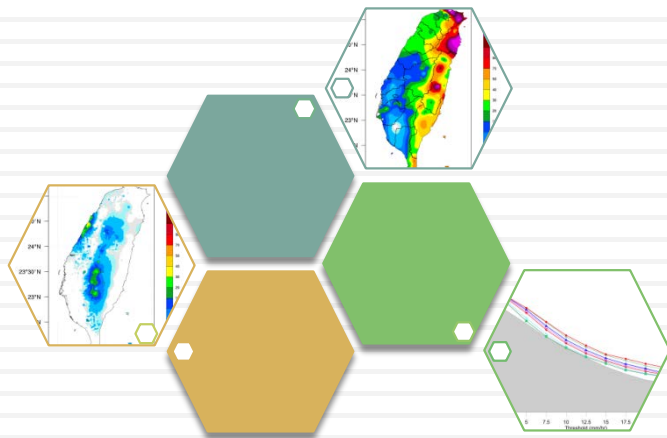


# 臺灣地區雨量站一日暴雨量 隨時間變化之分析

高裕哲<sup>1</sup> 馮智勇<sup>1</sup> 陳品妤<sup>2</sup> 沈里音<sup>2</sup> 朱寶信<sup>3</sup>



<sup>1</sup> 多采科技有限公司

<sup>2</sup> 交通部中央氣象局

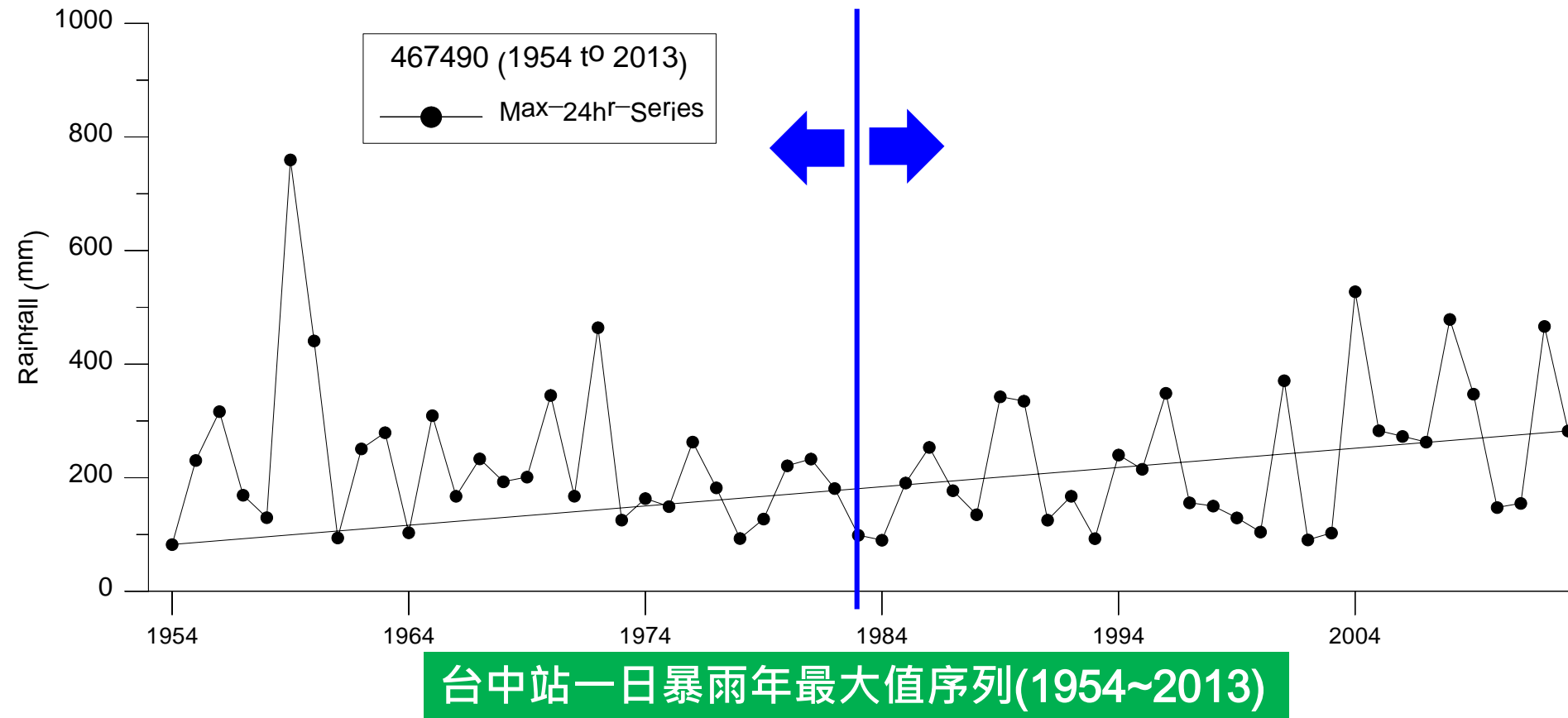
<sup>3</sup> 美國夏威夷大學

# 簡報大綱

- 研究目的
- 分析方式
  - ▣ 非平穩性廣義極端值分布雨量頻率分析
  - ▣ 重現水準趨勢顯著性檢測 - Mann-Kendall Test
  - ▣ 雨量年變化率估計 - Kendall-Theil Robust Line
- 分析結果
  - ▣ 非平穩性與平穩性分析結果差異
    - 具百年紀錄且無遷撤站資料銜接處理
  - ▣ 臺灣地區暴雨量隨年代變化之空間分布
    - 使用1954~2013年紀錄

# 如何探討雨量隨年代變化情形？

## 分期進行雨量頻率分析



# 兩期30年資料頻率分析結果

1954-1983

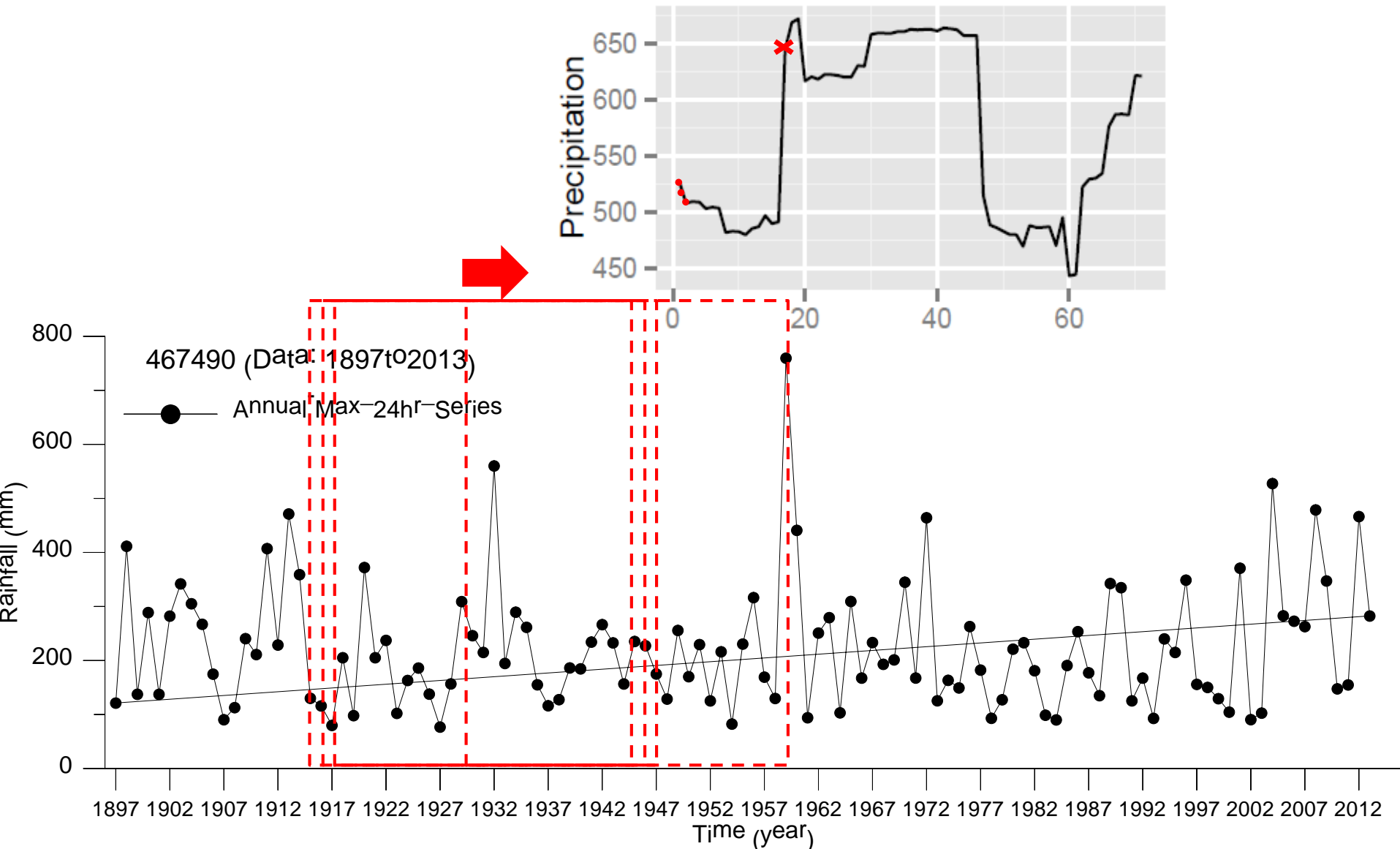
Return Period	2.0	20.0	50.0	100.0	200.0	SE	p-value
Normal	226.0	455.3	512.3	550.3	585.1	67.85	0.002
Log_Normal	196.4	461.7	571.0	657.8	748.9	48.81	0.997
Log_Normal_with_3_parameters	194.3	489.9	611.7	708.5	810.0	43.42	0.671
Extreme_Value_Type_I	203.1	486.1	587.4	663.3	738.9	48.39	0.640
Pearson_Type_III	175.8	498.8	654.9	780.2	911.1	42.47	0.517
Log_Pearson_Type_III	186.4	499.8	670.9	826.0	1007.5	37.09	0.966

1984-2013

Return Period	2.0	20.0	50.0	100.0	200.0	SE	p-value
Normal	234.8	437.2	487.5	521.0	551.7	34.75	0.134
Log_Normal	205.7	490.1	608.1	702.2	800.9	21.55	0.566
Log_Normal_with_3_parameters	206.6	467.7	576.1	662.5	753.2	27.49	0.443
Extreme_Value_Type_I	214.6	464.3	553.7	620.7	687.4	23.64	0.307
Pearson_Type_III	214.3	465.8	549.3	610.1	669.5	22.30	0.346
Log_Pearson_Type_III	204.7	494.2	618.0	717.9	823.9	22.16	0.573

100年重現期的一日暴雨量逐年減少...?

# 台中站一日暴雨百年紀錄



# 分期序列選取造成結果跳躍

站名	期數	使用資料時間區段	刪除	新增	事件	發生時間
台中(467490)	17	1930-1959	309.2	759.8	艾倫	1959080822
	47	1960-1989	759.8	342.7		1959080822
基隆(466940)	45	1958-1987	144.4	490.3	琳恩	1987102506
	58	1971-2000	243.9	478.5	象神	2000110114
花蓮(466990)	54	1967-1996	140.5	586.0		1996111010
澎湖(467350)	66	1979-2008	145.6	430.5	卡玫基	2008071821
台東(467660)	31	1944-1973	230.4	538.3	娜拉	1973100918

- 分期序列分析方式將樣本數由60筆降為30筆，增加樣本極端值的影響程度

能否採全部樣本數進行頻率分析？

→ 非平穩性(Non-stationary)雨量頻率分析



# 非平穩性雨量頻率分析方式



# 廣義極端值分布

$$F(x; \mu, \sigma, \xi) = \begin{cases} \exp\left\{-\left[1 + \frac{\xi(x - \mu)}{\sigma}\right]^{-\frac{1}{\xi}}\right\} & \text{for } \xi \neq 0 \\ \exp\left\{-\exp\left[-\frac{x - \mu}{\sigma}\right]\right\} & \text{for } \xi = 0 \end{cases}$$

- $\xi = 0$  , Gumbel
- $\xi > 0$  , Fréchet
- $\xi < 0$  , Weibull (reversed)

$\mu$  : location parameter  
 $\sigma$  : scale parameter  
 $\xi$  : shape parameter

若以此模型對雨量年最大值序列進行資料配適，則其分位數

$$z_T = \mu - \frac{\sigma}{\xi} \times \left[1 - \{1 - \log(1 - 1/T)\}^{-\xi}\right]$$

又稱為重現水準(return level)，所表示之意義為平均 $T$ 年可能發生降雨大於 $z_T$ 之事件，藉此分析一日暴雨量隨時間的變化情形

# 非平穩性廣義極端值分布

欲探討極端雨量隨時間的變化情形，可將GEV分布之參數設定做調整

$$\mu_t = \mu_0 + \mu_1(t_1 - t_0)$$

$$\log \sigma_t = \sigma_0 + \sigma_1(t_1 - t_0)$$

其中 $t_0$ 為序列起始時間，設定參數 $\xi$ 為常數，其餘參數為時間的 $t$ 函數，不再只是固定的常數，因此上述之重現水準可改寫為

$$z_T = \mu_0 + \mu_1 t - \frac{\exp(\sigma_0 + \sigma_1 t)}{\xi} \times \left[ 1 - \{1 - \log(1 - 1/T)\}^{-\xi} \right], \quad \xi \neq 0$$

使用 R 語言軟體的 extRemes 套件估計參數

# 重現水準雨量估計式

## Gumbel

1. 參數估計
2. 計算重現水準

$$z_T = \mu - \frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0.5772 + \log \left[ \log \left( \frac{1}{1 - \frac{1}{T}} \right) \right] \right\} \sigma$$

## GEV

1. 參數估計
2. 計算重現水準

$$z_T = \mu - \frac{\sigma}{\xi} \left[ 1 - \left\{ -\log \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right\}^{-\xi} \right]$$

估計重現期雨量前，須對機率分布進行參數估計，再將重現期  $T$  代入  $z_T$ ，即可求出重現期雨量估計值

## Non-stationary GEV

1. 參數估計
2. 計算重現水準

$$z_T = \mu_0 + \mu_1(t - t_0) - \frac{\exp[\sigma_0 + \sigma_1(t - t_0)]}{\xi} \times \left[ 1 - \left\{ -\log \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right\}^{-\xi} \right]$$

# 重現水準趨勢顯著性檢測

## □ Mann-Kendall Test

- 檢定時間序列是否具有單調遞增或遞減的趨勢

$H_0$ : No monotonic trend vs  $H_1$ : Upward or downward monotonic trend

假設序列為  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$

1. 計算  $n(n-1)/2$  個  $x_j - x_k$  的差值，其中  $j > k$ ，即計算

$x_2 - x_1, x_3 - x_1, \dots, x_n - x_1, x_3 - x_2, x_4 - x_2, \dots, x_n - x_{n-2}, x_n - x_{n-1}$

2. 定義

$$\begin{aligned} \text{sgn}(x_j - x_k) &= 1 \text{ if } x_j - x_k > 0 \\ &= 0 \text{ if } x_j - x_k = 0, \text{ or if the sign of } x_j - x_k \text{ cannot be} \\ &\quad \text{determined due to non-detects} \\ &= -1 \text{ if } x_j - x_k < 0 \end{aligned}$$

3. 計算

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

# 重現水準趨勢顯著性檢測 (續)

4. 計算

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right]$$

其中  $g$  為一序列的數值可分的組數， $t_p$  為第  $p$  組具有幾筆觀測數據，如一序列 {23, 24, 29, 6, 29, 24, 24, 29, 23} 則  $g = 3$ ， $t_1 = 2$ ，23 有 2 筆， $t_2 = 3$ ，24 有 3 筆， $t_3 = 3$ ，29 有 3 筆

5. 計算

$$\begin{aligned} Z_{MK} &= \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} \text{ if } S > 0 \\ &= 0 \text{ if } S = 0 \\ &= \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} \text{ if } S < 0 \end{aligned}$$

6.  $H_0$  is rejected and  $H_a$  is accepted if  $|Z_{MK}| \geq Z_{1-\alpha/2}$ ，其中  $Z$  為常態分布的分位數

# 重現期雨量年變化率估計

## □ Kendall-Theil Robust Line

- 簡單線性迴歸(其參數估計值較不易受到資料影響)
- 線性估計式

$$\hat{Y} = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 \cdot X$$

- 參數估計

$$\hat{b}_1 = \text{median} \frac{(Y_j - Y_i)}{(X_j - X_i)} \quad \text{for all } i < j \text{ and } i=1,2,\dots,(n-1) \quad j=2,3,\dots,n.$$

$$\hat{b}_0 = Y_{\text{med}} - \hat{b}_1 \cdot X_{\text{med}}$$

# 重現期雨量年變化率估計 (續)

- 例如樣本(X, Y)如下

Y:	1	2	3	4	5	16	7
X:	1	2	3	4	5	6	7
Slopes:	+1	+1	+1	+1	+11	-9	
	+1	+1	+1	+6	+1		
	+1	+1	+4.3	+1			
	+1	+3.5	+1				
	+3	+1					
	+1						

樣本點兩兩計算斜率，排序後的中位數即為斜率的估計值， $\hat{b}_1 = 1$

-9,	+1,	+1,	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
+1	+1	+1	+1	+1	+3	+3.5	+4.3	+6	+11		

而截距估計值為  $\hat{b}_0 = 4 - 1 \cdot 4$   $X_{med} = 4$  and  $Y_{med} = 4$

簡單線性迴歸的斜率估計值為1.71，若將第5個樣本點換成 $(X, Y) = (200, 6)$ ，則簡單線性迴歸的斜率估計值會有很大的變動，

但Kendall-Theil Robust Line的斜率估計值仍然是1



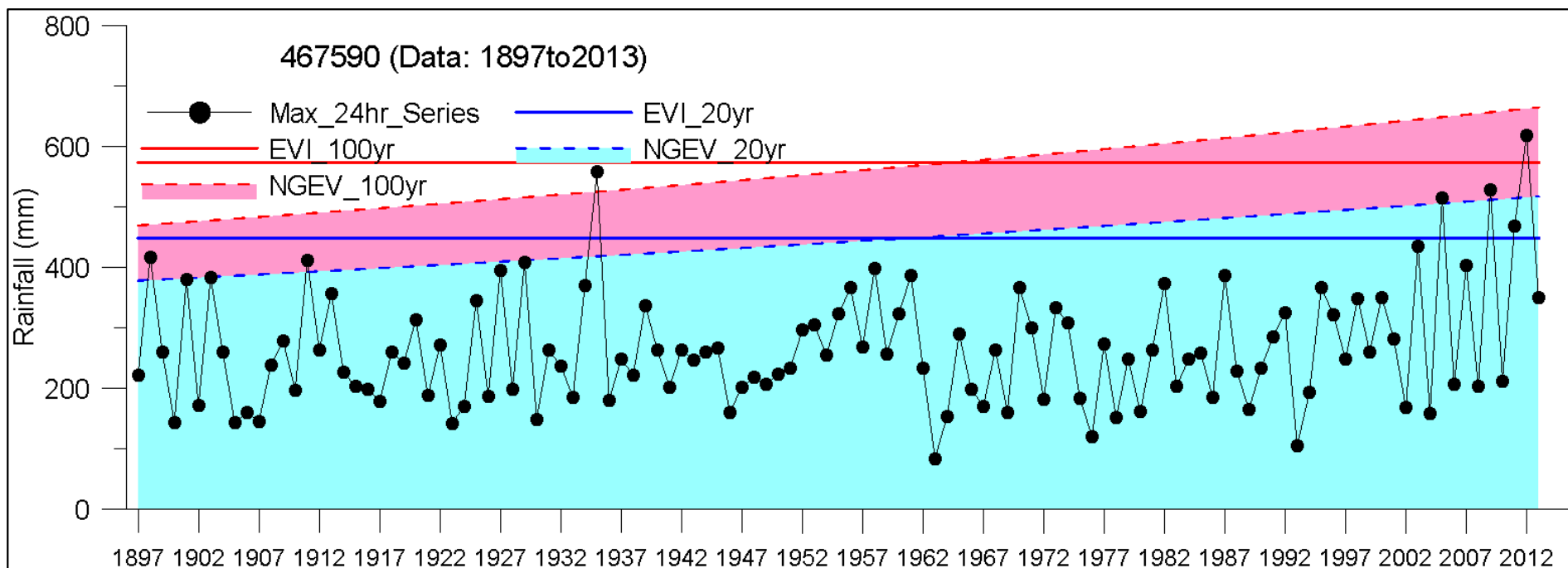
# 分析結果



# 非平穩性與平穩性分析結果差異

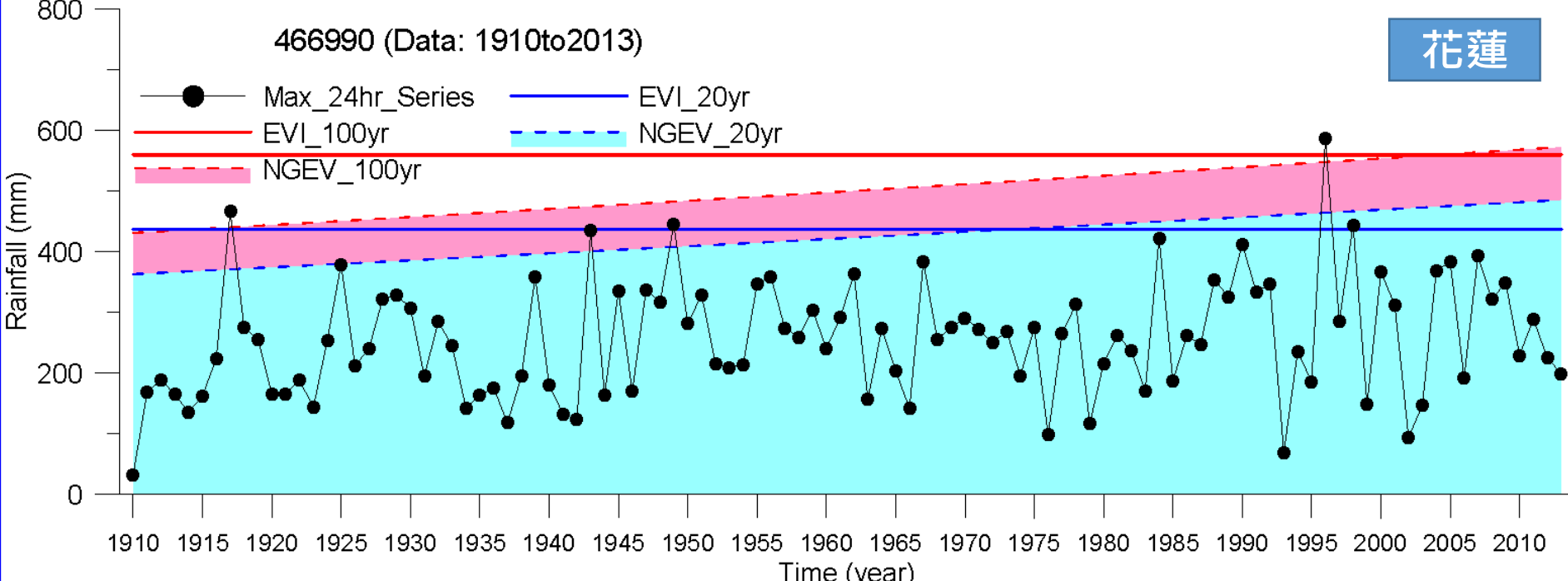
- 具百年紀錄且無遷撤站資料銜接處理測站
  - ▣ 恆春、花蓮、台東、台中、澎湖

恆春



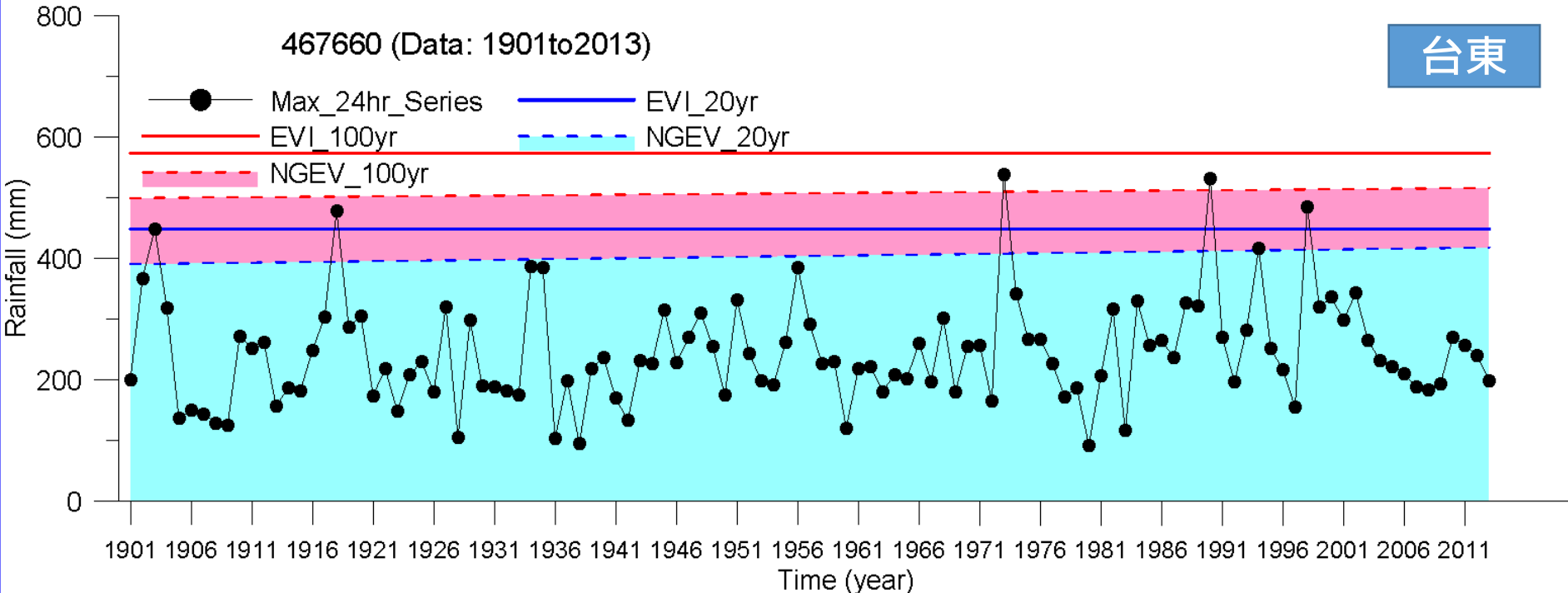
花蓮

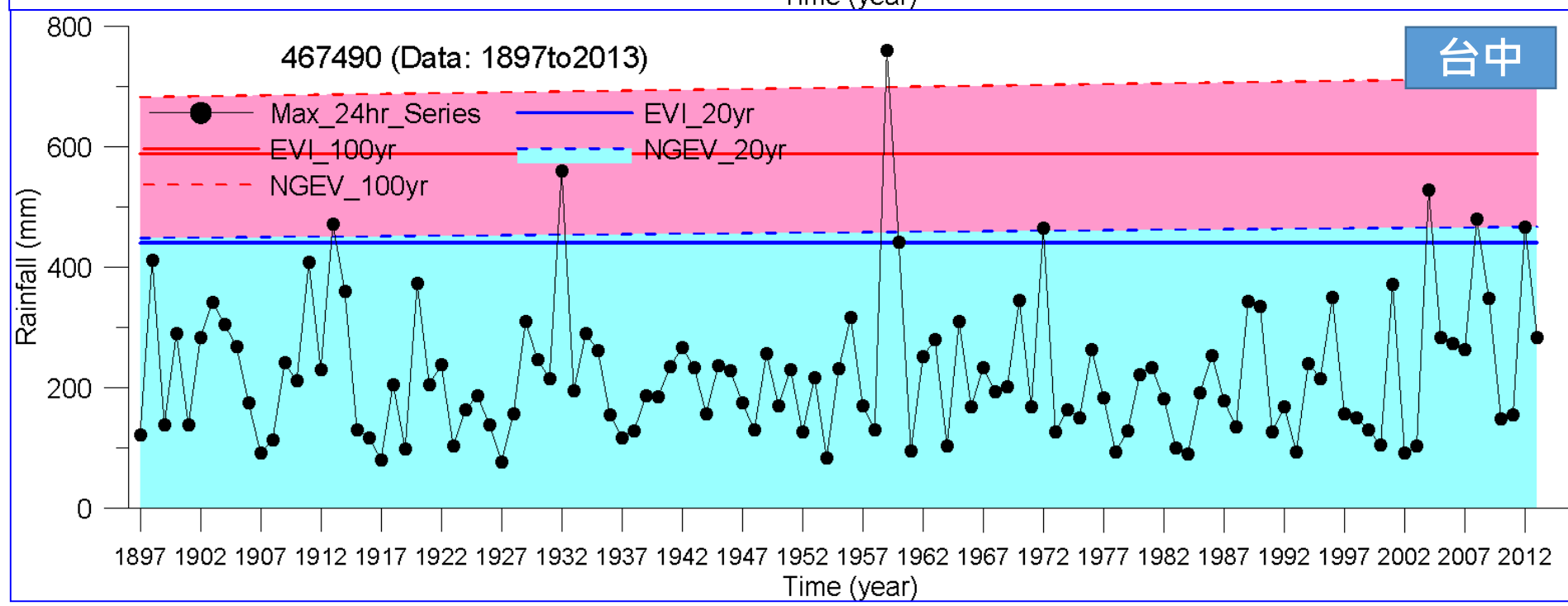
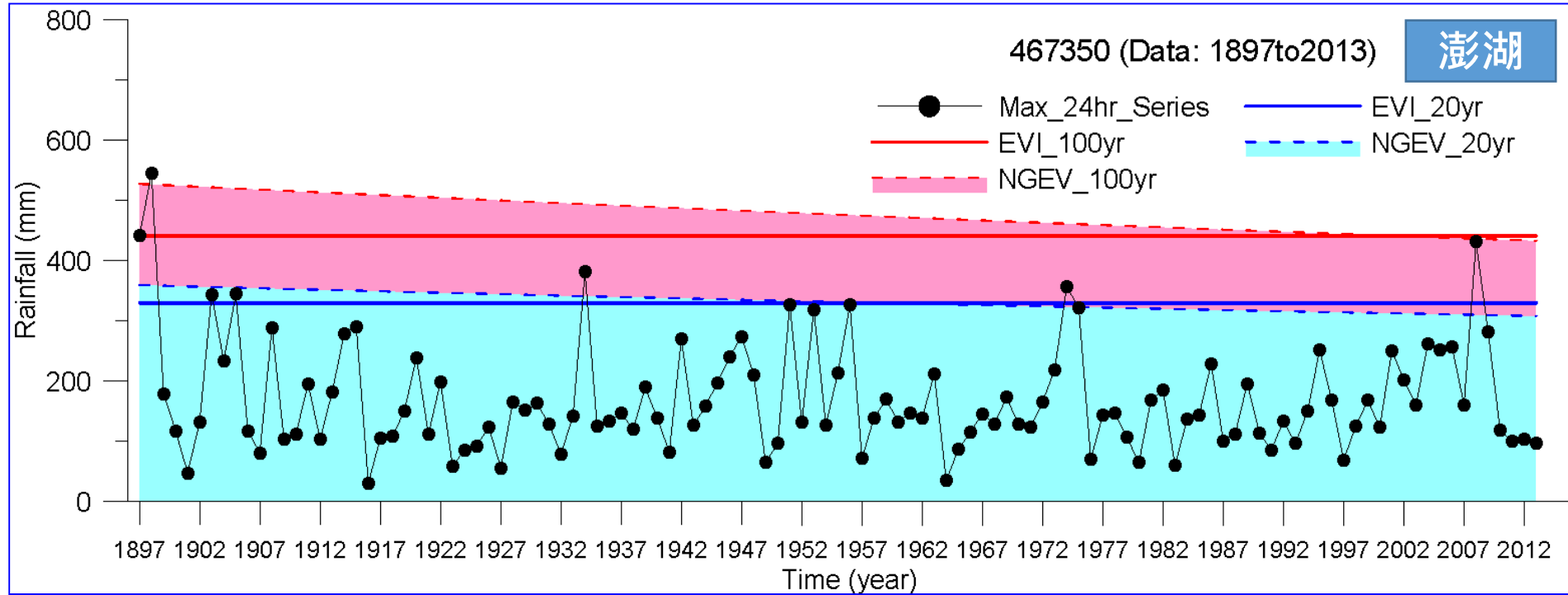
466990 (Data: 1910to2013)



台東

467660 (Data: 1901to2013)





# 暴雨量年變化率之空間分布

- 雨量觀測資料
  - ▣ 21個具50年以上觀測記錄測站(含3個離島)
  - ▣ 使用1954~2013共60年資料
  - ▣ 遷撤站直接銜接處理
    - 台北、新竹、台南
- 暴雨量年最大值序列
  - ▣ 一日、12小時、3小時、1小時
  - ▣ 重現水準隨年代變化情況
    - 20年、50年與100年

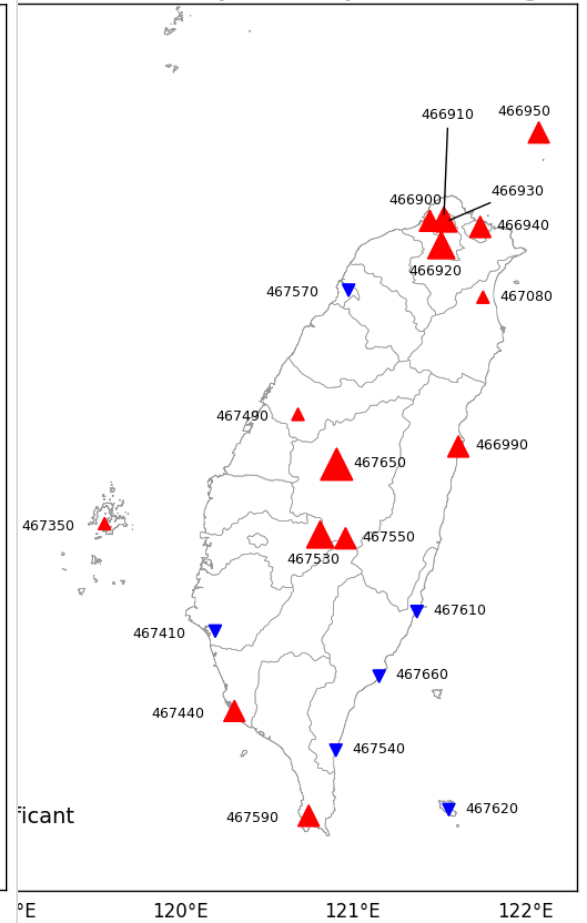
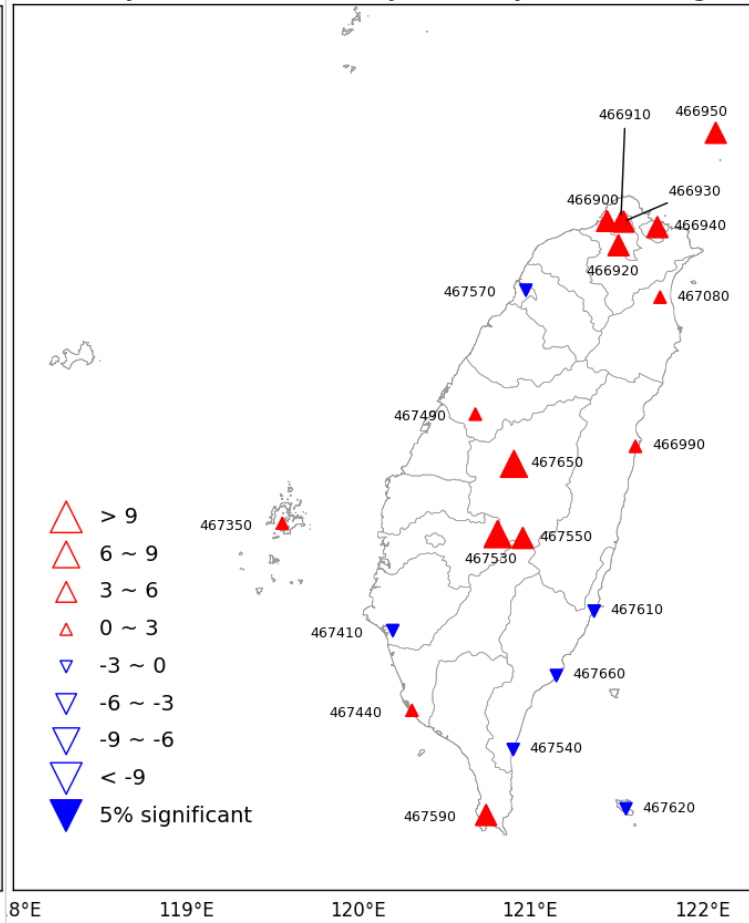
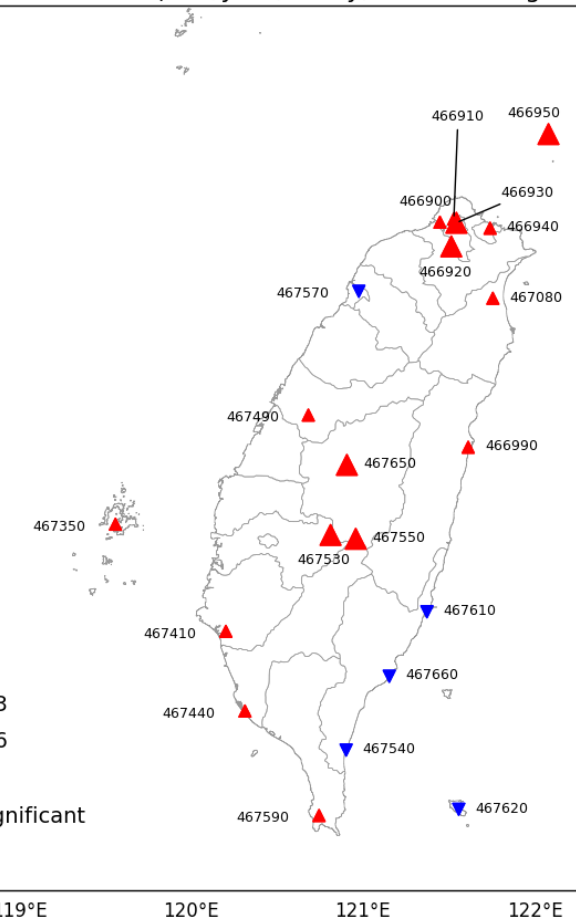
# 一日暴雨量年變化率空間分布

20年重現水準

50年重現水準

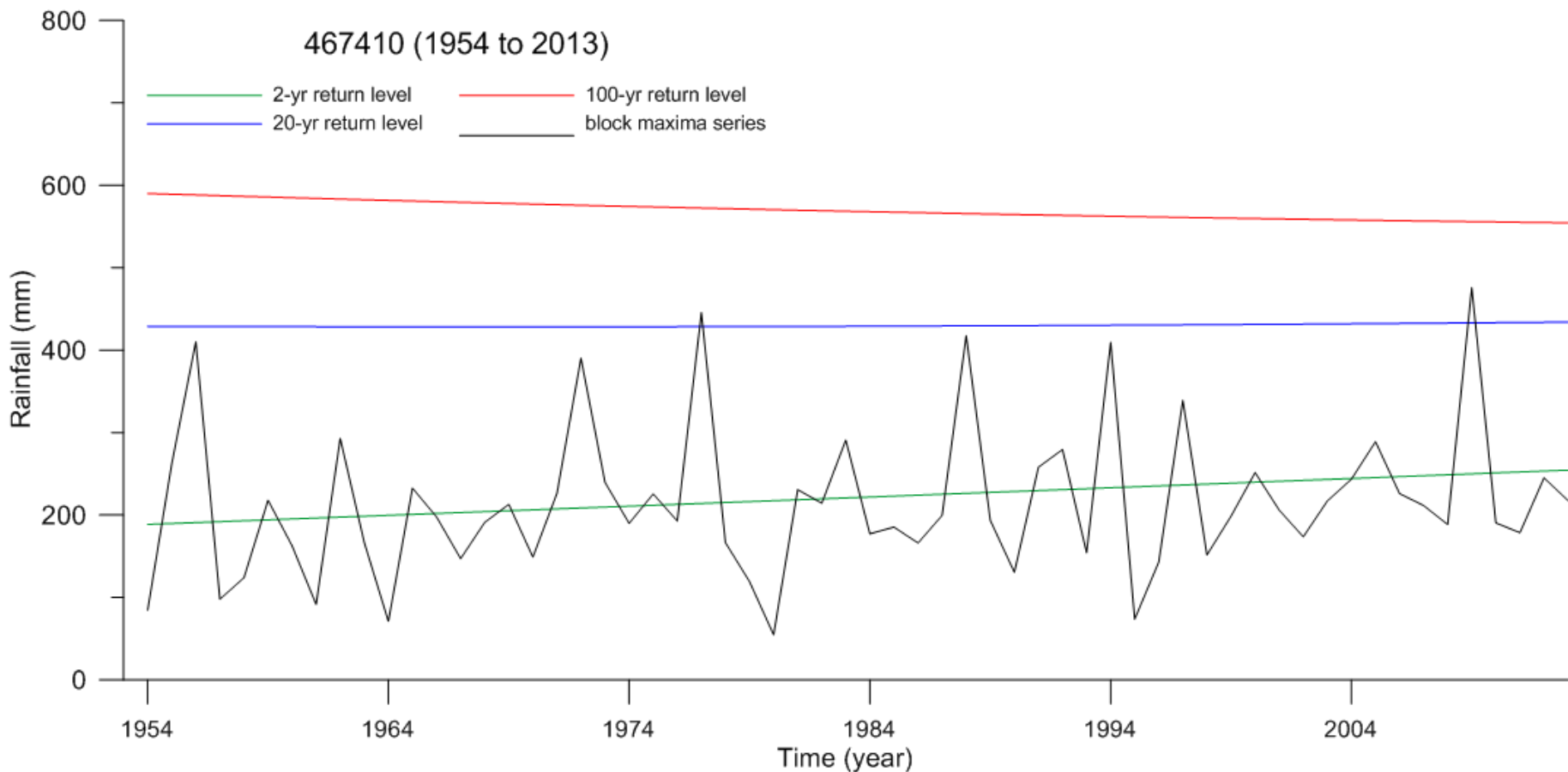
100年重現水準

return levels (mm/year, 1-day, Theil-Sen regresss of 50-yr return levels (mm/year, 1-day, Theil-Sen regresss return levels (mm/year, 1-day, Theil-Sen regresss

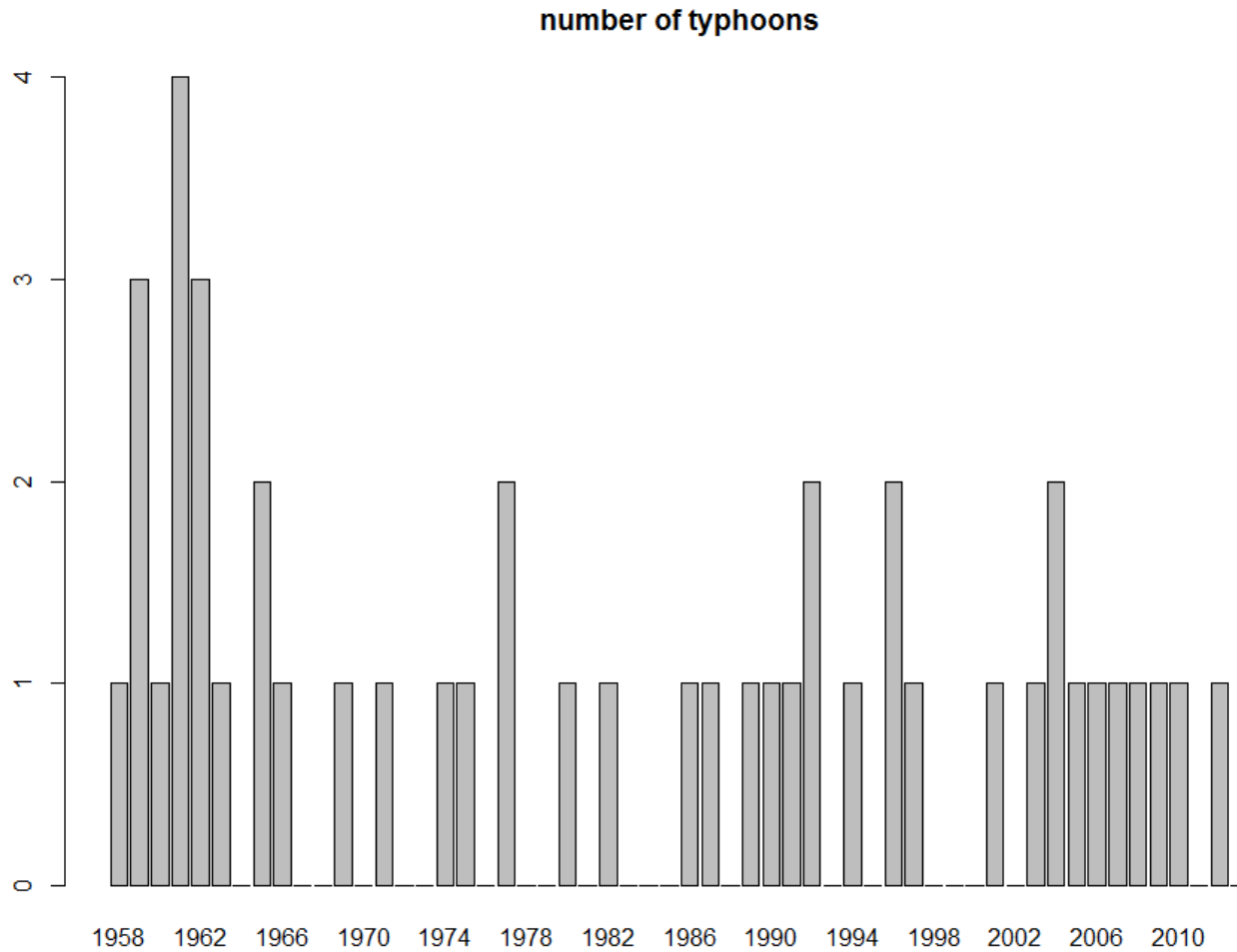


# 台南站NGEV結果

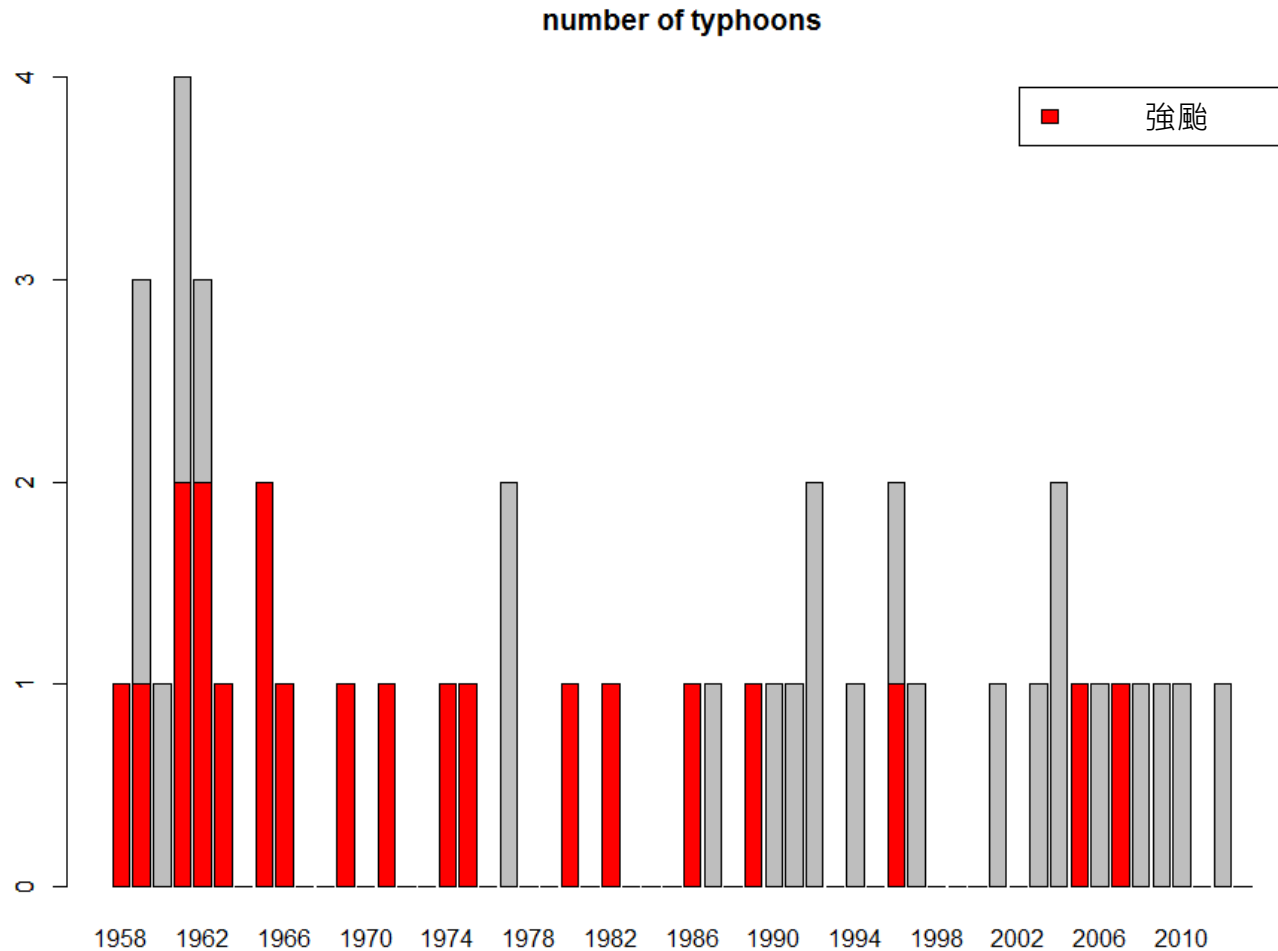
$$z_T = 155.15 + 1.25(t - t_0) - \frac{\exp[4.475 - 0.00493(t - t_0)]}{0.0325} \times \left[ 1 - \left\{ -\log\left(1 - \frac{1}{T}\right) \right\}^{-0.0325} \right]$$



# 侵襲東部地區之颱風個數統計



# 侵襲東部地區之颱風個數統計





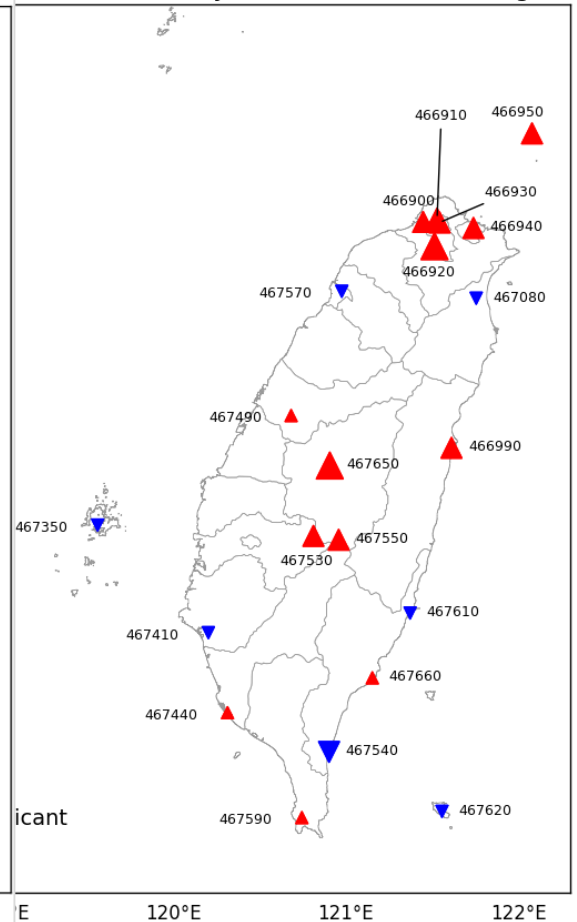
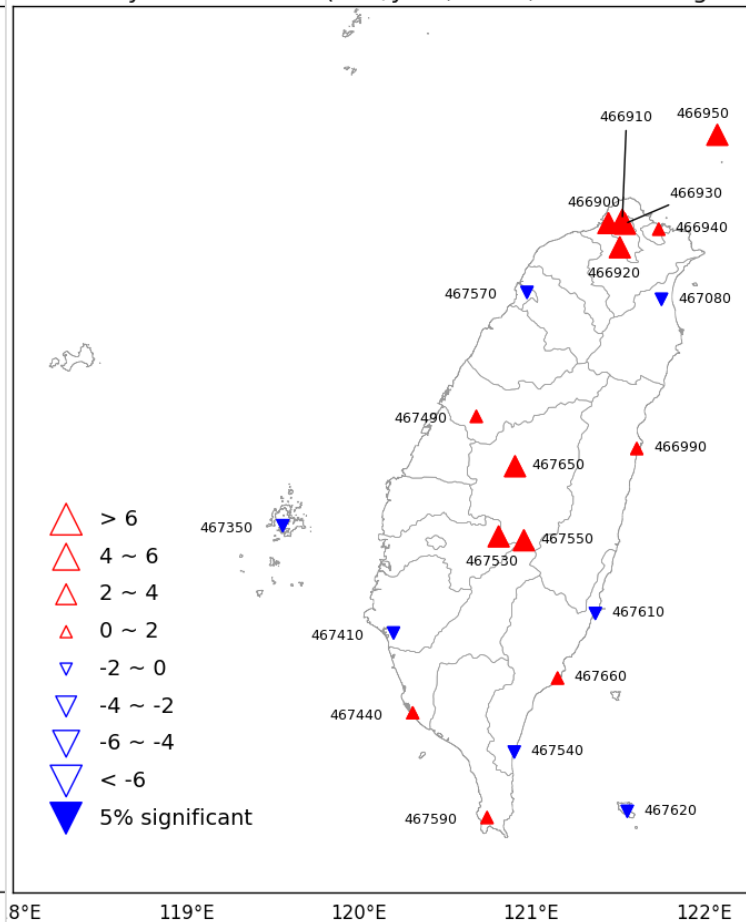
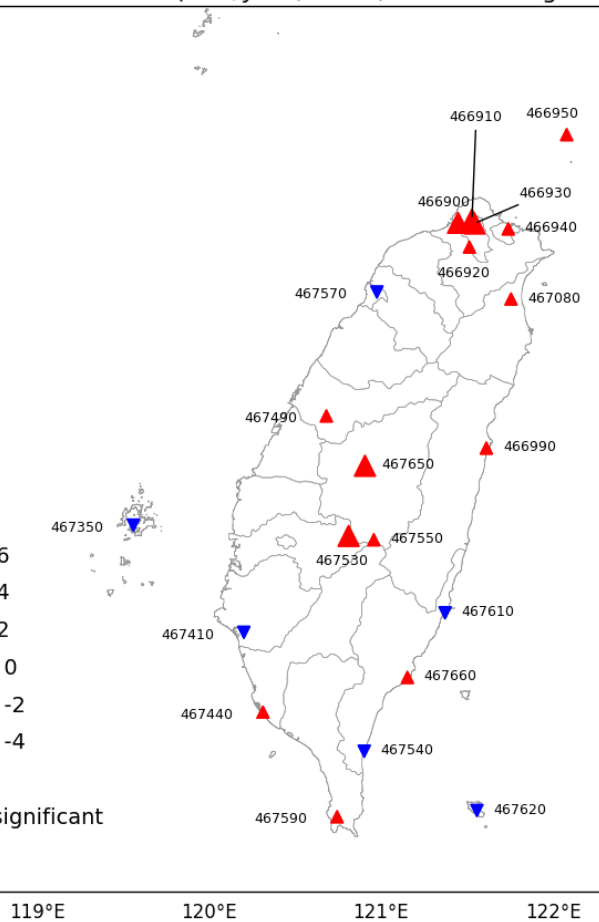
# 12hr暴雨量年變化率空間分布

20年重現水準

50年重現水準

100年重現水準

return levels (mm/year, 12-hr, Theil-Sen regressions of 50-yr return levels (mm/year, 12-hr, Theil-Sen regressions of 100-yr return levels (mm/year, 12-hr, Theil-Sen regressions of



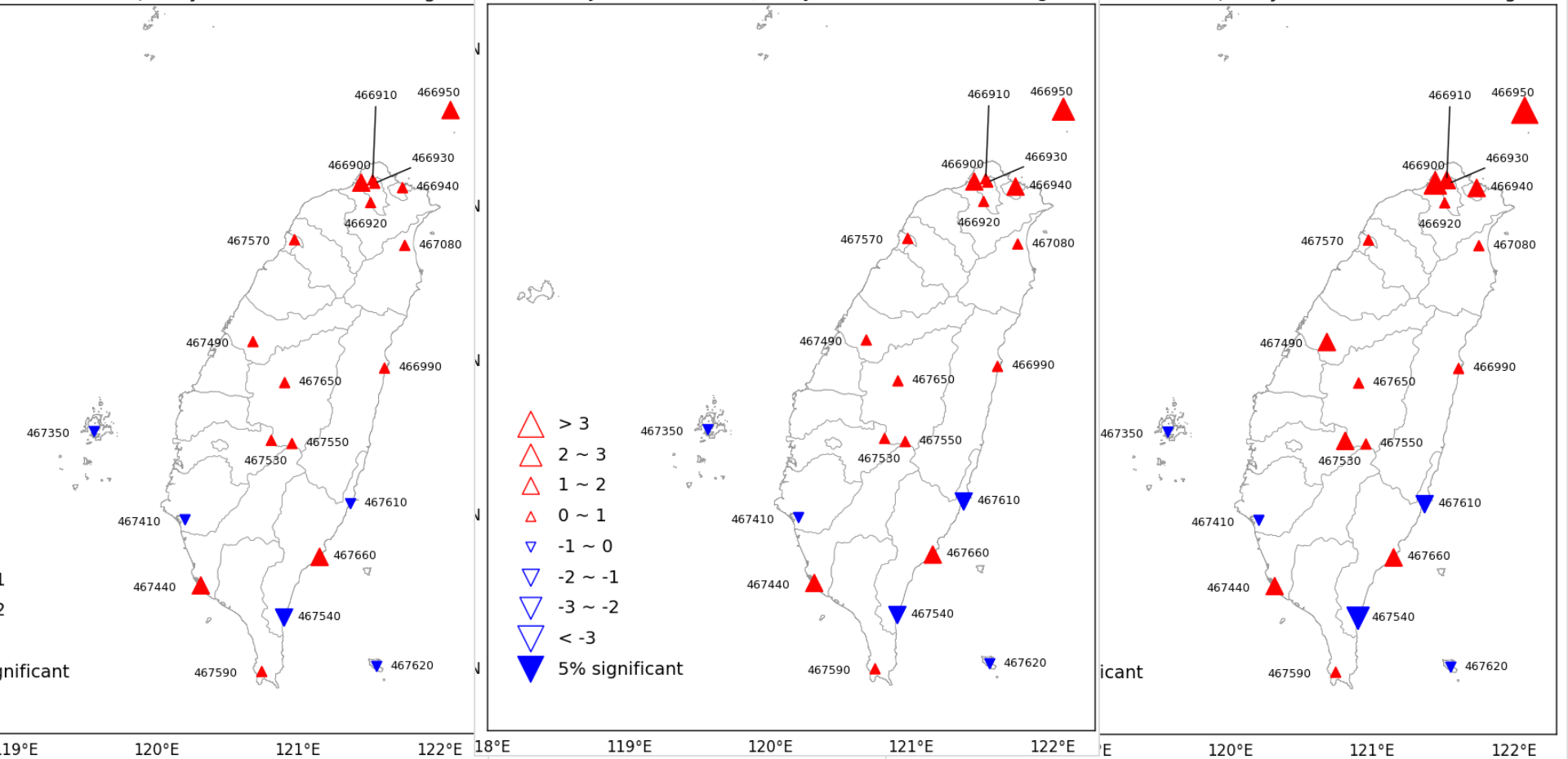
# 3hr暴雨量年變化率空間分布

20年重現水準

50年重現水準

100年重現水準

return levels (mm/year, 3-hr, Theil-Sen regressions of 50-yr return levels (mm/year, 3-hr, Theil-Sen regression) turn levels (mm/year, 3-hr, Theil-Sen regression)



119°E 120°E 121°E 122°E 18°E 119°E 120°E 121°E 122°E 120°E 121°E 122°E

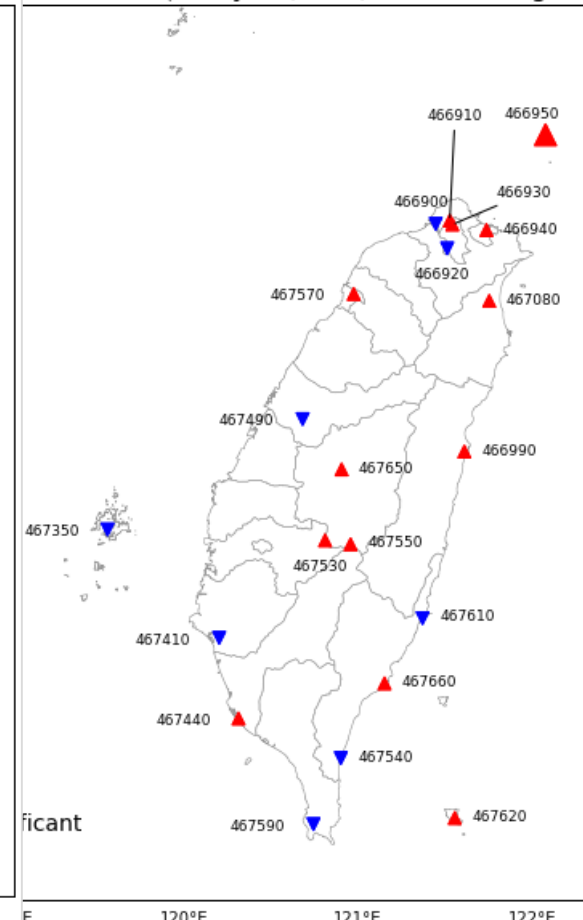
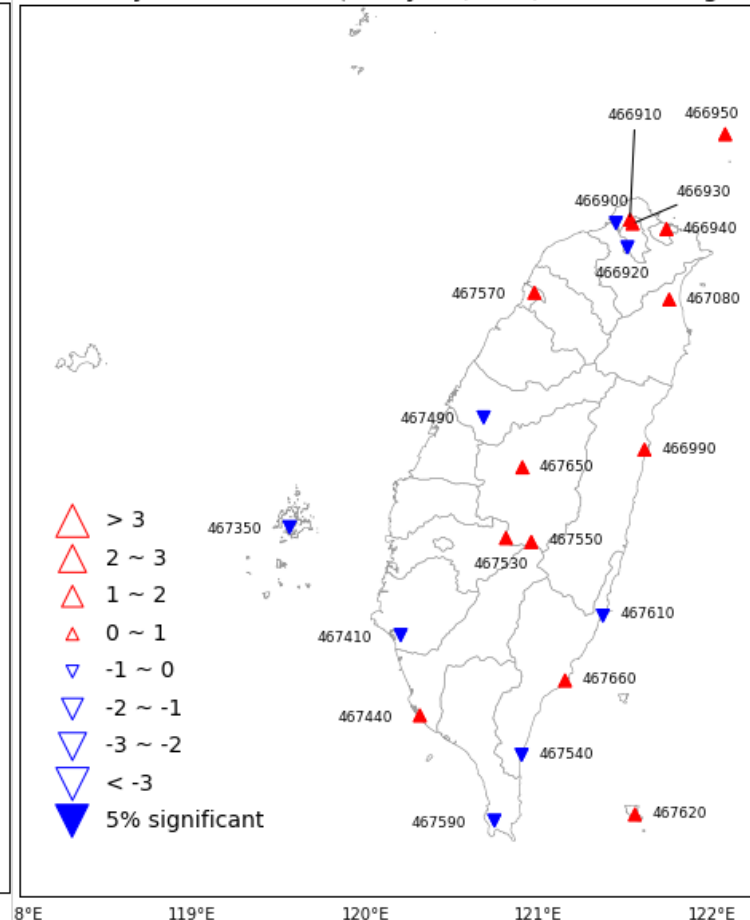
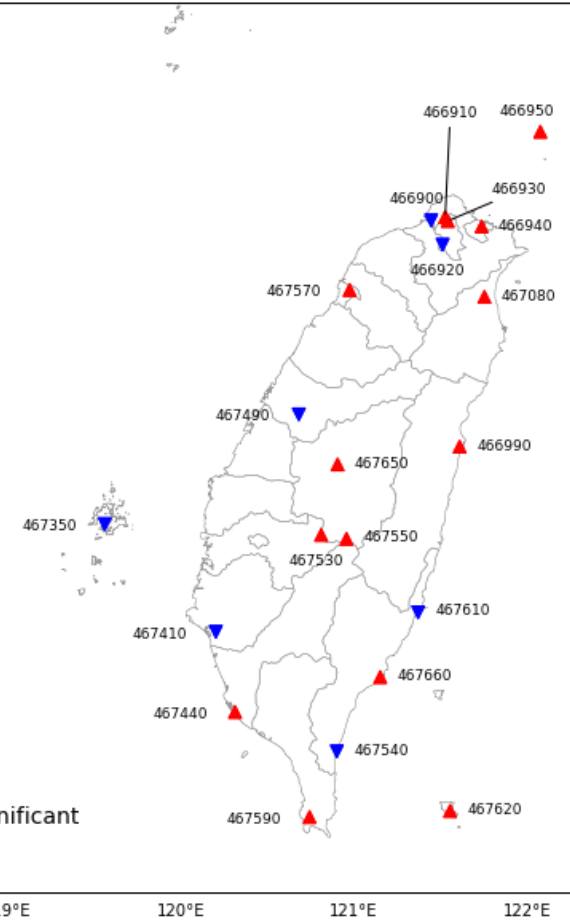
# 1hr暴雨量年變化率空間分布

20年重現水準

50年重現水準

100年重現水準

return levels (mm/year, 1-hr, Theil-Sen regresss of 50-yr return levels (mm/year, 1-hr, Theil-Sen regresss return levels (mm/year, 1-hr, Theil-Sen regresss



# 結果綜整

- 非平穩性頻率分析方式可直接利用所有樣本探討水文資料是否具隨時間變化特性
- 臺灣地區雨量測站重現期雨量年增率分析
  - 多數測站年增率為正
  - 山區測站1日雨量重現期年增率較短延時顯著
  - 部分測站因不同降雨延時呈現年增率為負
    - 一日：新竹、台南、成功、**台東**、大武、蘭嶼
    - 12hr：**新竹**、台南、成功、大武、蘭嶼、**澎湖**
    - 3hr：台南、成功、大武、**蘭嶼**、澎湖
    - 1hr：**淡水**、**台北**、**台中**、台南、成功、大武、澎湖

簡報結束 敬請指教

[www.manysplendid.com](http://www.manysplendid.com)

