

氣候變遷下土石流潛勢溪流流量 長期趨勢評估

Long-term Trend Assessment of Discharge in
Potential Debris Flow Torrent under Climate Change

逢甲大學都市計畫與空間資訊學系 楊松岳 副教授
112年8月22日

目錄

CONTENTS

01

▶ 緒論

02

▶ 文獻回顧

03

▶ 案例研究

04

▶ 氣候變遷情境

05

▶ 水文水理分析

06

▶ 不同氣候變遷情境模擬
與分析比較

07

▶ 氣候變遷調適策略建議

The slide features several decorative geometric elements. A large, light blue circle is positioned on the left side, containing the number '01'. To the right of the circle, there is a cluster of overlapping triangles in various shades of teal and blue, some pointing towards the center and others towards the right edge. In the bottom right corner, there is a small, light blue triangle pointing upwards. The background is a light gray gradient.

01

緒論

研究動機

地點：屏東縣/滿州鄉/老佛山

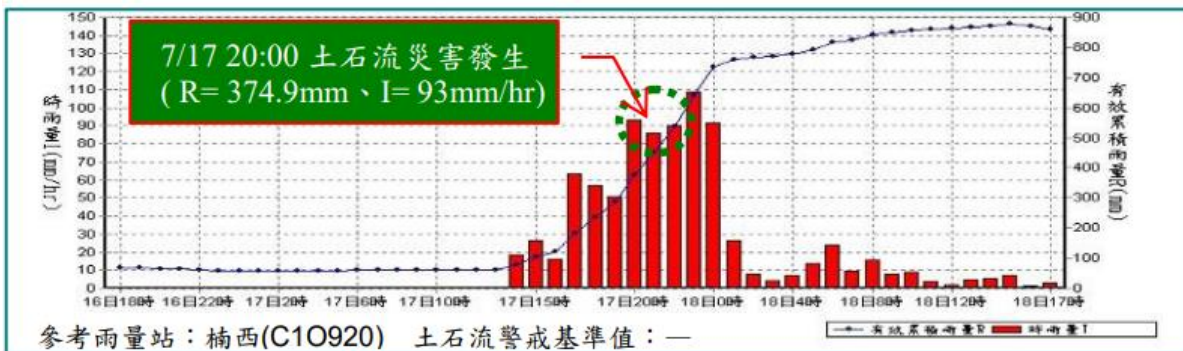
- 全球氣候變遷**增強降水事件強度**。
- 土石流三個條件：堆積物、**雨量**、**坡地**。
- **流量**是土石流的**發生因子**之一，亦為土石流治理**工程設計因子**。
- 不同氣候變遷情境下，土石流潛勢溪流的流量在近世紀、世紀中、與世紀末的長期趨勢為何？



資料來源:水土保持手冊

研究目的

- 以台南市**龜丹溪土石流潛勢溪流**為案例。
- 以臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台(TCCIP)之最新**統計降尺度日降雨資料**為基礎。
- 計算**基期**(1986~2005年)、**近未來**(2016~2035年)、**世紀中**(2046~2065年)、**世紀末**(2081~2100年)之**各重現期距雨量**。
- 將**各重現期距雨量**輸入**SOBEK**模式，計算土石流潛勢溪流之流量長期趨勢。
- 提出相關**調適策略建議**。



97年卡玫基颱風-台南楠西-004

- ❖ 災區位置：楠西鄉龜丹村
(鐵谷山橋處野溪)
- ❖ 災害發生時間：7月17日20時
- ❖ 災害類型：土石流災害
- ❖ 有效累積雨量：374.9mm

❖ 災損描述與統計：

- ✓ 溫泉橋護欄損毀。
- ✓ 大量土石淤積河道，果園淤埋。
- ✓ 溪流護岸部分毀損。
- ✓ 人命損失：0人
- ✓ 房舍受損：0棟。



資料來源:行政院農業委員會水土保持局

研究架構



The slide features a light blue background with abstract geometric shapes. On the left, a large teal circle contains the number '02'. To its right, several teal and blue triangles of various sizes are arranged in a cluster. In the bottom right corner, a small black number '7' is visible.

02

文獻回顧

文獻回顧

國外氣候變遷對於土石流災害衝擊研究文獻回顧表

作者	年份	研究地區	摘要
Winter et al	2010	蘇格蘭	氣候變化都有可能影響土石流的頻率與強度
Chiarle et al	2011	加拿大西部山脈與歐洲阿爾卑斯山	透過土石流案例研究說明，冰凍圈退化如何在短期與長期的發生中，發揮作用。
Huo and Li	2013	中國陝西省	在一個典型土石流流域，年溫度升高 0.6~0.9°C，季節性降水變化 12.6~18.9 毫米，對應的流量變化約為 0.62~3.67
Turkington et al	2016	阿爾卑斯山地區	未來的氣候預測從沒有變化到在 21 世紀末土石流發生的日子，將每十年增加 6.0%不等。
Li et al	2018	中國四川省西北部岷江上游流域	未來強降雨事件將增加。在未來的氣候變化下，土石流高危區的面積增加 5.9%。
Hirschberg et al	2020	瑞士阿爾卑斯山	降水與氣溫的預計變化會導致沉積物產量(-48%)與土石流發生(-23%)的減少

文獻回顧

國內氣候變遷對於土石流災害衝擊研究文獻回顧表

作者	年份	研究流域	摘要
范正成 et al	2013	高屏溪流域	評估氣候變遷對於崩塌潛勢之影響。研究B1 情境在短期(2010~2039)之分析結果最符合現況。與基期(1961~1990 年)相比，「 極高 」崩塌發生潛勢之面積將增加 98% 。
吳亭燁 et al	2017	濁水溪流域	評估流域內 40條土石流潛勢溪流 在氣候變遷暖化情境RCP8.5情境下 21 世紀末之土砂量將增加的 11% 。
李明燾 et al	2017	高屏溪流域	利用高屏溪流域 1993-2012年之雨量 及氣溫資料，整合變遷整合評估模式(TaiWAP)與TCCIP 之 AR5 情境 ，未來不同氣候變遷情境的年降雨沖蝕指數等值圖。

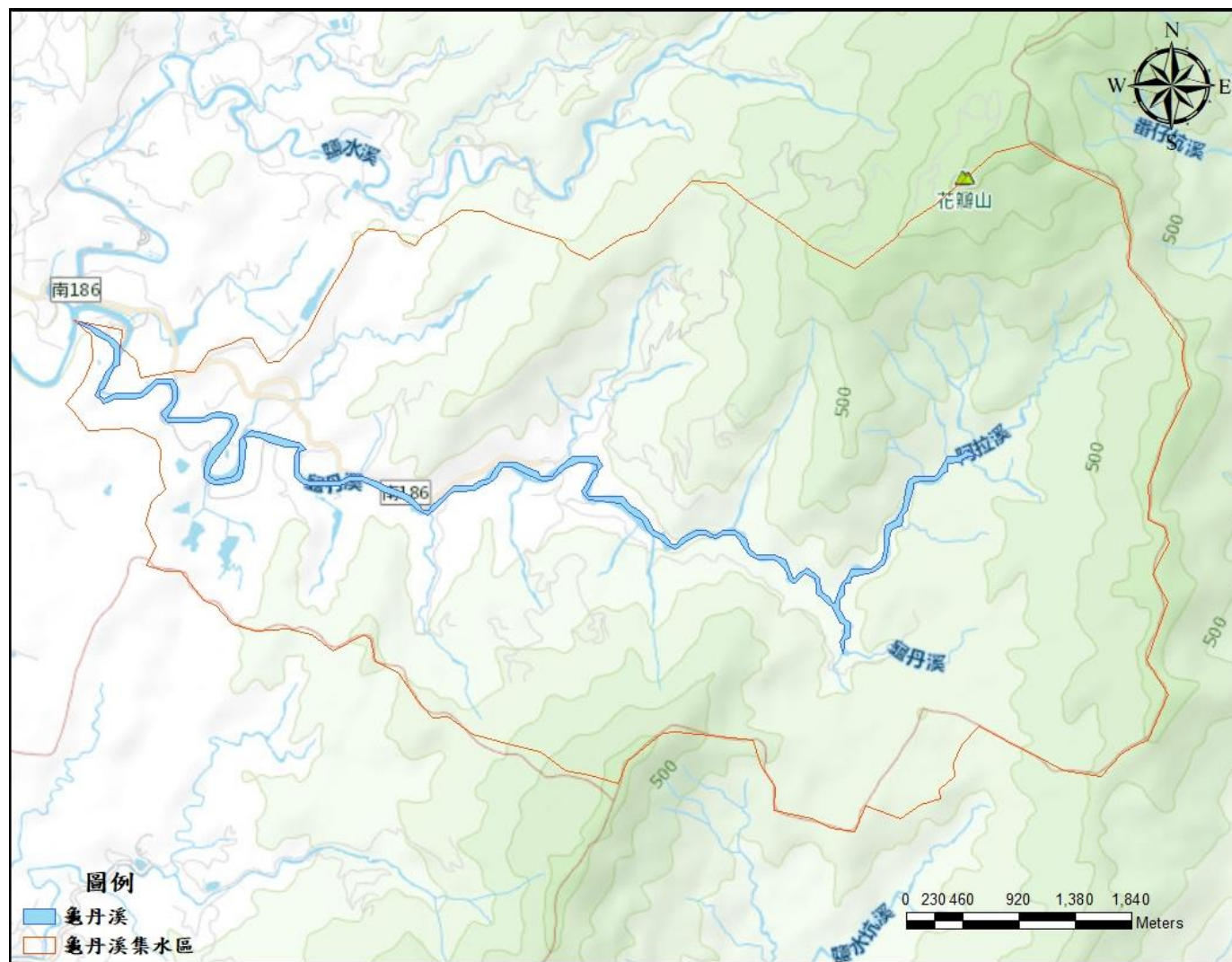
The slide features a light blue background with abstract geometric shapes. On the left, a large, semi-transparent light blue circle contains the number '03'. To the right of the circle, there are several overlapping triangles and polygons in various shades of teal and blue, some with a 3D effect. The overall design is clean and modern.

03

案例研究

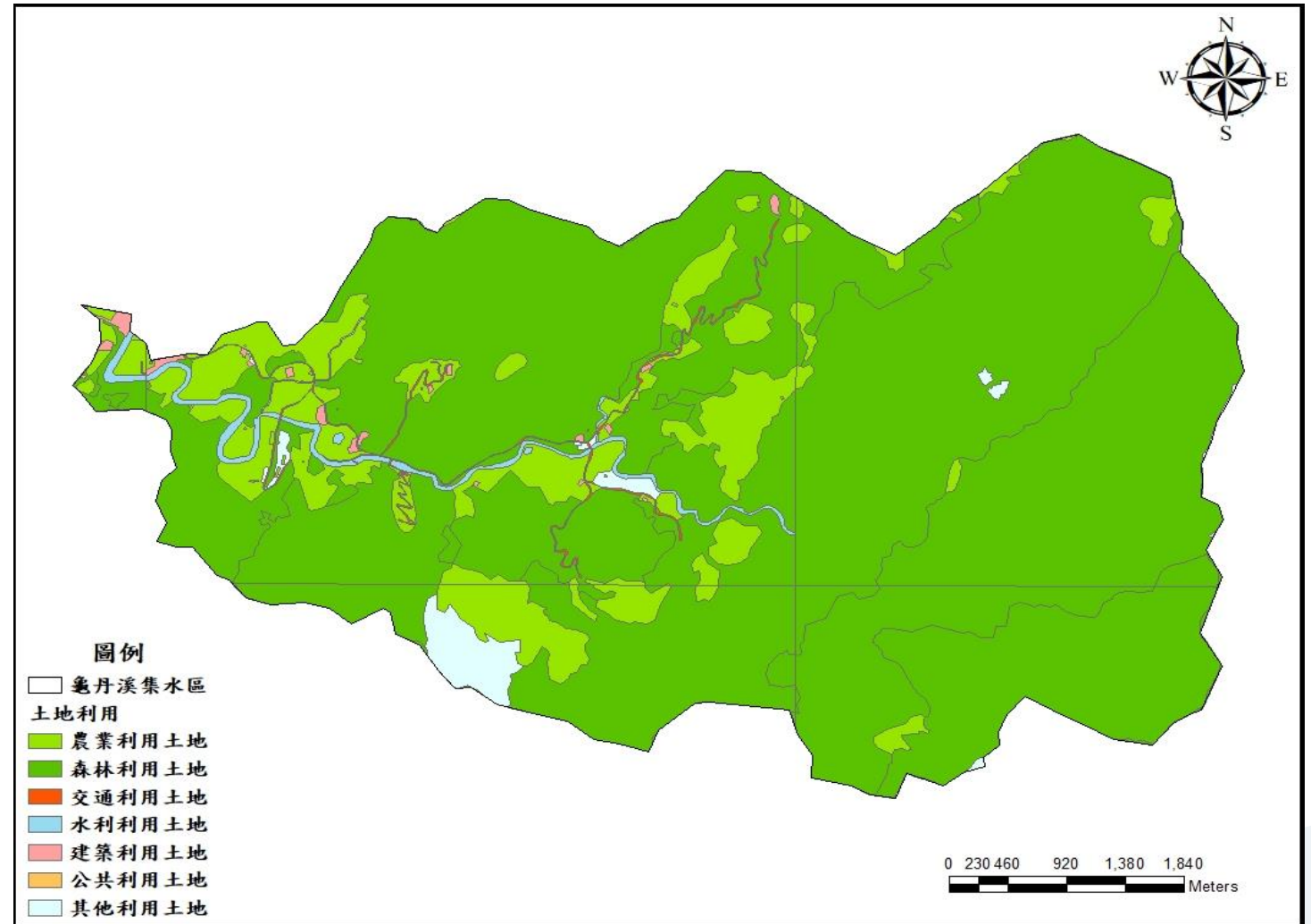
龜丹溪概況

- 龜丹里人口 **794** 人。
- 位於 **台南市楠西區龜丹里**。
- 集水面積 **8.42** 平方公里。
- 紀錄到魚類 4 科 10 種，無任何保育類物種。
- 無二級製造業產業，三級產業為龜丹**溫泉住宿與觀光產業**。



土地利用

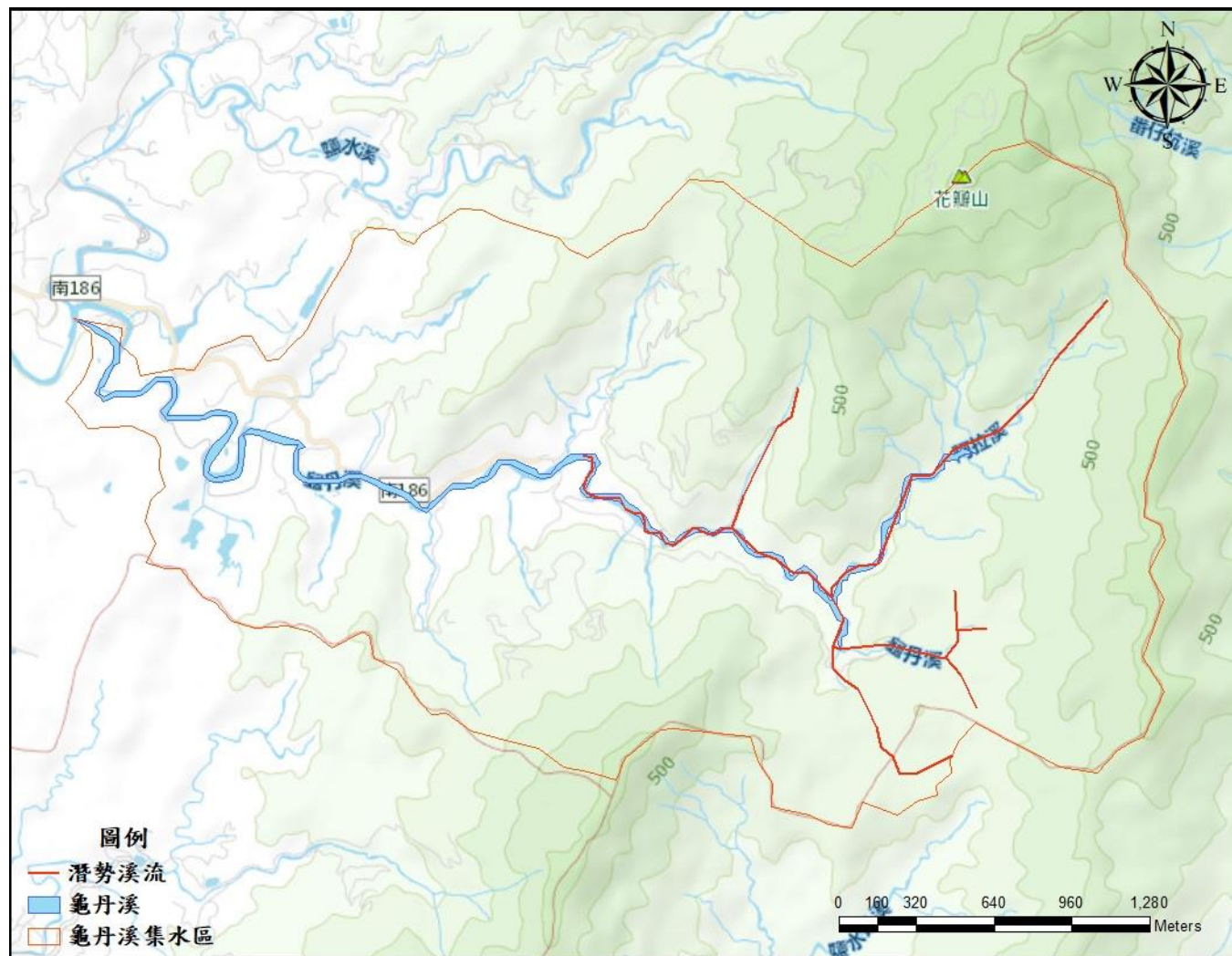
土地使用	所 占 比 率 (%)
森林使用土地	84.50%
農業使用土地	12.00%
水利使用土地	1.10%
交通使用土地	0.50%
建築使用土地	0.30%
公共設施使用土地	0.00%
其他使用土地	1.60%
總計	100.00%



龜丹溪土地利用圖

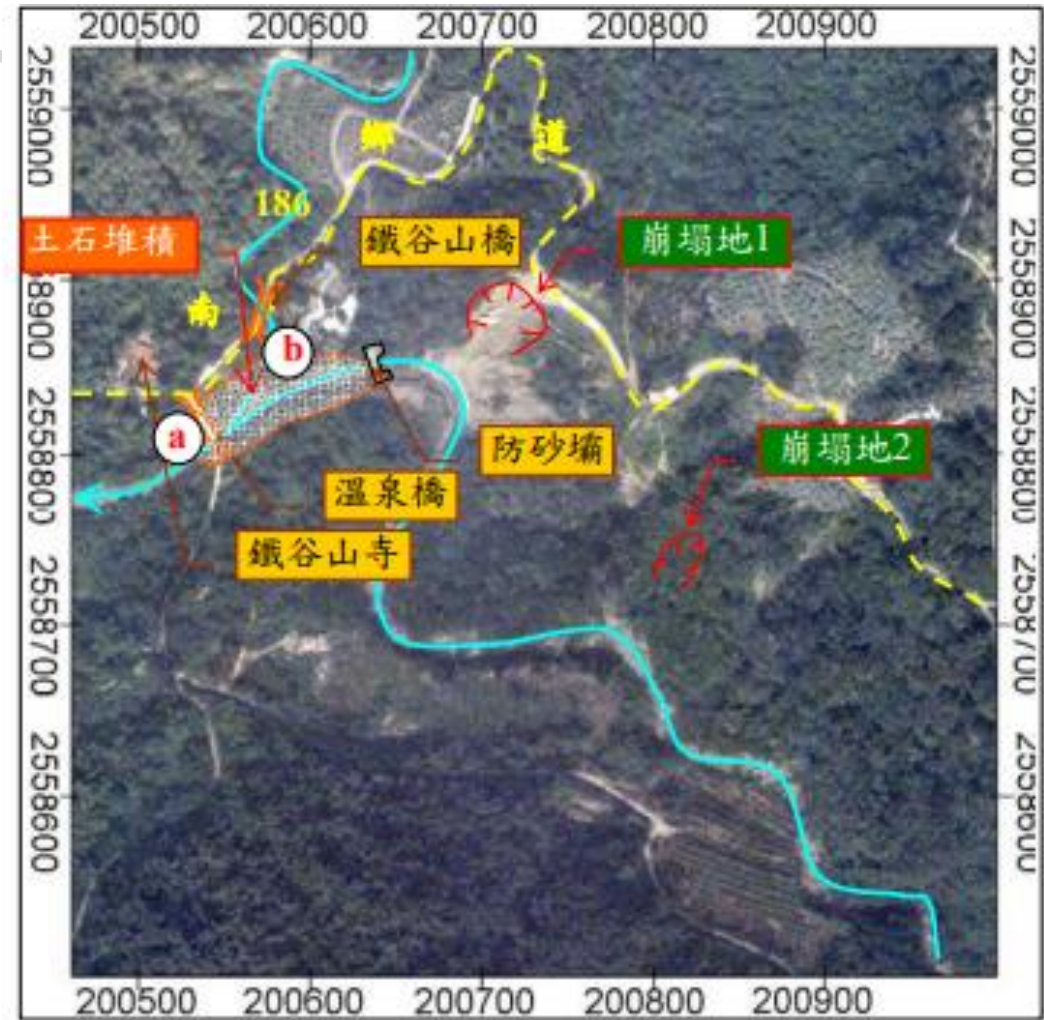
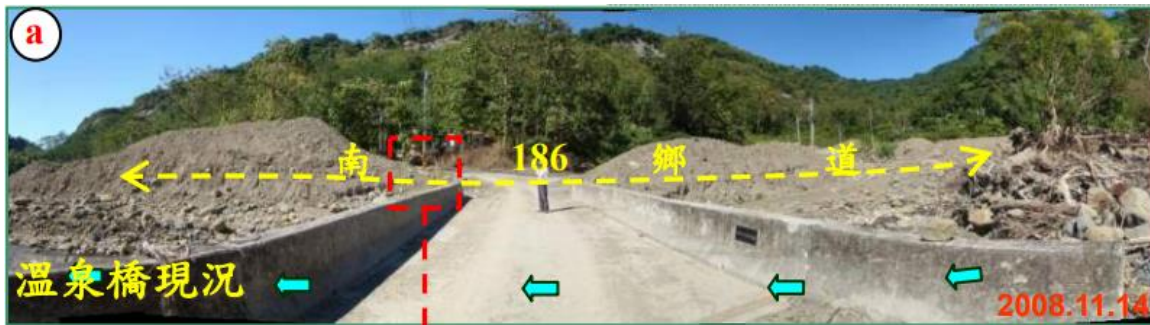
土石流潛勢溪流

- 台南市龜丹溪(南市DF033)。
- 警戒雨量為**450mm**。
- **高潛勢**。
- 地質為細砂岩、頁岩、粉砂岩與細砂岩互層、細砂岩與粉砂質。



龜丹溪概況

- 土石流事件:**卡玫基颱風**。
- 時間:97 年 7 月17日20時。
- **最大 24 小時暴雨量: 1014 毫米**。
- 災損:造成溫泉橋護欄損毀，大量土石淤積河道，果園淤埋，溪流護岸損傷。



資料來源:行政院農業委員會水土保持局

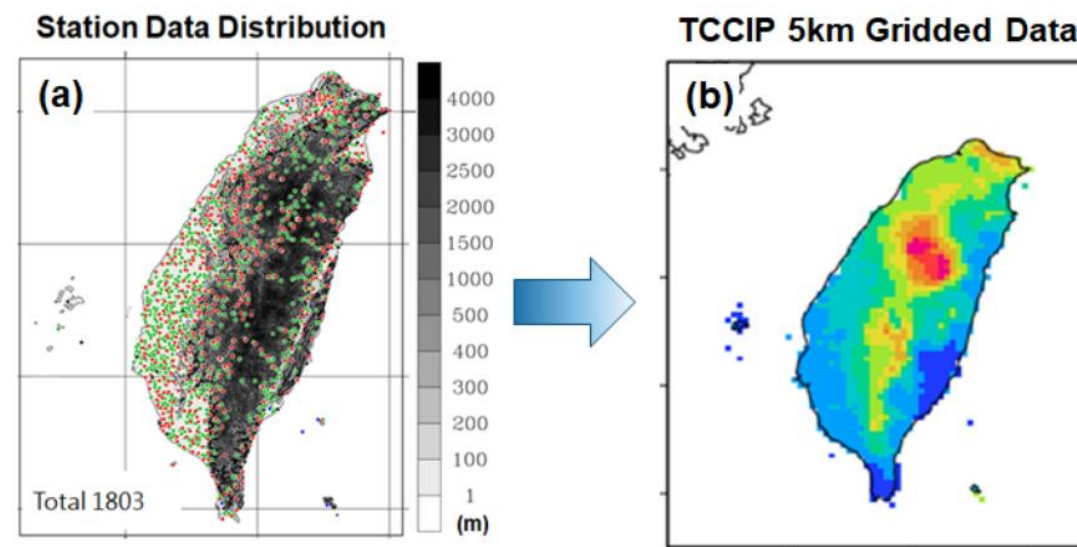
The slide features several abstract geometric shapes. A large teal circle on the left contains the number '04'. In the top right, there is a cluster of overlapping triangles in various shades of teal and blue. A light blue triangle is positioned in the bottom left corner. The background is a light, neutral color with a subtle gradient.

04

氣候變遷情境

觀測資料

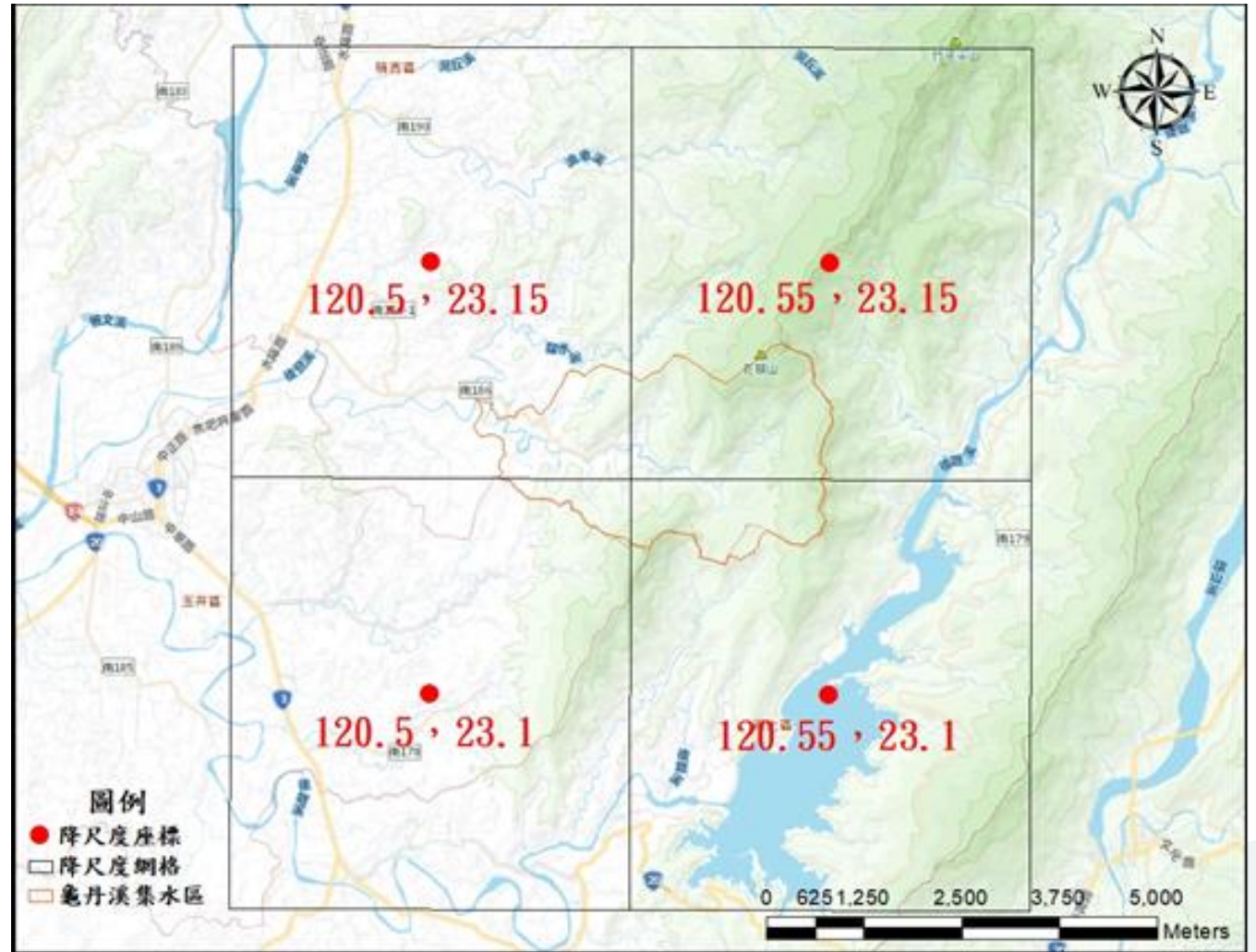
- 採用使用TCCIP之**5公里×5公里**網格觀測日資料。
- 此觀測資料只有**陸地**資料。
- 觀測資料包含**降雨**、均溫、最高溫、最低溫。
- 時間長度1961~2005。
- 空間範圍包含台灣本島及澎湖列島。



資料來源: TCCIP, 2019

統計降尺度

- 雨量資料為全球氣候模式推估模擬結果。
- 透過統計降尺度方法建立之全臺5公里解析度網格化資料。
- 5公里*5公里($0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$)之範圍內皆為相同之變數數值。



研究區統計降尺度示意圖

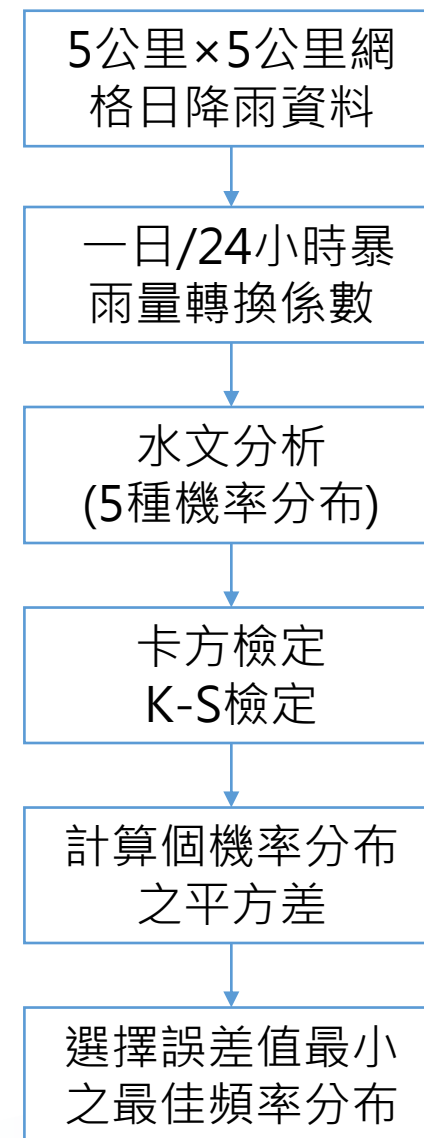


05

水文水理模式

雨量頻率分析

- 採用二參數對數常態、三參數對數常態、皮爾遜第三型分布、對數皮爾遜第三型分布及極端值 I 型進等**5種機率分布**進行分析。
- 採用**卡方檢定**(chi-square test)與**K-S檢定法**進行適合度檢定分析，以確定分布是否合適。
- 若有多種分析均過檢定，則進一步計算**平方差**，選擇誤差值最小之分析，作為最佳頻率分布。



雨量頻率分析

- 觀測最大24小時雨量選用誤差值最低之分布**皮爾遜第三型分布**(PT3)。

分布種類	LN2	LN3	PT3	LPT3	EV1
卡方檢定	通過	通過	通過	通過	通過
KS檢定	通過	通過	通過	通過	通過
標準誤差值	23.8	22.4	21.8	21.9	23.6

雨型設計

- 採用交替區塊法(Horner公式)設計雨型

$$I = \frac{a}{(t + b)^c}$$

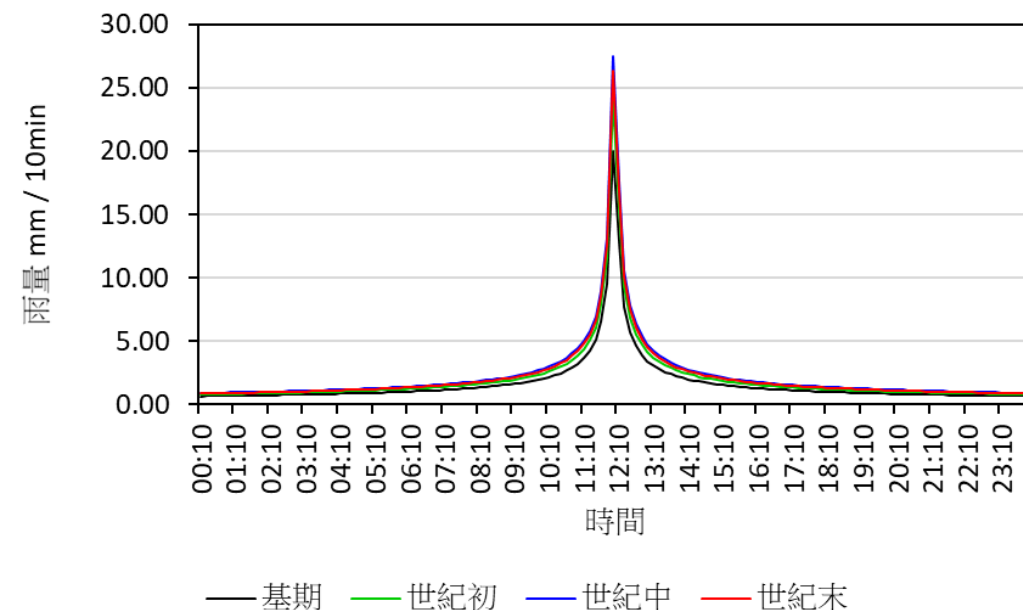
式中

I：降雨延時t小時內之平均降雨強度(公厘/小時)

t：降雨延時(分)

a、b、c：迴歸係數。

其中a、b、c將採用106年經濟部水利署發布之「台灣地區雨量測站降雨強度-延時Horner公式參數分析」(經濟部水利署, 2016)玉井站之Horner降雨強度公式之參數a、b、c。



降雨-逕流模式

- 採用美國水土保持局曲線值法(簡稱SCS-CN)公式計算降雨損失:
- 稽延時間(Lag time)採用SCS Lag Equation:

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

其中

P_e : 累積有效降雨量 (mm)

P : 累積降雨量(mm)

S : 集水區最大蓄水量 (mm)

CN : curve number

$$T_{lag} = L^{0.8} \frac{(S + 25.4)^{0.7}}{4238 \cdot H^{0.5}}$$

其中

T_{lag} : 稽延時間 (hr)

L : 最大流路長度 (m)

H : 集水區平均坡度 (%)

S : 集水區最大蓄水量 (mm)

CN : curve number

降雨-逕流模式

子集水區流量採用**SCS Dimensionless Unit Hydrograph Model** 計算

$$T_{lag} = 0.6T_c$$

$$T_p = \frac{T_r}{2} + T_{lag}$$

$$Q_p = \frac{0.208AR}{T_p}$$

其中

T_{lag} : 洪峰稽延時間 (hr)

T_c : 集流時間 (hr)

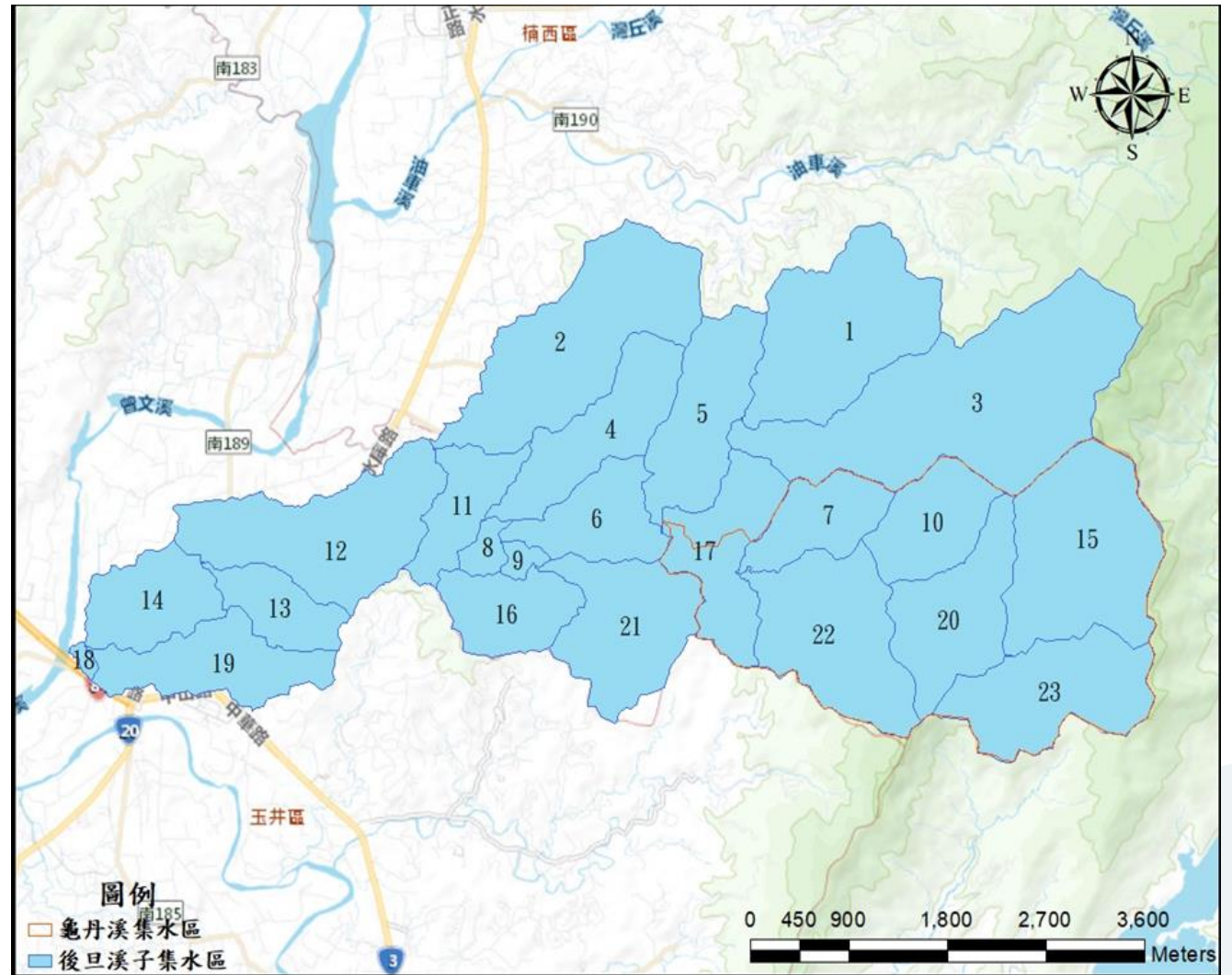
T_p : 洪峰到達時間 (hr)

T_r : 單位降雨延時

Q_p : 洪峰流量 (cms)

A : 集水區面積 (km²)

R : 有效降雨量 (mm)



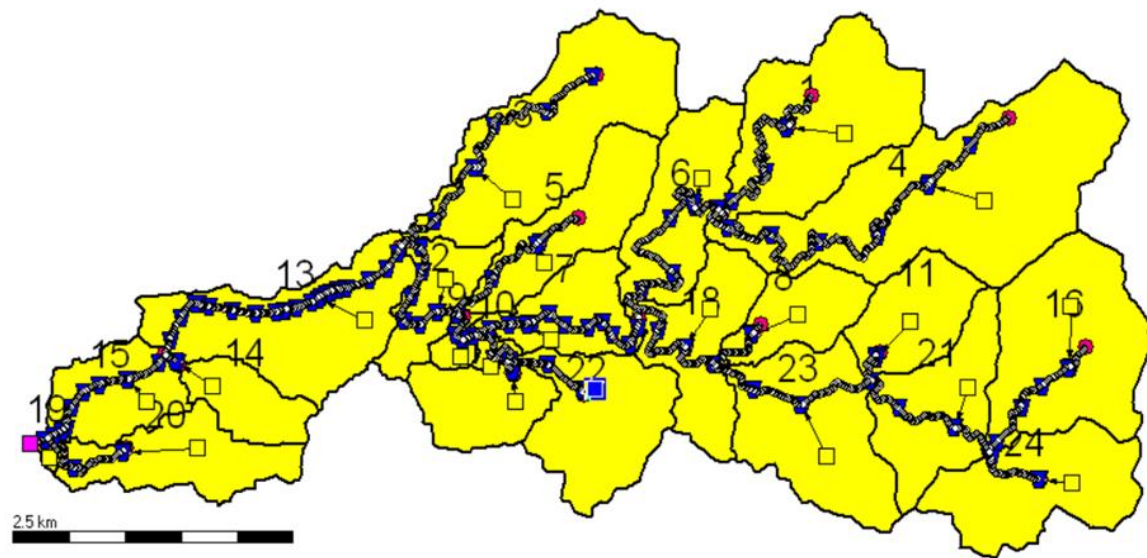
SOBEK模式



- 本計畫採荷蘭Deltares所開發之SOBEK模式用進行水文及水理模擬。
- SOBEK有多個模組，包含
 - ✓ **降雨逕流模組**(Rainfall-Runoff Module，RR)
 - ✓ **一維渠流模組**(Channel Flow Module，CF)
 - ✓ **二維漫地流模組**(Overland flow Module，OF)
 - ✓ 水質模組(WQ)、即時控制模組(RTC)、輸砂計算模組(ST)、鹽分入侵模組(SI)及底床質模組(MPR)等。

SOBEK模式

- **降雨逕流模組:**配合土地利用調查成果，設定個子集水區之面積、流長、CN 值等參數。
- **一維渠流模組:**利用河川與坡地排水斷面資料、跨河與水工結構物數據。
- **二維漫地流模組:**利用內政部數值地形高程 (DEM) 資料，與土地利用現況設定。



土石流流量

- 採用流入點之洪水流流量歷線乘以放大因子 BF (bulking factor)，進行土石流流量計算。

$$BF = \frac{1}{1 - C_v}$$

$$C_v = \frac{C_D}{C^*}$$

$$C_D = \frac{\rho_w \tan \theta}{(\rho_s - \rho_w)(\tan \phi - \tan \theta)}$$

ρ 清水密度；

ρ_s 土石顆粒密度；

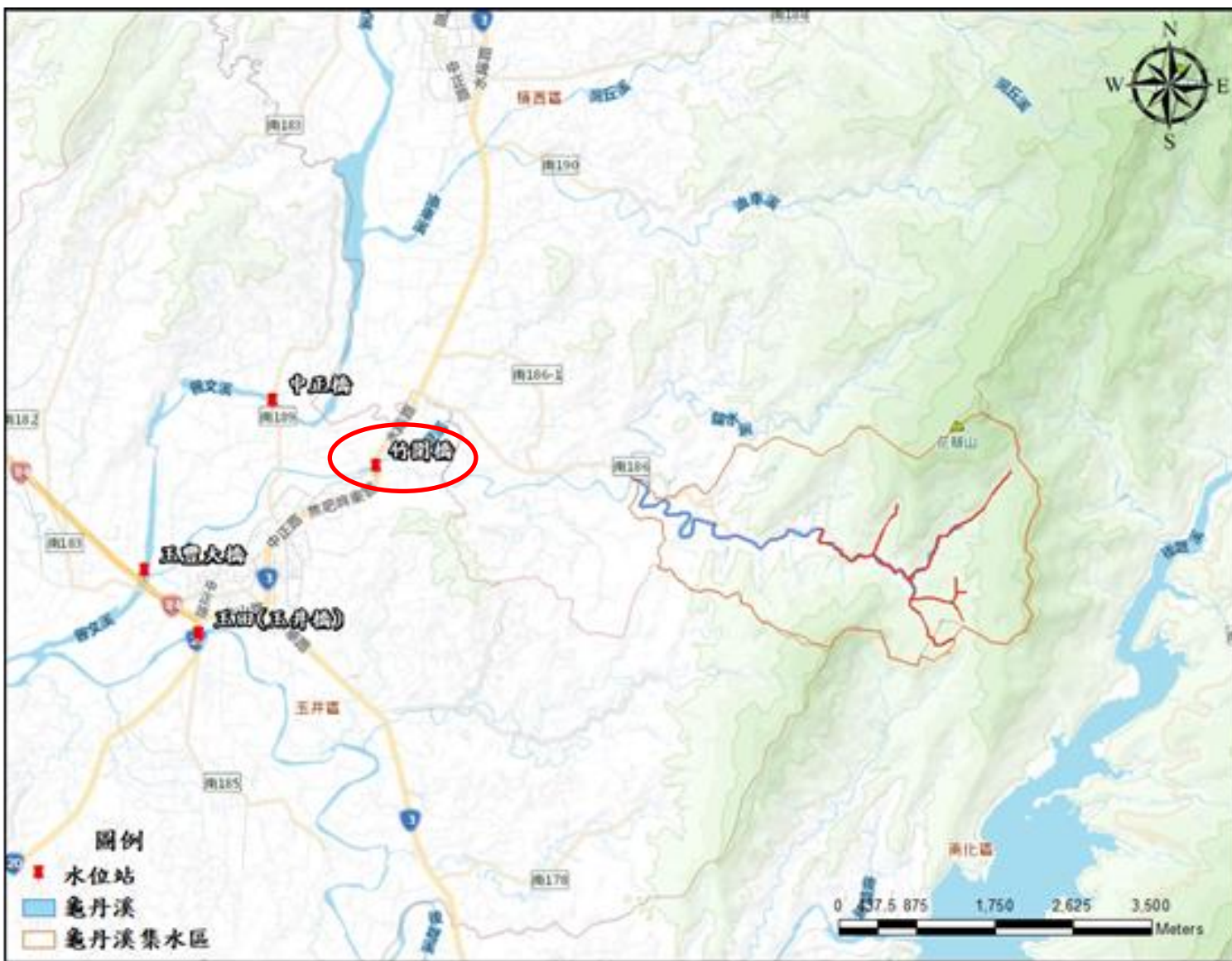
ϕ 土石材料內摩擦角；

θ 溪床坡度；

C^* 溪床面堆積土體之體積濃度

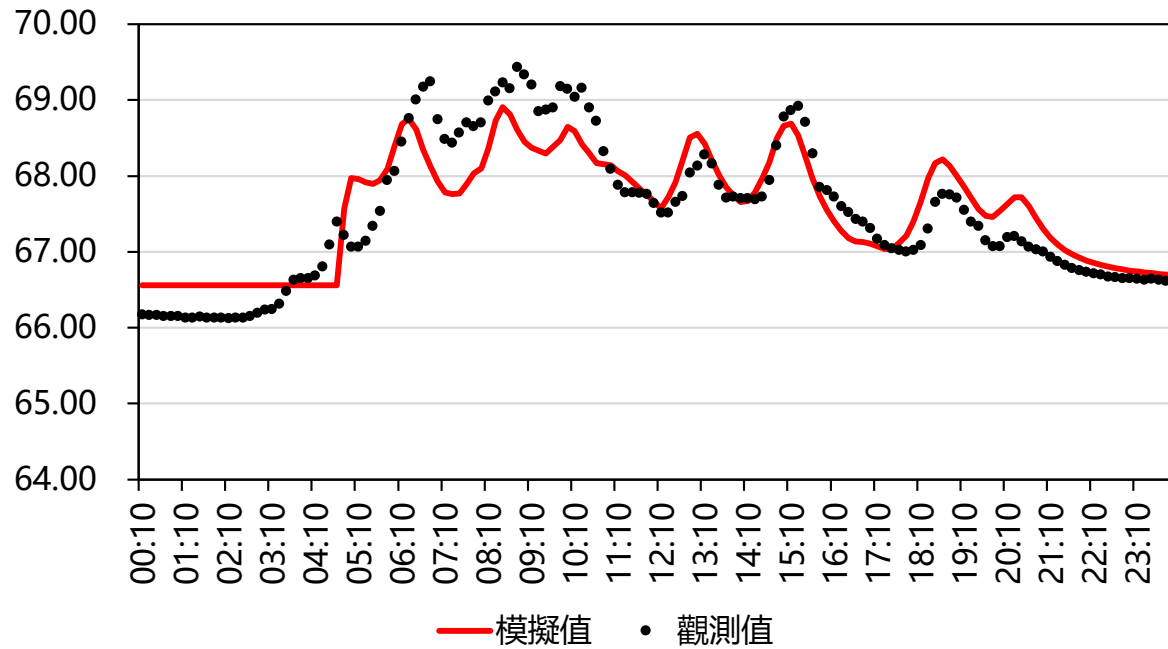
水位站

- 龜丹溪下游後旦溪，設有水位站(竹圍橋)1站。
- 管理單位為經濟部水利署第六河川局。

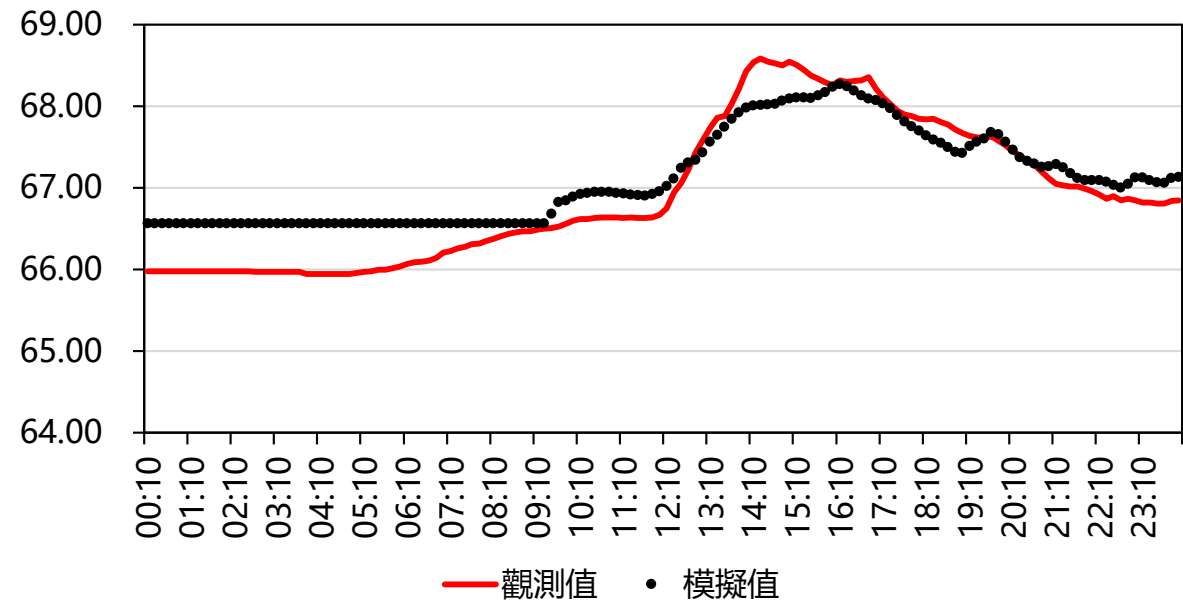


模式檢定驗證

- 選取2013年8月29日康芮颱風、2015年8月8日蘇迪勒颱風作為模式檢定驗證。



2013年康芮颱風模式模擬與觀測比較歷線圖



2015年蘇迪勒颱風模式模擬與觀測比較歷線圖

模式檢定驗證

- 兩場效率係數皆大於0.8，均方根誤差RMSE皆小於0.28m。
- 以上結果顯示模式正確性。

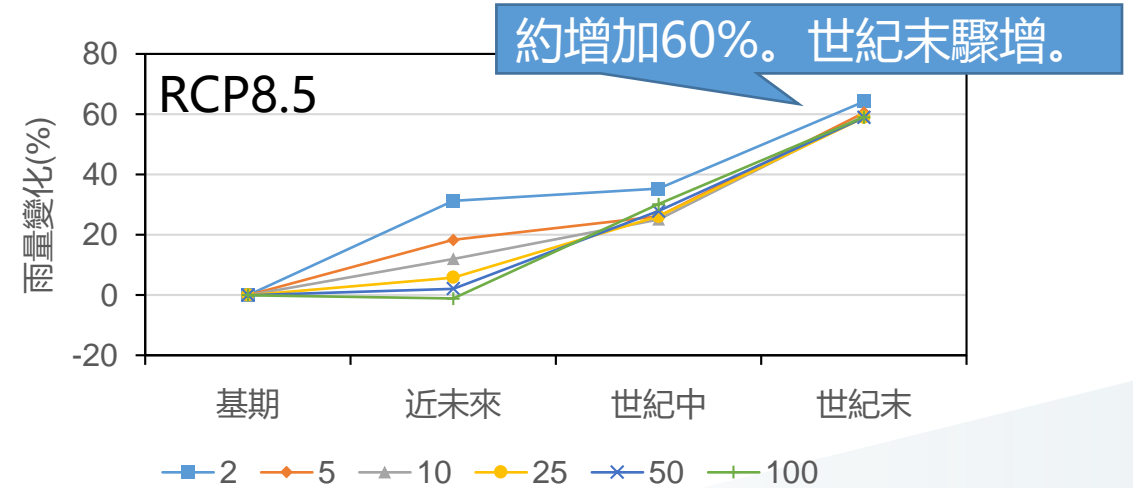
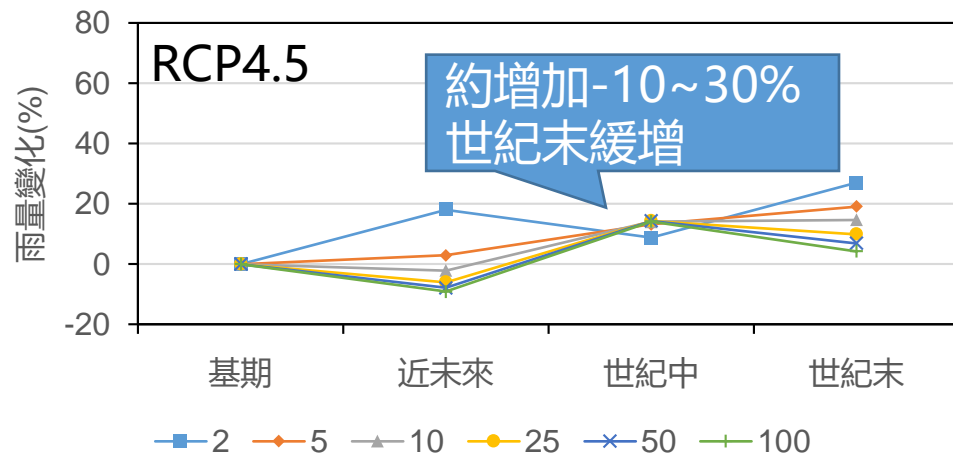
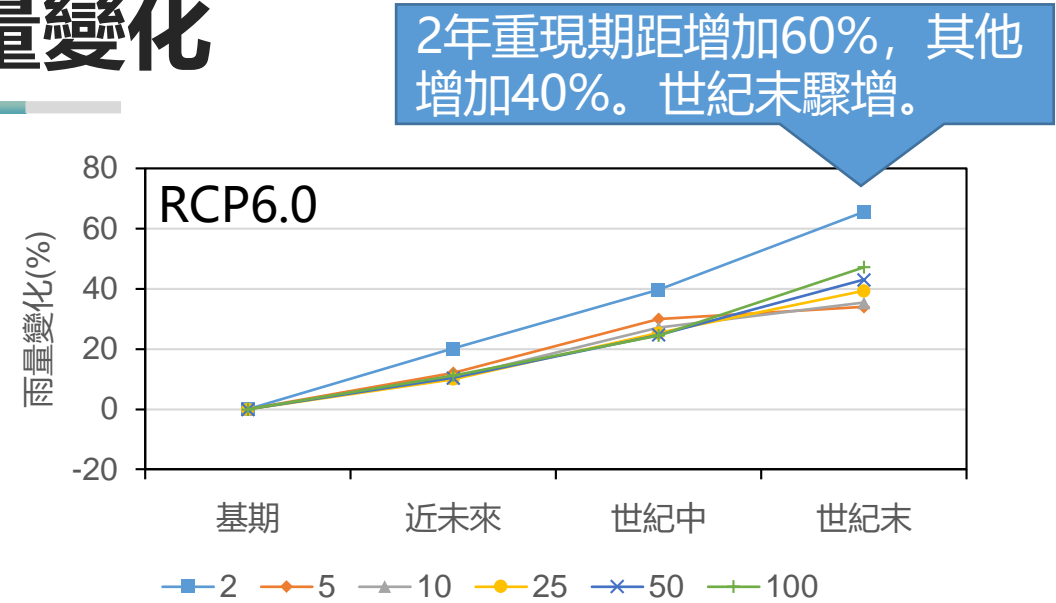
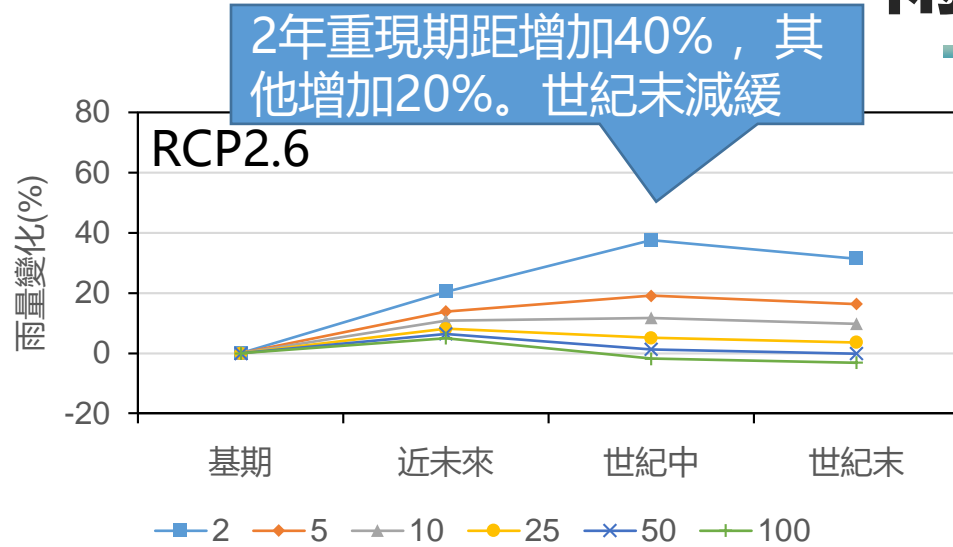
事件	CE	RMSE(m)	EH _P (m)	ET _P (min)
康芮颱風	0.802	0.278	-0.756	-20
蘇迪勒颱風	0.814	0.192	-0.463	110

The background features abstract geometric shapes in shades of teal and blue. On the left, a large light blue circle contains the number '06'. To the right of the circle, there are several overlapping triangles and polygons in various shades of teal and blue, creating a dynamic, layered effect. The overall design is clean and modern.

06

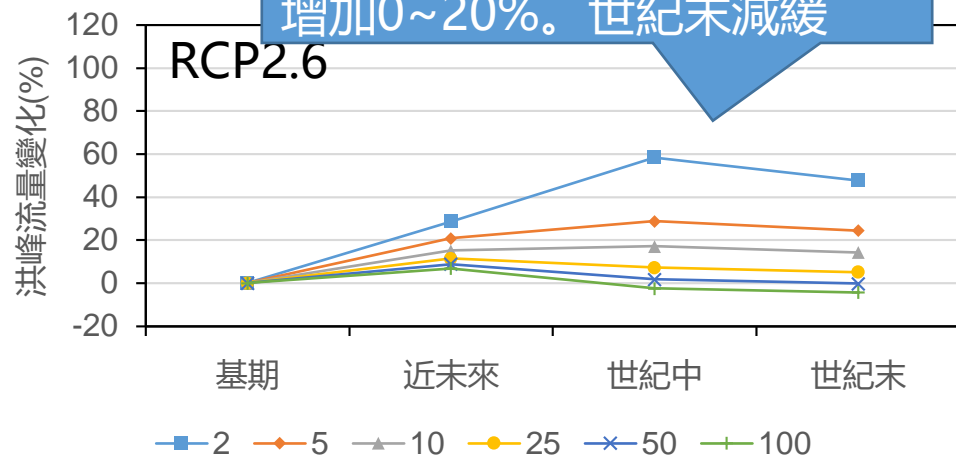
第六章 不同氣候變遷情境模擬與 分析比較

雨量變化

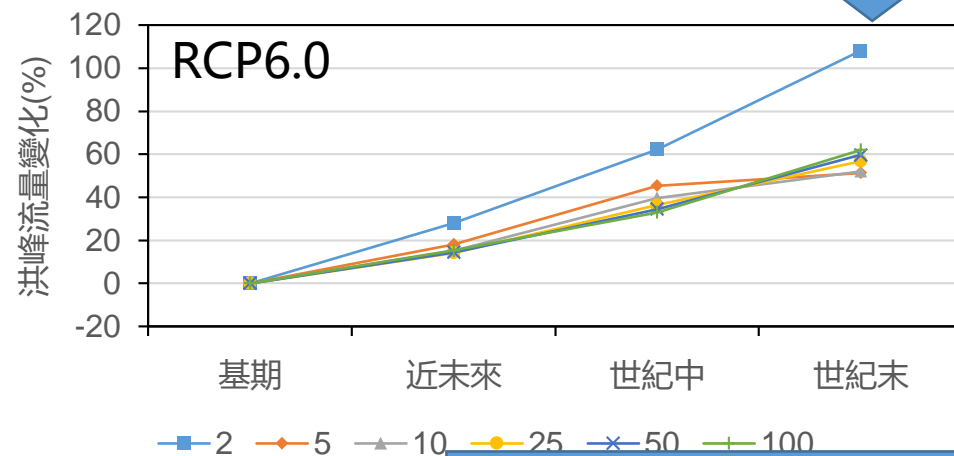


土石流流量變化

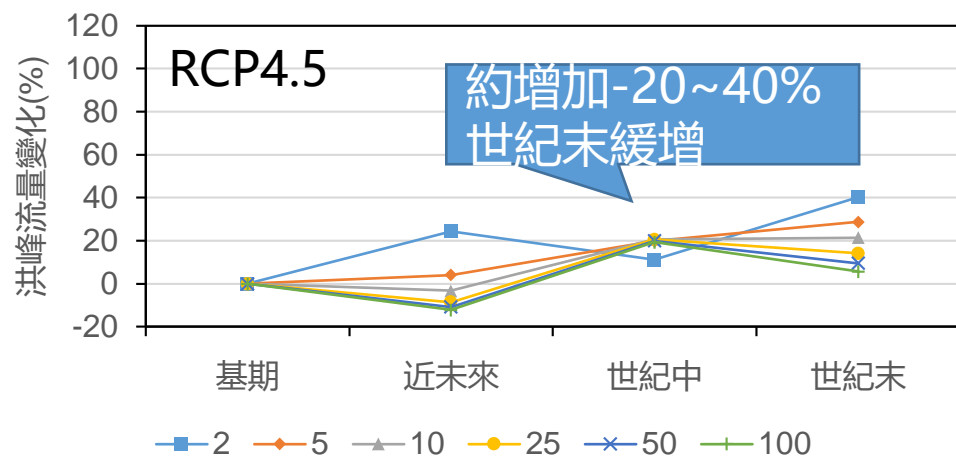
2年重現期距增加60%，其他增加0~20%。世紀末減緩



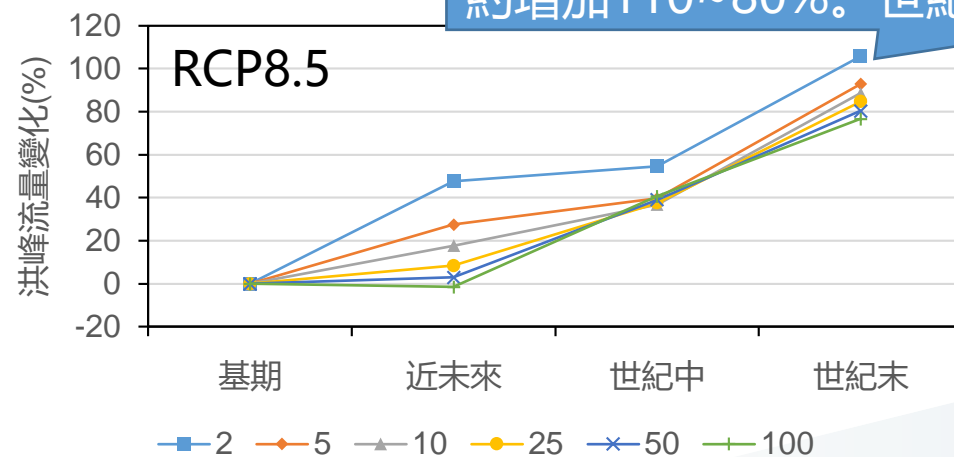
2年重現期距增加110%，其他增加60%。世紀末驟增。



約增加-20~40%
世紀末緩增

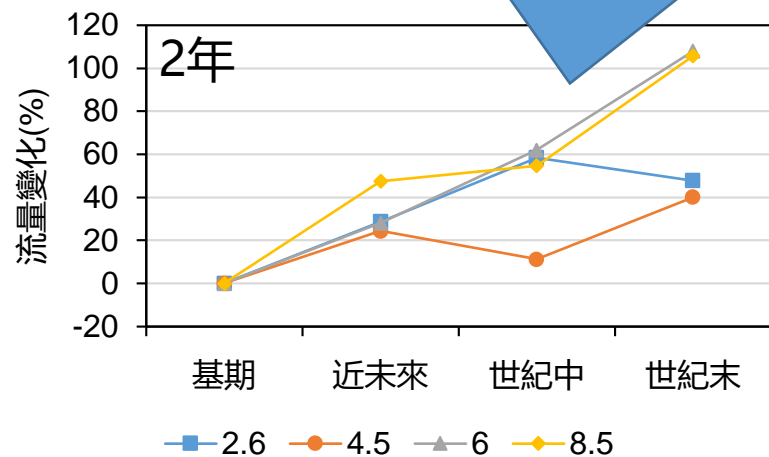


約增加110~80%。世紀末驟增。

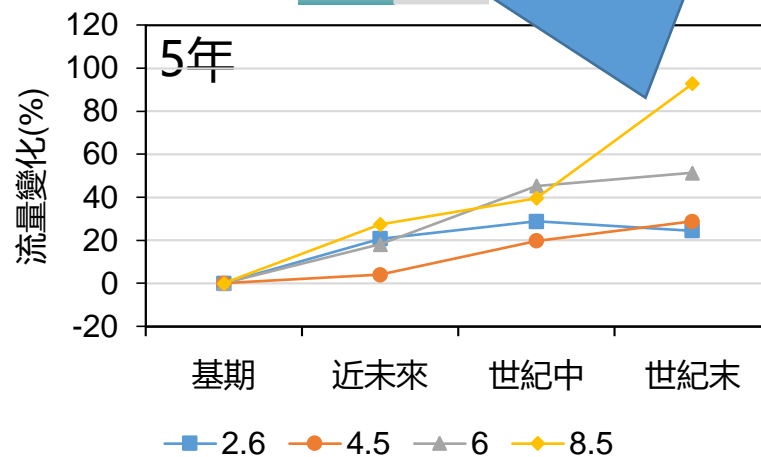


土石流流量變化

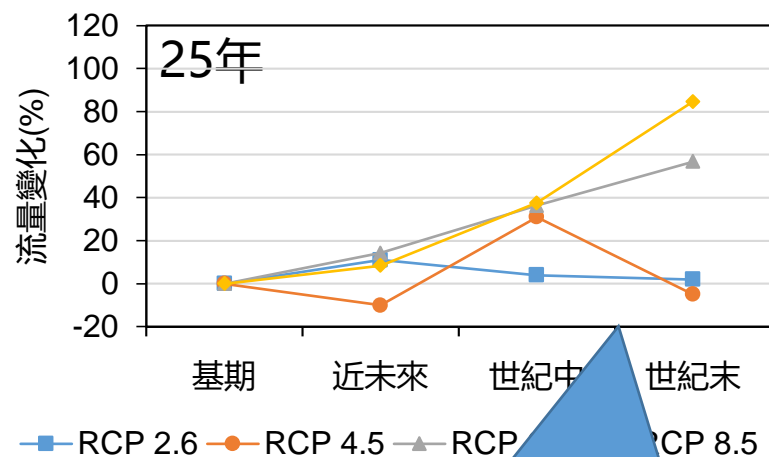
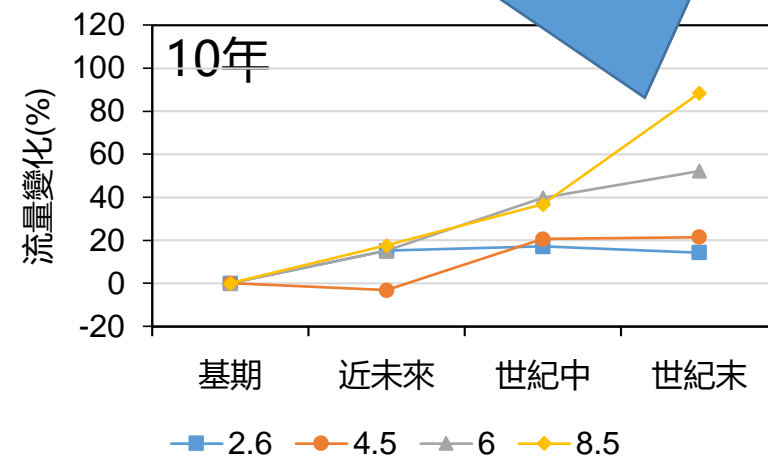
RCP 2.6、4.5, 增加40~60 %
RCP 6.0、8.5, 增加110%



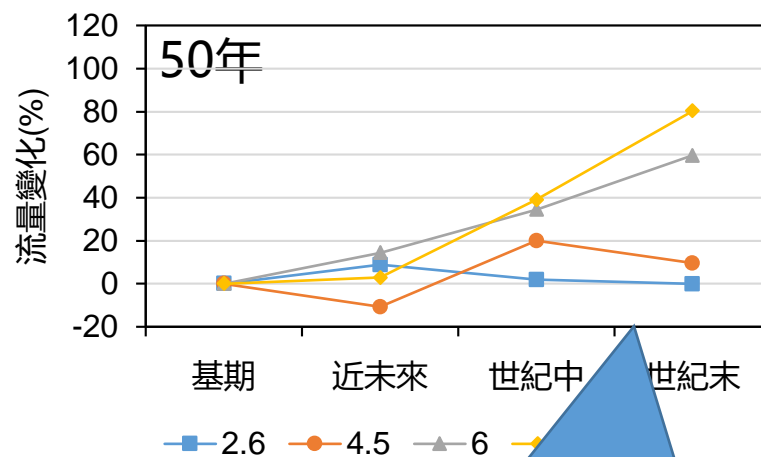
RCP 2.6、4.5、6.0, 增加20~50%
RCP 8.5, 增加90%



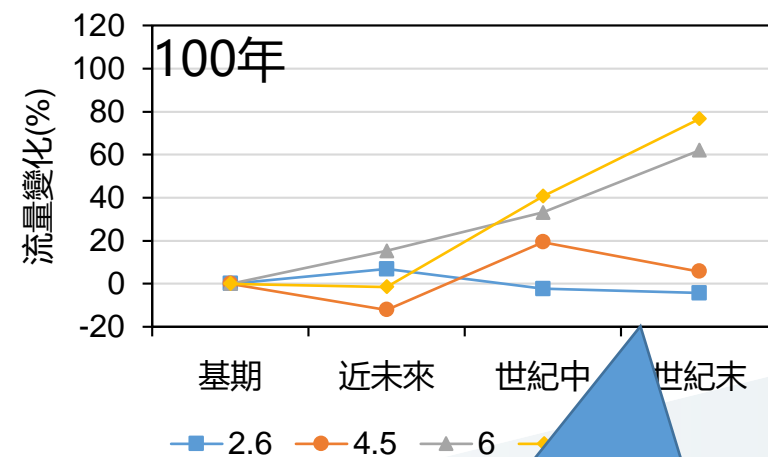
RCP 2.6、4.5、增加20%
RCP 8.5、6.0, 增加50~90%



RCP 2.6、4.5, 增加0~20%
RCP 6.0、8.5, 增加60~90%



RCP 2.6、4.5, 增加0~20%
RCP 6.0、8.5, 增加60~80%



RCP 2.6、4.5, 增加0~20%
RCP 6.0、8.5, 增加60~80%

The background features several large, abstract geometric shapes in shades of teal and blue. On the left, a large light blue circle contains the number '07'. To the right of the circle, there are several overlapping triangles and polygons in various shades of teal and blue, creating a dynamic, layered effect. The overall design is clean and modern.

07

第七章

氣候變遷調適策略

氣候變遷下土石流潛勢溪流流量變化可能造成之影響

一、清水流量與土石流流量影響

氣候變遷導各重現期距洪峰流量改變時，勢必會影響節制壩、野溪治理、坡地排水系統及滯洪設施等設施之功能。

二、土石流影響範圍影響

當氣候變遷導各重現期距洪峰流量改變時，勢必會影響清水流量，進而影響土石流量。最終，導致土石流影響範圍的改變。

三、低重現期土石流事件影響

低重現期 (出現頻率越高)的土石流流量增幅，會明顯大於高重現期 (出現頻率越低)的土石流流量。以RCP8.5為例，2、5、10年重現期的流量增幅約為100%。從土石流防災觀點，必須特別注意，若2、5、10年重現期的流量增加一倍，可能會超過土石流爆發的閾值，導致土石流的發生。

氣候變遷調適策略建議

一、將氣候變遷調適納入水土保持技術規範

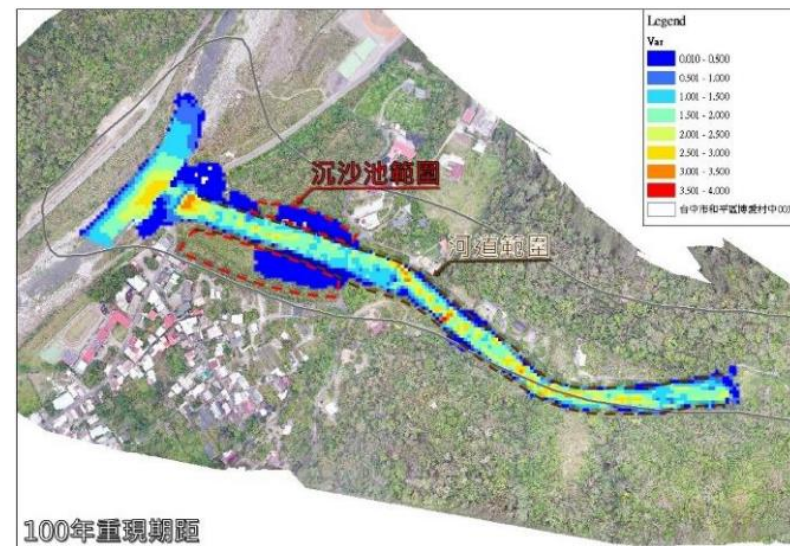
目前水土保持技術規範並未訂有氣候變遷相關條文，因此未來應將氣候變遷調適納入水土保持技術規範。

二、高風險土石流潛勢溪流土石流影響範圍檢討

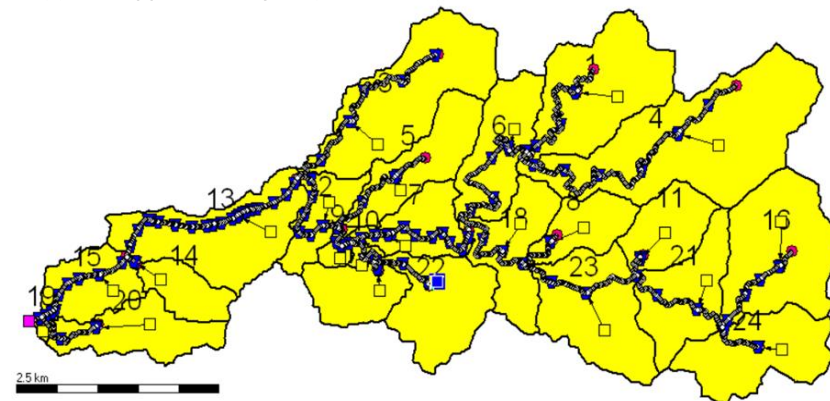
對於風險較高之土石流潛勢溪流應納入氣候變遷情境，以評估土石流影響範圍改變的情況，並配合範圍調整，以保全周邊之居民。

三、合理分配集水區流量

目前無因次降雨與合理化公式只能計算點的流量，無法以整體集水區觀念分配集水區流量。如要規劃集水區流量的分布，建議可以參考本報告所採用之方法。並且，配合滯洪池或農塘等設施，承擔高地逕流。



資料來源：臺中市和平區博愛里中-003土石流特定水土保持區長期水土保持計畫第二次通盤檢討



THANK YOU

敬請指教

