



公開

密件、不公開

執行機關(計畫)識別碼：120101b108

行政院農業委員會九十七年度科技計畫研究報告

計畫名稱：**農業用水於區域多元化水資源調配之動態影響評估 (第1年/全程1年)**

(英文名稱) **Assessment on multi-purpose management of regional water resources**

計畫編號：**97農科-12.1.1-利-b1(8)**

全程計畫期間：**97年5月15日至97年12月31日**

本年計畫期間：**97年5月15日至97年12月31日**

計畫主持人：**張良正**

執行機關：**國立交通大學**

農業用水於區域多元化水資源調配之動態影響評估

Assessment of the Dynamic Impact of Agricultural water use on the integrated water resources management

計畫編號：97 農科-12.1.1-利-b1(8)

計畫主持人：張良正教授

執行機關：國立交通大學土木工程學系

中文摘要

農業用水一向佔整體用水之大宗，隨著社會及經濟的發展導致其它用水標的如工業及民生等的增加，在新水源開發日益困難的情形下，農業用水往往面臨著降低用水量以支援其他用水標的之壓力，惟由於水文的動態性及不確定性，及不同用水標的與不同水源之間的互動性，使得農業用水對區域水資源供應的影響相當複雜，因此本計畫目的即在多元化水源的架構下，應用系統動力學考量農業用水與其他水資源策略對區域水資源供應的互動影響，其中包括各種可能策略評估。

英文摘要

Conventionally, agricultural water use is the dominate water demand in regional water supply. However, the increasing water use of other sectors such as municipal and industry and the difficulty of developing new water resources have raised the issue of reducing agricultural water use and transferring the saved water to other sectors. Due to the uncertainty and dynamic nature of hydrology and the complicated interaction among the water use sectors and diversified water resources, the impact of transferring the agricultural water use to other sectors is complicated. Therefore, this research develops a integrated water resources simulation model using system dynamic to investigate the interaction and outcome of transferring agricultural water uses. The investigation includes the assessment of various water resources management strategies.

一、前言

近年來，隨著生活及工業用水需求的持續上升，現有供水系統的有效利用與多元化水源開發的工作已是刻不容緩，然而水資源之相關策略推行無論是結構性或非結構性都將對供水量與政府財務造成一定程度的影響和衝擊，所以如何規劃合適的供水策略來避免缺水事件的發生是十分重要的工作。農業用水一向佔整體用水之大宗，且隨著社會的發展及 WTO 的加入，面臨著降低農業用水以支援其他用水標的之壓力，但解決缺水問題所施行的策略常會受到政府的預算而有所限制，而且供水量與成本之間往往是複雜且非線性的關係。因此本研究以系統動力學的方法，建立一兼顧水量調配與財務之區域水資源策略分析模型，以期在面對複雜的動態水資源管理問題，能提供整體、長期且較周延的分析方法。

二、文獻回顧

本計畫目的即在以區域水資源調配的角度，應用系統動力學考量其他水資源開發的可能性(多元化水源)，藉此探討評估節約農業用水與其他水資源策略間之動態影響與經濟效益評估。

系統動力學為描述、探索和分析複雜系統內流程、訊息、組織疆界與策略的一種嚴謹的研究方法，其可透過定量化的系統模擬與分析來進行系統結構與行為之設計。系統動力學是處理訊息回饋系統之動態行為的一種方法論，它提供一種實驗的、定量分析的方法，因此對於極複雜的動態、回饋且具時間滯延(Time Delay)的問題，能提供整體、長期且較週延的解決方法。近年來系統動力學應用日益廣泛，應用之課題包括了模擬地表水污染、模擬水庫供水系統、生態系統族群變化、大氣化學與污染傳輸、溫室氣體與全球暖化和現金流量的問題。由於系統動力學與時間演進具有密切的連動關係，因此非常適合於應用在與時間演進有密切關係之課題研究。現今流域永續經營管理的問題，已具備了所謂時間動態複雜的特性，因此適合利用系統動力學來解決此類問題。因為系統動力學模擬使用帶有滯延的微分方程組，能夠方便地處理非線性與時間變化的關係，能夠做長期的、動態的分析與研究，適合大尺度、大範圍的系統模擬。另外，摘入幾篇國內外學者

應用系統動力學於水資源領域之研究如下：

1.劉弘雁(1997)以整體流域整體資源利用的觀點擬定水資源政策，利用系統動力學模擬出自然地區、土地使用、都市地區與水資源經營管理等系統之間的相互關係。

2.詹麗梅、廖朝軒(2001)利用系統動力學理論建立區域供水系統之模擬模式，其中包含需水量預測與用水調配模擬模式，並建立永續性評價指標體系與評價方法，以探討不同供水策略對供水系統永續性之影響。

3.張婉如(2006)研究應用系統動力學建立多元化水資源策略分析模型，以台中地區大甲溪與大安溪流域作為研究區域，分析各種供水策略並探討缺水量與成本之間相互影響。

4.蘇昱維(2008)利用農業用水短期移用為枯旱時期常見之供水調度方法，參考根據國立海洋大學博士袁倫欽論文「水庫供水操作與乾旱預警系統」，將水源情勢分析缺水等級進行分類，以作為農業用水移用策略啟動準則。

三、研究方法

以往解決水資源供需平衡只注重在供給面的策略，尤其供給面的策略大部份為一永久結構物的建造，這種策略容易遇到用地取得不易及造成環境破壞等因素而無法順利推動。有鑑於此，本計畫主要針對農業用水移用策略之需求面策略進行探討分析，並以大台中地區作為案例分析。

大台中地區之需求主要供應來源為大甲溪德基水庫及大安溪鯉魚潭水庫，因此水源調配所考量之系統必須包含大甲溪、大安溪流域才算完整。其中大甲溪系統包含德基水庫、石岡壩、豐原淨水場，大安溪包含鯉魚潭水庫、士林堰、鯉魚潭淨水場，其水源調配圖如圖 1 所示。本計畫基於系統動力學原理，建置農業用水移用之系統動力模型。目前台灣農業用水移用方式為於每期作前進行水文情勢分析，若未來情勢分析結果屬乾旱，則該期作之用水則須進行休耕移用，此類短期農業用水移用策略。然台灣加入 WTO 後，稻米減產，農業需水量減量，因此本計畫亦考量可移用其減量之水量，此類屬長期農業用水加強管理策略。以下將分別說明各策略之模型建置原理。

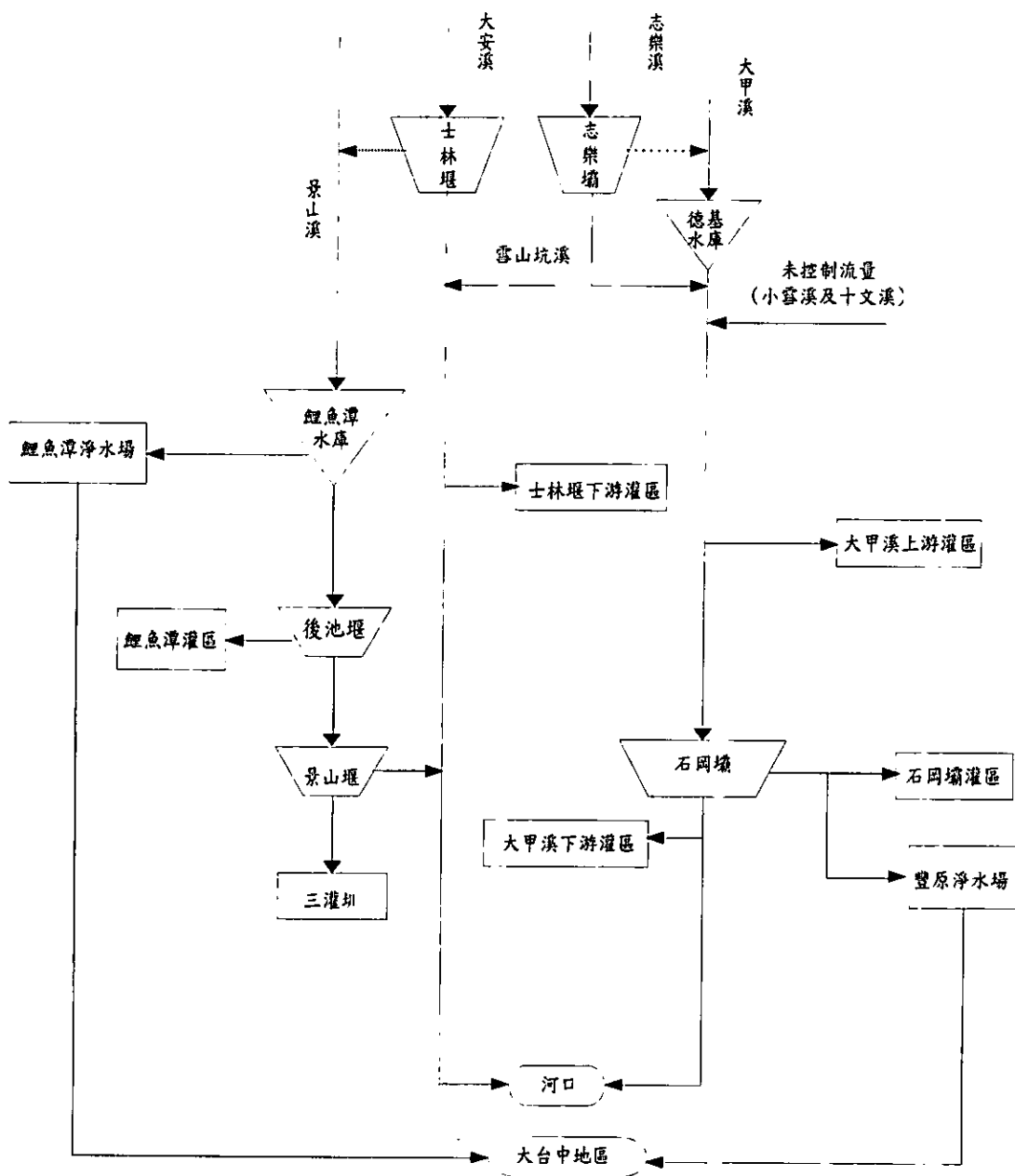


圖 1

台中人工湖水源演算模擬之系統架構

(1)、經常性農業用水加強管理模式建置

本計畫考量農業水權必須經常性移用，為增加其可行性，因此配合農委會提出之「水旱田調整後續計畫」視為經常性移用之農業可移用水量上限。由於作物的改變，相對亦會釋出農業用水量，因此本計畫配合「水旱田利用調整計畫」之獎勵給付原則來進行農移用水策略。其作法流程圖如圖 2 所示。其中休耕轉作面積之上限乃假設台中稻米產銷調整面積不會超過總面積之 30%，因此休耕轉作面積之上限定為 1 萬公頃（台中水利會之水稻種植面積約為 3 萬餘公頃）。各類別休耕轉作面積之決定則參考「水旱田利用調整後續計畫」之台中縣市各年度之休耕面積資料算出各期作之輪作面積、綠肥面積和翻耕面積佔該期作休耕總面積之比例，取各類別之面積比例平均值來決定輪作、綠肥和翻耕之休耕面積。每年農業可移用水量則可表示為：

總農移水量=休耕總面積*水稻單位面積用水量-輪作面積*輪作單位面積用水量-綠肥面積*綠肥單位面積用水量。

其中一期作水稻單位面積用水量為 12310 噸/公頃，二期作水稻單位面積用水量為 10230 噸/公頃，故水稻每年之單位面積用水量為 22540 噸/公頃。而綠肥和旱作每年之單位面積用水量為 5667 噸/公頃。

各灌區每年農移用水總量則依照空間分配比例的原則來分配，其空間分配比例乃依據各灌區之年計畫用水量佔台中縣市總體年計畫用水量(六灌區之年計畫用水量和)之比例來表示(空間分配比例=各灌區年計畫用水量/六灌區年計畫用水量之和)。另由於農業用水量會隨時間季節而變，因此本計畫擬以時間分配比例來推求各灌區每旬之移用水量。

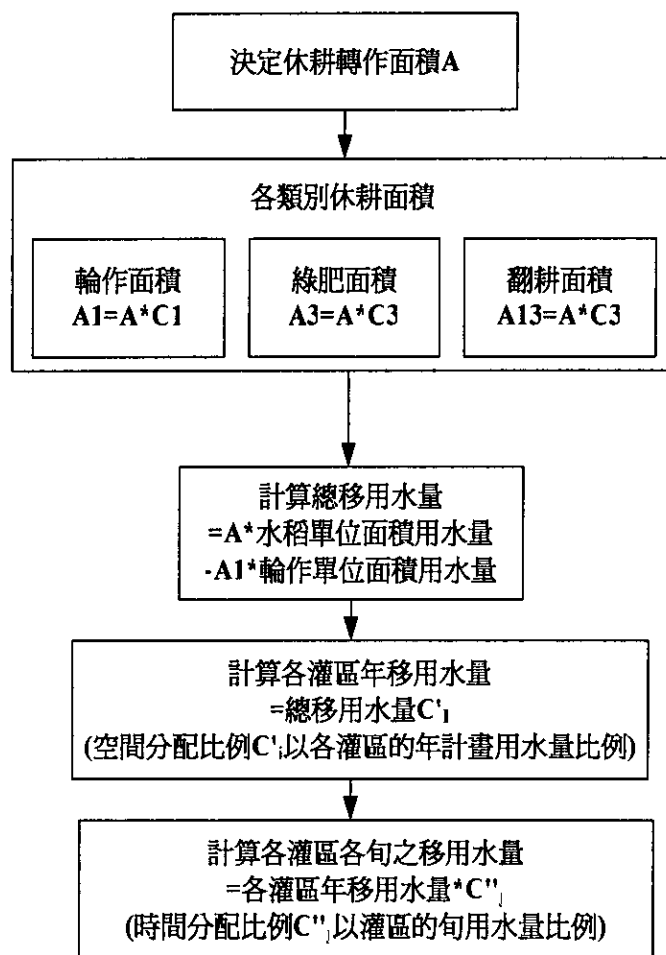


圖 2 農移用水模式建置流程

(2)、短期農業用水加強管理模式建置

實務管理單位於乾旱較為嚴重時期之節水策略常採用休耕方式，因此農業用水短期移用為枯旱時期常見之供水調度方法。本研究參考根據「水庫供水操作與乾旱預警系統」，將水源情勢分析缺水等級進行分類（如表 1 所示），以作為農業用水移用策略啟動準則。

本計畫之水源情勢分析以各用水標的之計畫用水量估算未來三個月之總需求量，並基於水庫現有蓄水量及未來三個月之入流量，推估未來三個月之總可利用水量。利用未來三個月之總需求量和總可利用水量可以進一步估算未來三個月之缺水率情勢，配合表 1 即可作為農業用水移用策略啟動準則。此外，由於台中地區之水稻屬於二期作，一期作為二月至七月，二期作為八月至十一月，因此農移用水策略必須於每期作之期初前判斷是否要休耕移用，即需於二月上旬與八月上旬利用上述之啟動準則判斷是否啟動農移用水策略。經判斷後若為啟動，則該

期作則進行休耕直至下期作才開始復耕。

台中地區之農業灌區分屬於大甲溪和大安溪流域，本研究將大甲溪灌區區分為三大灌區：大甲溪上游灌區、石岡壩灌區及大甲溪下游灌區；大安溪灌區區分為三大灌區：士林堰灌區、鯉魚潭灌區、三灌圳。本計畫將視水源情勢分析後之缺水等級研擬各種農業用水移用準則。若缺水情勢屬於中度缺水時，則休耕各流域之下游灌區，即休耕大甲溪下游灌區及三灌圳；若缺水情勢屬於嚴重缺水時，則休耕各流域之中、下游灌區，即休耕石岡壩灌區、大甲溪下游灌區及三灌圳和鯉魚潭灌區；若缺水情勢屬於極嚴重缺水時，則大甲溪和大安溪所有灌區皆須休耕。

表1水源情勢分析缺水等級分類表

缺水等級		缺水率=(缺水量/需求量)×100%		
		農業用水	公共用水 (含農業之多目標水庫)	公共用水 (單目標水庫)
未來缺水 程度等級 (Si)	1 無缺水	0	0	0
	2(輕度缺水)	0~30%	0~10%	0~5%
	3(中度缺水)	30%~40%	10%~20%	5%~15%
	4(嚴重缺水)	40%~50%	20%~30%	15%~30%
	5(極嚴重缺水)	>50%	>30%	>30%

(資料來源：水庫供水操作與乾旱預警系統之研究，民國94年)

四、案例分析

本計畫設計三個案例進行分析，案例 1 為台中現況水資源調配系統（零方案）；案例 2 為現況系統加上經常性農業用水移用策略，休耕面積參考「水旱田利用調整計畫」設定為 10000 公頃；案例 3 為現況系統加上短期性農業用水移用策略，農業用水移用啟動標準參考「水庫供水操作與乾旱預警系統」設定，當未來三個月之缺水率情勢介於 10~20% 時，休耕各流域之下游灌區，未來三個月之缺水率情勢介於 20~30% 時，休耕各流域之中、下游灌區，未來三個月之缺水率情勢大於 30% 時，休耕各流域之上、中、下游灌區。

本計畫以旬平均缺水率作為評估指標，以探討各需求量之缺水情況。此外為探討各策略對於乾旱時期之供水效益，本計畫將依豐、枯水期分別計算其旬平均缺水率。

從水資源規劃的觀點來看，對於一規劃中或以進行營運之水資源系統評估其系統發生失敗的風險是必要的。風險之訊息，對於規劃中的水資源系統來說提供了決策者選擇不同替代方案(alternatives)的考量之一，而對於營運中之水資源系統，則可藉此了解系統失敗之可能性，儘早提出因應措施，藉由硬體工程之補強或軟體如操作、管理方式等之改善來避免系統失敗後帶來的嚴重損害。因此本計畫引入可靠度來進一步對旬平均缺水率進行分析。可靠度之定義為：

假設系統操作結果可以隨機變數 U_t 來表示， U_t 可能的情況可分為兩個集合，S(滿足)和 F(失敗)，系統的可靠度可以系統處在滿足狀態 S 的機率來表示：

$$\text{Reliability}(\alpha) = \text{Prob}[U_t \in S] = \frac{T_S}{T_N} = \frac{T_N - T_F}{T_N} = 1 - \frac{T_F}{T_N}$$

T_N 為系統操作次數， T_S 為系統滿足的次數， T_F 為系統失敗的次數，上式亦代表系統的可靠度為 1-失敗之風險。因此可藉由風險分析來進行可靠度之推估。

因此本計畫在不考慮其統計機率分佈類別的前提下，以韋伯機率法進行指標風險分析，其分析步驟如下：

1. 記錄各指標逐時之變化，假設共有假設共 n 筆資料。
2. 資料依記錄值大小，由大至小排序。

採用韋伯法 (Weibull) $P\% = m/(n+1) \times 100\%$ 分析第 m 筆資料之超越機率。該超越機率即為其風險。

豐水期與枯水期之分析結果分別展示如圖 3 和圖 4 所示，結果顯示豐水期時 (圖 3) 除可靠度 95% 外，其餘各方案在各可靠度下之公共缺水率皆為 4%，此乃因豐水期水量較為豐沛，較無缺水問題。而可靠度提昇至 95% 時，零方案缺水率高達 48%，顯示在特殊枯早年 (發生機率較低) 時有水量嚴重不足之情況發生，由於經常性農業用水移用受休耕面積為 10000 萬公頃的限制下，故對其缺水改善有限 (缺水率改善至 44%)，而短期農業用水移用，若於嚴重乾旱時，所有灌區皆休耕，故有較多的水量可供給公共用水需求，故其缺水改善率較佳 (缺水率改善至 4%)。

另由枯水期之模擬結果 (圖 4) 顯示，可發現可靠度越低時，農業用水移用策略之缺水改善越佳，此結果隱含農業用水移用對於特殊枯早年 (發生機率較低) 之缺水改善並不佳，但對於一般平水年之缺水改善率則頗佳，此外由結果亦得可知，短期農業用水移用策略之缺水改善效率由於長期農業用水移用策略。

此外，為分析經常性農業用水移用與短期用水移用之實際移用水量與缺水改善之關係，本計畫針對各策略之移用水量比率進行估算，並將結果整理如表 2 所示。所謂之移用水量比例乃是移用水量與零方案之農業實際供水量之比值，結果顯示短期農業用水移用之移用水量明顯低於長期農業用水移用之移用水量，而短期農業用水移用之缺水改善效率又高於長期農業用水移用，顯示短期農業用水移用策略確為較可行且較佳之方案。

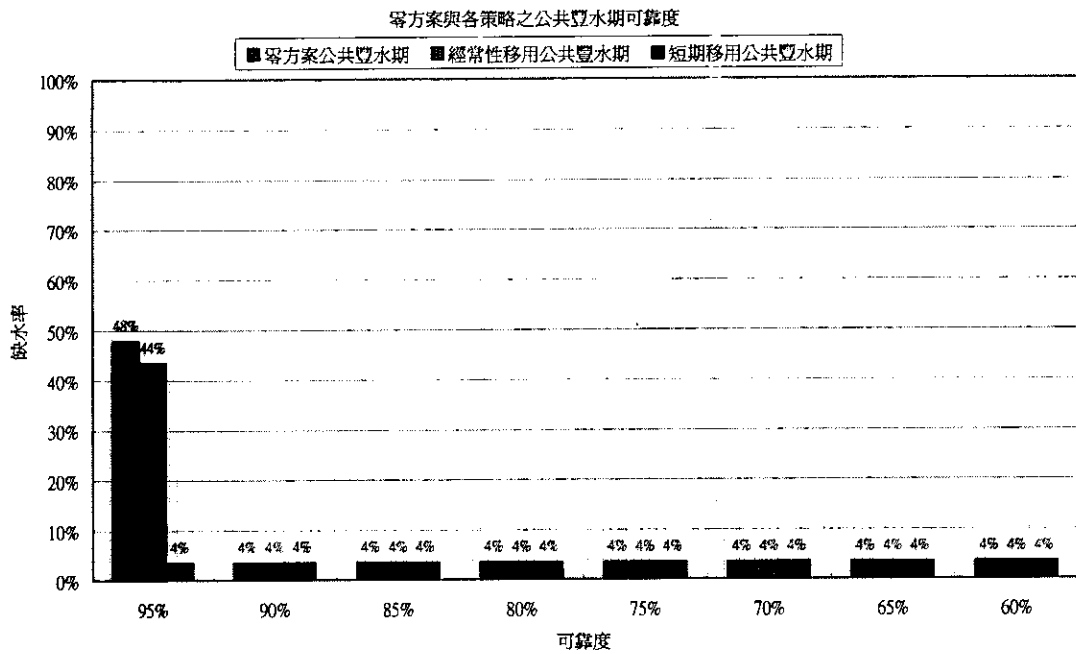


圖 3 各方案豐水期時之公共缺水率可靠度

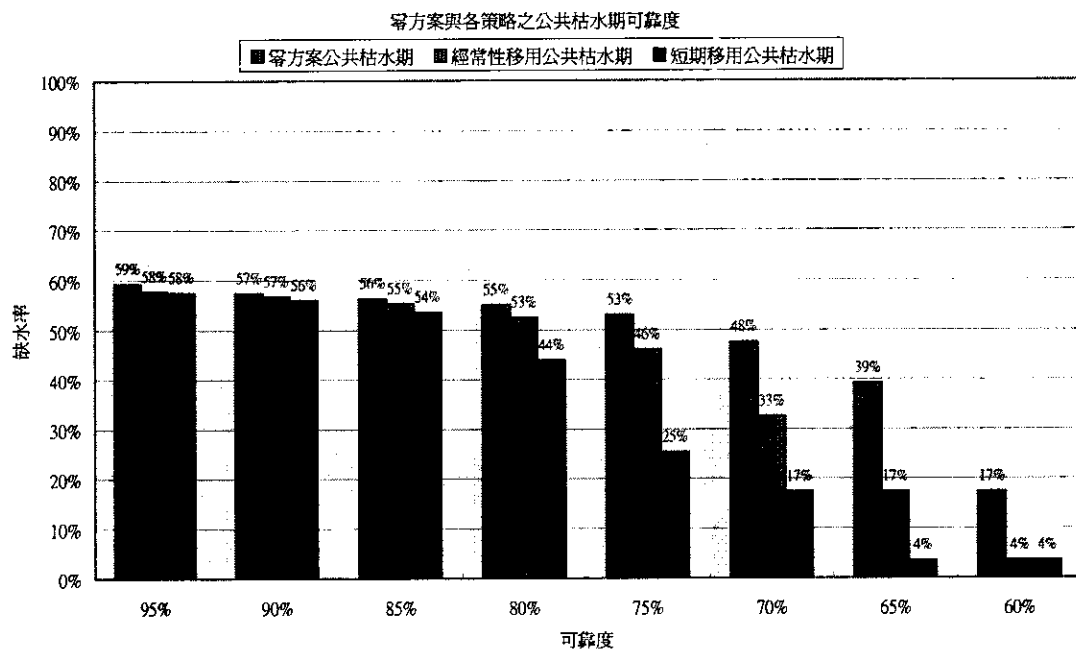


圖 4 各方案枯水期時之公共缺水率可靠度

表 2 短期農業用水移用與經常性農業用水移用之移用水量比率

經常性農業用水移用移用水量比率 (%)	短期農業用水移用移用水量比率 (%)
12.4	3.5

五、結論與建議

5.1 結論

1. 本計畫以系統動力學為基礎，配合水文情勢分析，建立經常性農業用水移用與短期農業用水移用之系統動力模型，以分析農業用水移用對於公共用水之缺水改善效益。
2. 透過本計畫之案例分析結果發現，豐水期時因較無缺水問題，故農業用水移用策略於此時期之改善效率不顯著；枯水期時，農業用水移用策略之改善效率則較為顯著，且可靠度越低時，農業用水移用策略之缺水改善效率越佳。
3. 本計畫透過可靠度（風險）分析發現，農業用水移用對於極端枯旱年（發生機率較低）之缺水改善並不顯著，但對於平水年（發生機率較高）之缺水改善率則頗佳。此乃因農移用水屬需求面管理策略，並無法增加額外之水源，而極端枯旱事件則需有新水源來進行補足。
4. 短期農業用水移用策略不但其移用水量較經常性農業用水移用策略少，且其缺水改善效率亦較經常性農業用水移用策略佳，因此本計畫建議未來若需進行農業用水移用時，建議配合水文情勢分析，採用短期之農業用水移用。

5.2 建議

1. 氣候變遷長期而言對於全球環境將有顯著的影響，水文及水資源亦是如此，建議未來可以本計畫所建置之模型為基礎，進一步探討氣候變遷對水資源永續利用之影響。
2. 實際農業用水移用策略施行，需透過受益者和損失者之間進行協調補償，建議後續計畫可納入策略之經濟財務效益評估，以探討合理補償制度之建立。

六、參考文獻

1. 主要水庫運用規線修正之風險評估與推動計畫，經濟部水利署水力規劃試驗所，民國 93 年。
2. 大安溪及大甲溪水資源聯合運用初步規劃報告，經濟部水利署中區水資源局，民國 94 年。
3. 水旱田利用調整後續計畫，行政院農委會農糧署，民國 94 年。
4. 台中人工湖策略與初步規劃方案，水利署水利規劃試驗所，民國 94 年。
5. 多元化水源開發綱領計畫，經濟部水利署，民國 94 年。
6. 台灣地區中部區域水資源綜合發展計畫，經濟部水利署，民國 93 年。
7. 台灣地區水資源永續發展指標之計算與評估，經濟部水利署，民國 93 年。
8. 多功能人工湖永續經營研究，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 93 年。
9. 台中基地第二期發展區擴建計畫(含第一期發展區變更)用水計畫書，中部科學工業園區開發籌處，民國 93 年。
10. 大甲溪攔河堰可行性規劃計畫，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 91 年。
11. 淡水河水資源系統動力模式與永續管理策略之研究，國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文，陳明業，民國 91 年。
12. 台灣地區地下水補注量估算，經濟部水利署，民國 89 年。
13. 台中農田水利會八寶圳移用水補償之分析，農業工程研究中心，俞維昇、辜國讚，民國 89 年。
14. 農田水利會移用水補償費之計算方法，農業工程研究中心，俞維昇、辜國讚，民國 89 年。
15. 水庫供水操作與乾旱預警系統之研究，國立海洋大學河海工程學系博士學位論文，袁倫欽，民國 94 年 6 月。
16. The Use of Object-Oriented Modeling for Water Resources Planning in Egypt. Water Resources Management, 11, 243-261. Simonovic, S.P., and Fahmy, Hussam. (1997).
17. A New Modeling Approach for Water Resources Policy Analysis. Water Resources Research, 35(1), 295-304, January. Simonovic, S.P., and Fahmy, Hussam. (1999).