



# 客觀分析法地面溫度案例分析 與CUDA技術應用

馮智勇 劉家豪 林佑蓉 蔡雅婷  
陳雲蘭

多采科技有限公司  
交通部中央氣象局預報中心

# 緣起與目的

- 「發展高解析度統計預報技術」為氣象局「發展鄉鎮逐時天氣預報」計畫重點項目之一，**溫度**面化上：
  - 氣象局現行使用類**LST(Land Surface temperature)法**
  - 美國作業單位採用**BCDG法**
  - 氣象局引入根據資料之空間分佈統計特性以決定線性內插係數的**通用克利金法(Universal Kriging technique)**
- 掌握空間內插技術以提升高解析度統計預報技術
  - 了解與比較**LST法**、**BCDG法**及**UK法** **原理特性**及**差異**
  - 案例分析使用**LST法**、**BCDG法**及**UK法**產生高解析度網格點**溫度**資訊的差異
- 測試高解析度預報技術伴隨之**計算效率**解決方案
  - **GPU計算資源**與**NVIDIA CUDA技術**應用

# 簡報大綱

一、溫度客觀分析方法

二、溫度客觀分析方法比較

三、溫度案例分析

四、GPU與NVIDIA CUDA技術應用

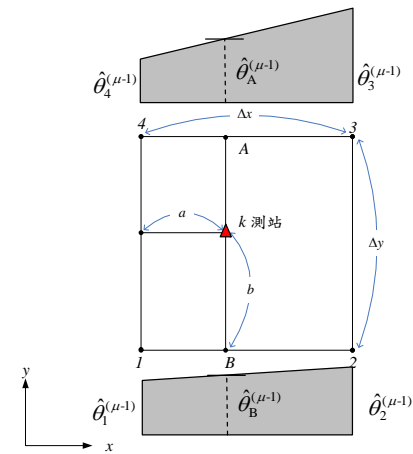
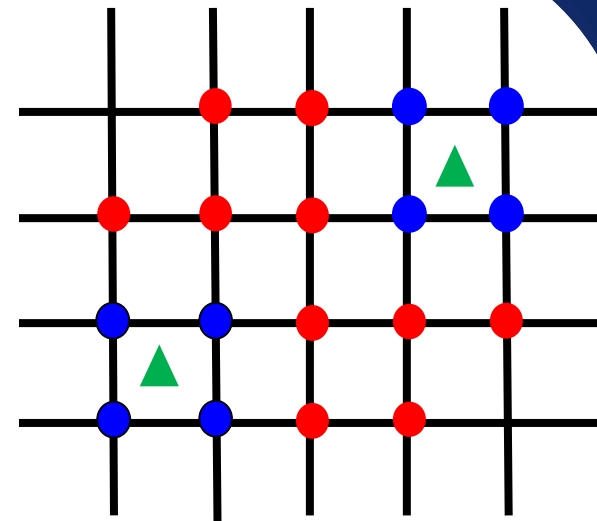
五、研究綜整

# 溫度客觀分析方法原理

- 逐次修正法
- 克利金法

# 逐次修正法

- 計算每個網格點ij的初始值  $\hat{\theta}_{ij}^0$
- 以第k測站為中心，利用雙線性內插估計測站內插值  $\hat{\theta}_k^{\mu-1}$
- 內插值與觀測相減得到估計誤差  $D_k^{\mu-1} = \theta_k - \hat{\theta}_k^{\mu-1}$
- 以網格ij為中心，利用**權重係數**  $w_k$  將影響半徑範圍內測站誤差進行分配，得到修正值  $C_{ij}^{\mu-1} = \sum_{k=1}^n w_k D_k^{\mu-1} / \sum_{k=1}^n w_k$
- 網格更新值  $\hat{\theta}_{ij}^{\mu} = \hat{\theta}_{ij}^{\mu-1} + C_{ij}^{\mu-1}$
- 重複4次修正，每次縮小影響半徑範圍

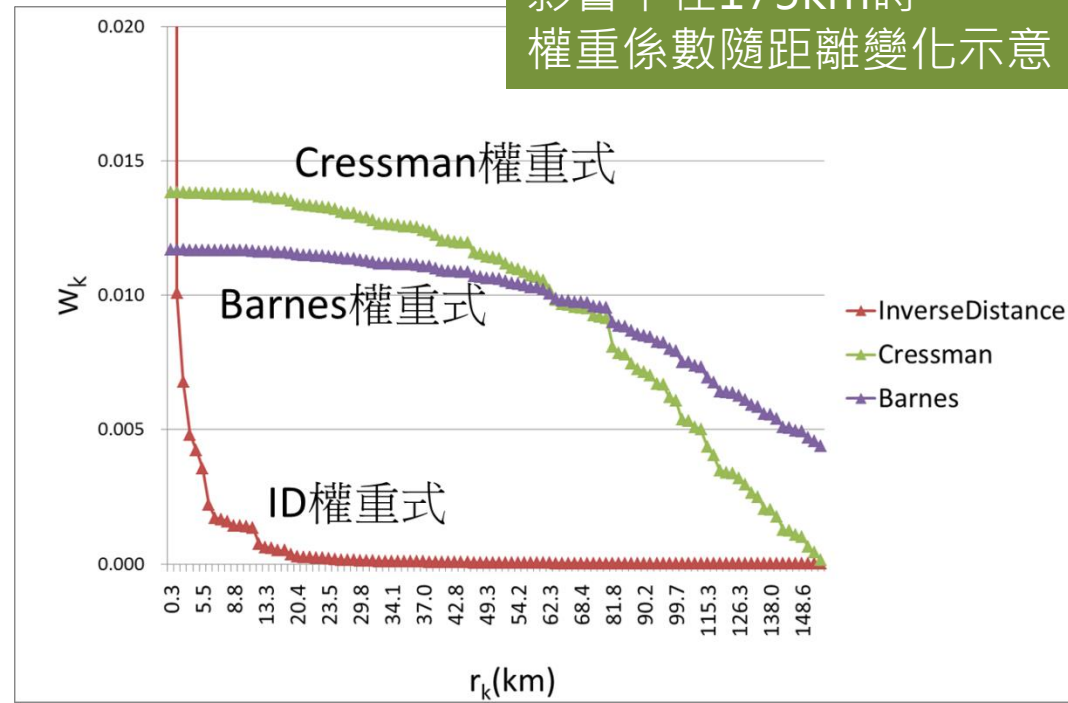


# 逐次修正法-配合不同權重式

- 距離平方倒數(ID)  $w_k = 1/r_k^2$
  - Cressman(CM)  $w_k = \frac{R^2 - r_k^2}{R^2 + r_k^2}$
  - Barnes(BN)  $w_k = e^{-r_k^2/R^2}$
- } if  $r_k < R$

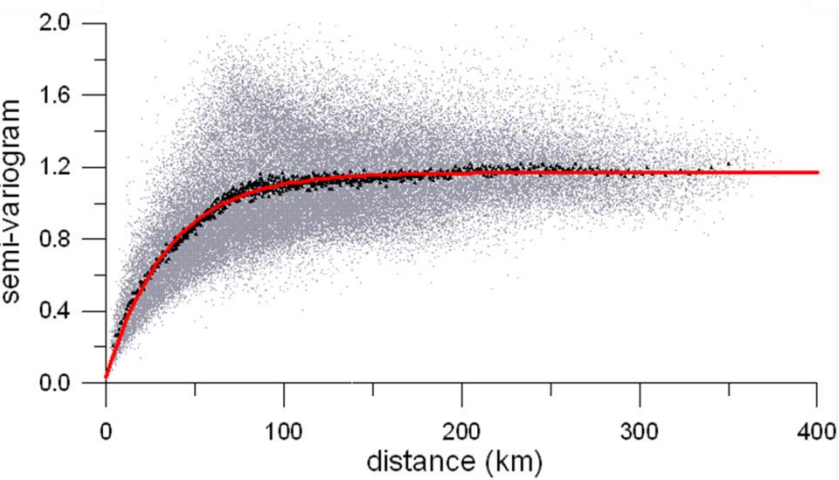
- ID權重式距離1km內測站權重較大，20km後權重就趨近於0
- Cressman約150km後權重即趨近於0
- Barnes 小於60km權重係數皆差不多，150km以後之測站仍有部分影響力

影響半徑175km時  
權重係數隨距離變化示意



# 克利金法

- 克利金法為使用**變異圖**分析空間相關性，計算觀測值權重組合之客觀分析方法
  - 由**歷史資料**迴歸統計協變異數隨距離變化情形，決定**半變異圖/變異圖**函數
  - 由「**不偏估條件**」及「**最小估計誤差變異數**」建立矩陣方程式並求出權重係數值
  - 依不同趨勢條件假設下，分為



- 已去除趨勢條件的**簡單克利金法**
- 含**平均值為常數**假設的**普通克利金法(OK)**
- 含**平均值為某種空間趨勢函數**假設的**通用克利金法(UK)**

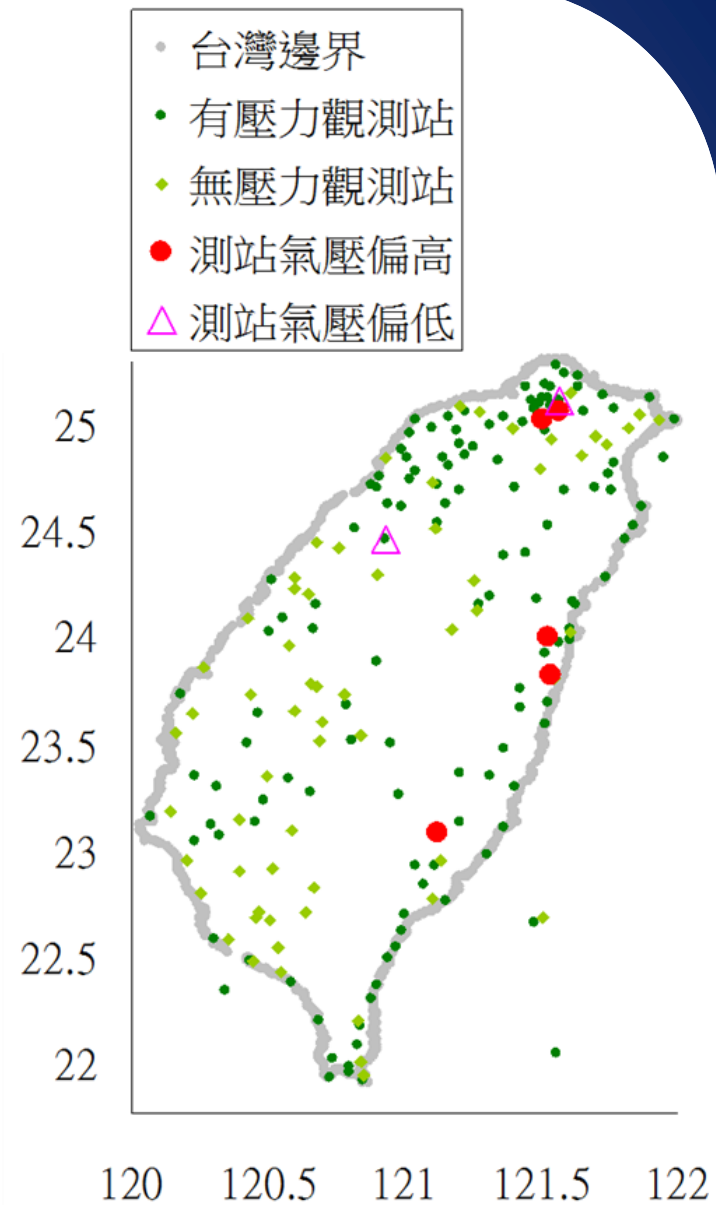
# 溫度客觀分析方法介紹

- LST法
- BCDG法
- UK法



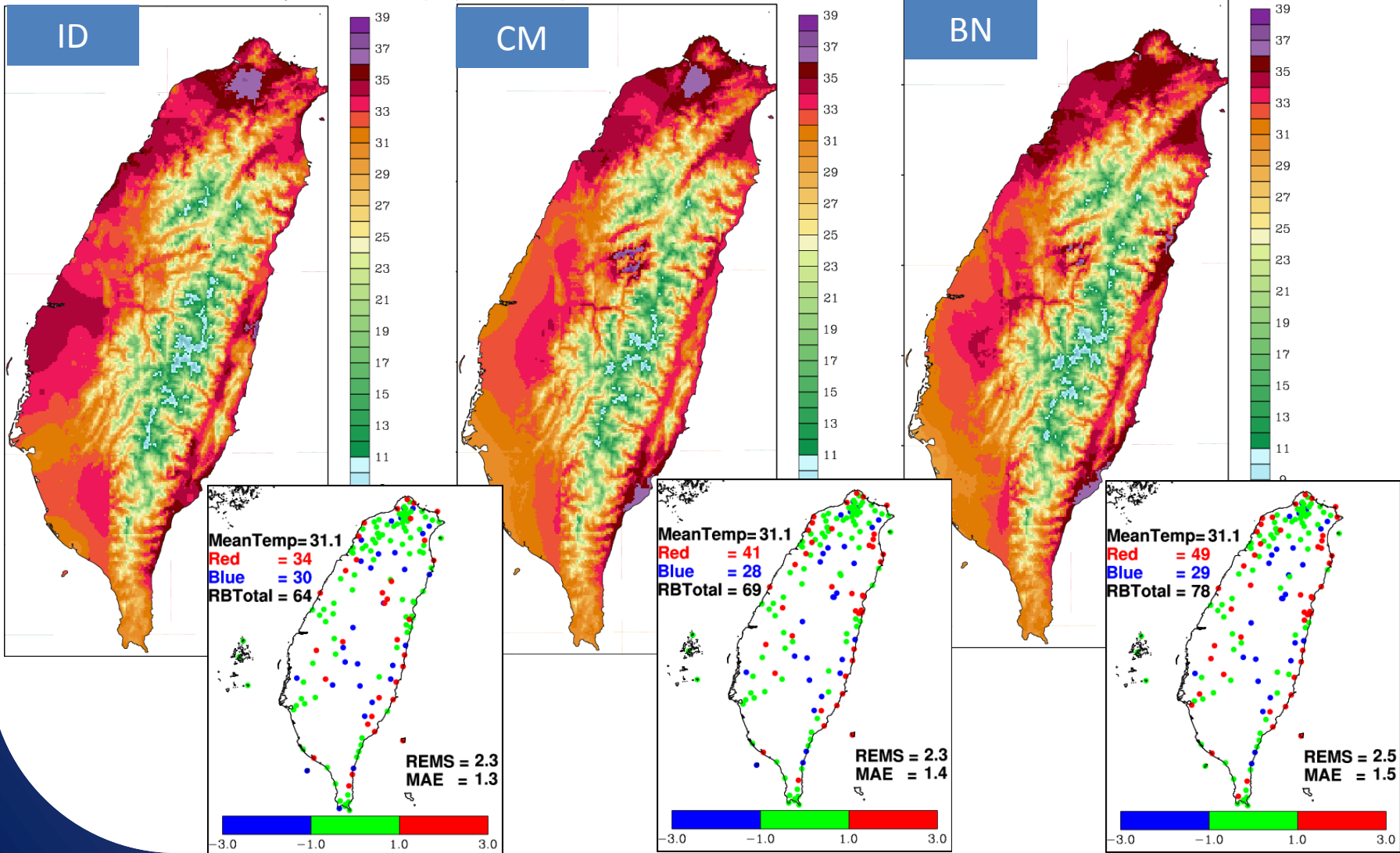
# LST法介紹

- 利用測站之溫度及壓力觀測，假設於乾絕熱狀態下求取位溫
- 將所求之位溫面化至網格點
- 將網格點位溫值與壓力值，於乾絕熱假設下估計地表溫度
- 本研究使用有溫度觀測測站約180站(包含人工站、自動站及環保署測站)，其中約150站左右有觀測氣壓



# LST法各權重式比較-8/8 12時案例

- 當天西南部有出現較高溫度
- ID權重式結果較接近氣象局溫度面化圖



# BCDG法簡介

- 由 Glahn 等人 (Glahn et al., 2009) 改良 BCD 法以發展網格化之模式輸出統計技術 (MOS) 而來
  - BCD 法為 Bergthorssen 與 Doos (1955) 提出，隨後為 Cressman 所實作 (Cressman, 1959)，採逐次修正邏輯 (successive correction) 迭代修正
  - 引入 **溫度隨高度變化率** (vertical change with elevation, VCE)，使得應用於地表溫度場時無須進行高度轉換
  - 考量 **陸地** 與 **水體** 特性不同，計算測站估計值
  - 網格點估計值 **平滑化** 處理

# BCDG法溫度隨高程變化率計算方式

- 測站  $k$  之溫度隨高程變化率(VCE)計算方式

$$VCE_k = \frac{\sum_l (\theta_{kl} - \theta_k)}{\sum_l (h_{kl} - h_k)}$$

- 測站  $k$  觀測值  $\theta_k$ 、水平位置  $u_k(x,y)$ 、高程  $h_k$
- 鄰近站  $l$  觀測值  $\theta_{kl}$ 、水平位置  $u_{kl}(x,y)$ 、高程  $h_{kl}$
- 鄰近站  $l$  須滿足垂直高度與水平距離限制，以避免局部效應造成雜訊影響(美國取130m與340km)

$$|h_{kl} - h_k| \geq h_{VCE}$$

$$|u_{kl} - u_k| \leq R_{VCE}$$

# BCDG法逐次修正實作方式

- 使用逐次修正法進行四次迭代

- 使用Cressman權重式  $w_k = \frac{R^2 - r_k^2}{R^2 + r_k^2}$

$r_k$  測站與網格距離  
 $R$  影響半徑範圍

- 估計誤差  $D_k^{\mu-1}$  加入VCE

$$D_k^{\mu-1} = \begin{cases} \theta_k - \hat{\theta}_k^{\mu-1}, & \forall VCE_k = 0 \text{ or } h_{ij} - h_k = 0 \\ (\theta_k - \hat{\theta}_k^{\mu-1}) + \alpha_{VCE} \left[ (\hat{\theta}_k^{\mu-1} - \hat{\theta}_{ij}^{\mu-1}) + VCE_k \times (h_{ij} - h_k) \right] \end{cases}$$

- 網格修正值為  $C_{ij}^{\mu-1} = \sum_{k=1}^n w_k D_k^{\mu-1} / \sum_{k=1}^n w_k$

# 通用克利金(UK)法概述

- 假設**氣象變數平均值為空間趨勢**，納入半變異圖/變異圖函數估計
  - **溫度場**平均值空間趨勢可視為**緯度**與**高程**線性組合
  - 透過「不偏估條件」要求**估計點之溫度場平均值符合該空間趨勢**，結合「最小估計誤差變異數」求解權重係數

$$AX = B \Rightarrow$$

各測站間的  
關聯性

測站與估計  
點的關聯性

溫度場平均值  
不偏估條件

$$\begin{pmatrix}
 \text{cov}(\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_1) & \cdots & \text{cov}(\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_n) & 1 & h_1 & y_1 \\
 \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 \text{cov}(\mathbf{u}_n, \mathbf{u}_1) & \cdots & \text{cov}(\mathbf{u}_n, \mathbf{u}_n) & 1 & h_n & y_n \\
 \hline
 1 & \cdots & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 h_1 & \cdots & h_n & 0 & 0 & 0 \\
 y_1 & \cdots & y_n & 0 & 0 & 0
 \end{pmatrix}
 \begin{pmatrix}
 \lambda_1 \\
 \vdots \\
 \lambda_n \\
 \hline
 \nu_1 \\
 \nu_2 \\
 \nu_3
 \end{pmatrix}
 =
 \begin{pmatrix}
 \text{cov}(\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_0) \\
 \vdots \\
 \text{cov}(\mathbf{u}_n, \mathbf{u}_0) \\
 \hline
 1 \\
 h_0 \\
 y_0
 \end{pmatrix}$$

# 溫度客觀分析方法比較

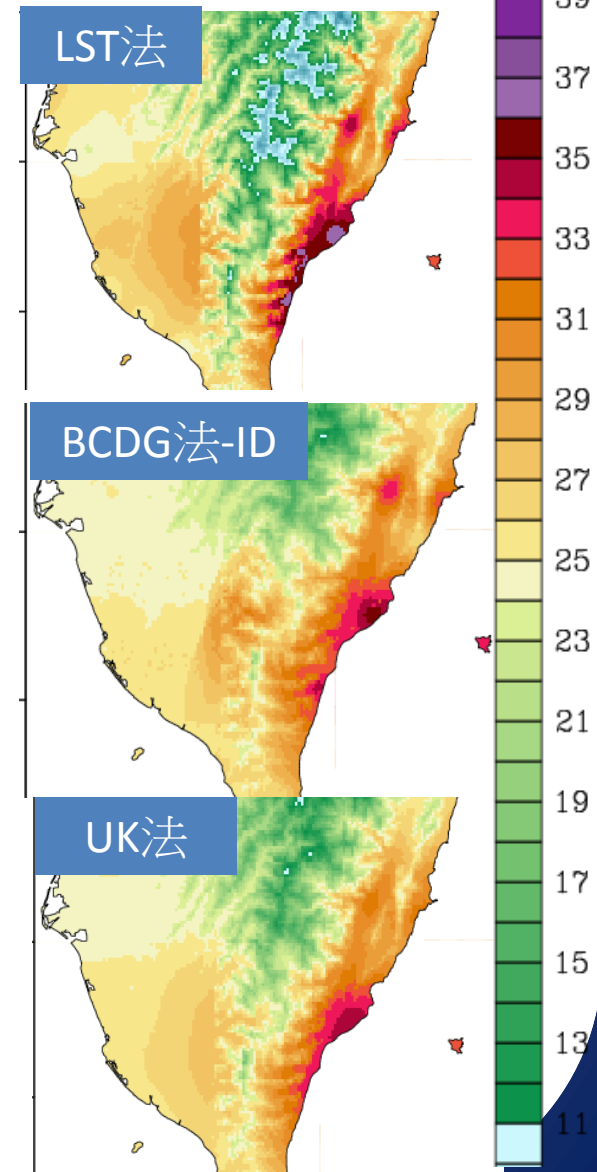
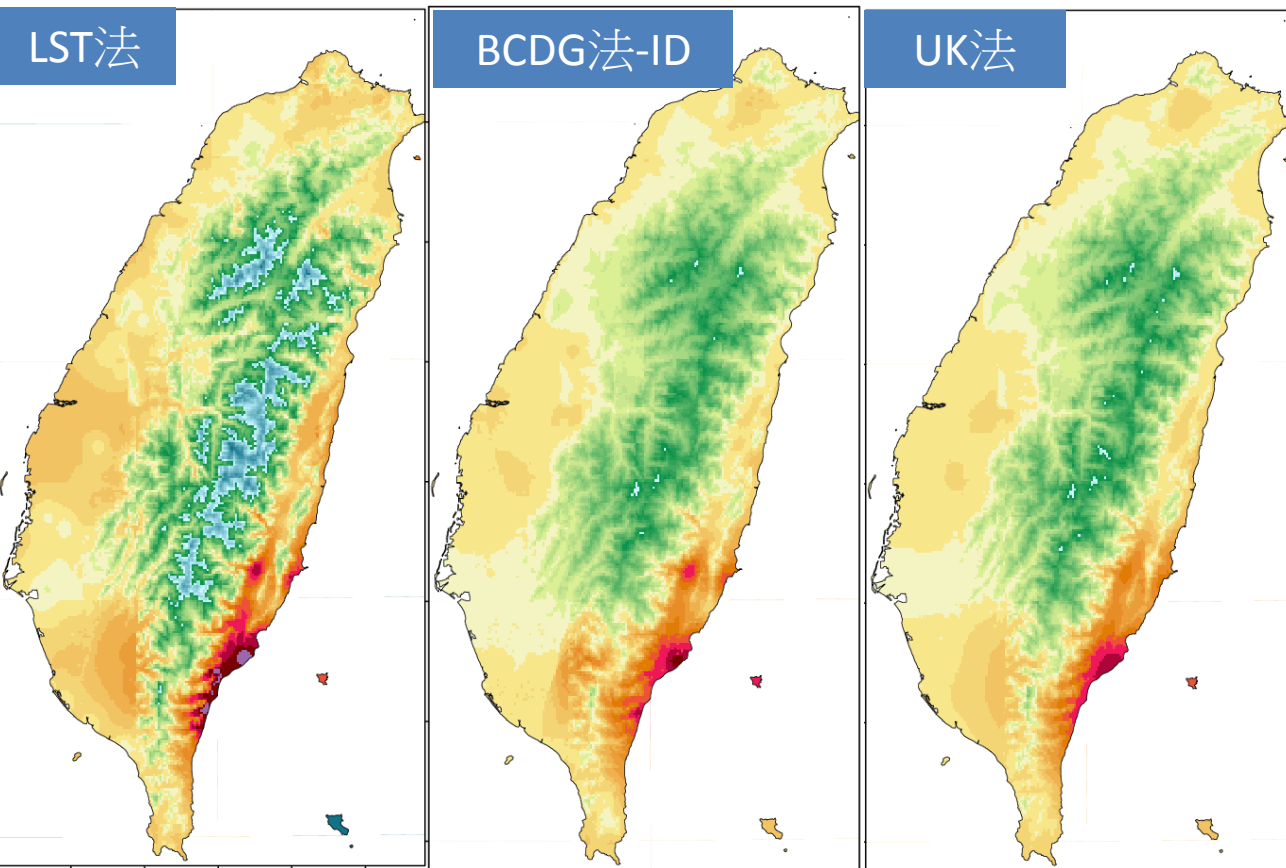
- 定義估計點變數值與測站觀測資料關係
  - LST法及BCDG法：以影響半徑與距離界定參數
  - UK法：迴歸半變異數/協變異數決定參數
- 定義測站觀測資料間之關係
  - LST法及BCDG法：無
  - UK法：半變異數/協變異數
- 溫度趨勢函數
  - LST法：以測站-網格間距離決定
  - BCDG法：以測站-網格間距離決定，以VCE考慮高程
  - UK法：加入溫度隨緯度及高程變化函數
- 不偏估條件
  - LST法及BCDG法：權重係數和為1
  - UK法：權重係數和為1與趨勢函數物理量不偏估



# 溫度案例分析

- 8/2 蘇拉颱風期間臺東焚風
- 8/8 台北大武地區高溫案例
- 12/30 冷天氣型態案例
- 1/18 冷天氣型態案例

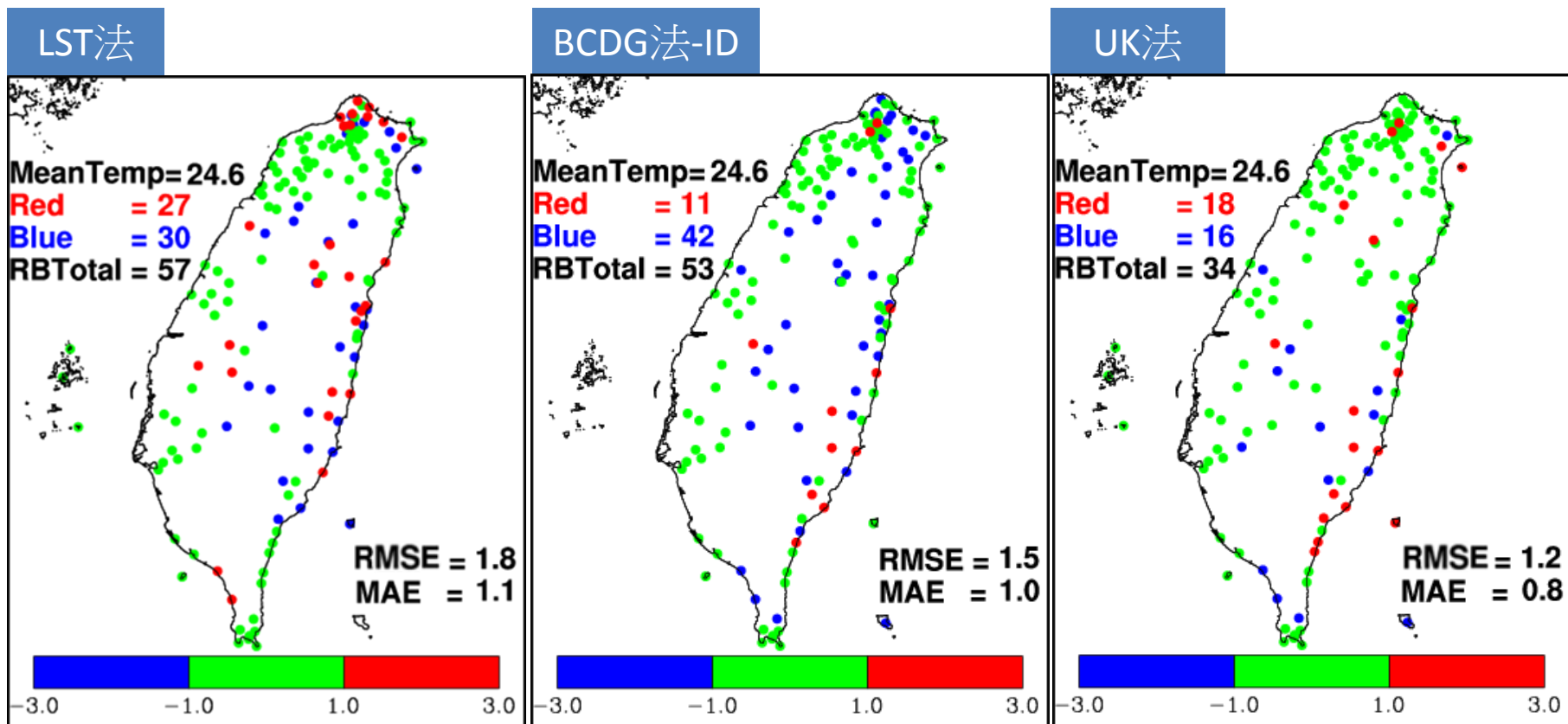
# 8/2 蘇拉颱風期間臺東焚風



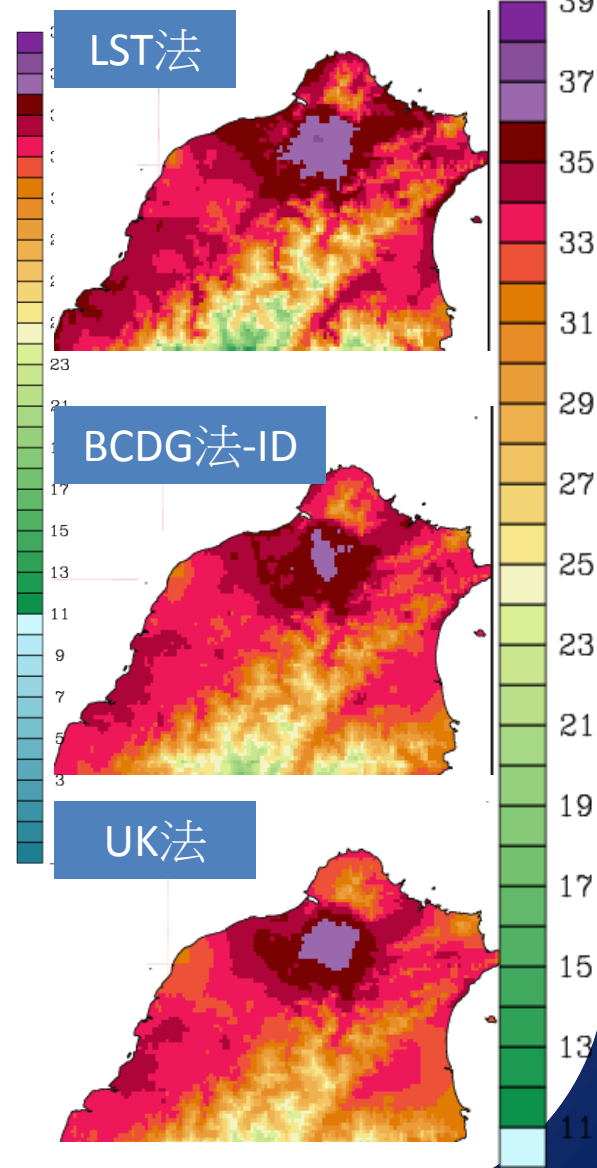
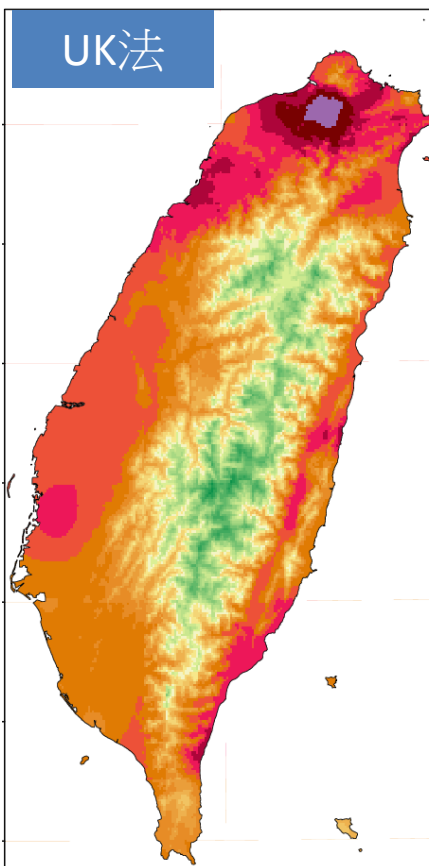
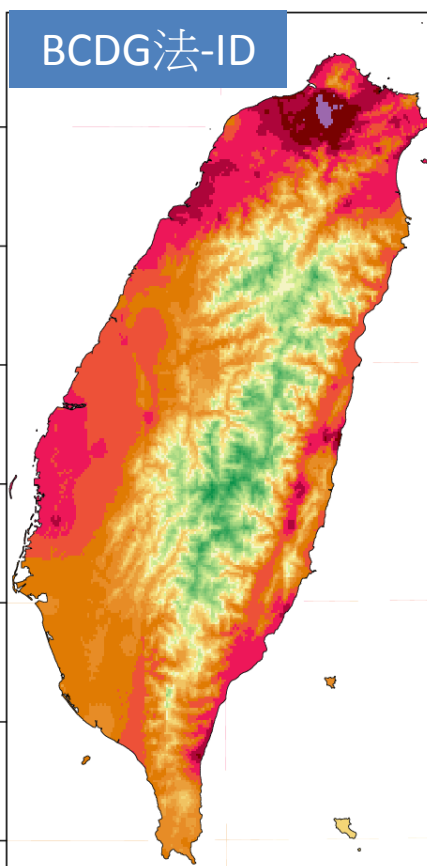
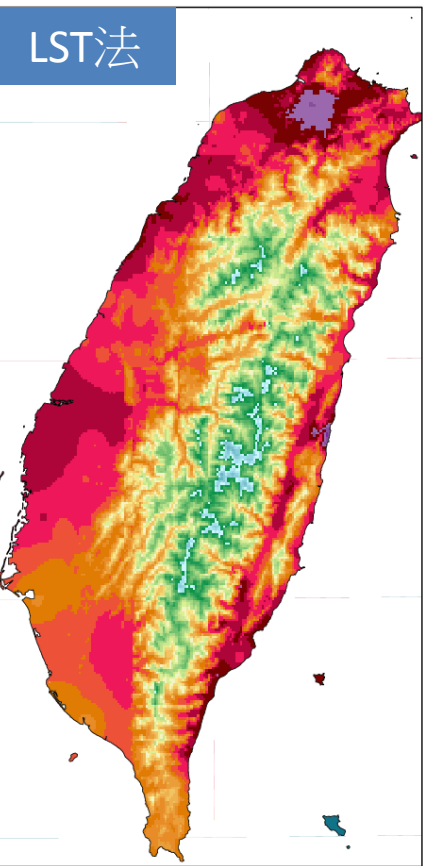
- LST法及UK法較能明顯表現出台東溫度現象

# 8/2 蘇拉颱風期間臺東焚風-OSE

- 高估低估測站總和數以UK法較佳
- UK法在台東地區有些測站高估，不過統計數值以UK表現較好
- 北部地區測站以UK法綠色點個數較多，LST法有些測站有高估現象

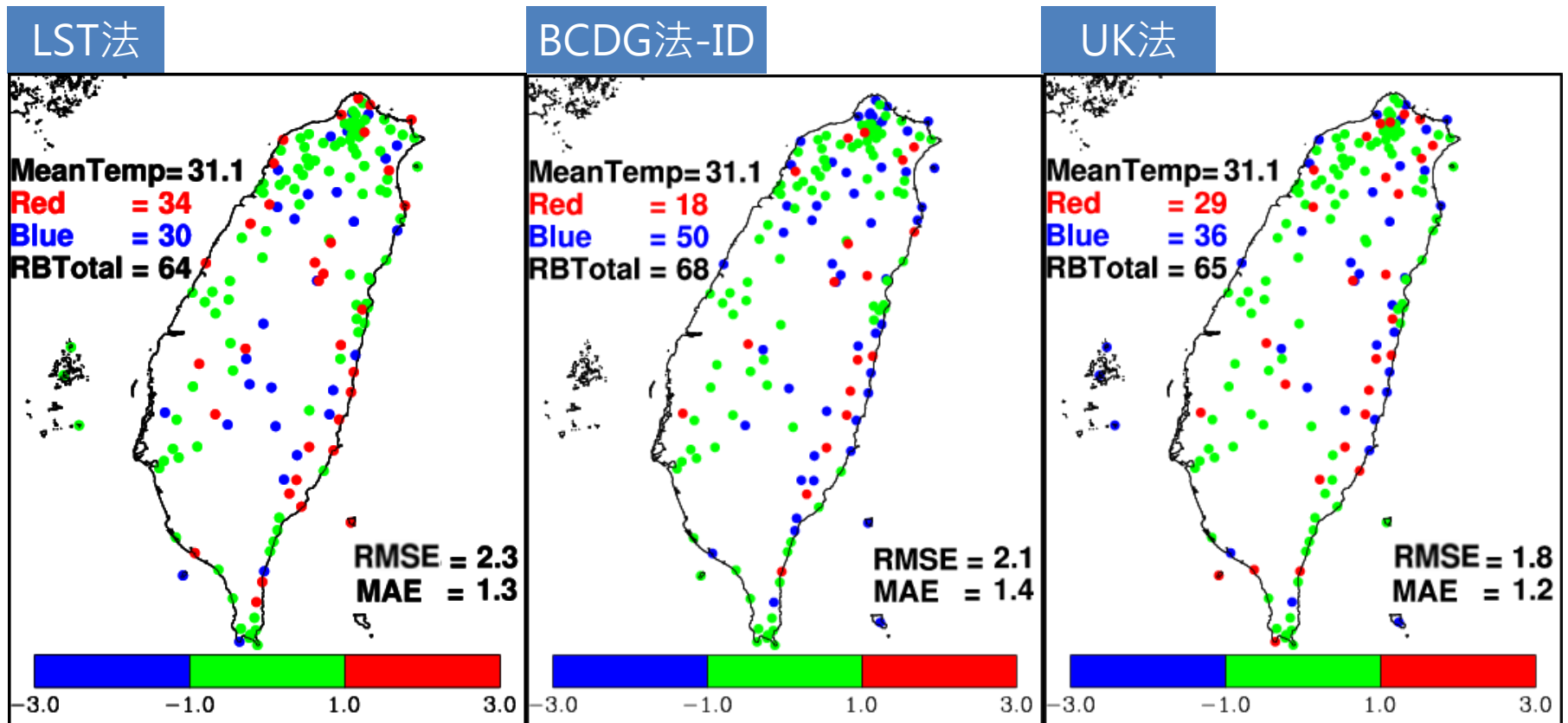


# 8/8 台北高溫36度基隆大武35度

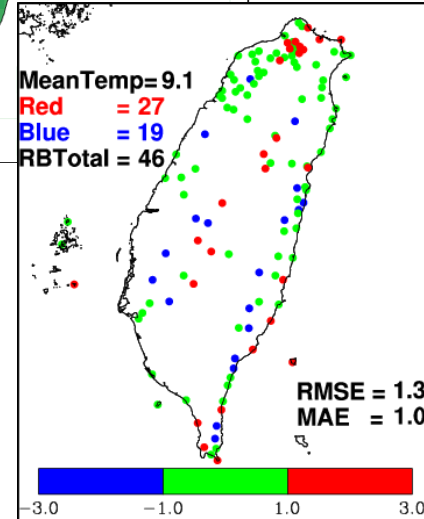
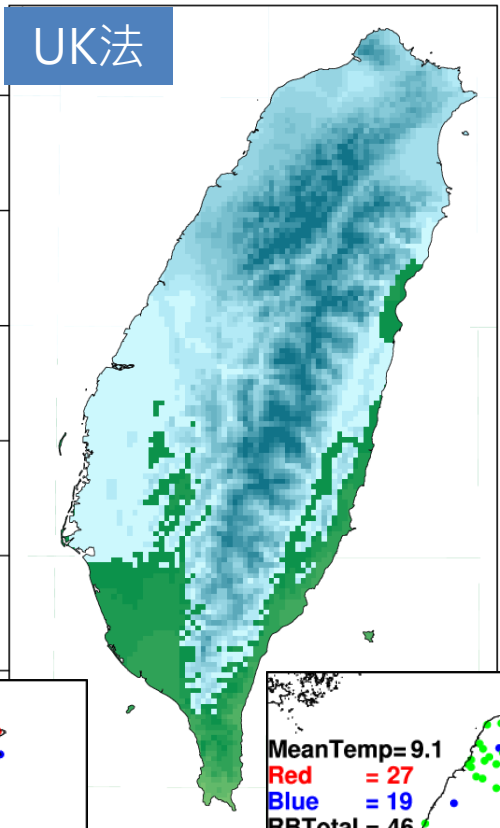
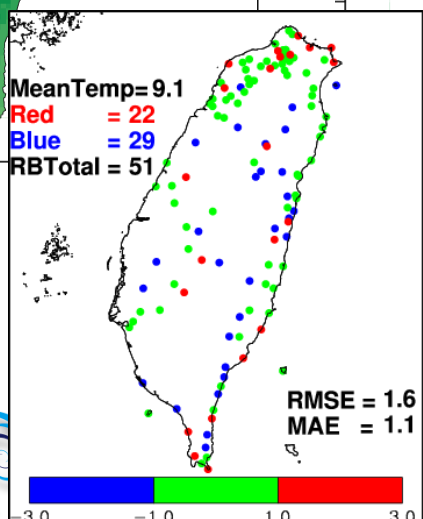
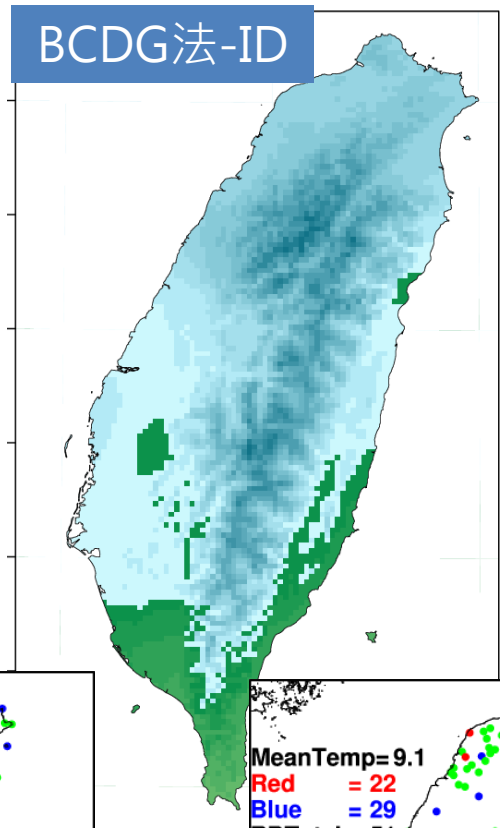
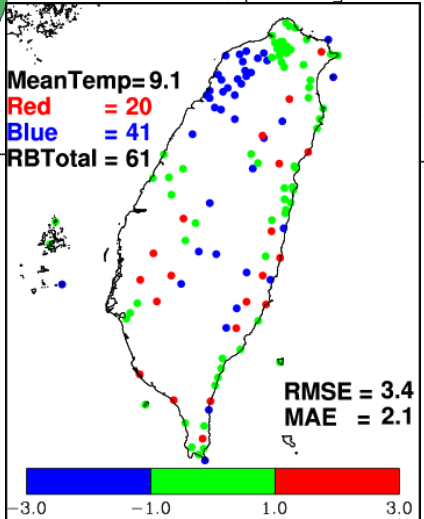
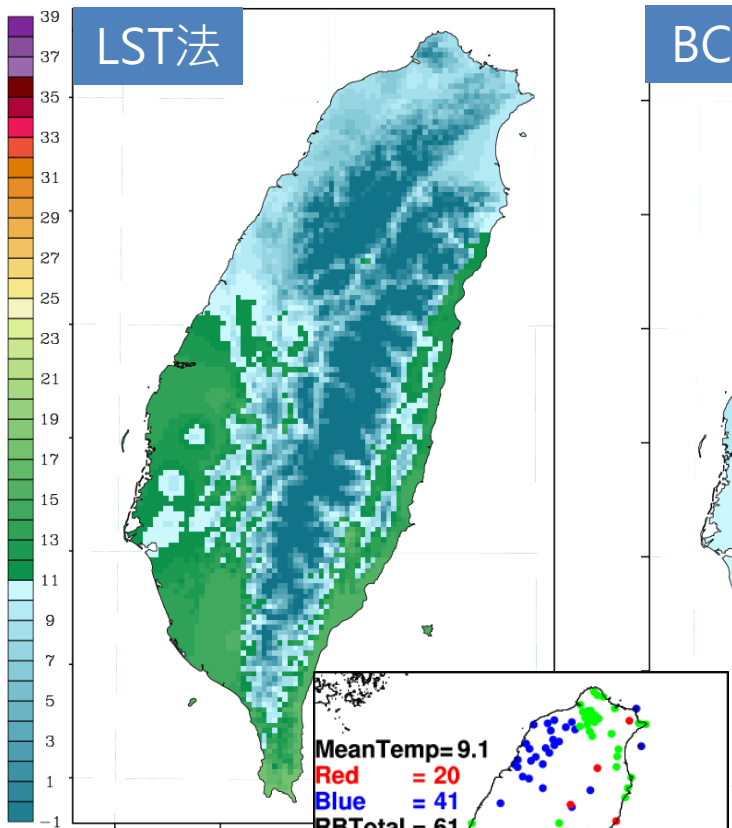


# 8/8 台北高溫36度基隆大武35度

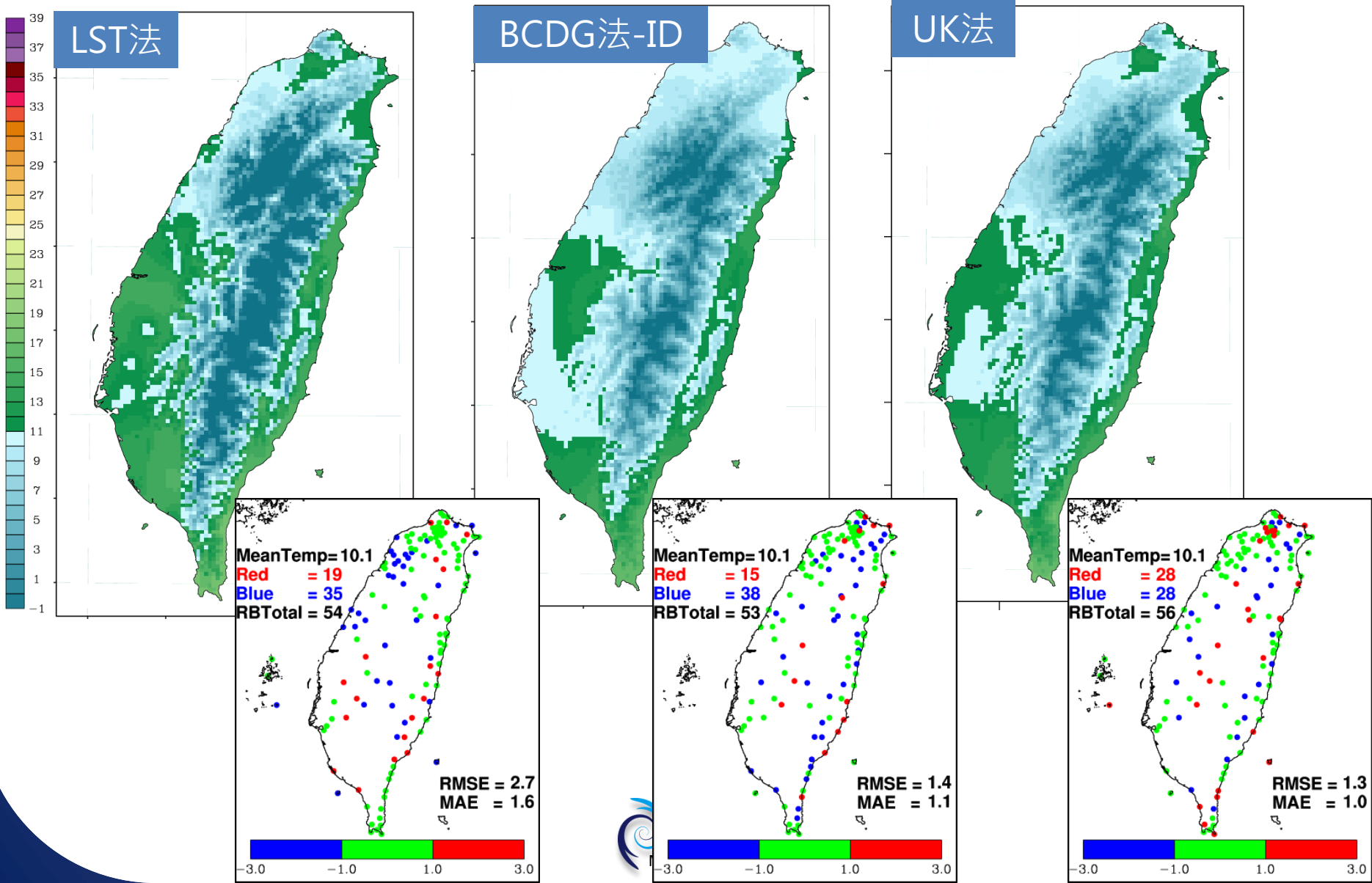
- 高估低估測站總和數LST法及UK法差異不大
- LST法及UK法在北部地區及大武表現差不多，BCDG則有較多較高誤差測站
- 統計數值以UK表現稍佳



# 12/30 冷天氣型態案例



# 2013 1/18 冷天氣型態案例



# 小結

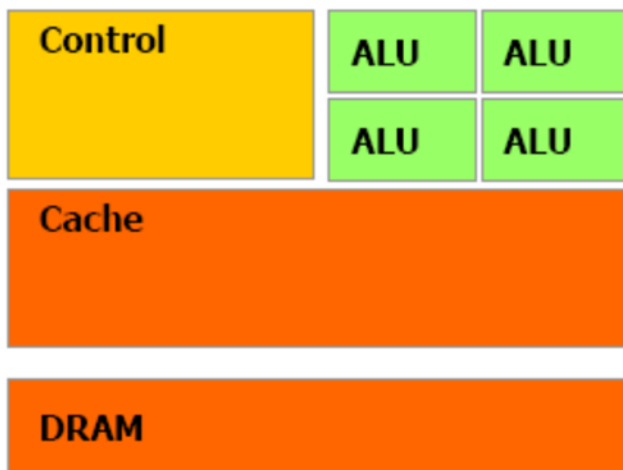
- LST法在高山有低估現象
  - 在冷天氣型態中，LST法在北部有不錯估計結果；但嘉南地區誤差較大
  - 在熱天氣型態中，LST法在北部會有不錯估計結果
- BCDG改以ID權重式面化結果較使用Cressman權重式為佳
- UK法整體統計數值較佳，且僅需測站溫度即可計算，建議作為產製高解析度產品之面化技術
- UK法產製高解析度產品需透過大量矩陣運算，亟需克服計算效率... (GFE 67,600 點需要32.219秒!)



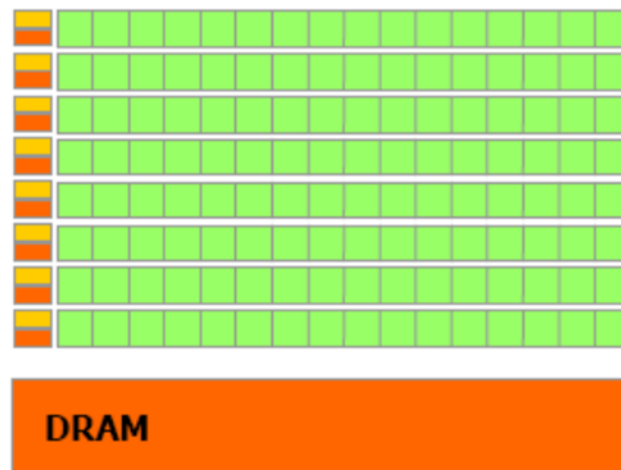
# GPU與 NVIDIA CUDA技術應用

# GPU vs. CPU 設計差異

- GPU (圖形處理器)與CPU (中央處理器)硬體差異
  - 最初專為 影像處理 所需之 計算密集 (compute-intensive) 、 高度平行計算 (highly parallel computation) 功能設計
  - 具大量 算術邏輯單元(ALU) 以滿足 資料處理 需求，有別於CPU以 資料快取 與 流程控制 為主要目的

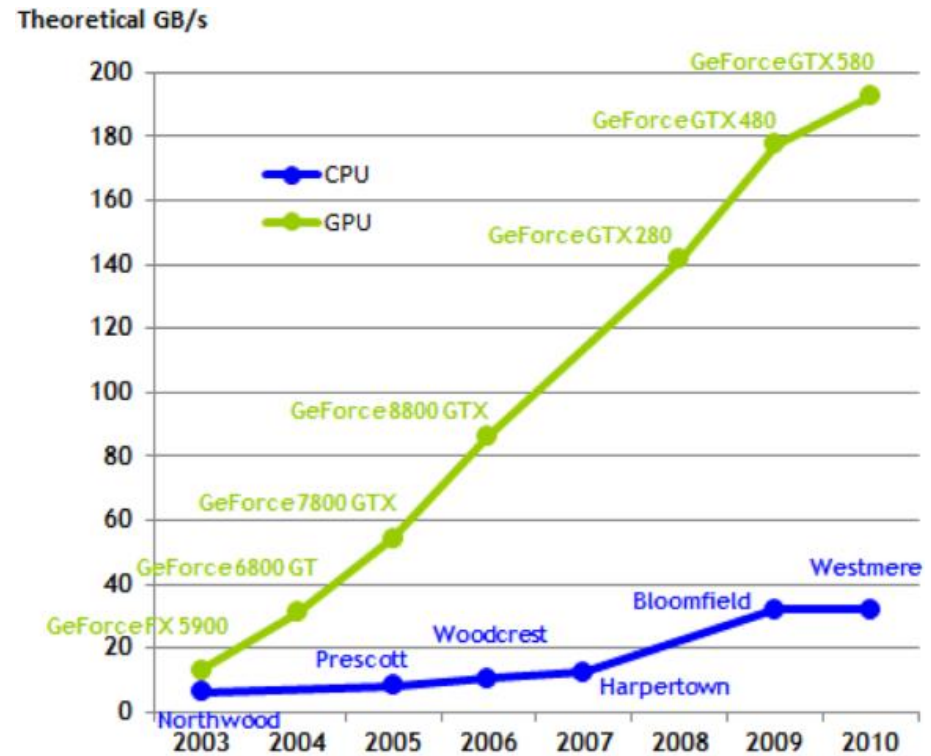
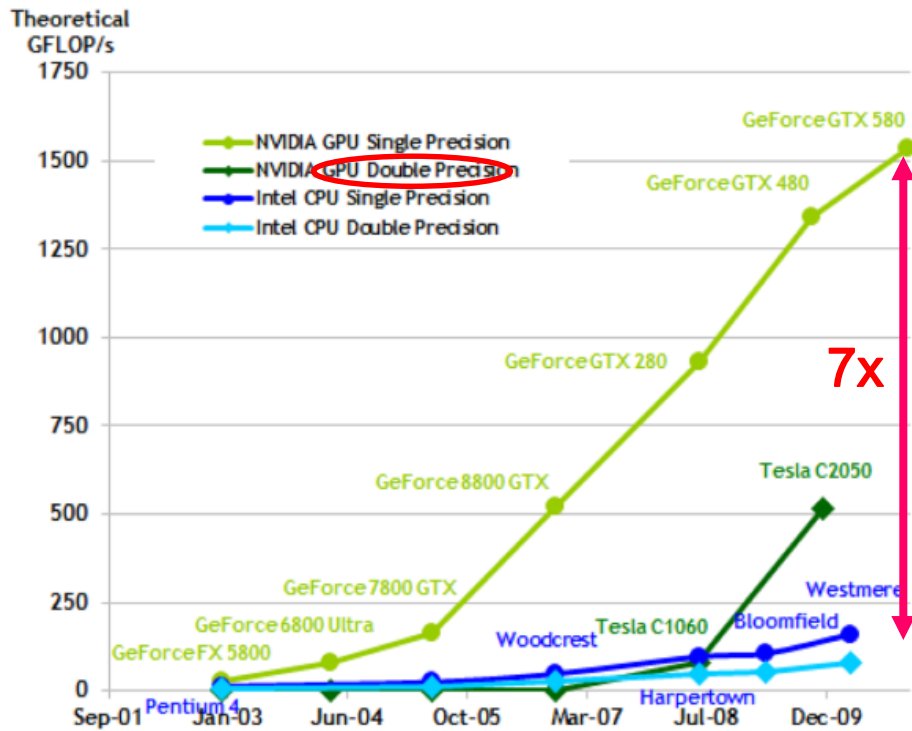


CPU



GPU

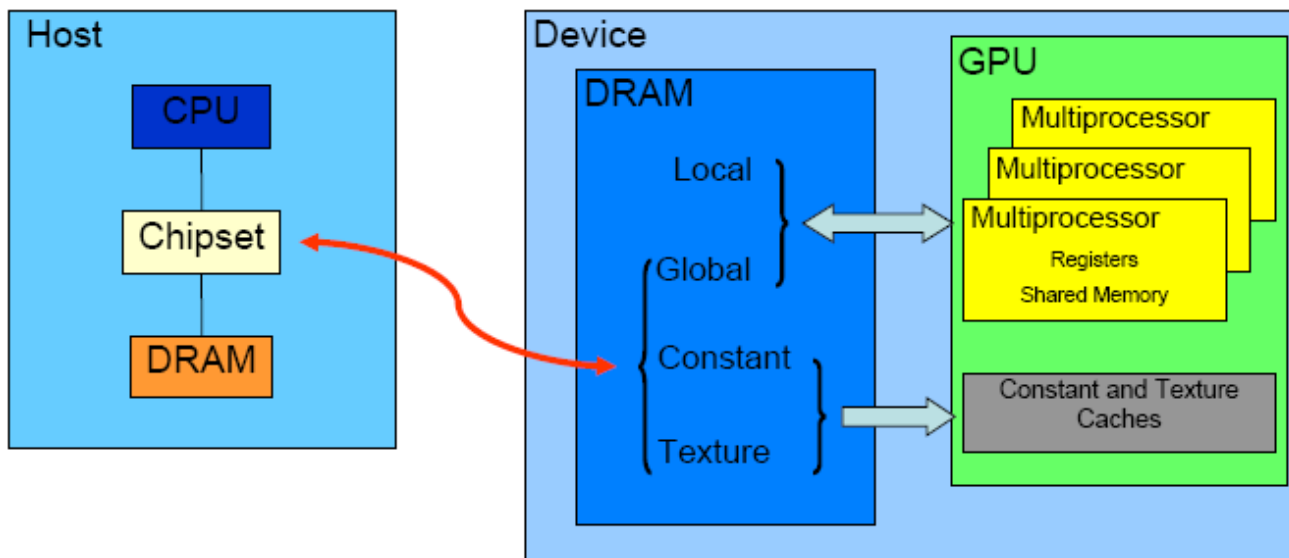
# GPU vs. CPU 計算能力比較



# NVIDIA KEPLER GPU



# GPU 記憶體類型



Memory(speed)	Location	Access	Scope	Life
Local	Off-Chip	R/W	One thread	Thread
Global (1x)		R/W	All threads + host	App.
Constant (~10x)		R	All threads + host	App.
Texture		R	All threads + host	App.
Shared (~100x)	On-Chip	R/W	All threads in a block	Block
Register (~100x)		R/W	One thread	Thread

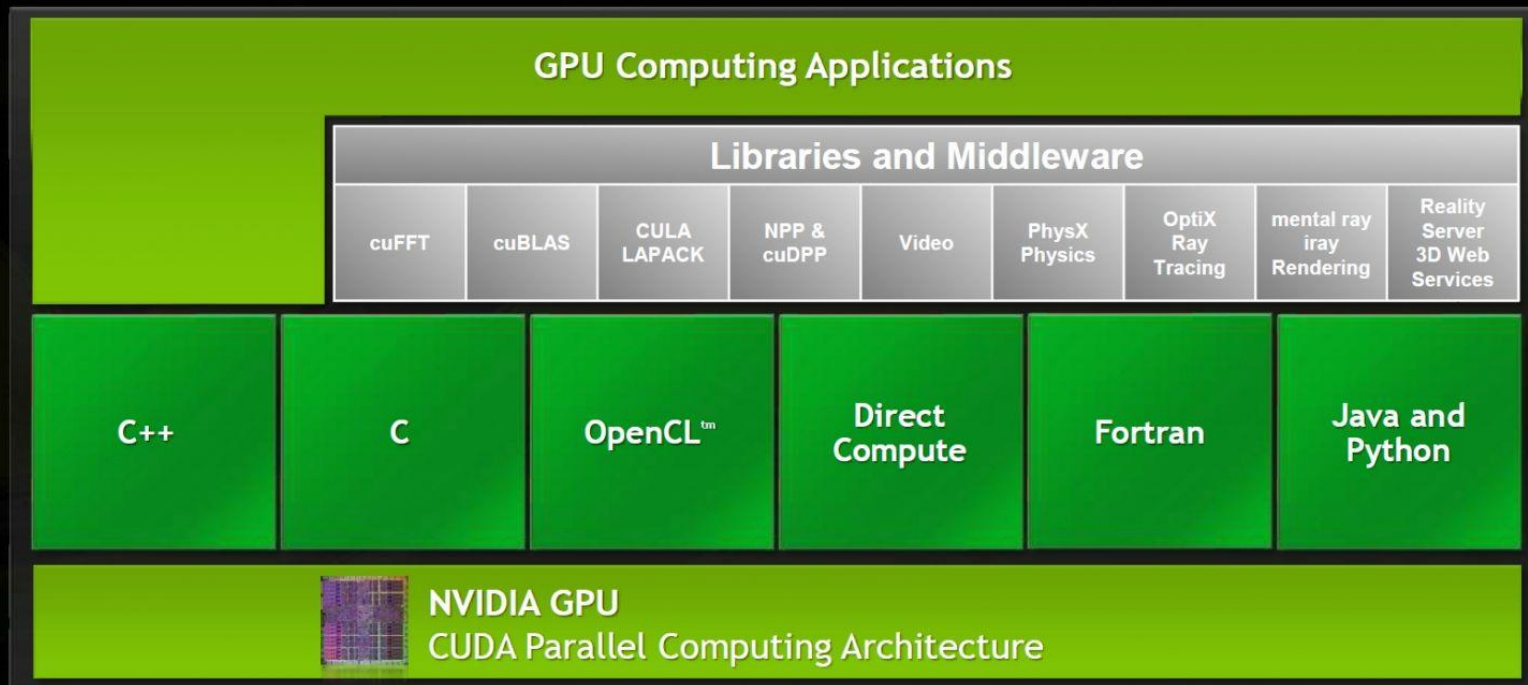
# CUDA ?

- Compute Unified Device Architecture

## CUDAの構成要素



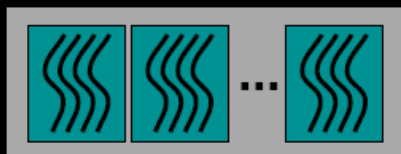
並列コンピューティングのための統合開発環境



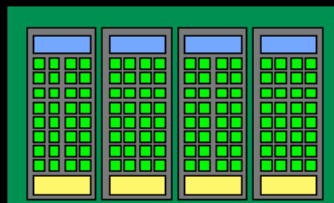
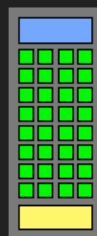
# GPU 應用程式開發

## Execution Model

### Software



### Hardware



Threads are executed by thread processors

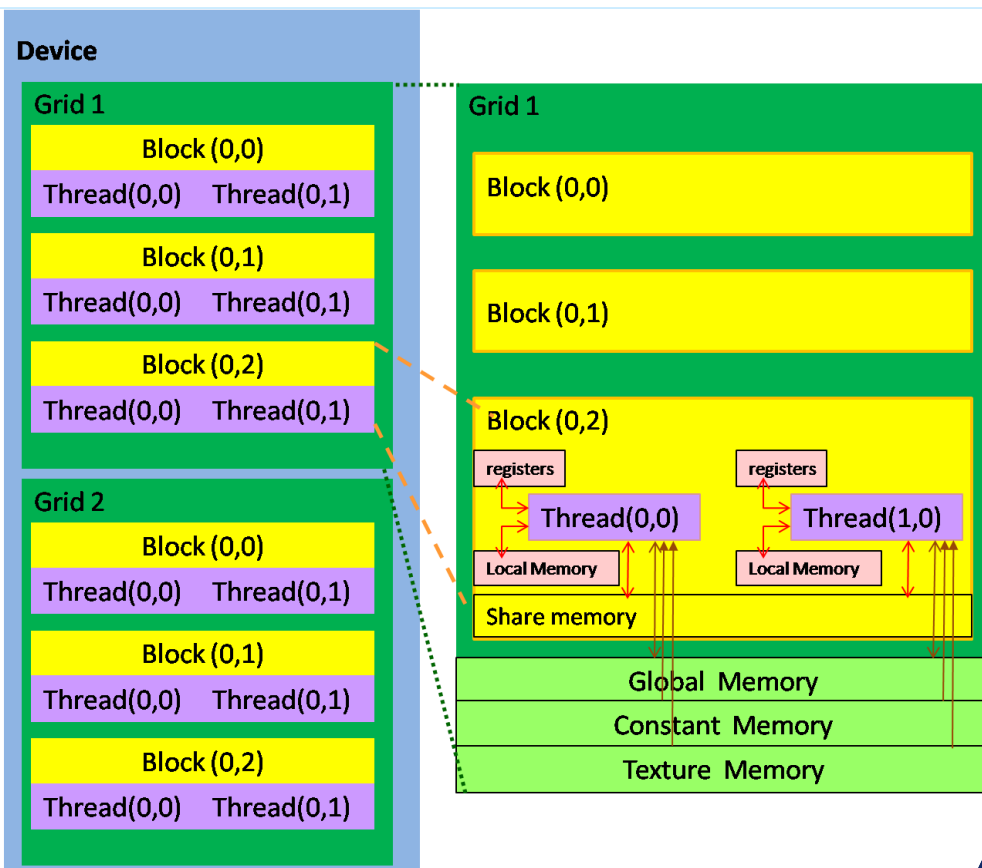
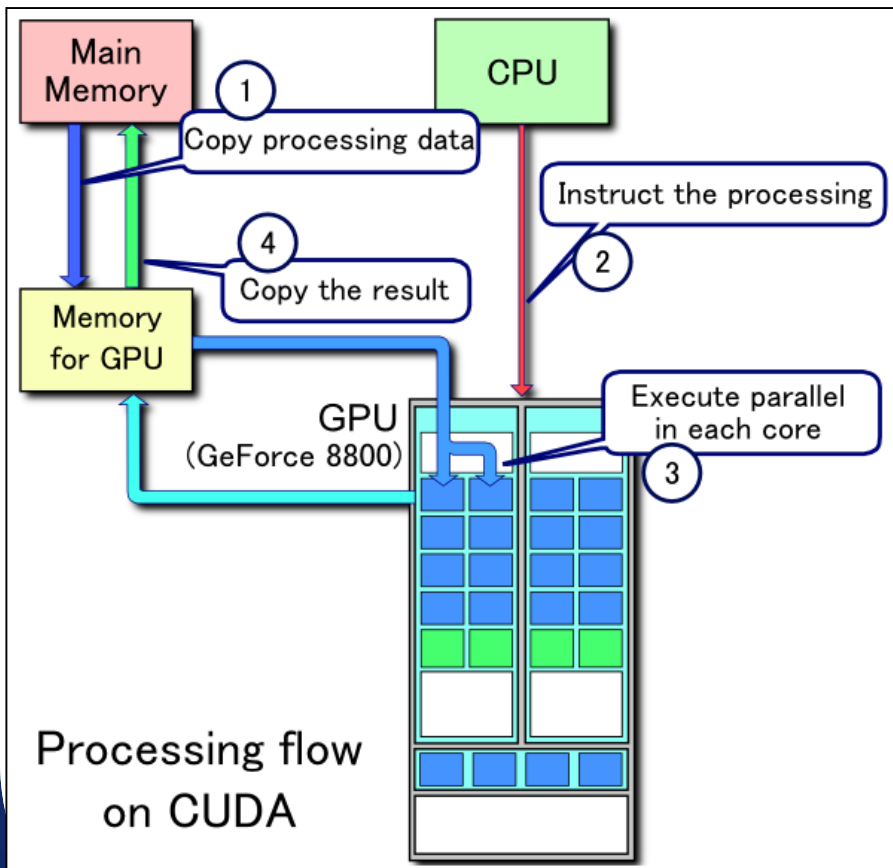
Thread blocks are executed on multiprocessors

Thread blocks do not migrate

Several concurrent thread blocks can reside on a multiprocessor

A kernel is launched on a device as a grid of thread blocks

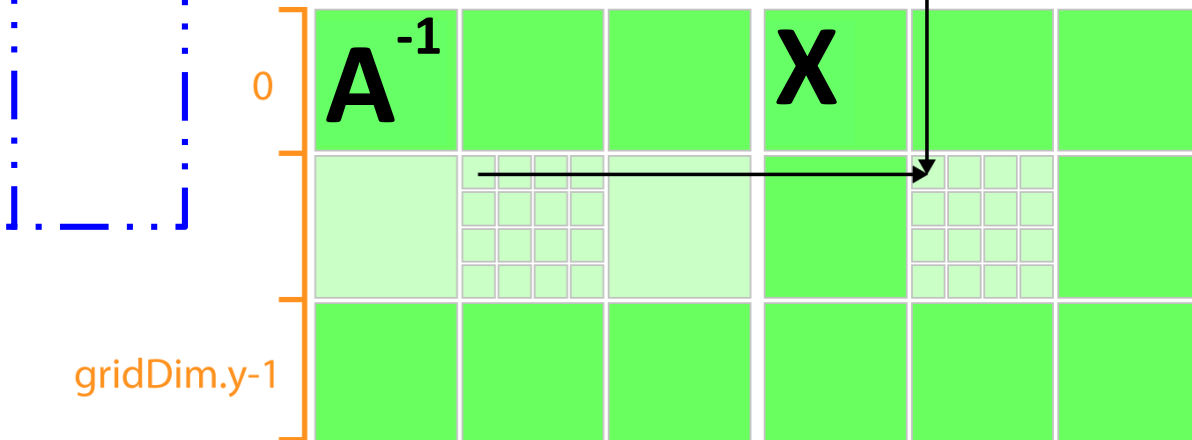
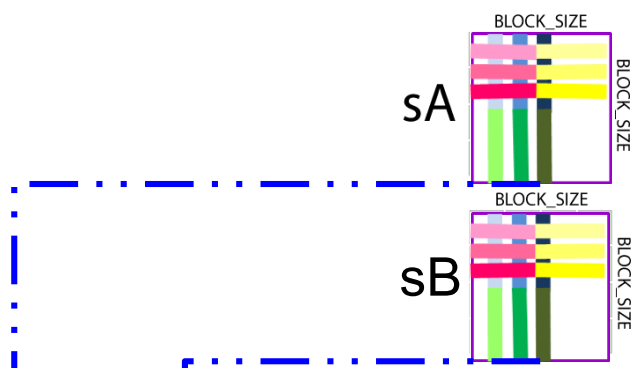
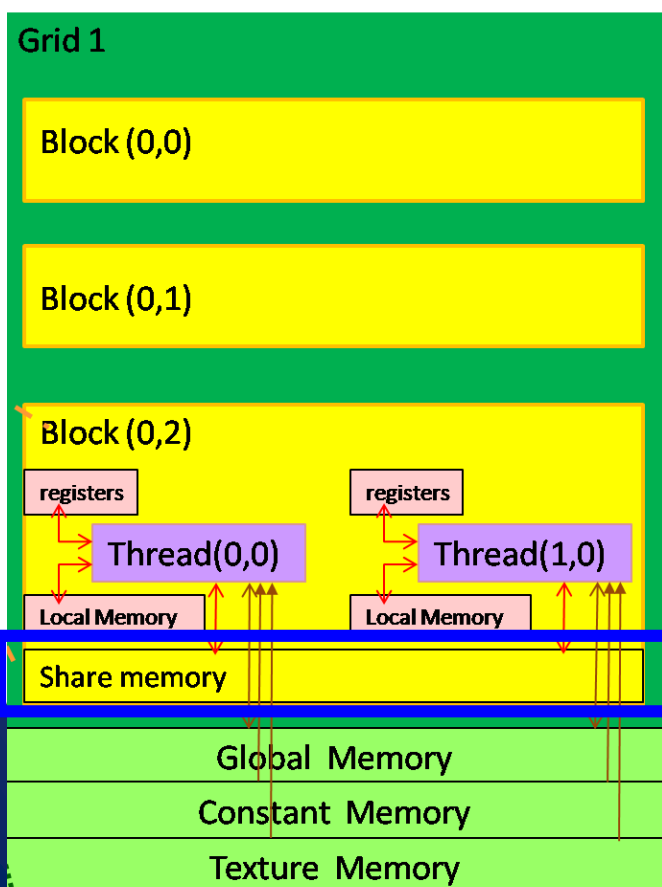
# GPU 協同 CPU 作業





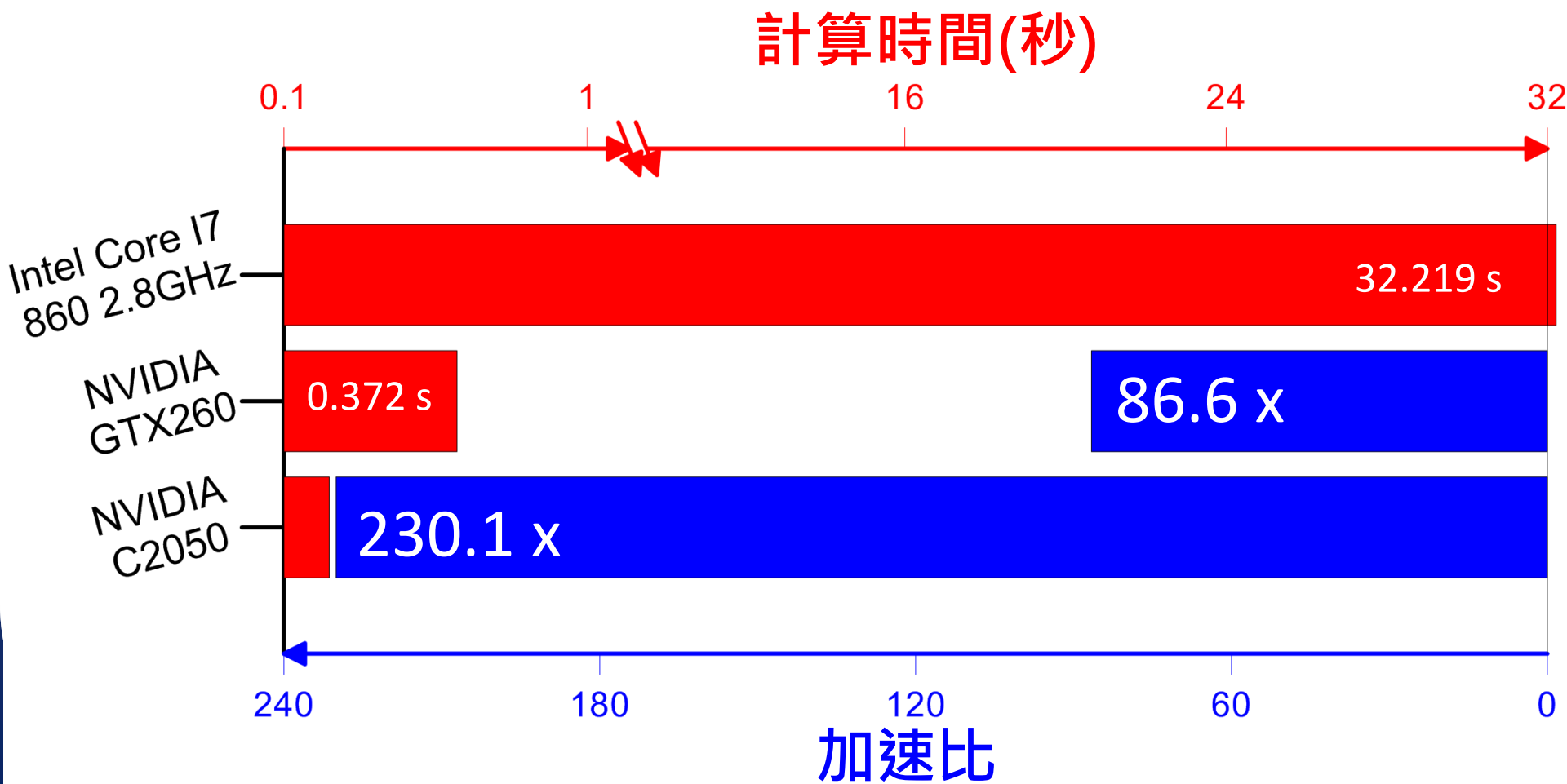
# UK法計算網格點權重係數

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{B} \Rightarrow \begin{bmatrix} \lambda_{1p_1} & \cdots & \lambda_{1p_m} \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ \lambda_{np_1} & \cdots & \lambda_{np_m} \\ v_{1p_1} & \cdots & v_{1p_m} \\ v_{2p_1} & \cdots & v_{2p_m} \\ v_{3p_1} & \cdots & v_{3p_m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{cov}(d_{11}) & \cdots & \text{cov}(d_{1n}) & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \text{cov}(d_{m1}) & \cdots & \text{cov}(d_{mn}) & 1 \\ 1 & \cdots & 1 & 0 \\ y_1 & \cdots & y_n & 0 \\ h_1 & \cdots & h_n & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \text{cov}(d_{1p_1}) & \cdots & \text{cov}(d_{1p_m}) \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ \text{cov}(d_{np_2}) & \cdots & \text{cov}(d_{np_m}) \\ 1 & \cdots & 1 \\ y_{p_1} & \cdots & y_{p_m} \\ h_{p_1} & \cdots & h_{p_m} \end{bmatrix}$$



# UK法GPU化之加速比

面化GFE範圍內67,600個格點溫度值比較



# 研究綜整

- LST法在高山有低估現象
  - 在冷天氣型態中，LST法在北部有不錯估計結果；但嘉南地區誤差較大
  - 在熱天氣型態中，LST法在北部會有不錯估計結果
- BCDG改以ID權重式面化結果較使用Cressman權重式為佳
- UK法整體統計數值較佳，且僅需測站溫度即可計算，建議作為產製高解析度產品之面化技術
- UK法計算所需之大量矩陣運算，可藉由NVIDIA CUDA技術結合GPU計算資源大幅提升計算效率

簡報結束  
敬請指教