

# 應用 QPESUMS 資料 迴歸估計台灣地區降雨系統移速場

李天浩<sup>1</sup> 張鳳吟<sup>1</sup> 丘君翹<sup>1</sup> 蔡雅婷<sup>2</sup> 黃椿喜<sup>3</sup>  
劉承昕<sup>1</sup> 薛宏宇<sup>1</sup>

<sup>1</sup>台大土木系    <sup>2</sup>多采科技有限公司

<sup>3</sup>中央氣象局預報中心

# 簡報內容

- ❁ 強化災害性即時天氣預報—「建置降水特徵移速預報辨識研究」計畫
- ❁ 降水系統移速場估計方法
- ❁ Advection Based Lagrangian-Eulerian Regression (ABLER)移速估計演算式
- ❁ QPESUMS雷達觀測特性
- ❁ 未來展望
  - ❁ 分區、三層尺度優化估計概念
  - ❁ 利用WRF模式產出近地面降水



# 「建置降水特徵移速預報辨識研究」計畫

## ✿ 計畫目標：

- ✿ 開發極短時強對流預報監測整合系統，
- ✿ 經由結合雷達資料及高時空解析之系集數值模式資料，
- ✿ 發展即時雨量預測技術，
- ✿ 以期強化短時0-3到0-12小時定量降水預報能力

## ✿ 工作方法：

- ✿ 應用雷達、系集NWP模式輸出之降雨回波資料，
- ✿ 估計降水系統移速場
- ✿ 辨識比對異質降水資料，修正誤差
- ✿ 時空融合異質資料外延預報



# 「建置降水特徵移速預報辨識研究」計畫

## ✿ 計畫背景：

- ✿ **MAPLE**：McGill Algorithm for Prediction by Lagrangian Extrapolation (雷達降水移速估計+Optimal Forecast Filter, 加拿大McGill University)
- ✿ **ARMOR**：Adjustment of Rainfall from MOdels using Radar (MAPLE + 異質影像比對修正 + 融合外延, 美國Weather Decision Technology Co.)

## ✿ 降水系統移速場估計方法：

- ✿ **MAPLE**：Advection Equation + 變分法 (Eulerian framework)
- ✿ Takasao & Shiiba：Advection Equation + 迴歸法 (Eulerian)
- ✿ **TREC**：Correlation in Lagrangian framework



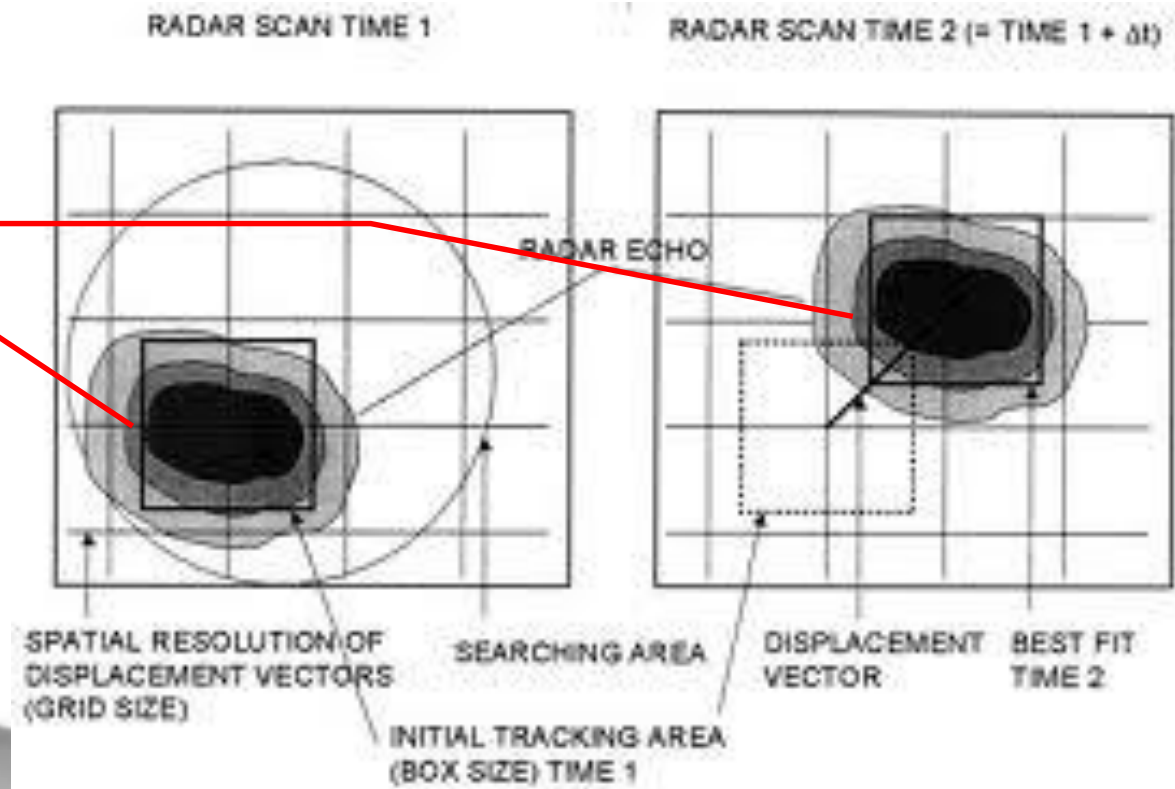
# 降水系統移速場估計方法(1/7)

## ✿ TREC : Tracking Radar Echo by Correlation (Lagrangian)

✿ 剛性box比對，不精確線性移速： $u \approx m\Delta x/\Delta t$ ,  $v \approx n\Delta y/\Delta t$

✿ 以具有可辨識特徵的分段線性(piece-wise linear)移速估計組合為移速場

Feature  
特徵



# 降水系統移速場估計方法(2/7)

## ✿ Takasao & Shiiba Scheme (Eulerian framework)

✿ 移流 + 源減 (不守恆) 方程式 (Advection Equation)

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \hat{u} \frac{\partial \phi}{\partial x} + \hat{v} \frac{\partial \phi}{\partial y} = \hat{q}$$

✿ 上風、顯式差分之移流方程式

$$\hat{\phi}_{i,j}^t = \phi_{i,j}^{t-\Delta t} - \hat{u}_{i,j} \frac{\Delta t (\phi_{i,j}^{t-\Delta t} - \phi_{i-1,j}^{t-\Delta t})}{\Delta x} - \hat{v}_{i,j} \frac{\Delta t (\phi_{i,j}^{t-\Delta t} - \phi_{i,j-1}^{t-\Delta t})}{\Delta y} + \hat{q}_{i,j}$$

✿ 線性移速 + 源減場

$$\hat{u}(x, y) = c_1 x + c_2 y + c_3$$

$$\hat{v}(x, y) = c_4 x + c_5 y + c_6$$

$$\hat{q}(x, y) = c_7 x + c_8 y + c_9$$

$$\hat{u}_{i,j} = c_1 x_i + c_2 y_j + c_3$$

$$\hat{v}_{i,j} = c_4 x_i + c_5 y_j + c_6$$

$$\hat{q}_{i,j} = c_7 x_i + c_8 y_j + c_9$$



# 降水系統移速場估計方法(3/7)

## ✿ Takasao & Shiiba Scheme (Eulerian framework)

### ✿ 估計誤差方程式

$$\begin{aligned}\varepsilon_{i,j}^t &= \phi_{i,j}^t - \hat{\phi}_{i,j}^t \\ &= \phi_{i,j}^t - \phi_{i,j}^{t-\Delta t} + \left[ c_1 x_i + c_2 y_j + c_3 \right] \frac{\Delta t \left( \phi_{i,j}^{t-\Delta t} - \phi_{i-1,j}^{t-\Delta t} \right)}{\Delta x} \\ &\quad + \left[ c_4 x_i + c_5 y_j + c_6 \right] \frac{\Delta t \left( \phi_{i,j}^{t-\Delta t} - \phi_{i,j-1}^{t-\Delta t} \right)}{\Delta y} + \left[ c_7 x_i + c_8 y_j + c_9 \right]\end{aligned}$$

### ✿ 目標函數

$$\min L = \sum_i \sum_j \left( \varepsilon_{i,j}^t \right)^2$$



# 降水系統移速場估計方法(4/7)

## ✿ Takasao & Shiiba Scheme (Eulerian framework)

### ✿ 迴歸方程式

$$\frac{\partial L}{\partial c_k} = 0, k = 1 \sim 9 \Rightarrow \begin{bmatrix} E_{11} & E_{12} & \cdots & E_{19} \\ E_{21} & E_{22} & \cdots & E_{29} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ E_{91} & E_{92} & \cdots & E_{99} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \vdots \\ S_9 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{c} = \mathbf{E}^{-1}\mathbf{S}$$

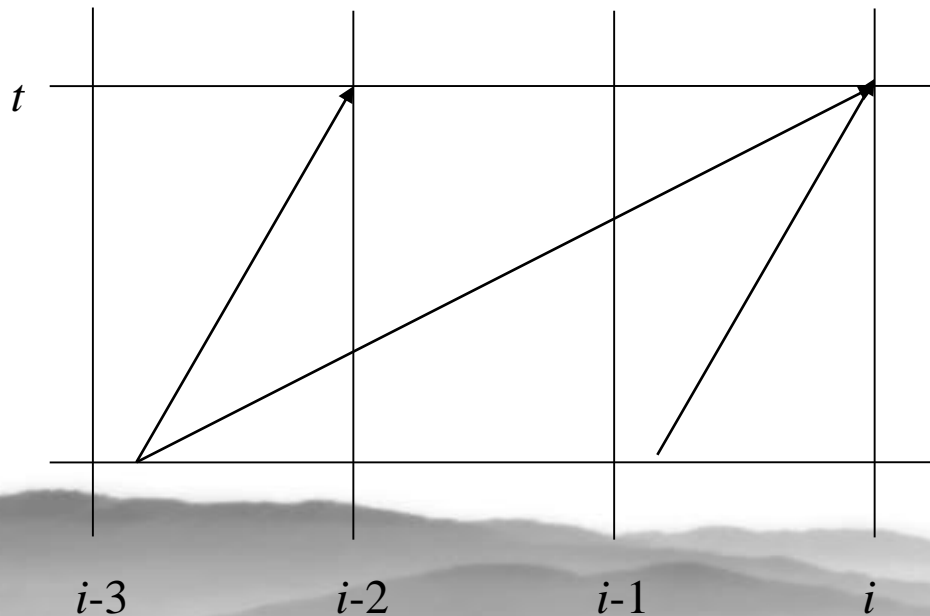




# 降水系統移速場估計方法(5/7)

❁ 應用 **Shiiba迴歸法** 估計移速場的問題：

- ❁ QPESUMS的空間解析度0.0125度、時間解析度10分鐘，
- ❁ 若要符合Courant-Friedrichs-Lewy (CFL)條件，則降水系統移速必須小於 7.8km/hr
- ❁ 實際上，此條件經常不能成立，應用Shiiba 迴歸法容易導致移速場估計錯誤



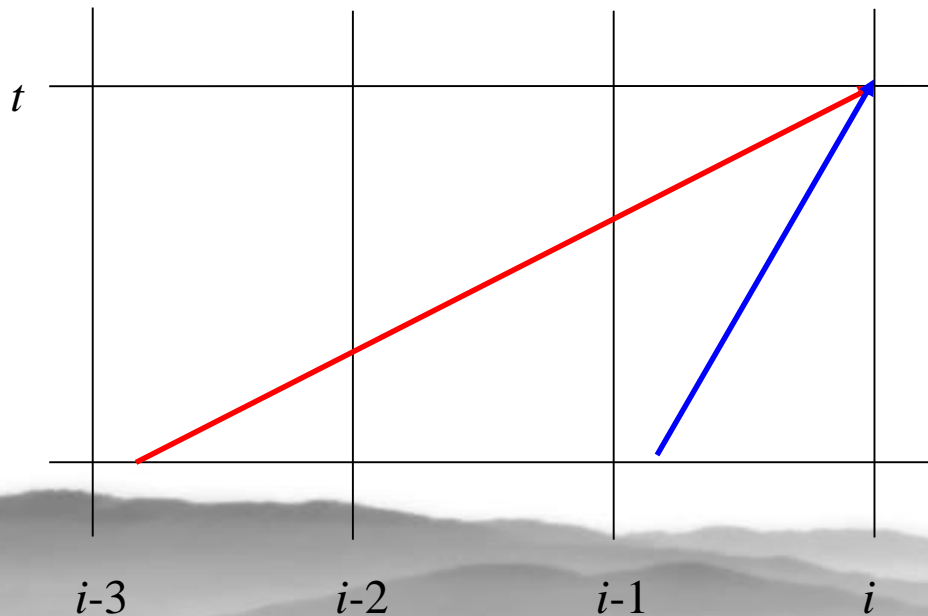
$$\frac{\partial \phi}{\partial x} \approx \frac{\phi_{i,j}^{t-\Delta t} - \phi_{i-1,j}^{t-\Delta t}}{\Delta x}$$



# 降水系統移速場估計方法(6/7)

❁ 應用 **Shiiba迴歸法** 估計移速場的問題：

- ❁ QPESUMS的空間解析度0.0125度、時間解析度10分鐘，
- ❁ 若要符合Courant-Friedrichs-Lewy (CFL)條件，則降水系統移速必須小於 7.8km/hr
- ❁ 實際上，此條件經常不能成立，應用Shiiba 迴歸法容易導致移速場估計錯誤



$$\frac{\partial \phi}{\partial x} \approx \frac{\phi_{i,j}^{t-\Delta t} - \phi_{i-1,j}^{t-\Delta t}}{\Delta x} \quad \times$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{\phi_{i-2,j}^{t-\Delta t} - \phi_{i-3,j}^{t-\Delta t}}{\Delta x} \quad \checkmark$$



# 降水系統移速場估計方法(7/7)

❁ MAPLE算式的目標函數： $J_{VET} = J_{Advection} + J_{Smoothness}$

$$J_{Advection} = \int_{\Omega} \beta_{i,j} \left[ \phi_{i,j}^t - \hat{\phi}_{i,j}^t \right]^2 dA = \int_{\Omega} \beta_{i,j} (\Delta t)^2 \left[ \frac{d\phi}{dt} \right]^2 dA$$

$$= \int_{\Omega} \beta_{i,j} (\Delta t)^2 \left[ \frac{\partial \phi}{\partial t} + u \frac{\partial \phi}{\partial x} + v \frac{\partial \phi}{\partial y} \right]_{i,j}^2 dA$$

$$J_{Smoothness} = \int_{\Omega} \alpha \left[ \begin{aligned} & \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} \right) + \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \\ & + \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} \right) + \left( \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)^2 \end{aligned} \right]_{i,j} dA$$



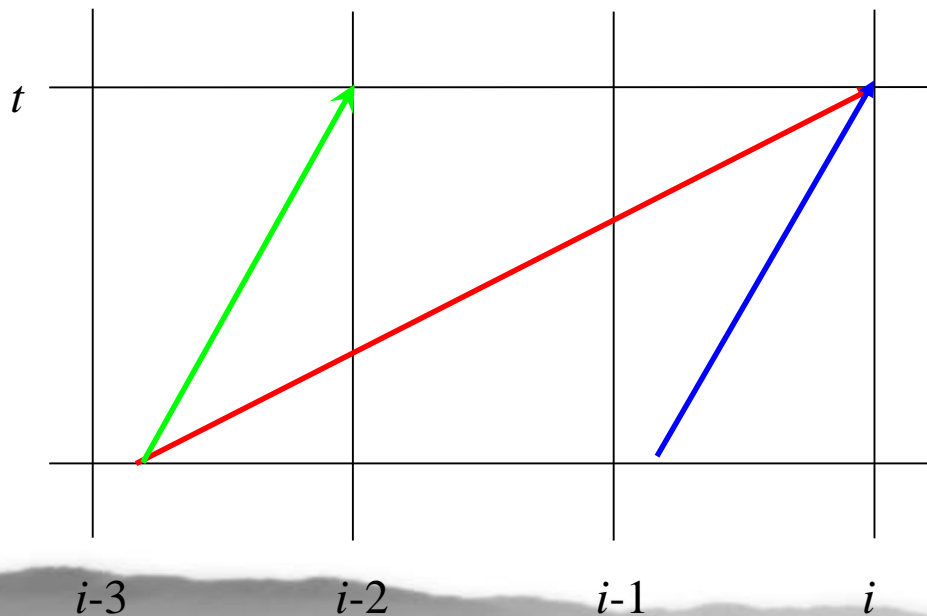
# ABLER移速估計演算式(1/2)

## ❁ Advection Based Lagrangian-Eulerian Regression

❁ 先如TREC平移( $m\Delta x$ ,  $n\Delta y$ )位置, 再作迴歸Shiiba迴歸

❁ 假設  $m = 2 \leq u\Delta t / \Delta x \leq m + 1 = 3$

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + u \frac{\partial \phi}{\partial x} = q \quad \hat{\phi}_i^{t+1} = \phi_{i-2}^t - \left( \frac{\hat{u}_i \Delta t}{\Delta x} - 2 \right) (\phi_{i-2}^t - \phi_{i-3}^t) + \hat{q}_{i-2} \Delta t$$



# ABLER移速估計演算式(2/2)

## ❁ Advection Based Lagrangian-Eulerian Regression

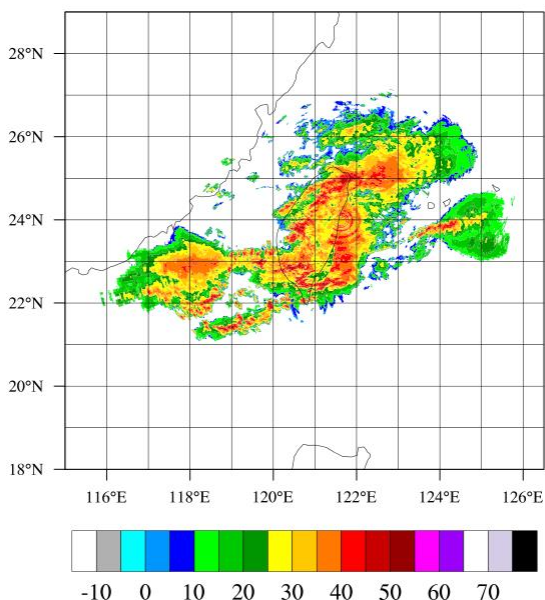
- ❁ 選擇無因次速度(庫倫數)的嘗試範圍  $|\alpha| \leq M$  和  $|\beta| \leq N$
- ❁ 假設某組已知的(m,n)數值條件下，將時間t-Δt時間影像，以Lagrangian架構先平移(m,n)個網格後，再利用Shiiba法迴歸估計線性速度場函數係數
- ❁ 利用迴歸解出的移速場係數，由t-Δt時間影像，估計t時間的網格點的估計值
- ❁ 計算t時間網格點真實值和估計值之間的相關係數  $\rho(m, n)$
- ❁ 完成所有不同(m,n)值的  $\rho(m, n)$  計算後，選擇其中相關係數最大者  $\rho'(m^*, n^*)$
- ❁ 移速估計為
$$u(x, y) = c'_1 x + c'_2 y + c'_3 + m^* \Delta t / \Delta x$$
$$v(x, y) = c'_4 x + c'_5 y + c'_6 + n^* \Delta y / \Delta t$$



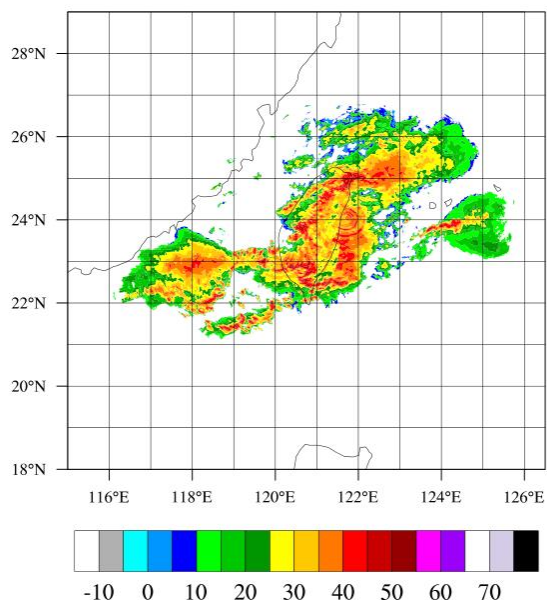
# 以ABLER法全域迴歸測試結果

🌸 利用2012.0612.0200與0210雷達回波dbZ觀測場建立迴歸模型，檢驗0210估計結果

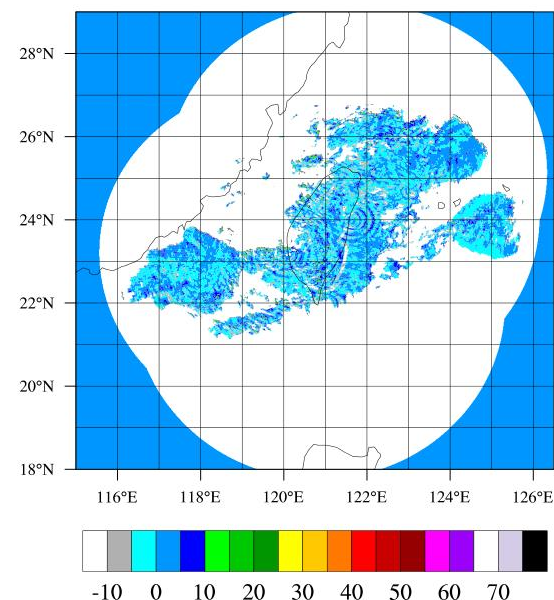
real 20120612.0210



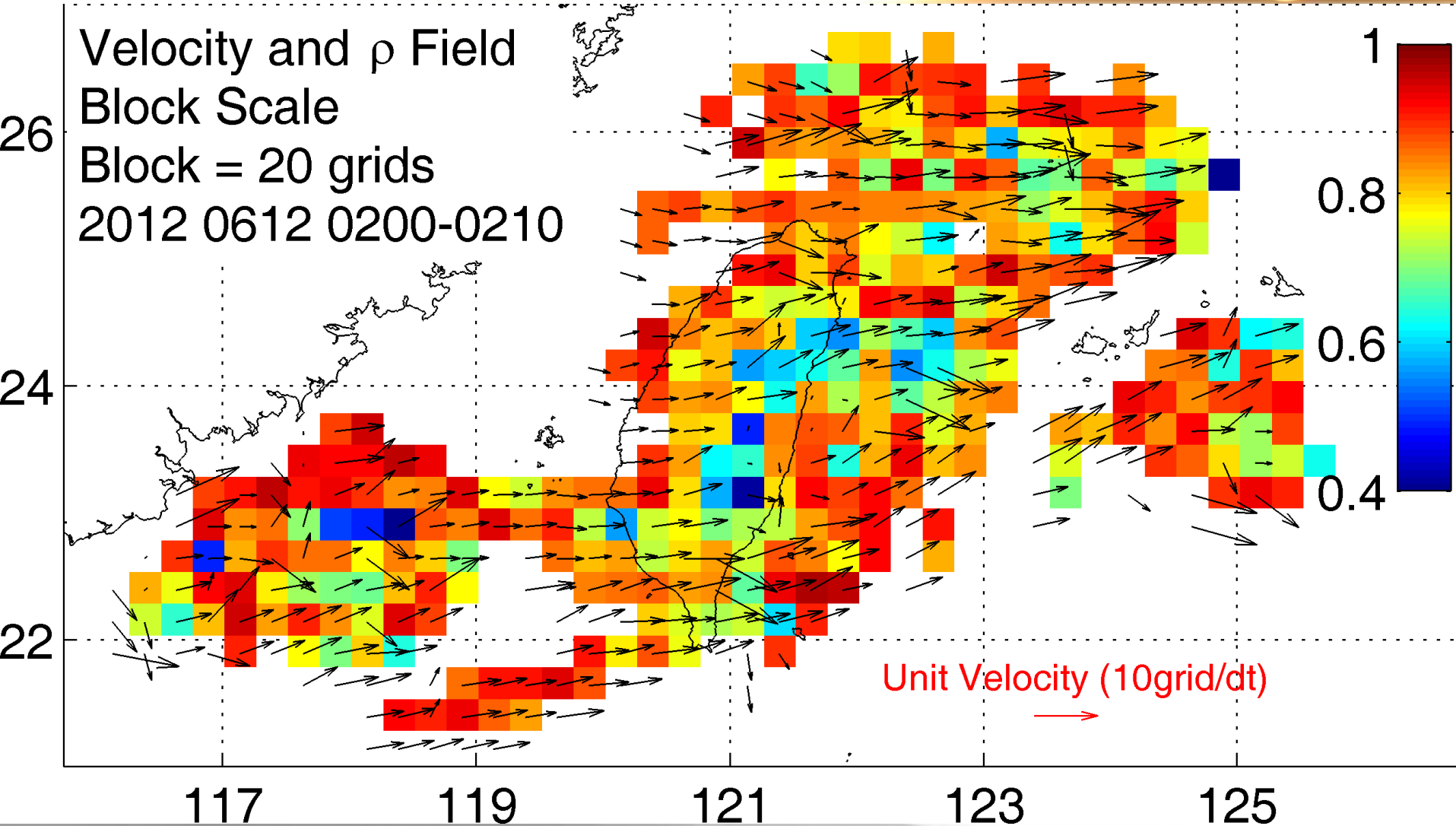
estimation



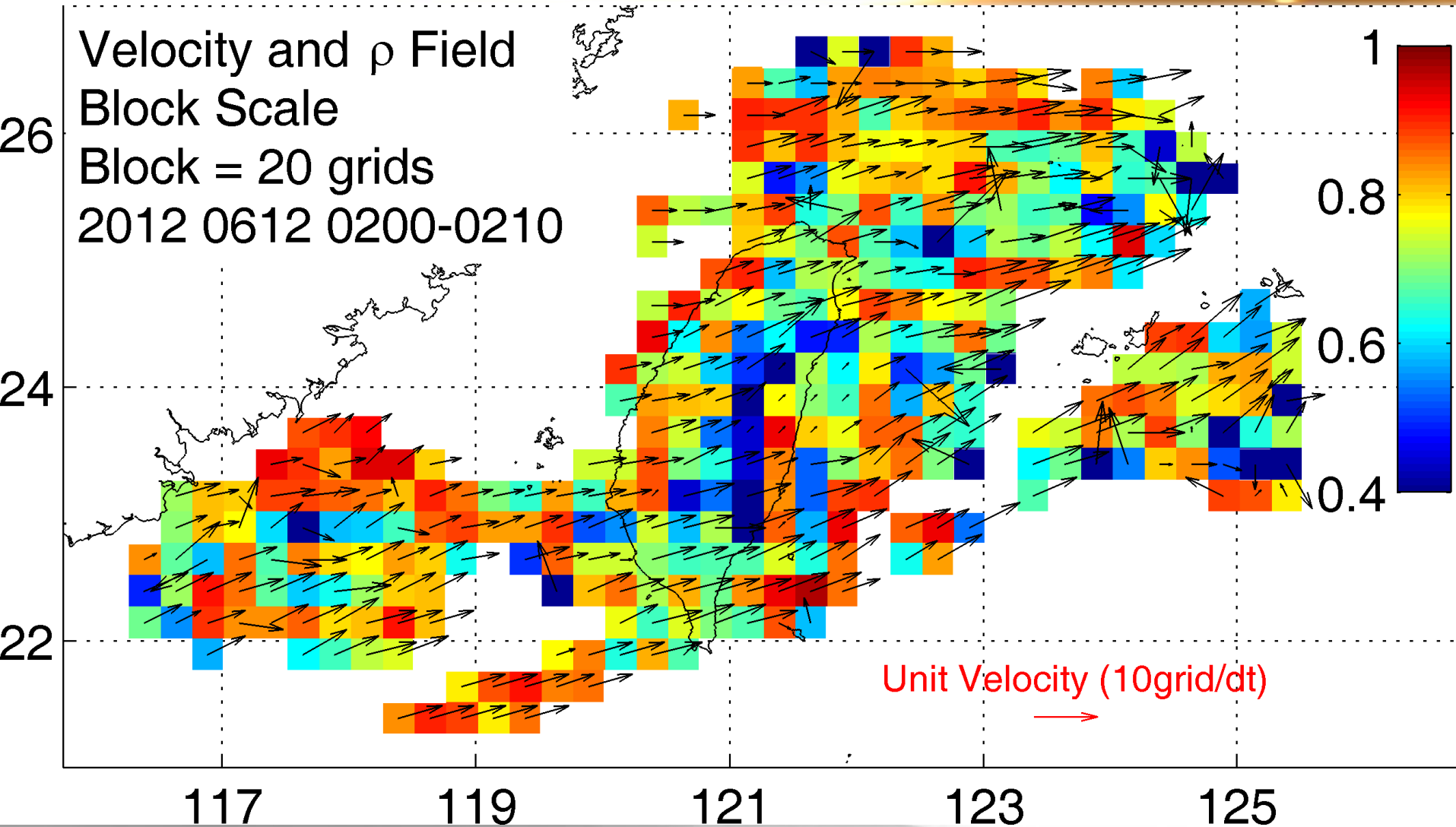
obs - estimation



# 局部區塊以ABLER法迴歸

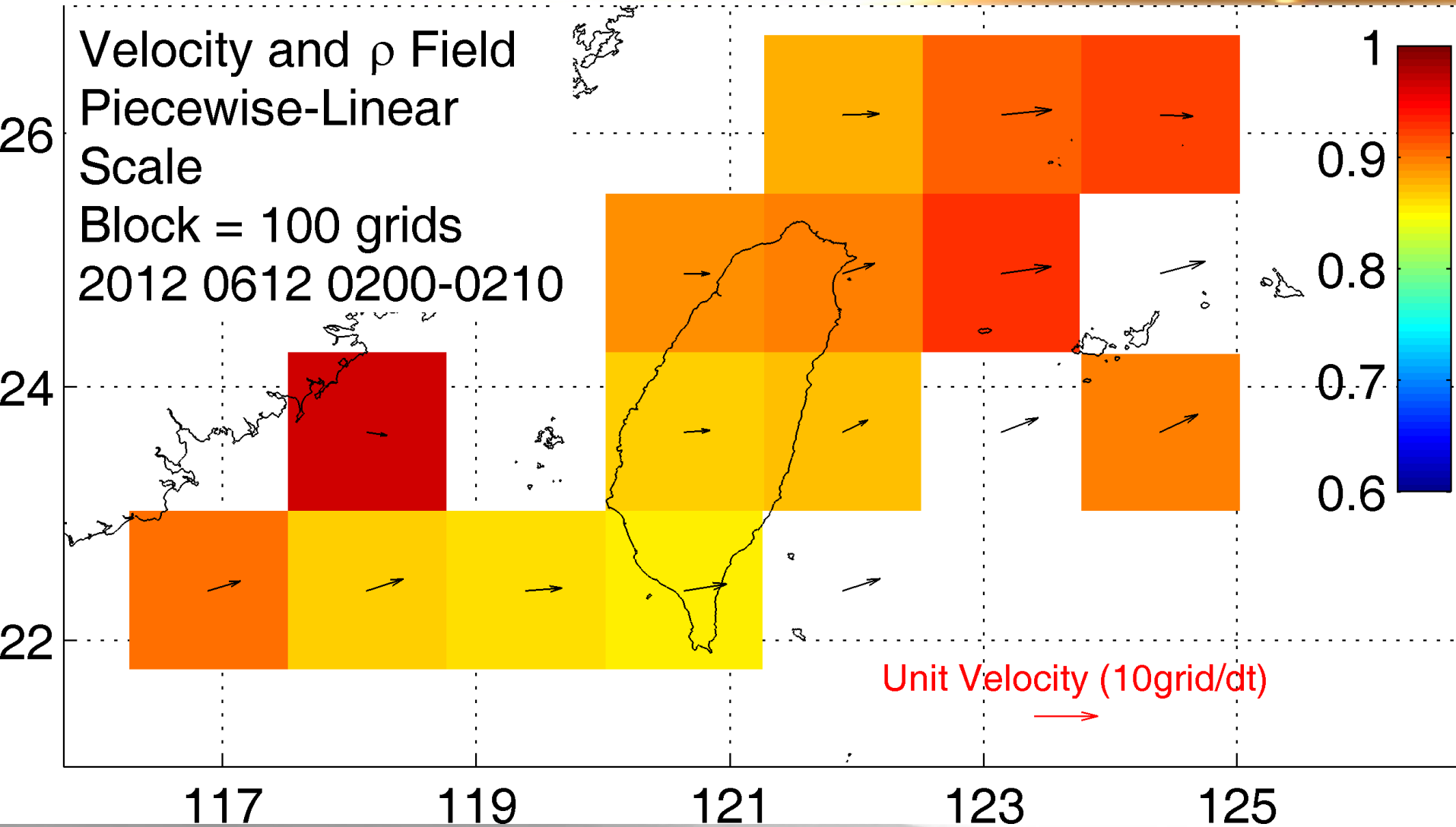


# 局部區塊以TREC法估計

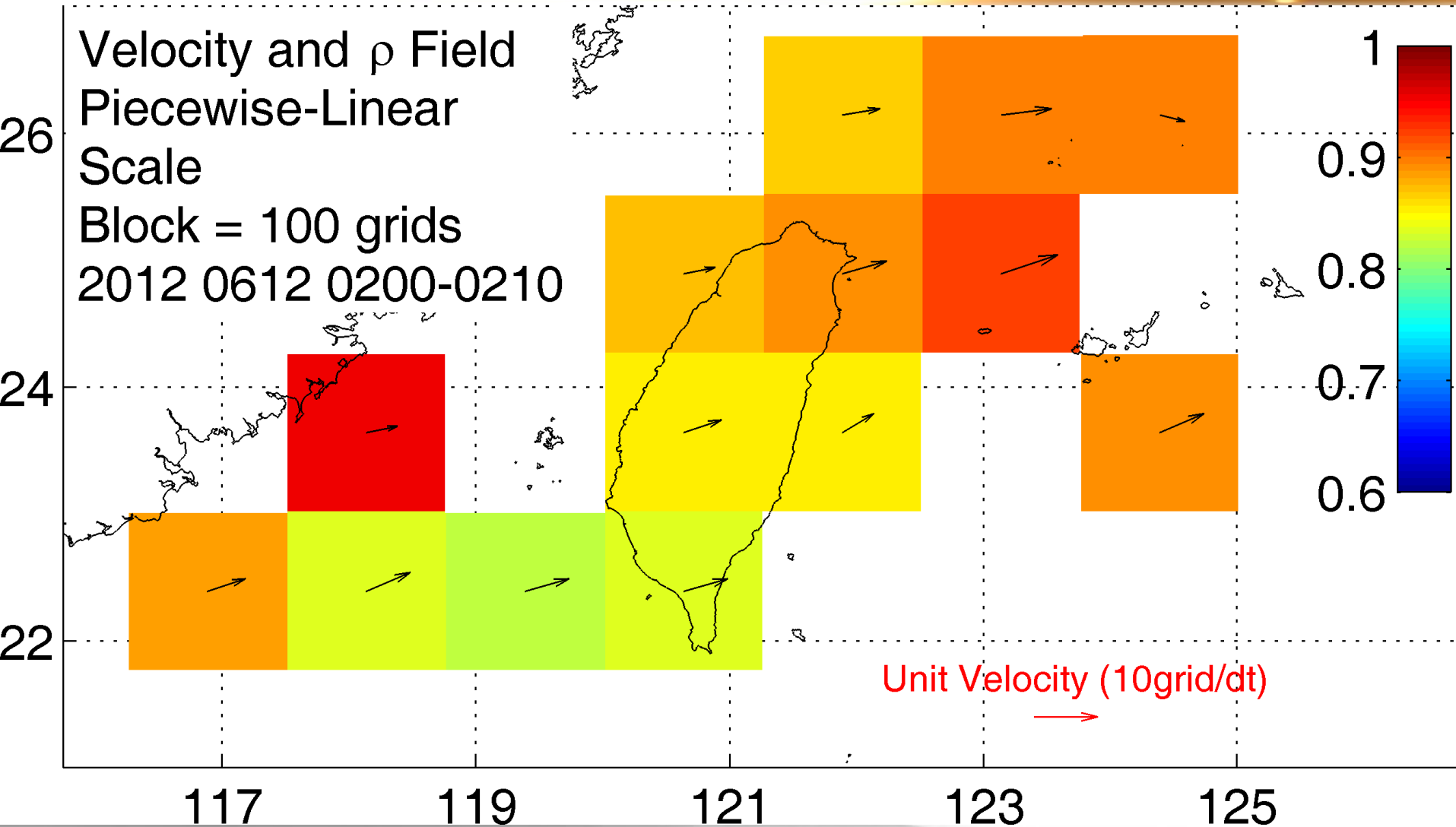




# 以ABLER法分段線性迴歸



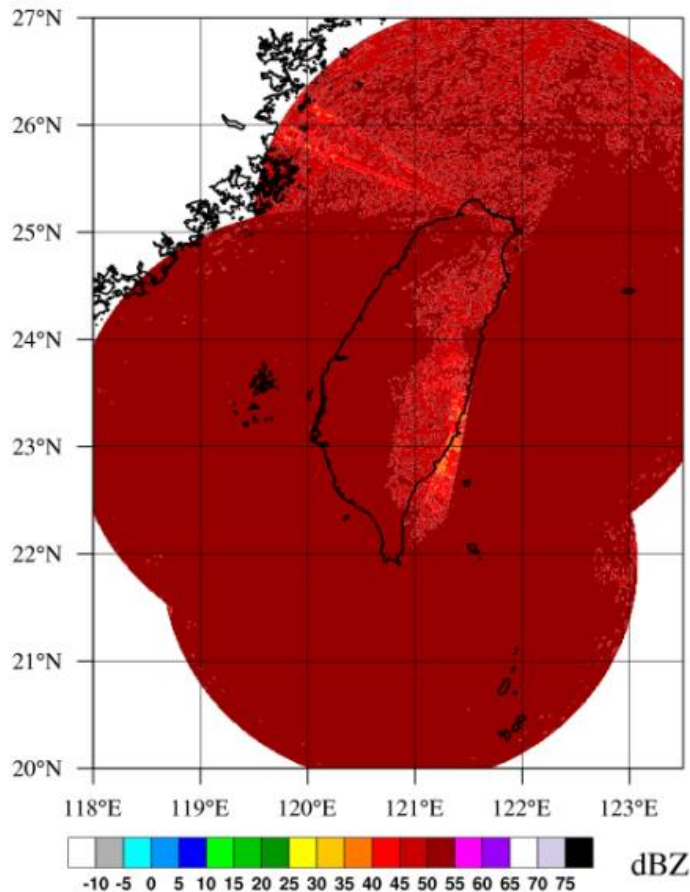
# 以TREC法分段線性估計



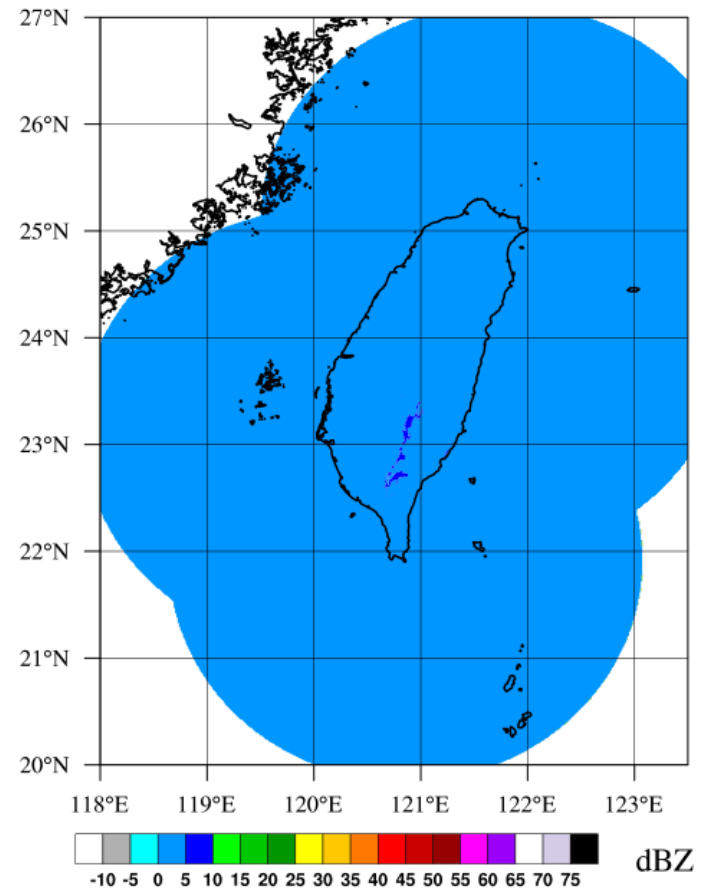
# QPESUMS雷達觀測特性

- HYBREF資料，2007年，每10分鐘一筆，統計每個像元的最大值與最小值空間分布

2007 maximum distribution



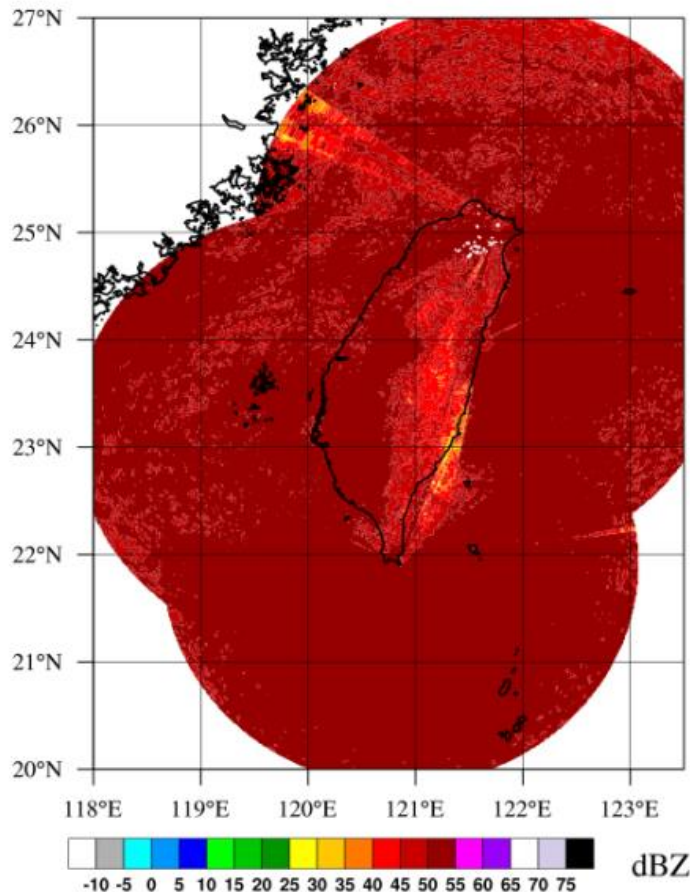
2007 minimum distribution



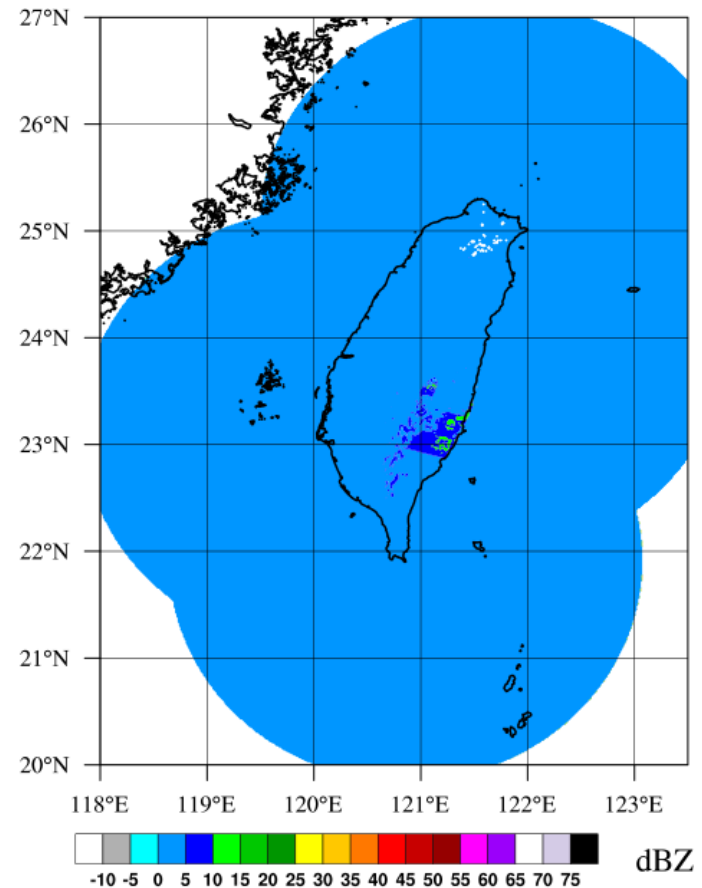
# QPESUMS雷達觀測特性

- HYBREF資料，2008年，每10分鐘一筆，統計每個像元的最大值與最小值空間分布

2008 maximum distribution



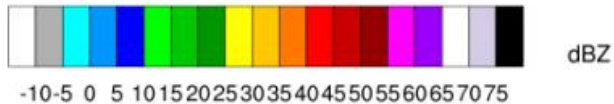
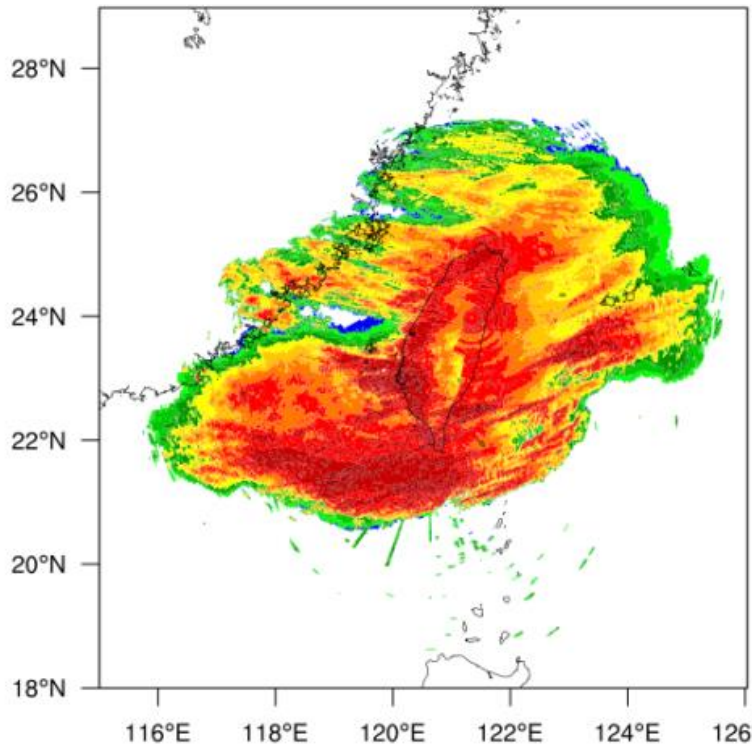
2008 minimum distribution



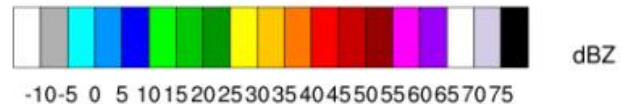
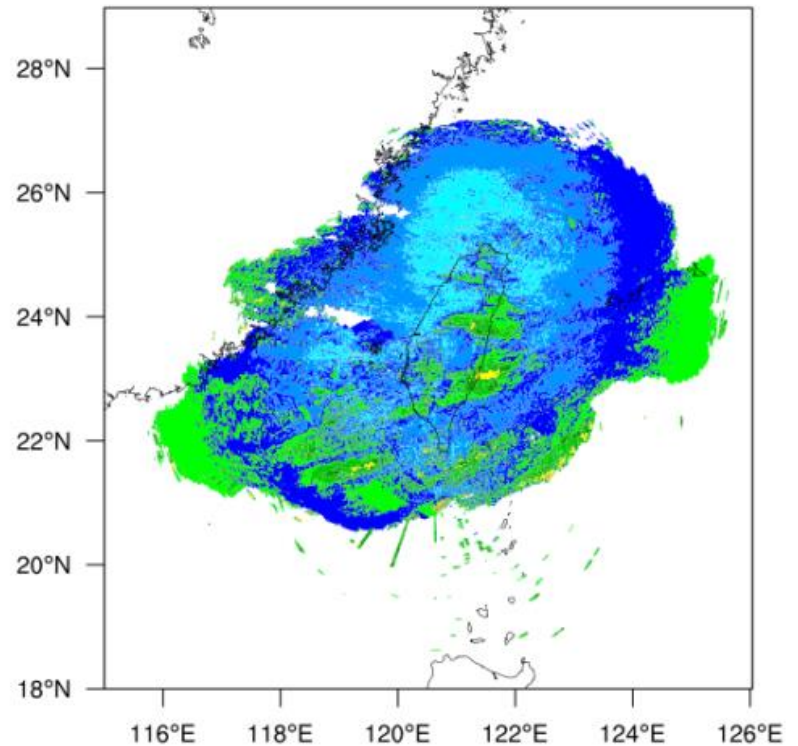
# QPESUMS雷達觀測特性

- ❁ COMPREF資料，時間由2012.0612.0200至2012.0612.0940，每10分鐘一筆，統計每個像元的最大值與最小值空間分布

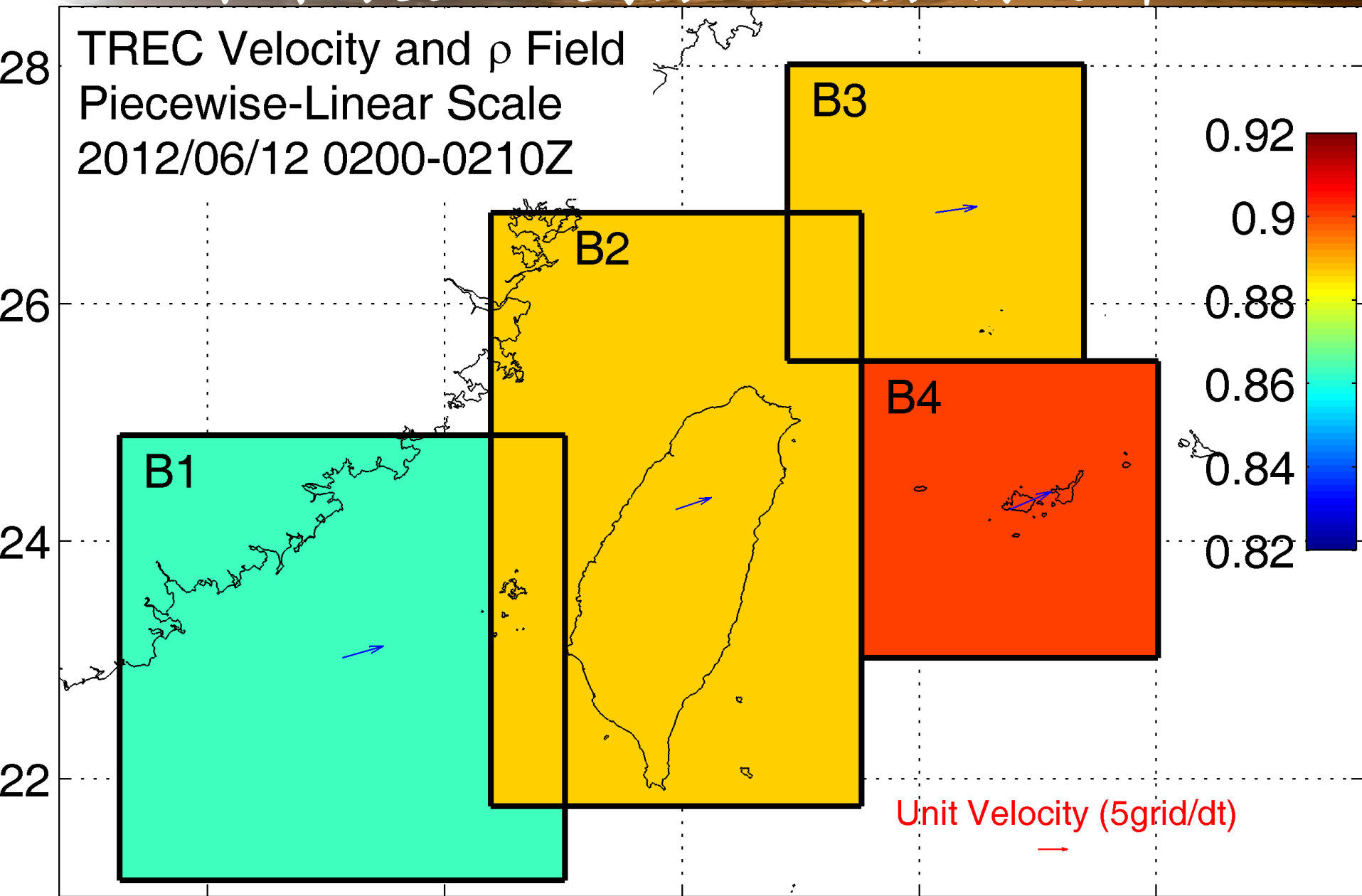
maximum distribution



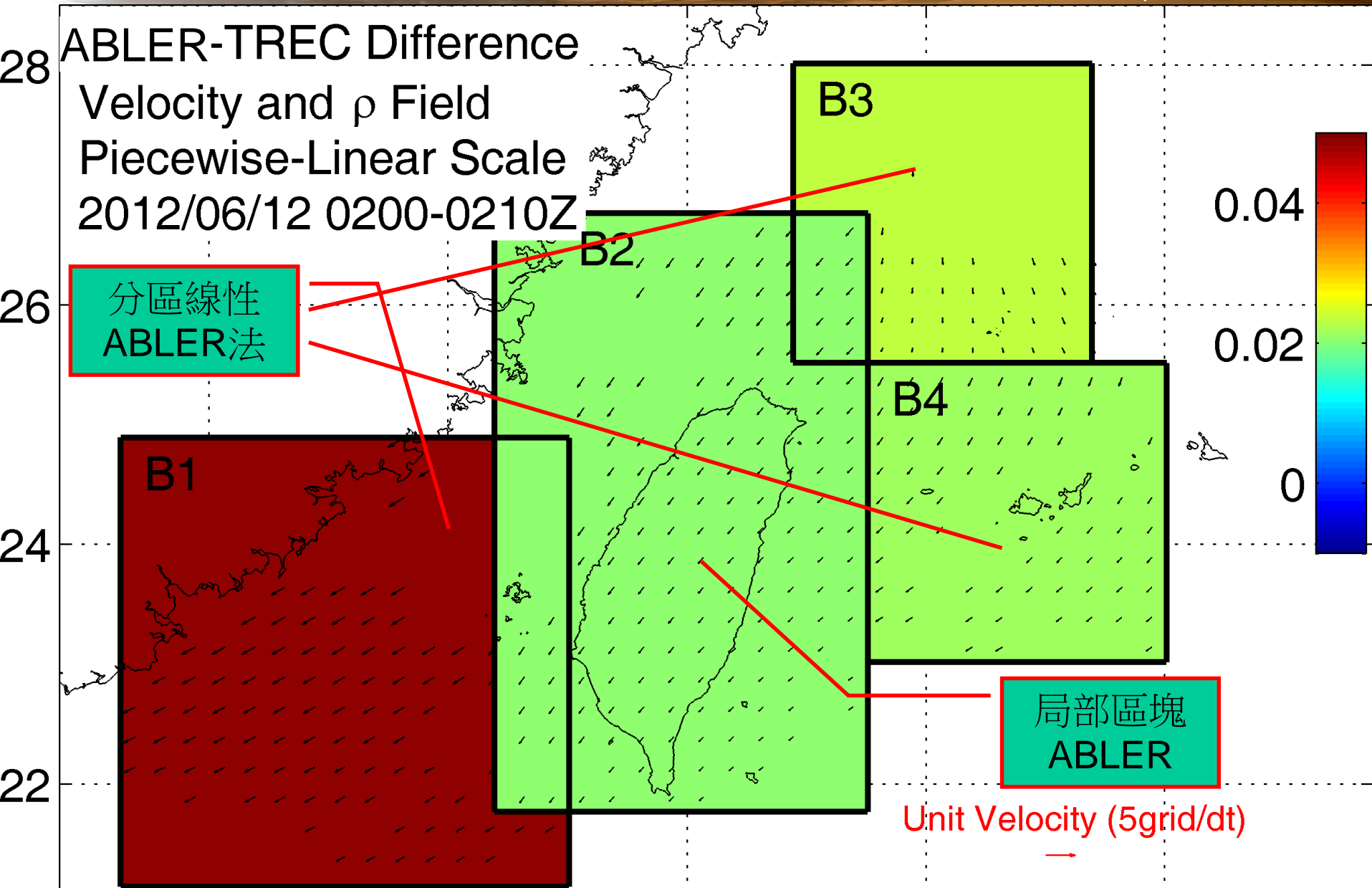
minimum distribution



# 未來展望：劃分區域分別迴歸



# 未來展望：分區、三層尺度優化估計概念

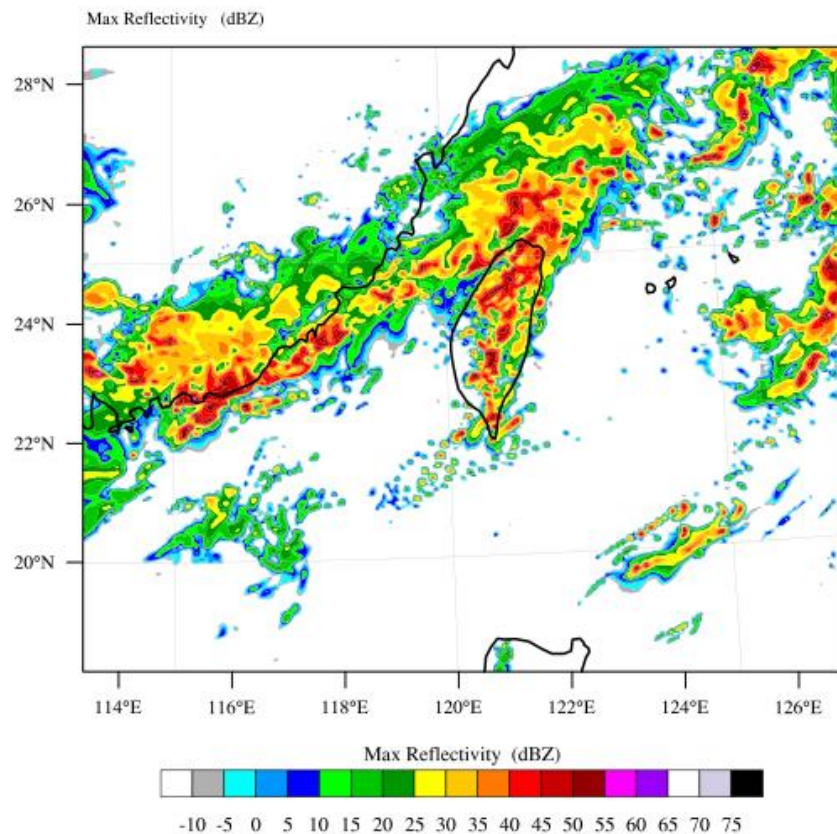


# 未來展望：利用WRF模式產出近地面降水

- 利用WRF模擬2012.0612.1610與1620資料，以ABLER迴歸檢驗預報1620結果

REAL-TIME WRF

Init: 2012-06-11\_00:00:00  
Valid: 2012-06-11\_16:20:00

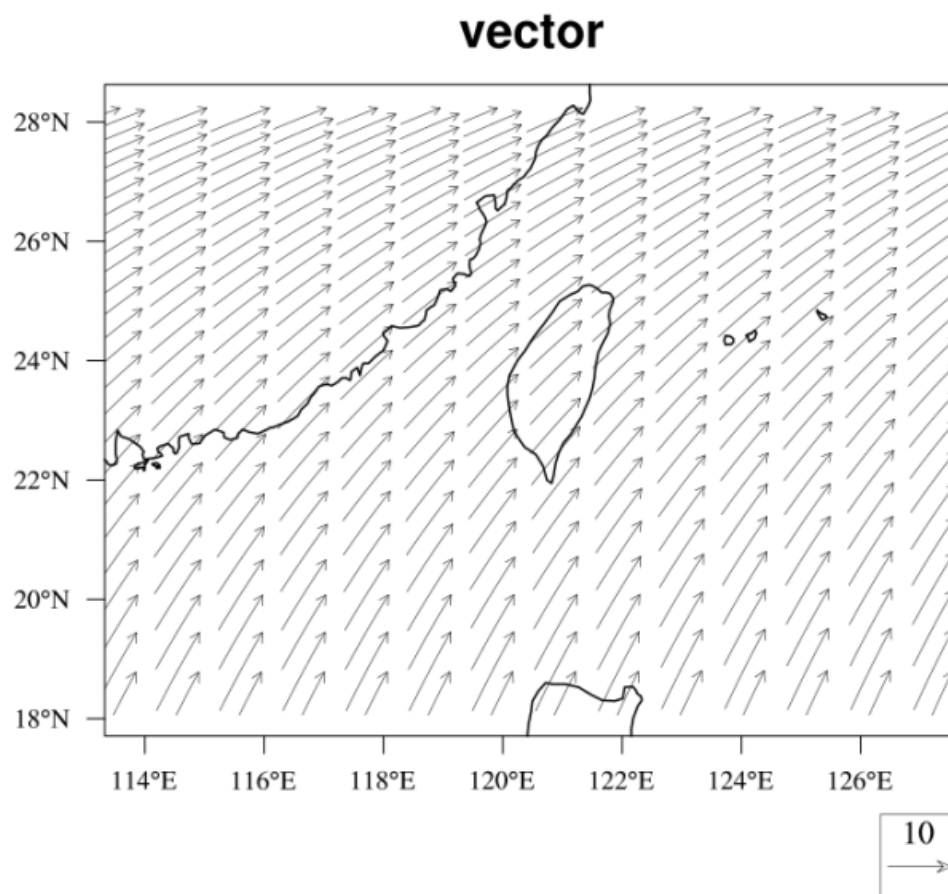




# 未來展望：利用WRF模式產出近地面降水

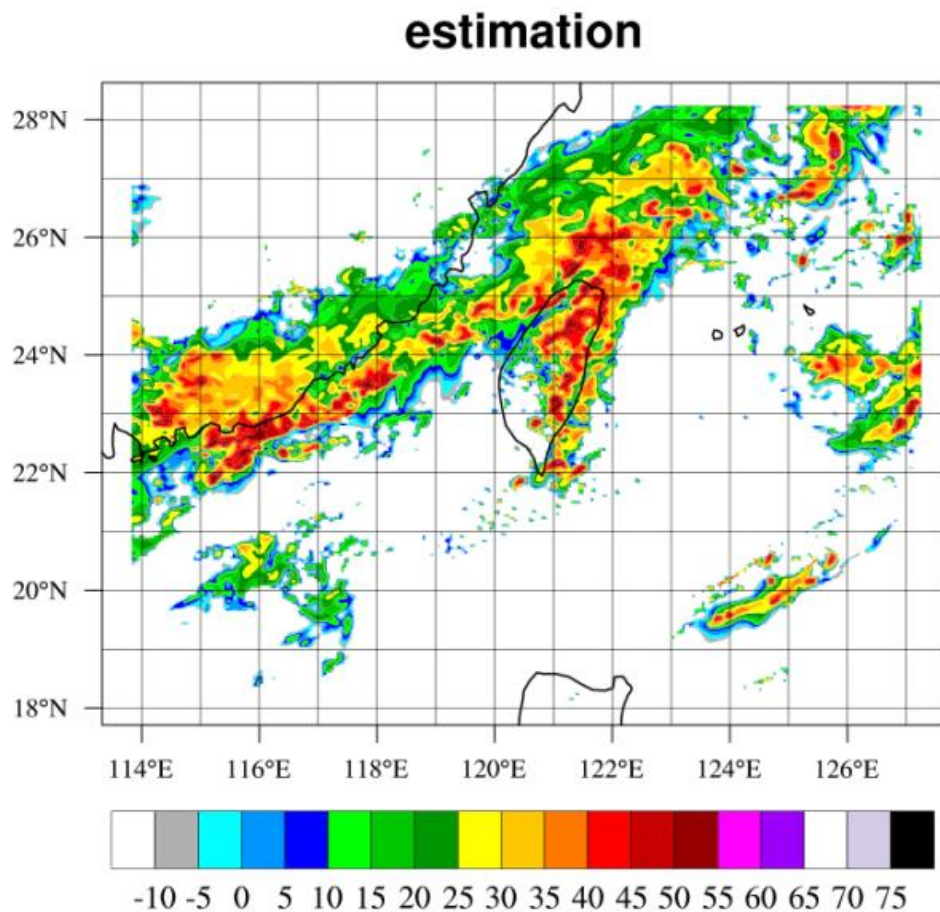
- ❁ 利用WRF模擬2012.0612.1610與1620資料，以ABLER迴歸檢驗預報1620結果

obs - estimation



# 未來展望：利用WRF模式產出近地面降水

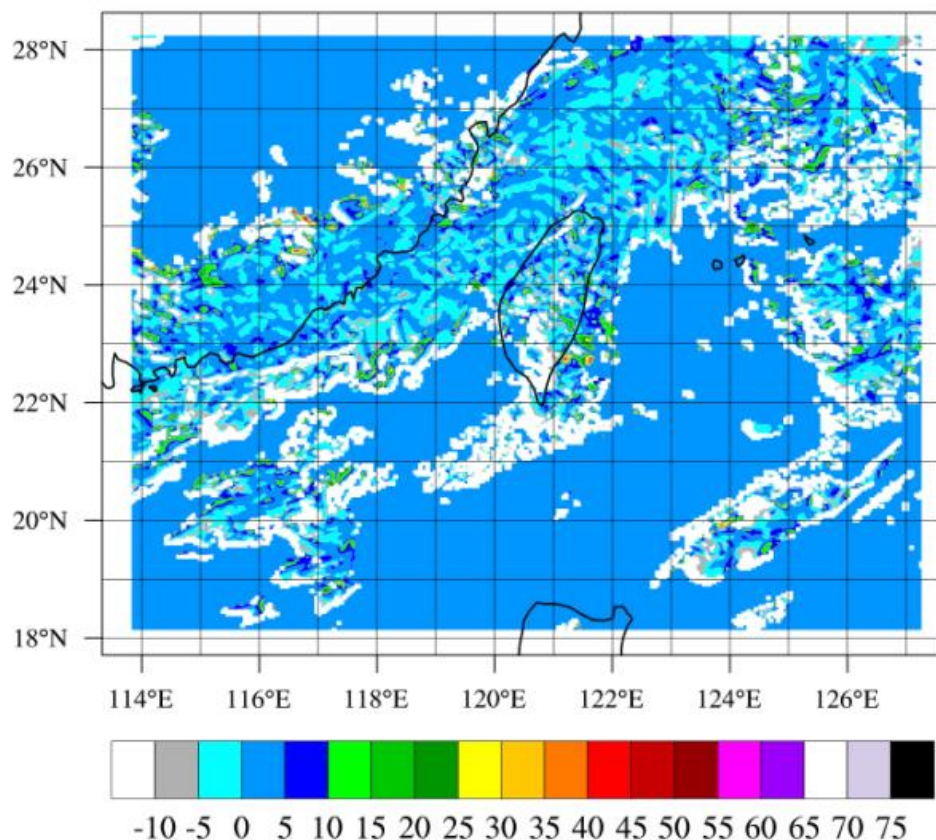
- ❁ 利用WRF模擬2012.0612.1610與1620資料，以ABLER迴歸檢驗預報1620結果



# 未來展望：利用WRF模式產出近地面降水

- ❁ 利用WRF模擬2012.0612.1610與1620資料，以ABLER迴歸檢驗預報1620結果

obs - estimation



感謝聆聽  
敬請指教

