

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

集集地震對烏溪流域降雨-逕流過程影響之研究(一)

The influence of Chi-chi earthquake on rainfall-runoff process in Wu-creek Watershed (I)

計畫編號：NSC 90-2211-E-002-088

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：林國峰 國立台灣大學土木工程學研究所

計畫參與人員：王俊明 國立台灣大學土木工程學研究所

一、 中文摘要

本研究首先探討烏溪流域之降雨在時間及空間上的特性，並以具時變性之區塊克利金法計算流域平均雨量。再以水筒模式作為模式架構，利用多目標遺傳演算法進行模式參數檢定。參數檢定的結果可代表該流域降雨逕流一過程的特性，而本研究所使用的方法可用在明年進行地震後降雨-逕流過程的研究上。

關鍵詞：遺傳演算法、集集地震、水筒模式

Abstract

In this study, the block kriging, which can capture both spatial and time variability of rainfall, is adopted to estimate the average areal rainfall. The tank model is selected as the rainfall-runoff model for the Wu-creek Watershed. The multiple-objective genetic algorithm (MOGA) is used to optimize the parameters of the tank model. The parameters of the tank model are obtained after the optimization process. These parameters can represent the characteristics of the rain-runoff process in the Wu-creek Watershed. In addition, the methodology developed herein can be applied to next year's project.

Keywords: Genetic algorithm, Chi-chi earthquake, Tank model

二、 研究緣由與目的

民國88年9月21日凌晨1時47分，在北緯23.85度、東經120.81度，亦即在南投日月潭西方12公里附近，發生芮氏規模7.3的強烈大地震，震源深度為地表下7.5公里。

水文現象是自然現象之一，任一地區的水文現象與當地自然環境息息相關，環境之

變遷均會影響該地區的水文現象，而各種防洪排水及水資源利用設施的設計與興建亦均有賴於水文資料的分析。然集集大地震後，因為地表的變動產生了大規模的崩山、走山、地層下陷及隆起的地形改變，不僅改變原有集水區的分水嶺，崩塌的土石塊，亦造成了河川流路的改變，流域的形狀、面積、地表植被覆蓋也隨之改變，對於地形地貌之改變可謂相當劇烈，對於水文現象的影響勢必非常明顯。其中，對於降雨-逕流的型態，例如洪峰流量、稽延時間、集流時間、洪峰到達時間等，更是影響甚鉅。因此，實有必要對地震後之降雨-逕流過程加以研究。

由過去的研究中發現降雨-逕流模式的不確定性來自於輸入的不確定性、模式本身的不確定性以及二者的交互作用[1]，因此本研究首先對烏溪流域的降雨情況加以了解。在了解烏溪流域的降雨特性之後，再選擇適當之模式，利用該區之降雨-逕流資料進行模式參數之檢定，以進行烏溪流域的降雨-逕流模擬。

區域化變數理論[2]被廣泛的應用於地下水、礦冶及水文領域的研究中；最早被應用在南非的採礦工程中以瞭解礦藏於空間中的分佈情形[3]，後續如Chua and Bras [4]對於雨量之半變異圖在不同的地形及高程所產生的變化加以探討。Bastin[5]將其應用於流域即時平均降雨量的估計以及雨量站網的最佳化。鄭士仁[6]應用克利金法於流域內任一點之降雨深度之估計及雨量站網之規劃模式。劉清源與鄭克聲[7]將空間距離代換為時間距離來使用克利金法於乾旱臨前時距預測之應用。林國峰與陳明仁[8]亦利用克利金法來計算烏溪流域之流域平均雨量。克利金法具有

最佳線性不偏估 (Best linear unbiased estimator, BLUE) 的特性。

水筒模式法(tank model)[9]乃由日本科學技術廳菅原正己氏(Sugawara)於 1971 年所倡議之水文模式。其概念乃是將流域之逕流機構，置換為由數個貯留型模型容器所組成。水筒模式具有單位歷線法(unit hydrograph method)、逕流函數(runoff function method)、貯蓄函數法(storage function method)等共同特點，其基本上均可由水筒模式法加以推導。

參數檢定之複雜性一般隨著參數的個數增加而增大。只有少數參數的模式也許尚可採用最小平方誤差法反覆作圖求得參數。但超過五個參數的模式則必須使用更系統化的方法或自動檢定策略[10]。近來的檢定策略更是朝同時滿足多個目標函數的方向邁進[11]。在解決僅有一個目標函數的問題時可以發現，隨著目標函數的不同便會得到不相同的參數組合。吾人做決策時實際上面臨的是往往是許多相衝突的目標，故多目標函數的最佳化比單一個目標函數之檢定更貼近實用。處理多目標最佳化的問題又可以稱作柏拉圖優選(Pareto optimality)，而此類問題的解則稱作柏拉圖解[12]。多目標最佳化的重點就是找出儘可能多的柏拉圖解以求得柏拉圖解集合的交換曲線(trade-off curve)供決策者參考[13]。遺傳演算法為一由觀察自然界中生物演化特性而得啟發之演算法。因其具有分散式、平行搜尋的特性，且一次的演算就可以產生多組解，故十分適合應用於多目標最佳化的問題。GA 已被廣泛應用於各學科領域，諸如與類神經網路的結合、設定類神經網路之權重[14][15]，工程設計與自動控制[16]等等。Goldberg and Kuo [17]首先將遺傳演算法應用於水資源方面，處理管線最佳化問題。Wang [18]以遺傳演算法率定降雨逕流模式中的參數。而對 GAs 本身參數的討探之研究，以及針對處理多目標最佳化的改良版本也不斷被提出，如 Horn and Nafploitis. [19]的 NPGA，Lis and Eiben. [20]的 MSGA 等。

三、 研究成果

3.1 流域平均雨量

本研究所採用之水筒模式，其輸入為流

域平均雨量。流域平均雨量並無實際量測值，且降雨具有空間及時間之變異性，因此本研究採用具時變性之區塊克利金法(block kriging)計算流域平均雨量。其實驗半異元如(4)式所示

$$m(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P(x_i, t) \quad (1)$$

$$s^2(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [P(x_i, t) - m(t)]^2 \quad (2)$$

$$x_d(h_{ij}) = \frac{1}{2t} \sum_{k=1}^t \left\{ \left[\frac{P(k, x_i) - P(k, x_j)}{s(k)} \right]^2 \right\} \quad (3)$$

而實際的半變異圖為

$$x(h_{ij}, t) = s^2(t) w_0 x_d(h_{ij}, a) \quad (4)$$

具時變性的區塊克利金系統如下所示：

$$\sum_{j=1}^n \tilde{e}_j(t) d(t, d_{ij}) + i(t) = \frac{1}{|\mathcal{U}|} \int_{\mathcal{U}} d(t, z, \alpha) d\alpha \quad i=1 \dots n \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n \tilde{e}_j(t) = 1 \quad (6)$$

其中 $\frac{1}{|\mathcal{U}|} \int_{\mathcal{U}} d(t, z, \alpha) d\alpha \equiv \frac{1}{M} \sum d(t, z_p, z_{n+j})$ 、 t 為時間、

$i(t)$ 為 Lagrange multiplier、 n 為紀錄站個數、 M 為網格點數。

而流域平均雨量估計值為：

$$\bar{P}(t) = \sum_{i=1}^n \tilde{e}_i(t) P_i(t) \quad (7)$$

估計誤差變異數：

$$\sigma_{\bar{P}}^2(t) = i(t) + \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^M \tilde{e}_i(t) \tilde{r}(t, z_p, z_{n+j}) - \frac{1}{M^2} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \tilde{a}(t, z_{n+i}, z_{n+j}) \quad (8)$$

3.2 降雨—逕流模式參數之檢定

本研究選用以三個水筒組合 (如圖 1) 的水筒模式，以表現降雨逕流機制。進行降雨—逕流模式參數檢定常必須滿足以下幾點之良好吻合：(1)觀測逕流量與模擬逕流量總逕流體積，(2)總體觀測歷線與模擬歷線之形狀特徵，(3)觀測值與模擬值在洪峰流量之到達時間及洪峰值，(4)低流量事件之特徵。而颱風期間之降雨—逕流預報模式，著重的特徵在於模擬逕流歷線之形狀及峰值之模擬[30]。本研究使用三個目標函數以求符合觀測流量之特徵，分述如下：

(1)總逕流體積誤差

$$F_1(r) = \left| \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\mathcal{Q}_{obs,i} - \mathcal{Q}_{sim,i}(r)] \right| \quad (9)$$

(2)均方根誤差

$$F_2(\sigma) = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [Q_{obs,i} - Q_{sim,i}(\sigma)]^2 \right]^{1/2} \quad (10)$$

(3)尖峰流量絕對誤差

$$F_3(\sigma) = |Q_{sim}^{peak} - Q_{obs}^{peak}| \quad (11)$$

3.3 單目標檢定結果

由於本論文所採用之三個目標函數(9)、(10)、(11)皆是欲求最小值，故可考慮將其組合為單一函數：

$$F(\theta) = F_1(\theta) + F_2(\theta) + F_3(\theta) \quad (12)$$

如此即同等於求解單一目標函數問題。表示式如下：

$$\text{Minimize } F(\theta) \quad (13)$$

故初步先以 $F(\theta)$ 為目標函數，使用 SGA 搜尋其解。本研究使用瑞伯(1998)及安珀(1997)颱風二場颱風洪事件進行參數檢定。結果如圖 2 及圖 3 所示。

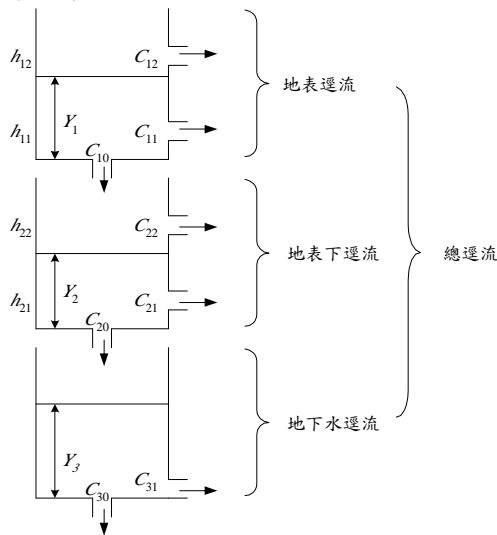


圖1 本研究採用之水筒模式架構

3.4 多目標檢定結果

為使檢定結果能提供決策者更多的資訊，本研究為求出柏拉圖交換平面，進一步使用 MOGAs[21]檢定相同颱風事件。其結果圖 4 及圖 5 所示。

四、 討論

欲研究降雨—逕流的行為，則必先對降雨做一詳細的研究。要了解集集地震對烏溪流域的降雨—逕流過程造成的影響，必先掌握該流域降雨的特性。因此本研究利用區域

化變數理論的方法，將降雨視為是時間及空間上的序率過程，所以本研究在流域平均雨量的計算上採取具時變性的克利金法來計算，以符合實際之降雨現象。

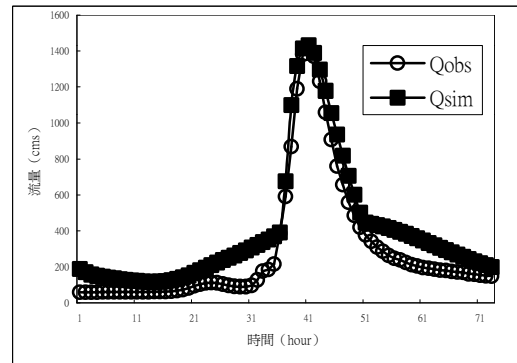


圖2 瑞伯颱風單目標檢定之結果

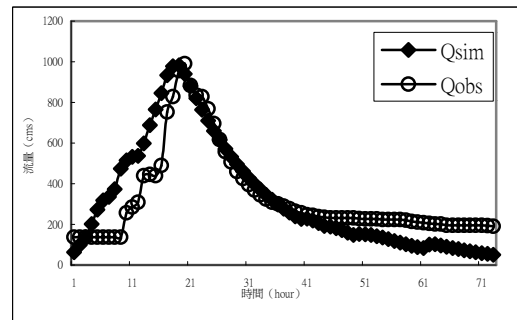


圖3 安珀颱風單目標檢定之結果

另本研究以水筒模式為模式架構並以遺傳演算法分別考慮單目標及多目標的最佳化，優選其參數，進而建立烏溪流域之降雨逕流機制。利用安珀、瑞伯等兩場颱風洪事件進行模式參數檢定。

綜合來說，本研究探討了烏溪流域之降雨特性，並依此決定以時變性克利金法計算流域平均雨量，確立了流域平均雨量的計算方法。在模式參數檢定方面，以具有分散式、平行搜尋特性的遺傳演算法，檢定模式參數。在檢定的過程中，確定了遺傳演算法的實用性，依此確立了模式參數檢定的方法，在未來的研究中亦可根據此方法檢定地震後模式之參數。在參數檢定的結果中，地震前的降雨—逕流模式參數亦隨之確立，可代表地震前降雨—逕流之特性。

五、 計畫成果自評

本文為集集地震對烏溪流域降雨-逕流過程影響之研究第一年之研究成果報告。研

究中除探討烏溪流域降雨特性，亦對該流域進行降雨—逕流模式的分析及模擬；其中包含了降雨—逕流模式參數的自動優選方法的開發。研究進度符合預期情況。而參數的自動優選方法可供第二年研究檢定地震後降雨—逕流模式之參數，且近期將整理研究成果於國際期刊中發表。

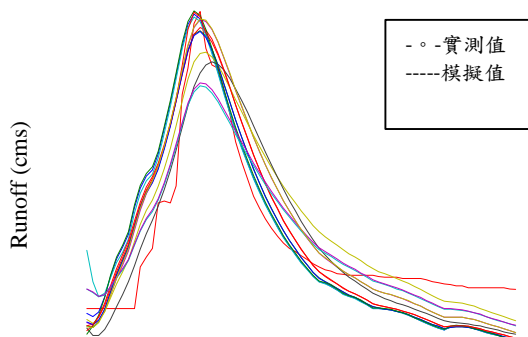


圖4 安珀颱風多目標檢定之結果

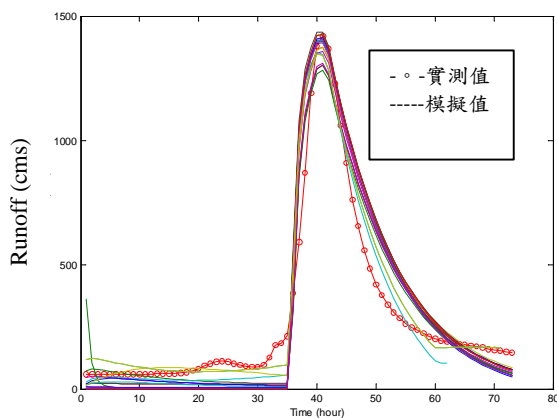


圖5 瑞伯颱風多目標檢定之結果

六、 參考文獻

[1] 王俊明，1999，「降雨空間變異性對降雨—逕流模擬的影響」，碩士論文，國立台灣大學土木工程學研究所。

[2] Matheron, G., 1971, "The theory of regionalized variables and its applications," Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique, Ecole des Mines, Fontainebleau, France.

[3] Journel, A. G. and Huijbergets, C. J., 1978, *Mining Geostatistics*, Oxford University Press, New York.

[4] Chua, S. H. and Bras R. L., 1982, "Optimal Estimations of mean areal precipitation in regions of orographic influence," *Journal of Hydrology*, Vol. 57, pp. 23-48.

[5] Bastin, G., Lorent, B., Duque, C. and Gevers, M., 1984, "Optimal estimation of the average areal rainfall and optimal selection of rain gage locations," *Water Resources Research*, Vol. 20, No. 4, pp.

463-470.

[6] 鄭士仁，1993，「降雨深度最佳估計方法之研究及其應用於區域雨量站網之規劃設計」，碩士論文，國立台灣大學農業工程研究所。

[7] 劉清源、鄭克聲，1995，「區域化變數理論於乾旱臨前時距預測之應用」，*臺灣水利*，第43卷第2期，第75-84頁。

[8] 林國峰、陳明仁，1999，「建立烏溪流域洪水預警系統」，國立台灣大學水工試驗所。

[9] 菅原正己，1985，「水文水櫃模式分析技術研習會講義」，國立台灣大學土木工程學研究所。

[10] Liong, S. Y., Khu, S. T., and Chan, W. T., 2001, "Derivation of Pareto Front with Genetic Algorithm and Neural Network," *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 6, No. 1, pp. 52-61.

[11] Refsgaard, J. C. and Storm, B., 1996, "Construction, calibration and validation of hydrological models," *Distributed hydrological modelling*, M. B. Abbott and J. C. Refsgaard, eds., Klumer Publications, Dordrecht, Boston, pp. 41-54.

[12] Steuer, R. E., 1986, *Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation, and Application*, John Wiley & Sons, New York.

[13] Loughlin, D. H. and Ranjithan S., 1997, "The Neighborhood Constraint Method: A Genetic Algorithm-Based Multiobjective Optimization Technique," *Proceedings of the 7th International Conference on Genetic Algorithms*, ed. Thomas Back, East Lansing, Michigan, pp. 666- 673.

[14] Dolan, C., and Dyer, M. G., 1985, "Learning planning heuristics through observation." *Proceedings of the Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence*. University of California, Los Angeles.

[15] Ackley, D. H., Hinton, G. E., and Sejnowski, T. J., 1985, "A learning algorithm for Boltzmann machines," *Cognitive Science*, Vol. 9, pp. 147-169.

[16] Pettey, C. B., Leuze, M. R., and Grefenstette, J. J., 1987, "A parallel genetic algorithm," *Proc. of 2nd ICGA*, pp. 155-161.

[17] Goldberg, D. E., and Kuo, C. H., 1987, "Genetic algorithms in pipeline optimization," *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol. 1, No. 2, pp. 128-141.

[18] Wang, Q. J., 1991, "The genetic algorithm and its application to calibrating conceptual rainfall-runoff models," *Water Resources Research*, Vol. 27, No. 9, pp. 2467-2471.

[19] Horn, J., and Nafploitis, N., 1993, "Multi-objective optimization using the niched Pareto genetic algorithm," *IlligAL Rep. 93005*, Genetic Algorithms Lab., University of Illinois, Urbana-Champaign, Ill.

[20] Lis, J. and Eiben, A. E., 1997, "A multisexual genetic algorithm for multicriteria optimization," *Proceedings of the Fourth IEEE Conference on Evolutionary Computation*, Indianapolis, IN

[21] Fonseca, C. M., and Fleming, P. J., 1995, "Multi-objective optimization," *Handbook of evolutionary computation*, IOP Publishing Ltd. and Oxford University Press, New York.