



公開  
密件、不公開

執行機關(計畫)識別碼：070401b107

## 行政院農業委員會99年度科技計畫研究報告

計畫名稱：  
(英文名稱) 氣候變遷下農業用水對區域水資源供水效益  
與風險之影響分析 (第1年/全程1年)  
Investigation on the impact of  
agricultural water use to the benefit  
and risk of regional water supply under  
climate change

計畫編號： 99農科-7.4.1-利-b1(7)

全程計畫期間：自 99年4月1日 至 99年12月31日

本年計畫期間：自 99年4月1日 至 99年12月31日

計畫主持人：張良正  
研究人員：鄭又瑜  
執行機關：交通大學



992907



## 一、執行成果中文摘要：

在全球氣候變遷影響下，台灣地區發生乾旱和洪水等極端水文事件機率較以往大幅增加，加上因地震頻繁造成多數集水區上游土石鬆軟，汛期時易發生高濁度供水問題，然而以往水資源供水分析多將枯水期供水問題和高濁度供水問題個別考量，且工程實務上多採用定率分析。但實際上在臺灣地區，因上述水文及地質之特殊情況，必需同時考量枯水期水源不足及汛期高濁度水質不良等所引起之缺水問題。除此之外，降雨量本身具有高度之不確定性，而氣候變遷影響將更增加此不確性，因此缺水問題本質上必須考量因此不確定所帶來的風險問題。故本計畫以蒙地卡羅分析方法為基礎，發展考量包括區域水資源長期調配與高濁度缺水緊急應變之整體供水風險分析方法，並以石門水庫供水區為應用實例。



## 二、執行成果英文摘要：

Under global climate changes, extreme hydrological events, such as drought and flood, occurred more frequently in Taiwan, which both events can induce water supply problems. During flood events, a flood carries loose stones to a reservoir and increase water turbidity. The high turbidity then reduces the water treatment efficiency and causes water deficit problems. Moreover, the uncertainties of hydrological conditions make water allocation more difficult. It is essentially a stochastic problem and both the drought and flood conditions should be considered simultaneously. However, most of the previous studies investigate the water deficit problems caused by those two conditions separately by applying deterministic analysis only. Hence, this study uses the Monte Carlo Simulation to analyze water deficit problem considering both the drought and flood situations. The proposed method was applied to Shihmen Reservoir to demonstrate its feasibility.



### 三、計畫目的：

基於區域水資源調配的角度，考量氣候變遷對整體環境及水文之影響下，應用系統動力學探討各種農業用水移用策略對於區域水資源永續利用產生之效益與風險。並利用先前相關研究計畫所完成的統計降尺度模式、地表逕流模式以及水資源調配模式來進行氣候變遷下枯水期供水風險分析、高濁度供水風險分析和供水風險綜合分析。



#### 四、重要工作項目及實施方法：

- (一) 氣候變遷下枯水期供水風險分析：藉由蒐集到之歷史雨量與溫度資料，利用蒙地卡羅法觀念，配合氣象資料合成模式產生多組氣象合成資料，以提供氣候變遷發生與否之模擬分析。
- (二) 氣候變遷下高濁度供水風險分析
- (三) 供水風險綜合分析：根據枯水期風險分析結果與高濁度風險分析結果進行分析。因高濁度缺水事件與枯水期缺水事件互為獨立事件，故：
  1. -整年不發生缺水機率  $P=(1-\text{枯水期缺水風險}) \times (1-\text{高濁度供水風險})$
  2. -豐、枯水期皆發生缺水機率  $P' = \text{枯水期缺水風險} \times \text{高濁度缺水風險}$



## 五、結果與討論：

### 石門水庫高濁度供水風險分析

本計畫石門水庫短期應變風險分析主要探討在高濁度事件下，各暴雨事件之缺水率變化，由於農業用水不受高濁度影響，故本計畫僅針對公共用水進行高濁度風險分析，高濁度缺水風險可定義為事件缺水率大於使用者缺水忍受度的機率，即其中Risk代表風險，HSH為高濁度事件缺水率，SHR為使用者缺水忍受度。亦即高濁度缺水風險可表示HSD超越SHR機率。

由於鳶山堰和三峽堰僅有日濁度資料，而本計畫所需之精度為小時，故鳶山堰和三峽堰之供水不納入考量。因此本計畫以庫區供水所到達之淨水廠處理能力(包含石門、龍潭、平鎮及大湳淨水廠)總和作為系統之供水需求量，經高濁度調配模式(含洪水操作)模擬後，求得各事件高濁度下之缺水率，並以韋伯法繪製事件缺水率超越機率曲線，此超越機率曲線即為缺水風險曲線，透過缺水風險曲線可獲得不同缺水忍受度下之缺水風險。

歷史合成事件資料與GCM合成事件資料模擬之缺水風險曲線，結果顯示歷史合成事件下，發生高濁度缺水事件(即事件缺水率 $>0$ )的風險為22%，氣候變遷後(GCM合成事件)發生高濁度缺水事件的風險提高至36%，若假設公共用水缺水忍受度為5%，歷史合成事件之缺水風險8%，氣候變遷後缺水風險提升到11%，顯示氣候變遷後，發生高濁度缺水事件的頻率明顯增加，因此有必要提出適當之調適策略以改善石門水庫高濁度缺水風險。

### 石門水庫枯水期供水風險分析

本計畫長期調配風險分析主要探討在長期模擬下，枯水期缺水率變化，故枯水期缺水風險可定義為系統缺水率大於使用者缺水忍受度的機率，即其中Risk代表風險，SH為系統缺水率，SHR為使用者缺水忍受度。亦即枯水期缺水風險可表示為SH超越SHR的機率。

通常缺水忍受度與該地區之社會經濟結構有關，且一般而言農業較民生與工業有較高的缺水忍受度，因此本計畫假設南、北桃園及板新地區公共用水之缺水忍受度為5%，8%，10%下，以及大漢溪農業灌區缺水忍受度為20%，25%和30%下探討其可能遭遇的缺水風險。結果顯示，北桃園的缺水風險最高，即使以10%作為缺水忍受度之標準，缺水風險仍高達88.66%(歷史資料模擬結果)和77%(GCM資料模擬結果)；南桃園之缺水風險為次高，在歷史資料模擬下，缺水風險都在20%以上，在GCM資料模擬下，若缺水忍受度較嚴格時(5%和8%)，缺水風險仍然在20%以上，若缺水忍受度較寬鬆時(10%)，則缺水風險可降至8.95%；板新地區因有翡翠水庫每日支援53萬噸用水，其缺水風險較小，除在歷史資料模擬下且缺水忍受度為5%有較高缺水風險外(15.4%)，其於缺水風險皆小於5%；農業用水除在歷史資料模擬且缺水忍受度為20%下有較高缺水風險外(11.14%)，其餘缺水風險則皆小於10%。整體而言，不論是否考量氣候變遷情況下，石門水庫供水區域仍存有高度之缺水風險，因此有必要提出適當之調適策略以改善石門水庫供水區域枯水期缺水風險。



### 石門水庫供水綜合風險分析

石門水庫整年度之缺水風險可利用枯水期風險分析結果與高濁度風險分析結果進行綜合風險分析。其基本假設有三：

- 一、 由於石門水庫年運轉次數偏高(約4~5次)，因此颱風帶來的雨量最多影響供水不到三個月，因此本計畫假設高濁度事件與枯水期事件為獨立事件。
- 二、 本計畫高濁度風險分析僅分析石門水庫庫區供水(不含鳶山堰和三峽堰)，故假設高濁度僅影響南、北桃園供水，板新地區因有三峽堰和翡翠水庫供應，故假設供水不受高濁度影響，此外，農業用水亦不受高濁度影響。
- 三、 高濁度風險分析為探討每場暴雨可能造成的缺水風險，因此需配合每年暴雨侵台次數以計算每年發生高濁度事件之機率，本計畫根據中央氣象局百年侵台颱風次數統計以每年發生四次颱風進行分析。

因此每年至少發生一次缺水高於缺水忍受度之高濁度事件風險(P<sub>TY</sub>)為：

其中P<sub>T</sub>為每場暴雨發生缺水高於缺水忍受度之風險。

由於高濁度缺水事件與枯水期缺水事件互為獨立事件，故整年發生缺水大於缺水忍受度之風險P<sub>Y</sub>為：

$$P_Y = 1 - (1 - P_{TY}) * (1 - P_D)$$

其中P<sub>D</sub>為枯水期缺水高於缺水忍受度之風險，

若假設缺水忍受度為5%，根據枯水期供水風險分析及高濁度供水風險分析可得知各供水區域枯水缺水風險P<sub>T</sub>和每場暴雨高濁度缺水風險P<sub>D</sub>，由上式可計算未考量氣候變遷與考量氣候變遷下整年度發生缺水大於缺水忍受度之風險P<sub>Y</sub>。結果顯示，氣候變遷後整年度之缺水風險有降低的趨勢，但不論氣候變遷與否，整年度發生缺水大於缺水忍受度之風險仍高。



## 六、結論：

### 結論

1. 本計畫根據風險管理分析步驟，以ECHAM5大氣環流模式模擬結果進行降尺度分析，探討氣候變遷下石門水庫供水系統枯水期與高濁度可能遭遇之缺水風險，並提出適當之調適策略。模擬結果顯示石門水庫現況供水系統枯水期缺水風險在氣候變遷影響下有降低之趨勢，但卻造成高濁度缺水風險提高，在綜合考量下，整年度缺水風險在氣候變遷影響下有略為降低之趨勢。
2. 傳統降尺度分析僅分析至精度為日之雨量資料，對於時雨量資料則受限於大氣環流模式所提供之大尺度氣候因子精度，為克服大尺度因子精度之限制，本計畫參考工程設計常用之設計降雨概念，以氣候變遷日雨量降尺度分析結果進行頻率分析，配合不同延時之設計雨型，以拉丁超立方取樣法進行氣候變遷時雨量繁衍。
3. 本計畫以VEMSIM軟體建立水資源長期調配模式，其以系統動力學為理論基礎，模式建置乃基於物件導向原理，且軟體提供動態連結函式庫(DLL)，有助於模式整合。高濁度水資源調配模式除考量淨水廠處理能力受濁度影響外，亦將防洪操作對於水庫濁度之影響納入考量，以確實反映水庫實際操作影響。

### 建議

1. 本計畫降尺度分析所採用之預測因子僅考量平均海平面壓力，建議可多增加其他預測因子(如比濕度、水平風速及垂直風速等)來增加模式之精度。
2. 本計畫提出之條件氣候繁衍降尺度模式雖在各月降雨機率、日平均雨量與日雨量標準偏差有不錯的精度，但對於連續降雨之預測則不甚理想，因此進行不同延時頻率分析時，常有低估的現象發生，建議未來可將連續降雨因素納入考量。
3. 本計畫降尺度分析以NCEP觀測值與石門水庫集水區降雨量建立條件機率轉移矩陣，再以ECHAM5未來模擬值預測石門水庫集水區未來降雨量，然本計畫未考量ECHAM5模擬值與NCEP觀測值所存在的模式誤差，建議未來可將此誤差納入考量。
4. 本計畫僅考量雨量之不確定性，然實際上水資源調配不確定性因子除了水文資料外，尚有觀測資料之不確定性、模式推估之不確定性及人類社經活動之不確定性，建議後續計畫可探討其它不確定因子之影響。
5. 本計畫高濁度風險分析假設每場暴雨事件為獨立事件，分析結果代表每場暴雨發生高濁度缺水事件之風險，因此推估整年度發生高濁度事件風險時，採用歷史颱風每年侵襲次數的平均值進行推估，然實際上除了受侵襲次數影響外，尚與每場颱風之相隔時間有關，若為連續兩場颱風，其缺水程度將更為嚴重，建議未來可將颱風發生間隔納入考量分析。





## 七、參考文獻：

1. Fowler HJ, K. C., Stunell J. (2007) Modelling the impacts of projected future climate change on water resources in northwest England. Hydrology and Earth system Sciences 11(3): 1115-1126.
2. Ogrosky and Mockus, 1964. H.O. Ogrosky and V. Mockus, Hydrology of agricultural lands. In: V.T. Chow, Editor, Handbook of Applied Hydrology, McGraw-Hill, New York (1964), pp. 21-11 - 21-28.
3. Kynch G.J., " Theory of sedimentation" , Transactions of the Faraday Society, 48, 166-175, 1952.
4. Sehlke, G., and Jacobson, J. "System Dynamics Modeling of Transboundary Systems: The Bear River Basin Model." Ground Water, 43(5), 722-730, 2005.
5. Metropolis N. and Ulam S., "The Monte Carlo Method" , Journal of the American Statistical Association, 44(247), 335-341, 1949.
6. 王英銘, 「自組非線性系統應用於濁度預測」, 國立成功大學水利及海洋工程學系土木工程系, 碩士論文, 民國94年
7. 王世為(2006), 永續性水質管理系統受氣候變遷影響之脆弱度評估, 國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。
8. 牛敏威(2009), 氣候變遷對台中地區缺水風險之影響評估, 國立交通大學土木系所碩士論文。
9. 劉業主(1993), 水庫最佳供水之缺水風險分析, 國立成功大學水利及海洋工程系所碩士論文。
10. 張廷暉(2008), 氣候變遷對水庫集水區入流量之衝擊評估-以石門水庫集水區為例, 國立中央大學水文科學研究所碩士論文。
11. 廖元熙(1993), 水庫系統最佳營運及風險分析:以鯉魚潭水庫及石岡壩旬聯合營運為例, 台灣大學土木工程系所碩士論文。
12. 洪念民(1997), 氣候變遷對大安溪水資源營運之影響, 國立台灣大學農業工程學系所碩士論文。
13. 黃翰聖(2009), 無母數統計降尺度模式之發展與實例應用, 國立交通大學土木系所碩士論文。
14. 程勝璟, 「甲仙攔河堰懸移質輸運率研究」, 國立屏東科技大學土木工程系, 碩士論文, 民國92年。
15. 周乃昉、葉克家、謝發清、李皓志、廖仲達、陳柏蒼、蔡家民、林政浩, 高屏溪攔河堰高濁度缺水分析及改善策略檢討計畫, 經濟部水利署南區水資源局, 民國96年。
16. 易任、王如意, 應用水文學, 國立編譯館, 台灣, 民國81年。
17. 張婉茹, 「應用系統動力學於多元化水資源策略模擬與分析-以台中地區為例」, 國立交通大學土木工程系, 碩士論文, 民國95年



18. 北區水資源局(2004)，「枯旱期石門水庫運轉規線探討」。
19. 第十七屆水利工程研討會論文集(2008)，「桃園地區水資源供應與調度風險管理機制」。
20. 張斐章、李子倫(1999)，颱風時期水庫操作風險分析之研究-以石門水庫為例，台灣大學農業工程學研究所。
21. 台灣大學全球變遷中心(2008)，「台灣地區未來氣候變遷評估」。