

# 應用BMA發展多模式MOS策略 溫度機率預報

馮智勇、劉家豪、林佑蓉、蔡雅婷、陳雲蘭



多采科技有限公司  
中央氣象局資訊中心  
中央氣象局預報中心

2014.09.18

# 簡報大綱

一、緣起與目的

二、BMA機率預報模型

三、台灣測站溫度機率預報雛形

四、結語與建議

# 緣起與目的

- 各國氣象單位積極整合多模式或系集模式以發展各項天氣要素機率預報指引
  - 大氣環境 & 數值模式的不確定性
  - 維運系集模式所費不貲...
- 中央氣象局具有多種動力數值模式決定性預報資料與具參考價值的相關指引，適合進一步發展機率預報產品
  - JMA, ECA1, NCEP, WRF & NFS 等多種模式輸出
  - WEPS系集模式輸出
  - MOS, DMOS, PP 等降尺度策略定量預報指引
  - ...



# BMA 機率預報模型

# 貝氏定理與貝氏模型平均

- 貝氏模型平均(BMA)採混合模型概念，以各個模型推估觀測值的條件機率密度函數(conditional PDF)

$$\begin{aligned} p(y|D) &= \frac{p(D|y)p(y)}{p(D)} = \frac{p(y,D)}{p(D)} \\ &= \sum_{k=1}^K \frac{p(y, M_k, D)}{p(D)} = \sum_{k=1}^K \frac{p(M_k, D)}{p(D)} \frac{p(y, M_k, D)}{p(M_k, D)} \\ &= \sum_{k=1}^K \frac{p(D|M_k)p(M_k)}{p(D)} \frac{p(y, M_k, D)}{p(M_k, D)} \\ &= \sum_{k=1}^K \frac{p(D|M_k)p(M_k)}{p(D)} \frac{p(M_k, D|y)p(y)}{p(M_k, D)} \\ &= \sum_{k=1}^K p(M_k|D) p(y|M_k, D) \end{aligned}$$

- $y$  : 待估計的物理量
- $D$  : 已知資料
- $M_k$  : 第  $k$  個模型

後驗機率

先驗機率

# BMA於氣象領域的應用

- Raftery 等人 (2005) 應用於溫度與海平面氣壓
  - ▣ 當  $y$  為溫度或海平面氣壓時，認為其條件機率可以表示為一平均值  $a_k + b_k f_k$  而標準差為  $\sigma$  之常態分布
  - ▣  $f_k$  為「具預報訊息」的第  $k$  個模型預報值

$$p(y | D) = \sum_{k=1}^K p(M_k | D) p(y | M_k, D)$$

後驗機率

先驗機率

$$p(y | f_1, f_2, \dots, f_k) = \sum_{k=1}^K \omega_k g_k(y | f_k)$$

$$E(y | f_1, f_2, \dots, f_k) = \sum_{k=1}^K \omega_k (a_k + b_k f_k)$$

$$N(a_k + b_k f_k, \sigma^2)$$

# BMA 機率預報模型參數估計

- 利用預報日前  $m$  天資料求解參數
  - $a_k$  &  $b_k$  : 採簡單線性迴歸
  - $\omega_k$  &  $\sigma$  : EM 演算法，最大化概似函數

$$l(w_1, w_2, \dots, w_k, \sigma^2) = \sum_{s,t} \log \left( \sum_{k=1}^K w_k g_k(y_{st} | f_{kst}) \right)$$

Expectation

$$\hat{z}_{kst}^{(j)} = \frac{\omega_k^{j-1} g(y_{st} | f_{kst}, \sigma^{(j-1)})}{\sum_{i=1}^K \omega_i^{j-1} g(y_{st} | f_{ist}, \sigma^{(j-1)})}$$

Maximization

逐站估計  $a_k, b_k, \omega_k$  與  $\sigma$

$$w_k^{(j)} = \frac{1}{n} \sum_{s,t} \hat{z}_{kst}^{(j)}$$

$$\sigma^{2(j)} = \frac{1}{n} \sum_{s,t} \sum_{k=1}^K \hat{z}_{kst}^{(j)} (y_{st} - f_{kst})^2$$



# 台灣測站溫度機率預報雛形



# MOS降尺度策略建模與預報

## □ 使用歷史資料建置迴歸模型

□  $y$  : 測站點 08 時觀測

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^{10} a_i x_i$$

□  $x_i$  : JMA, NCEP, ECA1, WRF 輸出層場

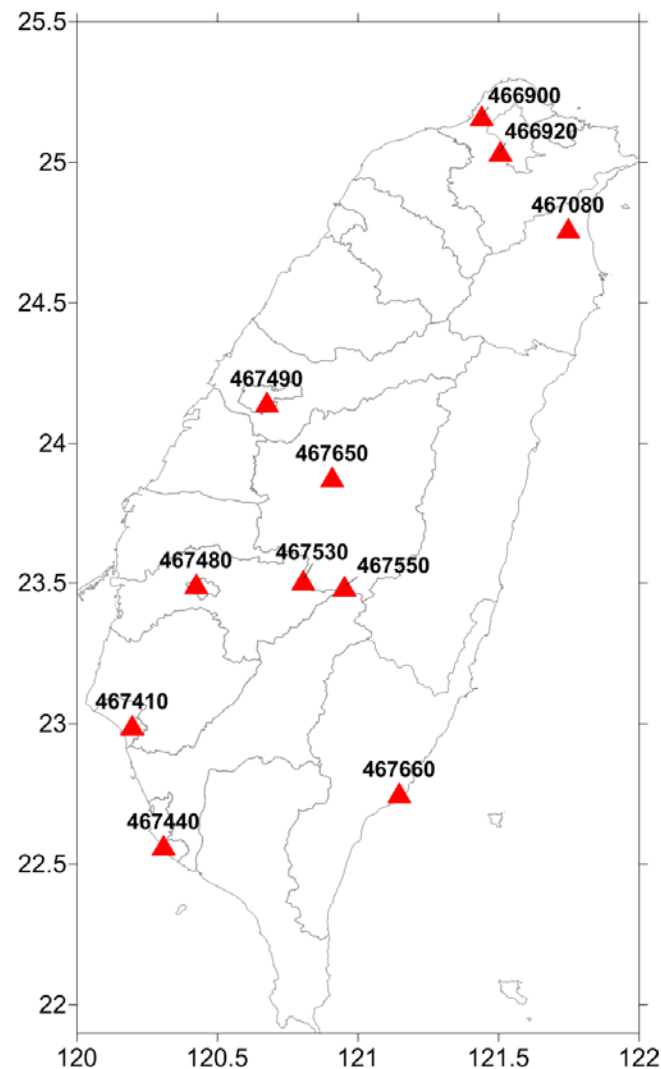
■ UTC 00Z 的 000 延時預報場

模式	資料年份	輸出層場
JMA	2008-2010	HTUVQ@H100/925/850/700/ 500/300/250/200、 T2M、10m u、10m v、MSPL
NCEP	2008-2010	
ECA1	2011-2012	
WRF	2011-2012	

## □ 使用2014.01.01 ~ 05.15 資料預報 $f_k$

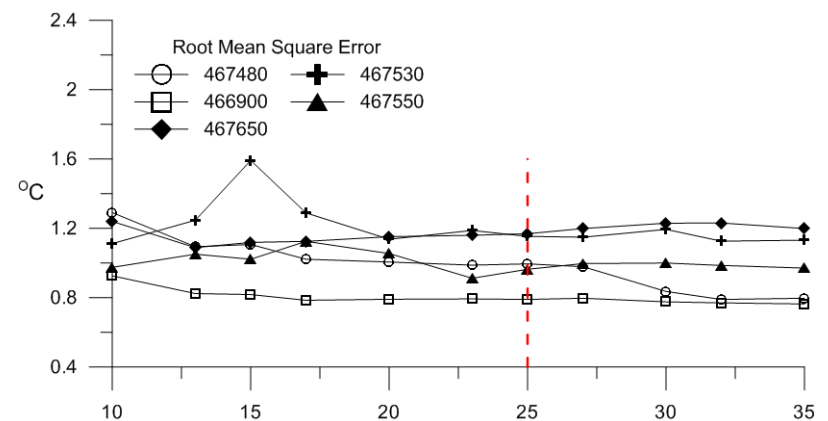
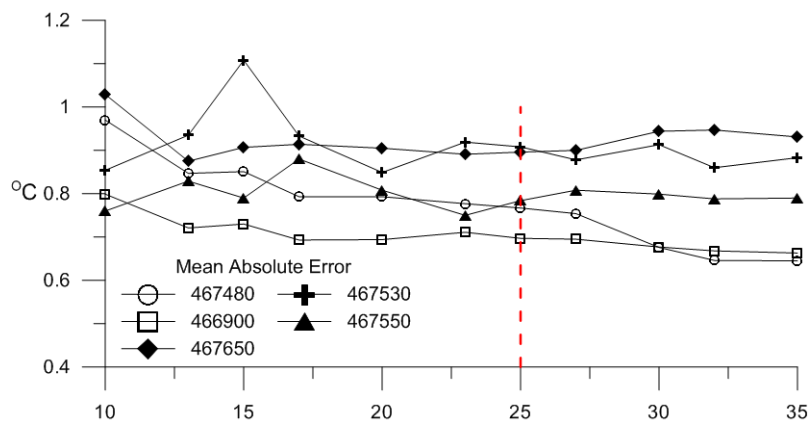
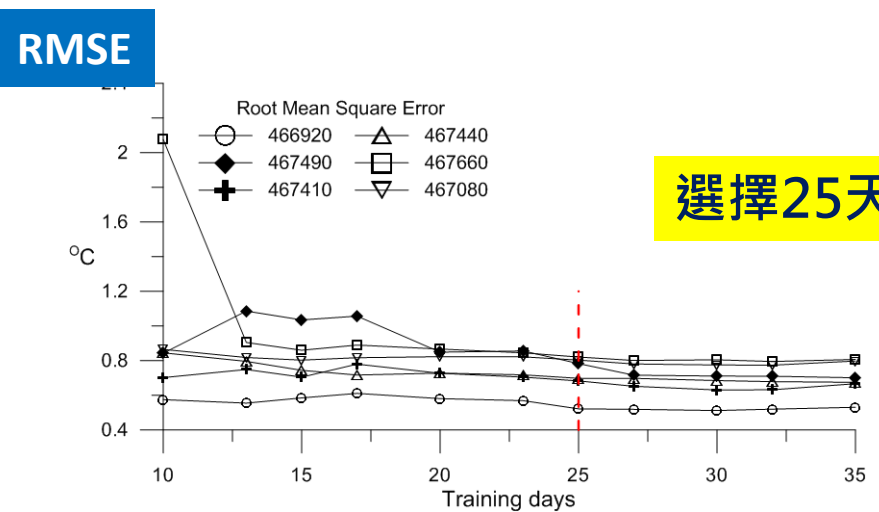
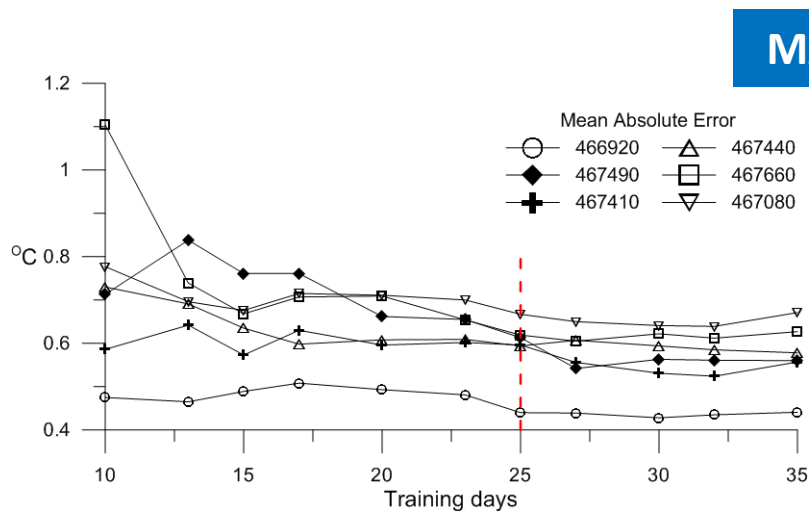
□  $x_i$  : JMA, NCEP, ECA1, WRF 輸出層場

■ UTC 00Z 的 000 延時預報場

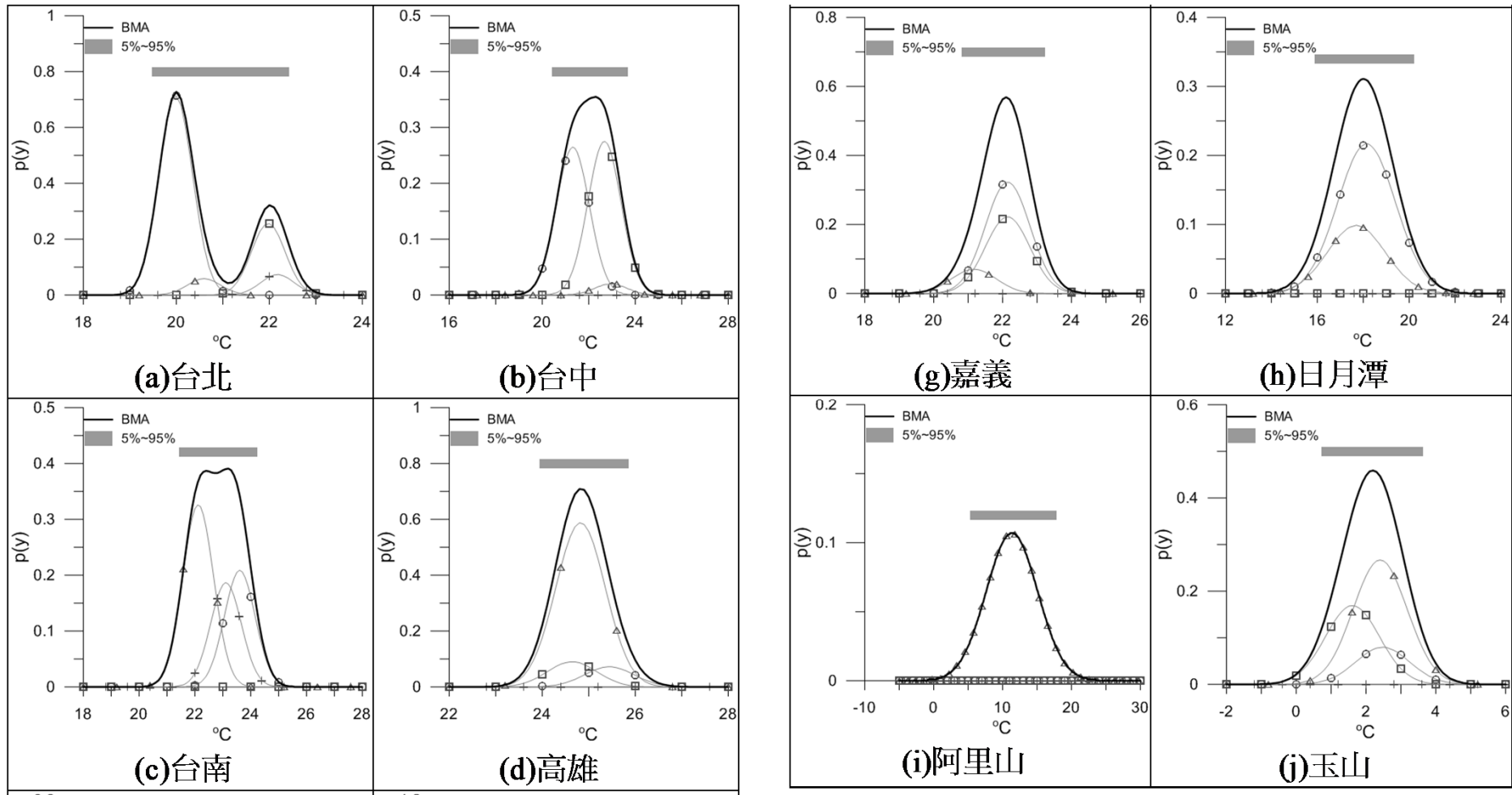


# BMA機率預報模型實作 - 訓練期選取

- 以2014.04.01~04.30 BMA期望值與觀測值誤差為依據
  - 10、13、15、17、20、23、25、27、30、32與35天



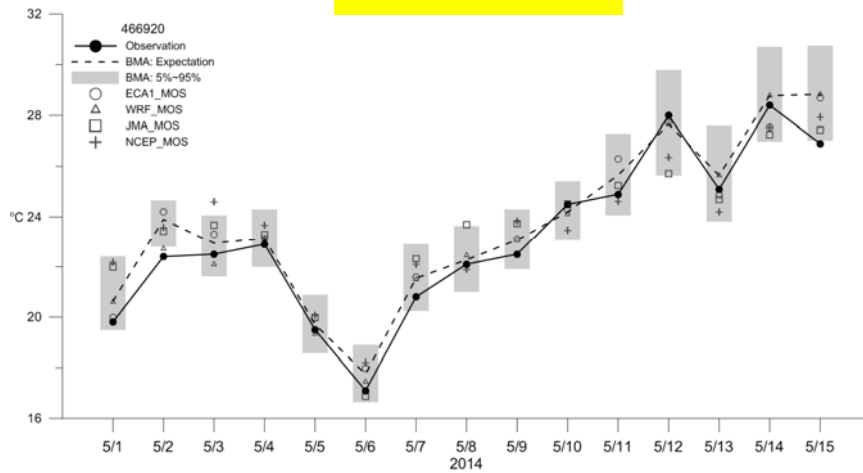
# BMA機率預報產品 – 2014.05.01



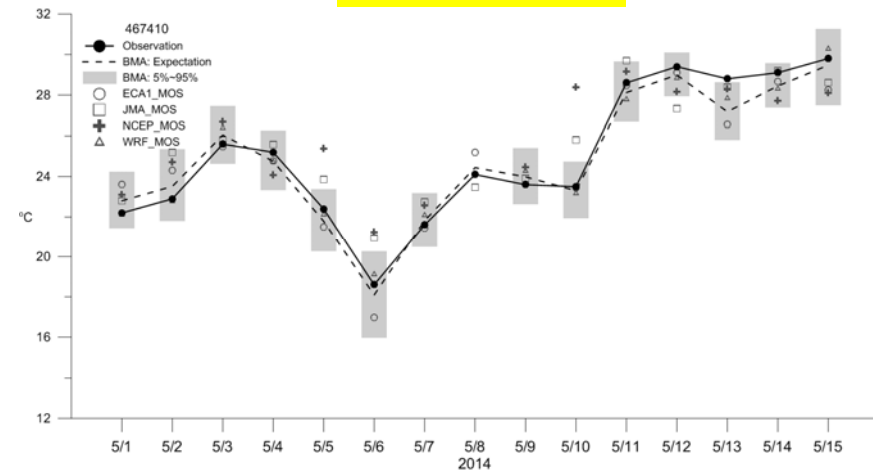
\*灰線為權重後的MOS策略ECA1(圓點)、JMA(方形)、NCEP(十字)與WRF(三角)的溫度PDF

# BMA機率預報產品 – 2014.05.01~05.15

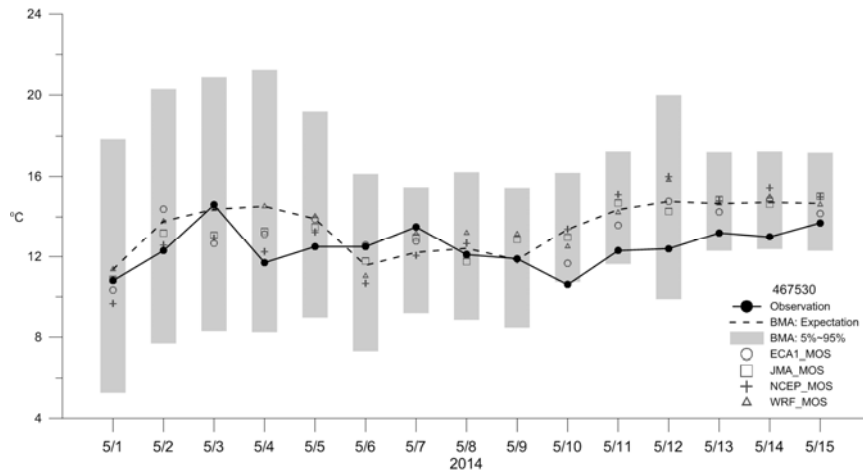
台北



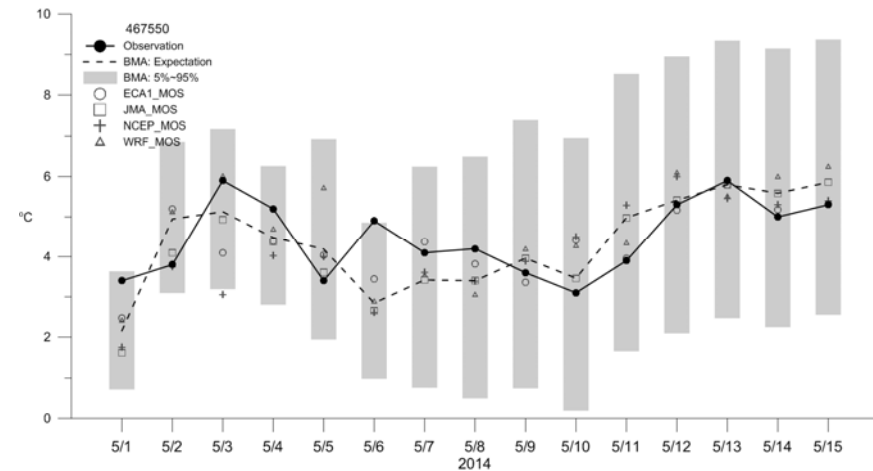
台南



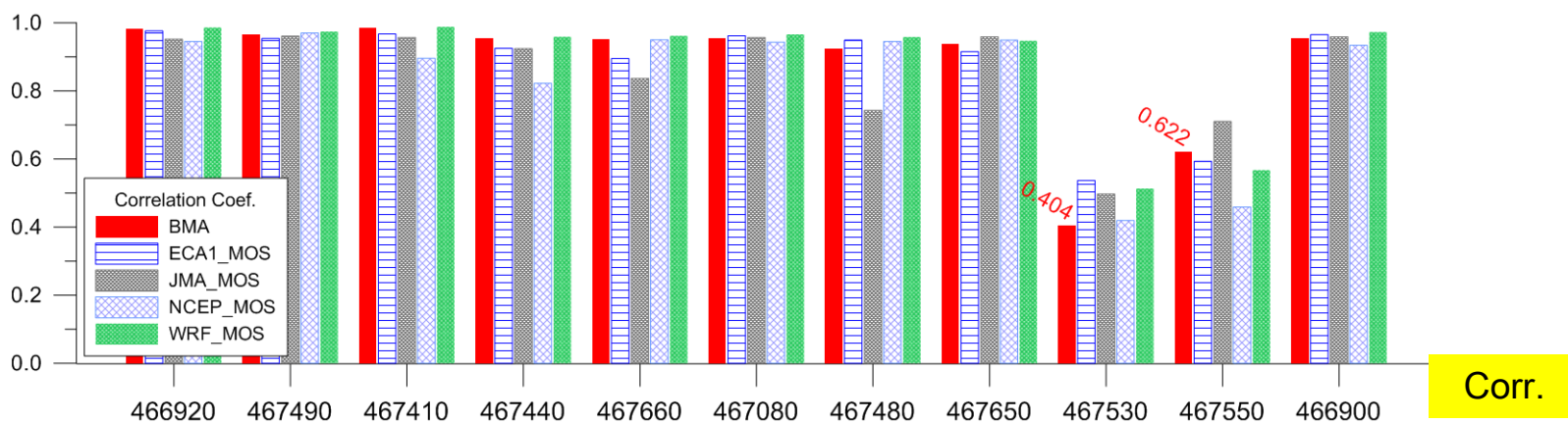
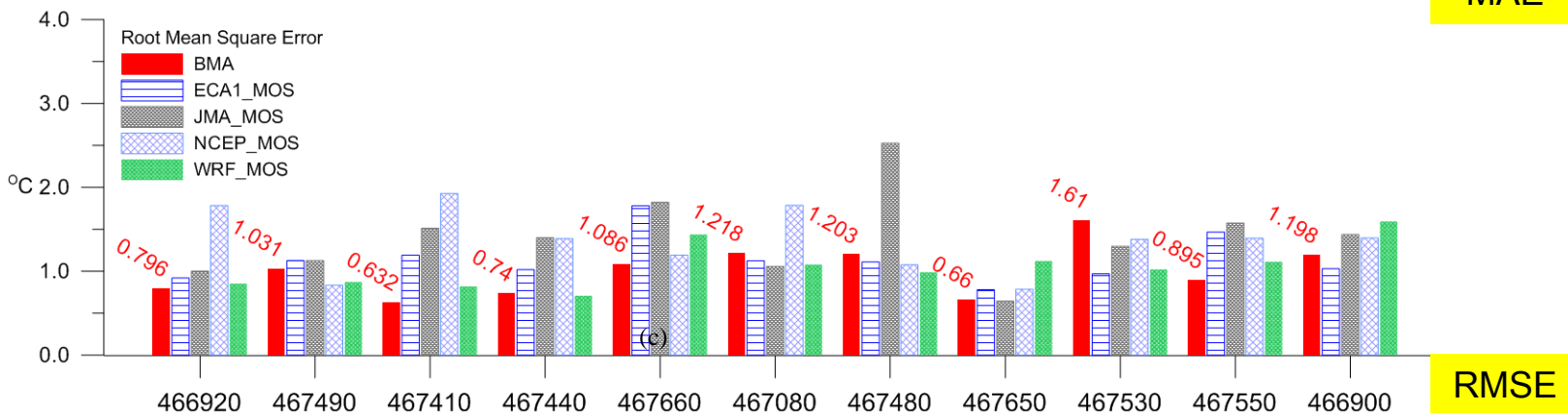
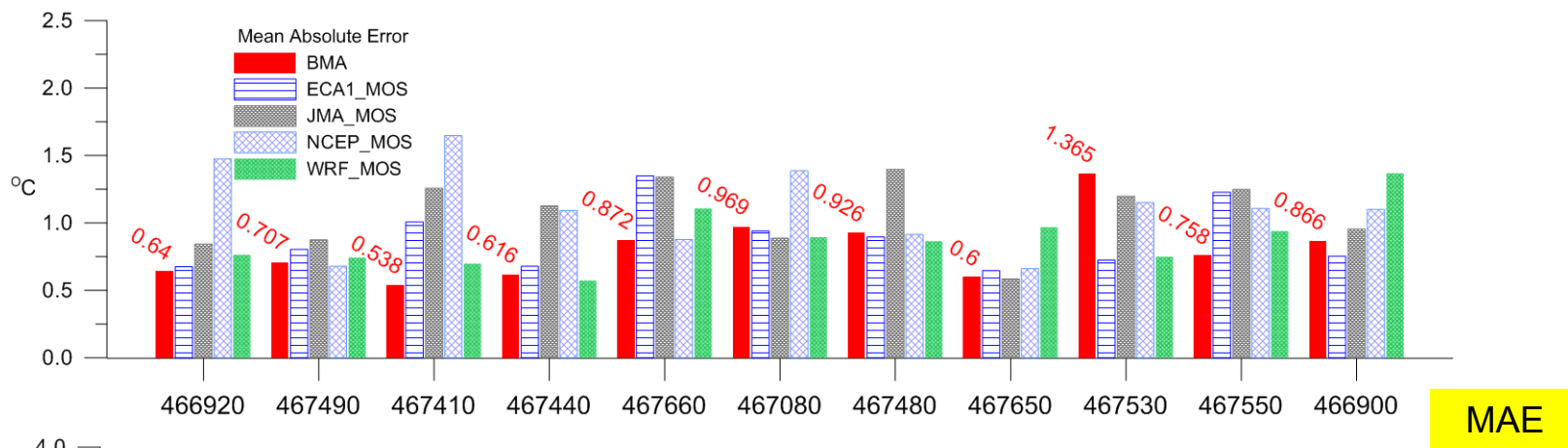
阿里山



玉山



# 與MOS策略模型預報比較



# 結語與建議

- 本研究以氣象局多模式MOS地面溫度定量預報為基礎，成功應用BMA整合為溫度機率預報產品
- BMA因採用混合模型的精神，確實可避免選擇相信單一模型所致誤差，各測站均可達最佳MOS策略預報甚至略佳的水準
- 建議分析依測站與預報延時不同的訓練期天數
- 建議發展雨量以及極端天氣的BMA機率預報模型

簡報結束 敬請指教

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

