月1日至93年7月31日

主持人：王如意 國立台灣大學生物環境系統工程學系教授

研究人員：洪君伯 國立台灣大學生物環境系統工程學研究所博士班研究生

### 一、中文摘要

一般碎形河川網路生成之方法乃利用碎形生成單元經遞迴疊代之方法繁衍合成，而面對台灣集水區之特殊地文及水文條件下，此種僅以單純碎形生成單元繁衍模擬之方式實不易反應出台灣不同集水區內河川網路之高度變異特性，故本研究擬引入即時隨機碎形生成(real time random fractal generation)之寬度函數(width function)，作為河川網路結構之量化指標，並進一步研析河網結構之特性及其對水文響應函數之影響。隨著颱風時期降雨量之增加，河川網路之生成並不屬於完全隨機，而應歸類為受限於降雨特性變化之條件式隨機特性，亦即於颱風暴雨過程中各時段河網生成之隨機特性乃具有時變性而顯示出各時段之河網型態有所差異。故本研究擬以台灣地區之數值高程模式(DEM)資料及地理資訊系統(GIS)軟體 River Tools，設定不同大小之面積門檻值，以擷取流域中各集水區不同尺度之河川網路；繼而以基本河網型態之寬度函數配合隨機碎形生成及加熱退火理論進行計畫集水區之河網寬度函數即時隨機生成繁衍及模擬，最後再套配以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)模式進行集水區之瞬時單位歷線推估。本研究提供另一種集水區地形特性之分析方式，進而繁衍並合成集水區之河川網路寬度函數，希冀可提昇台灣坡地集水區單位歷線推估之精確度，俾能提供集水區防洪規劃及水土保持研析之參考應用。

**關鍵詞：**隨機碎形生成、加熱退火理論、寬度函數、地貌型瞬時單位歷線。

### Abstract

The synthetic river networks are often generated from the “recursive replacement algorithm.” The recursive process starts with an initiator, then it is substituted with the generator and subsequently each segment of the generator becomes an initiator, being substituted

again. Such a single-generator generation algorithm, however, may not really reflect the natural river network of the basin due to the uniqueness of Taiwan’s geomorphologic and hydrologic conditions. With the above considerations in this study, the width function and multifractals theory are adopted to generate the fractal river networks which are more multiple and flexible. In this study, the heating or annealing theory and random fractal generation are proceeded to explore the suitable properties of the river network for a basin. The generalized equations for width function of random fractal river network are needed to induce by the real-time heating and annealing process of width function. Accordingly, the width-function based geomorphologic instantaneous unit hydrograph model (WF-GIUH model) can be built up. And various numerical experiments are carried out in order to explore the random processes in channel networks generation. The study is prospective with an aspect to the exploration of an appropriate random fractal generation algorithm, offers another specific method to evaluate the geomorphologic characteristics of the hillslope watersheds and be referable to the hydrological simulation for project watersheds.

**Keywords:** Random fractal generation, Heating and annealing theory, Width function, Geomorphologic instantaneous unit hydrograph(GIUH).

### 二、緣由與目的

台灣坡地集水區地形變化複雜且具高度空間之變異性，其降雨一逕流過程乃直接由集水區之地貌特徵及匯流特性所影響。然而一般地文參數由地形圖上所量得，故其精確度將受地形圖比例尺之大小不同而有所影響，亦即採用不同比例尺地形圖所展現出之河川網路結構不盡相同，各級序之河溪數目、長度等地文參數亦隨之改變，故必然造成水文模式建立上之差異，進而影響逕流模擬之結果。故近一、二年間筆者乃嘗試以碎形理論中自我相似之特性建構河川網路，亦即利用不同類型之碎形生成

單元及遞迴疊代方法進行繁衍合成之集水區河川網路架構；經由計算後，可將其轉換為寬度函數並進一步代入地貌型瞬時單位歷線模式中以進行集水區之降雨—逕流模擬。然而天然河川網路及其所衍生之寬度函數於暴雨時期具有相當大之時間變異性，常隨著降雨量之改變而有所差異，若進一步將其應用於集水區之逕流模擬上，則對於時變性河網之分析探討相當不易。有鑑於此，若能將天然河川網路之寬度函數分布變化視為一種加熱退火歷程而進行即時隨機碎形生成繁衍，則有利於降雨—逕流模擬效率之提昇。本研究擬選基本之河網型態後進行具加熱退火特性之隨機碎形河網生成，以代表複雜之天然河川網路結構變化並實際地應用於計劃集水區內瞬時單位歷線之估算上，期冀可提供台灣集水區防洪規劃及水土保持研析之參考與應用。

### 三、研析步驟

#### 1. 加熱退火理論

自然界之物質分子與能量之關係，大多隨著溫度上升，分子間動能增加，能量上升；反之，隨著溫度下降，分子間動能減少，能量降低。而加熱退火理論之基本精神即是藉由物質溫度上升(加熱)或下降(退火)時能量之變化，探討分子運動之隨機性，據以分析一般歷程本身所潛藏之能量變化特性，並研究歷程變化時因應能量變化所產生之隨機特性變化。針對各種歷程之加熱退火過程，歸納出下列數種廣義之歷程溫度特性與變化關係，茲分述如下：

##### A. 初始溫度

以一個歷程來說，有開始也有結束，但若將歷程視為一種物質時，物質本身即具有能量，動能不等於零，分子間已具有微小之運動隨機性。若以溫度為零視為隨機性為零，則歷程之初始溫度不等於零。因此，可以依據歷程之特性定義其初始溫度，而初始溫度之意義則代表歷程一開始即具有隨機性，其隨機性不全為零。

##### B. 升降溫歷程

以自然界之物質來說，於加熱升溫或冷卻降溫之過程實屬複雜，而相對於歷程來說，不同之歷程則因特性不同，當其被視為是某種特定物質時，亦具備物質之升降溫複雜特性。由於歷程之加熱升溫與退火降溫過程相當複雜，且隨著歷程不同而有相當大之差異，在加上加熱退火升降溫過程亦視使用者之需求與所欲解決之問題特性而有所差異，並無法以狹義之定義決定歷程之加熱退火升降溫歷程。

##### C. 沸點溫度

一種物質型態所能包含之能量有限，意即物質之能量隨加熱到達一特定能量或溫度上升到達沸點時，物質之型態改變為汽態，隨機性到達最高。如水加熱至沸點時，水分子轉變為水蒸汽，分子間動能極大，四處飄散，隨機性到達最高。故以一歷程來說，當溫度超過其沸點溫度時，隨機性極高，接近完全隨機。

#### D. 冰點溫度

冰點溫度之定義大致與沸點溫度相反，隨著物質退火降溫到達冰點時，物質之型態改變為固態，隨機性降至最低。如水降溫至冰點時，水分子轉變為冰，分子間動能極小，不易移動而呈現固態，隨機性降至最低，但縱使已呈現固態，由於分子間能具有少許動能，仍有移動之可能性，隨機性不完全為零。以歷程來說，當溫度降至超冰點溫度以下時，隨機性相當低，但亦不能將其視為完全不具隨機特性，僅可將冰點溫度以下之隨機性視為一極低之定值。

#### 2. 加熱退火理論與河網生成之關係

由自然現象觀察可知，隨著降水之發生，原本乾燥之地面逐漸漫地流，意即形成較綿密之河網。因此，隨機生成之河網可說與降雨分布具有相當大之關聯性。一般來說，降雨初期(降雨較小時)，集水區內降雨發生地點分布較為不均勻，隨機性較高；降雨中期(降雨較大時)，集水區內降雨發生地點分布較為均勻，隨機性較低；直至降雨末期(降雨減小至無時)，集水區內降雨發生地點分布開始不均，隨機性升高。而由加熱退火之理論可以得知，降雨時期河網之變化特性與固體物質之加熱與降溫歷程正好相反，因此可以藉由加熱退火理論來決定河網寬度函數即時隨機生成之特性。

由於蘊藏於歷程內部之能量不能單純僅由歷程變化特性予以判斷，故通常需將歷程進行初步轉換。歷程初步轉換則依據所欲模擬之物理現象特性及欲解決之問題而定。以降雨歷程(降雨時間序列)， $r(x)$ 來說，由於降雨過程中降雨量變化有大有小，若直接以降雨量大小代表溫度之變化並不妥，且降雨過程(降雨時間序列)中少部分時刻降雨量降低並不代表河網密集度跟著降低，故河網密集度應與近數小時之累積降雨有關。則經由歷程初步轉換可以獲得初步轉換歷程  $h(x)$  如下所示：

$$h(x) = \frac{\sum_{i=x-n}^x r(i)}{n} \quad (1)$$

加熱退火溫度變化歷程  $T(x)$  則依據降雨與河網地文關係而定，初步可以決定為：

$$T(x) = T(x-1) + [h(x) - h(x-1)] / [abs(h(x) - h(x-1))] \quad (2)$$

沸點溫度  $T_{max}$  則依各物理現象之特性而定。如降雨歷程之沸點溫度可依據累積降雨量大小而定。決定沸點溫度後即可獲得河網生成之即時隨機機率值：

$$P(x) = \min[1, \frac{T(x)}{T_{max}}] \quad (3)$$

藉由式(3)及隨機亂數間之關係即可決定碎形生成時各遞迴迭代繁衍與否。而當上述理論應用於河網及寬度函數生成之模擬時，不僅河網型態具有隨機變化之特性，且其隨機性乃依據水文環境之變化而有所改變，使整體河網之模擬能具有即時變化之特性，更符合颱風暴雨時期實際之地貌變化。

#### 3. 模式建立

本研究選擇台灣北部淡水河流域寶橋集水區

為研究對象。河川長度由上游至寶橋站全長為 28.95 公里，集水區面積為 109.22 平方公里，其電傳雨量站為經濟部水利署所轄屬，計有坪林、大桶山、五堵與中正橋四站，並以寶橋流量記錄作為模式檢定與驗證之憑據，據以建立以寬度函數為主軸之地貌型瞬時單位歷線模式，俾供上游集水區防洪規劃及水土保持工程之參考應用。研析流域與集水區示意圖如圖 1 所示。集水區所使用之平均漂移速度  $u$  及擴散係數  $D_L$  兩參數，主要乃依據表 1 中由陳氏於 2000 年以 SCE 法優選多場颱風所得之平均結果為代表，其中所採用之平均漂移速度  $u$  為 0.68(m/sec)，擴散係數  $D_L$  為 2131(m<sup>2</sup>/sec)，其詳細參數檢定結果如表 1 所示。

決定河川網路疏密程度時，乃將降雨資料之加熱退火溫度作為生成與否之門檻值，再藉以推求生成機率，以進行河川網路生成。其河網疏密程度與降雨量間之加熱退火關係如圖 2 所示。

#### 四、結果與討論

本研究應用河川網路碎形自相似特性生成不同加熱退火溫度下之寬度函數，並套配地貌型瞬時單位歷線模式探討瞬時單位歷線型態之變化。茲將各結果與討論分述如下：

1. 本研究首先利用 RiverTools 等地理資訊系統處理軟體進行寶橋集水區之 DEM 資料分析與河網擷取，其結果如圖 3 所示。
2. 針對颱風事件中之降雨量變化資料進行加熱退火現象之分析與計算。各事件之雨量變化如圖 4 至 6 之(a)圖所示，而根據降雨量變化計算所得之加熱退火溫度則如圖 4 至 6 之(b)圖所示。由圖 4 至 6 之(b)圖間之比較可以看出，由於不同颱風事件之降雨量變化並不相同，其所獲得之加熱退火現象溫度變化差異亦相當大，足見不同降雨一逕流歷程內含之能量變化並不相同，其表現於外之物理現象即不相同。
3. 得知各颱風事件之加熱退火溫度變化後，即可據以計算各時段之即時河網生成機率。根據如圖 4 至 6 之(b)圖所示之寶橋集水區加熱退火溫度變化圖，初步可將生成機率為 1 時之溫度訂為 13，當加熱退火溫度超過或等於 13 時，其碎形河網型態為完全生成，即河網最密集之時期。而根據此類原則計算所得之生成機率如圖 4 至 6 之(c)圖所示。生成機率之大小代表河網之疏密程度，生成機率越高表示河川網路密集，越低則表示河網越稀疏，而由圖 4 至 6 之(c)圖可以看出，不同降雨一逕流歷程由於其加熱退火現象不同，其河網疏密程度於歷程間之變化亦大不相同。
4. 河川網路之型態變化將影響其所相對應之寬度函數與瞬時單位歷線。有鑑於此，本研究進一步藉由以寬度函數為主軸之地貌型瞬時單位歷線模式進行寶橋集水區瞬時單位歷線於降雨一逕流歷程間即時變化之探討。茲選取戴特颱風事件於加熱退火現象高溫、中溫與低溫時之瞬時單位歷線各一列示如圖 7 所示；圖 7 中並將各溫度之

瞬時單位歷線與經由 DEM 河網所求得之瞬時單位歷線進行比較。由比較結果可以發現，經由加熱退火現象所求得隨機碎形河網之瞬時單位歷線確實因溫度不同而改變，完全符合降雨一逕流歷程地文環境變化所帶來之影響。相較於 DEM 河網僅能固定型態之應用，確實具有更佳之彈性與模擬性。

5. 本研究目前僅將加熱退火現象應用於河網疏密程度之探討，意即只探討隨機碎形即時生成時之生成次數，並未進一步探究降雨分布之影響，加上模式參數是否具備加熱退火之特性亦有待深入研析，故本研究並未從事逕流量之模擬，而僅著重於降雨一逕流歷程加熱退火現象之變化與瞬時單位歷線間之關係。若擬進一步從事逕流量之模擬，則有待後續研究不懈針對各類水文與地文因子之加熱退火現象進行剖析。

#### 五、結論

本研究闡釋自然界之加熱退火現象分析理論，並進一步將其應用於降雨一逕流歷程之隨機碎形河川網路模擬，相較於傳統利用 DEM 河網模擬或一般碎形模擬，具有更佳之彈性與符合實際集水區之地文變化。研究中將一般降雨一逕流歷程所內含之加熱退火溫度變化進行分析，更有助於明瞭蘊含於降雨一逕流歷程中之能量變化。結果顯示本研究已成功將加熱退火理論與即時隨機碎形河川網路之生成予以連結，並進一步實際應用於集水區瞬時單位歷線之推估上，期能提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，再藉由上述各項加熱退火理論及解析工具研發而建立一種機制，期使隨機碎形生成架構實際應用於集水區之即時河川網路型態模擬上，並進行不同加熱退火溫度下之瞬時單位歷線研究。茲將本研究所獲致之主要成果分述如下：

1. 完成計劃流域歷年來氣象、水文、地文及河川網路等相關資料之蒐集、建檔及研析。
2. 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。
3. 完成研析集水區以寬度函數為主軸之地貌型瞬時單位歷線參數優選與模式建立，並據以進行瞬時單位歷線模擬與探討。
4. 本研究進一步提出具有加熱退火現象之地貌型瞬時單位歷線之計算，並以數場颱風事件測試其效果。於不同颱風事件下，集水區具有不同之加熱退火溫度變化，其所對應之河網疏密程度亦有因之不同。加熱退火現象之探討與引用，確實能掌握集水區降雨一逕流歷程之能量

變化情形，有助於訂定河川網路隨機碎形生成時之即時生成機率與河網疏密程度。

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探討地貌型水文模式於模擬時所受加熱退火現象之影響，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

- [1] 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。
- [2] 王如意、王耀慶、王鵬瑞、洪君伯：「河川網路寬度函數之碎形簡化研究及其於降雨－逕流歷程之應用」，農業工程學報，第 49 卷第 3 期，民國 92 年 9 月。
- [3] 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。
- [4] Claps P., M. Fiorentino and G. Oliveto, "Informational Entropy of Fractal River Networks," *J. Hydro.* 187, 145-156, 1996.
- [5] Rodriguez-Iturbe, I. and A. Rinaldo, *Fractal River Basin*, Cambridge University, United Kingdom, pp.468-508, 1996.
- [6] Wang, Ru-yih and Peng-jui Wang, "Evaluation of the Fractal Dimensions of River Networks Using two Types of Width Function," *Proceeding of the 12<sup>th</sup> 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。

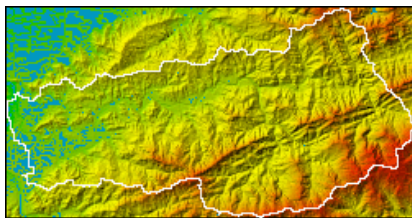


圖 1 DEM 資料擷取河川網路示意圖

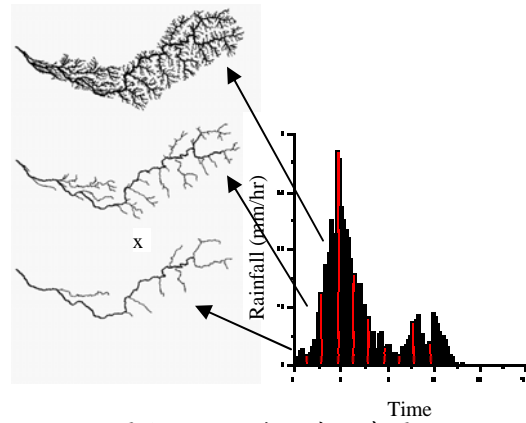


圖 2 河網疏密程度示意圖

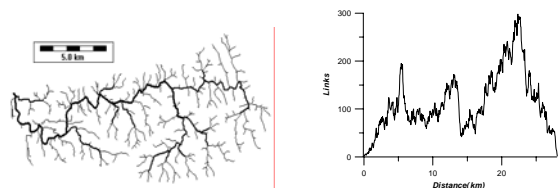


圖 3 寶橋集水區河川網路及寬度函數示意圖

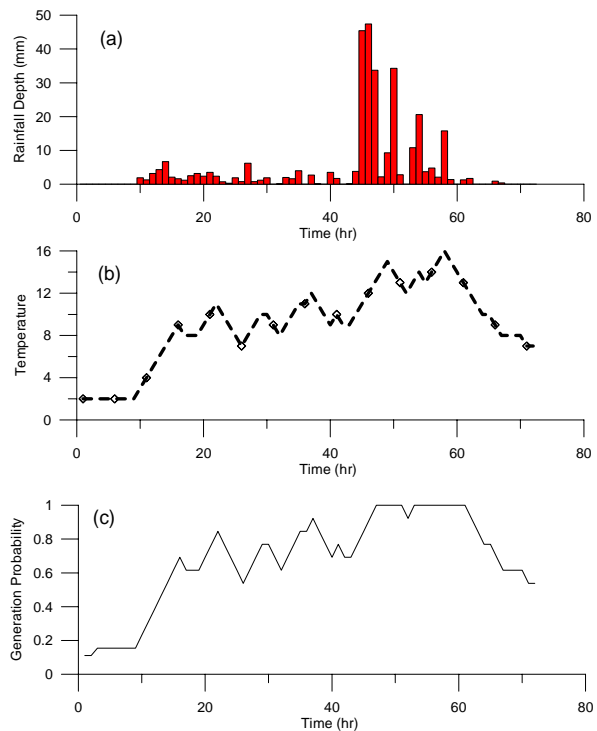


圖 4 傑魯德颱洪加熱退火現象示意圖

(a)降雨量變化圖

(b)加熱退火溫度變化圖

(c)河網生成機率變化圖

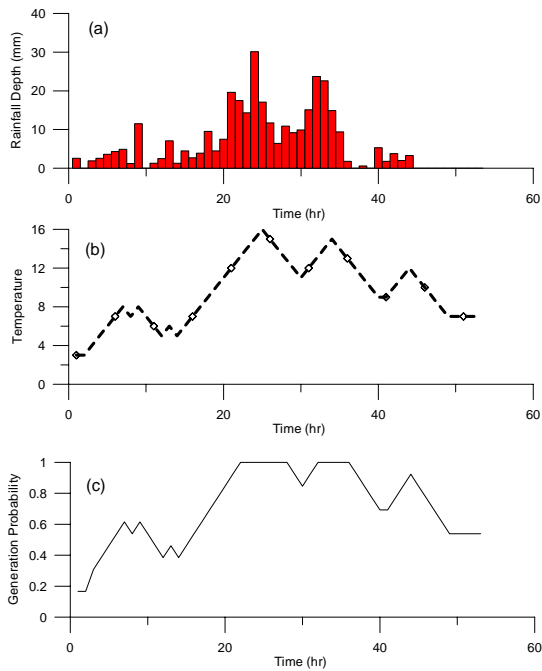


圖5 戴特颱風加熱退火現象示意圖

- (a)降雨量變化圖
- (b)加熱退火溫度變化圖
- (c)河網生成機率變化圖

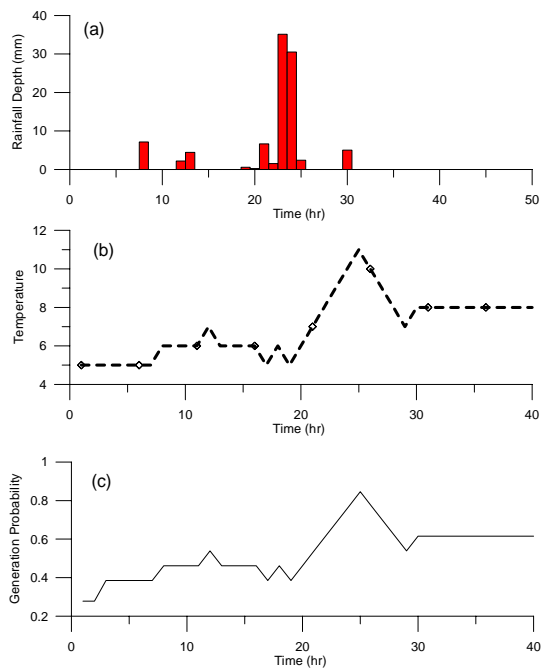


圖6 碧莉絲颱風加熱退火現象示意圖

- (a)降雨量變化圖
- (b)加熱退火溫度變化圖
- (c)河網生成機率變化圖

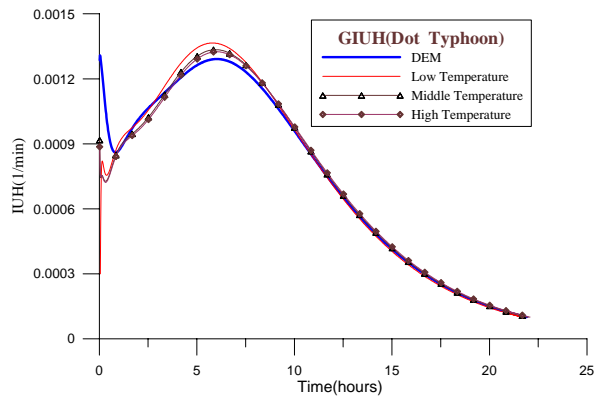


圖7 戴特颱風洪瞬時單位歷線比較圖

表1 寶橋集水區以 SCE 法優選各檢定颱風洪場次之最佳參數

颱風名稱	$u$ (m/sec)	$D_L$ (m <sup>2</sup> /sec)
琳恩	0.462	4616.63
亞伯	0.864	2239.58
道格	0.405	395.23
葛拉絲	1.013	1274.66
平均值	0.687	2131.52