

# 石門水庫集水區降雨量乾旱指標之建立

## Drought Indicator of Rainfall for the Shihmen Reservoir Basin

黃文政

國立台灣海洋大學河海工程系教授

程俊銘

國立台灣海洋大學河海工程系碩士班研究生

### 摘要

台灣地區平均每年擁有約 2515 公釐之年降雨量，但由於地形複雜及降雨時間與空間分配不均因素，使得地表逕流必須靠水庫才得以充分調節利用。而在水資源開發困難及用水需求與日俱增的情況下，一旦長期降雨量不足，便會發生乾旱缺水的問題，其不僅對民生生活有所影響外，對社會整體經濟影響亦巨。若藉由一套完善之乾旱預警系統，將可視各種不同之水文狀況，適時發佈乾旱預警，減低乾旱情況對社會之影響。本文以石門水庫集水區為例，利用降雨量超越機率配合模糊理論，建立一操作過程淺顯易懂之降雨量乾旱指標系統，並實際以缺水年為案例研究，進行分析及探討。結果顯示其對於現況水文乾旱情形能有效反應，且計算簡單，應易於被水文工作人員應用。

關鍵詞：乾旱預警系統、超越機率、模糊理論

### Abstract

The annual average rainfall in Taiwan is about 2515mm, but due to the dramatic variations both in temporal and spatial scale, hydrologic drought frequently occurs. Drought not only influences daily lives, but seriously affects national economy. By a proper rainfall drought-warning system, we can announce a drought warning based on the hydrologic situation, to soften the impact of drought. In this paper, we chose Shihmen reservoir basin as a case study, applying exceedence probability and fuzzy set theory to build a rainfall drought-warning system. The results show that the developed rainfall drought -warning system can really react to hydrologic drought. Since the process is not complicated, it should be easily accepted by hydrologic researchers.

Keywords : drought -warning system, exceedence probability, fuzzy set theory

### 一、前言<sup>[1,2,3,4,5,6,7]</sup>

乾旱可謂因降雨量、河川流量、水庫蓄水及地下水減少時，致水源缺乏而對環境造成衝擊影響，其所造成之持續性災害，性質與颱風、豪雨、地震等立即性災害不同。乾旱之定義可依討論的對象而有所差異，在氣象乾旱方面，為氣候異常所致之自然現象；在水文乾旱方面，乃指降雨量供應匱乏而致逕流短缺。而水利署則以連續 50 日不降雨為小旱，連續 100 日不降雨為大旱；在農業乾旱方面，係指某一時期，因雨水不足，土壤含水量無法充分供應作物之所需。

台灣地區之降雨量相較於世界其他地區可謂相當豐沛。台灣地區年平均降雨量約 2515 公厘，約為世界年平均降雨量之 2.6 倍，但就每人每年平均分配之降雨量而言，僅及世界平均值之 1/7，故台灣地區實屬水資源貧乏之地區。且由於降雨時空分佈不均及地理環境因素，使得地表逕流需依靠

水庫調節才得以充分利用。而就區域性之全年降雨分佈而言，越往台灣南部地區，其降雨分佈不均之情形越明顯。黃氏等人(2003)分析台灣地區近 30 年來的連續不降雨現象，發現台灣北部不易發生水文乾旱，但由於北部地區人口稠密，且各標的之需水量大，故該區也常發生供水不足之社會經濟型乾旱。

而在水資源開發困難、人口用水需求增加快速、蓄水設施抗旱能力不足之情況下，除了積極開發水資源，增設水利設施以利調節外，應可建立一套乾旱警報系統，在水文乾旱尚未嚴重影響之前，依照水文實際現況發佈不同等級之警報，以保護人民及有關單位能及時應變以減少損失。本文以石門水庫集水區為例，利用降雨量超越機率及模糊隸屬度函數，建立一降雨量乾旱指標系統，使其能依據降雨量情況，適時進行水文乾旱預警，以減輕乾旱損失。

降雨量乾旱指標是單純以降雨量反應自然乾旱之程度，張氏(1991)曾以「雙月連續最大不降雨日」及「雙月合

計雨量」作為建立降雨量乾旱指標之依據，但由於必須運用頻率分佈曲線有所爭議及不易被基層水文測站人員瞭解與使用，張氏(1992)再提出「月豐缺指數」加以改善，而以月豐缺指數發佈乾旱警報結果大致良好，但在乾旱預報上仍無良好效果。水資源局(1997)利用克利金法及降雨統計分佈建立標準化降雨指標(SPI)，並聯合其他乾旱指標，統合為一乾旱綜合性指標。而本研究則以降雨量超越機率及模糊隸屬度函數，建立一降雨量乾旱指標。

## 二、研究地區及測站資料

91年初台灣北部發生持續性乾旱，嚴重影響台北縣市、桃園，甚至新竹縣市的供水，導至桃園地區一期稻作休耕。各大水庫水位持續下降，而石門水庫的水位也逼近呆水位，因應變不足，乾旱問題衝擊民生生活，導致農田休耕及竹科工業用水短缺，其影響總體經濟甚鉅。

台灣之乾旱情形各地並不一致，因此研究中以集水區為單位，並採用石門水庫集水區為研究地區。石門水庫集水區位於石門大壩上游之大漢流域，範圍廣及台北、新竹、桃園三縣境，面積為 763.4 平方公里。而本研究平均選取 10 個記錄年份較長之測站，並以徐昇法計算各測站之權重，而其地理位置及基本資料如下圖 1 及表 1 所示。

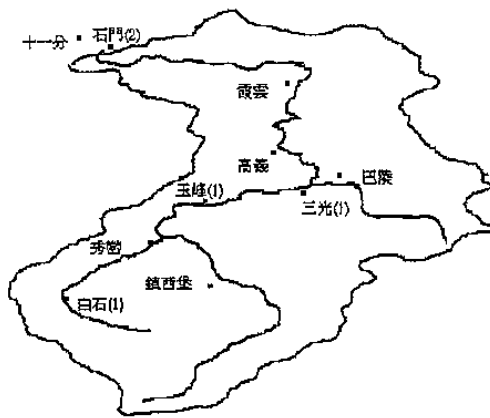


圖 1 石門水庫集水區選取測站位置圖

## 三、研究方法<sup>[8,9,10]</sup>

(一) 將石門水庫集水區內之測站，包括鎮西堡、三光、巴陵、高義、十一分、石門(2)、霞雲、白石(1)、秀巒、玉峰(1)等 10 個站為資料收集對象，經資料比對後，以 1968 至 1997 共 30 年之雨量資料為建立指標之基本資料。利用徐昇法求得各站之權重後，續而求得集水區每月平均雨量。

表 1 選區測站之基本資料

站名	起	末	記錄長度	徐昇法權重
鎮西堡	1954/7/1	1997/12/31	43 年 6 月	0.1697
三光(1)	1954/6/1	1997/12/31	43 年 7 月	0.0912
巴陵	1955/6/1	1997/12/31	42 年 7 月	0.1112
高義	1954/6/1	1997/12/31	43 年 7 月	0.0947
石門(2)	1946/2/1	1997/12/31	51 年 11 月	0.0428
白石(1)	1954/9/1	1997/12/31	43 年 4 月	0.1192
秀巒	1954/6/1	1987/10/31	33 年 5 月	0.0681
玉峰(1)	1954/6/1	1997/12/31	43 年 7 月	0.0522
十一分	1957/11/1	1997/12/31	40 年 2 月	0.0123
霞雲	1968/1/1	1997/12/31	30 年	0.2386

(二) 本研究之乾旱指標分為兩部分，一為現況乾旱分析，另一為未來乾旱分析

### 1. 現況乾旱分析

現況乾旱分析為連續三個月之降雨量超越機率配合模糊隸屬度函數加以分類，此為本研究判斷現況乾旱程度之依據，並得以新觀測值予以每月更新。利用選取測站之雨量紀錄配合徐昇法求得各測站之權重可求得石門水庫集水區之歷年月平均雨量，並利用威伯法加以排序，可求得不同超越機率值下之降雨量，結果如圖 2 所示。因此不同之連續三個月降雨量皆有一對應之超越機率，而此超越機率需套入模糊隸屬度函數加以分類，分析此超越機率屬於各乾旱程度之隸屬度。各乾旱程度之隸屬度函數如圖 3 所示，研擬之乾旱程度之隸屬度函數值，為介於[1,0]間之模糊隸屬度函數，而各程度之模糊隸屬函數利用三角形及梯形模糊數來表示，共分為五等，可分別用不同燈號表示。

### 2. 未來乾旱分析

為了提供決策者對未來降雨量情況之資訊，本研究運用歷年資料建立過去連續三個月之降雨量乾旱程度對未來連續三個月之降雨量乾旱程度的轉置機率矩陣，讓決策者在了解現況乾旱程度之餘，亦能對未來可能發生之情形提供基本之資訊。

## 四、案例研究

在本文中採用民國 91 年作為案例研究，實際以上述程序操作。

(一) 首先需取得民國 91 年之降雨資料。由於本研究收集之歷史資料只到民國 86 年，因此，民國 91 年之降雨資

料是參照北區水資源局歷史雨量查詢系統所得，資料如下所示

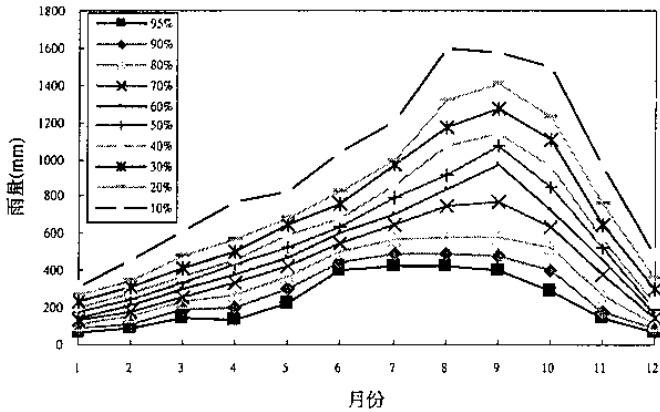


圖 2 石門水庫集水區過去連續三個月之累積雨量超越機率圖

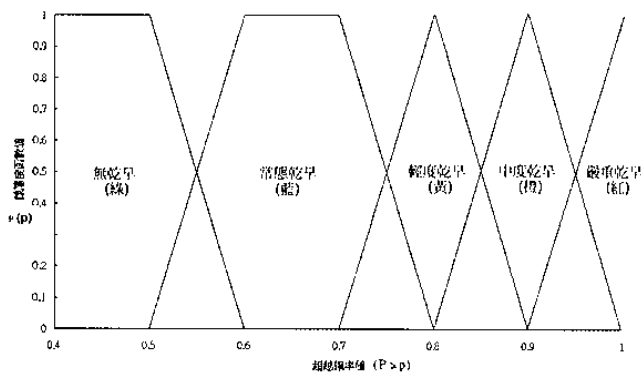


圖 3 連續三月雨量超越機率之乾旱程度隸屬度函數圖

表 2 石門集水區之月降雨量資料(90.11~91.12)

年份	90年	91年					
月份	11月	1月	2月	3月	4月	5月	6月
雨量(mm)	18.7	56.5	38.7	43.5	138.7	96.5	151.6
月份	12月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
雨量(mm)	41.1	609.2	101.0	339.2	77.7	39.1	94.8

- (二) 將民國 90 年 11、12 月及民國 91 年之降雨資料套入連續三個月之累積雨量超越機率圖，可得到民國 91 年不同月份之連續三個月累積雨量之超越機率，由此超越機率即可瞭解某月份於過去 3 個月之降雨情況。
- (三) 將每月不同月份之連續三個月累積雨量之超越機率帶入乾旱程度隸屬度函數，藉由模糊集合分別給予不同乾旱程度隸屬值，從而判斷該月之乾旱程度為何，並標明隸屬值以提供更多訊息給使用者。
- (四) 而為了解未來降雨之情況，將當月之過去連續三月之降雨乾旱程度套入前述之轉置機率矩陣，以對未來之

降雨情況有初步之掌握。

回顧民國 91 之乾旱情形，石門水庫集水區乾旱情形嚴重，而於本研究案例中表 3 可知，於 1 月時其連續三月(11~1 月)降雨量之超越機率已達 0.79，屬輕度乾旱；而於二月時更高達 0.85，屬中度乾旱，降雨不足由此可見一斑；三月時，降雨情況依舊沒改善，連續三月(1~3 月)降雨量之超越機率竟高達 0.95；於四月時輕風斜吉拉接近台灣北部，但由於行進路線影響，石門集水區降雨量並不大，依舊無法解決缺水旱象，四月之連續三月(2~4 月)降雨量之超越機率為 0.87，乾旱程度較三月改善，但仍為中度乾旱；而於 5、6 月時，北部乾旱情況依然持續，案例分析結果之連續三月降雨量之超越機率分別為 0.91 及 0.95，分屬中度乾旱及嚴重乾旱，但在 7 月時，雷馬遜颱風接近台灣，並帶給台灣北部豐沛的雨量，因而解決旱象，7 月之連續三月(5~7 月)降雨量之超越機率為 0.4，屬無乾旱狀態。

以連續三月雨量之超越機率配合隸屬值來表現長期之乾旱程度，其結果符合實際水文狀況，另一方面是以歷史資料建立轉置矩陣，而達到以當月乾旱程度來判斷未來三月降雨可能之情形，這部分受限於資料長度不足，使得效果並不十分良好，這可藉由加長建立資料之長度而加以改善。在模糊隸屬度函數之建立方面，於使用上可依需要加以設定，以達到更良好的效果。本法之建立過程十分簡單，且淺顯易懂，應易被一般大眾接受。不過此法僅能考慮水文氣象因子，對於需求面並無法反應，因此於未來可建立其他乾旱評估指標，如逕流量、水庫蓄水量等，加以綜合評估，如此對於乾旱缺水情形才能充分及時反應，以降低乾旱之損失。而本研究依相同程序對石門水庫集水區，以民國 69 年、民國 82 年及民國 92 年 1 到 7 月為案例建立乾旱指標，並將案例年之各月之過去連續三月乾旱程度化成曲線圖，如圖 5 示，以供參考。

北區水資源局目前判斷每月之乾旱程度採用單月降雨量為標準，與本研究採用連續三月降雨量之超越機率為標準有所差異。但由比較發現，單月降雨量之超越機率於實際操作時過於敏感，實不適作為判斷準則。以民國 75 之累積雨量超越機率圖及單月之累積雨量超越率圖，則結果如下圖 4 所示。顯然以連續三月降雨量超越機率作為判別水文乾旱標準，明顯較能符合實際水文乾旱，且不似單月降雨量超越率之結果敏感，顯示其較適合做為判別標準。而集水區內水文站之資料若有遺漏之情形發生，無法利用徐昇法之權因子計算集水區之降雨量時，建議直接利用算術平均法予以計算。

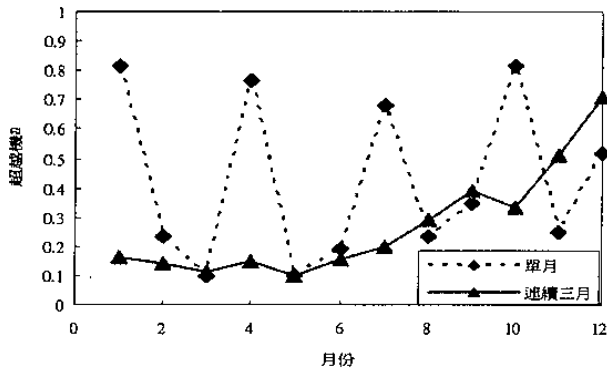
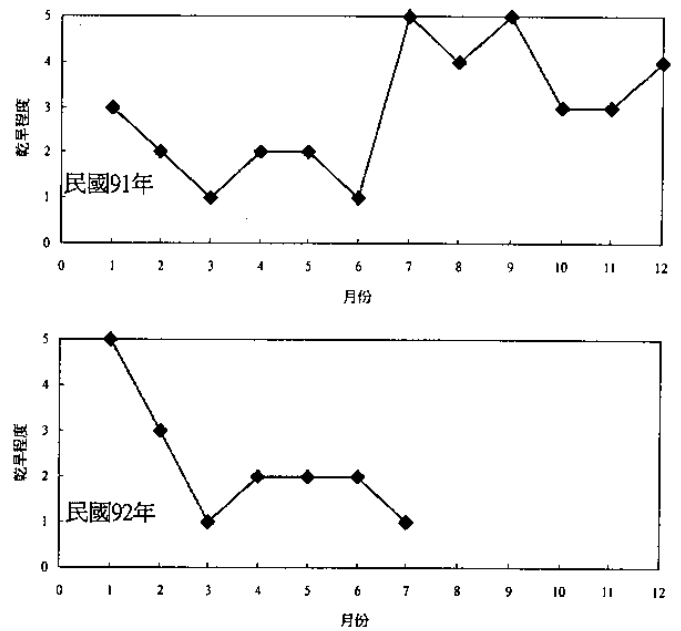
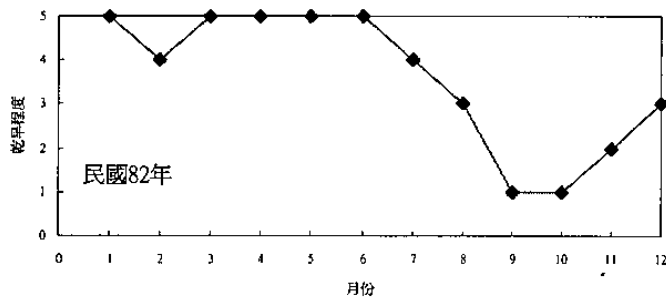
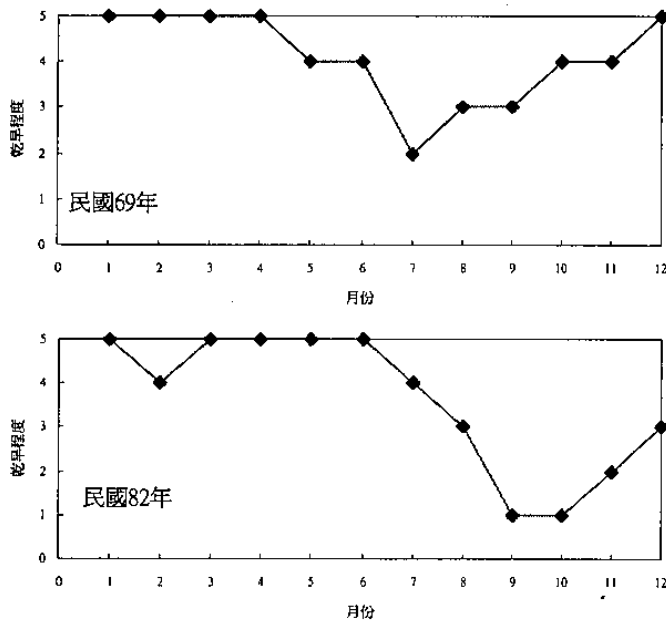


圖 4 民國 75 年石門水庫集水區降雨量之超越機率比較圖

## 五、結語

本研究以石門水庫集水區為例，並以實際歷史資料操作，歸納結論如下：

本研究建立降雨量乾旱指標包含兩部分，一為現況之水文乾旱判斷，於研究中是以連續三個月累積雨量超越機率配合模糊隸屬度函數做為判斷標準；另一為判斷未來可能發生之情形，即連續三個月降雨量乾旱程度之轉置機率矩陣，結果顯示對於實際水文乾旱情形能有效反應，且計算簡單不繁瑣，應易於被基層水文測站人員瞭解及運用。但本研究所提之降雨量乾旱指標，只能反映氣象因子的變化，並沒有考慮到流量、地下水、水庫等其他可能對乾旱有影響之因子，因此只適合用於乾旱初期階段，於未來可建立其他因子之乾旱指標，並利用模糊評價之方式，結合成一綜合乾旱指標，以提供給有關單位作為發佈乾旱預警及實施乾旱緊急應變措施之依據。



註: 1 代表嚴重乾旱, 2 代表中度乾旱, 3 代表輕度乾旱  
4 代表常態乾旱, 5 代表無乾旱

圖 5 石門水庫集水區歷年乾旱指標變化圖

## 六、參考文獻

1. 經濟部水資會, 1994: 台灣地區之水資源
2. 經濟部水資會, 1982: 歷年來台灣乾旱研究
3. 陳永祥, 1992: "極端乾旱的統計分析-以高屏溪為例", 碩士論文, 國立台灣大學農業工程研究所
4. 黃文政 等 7 人, 2003: "台灣地區近 30 年來連續不降雨日數分析與探討", 台灣水利, 第 51 卷, 第 2 期, 1~7 頁
5. 張炎銘, 1991: "建立乾旱警報系統初論", 台灣水利, 第 39 卷, 第 4 期, 73~83 頁
6. 張炎銘, 1992: "再論乾旱警報系統之建立", 台灣水利, 第 40 卷, 第 3 期, 56~65 頁
7. 經濟部水資源局, 1999: 乾旱指標之建立-中部及南部區域
8. 闕頌棄, 2001: 應用模糊數學, 科技圖書, 台北
9. 程俊銘, 2003: "淡水河流域之降雨乾旱分析研究", 碩士論文, 國立台灣海洋大學河海工程研究所, 基隆
10. 易任、王如意, 1982: 應用水文學 下冊, 國立編譯館, 台北

表3 民國91年石門水庫集水區之降雨量乾旱指標

月份	1月		2月		3月	
連續三月超越機率	0.79		0.85		0.95	
乾旱程度隸屬度	( .00 .10 .90 .00 .00)		( .00 .00 .50 .50 .00)		( .00 .00 .00 .50 .50)	
過去連續三月乾旱程度	輕度乾旱		中度乾旱		嚴重乾旱	
轉置矩陣 (未來連續三月乾旱程度機率值)	無乾旱	0.7	無乾旱	1	無乾旱	1
	常態乾旱	0.25	常態乾旱	0	常態乾旱	0
	輕度乾旱	0	輕度乾旱	0	輕度乾旱	0
	中度乾旱	0	中度乾旱	0	中度乾旱	0
	嚴重乾旱	0	嚴重乾旱	0	嚴重乾旱	0
月份	4月		5月		6月	
連續三月超越機率	0.87		0.91		0.95	
乾旱程度隸屬度	( .00 .00 .30 .70 .00)		( .00 .00 .00 .90 .10)		( .00 .00 .00 .50 .50)	
連續三月乾旱程度	中度乾旱		中度乾旱		嚴重乾旱	
轉置矩陣 (未來連續三月乾旱程度機率值)	無乾旱	0	無乾旱	1	無乾旱	0
	常態乾旱	1	常態乾旱	0	常態乾旱	1
	輕度乾旱	0	輕度乾旱	0	輕度乾旱	0
	中度乾旱	0	中度乾旱	0	中度乾旱	0
	嚴重乾旱	0	嚴重乾旱	0	嚴重乾旱	0
月份	7月		8月		9月	
連續三月超越機率	0.4		0.57		0.53	
乾旱程度隸屬度	(1.00 .00 .00 .00 .00)		( .30 .70 .00 .00 .00)		( .70 .30 .00 .00 .00)	
過去連續三月乾旱程度	無乾旱		常態乾旱		無乾旱	
轉置矩陣 (未來連續三月乾旱程度機率值)	無乾旱	0.6	無乾旱	0.667	無乾旱	0.579
	常態乾旱	0.2	常態乾旱	0	常態乾旱	0.211
	輕度乾旱	0.133	輕度乾旱	0.333	輕度乾旱	0.158
	中度乾旱	0.067	中度乾旱	0	中度乾旱	0.053
	嚴重乾旱	0	嚴重乾旱	0	嚴重乾旱	0
月份	10月		11月		12月	
連續三月超越機率	0.81		0.6		0.6	
乾旱程度隸屬度	( .00 .00 .90 .10 .00)		( .00 .50 .50 .00 .00)		( .00 1.00 .00 .00 .00)	
過去連續三月乾旱程度	輕度乾旱		輕度乾旱		常態乾旱	
轉置矩陣 (未來連續三月乾旱程度機率值)	無乾旱	1	無乾旱	0.6	無乾旱	0.25
	常態乾旱	0	常態乾旱	0	常態乾旱	0.25
	輕度乾旱	0	輕度乾旱	0	輕度乾旱	0.25
	中度乾旱	0	中度乾旱	0.2	中度乾旱	0.25
	嚴重乾旱	0	嚴重乾旱	0.2	嚴重乾旱	0