

台灣氣候變異與年代際變化分析

卓盈旻 盧孟明 林昀靜

中央氣象局

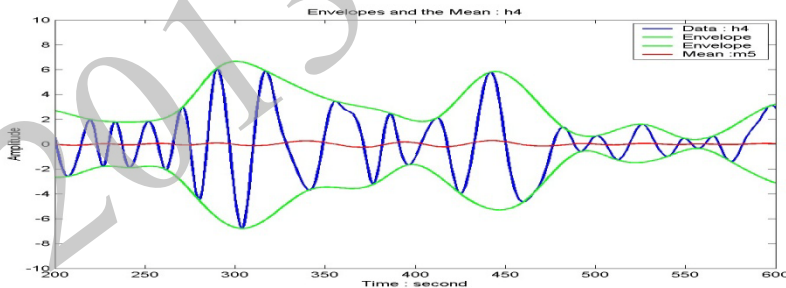
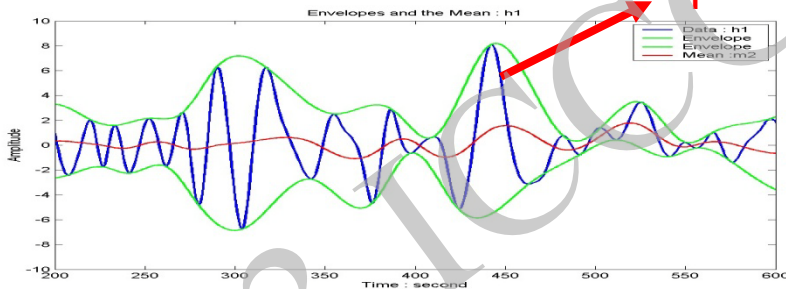
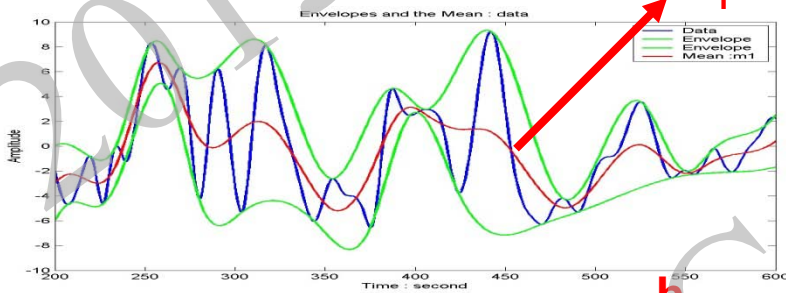
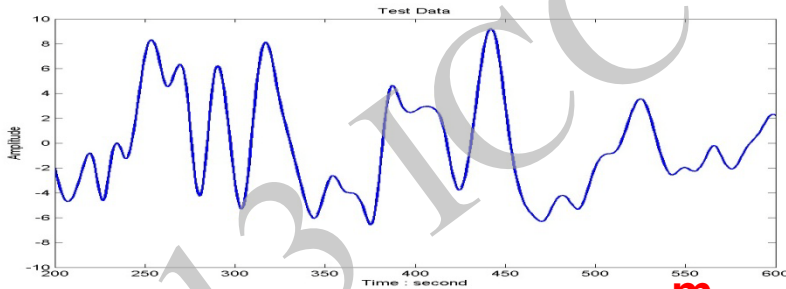
TCCIP成果發表會

2013/01/17

Introduction

- ◆ 以往分析資料的長期趨勢都習慣採用線性分析方法來表示，但是此方法是基於資料為線性(linear)和平穩(stationary)狀態的假設之下。然而氣候是非線性和非平穩變化的系統，線性分析方法無法完全表現應有的變化，因而成為了解氣候變化原因的障礙。
- ◆ 整體平均經驗模態分解法(EEMD)解出的長期趨勢變化是將不符合趨勢定義（具有類似週期變化）的訊號濾除乾淨之後獲得的殘餘項，因此可把「趨勢」和「週期性」變化清楚分離，有助於瞭解資料特性，或進一步詮釋時間序列的變化。
- ◆ EEMD具有依照時間序列資料的特性，分解出不同時間尺度的變化特徵，因此本研究利用EEMD分解法重新分析台灣溫度和雨量的長期變化。

Empirical Mode Decomposition, EMD



經驗模態分解法：(Huang et al., 1998)

- 根據原始資料的變化特性，將資料從高頻到低頻分解成多個內建模態函數分量(IMF)和一個殘差項。
- 各個時間尺度的IMF代表不同的能量及頻率。

Shifting process

$$\text{data} - m_1 = h_1$$

$$h_1 - m_2 = h_2$$

.....

$$h_{(k-1)} - m_k = h_k$$

$$h_k = \text{IMF}_1$$

EMD

$$\text{data} - \text{IMF}_1 = r_1$$

$$r_1 - \text{IMF}_2 = r_2$$

.....

$$r_{(n-1)} - \text{IMF}_n = r_n$$

$$r_n = \text{trend}$$

$$n = \log_2 N$$

N: data number

Ensemble Empirical Mode Decomposition, EEMD

整體平均經驗模態分解法：(Wu and Huang, 2009)

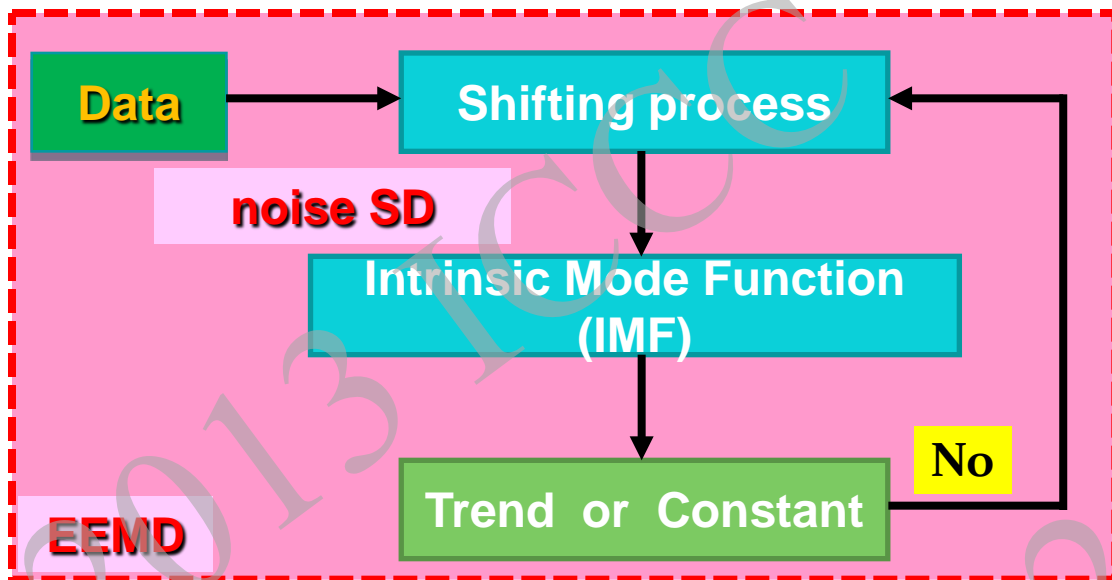
➤ 改善混模(mode mixing)的問題

將原始資料加上一組隨機白噪音(white noise)來消除雜訊影響

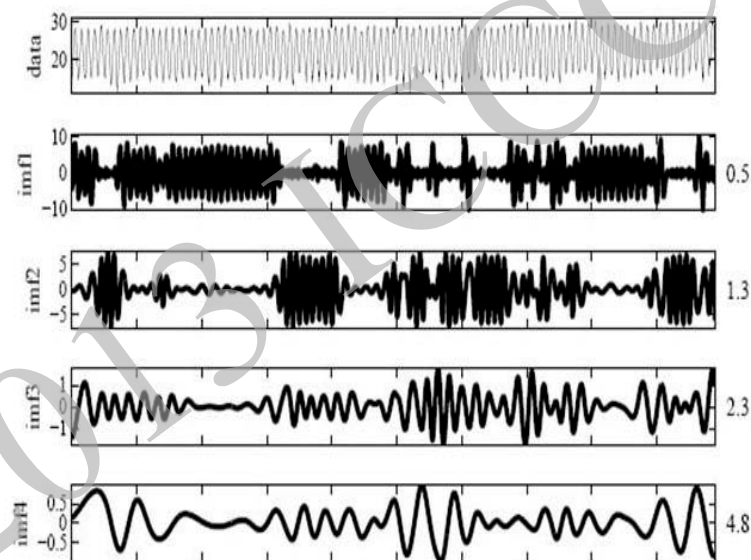
➔ noise SD

經由轉移過程(shift process)進行EMD分解 ➔ shifting number

重複上述步驟多次，對多次分解結果平均 ➔ ensemble number

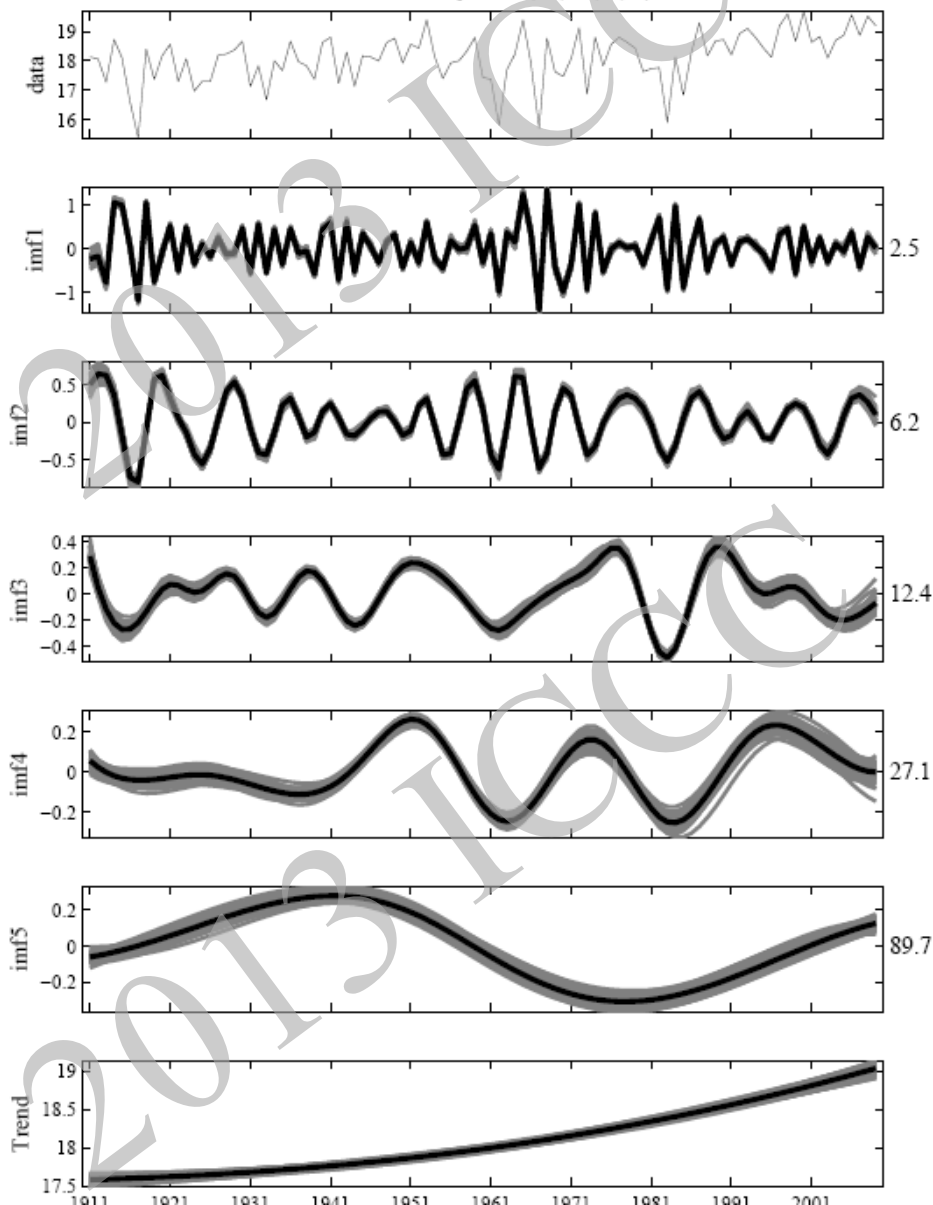


mode mixing



Ensemble Empirical Mode Decomposition, EEMD

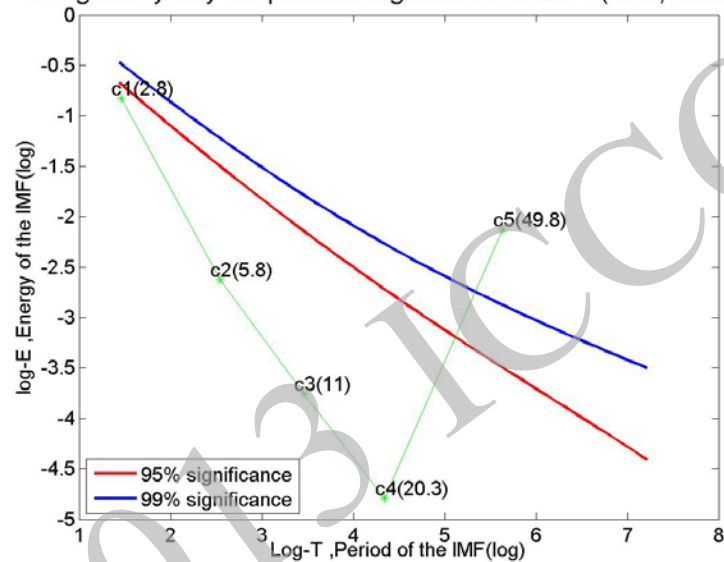
Hualien DJF-temperature (0.5,100,10,50)



顯著性檢定：(Wu and Hung, 2009)

➤ 幫助判斷各個IMF是屬於有意義的頻率分量，或僅只是單純的噪音而已。

Hengchun yearly-temperature Significance of IMFs (0.15,1000,10)



Flow Chart

設定平均次數 en

設定整體平均數 N 及白噪音振幅 ε

經驗模態分解
EMD

$IMF_{1ij}, IMF_{2ij}, \dots, IMF_{kij}, r_{ij}$

平均 ($j=1 \sim N$)

$IMF_{1i}, IMF_{2i}, \dots, IMF_{ki}, r_i$

平均 ($i=1 \sim en$)

$IMF_1, IMF_2, \dots, IMF_k, r$

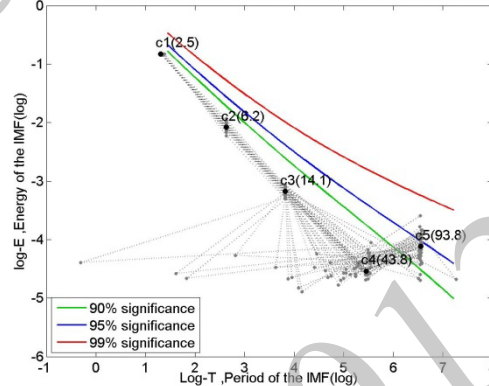
整體平均經驗模態分解

EEMD

選擇50次EEMD分析結果有一致變化的白噪音振幅作為加入此資料的白噪音振幅，若每個白噪音振幅的50次結果都不一致，則將此資料視為不適合利用EEMD分析。

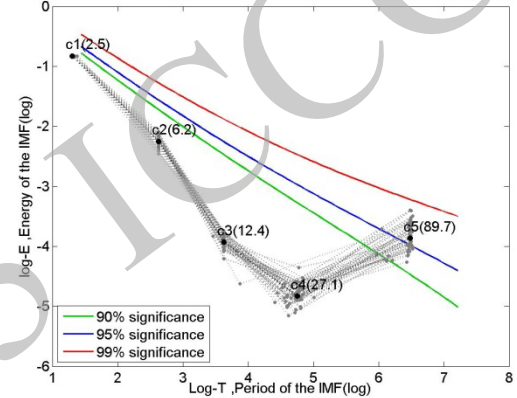
$\varepsilon = 0.1$

Hualien DJF-temperature Significance of IMFs (0.1, 100, 10, 50)



$\varepsilon = 0.5$

Hualien DJF-temperature Significance of IMFs (0.5, 100, 10, 50)



Data and Method

❖ 測站資料

台北(TP)、台中(TC)、台南(TN)、
恆春(HC)、花蓮(HL)、台東(TT)

台灣地區：6個測站資料代表
溫度、雨量

❖ 分析時間

1911~2010年

年平均、季平均（每3個月的滑動平均）

❖ 分析方法

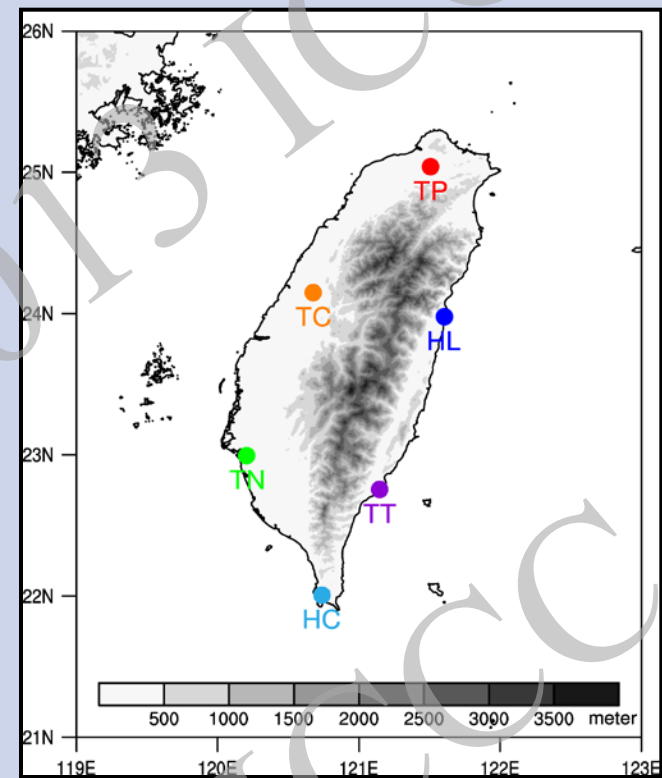
整體平均經驗模態分解法（EEMD）

noise SD: 0.01~0.5 (挑選適合資料的白噪音振幅)

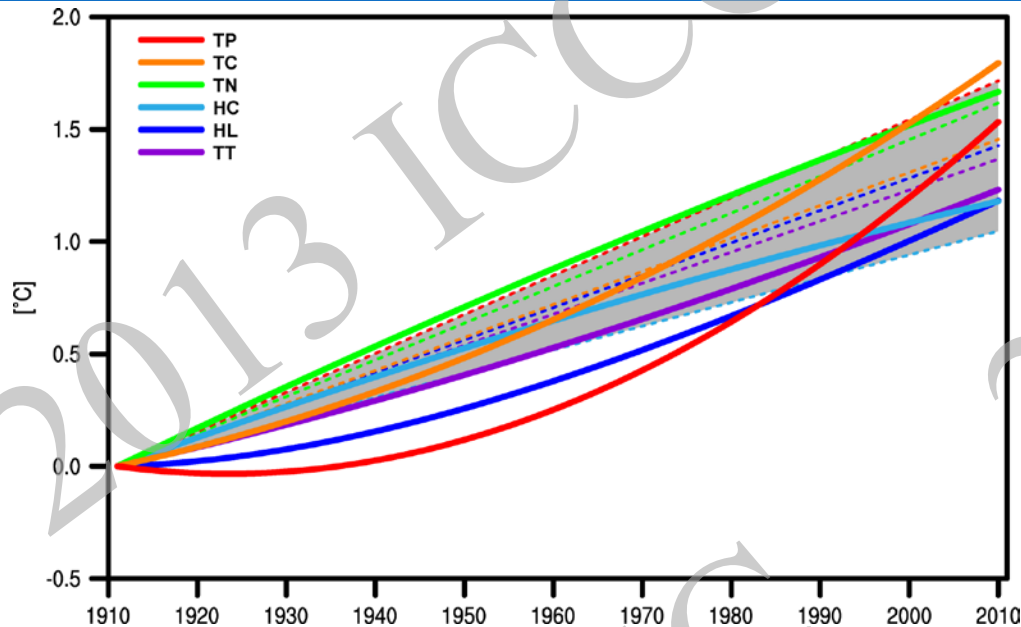
shifting: 10

ensemble: 100

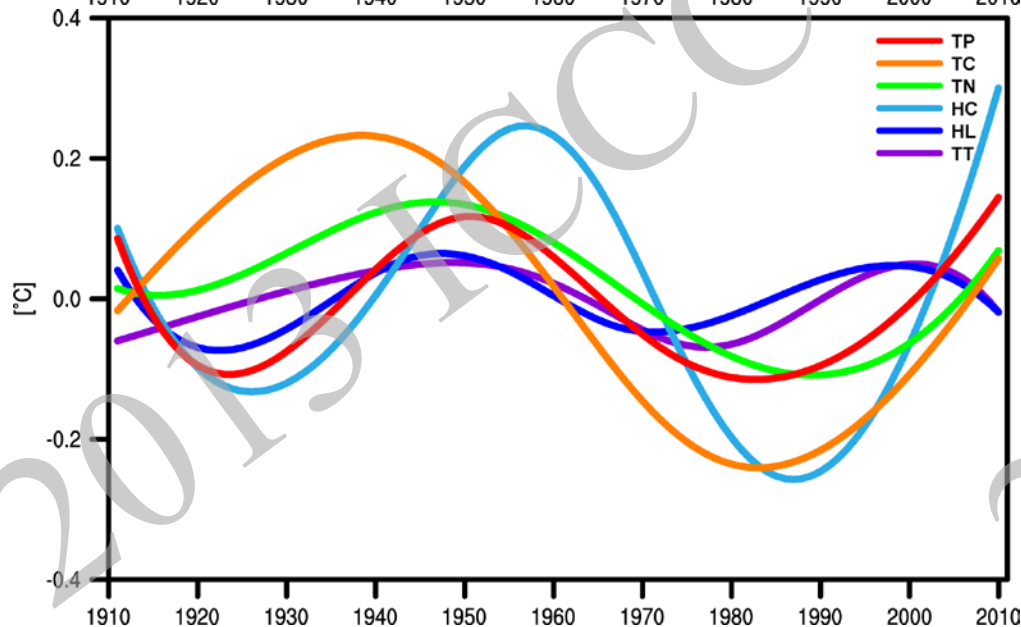
EEMD: 50



Taiwan Annual Mean Temperature



- 6個測站都有逐漸增溫的趨勢，增溫現象並非如線性趨勢一樣，維持相同的速率穩定增加。
- 大部分測站在1970年之前EEMD趨勢變化小於線性趨勢，但在1970年之後的增暖速率大於線性

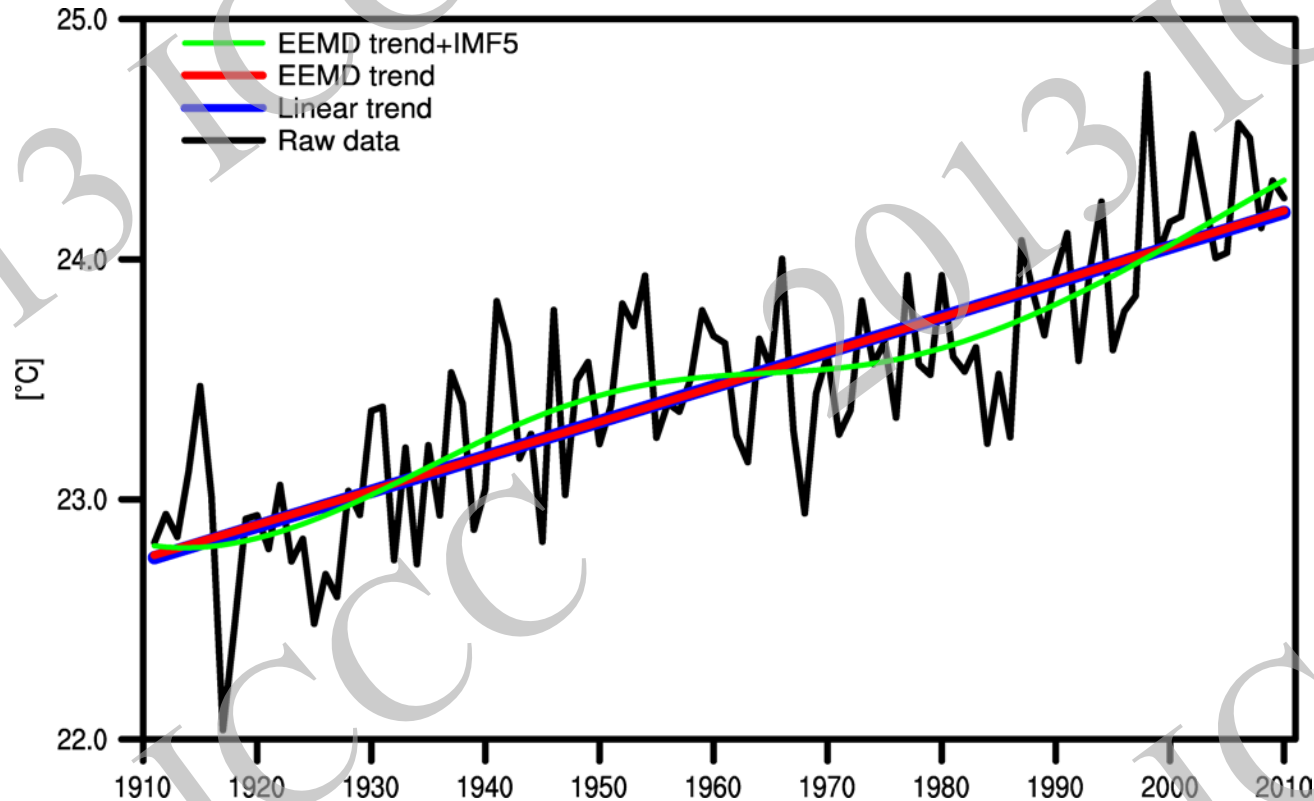


- 大部分測站有著相似的週期波動變化。

| TP | TC | TN | HC | HL | TT |
|------|------|------|------|------|------|
| 51.4 | 94.3 | 86.3 | 50.1 | 45.4 | 55.1 |

- 氣溫變化除了非線性的上升趨勢之外，還包含多年代的週期波動變化在內。

Taiwan Mean Temperature – EEMD & Linear



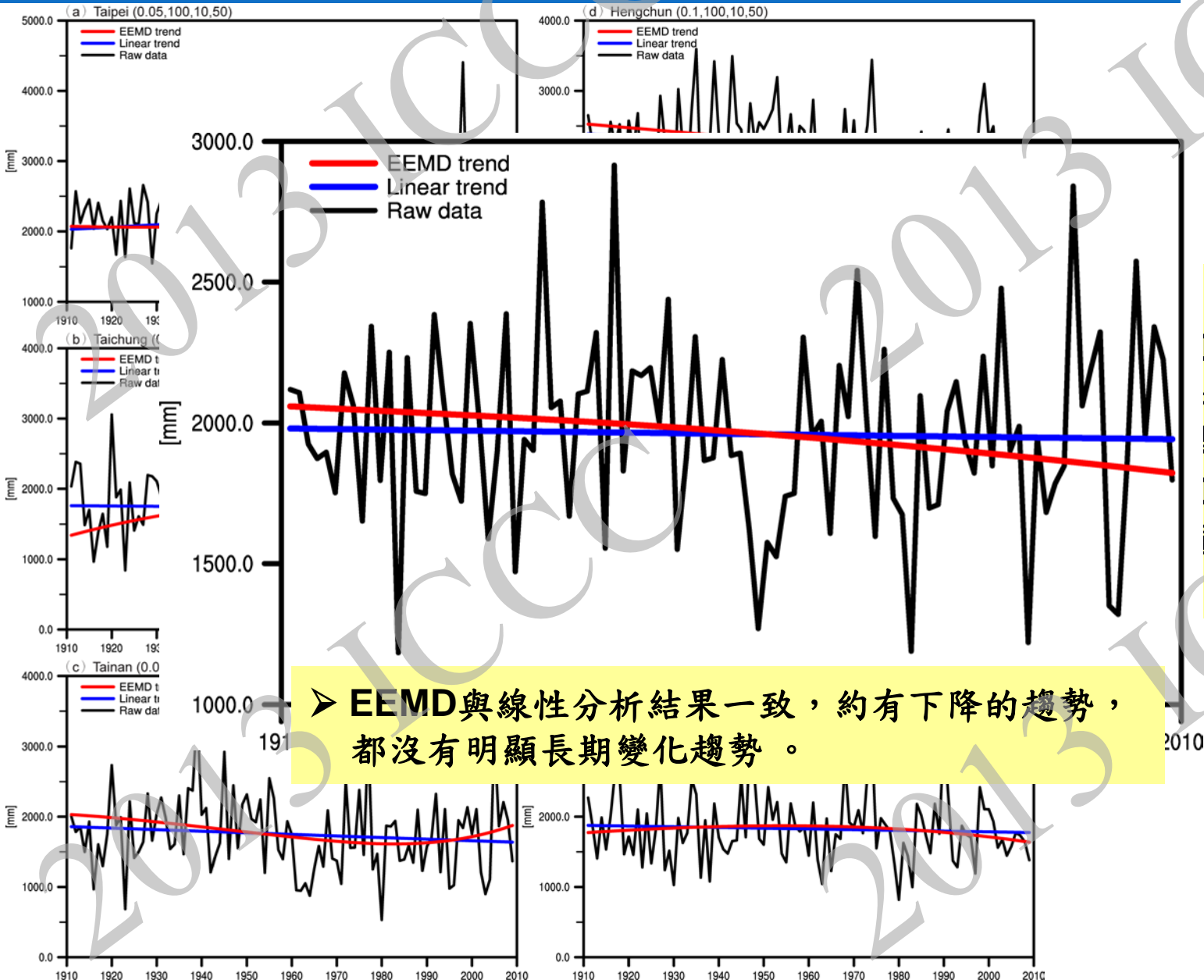
- 全島年平均溫度呈現持續上升的趨勢，EEMD趨勢變化和線性趨勢非常接近。
- 全島溫度的變化包含一個約51.9年的年代際週期波動在內。
- 台灣氣溫變化為趨勢變化疊加上週期振盪的結果。

EEMD IMF1~5 period – Temperature

95%

| | JFM | FMA | MAM | AMJ | MJJ | JJA | JAS | ASO | SON | OND | NDJ | DJF | Year |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Taipei | 2.9 | 2.8 | 2.7 | 2.9 | 2.8 | 2.6 | 2.7 | 2.7 | 2.6 | 2.6 | 2.7 | 2.6 | 2.7 |
| | 6.7 | 5.9 | 5.6 | 5.9 | 5.6 | 5.6 | 5.9 | 5.3 | 5.9 | 5.3 | 5.6 | 6.3 | 6.3 |
| | 12.5 | 11.1 | 12.5 | 11.1 | 9.1 | 10 | 10 | 10 | 10 | 11.1 | 11.1 | 11.1 | 12.5 |
| | 40.9 | 22.4 | 32 | 28.5 | 31.6 | 27.4 | 26 | 25.5 | 31.6 | 32.5 | 30.2 | 32.4 | 34.8 |
| | 59.8 | 81.4 | 50.8 | 46.9 | 48.3 | 79.4 | 51.3 | 59.3 | 90.5 | 61.4 | 49.9 | 91.5 | 51.4 |
| Taichung | 2.8 | 2.8 | 2.6 | 2.8 | 3 | 2.9 | 2.7 | 2.5 | 2.8 | 2.6 | 2.8 | 2.6 | 2.9 |
| | 5.9 | 5.3 | 5.6 | 5.6 | 5.9 | 6.7 | 6.3 | 6.3 | 5.9 | 5.3 | 5.6 | 5.6 | 6.3 |
| | 12.5 | 11.1 | 14.3 | 10 | 12.5 | 10 | 12.5 | 11.1 | 9.1 | 12.5 | 11.1 | 10 | 12.5 |
| | 38.1 | 22.9 | 34.3 | 23.1 | 34.4 | 28.4 | 27.3 | 33.2 | 30.5 | 30.5 | 30.6 | 20.1 | 37.7 |
| | 52.6 | 50.3 | 49.6 | 90.7 | 78.7 | 72.1 | 94.4 | 92.4 | 67.4 | 98.4 | 92.3 | 52 | 94.3 |
| Tainan | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.6 | 2.9 | 2.9 | 2.6 | 2.8 | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 2.6 | 2.9 |
| | 6.3 | 5.6 | 6.3 | 5.3 | 5.9 | 5.3 | 5.6 | 5.6 | 5 | 5.3 | 5.6 | 5.9 | 6.3 |
| | 12.5 | 10 | 12.5 | 11.1 | 10 | 11.1 | 10 | 10 | 11.1 | 10 | 12.5 | 14.3 | 14.3 |
| | 26.7 | 22.8 | 38 | 22 | 22.1 | 33.6 | 35.9 | 30.1 | 32.7 | 30.4 | 30.8 | 33.2 | 31.2 |
| | 93.9 | 50.5 | 50.4 | 50.6 | 50.2 | 95.8 | 82.2 | 50.8 | 85.9 | 97.4 | 92.1 | 88.1 | 86.3 |
| Hengchun | 2.7 | 3 | 2.8 | 2.8 | 2.7 | | 2.9 | 2.9 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.7 | 2.8 |
| | 5 | 5.3 | 5.3 | 5.3 | 5.9 | | 5.3 | 6.7 | 6.3 | 5.6 | 5.6 | 5.9 | 5.9 |
| | 11.1 | 10 | 11.1 | 12.5 | 12.5 | * | 11.1 | 10 | 10 | 11.1 | 11.1 | 12.5 | 11.1 |
| | 26.4 | 29.7 | 30.5 | 38.7 | 33.8 | | 24.3 | 28.4 | 28.8 | 23.8 | 28.2 | 26.7 | 21.6 |
| | 91.6 | 86.4 | 94.7 | 53.4 | 93 | | 49.9 | 50.3 | 49.9 | 52.1 | 91.4 | 91.3 | 50.1 |
| Hualien | 2.9 | 2.9 | 2.6 | 2.8 | 2.9 | 2.8 | 2.8 | 2.7 | 2.6 | 2.8 | 2.9 | 2.5 | 2.6 |
| | 6.7 | 6.3 | 5.3 | 5.3 | 5.6 | 5.9 | 6.3 | 6.3 | 5 | 5.9 | 5.9 | 6.3 | 5.6 |
| | 11.1 | 12.5 | 11.1 | 10 | 12.5 | 12.5 | 11.1 | 11.1 | 10 | 12.5 | 12.5 | 14.3 | 12.5 |
| | 27.9 | 27.7 | 26 | 22.3 | 22.9 | 29.5 | 28.1 | 27.5 | 24.8 | 28.9 | 29 | 45.9 | 27.2 |
| | 54.6 | 63.9 | 46.7 | 94.8 | 62.1 | 91 | 51.1 | 54.5 | 58.3 | 49.5 | 67.4 | 96.9 | 45.4 |
| Taitung | 2.9 | 3.1 | 2.9 | 2.9 | 2.9 | 3 | 2.9 | 2.9 | 2.7 | 2.6 | 2.6 | 2.7 | 2.8 |
| | 5.9 | 6.3 | 6.7 | 5.9 | 5.6 | 5.9 | 5.9 | 6.3 | 5.6 | 5.9 | 5.6 | 5.9 | 5.9 |
| | 12.5 | 11.1 | 12.5 | 12.5 | 11.1 | 12.5 | 11.1 | 11.1 | 10 | 11.1 | 12.5 | 14.3 | 11.1 |
| | 35.6 | 45.6 | 29.6 | 32 | 28.6 | 28.5 | 31.2 | 22.6 | 23.3 | 23.6 | 29.9 | 38.7 | 43.1 |
| | 50.3 | 68.1 | 51.4 | 85.1 | 88.7 | 83.4 | 52.1 | 62.1 | 80.6 | 69.5 | 85.4 | 98.6 | 55.1 |
| Taiwan | 2.8 | 2.8 | 2.6 | 2.9 | 2.9 | 2.9 | 2.8 | 2.6 | 2.6 | 2.7 | 2.6 | 2.6 | 2.6 |
| | 6.3 | 6.3 | 5.3 | 5.3 | 5.9 | 5.9 | 5.3 | 5.6 | 5.9 | 5.3 | 5.3 | 5.9 | 5.6 |
| | 11.1 | 11.1 | 11.1 | 11.1 | 12.5 | 11.1 | 10 | 10 | 11.1 | 11.1 | 11.1 | 11.1 | 11.1 |
| | 27.9 | 22.4 | 24.1 | 30 | 35 | 28.6 | 24.1 | 27.7 | 31 | 23.8 | 29.3 | 28.9 | 27.4 |
| | 92 | 50.6 | 47.9 | 55.8 | 47.9 | 90.9 | 63.3 | 70.6 | 89.4 | 88.6 | 69.9 | 91.1 | 51.9 |

Taiwan Precipitation – EEMD & Linear

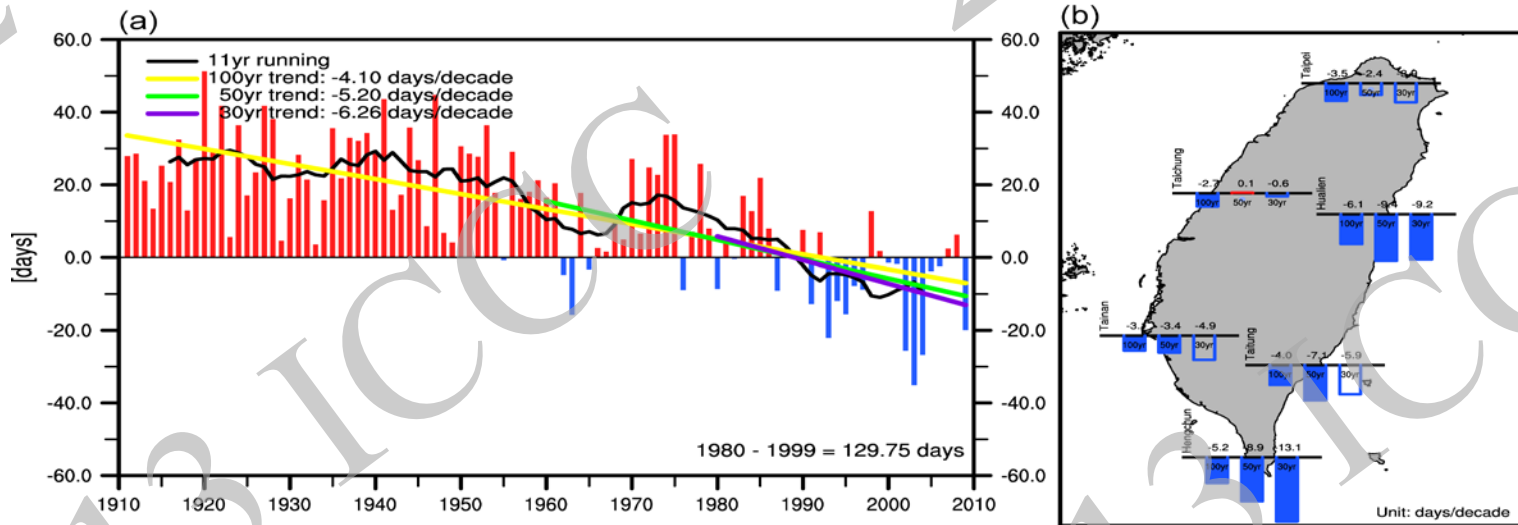


EEMD和線性的分析
北起溫度有較大
異。
EEMD趨勢線較接近
資料的振幅變化

➤ EEMD與線性分析結果一致，約有下降的趨勢，
都沒有明顯長期變化趨勢。

Introduction

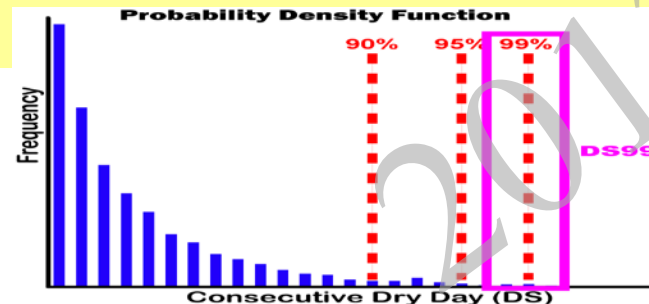
- ◆ The total annual rainfall in Taiwan does not show clear increasing or decreasing trends during the past century.
- ◆ The past 100 years showed the annual number of rainy days has decreased significantly.



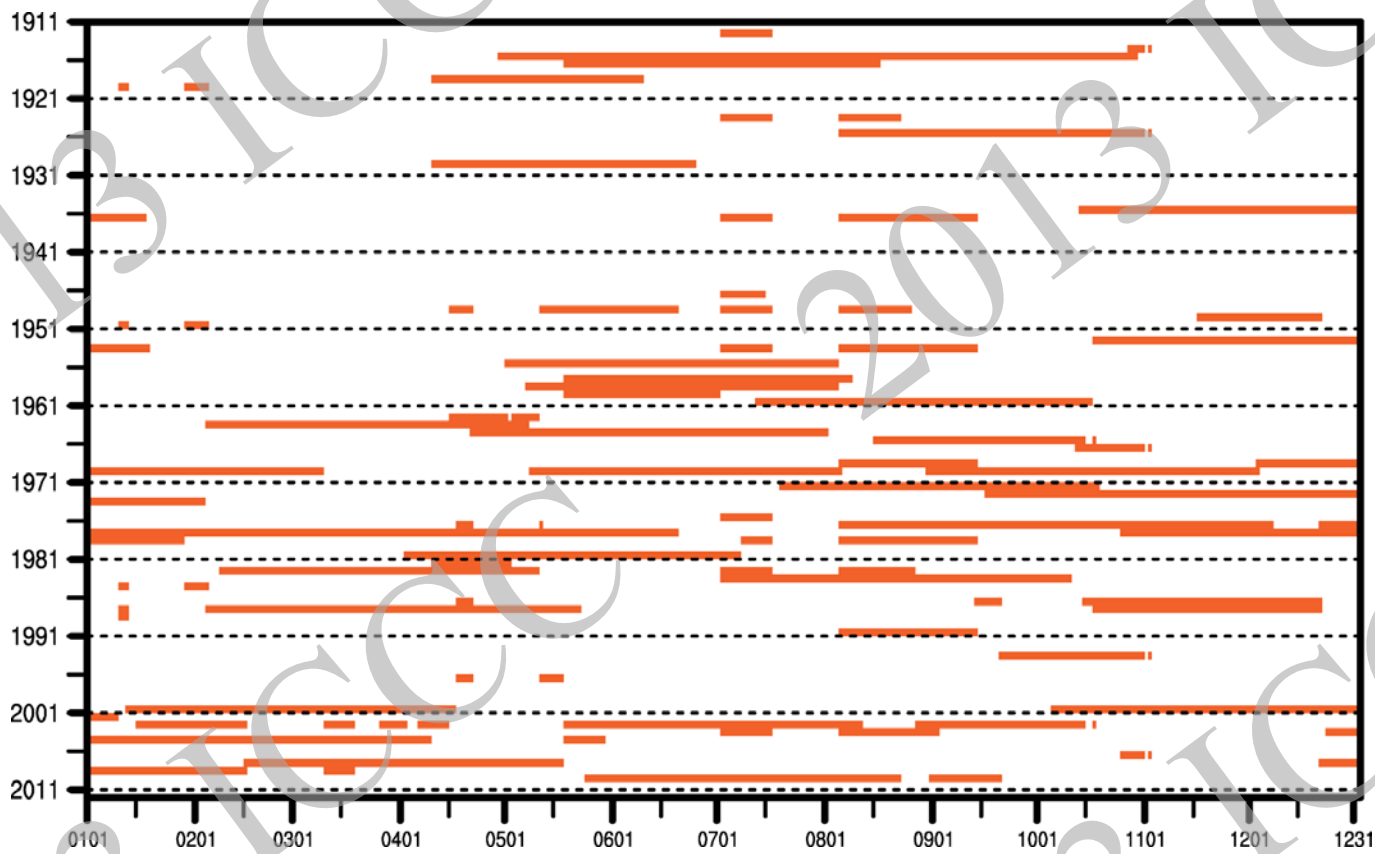
➤ **Has the extremely prolonged dry spells become more frequent in the warming climate?**

Analysis Procedure

- Define the extremely prolonged dry spells at a station on daily basis.
- Apply a sliding 90-day window to the daily precipitation data of 1951-2010 (N=60) and count the lengths of the dry spells within the 90-day window.
- Establish the 60-year dry-spell database with the date representing the last day of the 90-day window.
- The probability distribution of the dry spells with the length (DS) from 1 to 90 days can be plotted.
- A dry-spell threshold (DS99) of the extremely prolonged dry spells are defined as the exceedance probability of the threshold is less than 1%.



An example of the extremely prolonged dry spells

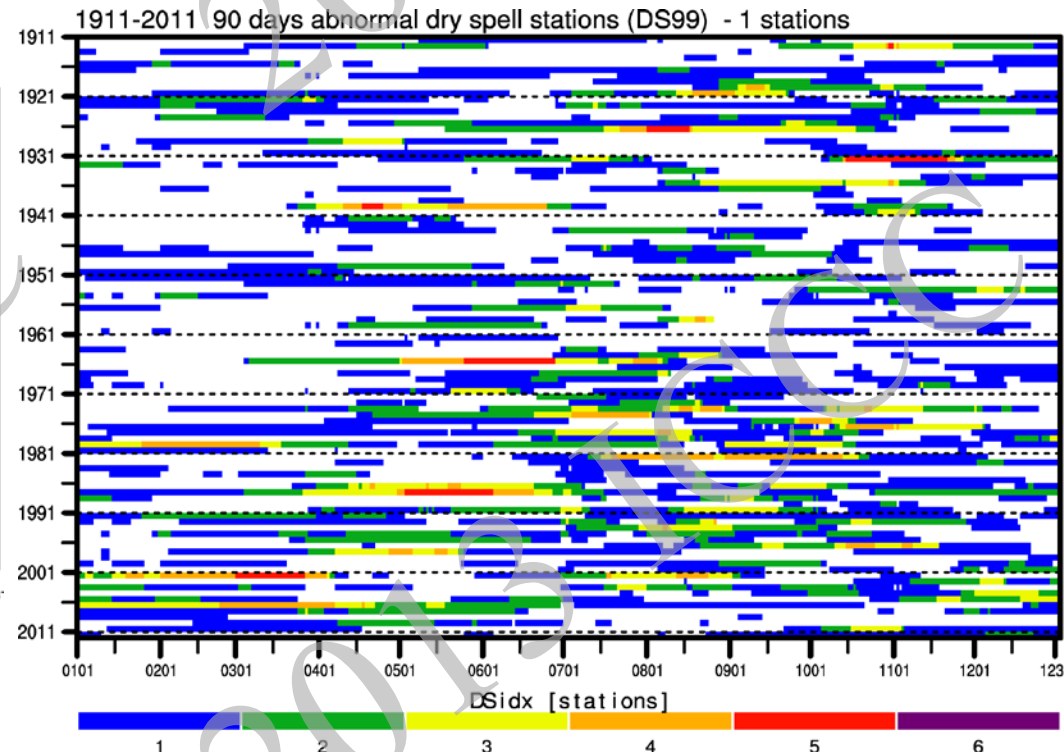
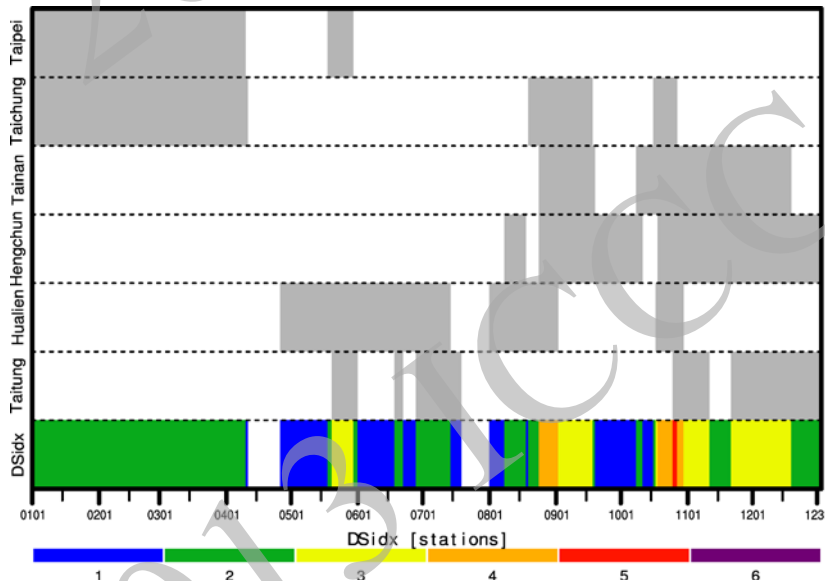


台北測站在1960年代之後，異常乾期發生頻率有增多的現象。極端乾期主要發生在1960年代至1980年代之間和2000年之後

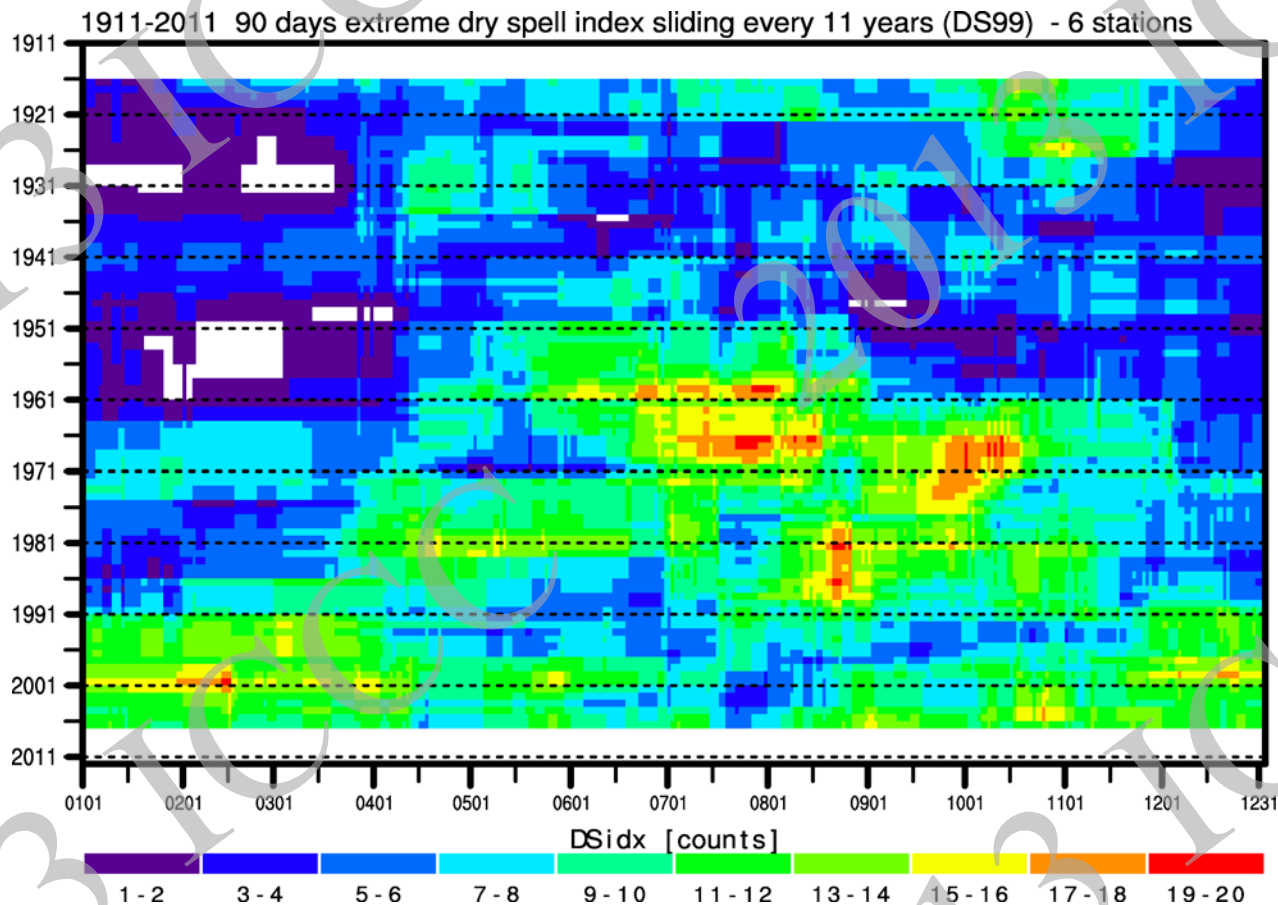
Design daily dry spell index **DSidx**

➤ represent the extremity of the overall dry spells in Taiwan

DSidx = the total number of stations that show extremely prolonged dry spells

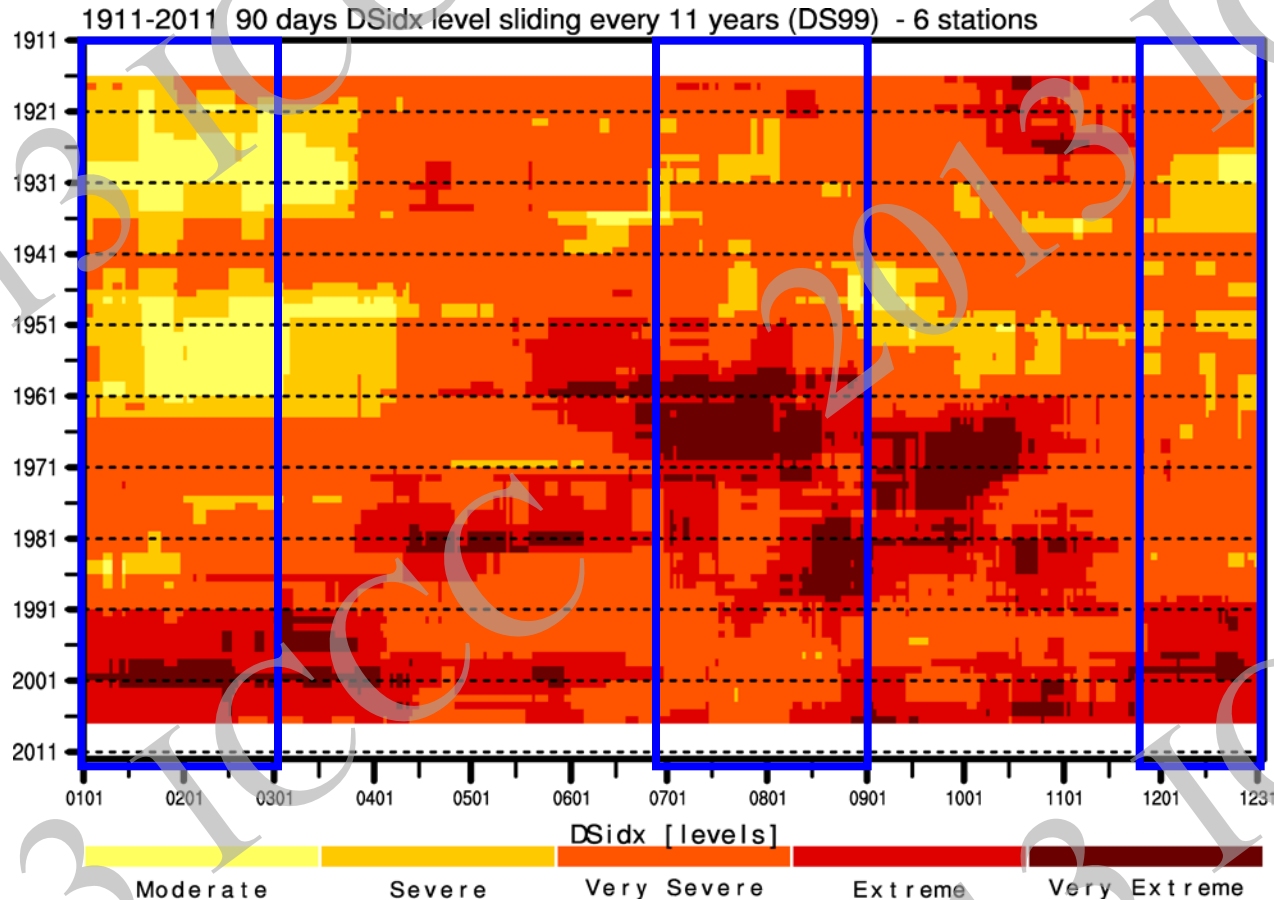


Sum of DSidx Sliding Every 11 Years



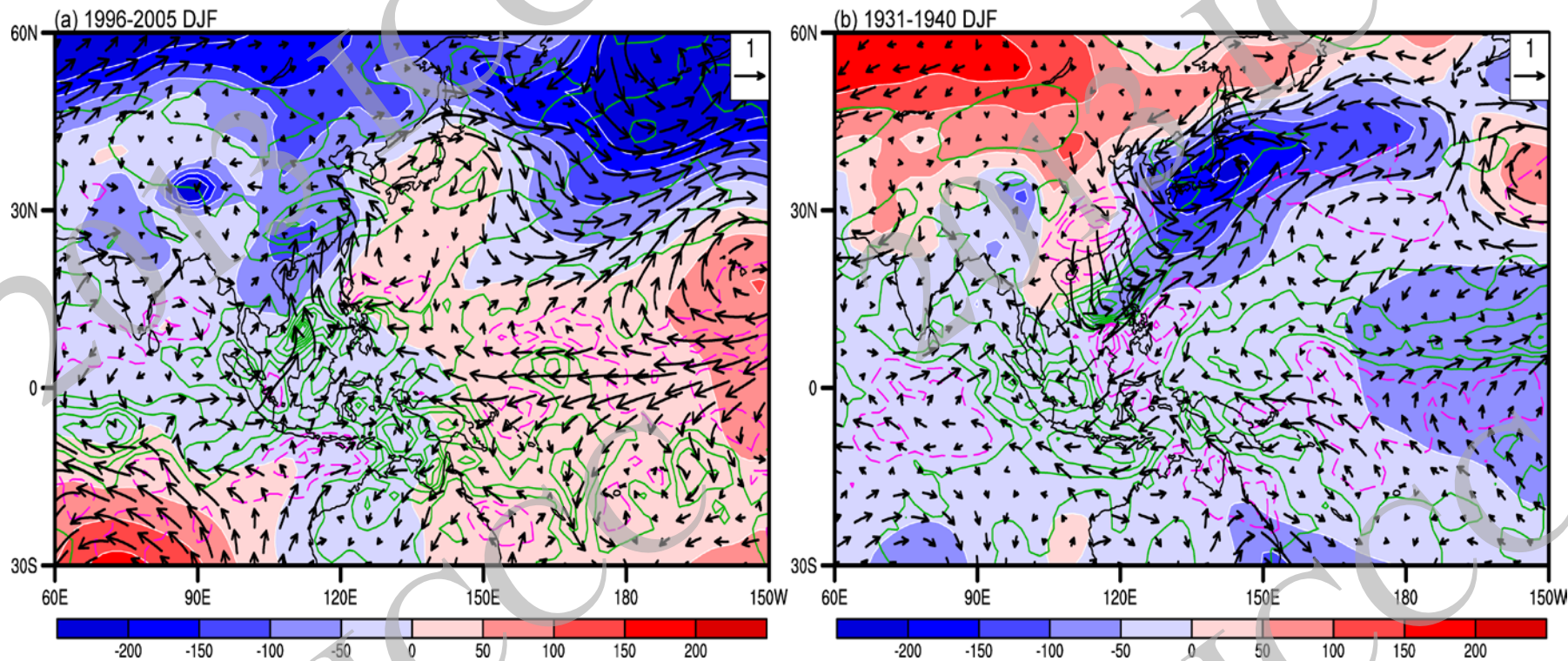
1911~2011年每天的DSidx指數每11年累加的台灣極端乾期指數 (DSidx) 分布。

Five Levels Dry Spell Extremity – DSidx_11yr



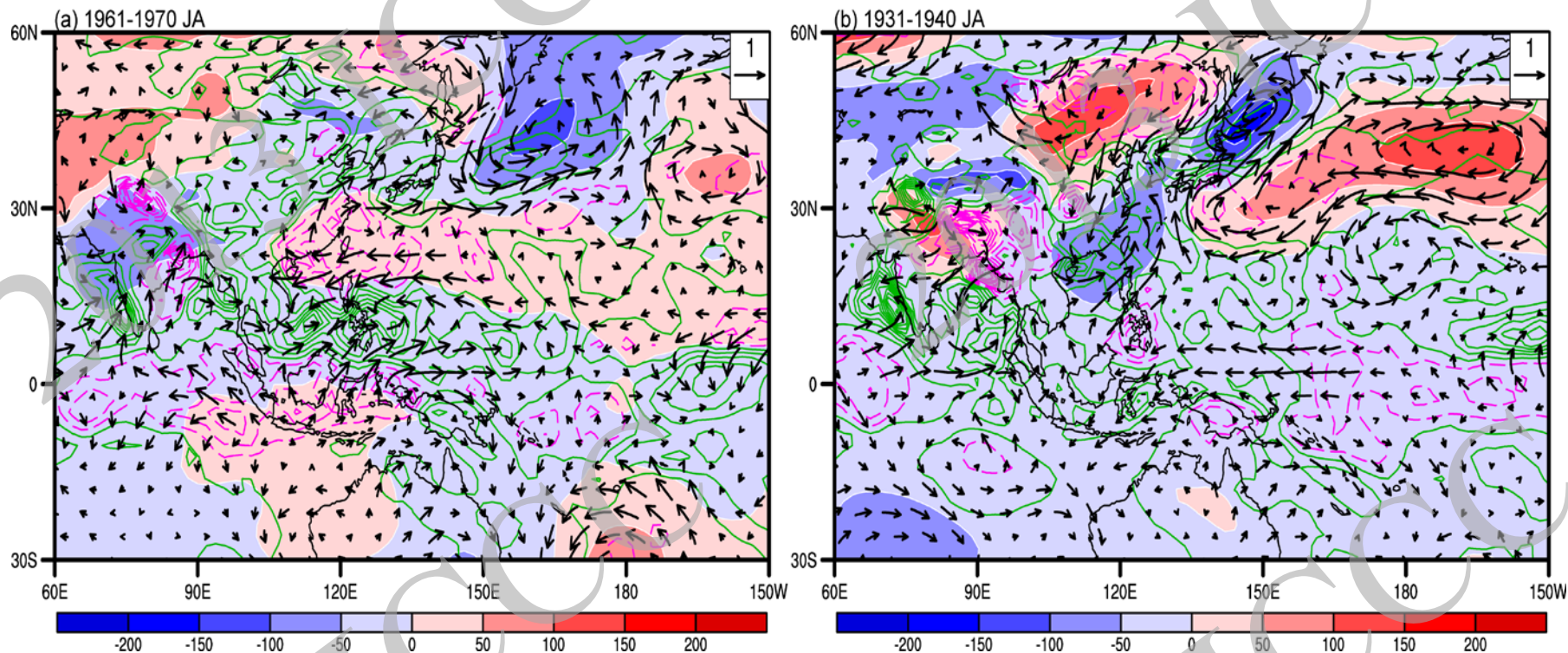
1911~2011年每11年滑動累加的台灣極端乾期指數 (DSidx) 依嚴重程度區分為五種不同極端乾期類別的變化。

More and Less Dry Spells Extremes – Winter



冬季（12~2月）極端乾期的環流場距平變化，（a）為極端乾期頻繁時期（1996~2005年），（b）為發生頻率較少時期（1931~1940年），流線為950hPa風場，顏色為海平面氣壓的變化，等值線為雨量距平，綠色表示為雨量正距平，粉紅色為負距平。

More and Less Dry Spells Extremes – Summer



夏季（7~8月）極端乾期的環流場距平變化，（a）為極端乾期頻繁時期（1961~1970年），（b）為發生頻率較少時期（1931~1940年），流線為950hPa風場，顏色為海平面氣壓的變化，等值線為雨量距平，綠色表示為雨量正距平，粉紅色為負距平。

Summary

- ◆ 本研究採用整體平均經驗模態分解法（EEMD）分析1911~2010年臺灣6個測站溫度和雨量的長期變化趨勢，發現臺灣年平均溫度有顯著上升趨勢，上升幅度約1.4度，和線性趨勢變化接近。另外，平均溫度變化存在一個50年週期的年代際振盪，顯示臺灣氣溫變化為上升趨勢疊加上50年波動的結果。臺灣年總雨量呈現減少的趨勢，與線性結果一致，但EEMD趨勢線較接近原始資料的變化，且都沒有明顯長期變化趨勢。
- ◆ 根據連續不降雨日數發生機率建立一個臺灣極端乾期指數（DSidx），利用該指數分析臺灣過去百年異常偏乾現象，結果發現臺灣極端乾期有年代際變化，在1960年之後發生頻率明顯增多。1960~1980年代主要發生在夏、秋季，11~4月冬半年在1990年之後明顯增加。冬季極端乾期主要發生在東亞冬季季風減弱的狀態下，夏季則是受到西太平洋副熱帶高壓向西增強的影響。