

水利防洪設施受新類型災害之脆弱度與調適度分析(1/2)

Vulnerability assessment and adaptive management of new hazard on flood prevention systems (1/2)

主管單位：經濟部水利署

賴進松 童慶斌 張倉榮 譚義績 王如意 顏清連 潘宗毅
J. S. Lai C. P. Tung T. J. Chang Y. C. Tan R. Y. Wang C. L. Yen T. Y. Pan
臺灣大學綜合災害研究中心

摘要

由於氣候變遷可能導致顯著之新類型災害，需另針對臺灣與附近地域之氣候變遷進行研析，由減災、防災角度深入探討氣候變遷，並考量氣候劇烈變化，進而推估臺灣北區與附近地域未來短期、中期、長期於不同面向之氣候變遷程度。根據前述推估結果進行氣候劇變對北區防洪系統其永續發展之脆弱度分析與整體評估，並建立北區重要流域防洪系統脆弱度對氣候劇變衝擊之調適策略。

由分析結果可知，臺北氣象站於未來短期內，其濕季（5-10月）平均雨量將明顯提昇；淡水河口不同重現期距之暴潮偏差以對數常態分布及極端值第一型分佈之分析結果比較接近；在水利防洪設施之脆弱度評估方面，淡水河堤防之衝擊將使整體脆弱度由目前之40%提升至50~70%間，可見堤防設施受未來氣候變遷之影響顯著，須進一步採取適當之調適策略；若未來全球經濟活動趨向A2情境，則應對員山子分洪設施進行中長期之調適策略規劃，若趨向B2情境，則應著重短期之調適策略規劃；目前之區域排水系統應能抵禦未來因氣候劇變所產生之5年重現期暴雨。

關鍵詞：氣候變遷、調適度、脆弱度

Abstract

This plan is going to apply the professional techniques and manpower source of professional agency to monitor typhoons or heavy rains, and to forecast potential inundation areas before disasters happen. During disaster events, forecasting routes of typhoons or heavy rains, and predicting rainfall, water levels of rivers, potential inundation areas, and inundation loss are the missions executed by disaster prevention service group (DPSG) to assist WRA to control the disaster situation. After disaster events, DPSG needs to support the disaster loss survey and survey reports. Additionally, the professional agency will plan the communication between DPSG and local assist agencies, and draw up the integration of disaster prevention works of WRA's departments.

Keywords : abrupt climate change, Adaptation, Vulnerability

一、計畫緣起

新類型災害之廣義可定義為：凡過去未發生過之天然災害類型且未來具有發生之高潛勢時，即可定義為新類型災害。根據經濟部水利署之業務範疇，新類型災害之狹義可

定義為：凡過去未發生過之水利天然災害類型且未來具有發生之高潛勢時，即可定義為新類型災害。

根據研究預測全球氣候變遷可能綜合引發新類型災害，如連續極端暴雨淹水、接踵而來的洪水與乾旱。新類型災害對人為或自然系統帶來新型態衝擊，然只要具有有效調適管理能力，即使顯著氣候劇變(abrupt climate change)也可將系統脆弱度降至最低。

二、計畫工作項目

本年度針對全球因水所引致之新類型災害進行資料蒐集、彙整及分析，並針對防洪設施分析適當之因應對策探討議題。由於氣候變遷可能導致顯著之新類型災害，需另針對臺灣與附近地域之氣候變遷進行研析，由減災、防災角度深入探討氣候變遷，並考量氣候劇烈變化，進而推估臺灣北區與附近地域未來短期、中期、長期於不同面向之氣候變遷程度。根據前述推估結果進行氣候劇變對北區防洪系統其永續發展之脆弱度分析與整體評估，並建立北區重要流域防洪系統脆弱度對氣候劇變衝擊之調適策略。

三、研究流程之建立

3.1 水利防洪設施受氣候劇變之脆弱度與調適策略研析步驟

由於氣候變遷之原始資料尺度與水利防洪設施計算脆弱度之尺度差異極大，為進行水利防洪設施脆弱度之定量探討，其降尺度過程假設忽略其不確定性，亦假設水利防洪設施所在流域於氣候變遷後，地形、植被、土地利用皆不改變，亦不考慮水利防洪設施構結老化、人為破壞之風險。整體研究流程可以下列步驟說明：

1. 蒐集全球氣候模式(GCMs)針對不同溫室氣體排放情境所模擬之氣象因子變化量，包括雨量變化、海水位變化。
2. 蒐集欲研析流域之歷史氣象資料，包括雨量測站、流量水位測站、潮位測站之觀測記錄。
3. 選擇適當之統計理論，針對全球氣候模式之氣象因子(雨量)與研析流域之觀測記錄進行空間及時間尺度之統計降尺度分析；潮位資料進行天文潮與暴潮位之頻率分析。
4. 以研析流域之水文觀測資料進行水文、水理模式之建立(檢定及驗證)。
5. 決定水利防洪設施所承受之事件情境。一般以水利防洪設施規劃之保護程度作為探討標準，例如淡水河流域之堤防係以200年重現期之洪水為規劃原則。
6. 由溫室氣體排放情境求得之氣象因子調整值及欲探討流域之洪水情境之水文條件，合成各雨量站之逐時雨量及潮位變化。
7. 以水文、水理模式模擬水利防洪設施週遭之水文環境，以本研究為例：堤防須求得各斷面之最大洪水位、分洪道須求得分洪量、區域排水須求得抽水站之前池水位。
8. 將各水文量代入各水利防洪設施之脆弱度模式以求得於該重現期事件下之脆弱度。
9. 根據水利防洪設施於不同情境下之脆弱度變化研擬因應之調適策略。

四、氣候變遷降尺度之研析

由於大氣環流模式(General Circulation Model, 簡稱 GCM)的解析度往往大於一般應用於集水區分析的尺度,且模式的準確性在於型態上,而非點上。而集水區的模擬往往需要較小的尺度以及利用測站資料進行模擬。因此必須透過降尺度(downscaling)才能進一步將大氣模式預測資料應用於集水區模擬上。本研究將採用統計降尺度法(Statistical Downscaling Method, 簡稱 SDM),必須建立在以下幾點假設(Wilby & Wigley, 2000): (1)在 GCMs 大尺度的格點與研究區域格點之間可以建立出合適的關係式;(2)利用觀測資料與模式輸出資料建立的關係式可以應用於未來的條件;(3)用來進行統計的變數及其改變量於 GCMs 中有不錯的結果。如果以上假設均能成立,那透過統計降尺度的 GCMs 資料便可應用於小尺度的模式與鄰近之研究區域點,而且也會比 GCMs 具有更好的結果。而 SDSM(Statistical Downscaling Model)(Wilby et al., 2001; Wilby and Dawson, 2004)便是利用統計降尺度的方法來產生氣候變遷情境。

而在未來氣候情境分析方面,本計畫根據國際研究標準,以 SRES 情境模擬之未來氣候分析預設情境,SRES 預設情境屬於溫室氣體排放情境,亦即預測全球未來可能之經濟、人口、工業與環境的發展,提出數種可能溫室氣體排放的趨勢。考慮到未來可能致力於經濟發展,或是朝永續利用的目標等不同程度的可能情形,以及考慮全球性或是區域性不同發展帶來的影響。分成了 A1、A2、B1、B2 四個情節,說明如下:

A1:代表快速的經濟成長,全球人口在 21 世紀中時期達到尖峰,之後便開始下降。並且擁有有效的科技技術。主要的主題在於實際人口的減少、地區的聚合、建築物的容積、教育的增進與社會的影響。

A2:描述一個非常多變異性組成的世界。主要主題在於各國自力更生,與維持地方發展,而全球人口不斷地增加。經濟成長主要為區域性成長,而每人經濟成長率及技術的改進較其他情節破碎且緩慢。

B1:如同 A1 情節,全球人口在 21 世紀中時期達到尖峰,之後開始下降,但經濟結構卻朝向一個服務與資訊的經濟結構。能源使用減少,並引用較乾淨且有效率之技術。注重經濟、社會與環境的永續性,卻不考慮額外的起始氣候條件。

B2:主要描述地方性經濟、社會與環境永續性的結果。全球人口持續增加,卻比 A2 情節慢。經濟發展中等,而科技的改變比 B1, A1 較緩且更多相異性。而情節主要也以社會平等與環境的保護為目標,且發展為區域性發展。首先本計畫將以並進一步整理與分析比較不同降尺度方式下,淡水河流域各氣象站之月平均降雨量及月均溫之變化差異。

目前國際研究多採用 SRES 之 A2 與 B2 情境,因此本計畫此次亦是以大氣環流模式根據 SRES 之 A2 與 B2 情境模擬之輸出結果建立未來情境,並配合不同的氣候模式降尺度方式,探討氣候變遷下,地面氣象測站之降雨量以及平均氣溫於未來短期內之變化情形。

五、脆弱度之模式建立及調適策略之研析

脆弱度係分析調適策略之重要參考因子。本研究以淡水河流域為研究範圍，針對該流域之河堤、抽水站、員山子分洪等水利防洪設施受極端氣候影響時研析其系統之脆弱度。

5.1 堤防設施

河堤系統之脆弱度係根據已蒐集到之河川左右岸堤防高度與洪水演算之結果進行比較。由洪水演算中之一維河道變量流模組可求得流域中重要大斷面之水位高度。當水位高度與堤防高度相同時，代表該河段已達滿載，水位若再提高將發生溢堤災害。因此，根據「水利防洪設施失效之百分比」之概念，以洪水位高度與堤防高度之百分比作為該斷面之堤防脆弱度。而整體河堤系統之脆弱度係考慮各斷面之堤防脆弱度乘以斷面代表之河段長度後累加，再除以總河段長度，即可求得全河堤系統之脆弱度，其概念可以式(1)~式(3)表示。

$$V(i) = \exp\left(\frac{\ln(a) \times \min((W_i - H_i), 0)}{H_{i,n} - H_i}\right) \times 100\% \quad (1)$$

$$L_i = \frac{l_{i,i-1} + l_{i+1,i}}{2} \quad (2)$$

$$V_{\text{system}} = \frac{\sum_i V(i) \times L_i}{\sum_i L_i} \quad (3)$$

其中， i ：為斷面代號 i ， W_i 為斷面 i 之洪水位高度； $H_{i,n}$ 為斷面 i 之 n 年重現期計畫洪水位； a 為斷面 i 於 n 年重現期計畫洪水位之期望脆弱度，可視為脆弱度之敏感參數。當 200 年重現期計畫洪水位之期望脆弱度越低，代表該洪水位超過 200 年重現期計畫洪水位後之脆弱度將劇烈變動； $V(i)$ 為斷面 i 之堤防脆弱度； $l_{i,i-1}$ 及 $l_{i+1,i}$ 分別代表斷面 i 與斷面 $i-1$ 之堤防長度及斷面 $i+1$ 與斷面 i 之堤防長度； L_i 為斷面 i 所代表之堤防長度； V_{system} 代表整個系統之堤防脆弱度。參數 a 之敏感度分析圖如圖 1 所示(假設 H_i 為 10 公尺， $H_{i,n}$ 為 8 公尺)， a 之測試範圍由 0.1 至 0.9。當事件達到水利防洪設施原保護標準時，其脆弱度即等於 a ，當事件超過水利防洪設施原保護標準時，脆弱度數值將由 a 至 1 間遞增，因此為強調超過水利防洪設施保護標準後之脆弱度變化，應用模式初期建議先將 a 設為 0.3 至 0.5 間。

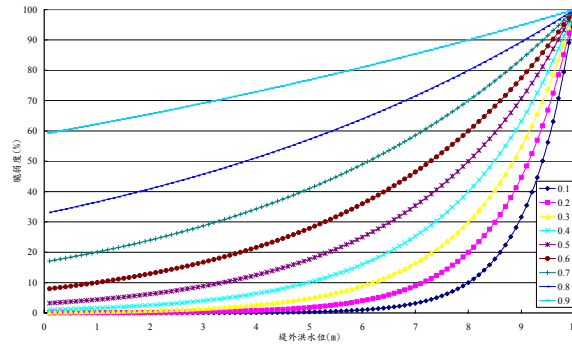


圖 1 河堤脆弱度參數 a 之敏感度分析圖

5.2 區域排水

當堤防外水位高於其保護市區之內水位時，市區排水系統無法藉由重力排水將內水排入堤外。此時，抽水機系統於整體之水利防洪設施中即扮演重要之角色，而抽水機系統之脆弱度可以式(4)~式(5)所示。

$$V_{PUMP,i} = \max \left\{ \min \left(\frac{\max(H_{out} - H_{in}, 0)}{H_p - H_L}, 1 \right), \min \left(\frac{H_w}{H_D}, 1 \right) \right\} \times 100\% \quad (4)$$

$$V_{PUMP,SYSTEM} = \frac{\sum_i V_{PUMP,i} \times A_i}{\sum_i A_i} \quad (5)$$

其中， H_w 為內水於抽水站前池之水位高； H_D 為前池之設計深度； H_{out} 為外水之水位高度(與內水同一起算標準)； H_{in} 為抽水站前池之水位高度(與外水同一起算標準)； H_p 為抽水機之總設計揚程； H_L 為抽水機之設計損失揚程； $V_{PUMP,i}$ 代表整個抽水機系統之脆弱度。由於本研究假設一個抽水站之抽水機組應設置於同一區位，任一抽水機所遭遇之抽水境況皆相同，該脆弱度不需考慮抽水機組之數量； $V_{PUMP,SYSTEM}$ 代表整個內水排水系統之脆弱度， A_i 代表第 i 組抽水機組所涵蓋之集流面積。

5.3 分洪隧道

根據「水利防洪設施失效之百分比」之概念，探討員山子分洪系統之脆弱度時，本研究考慮分洪量佔設計分洪量之比例作為脆弱度。雖然員山子分洪系統於設計規劃時皆以流量為計算依據，然於現場量測時，主要係量測各觀測點之水位。但管流中之流量與水位關係並非線性關係，建議仍以流量比為計算脆弱度之計算依據較佳，如式(6)所示。

$$V_{DIVERSION} = \exp \left(\frac{\ln(a) \times \min((Q_F - Q_{max}), 0)}{Q_{200} - Q_{max}} \right) \times 100\% \quad (6)$$

其中， Q_F 為進入員山子分洪隧道之分洪流量； Q_{max} 為員山子分洪隧道最大之分洪量：1,529cms； Q_{200} 為員山子分洪設施於 200 年重現期之設計分洪量：1,310cms，此為原始設計之保護標準，於脆弱度中可作為比較標準； $V_{DIVERSION}$ 代表整個員山子分洪系統之脆弱度； a 為員山子分洪 200 年重現期計畫分洪量之期望脆弱度，可視為脆弱度之敏感參數。當 200 年重現期計畫分洪量之期望脆弱度越低，代表該分洪量超過 200 年重現

期計畫分洪量後之脆弱度將劇烈變動。參數 a 之敏感度分析圖如圖 8-5 所示， a 之測試範圍由 0.1 至 0.9。應用模式初期建議先將 a 設為 0.3 至 0.5 間，代表當事件達到水利防洪設施原保護標準時，其脆弱度即等於 a ，當事件超過水利防洪設施原保護標準時，脆弱度數值將由 a 至 1 間遞增。

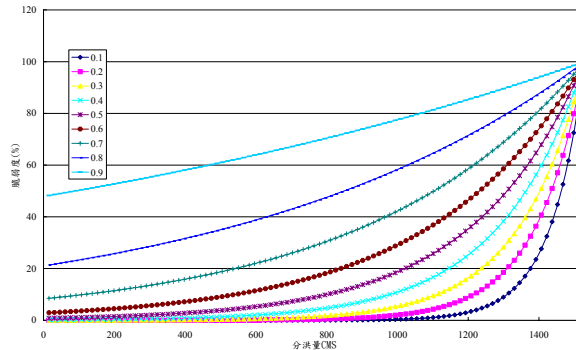


圖 2 員山子分洪脆弱度參數 a 之敏感度分析圖

5.4 調適策略之研析

台灣地區目前由於全球氣候變異，造成環境涵容與資源供給呈現弱化現象；不管自然系統或人為系統均有可處理之範圍來因應環境變動之能力，然氣候變遷可能導致平均狀態改變與劇烈之變異。如可處理範圍不變（如排水系統與堤防防護能力），則環境顯著變遷將導致更多之災害風險，如圖 3(a)。因此，當環境發生顯著變遷，則必須強化可調適處理範圍以減少災害。惟當瞭解環境發生顯著災害再採取行動，往往太晚，由於需要時間完成系統強化，將仍有一段時間無法因應環境變異，如圖 3(b)。因此，若能預測顯著變化發生時機提出「事件預警」，並考量採取行動落實調適能力強化所需之時間，提出「行動預警」，如此，可將系統脆弱度降到最低，如圖 3(c)。

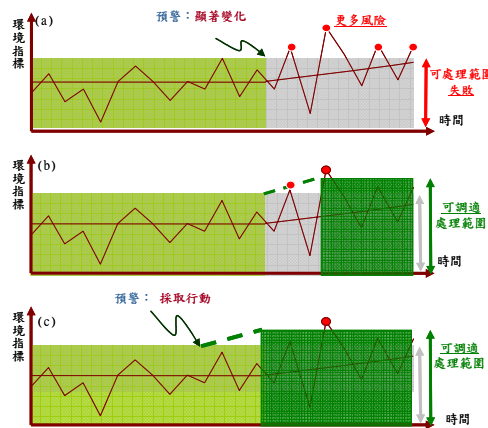


圖 3(a)(b)(c) 環境變遷、災害預警、與行動預警之關係

六、示範區水利防洪設施之脆弱度與調適策略案例研析

6.1 脆弱度評估

將相關演算結果代入上述針對脆弱度所建立之評估模式後，可得到各水利防洪設施

受氣候劇變影響之脆弱度。

由結果可知除社子島外，浮州橋至大漢橋在 A2 及 B2 情境中皆有發生脆弱度為 1 之溢堤事件，代表該河段及社子島為未來淡水河若遭受氣候劇變時最脆弱之河段。其次為新店溪匯入點至中興橋間及淡水河近河口之河段於諸多模式皆呈現脆弱度突增之現象。由堤防脆弱度模式之定義可知該脆弱度並非只計算水位之高低，而是考慮水位與堤頂之關係。除非該河段發生壅水，一般河道水位應為緩變量流。因此，脆弱度突增即代表該河段之堤防設計過低，較不易承受氣候劇變之衝擊。

表 1、表 2 為不同洩洪情境下，堤防整體系統之脆弱度；圖 4~圖 7 為堤防整體系統於不同情境下之脆弱度趨勢圖。其中，表 2 中有 6 種情境於一維變量流演算時數值發散，無法求得正確結果，因此不計算該情境之脆弱度亦不繪於圖中。

表 1 堤防整體系統之脆弱度
(以艾利颱風洩洪比例為例)

堤防整體脆弱度(%)	A2情境			B2情境		
	短期	中期	長期	短期	中期	長期
SDSM	56.25	62.96	57.01	66.25	40.32	61.00
Simple CGCM2	72.07	73.48	69.52	71.74	39.86	51.57
Simple HadCM3	70.66	78.95	76.87	73.06	40.73	63.36
Simple CSIRO Mk2	57.91	64.72	71.85	66.70	39.35	76.11
average	64.22	70.03	68.81	69.44	40.07	63.01
Present	41.21					

表 2 堤防整體系統之脆弱度
(以大臺北防洪設計放流量為例)

堤防整體脆弱度(%)	A2情境			B2情境		
	短期	中期	長期	短期	中期	長期
SDSM	69.97	51.01	47.98	61.94	39.64	56.99
Simple CGCM2	75.57	59.18	61.21	77.71	-	-
Simple HadCM3	63.36	-	-	75.89	-	-
Simple CSIRO Mk2	53.03	57.83	64.31	73.70	59.70	77.75
average	65.48	56.00	57.83	72.31	49.67	67.37
Present	40.62					

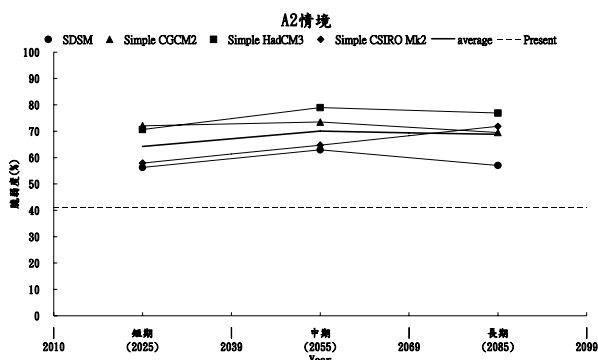


圖 4 A2 情境淡水河 200 年重現期堤防脆弱度趨勢圖
(艾利颱風洩洪比例)

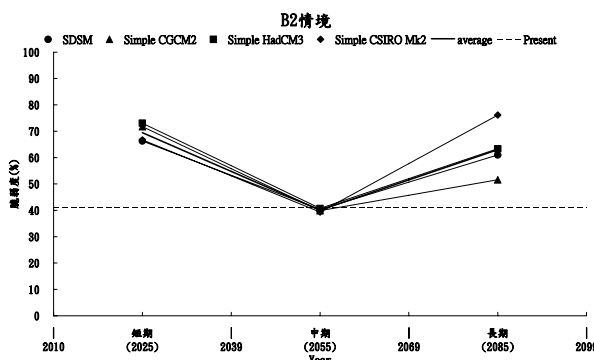


圖 5 B2 情境淡水河 200 年重現期堤防脆弱度趨勢圖
(艾利颱風洩洪比例)

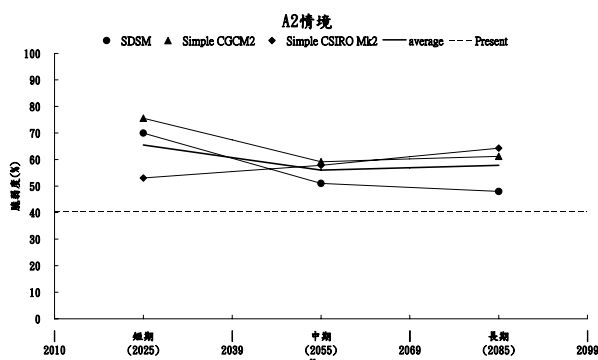


圖 6 A2 情境淡水河 200 年重現期堤防脆弱度趨勢圖
(大臺北防洪放流量)

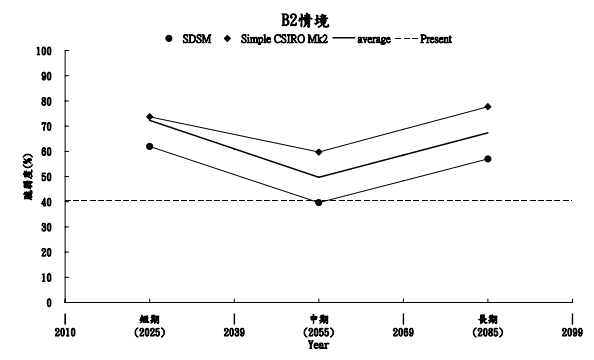


圖 7 B2 情境淡水河 200 年重現期堤防脆弱度趨勢圖
(大臺北防洪放流量)

由上表及上圖可知，兩種不同之洩洪案例均指出現況淡水河堤防之整體脆弱度約為 40。根據堤防之脆弱度評估模式，當模擬洪水位與 200 年重現期之洪水位相等時，其脆弱度應等於評估模式中之參數 a 。本研究採用之 a 為 0.3，理論上現況之脆弱度應為 30%。

而堤防整體脆弱度之趨勢圖可知，不論那一種情境，未來氣候劇變對淡水河堤防之衝擊將使整體脆弱度由目前之 40% 提升至 50~70% 間，可見堤防設施受未來氣候變遷之影響顯著，須進一步採取適當之調適策略。

表 3 為員山子分洪設施於 200 年重現期洪水之脆弱度；圖 8、圖 9 為員山子分洪設施於不同情境下之脆弱度趨勢圖。

表 3 員山子分洪道於 200 年重現期洪水之脆弱度

員山子分洪道脆弱度(%)	A2情境			B2情境		
	短期	中期	長期	短期	中期	長期
SDSM	15.39	4.08	3.66	20.33	3.15	15.98
Simple CGCM2	32.50	4.08	21.61	61.46	10.93	41.88
Simple HadCM3	24.51	100.00	72.22	36.33	20.42	100.00
Simple CSIRO Mk2	7.02	12.45	30.31	15.35	20.03	64.91
average	19.86	30.15	31.95	33.37	13.63	55.69
Present	3.17					

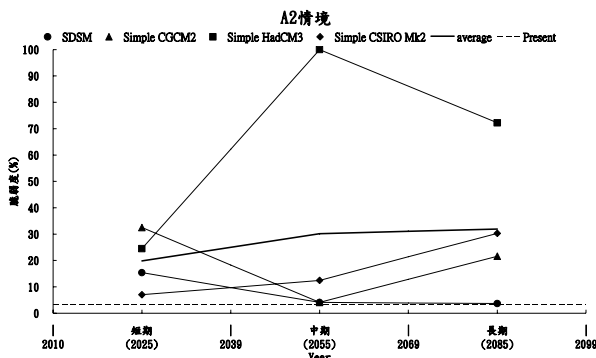


圖 8 A2 情境 200 年重現期
員山子分洪脆弱度趨勢圖

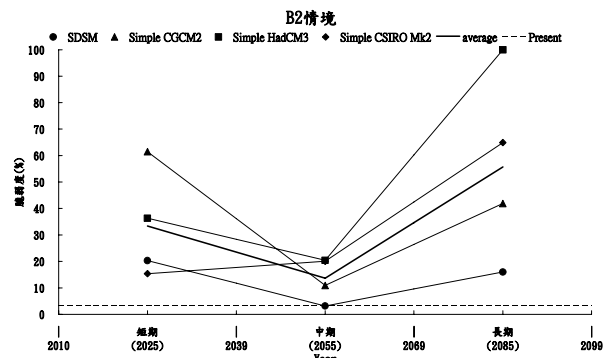


圖 9 B2 情境 200 年重現期
員山子分洪脆弱度趨勢圖

由淡水河洪水預報模式中之降雨權重可知，控制員山子分洪上游集水區之雨量站為五堵與火燒寮，其權重各為 0.5。因此，員山子分洪道於 200 年重現期降雨發生時之脆弱度與上游集水區之降雨量是呈正相關。而根據員山子分洪設施之脆弱度評估模式可知，其脆弱度主要係模擬分洪量與該分洪道之最大分洪量(1,529 m³/s)及原設計 200 年重現期分洪量(1,310 m³/s)之比例。而模式所得之 200 年重現期降雨所產生之分洪量為 900.96 m³/s，小於原設計 200 重現期之分洪量，因此現況之脆弱度僅 3.17%。表 4~表 9 為中永和各抽水站之脆弱度，表 10 為中永和區域排水系統之整體脆弱度；圖 10、圖 11 為中永和區域排水系統於不同情境下之脆弱度趨勢圖。

表 4 中和抽水站之脆弱度

抽水站脆弱度(%)	A2			B2		
	短期	中期	長期	短期	中期	長期
SDSM	50.21	50.43	50.21	50.43	50.21	50.21
Simple CGCM2	50.43	50.43	50.43	50.64	50.21	50.21
Simple HadCM3	50.43	50.85	50.64	50.43	50.43	51.49
Simple CSIRO Mk2	50.64	50.43	50.43	50.43	50.43	50.64
average	50.43	50.53	50.43	50.48	50.32	50.64
Present	50.426					

表 6 瓦瑤抽水站之脆弱度

抽水站脆弱度(%)	A2			B2		
	短期	中期	長期	短期	中期	長期
SDSM	58.28	58.60	58.49	58.71	58.71	58.60
Simple CGCM2	59.03	58.82	58.92	59.25	58.71	59.14
Simple HadCM3	58.92	59.35	59.14	59.03	58.92	59.46
Simple CSIRO Mk2	58.60	58.71	59.03	58.82	58.92	59.25
average	58.71	58.87	58.90	58.95	58.82	59.11
Present	58.387					

表 8 秀山抽水站之脆弱度

表 5 永和抽水站之脆弱度

抽水站脆弱度(%)	A2			B2		
	短期	中期	長期	短期	中期	長期
SDSM	63.25	63.25	63.25	63.25	63.25	63.25
Simple CGCM2	63.38	63.38	63.38	63.38	63.25	63.38
Simple HadCM3	63.38	63.50	63.38	63.38	63.38	63.50
Simple CSIRO Mk2	63.25	63.25	63.38	63.25	63.38	63.38
average	63.31	63.34	63.34	63.31	63.31	63.38
Present	63.250					

表 7 秀朗抽水站之脆弱度

抽水站脆弱度(%)	A2			B2		
	短期	中期	長期	短期	中期	長期
SDSM	12.40	13.20	12.93	13.60	13.20	13.20
Simple CGCM2	14.40	13.73	14.00	14.80	13.47	14.53
Simple HadCM3	14.00	15.20	15.07	14.40	13.87	15.47
Simple CSIRO Mk2	13.07	13.60	14.27	13.73	13.87	14.93
average	13.47	13.93	14.07	14.13	13.60	14.53
Present	12.533					

表 9 中原抽水站之脆弱度

抽水站脆弱度(%)	A2			B2		
	短期	中期	長期	短期	中期	長期
SDSM	31.00	32.75	32.00	33.25	32.75	32.50
Simple CGCM2	34.00	33.25	33.50	34.50	33.00	34.00
Simple HadCM3	33.50	34.75	34.50	34.00	33.50	35.25
Simple CSIRO Mk2	32.50	33.00	33.75	33.25	33.50	34.50
average	32.75	33.44	33.44	33.75	33.19	34.06
Present	31.250					

抽水站脆弱度(%)	A2			B2		
	短期	中期	長期	短期	中期	長期
SDSM	70.60	71.00	70.80	71.20	71.00	70.80
Simple CGCM2	71.40	71.20	71.20	71.60	71.00	71.40
Simple HadCM3	71.20	71.80	71.60	71.40	71.20	71.80
Simple CSIRO Mk2	70.80	71.00	71.40	71.20	71.20	71.60
average	71.00	71.25	71.25	71.35	71.10	71.40
Present	70.600					

表 10 區域排水系統整體之脆弱度

區域排水系統脆弱度(%)	A2			B2		
	短期	中期	長期	短期	中期	長期
SDSM	55.57	55.88	55.69	55.97	55.81	55.74
Simple CGCM2	56.12	56.00	56.04	56.33	55.82	56.05
Simple HadCM3	56.04	56.51	56.31	56.12	56.04	56.86
Simple CSIRO Mk2	55.94	55.92	56.11	55.99	56.04	56.33
average	55.92	56.08	56.04	56.10	55.93	56.24
Present	55.702					

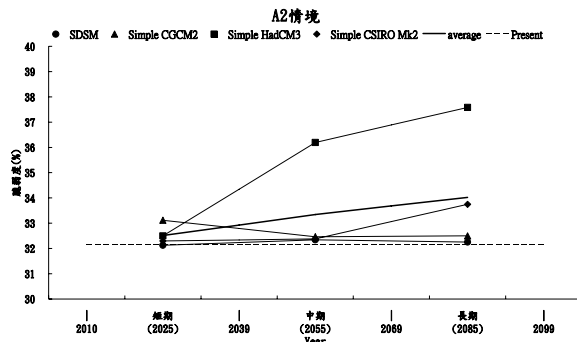


圖 10 A2 情境 5 年重現期中永和區域排水脆弱度趨勢圖

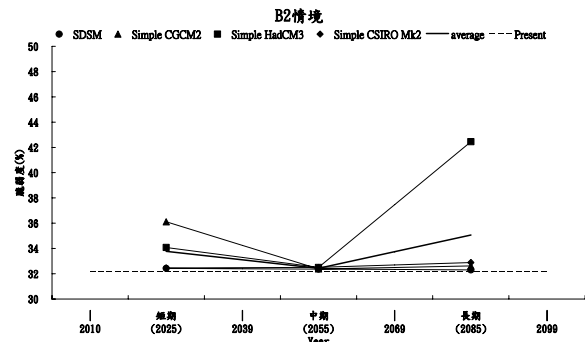


圖 11 B2 情境 5 年重現期中永和區域排水脆弱度趨勢圖

根據 5 年重現期降雨之外水演算及內水演算結果，堤外水位高於堤內抽水站前池水位之情況僅出現於永和、瓦瑤及中和，且相對於各抽水站之揚程，其外水位對各抽水站所產生之脆弱度都相當低(最大為瓦瑤抽水站於 A2 情境之 HadCM3 所求得之脆弱度 26.03%)。因此目前之區域排水系統應能抵禦未來因氣候劇變所產生之 5 年重現期暴雨。

綜觀上述三種水利防洪設施之整體脆弱度趨勢圖與淡水河流域 A2、B2 情境下氣候變遷雨量變化趨勢圖可知，所有脆弱度之計算結果皆隱涵降雨變化趨勢。以 B2 情境之中期為例，因降尺度後之雨量於中期之變化量降低，造成推估之脆弱度亦相對降低。由於該變化係根據 IPCC 所公布之 GCM 模式之模擬結果，於 B2 中期之降低變化目前仍有許多研究團隊持續探討中。然脆弱度分析之重要性係將雨量變化值針對不同標的物之影響予以量化，使氣候劇變之影響由標的物本身之脆弱程度標示之，有助於決策支援參考。

6.2 調適策略之研擬

本研究之結果可由堤防、員山子分洪、區域排水三種水利防洪設施進行調適策略之探討。研究中亦發現對於淡水河水位影響最劇之人為措施為水庫之調節性洩洪操作，當水庫之洩洪量接近最大洩洪量時，方能造成上述各河段之溢堤。因此，考慮調適策略規劃 8 項原則，本研究提出下列幾點調適策略：

1. 興辦防洪工程：針對淡水河沿岸堤防之高度進行檢討(a)，對於脆弱度較高之河段應適當加高堤防高度(b)。
2. 加強維護管理：定期執行河道清淤(c)，完成全河段整治(d)；石門水庫及翡翠水庫應

- 定期清淤(e)，加強上游崩塌地整治(f)，並定期檢討水庫於防洪功能上之操作原則(g)。
3. 建立災害防救體系：針對脆弱度較高之河段即早規劃緊急疏散路線(h)，並定期進行社區防災訓練(i)。
 4. 防災科技研究：提高石門水庫、翡翠水庫上游雨量、入流量之預報精準度及預測時間(j)，建立氣候變遷長期觀測網(k)，加強淡水河洪水預報模式之更新(l)，提升堤防脆弱度評估之技術(m)。
 5. 非工程防洪措施：由於淡水河脆弱度較高之河段兩岸均為高度開發、人口密集之區域。非工程防洪措施應朝向降低兩岸區域開發(n)、推動洪災保險(o)，建立洪災境況模擬及決策支援系統(p)。

在員山子分洪設施方面，由於只有一種模式於 A2 及 B2 情境中發生超過員山子分洪設施最大分洪量之演算結果，對於員山子分洪設施完全失效(脆弱度=1)之可能性較低。然而未來全球經濟活動若趨向 A2 情境，則應對員山子分洪設施進行中長期之調適策略規劃；若趨向 B2 情境，則應著重短期之調適策略規劃。本研究提出下列幾點調適策略：

1. 加強維護管理：定期執行員山子上下游河道清淤(a)，並完成河道整治(b)。
2. 建立災害防救體系：定期檢討颱風期間，分洪量接近最大分洪量之應變作業流程(c)，並進行下游鄰近社區之緊急疏散路線規劃及演練(d)。
3. 防災科技研究：提高員山子分洪設施上游集水區之雨量、流量預報技術(e)，建立上游流量測站以針對氣候變遷進行長期觀測(f)，並提升員山子分洪設施脆弱度評估技術(g)。

在區域排水方面，目前中永和之區域排水系統應能抵禦未來因氣候劇變所產生之 5 年重現期暴雨事件。然應審慎因應超過 5 年重現期暴雨對區域排水系統之衝擊。此外，本研究僅以中永和之區域排水為案例研究，未來應逐步檢視所有區域排水系統受氣候劇變之脆弱度。本研究針對當區域排水系統不足以抵禦未來氣候劇變之衝擊下，提出下列幾點調適策略：

1. 興辦防洪工程：重新檢討當前區域排水系統所能抵禦之降雨事件(a)，並適當補強(b)；若需興辦區域排水系統時，水文規劃應納入氣候變遷之影響(c)；推動重要建築自身防洪工事(d)。
2. 加強維護管理：徹底執行雨水下水道清淤工程(e)，定期檢測抽水機組是否正常(f)。
3. 建立災害防救體系：針對區域排水系統脆弱度較高之區域應即早規劃緊急疏散路線(g)，並定期進行社區防災訓練(h)。
4. 防災科技研究：建立可模擬區域排水系統之即時淹水預警系統(i)、加強都會區精密降雨觀測技術(j)、建立地區型淹水災害潛勢分析(k)、研析迅洪(flash flood)預警系統(l)。
5. 非工程防洪措施：由於具有排水系統之區域均為高度開發、人口密集之區域。非工程防洪措施應朝向推動洪災保險(m)，建立洪災境況模擬及決策支援系統(n)。

七、結語與建議

7.1 結語

「水利防洪設施受新類型災害之脆弱度與調適度分析」第一年計畫自民國 96 年 8 月起執行迄今，一切均依進度順利進行並獲致預期之成果。本研究已從事全世界先近國家之新類型災害文獻探討，進而深入探討我國所面對之新類型災害，並以氣候劇變為本研究探討之重點。研究中針對水利防洪設施受氣候劇變之脆弱度與調適策略規劃完整且詳盡之研究方法，利用降尺度分析及頻率分析求得未來各種情境可能發生之水文條件，並應用洪水演算模式進行脆弱度之評估，更進一步以臺灣北部重要河川之一之淡水河流域作為案例研究，分析淡水河堤防、員山子分洪設施、中永和區域排水系統之脆弱度。最後根據各水利防洪設施之脆弱度提出可行之調適策略作為未來因應氣候劇變造成之新類型災害之參考。

在雨量受氣候劇變影響之分析方面，本研究已完成利用簡易降尺度方式，針對不同情境、不同 GCM 模式於未來短、中、長期下之降雨變化量進行整理工作。由分析結果可知，臺北氣象站於未來短期內，其濕季（5-10 月）平均雨量將明顯提昇，而到了乾季 1、4 月的平均降雨較目前增加，而 2、3、11 月的平均降雨則出現減少之情況。同時，亦完成利用 SDSM 降尺度模式針對淡水河流域氣象站進行 GCM 格點資料降尺度工作。由結果均可看出，藉由 SDSM 模式所獲得之檢定結果與觀測資料吻合，而其驗證結果之趨勢也大致與該站觀測資料之歷史趨勢相符。最後，整理應用 SDSM 模式配合 HADCM3 之 A2 及 B2 氣候變遷情境，預測氣候變遷下未來短、中、長期之降雨、溫度變化情形，並與基期進行比較，計算出雨量以作為後續推估降雨變化時使用。

在水利防洪設施之脆弱度評估方面，本研究已完成以淡水河流域為研究範圍，針對該流域之河堤、抽水站、員山子分洪等水利防洪設施受極端氣候影響時研析其系統之脆弱度。其結果顯示淡水河堤防之衝擊將使整體脆弱度由目前之 40% 提升至 50~70% 間，可見堤防設施受未來氣候變遷之影響顯著，須進一步採取適當之調適策略；若未來全球經濟活動趨向 A2 情境，則應對員山子分洪設施進行中長期之調適策略規劃；若趨向 B2 情境，則應著重短期之調適策略規劃；目前規劃之區域排水系統原保護標準為 5 年重現期之暴雨，而未來若氣候劇變使降雨量增加所產生之衝擊不致使區排之脆弱度突增，因此目前之區域排水系統應能抵禦未來因氣候劇變所產生之 5 年重現期暴雨。

在調適策略之研擬方面，本研究已完成由堤防、員山子分洪、區域排水三種水利防洪設施進行調適策略之探討，並考慮調適策略規劃之 8 項原則：不後悔、可逆性、最低環境衝擊、成本效益、公平性、降低脆弱度、可達成性、有效性，完成調適策略之研擬。

由以上之具體成果展現可知，本計畫已達預期之進度與目標；並期冀在未來水利防洪設施檢討規劃時，本研究能提供合適之參考及應用。

7.2 建議

根據 IPCC 於 2007 年 11 月 17 日在西班牙瓦倫西亞發布一份總結過去 6 年針對全球暖化所作之研究成果指出，氣候變遷危機比先前預測的要來的嚴重，受到暖化的影響，熱浪、

洪災、乾旱、熱帶旋風等極端天氣的現象會越來越普遍。水利防洪設施受氣候劇變影響評估係一複雜且環環相扣之分析過程，未來應定期檢討脆弱度之評估系統，並即早建立行動預警及行動門檻值之機制，並定期調整調適策略以因應新類型災害之衝擊。

參考文獻

1. 王如意、許銘熙等，「臺北盆地及鹽水河流域示範區颱風災害危險度分析(三)」，經濟部水資源局，國立臺灣大學生物環境系統工程學系，2001。
2. 中興工程顧問社，「區域淹水損失圖建立先期計畫」，經濟部水利署，2005。
3. 李賢文 (1985)，沿海窪地與海水堆升之研究—臺灣周圍海域颱風暴潮數值模式，行政院國家科學委員會防災科技研究報告，NSC73-0414-P019-001，台北。
4. 宋睿唐，2004，分散式降雨逕流模式之建立，國立中央大學水文科學研究所。
5. 林淑華、柳宗明、吳華富，2007，「臺灣區域統計降尺度研究與氣候變遷趨勢探討」，本地氣候變遷模擬推動研究發展研討會論文集
6. 徐月娟、曾淑芬、陳進益、蔡恆雄 (1998)，臺灣地區八十三年至八十六年颱風暴潮特性之初步研究，交通部中央氣象局氣象學報，42(3)，230-247。
7. 許銘熙、鄧慰先等，「災害潛勢資料(4)—臺北縣市淹水潛勢資料」，行政院國科會防災科技研究報告，防災國家型科技計畫辦公室，1999。
8. 張哲豪等，「臺灣沿海地區淹水潛勢之研究(1/2)」，經濟部水利署，國立臺北科技大學，2003。
9. 程俊銘，2003，淡水河流域之降雨乾旱分析研究，國立海洋大學河海工程系。
10. 歐善惠、許泰文、臧效義 (1999)，東北海岸防波堤颱風波浪與暴潮合成作用力評估研究，交通部科技顧問室專題研究計畫成果報告。
11. 經濟部水利署水利規劃試驗所，「基隆河整體治理計畫(前期計畫)暨後期治理規劃方案之效益與風險評估」，2005。
12. 經濟部水利署，2007，「強化區域水資源永續利用與因應氣候變遷之調適能力(1/2)」期中報告，經濟部水利署。
13. 龔誠山、呂育勳，「翡翠水庫緊急應變計畫專題研究 A—翡翠水庫潰壩洪水研究」，臺北市政府翡翠水庫管理局，中興工程顧問有限公司，1997。
14. Balloffer, A. & M. L. Scheffler, “Numerical Analysis of the Teton Dam Failure Flood”, Journal of Hydraulics Research, Vol. 20, pp.317-428, 1982.
15. Harrison, G. P., and Whittington, H. W., 2002. “Susceptibility of the Batoka Gorge Hydroelectric Scheme to Climate Change”, Journal of Hydrology, Vol. 264: 230-241.
16. Jelesnianski, C.P. (1965). A numerical calculation of storm tides induced by a tropical storm impinging on a continental shelf, Monthly Weather Review 93, 343-358.
17. Konnen, G. P. Climate Scenarios for Impact studies in the Netherlands www.knmi.nl/onderzk/klimscen/scenarios/Scenarios2001.pdf (2001).
18. Loucks, Daniel P, 2000. Sustainable Water Resources Management,” Water International, 25(1), 3-10.
19. Rob de Loe, Reid Kreutzwiser, Liana Moraru, 2001, “Adaptation options for the near term: climate change and the Canadian water sector”, Global Environmental change.