



行政院農業委員會水土保持局
Soil and Water Conservation Bureau,
Council of Agriculture, Executive Yuan



強化水庫集水區因應氣候變遷 治山、防洪及排淤調適能力之研究

主講人：何智超 副教授
逢甲大學營建及防災研究中心



簡報大綱

壹

擬解決問題

貳

氣候變遷變異分析

參

水庫集水區
土砂生產量評估

肆

水庫防洪排淤操作
最佳規劃模式發展

伍

後續研究方向

- 近10年單位雨量水庫淤積量呈遞減趨勢→土砂生產調節之成效
- 水庫淤積量近年仍有增高趨勢→極端降雨頻繁

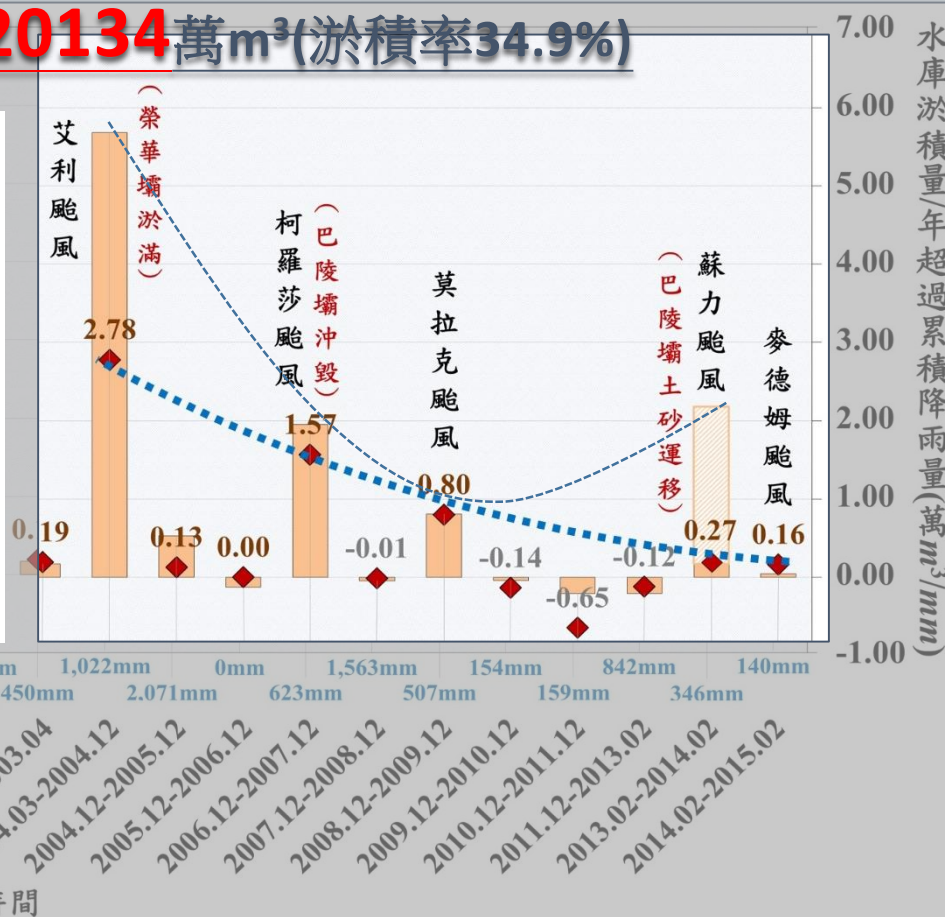
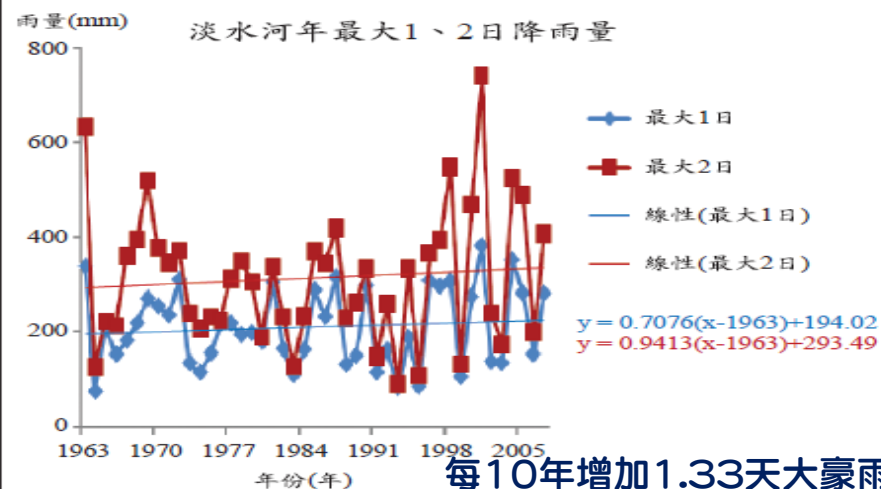
3,500

3,000

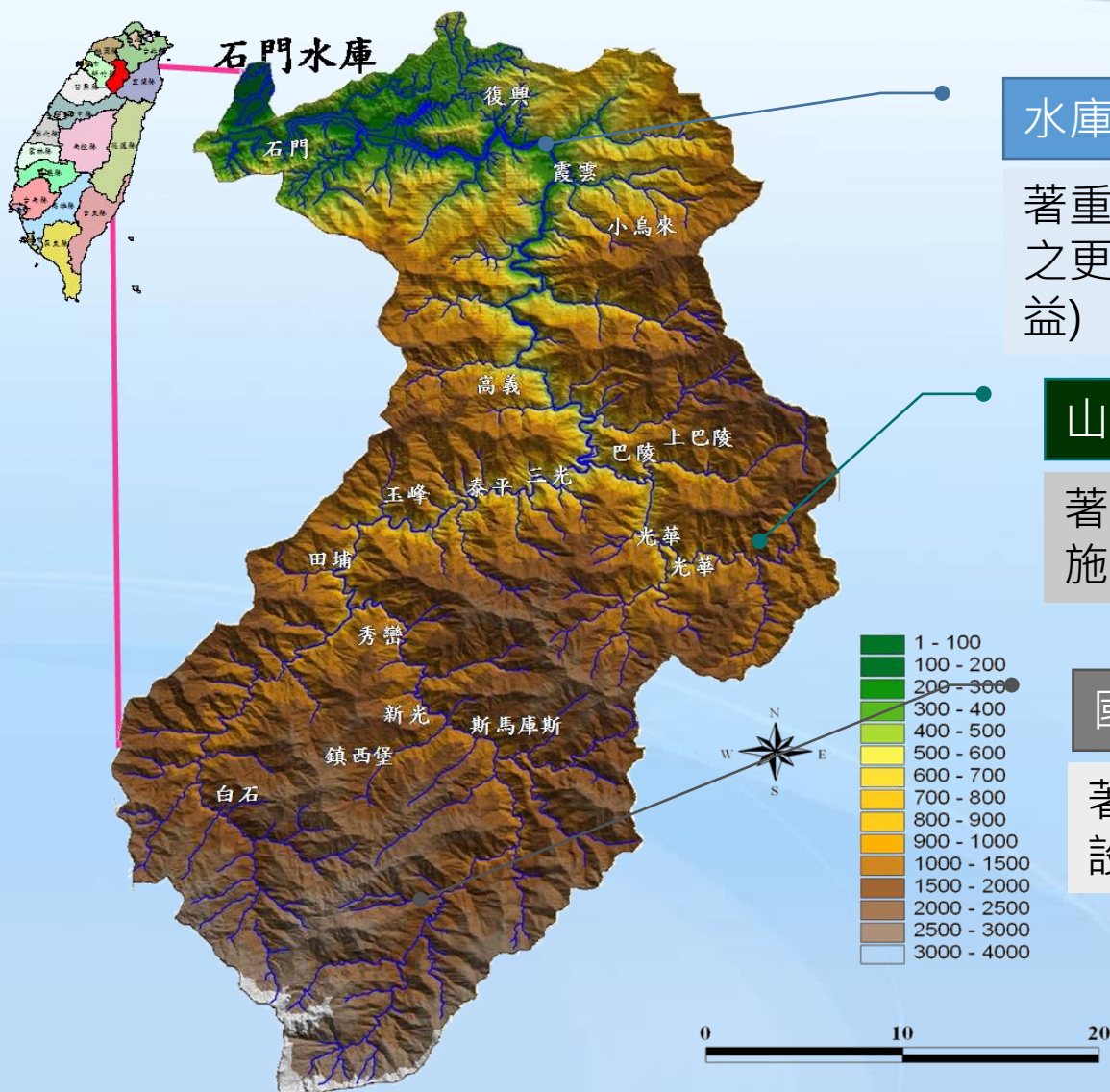
葛

石門水庫容量**30912**→**20134**萬 m^3 (淤積率34.9%)

■ 水庫淤積量



近50年水庫淤積量及年超過累積降雨量之關係圖



水庫蓄水範圍 (含保護帶)-水利署

著重水庫排砂設施與河道輸砂能力之更新改善(忽略上游集水區治理效益)

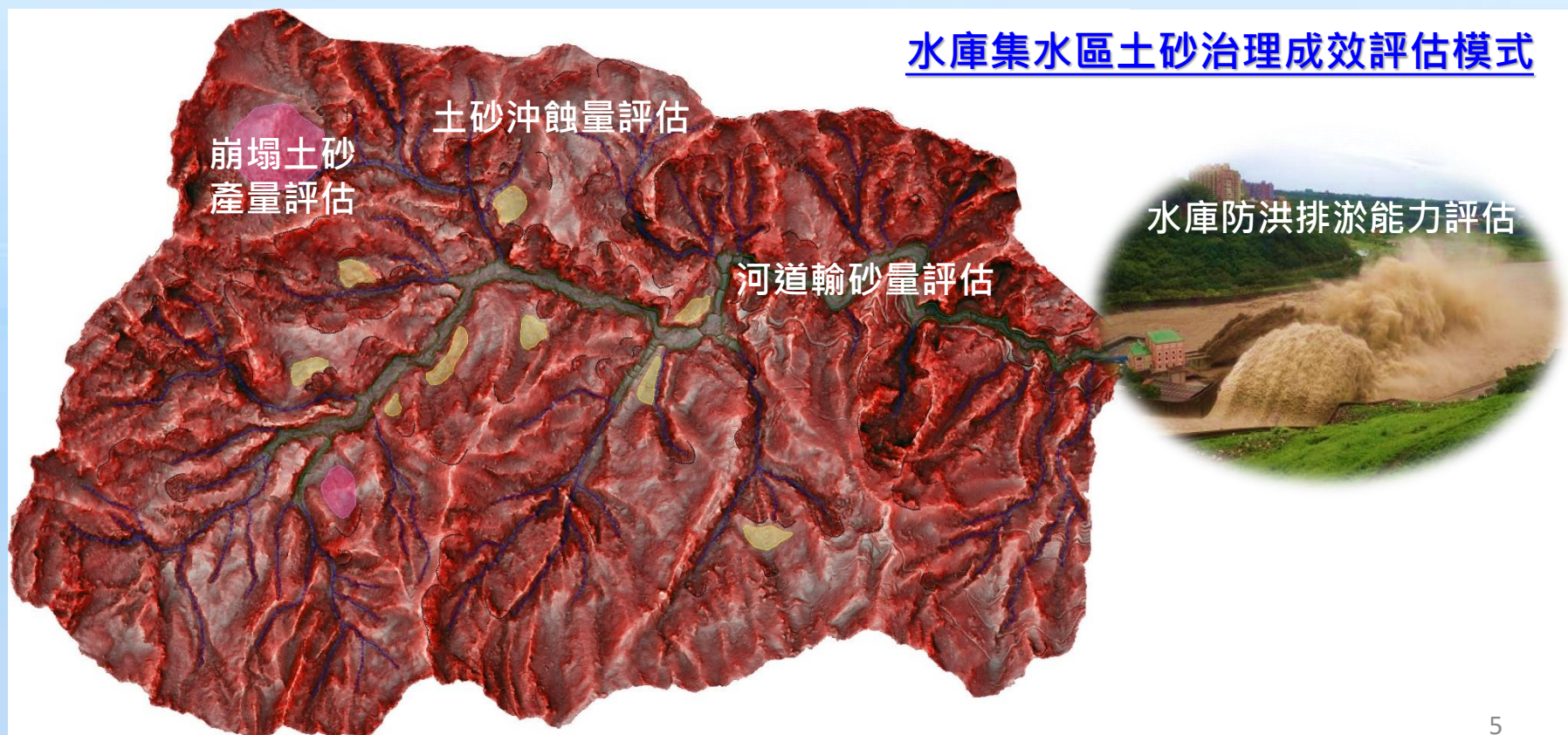
山坡地治理-水保局

著重坡地治理成效(忽略水庫排砂設施與河道輸砂能力改善效益)

國有林班地治理-林務局

著重林班地治理成效(忽略水庫排砂設施與河道輸砂能力改善效益)

- ◆ 基於**流域整體治理**概念，建立一套**水庫集水區土砂治理成效評估模式**
- ◆ 評估**氣候變遷**對水庫集水區**土砂產量**之影響。





氣候變遷變異分析
(空間降尺度與時間降尺度)



崩塌產砂量

衛星影像+經驗公
式(定率)



土壤沖蝕量

萬用土壤流失公式
(USLE→MUSLE)



水庫入砂量

土砂遞移率
(經驗公式)

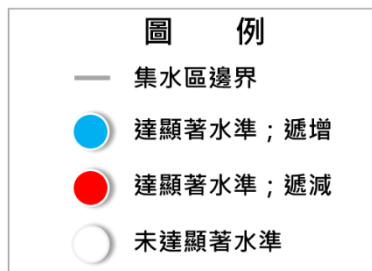


水庫操作

考量利用、防
洪、排渾機能
(遺傳演算法)



◆ 區域水文氣候因子變動趨勢分析



	AR4	AR5	
基期	1980~1999	1986~2005	
近未來	2020~2039	2020~2039	2016~2035

MK檢定：探討氣象因子是否明顯上升或下降變動趨勢

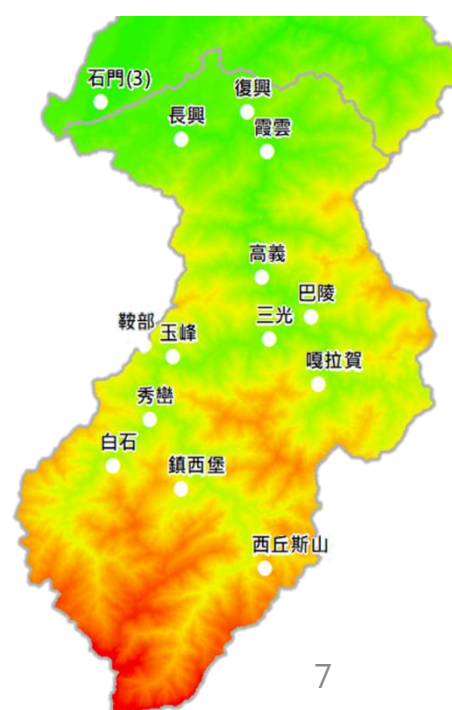
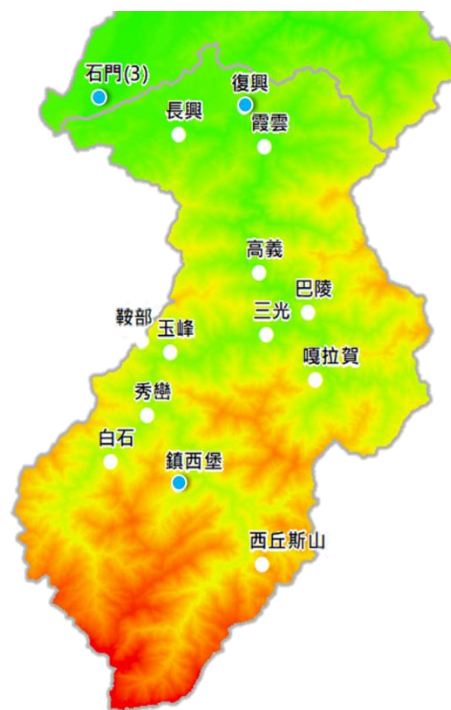
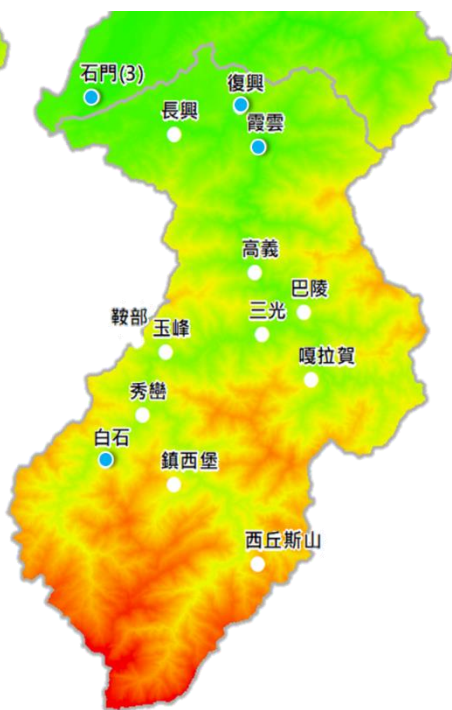
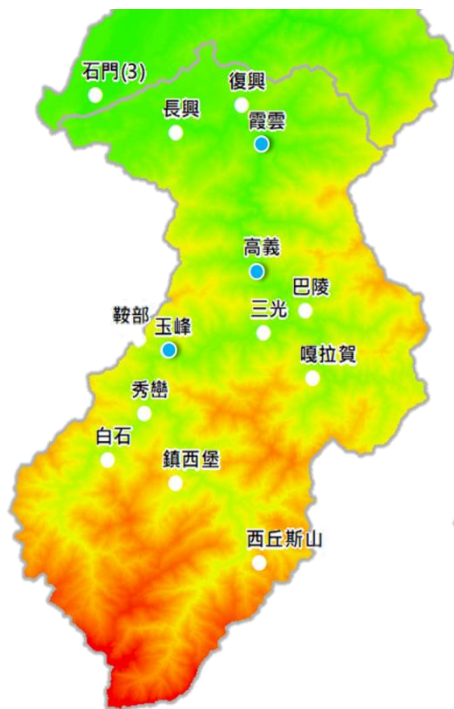
年降雨量、豐水期雨量與年最大一日暴雨有顯著上升趨勢

枯水期雨量
年最大連續不降雨天數

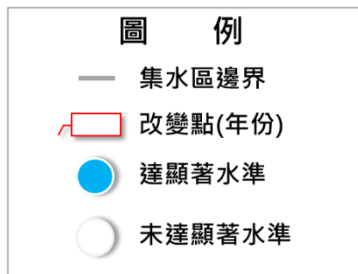
年降雨量

豐水期雨量

年最大一日暴雨



◆ 區域水文氣候因子變動趨勢分析

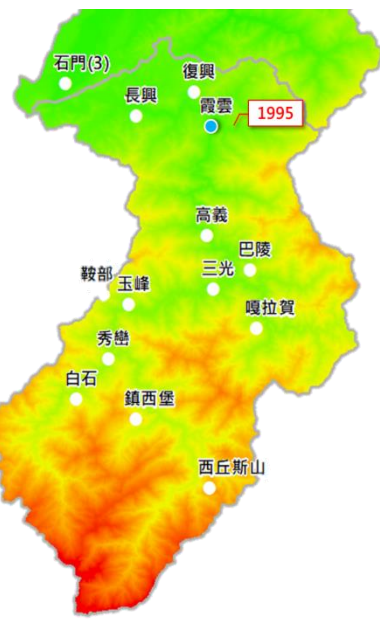


	AR4	AR5	
基期	1980~1999	1986~2005	
近未來	2020~2039	2020~2039	2016~2035

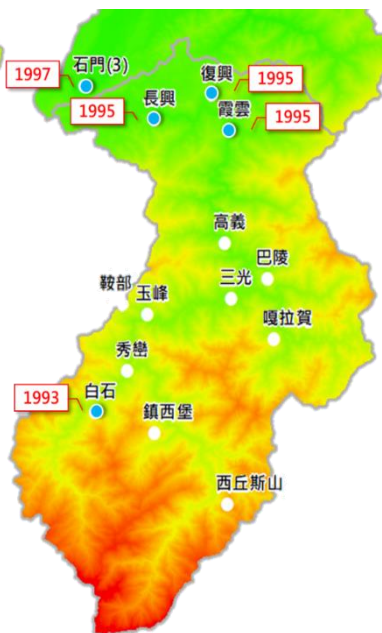
MWP與KW檢定：探討氣象因子在時間變化上有顯著變異點

豐水期雨量與年最大一日暴雨有顯著變異點趨勢，變異點多介於1993~1997間

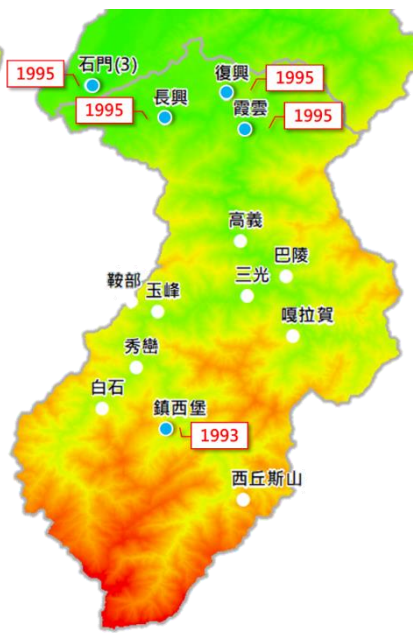
年降雨量



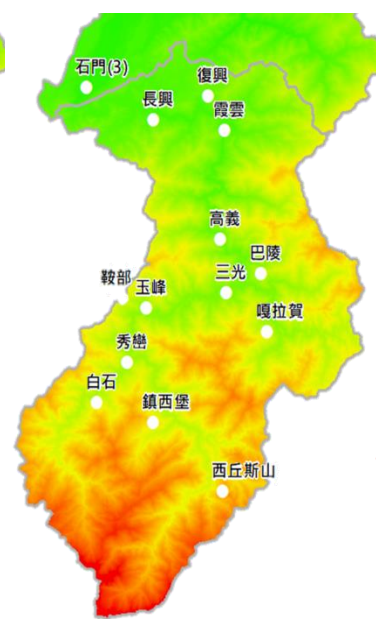
豐水期雨量



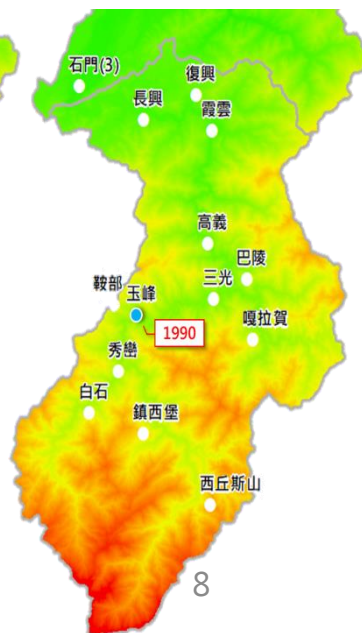
年最大一日暴雨



枯水期雨量



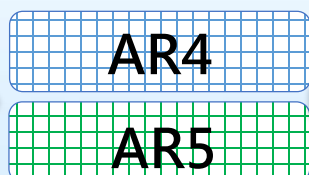
年最大連續不降雨天數



◆ 未來水文氣候變異分析



提供

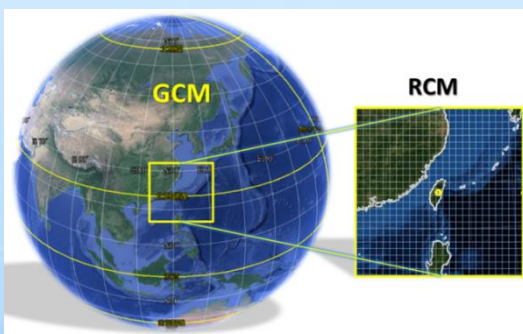


(250 km × 250 km)

TCCIP

降尺度

AR4
AR5

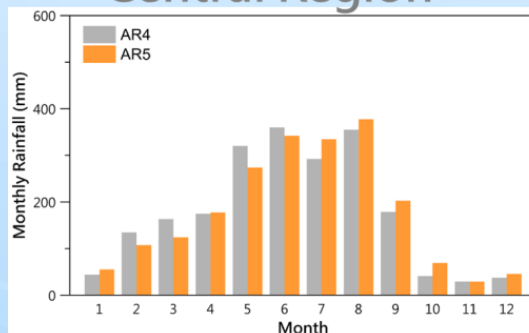


250 Km × 250 Km

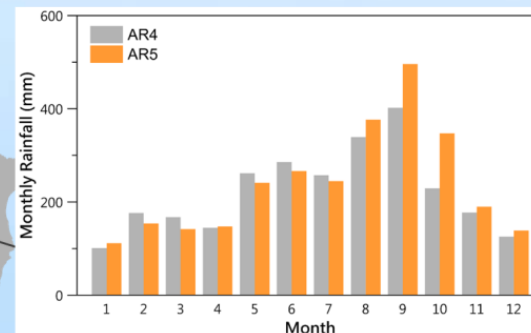


5 Km × 5 Km

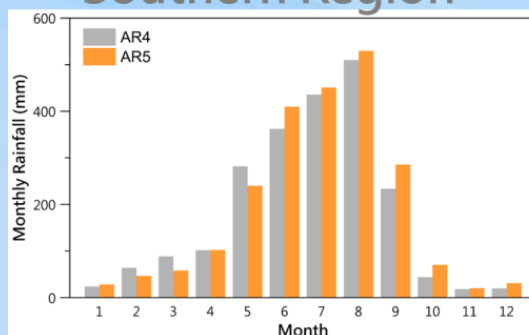
Central Region



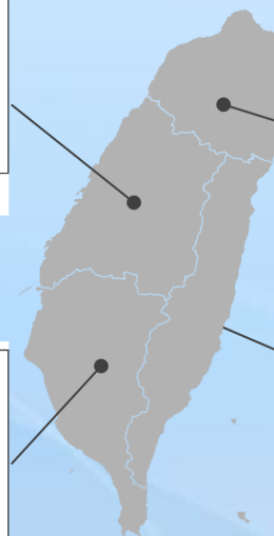
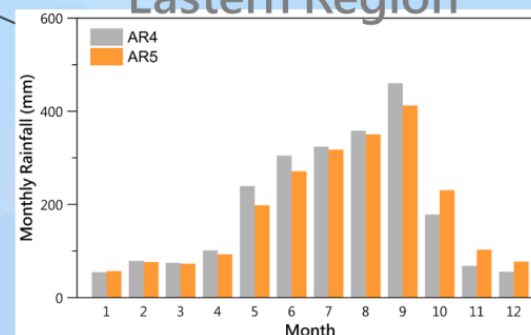
Northern Region



Southern Region



Eastern Region





資料如何使用

選用什麼排放情境?

AR4 B1, A2, A1B

AR5 RCP2.6, 4.5, 6.0, 8.5

排放情境

氣候變遷資料

在水文應用上之議
題

GCM

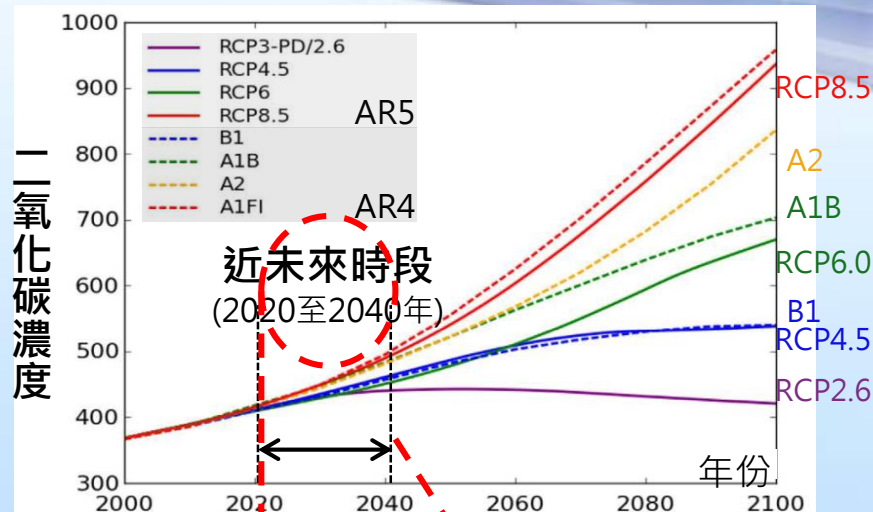
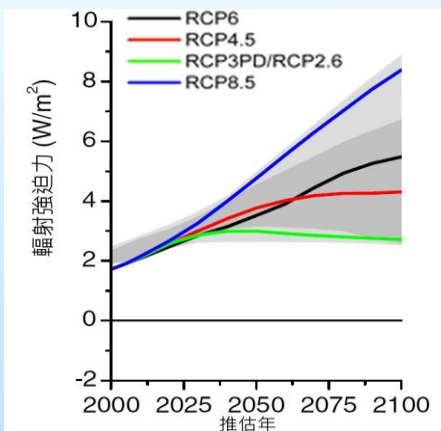
選用哪幾個GCM?

時間尺度

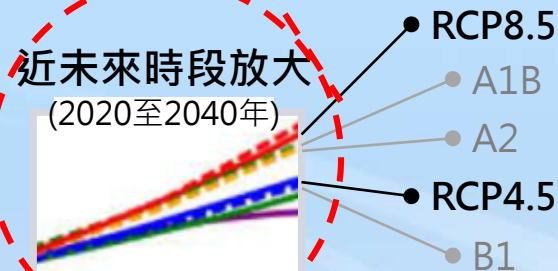
時間精度是否足夠?

TCCIP僅提供月資料

氣候變遷情境比較



圖片來源：Australian Climate Change Science Program (Jubb, I. et al.)



	IPCC AR4 (水利署採用)	IPCC AR5
氣候變遷 情境	A1B	RCP8.5
	A2	
	B1	RCP4.5

情境與GCM模式挑選

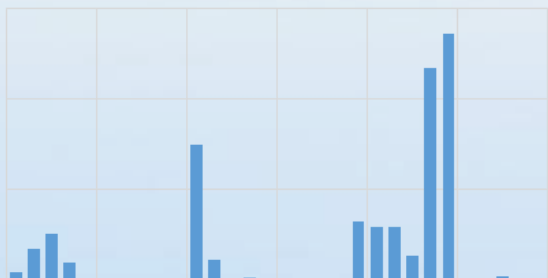
☑ 近未來時段(2020至2040年)

調適主軸	水資源主軸				
評估報告版本	IPCC AR4			IPCC AR5	
氣候變遷情境	B1	A1B	A2	RCP4.5	RCP8.5
GCM 挑選方法	豐水期：系集平均+1倍系集標準偏差 枯水期：系集平均-1倍系集標準偏差				

版本	AR4			AR5			
情境	B1	A1B	A2	RCP2.6	RCP4.5	RCP6.0	RCP8.5
GCM數量	21	24	19	26	38	21	41

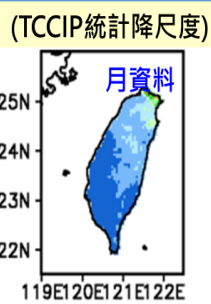
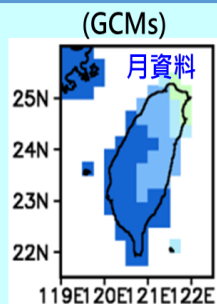
雨量資料繁衍(時間降尺度)

1 歷史日雨量資料

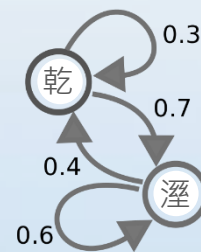
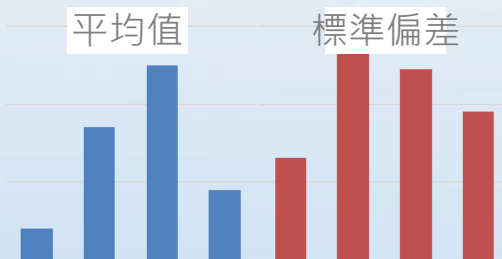


2 空間降尺度(TCCIP)

空間降尺度

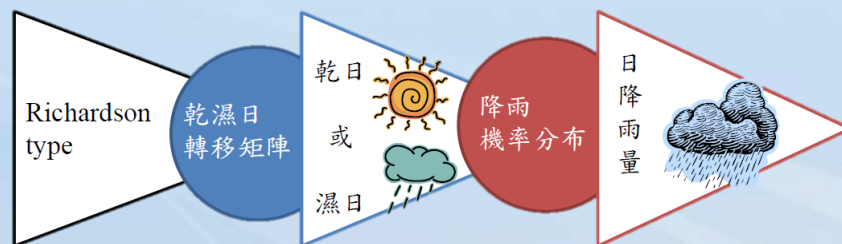


3 計算各月份統計量與乾溼移轉機率



4 時間降尺度(乾溼日與繁衍雨量)

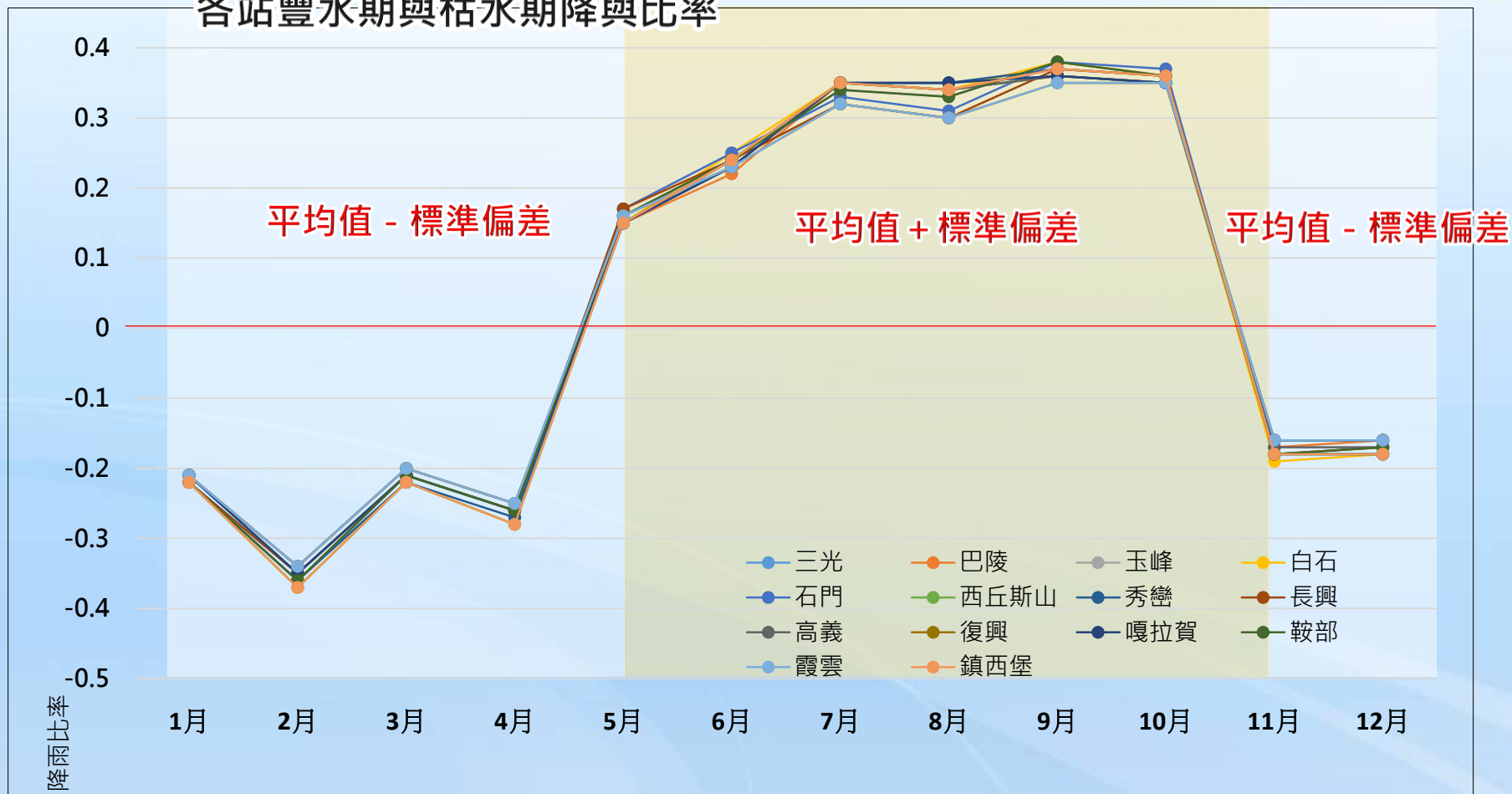
Richardson-type



氣象繁衍模組

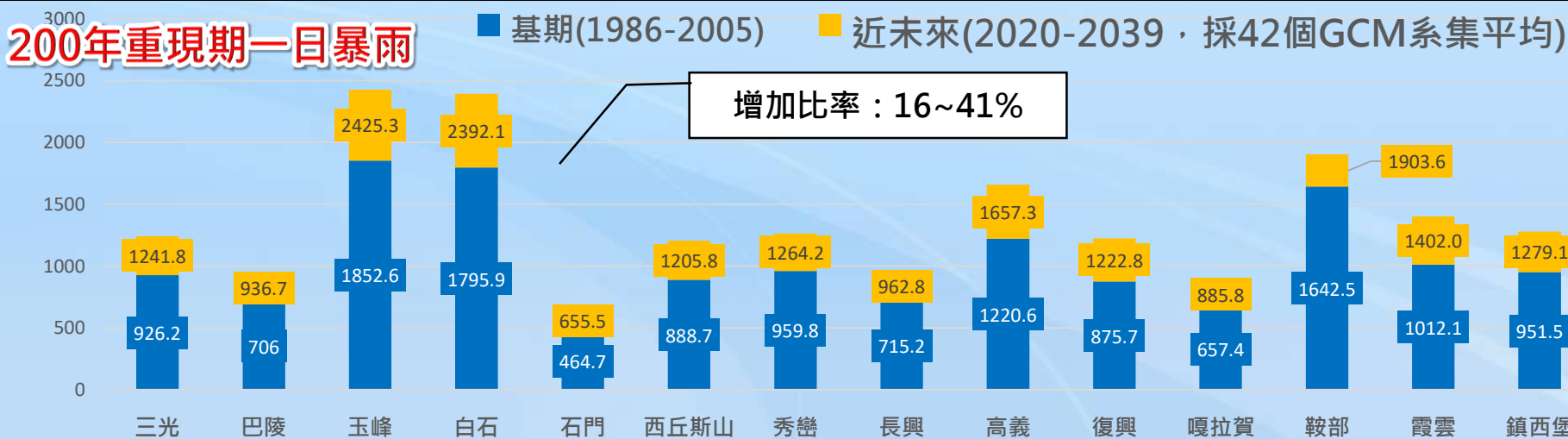
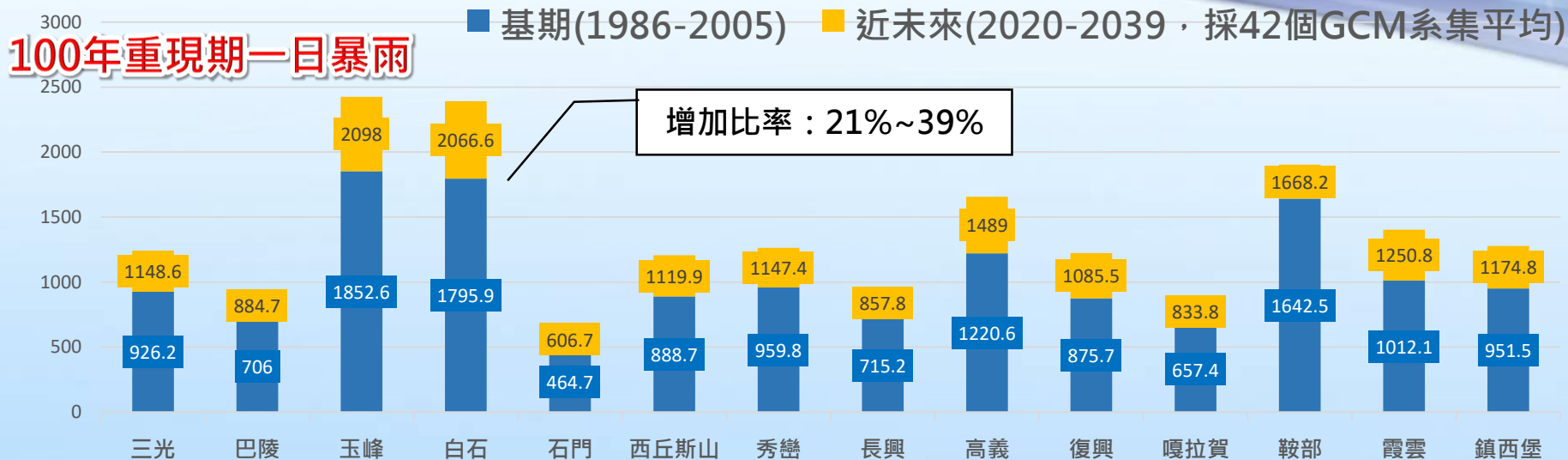
◆ 區域氣候空間與時間降尺度分析

各站豐水期與枯水期降與比率



豐水期(5-10月)降雨變化率增加15%~38%
 枯水期(11-4月)降雨變化率下降16%~37%

◆ 區域氣候空間與時間降尺度分析



三 水庫集水區土砂生產量評估

水庫集水區土砂生產量評估



三 水庫集水區土砂生產量評估

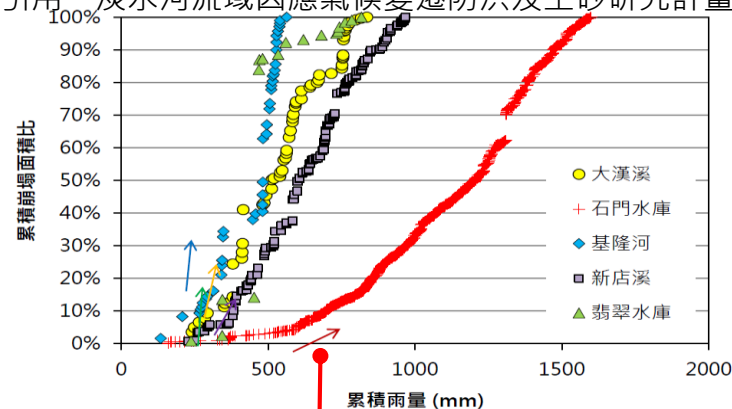
坡地崩塌土砂產量評估

臨界降雨量決定
(歷史事件分析)

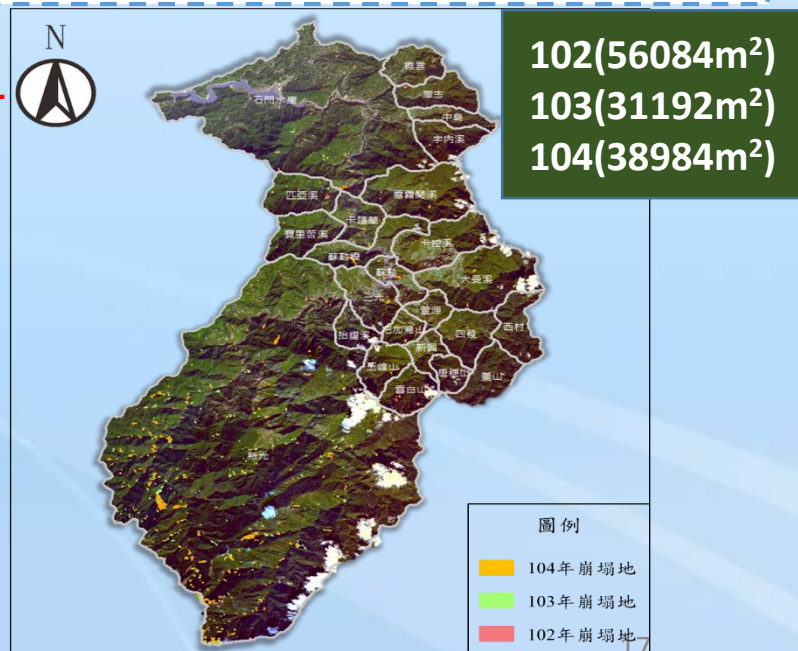
崩塌面積判釋
(衛星影像判釋)

崩塌量推估
(經驗公式)

引用「淡水河流域因應氣候變遷防洪及土砂研究計畫」



臨界雨量設定為600毫米



引用

研究來源	研究區域	適用面積範圍	迴歸公式
陳樹群等 (2010)	石門水庫集水區	$10^2 < A < 10^5$	$V = 0.04 A^{1.368}$
陳樹群等 (2010)	大甲溪集水區	$10^2 < A < 2 \times 10^5$	$V = 1.92 A^{1.10}$
Guzzetti et al. (2008)	義大利	$1 < A < 10^9$	$V = 0.0844 A^{1.4324}$
Hovius et al. (1997)	紐西蘭	$10 < A < 10^6$	$V = 0.05 A^{1.50}$

註：A 為崩塌地面積 (平方公尺)；V 為崩塌體積 (立方公尺)

三 水庫集水區土砂生產量評估

土壤沖蝕量評估

以修正型土壤沖蝕公式(MUSLE)取代通用土壤流失公式 (USLE)

$$V_s = 11.8(V_{eff} \cdot Q_p)^{0.56} \cdot Km \cdot C \cdot P \cdot L \cdot S$$

以事件有效降雨量與尖峰流量取代降雨因子

水庫入砂量評估

水庫泥砂量

=

土壤沖蝕量

+

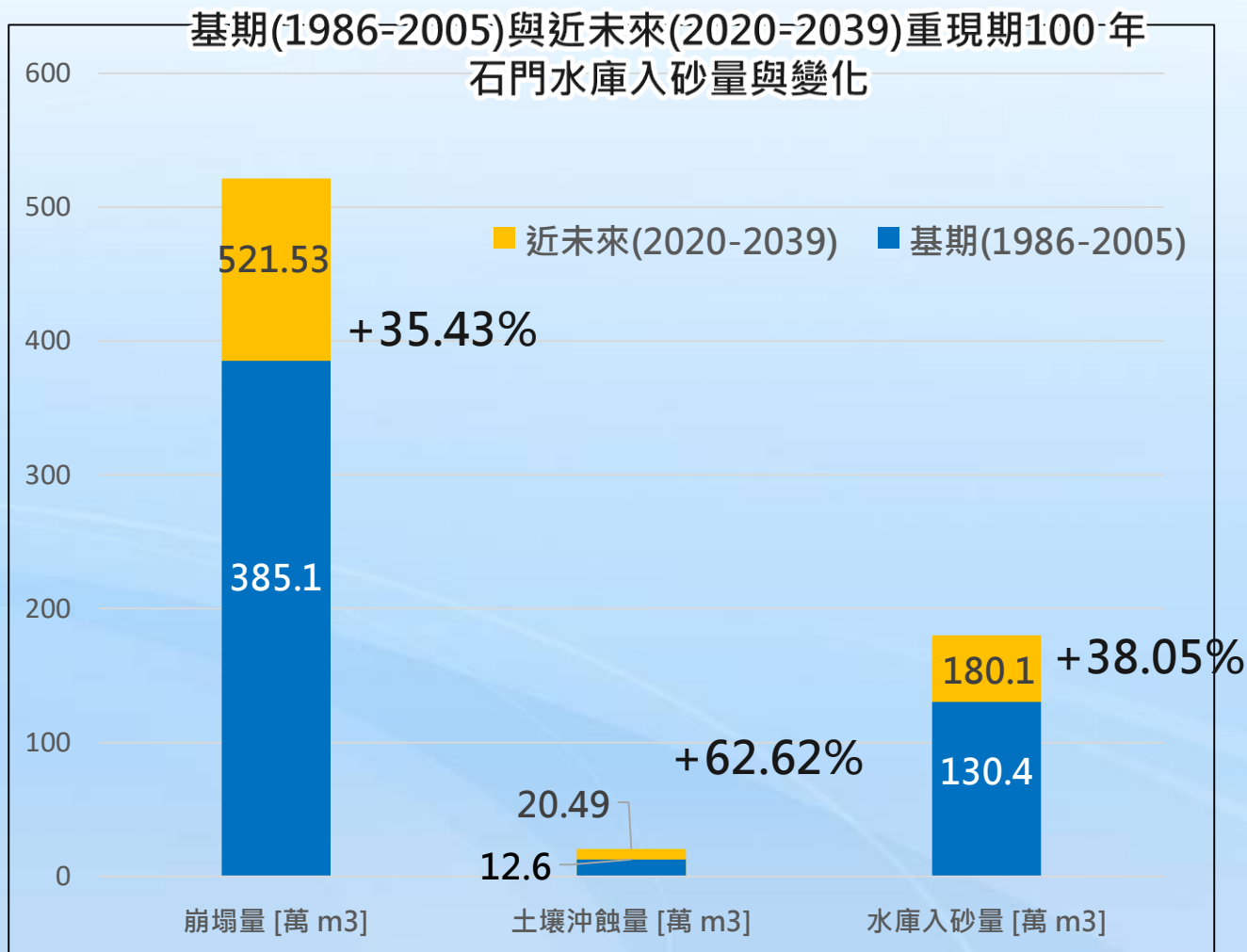
坡地崩塌量

×

土壤遞移率

出處	土砂遞移率經驗公式	石門水庫遞移率(%)
Roehl,(1962)	$\log SDR(\%) = 1.91 - 0.338 \log A$	8.6
Vanoni (1975)	$SDR(\%) = 62 \times A^{-0.14}$	24.5
陳樹群、賴益成 (2004)	$SDR(\%) = 249.14 \times A^{-0.316}$	30.6
	$SDR(\%) = 126.22 \times A^{-0.35} S^{0.22}$	10.1

水庫集水區土砂生產量

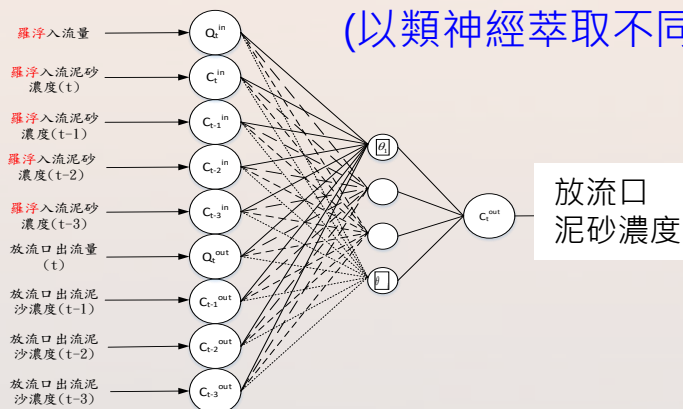


四

水庫防洪排淤操作最佳規劃模式發展

排渾目標：排砂量最大

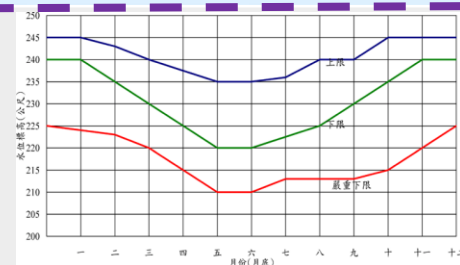
(以類神經萃取不同放流口流量對泥砂濃度之關係)



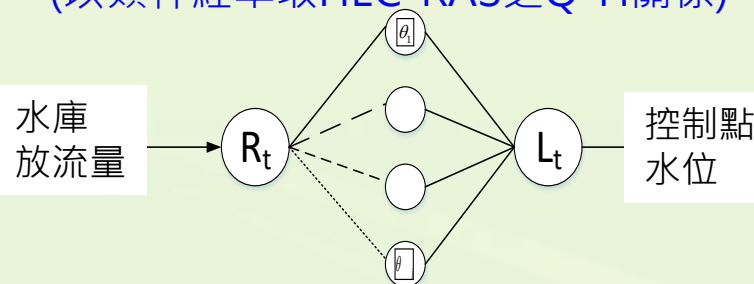
水資源利用目標：
期末蓄水位接近期初蓄水位
(考量水庫操作規線)



遺傳演算法



防洪目標：放流量不造成下游溢堤
(以類神經萃取HEC-RAS之Q-H關係)



後池堰

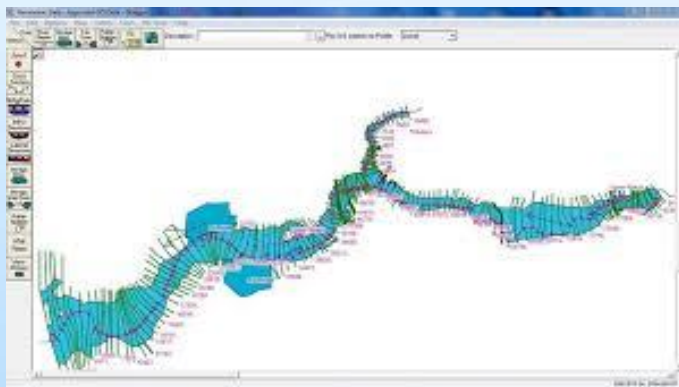
鳶山堰

四

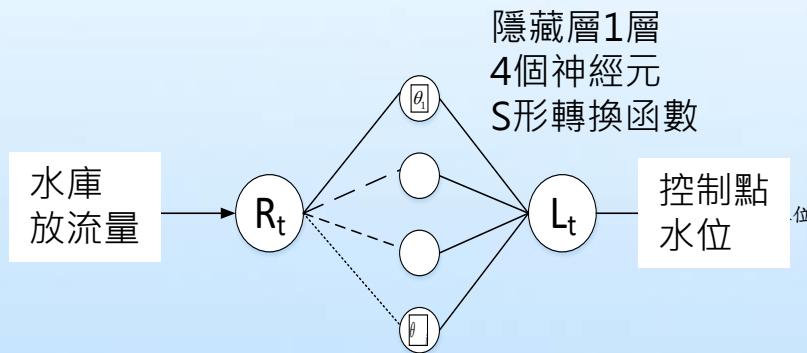
水庫防洪排淤操作最佳規劃模式發展

◆ 石門水庫下游河道水理模式建立

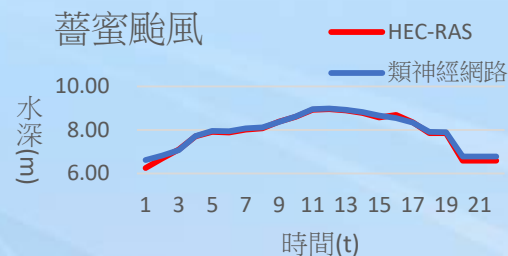
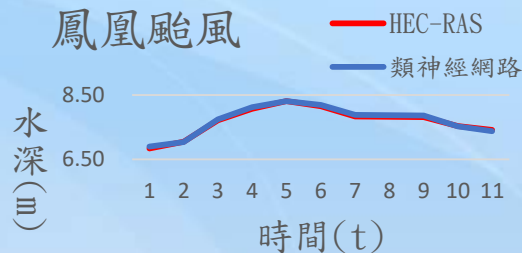
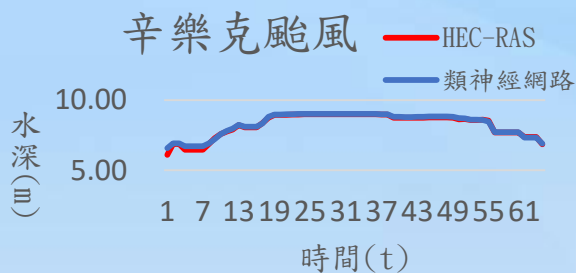
以類神經取代HECRAS，以降低模式計算量



以HEC-RAS產生105場事件
(流量1000cms~11500cms間，
每隔100cms作為一個事件)



建立倒傳遞類神經網路
(採最陡坡降法)



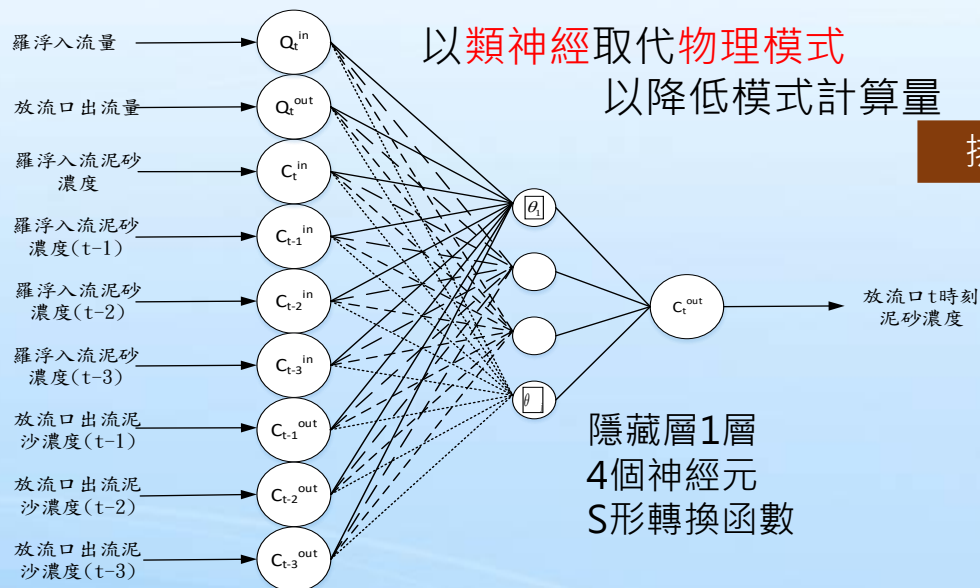
類神經模式訓練

	辛樂克颱風	鳳凰颱風	薔蜜颱風
判定係數(R ²)	0.9922	0.9939	0.9920
誤差百分率	0.001	0.0006	0.0014

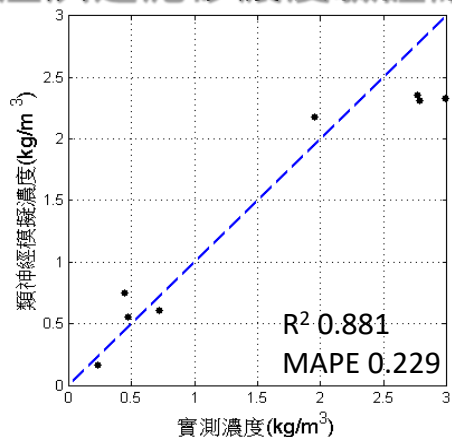
四

水庫防洪排淤操作最佳規劃模式發展

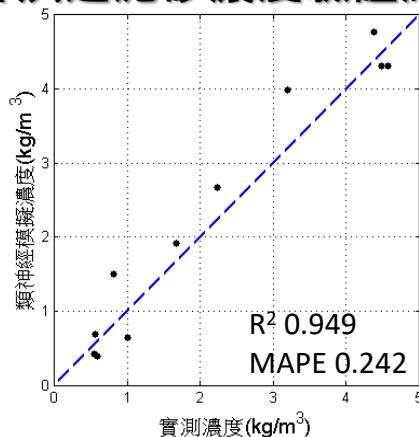
◆ 石門水庫下游河道水理模式建立



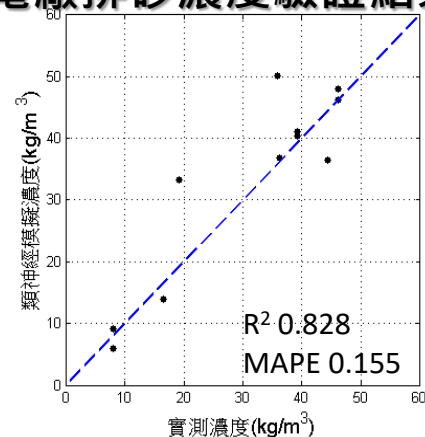
溢洪道泥砂濃度驗證結果



排洪道泥砂濃度驗證結果



電廠排砂濃度驗證結果



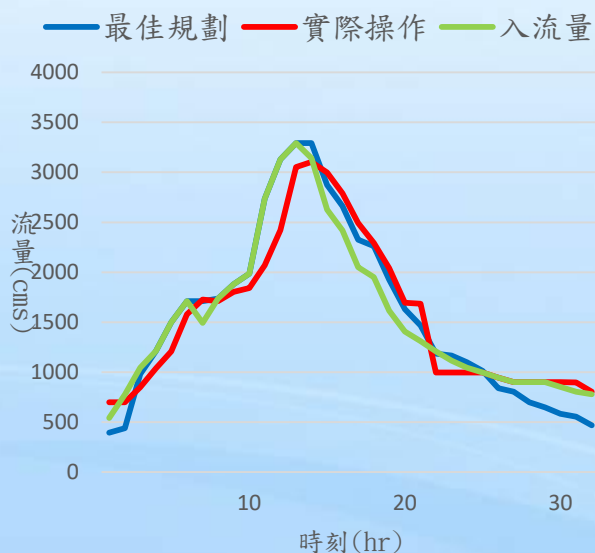
四

水庫防洪排淤操作最佳規劃模式發展

◆ 石門水庫最佳防洪排淤操作

最大洪水位皆小於控制點(大漢溪與三峽河匯流口)堤防高程20m

薔蜜颱風



最佳操作

尖峰放流量**3291.99** cms

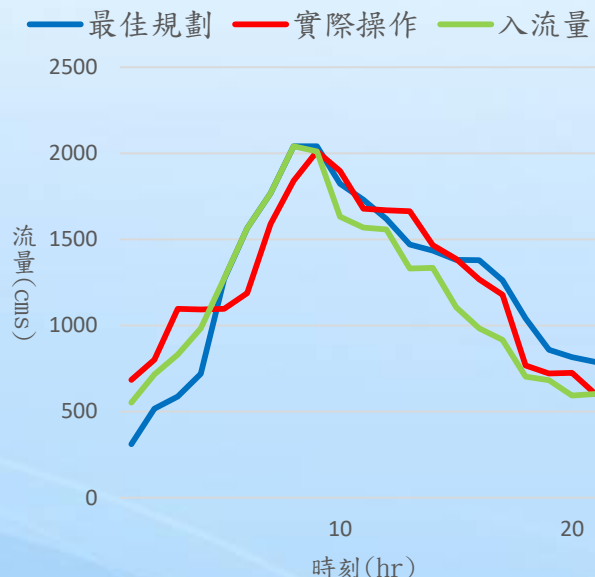
最大洪水位為**9.45**m

實際操作

尖峰放流量**3105.19** cms ,

最大洪水位為**8.96**m

鳳凰颱風



最佳操作

尖峰放流量**2039.78** cms

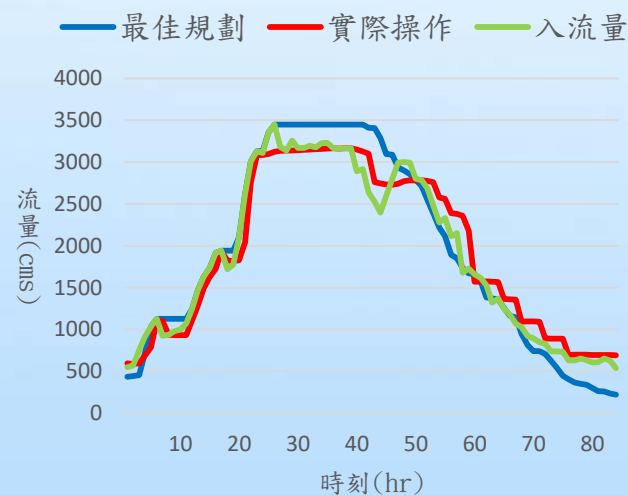
最大洪水位為**8.39**m

實際操作

尖峰放流量**2010.98** cms ,

最大洪水位為**8.35**m

辛樂克颱風



最佳操作

尖峰放流量**2039.78** cms

最大洪水位為**8.39**m

實際操作

尖峰放流量**2010.98** cms ,

最大洪水位為**8.35**m ²³

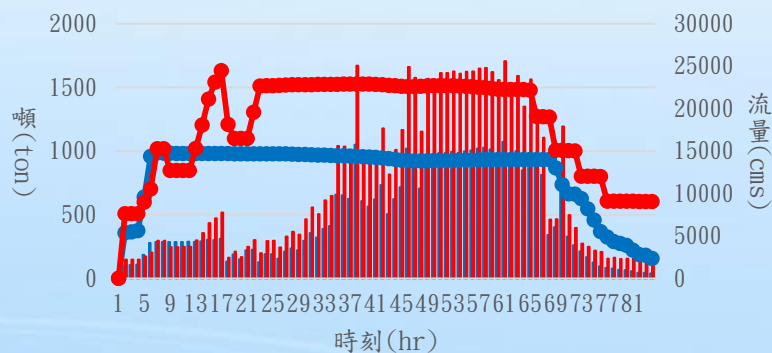
四

水庫防洪排淤操作最佳規劃模式發展

◆ 石門水庫最佳防洪排淤操作

辛樂克颱風

最佳規劃排砂 實際操作排砂
最佳規劃放流 實際操作放流



排洪隧道最佳操作

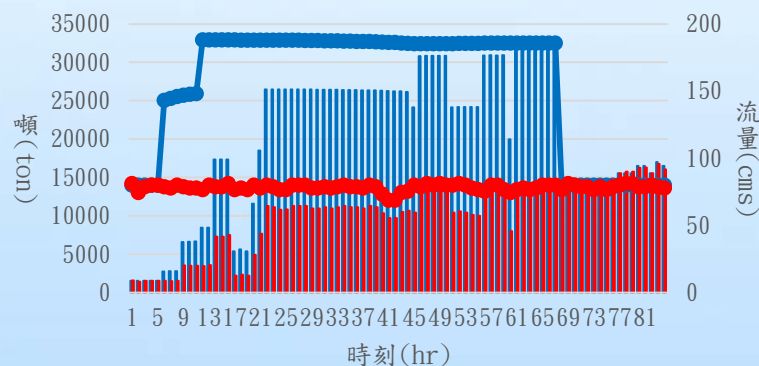
排砂量**59.71** 萬噸

排洪隧道實際操作

排砂量**91.82** 萬噸

辛樂克颱風

最佳規劃排砂 實際操作排砂
最佳規劃放流 實際操作放流



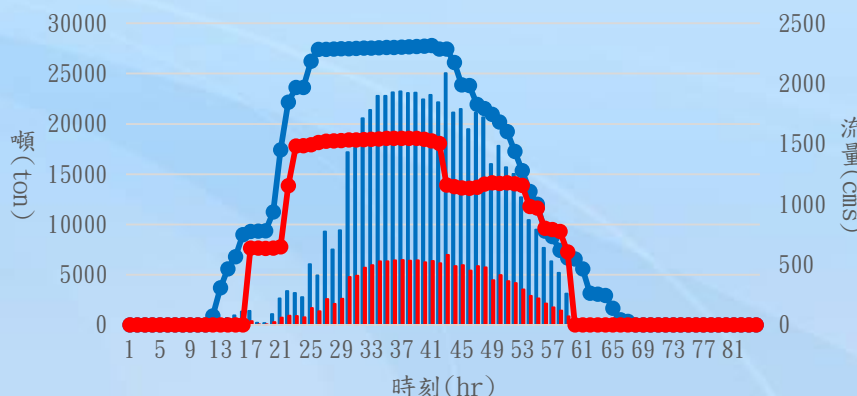
排砂鋼管最佳操作

排砂量**156.26** 萬噸

排砂鋼管實際操作

排砂量**19.17** 萬噸

最佳規劃排砂 實際操作排砂 最佳規劃放流 實際操作放流



溢洪道最佳操作 排砂量**82.76**萬噸

溢洪道實際操作 排砂量**16.37**萬噸

四

水庫防洪排淤操作最佳規劃模式發展

◆ 放流設施排砂效率

		排洪隧道	溢洪道	排砂鋼管
薔蜜颱風	累積排砂量(萬噸)	11.99	9.36	44.11
	砂水比(kg/m ³)	0.0012	0.0014	0.0331
鳳凰颱風	累積排砂量(萬噸)	6.69	0.93	30.77
	砂水比(kg/m ³)	0.0010	0.004	0.0276
辛樂克颱風	累積排砂量(萬噸)	59.7	58.92	156.26
	砂水比(kg/m ³)	0.0024	0.002	0.0257

防洪操作

洪水量較大
颱風事件

符合下游防洪要求，傾向多放水，以排除庫區內之泥砂

洪水量較小
颱風事件

由於流量小排砂效益不顯著，因此與現行操作較為相似

排砂操作

砂水比=排砂量/排洪量

傾向優先由排砂鋼管排砂，溢洪道次之，排洪隧道最後

- ◆ 氣候變遷不確定高，須持續滾動檢討，目前IPCC已於2019年發表AR6，後續須配合重新檢討修正
- ◆ 坡地崩塌具有不確定性，建議原定率分析可以改為序率分析(如邏輯式回歸)
- ◆ 土砂遞移率可改採河道輸砂模式，精進模式準確度

感謝聆聽

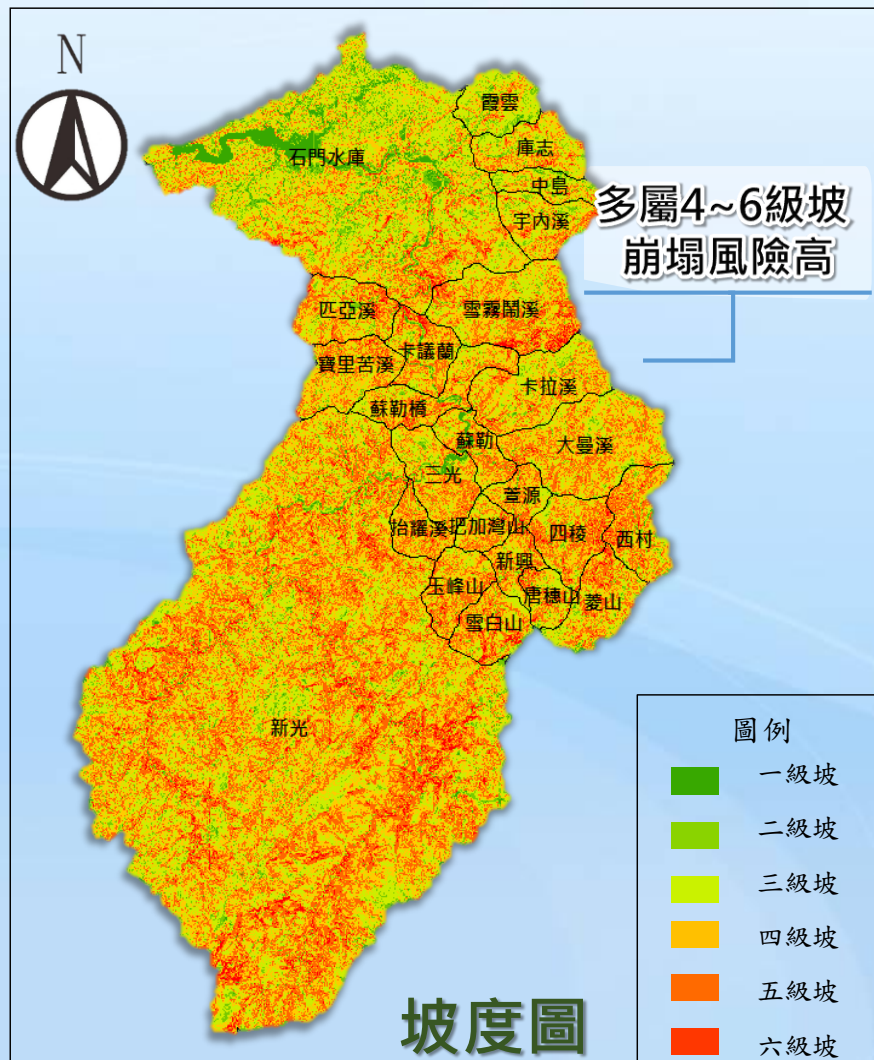
敬請指教



◆ 基本資料蒐集與分析

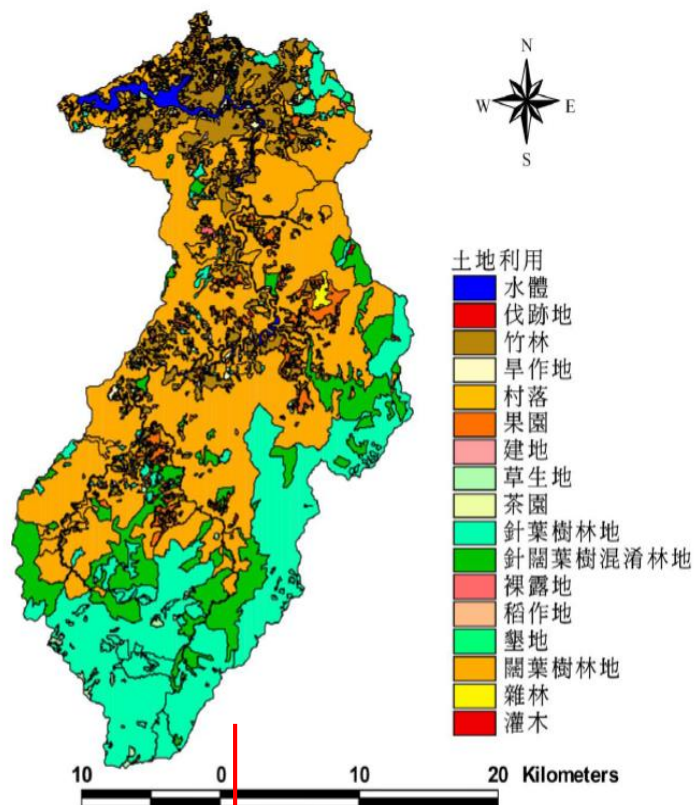
◆ 地文資料

主要為澳底層、大桶山層與乾溝層，此種頁岩受風化影響，是細顆粒泥質土的主要來源，造成質濁度易升高



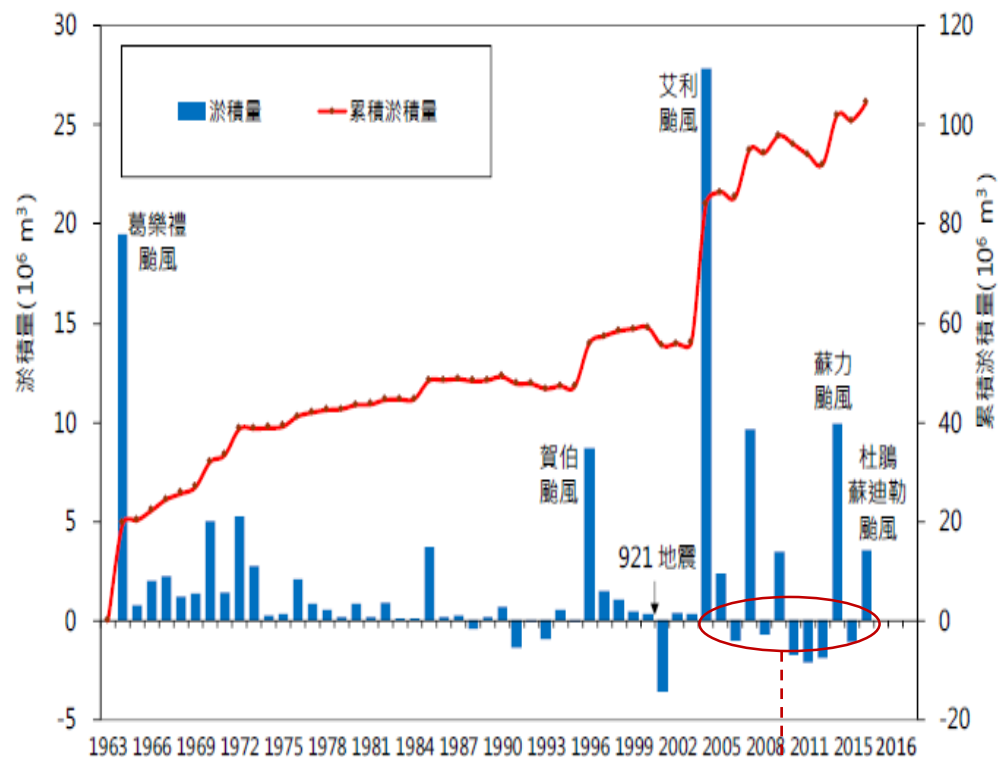
◆ 基本資料蒐集與分析

◆ 土地利用情況



農業利用面積約4.19%
草生地、建地、村
落、裸露地約3.12%

◆ 石門水庫累計淤積量圖

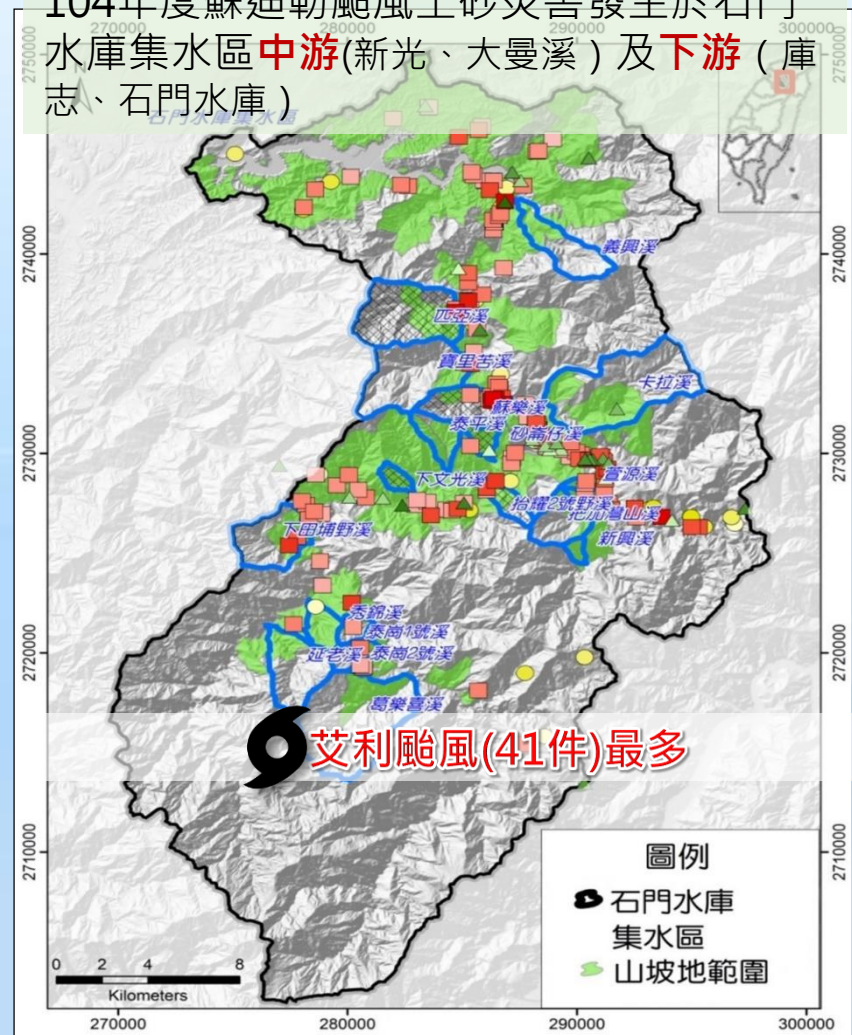


石門水庫集水區保育治理
+ 電廠防淤隧道之效益

◆ 基本資料蒐集與分析

◆ 歷年土砂災害事件

104年度蘇迪勒颱風土砂災害發生於石門水庫集水區**中游**(新光、大曼溪)及**下游**(庫志、石門水庫)



年份	災害數量	所占比重(%)	年份	災害數量(件)	所占比重(%)
1996	3	1.2	2006	3	1.2
1997	0	0.0	2007	5	2.0
1998	0	0.0	2008	16	6.5
1999	1	0.4	2009	4	1.6
2000	6	2.4	2010	5	2.0
2001	13	5.3	2011	13	5.3
2002	8	3.3	2012	14	5.7
2003	0	0.0	2013	19	7.8
2004	51	20.8	2014	2	0.8
2005	71	29.0	2015	11	4.5
總計				245(件)	100(%)
88年(1): 88年921大地震(1) 89年(6): 89年巴比倫颱風(1) 89年(6): 89年碧利斯颱風(3) 89年(6): 89年象神颱風(2) 90年(13): 90年利奇馬颱風(3) 90年(13): 90年尤特颱風(1) 90年(13): 90年海燕颱風(1) 90年(13): 90年納莉颱風(7) 90年(13): 90年豪雨(1) 91年(8): 91年豪雨(8) 93年(51): 93年納坦颱風(2) 93年(51): 93年艾利颱風(41) 93年(51): 93年蘭寧颱風(1) 94年(71): 94年泰利颱風(9) 94年(71): 94年海棠颱風(15) 94年(71): 94年豪雨(6) 94年(71): 94年馬莎颱風(36) 94年(71): 94年龍王颱風(5) 95年(3): 95年桑美颱風(1) 95年(3): 96年柯羅莎颱風(4) 96年(5): 96年韋帕颱風(1) 97年(13): 97年辛樂克颱風(9) 98年(4): 98年莫拉克颱風(4) 99年(5): 99年凡那比颱風(2) 99年(5): 99年豪雨(3) 100年(13): 100年米雷颱風(2) 100年(13): 100年豪雨(11) 101年(14): 101年610豪雨(5) 101年(14): 101年天秤颱風(1) 101年(14): 101年泰利颱風(1) 101年(14): 101年蘇拉颱風(6) 101年(14): 101年豪雨(1) 102年(19): 102年潭美颱風(2) 102年(19): 102年菲特颱風(2) 102年(19): 102年蘇力颱風(5) 102年(19): 102年豪雨(7) 103年(2): 103年豪雨(1) 103年(2): 103年麥德姆颱風(1) 104年(11): 104年豪雨(2) 104年(11): 104年昌鴻颱風(2) 104年(11): 104年蘇迪勒颱風(6) 104年(11): 104年杜鵬颱風(1)					