

# 中央氣象局全球模式診斷校驗系統

李齊祐<sup>1</sup> 洪忠和<sup>2</sup> 王志嘉<sup>2</sup> 蘇胤瑞<sup>2</sup> 張庭槐<sup>2</sup> 江晉孝<sup>2</sup>

資拓宏宇國際股份有限公司<sup>1</sup> 中央氣象局科技中心<sup>2</sup> 中央氣象局資訊中心<sup>2</sup>

## 摘要

中央氣象局於2016年底引進NOAA NCEP/EMC Global Model Experimental Forecast Performance Statistics系統，同時進行本土化作業，建置全球模式診斷校驗系統(Global Verification system，簡稱GVER)，GVER能快速提供全球模式決定性數值預報之校驗產品，並有統一校驗產品平台，除了使局內人員在發展模式時能和國際間模式衡量有一定的基準，也得以有效的獲得模式產品優劣診斷校驗的表現。

GVER過去僅提供全球模式校驗產品，而自2016年至今年持續對系統進行新增和開發，新增了四個校驗功能上的擴充，大幅提升了產品的豐富度，第一：基於系統之IPO模型開發區域模式校驗功能，使GVER可校驗區域模式，在模式的解析度上也沒有限制；第二：建置格點模式對觀測資料校驗套件(Grid-to-Observation，簡稱G2O)，利用將格點模式資料內插至地面及探空觀測點的方式，實現模式與觀測值的校驗；第三：建置系集模式校驗套件，提供多個系集模式間及不同系集數間的比較；第四：建置系集模式雨量校驗套件，以衛星反演資料作為觀測值，提供不同系集模式於雨量表現的校驗。

本次功能擴充一舉增加了大量的校驗產品，但仍能在產品平台上以相似的操作邏輯選取產品，除了代表著系統的彈性及易用性，也期望能使局內模式發展人員獲得更多的研發動能。

關鍵字：模式校驗、區域模式、系集模式、觀測資料

## 一、前言

極端氣候事件的發生至今仍持續頻傳，災害來臨時除了被動的應對，數值天氣預報模式帶來的主動預防效果更顯得重要，因此模式的發展也成為了重要的課題，而在模式研發時會需要多種的校驗基準，來幫助研發人員去鑑別開發方向的好壞。

中央氣象局於2016年建置全球模式診斷校驗系統(GVER)，局內模式發展人員藉由操作系統提供的模式校驗產品平台，比較各個模式表現優劣之處，可有效的獲得模式研發指引。而為了能讓模式研發人員得到更多面向的思考，GVER自2016年上線後持續進行新增和開發，使系統能提供更廣泛的校驗產品。

本論文第二節介紹GVER的軟硬體環境，第三節針對本次新增校驗功能的開發方向或架構進行說明，第四節說明此次新增的校驗產品，第五節說明未來整體規劃。

## 二、系統架構介紹

GVER主要接收氣象局氣象資料處理系統(Meteorological Data Processing System，MDPS)所提供的國外和局內產製的全球數值模式天氣預報資料，另也取用國外其他觀測資料，將上述三種資料輸入至校驗系統中計算統計數值，從而建立VSDB(Verification Statistic Database Record)，並再利用VSDB產製校驗圖表以及得分表(ScoreCard)。

GVER另外也會透過直接讀取模式資料產製二維校驗產品(2D map)，以上產品最後皆以網頁形式呈現，以利使用者可以更快速的分析模式表現。

### (一) 軟、硬體及網路作業環境

#### 硬體環境

1. 主機：Intel Xeon 2.4 GHz。
2. 記憶體：125GB。
3. 硬碟容量：200TB。
4. 網路介面：TCP/IP。

#### 軟體環境

1. 作業系統：CentOS Linux release 7.2 (Core)
2. 發展工具：KornShell、html、GrADS v1.8  
以上、Vue.js、Python、F77/F90/gcc/gfortran  
編譯程式。

## 三、擴充功能開發方向/架構介紹

本次GVER功能擴充當中，區域模式校驗和格點對觀測點校驗(G2O)兩者的建置較為特別，前者是基於全球模式校驗的IPO模型進行開發，後者則有著相對特殊的校驗程序，以下分別對其介紹。

### (一) 區域模式校驗程式開發

GVER在進行全球模式校驗時，其中關鍵的校驗得分資料便是VSDB，因VSDB含有的各統計數值為後續校驗繪圖以及ScoreCard產製時所用，故若使GVER得以產出區域模式的校驗產品，則須先獲得基於區域模式資料計算出的VSDB。

GVER先前在計算全球模式VSDB的流程可大致分為三個步驟，第一步：將全球模式資料解析度轉換為設定的校驗解析度(G2:2.5°x2.5°，G3:1°x1°)，並創建相同解析度的全球經緯度網格矩陣，第二步：將模式資料讀入該矩陣，如此一來則可以使資料點帶有經緯度資訊，第三步：依照所設定欲校驗的經緯度範圍，計算範圍內的資料值，獲得VSDB。

此次區域模式校驗開發便是針對以上流程第一步，修改程式使GVER不調整區域模式資料解析度，並創建符合模式資料範圍及解析度的經緯度網格矩陣，如此一來便能產出區域模式的VSDB、後續的校驗繪圖以及ScoreCard。而2D map校驗產品是藉由GrADS直接讀取模式資料來繪製的，計算程序相對簡單，故對該部份的程式進行小部份的調整即可符合區域模式校驗。

## (二) G2O校驗程序

G2O為模式格點資料和BUFR(Binary Universal Form for the Representation of meteorological data)格式觀測點資料之間的校驗，因為兩者有著相當不同的資料格式及架構，因此在校驗前需要將其統一以利計算，完整校驗程序於以下說明。

G2O校驗程序可分為三個步驟，第一步：過濾取得觀測值所使用的觀測方式，因BUFR資料含有來自不同觀測方式所得到的觀測資料，如地面測站、剖風儀、投落送或海上浮標等，此處便可選擇取得觀測值的途徑，第二步：將格點模式資料內插至觀測資料的指定層場，使觀測點上含有觀測和模式的數值，第三步：依照設定的範圍、變數、觀測途徑以及層場進行校驗。

## 四、校驗產品內容

本次介紹的四個校驗功能，包括：區域模式校驗、G2O校驗、系集模式校驗和系集模式雨量校驗，提供的產品各有異同之處，以下分別對其介紹。

### (一) 區域模式校驗產品

此套件能提供2D map以及基本7種校驗分數產品，包括：Bias、RMSE、Murphy's MES Skill Score、Ratio of Standard Deviation、RMSE from Mean Difference、RMSE from Pattern Variation、Pattern Correlation，大致與原先全球模式相同，唯目前尚無相同區域及解析度之氣候背景值或其他模式資料，故無法產出和氣候資料有關之Anomaly Correlation得分及ScoreCard，產品範例見圖二。

### (二) G2O校驗產品

此套件能提供3種校驗產品，包括：模式和觀測值個別平均和兩者之間的相差值、RMS、RMSE，產品範例見圖三。

### (三) 系集模式校驗產品

此套件能提供8種校驗產品，包括3種決定型校驗產品：RMSE and Spread、Mean Error and Mean ABS Error、Anomaly Correlation，3種機率型校驗產品：Brier Skill Scores、Ranked Probability Skill Scores、Continuous Ranked Probability Scores，2種

統計型校驗產品：Economic Values、Histogram Distribution，統計型校驗使用到的Contingency Table / Confusion matrix見圖一、產品範例見圖四，以下則列出計算校驗分數所使用的公式：

#### 1. Brier Scores (BS)

$$\begin{aligned} BS &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W_{area} (P_i - O_i)^2 \\ &= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^K W_{area} n_k (P_k - \bar{O}_k)^2 \\ &\quad - \frac{1}{N} \sum_{k=1}^K W_{area} n_k (\bar{O}_k - \bar{O})^2 + \bar{O}(1 - \bar{O}) \end{aligned}$$

#### 2. Brier Skill Scores (BSS)

$$BSS = \frac{BS - BS_{reference}}{0 - BS_{reference}} = 1 - \frac{BS}{BS_{reference}}$$

#### 3. Ranked Probability Scores (RPS)

$$RPS = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M w_{area} \left[ \left( \sum_{k=1}^m P_k \right) - \left( \sum_{k=1}^m O_k \right) \right]^2$$

#### 4. Ranked Probability Skill Scores (RPSS)

$$RPSS = \frac{RPS - RPSS_{reference}}{0 - RPSS_{reference}} = 1 - \frac{RPS}{RPSS_{reference}}$$

#### 5. Continuous Ranked Probability Scores (CRPS)

$$CRPS = \int_{-\infty}^{\infty} w_{area} (P_f(x) - P_o(x))^2 dx$$

#### 6. Continuous Ranked Probability Skill Scores (CRPSS)

$$CRPSS = \frac{CRPS - CRPS_{reference}}{0 - CRPS_{reference}} = 1 - \frac{CRPS}{CRPS_{reference}}$$

#### 7. Relative Operating Characteristic (ROC)

POD(y) and FAR(x) area

#### 8. Histogram Distribution

C(i) of F(i), i is ensemble member

#### 9. Spread

$$SPREAD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N W_{area} (F_i - \bar{F})^2}$$

#### 10. Mean Error (ME)

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W_{area} (F_i - O_i)$$

### 11. Mean Absolutely Error (MAE)

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_{area} |F_i - O_i|$$

### 11. Mean Absolutely Error (MAE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_{area} (F_i - O_i)^2}$$

### 12. Anomaly Correlation (AC)

$$AC = \frac{\sum w_{area} (F - C)(O - C)}{\sqrt{\sum w_{area} (F - C)^2} \sqrt{\sum w_{area} (O - C)^2}} \text{ (uncentered)}$$

$$= \frac{\sum w_{area} [(F - C) - \overline{(F - C)}][\overline{(O - C)} - (O - C)]}{\sqrt{\sum w_{area} (F - C)^2} \sqrt{\sum w_{area} (O - C)^2}} \text{ (centered)}$$

### 13. Economic Values (EVAL)

$$V = \begin{cases} \frac{\frac{C}{L}(hits + false\ alarm - 1) + misses}{\frac{C}{L}(P_{ctm} - 1)}, & \frac{C}{L} < P_{ctm} \\ \frac{\frac{C}{L}(hits + false\ alarm - 1) + misses - P_{ctm}}{P_{ctm}(\frac{C}{L} - 1)}, & \frac{C}{L} \geq P_{ctm} \end{cases} \quad \frac{C}{L} \cdot \frac{Cost}{Loss} \text{ Ratio}$$

### (四) 系集模式雨量校驗產品

此套件能提供7種校驗產品，包括2種決定型(系集平均)校驗產品：RMSE and Spread、Mean Error and Mean ABS Error、，3種機率型校驗產品：Continuous Ranked Probability Scores、Brier Scores and Brier Skill Scores、Reliability Diagram，2種統計型校驗產品：ETS and TSS、ETS, TSS and MCC，產品範例見圖五，以下則列出計算校驗分數所使用的公式(已在系集模式校驗提及者不列出)：

#### 1. Bias

$$BIAS = \frac{hits + false\ alarms}{hits + misses}$$

#### 2. TSS

$$TSS = \frac{hits}{hits + misses} + \frac{false\ alarm}{false\ alarm + correct\ negatives}$$

#### 3. ETS

$$ETS = \frac{hits - hits_{random}}{hits + misses + false\ alarms - hits_{random}}$$

$$hits_{random} = \frac{(hits + misses) * (hits + false\ alarms)}{total}$$

### 4.MCC

$$MCC = \frac{(hits * correct\ negatives) - (false\ alarms * misses)}{\sqrt{(observed\ yes) * (observed\ no) * (forecast\ yes) * (forecast\ no)}}$$

### 5.Reliability

$$Reliability = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^K w_{area} n_k (P_k - \overline{O_k})^2$$

### (二) 資料及產品規格說明

此次新增了四大類校驗方式，包括：區域模式校驗、G2O校驗、系集模式校驗、系集雨量校驗，以下針對各自使用的資料以及產品規格進行說明。

#### 1. 區域模式校驗

(1) 使用資料：中央氣象局區域模式

(2) 校驗區域：

區域	範圍
Full Domain	104.845E-142.544E, 13.666N-31.012N
Taiwan Domain	110.048E-129.978E, 15.045N-29.996N

(3) 空間與時間解析度：使用麥卡托投影，經度方向解析度約0.49°，緯度方向解析度約0.45°，每日早上9點提供前一日模式00Z、預報時長0h-240h(間隔24小時)之校驗產品。

#### 2. G2O校驗

(1) 使用資料：模式資料共四種，包括：中央氣象局全球預報模式、美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)全球預報模式、歐洲中期天氣預報中心(European Centre for Medium - Range Weather Forecasts, ECMWF)全球預報模式、日本氣象廳(Japan Meteorology Agency, JMA)全球預報模式，觀測資料使用 PrepBUFR(Prepared or QC'd data in BUFR format)

(2) 校驗區域：

區域	範圍
Asia	60E-180E, 5S-55N
Taiwan	110E-130E, 15N-30N
User defined region	118E-123E, 21N-26.5N

(3) 空間與時間解析度：空間解析度為2.5°，於每日凌晨1點提供前一日模式00Z和12Z、預報時長0h-168h(間隔12小時)之校驗產品。

#### 3. 系集模式校驗

(1) 使用資料：CWBGEPS系集模式、NCEPGEFS系集模式

(2) 校驗區域：

區域	範圍
Northern Hemisphere	20N-80N
Tropical	20S-20N
Southern Hemisphere	20S-80S
East Asia	5S-55N, 60E-180E

(3) 空間與時間解析度：空間解析度為2.5°，於每日晚上10點提供前一日模式00Z之預報時長0h-480h（間隔24小時）之校驗產品，早上8點提供前一日之12Z校驗產品。

#### 4. 系集雨量校驗

(1) 使用資料：模式資料使用CWB GEPS系集模式及NCEP GEFS系集模式，觀測資料使用IMERG(Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM)衛星反演資料

(2) 校驗區域：

區域	範圍
Northern Hemisphere	20N-80N
Tropical	20S-20N
Southern Hemisphere	20S-80S
East Asia	5S-55N, 60E-180E

(3) 空間與時間解析度：空間解析度為1°，於每日晚上10點提供前一日模式00Z之預報時長0h-384h（間隔24小時）之校驗產品。

### 五、未來展望與規劃

GVER此次新增了區域模式校驗、G2O校驗、系集模式校驗和系集雨量校驗共四種新產品，而在新增大量產品的情形下使用者仍能透過和過去類似操作邏輯的網頁，方便的瀏覽各種產品，除此之外，各校驗套件是以模組化的方式進行建置，更有利於未來系統的擴充或串接。

雖然各校驗套件最終提供的產品顯示網頁相似，但校驗設定檔的格式和邏輯卻有所不同，因此規劃未來將統一其風格，降低使用GVER不同校驗套件的學習成本，保持GVER邏輯統一、容易操作並且有著高可擴充性的優點，也期待模式研發人員能受惠於此，為中央氣象局的數值天氣預報發展增添助力。

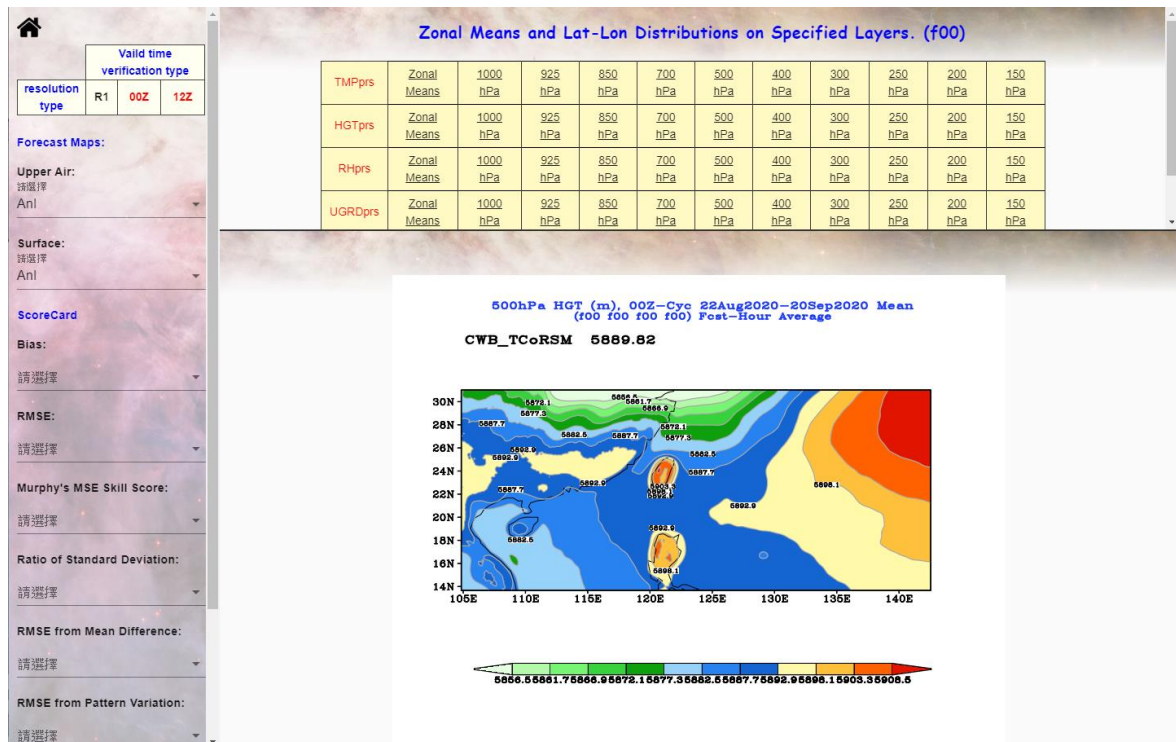
### 六、參考文獻

- 葉天降、滕春慈、黃麗玫、馮欽賜、張庭槐，2012：中央氣象局數值天氣預報作業系統(一)歷史演進。氣象學報，48，53-68。
- 葉天降、馮欽賜、柳再明、陳得松、黃康寧、陳雯美、汪鳳如、洪景山，2012：中央氣象局數值天氣預報作業系統(二)預報模式概況。氣象學報，48，69-95。
- Fanglin Yang for NCEP Global NWP Model Verification Package and knowledge of the VSDB file structure.

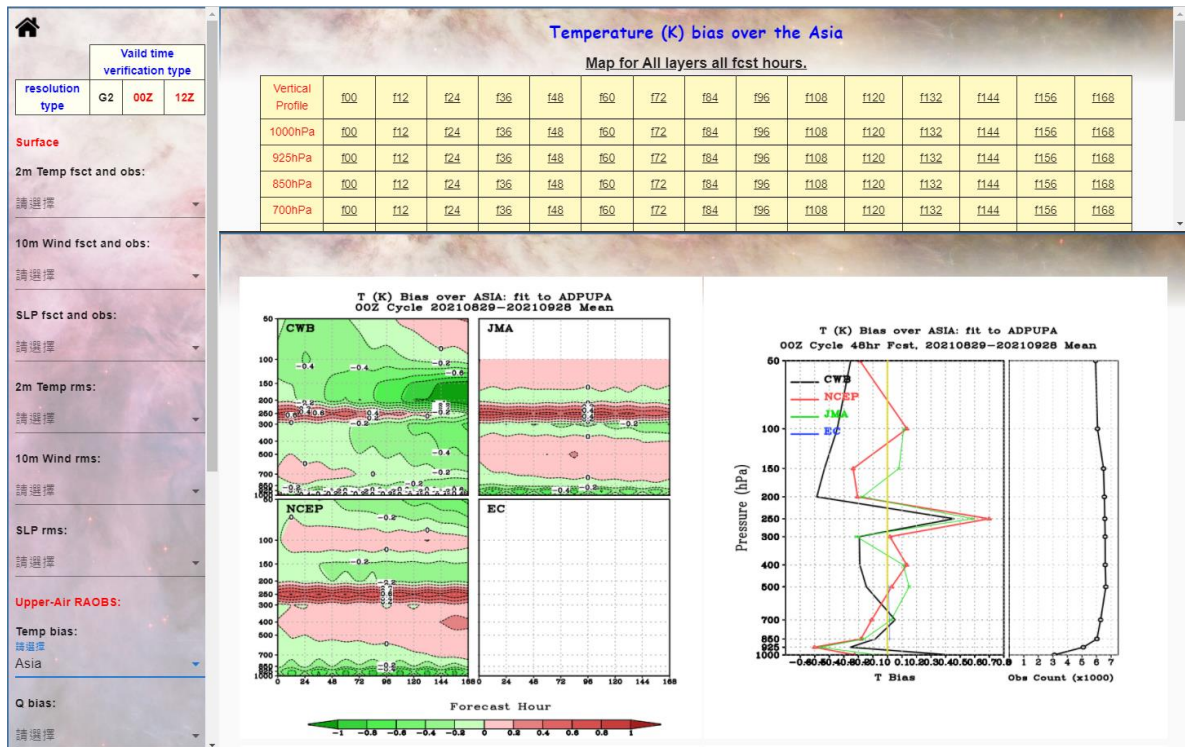
### 六、附圖

Contingency Table				
		Observed		Total
		yes	no	
Forecast	yes	Hits(H/TP)	false alarms(F/FP)	forecast yes
	no	Misses(M/FN)	correct negatives(NC/TN)	forecast no
Total		observed yes	observed no	total

圖一、統計型校驗使用之Contingency Table / Confusion matrix



圖二、區域模式校驗產品顯示網頁之2D map校驗產品圖例



圖三、G20校驗產品顯示網頁之垂直剖面校驗產品圖例

Valid time verification type

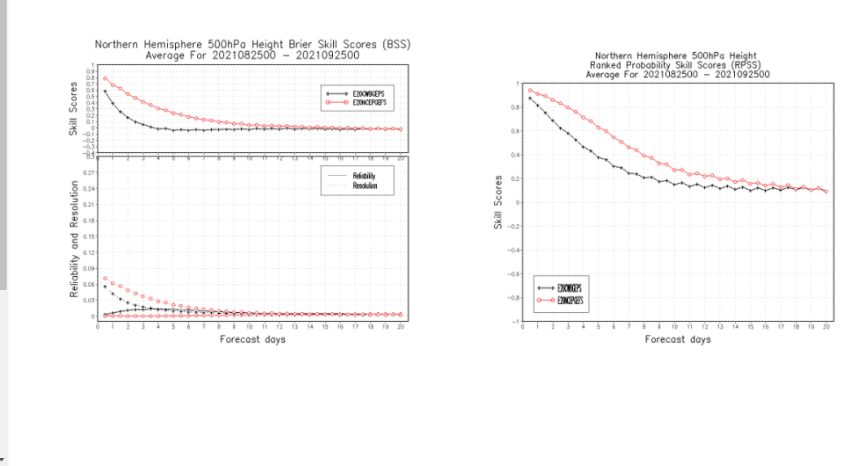
resolution type	G2	00Z	12Z
	G3	00Z	12Z

Grid to Grid verification

- Scorecard
- Anomaly Correlation
- Bias & RMSE Meta analysis
- Mean of surface variable
- 2D map of pressure level
- 2D map of surface level
- Ensemble verification
  - Ordinary variables
    - U250
    - V250
    - Z500
    - U850
    - V850
    - T850

### Ensemble Verification Score of Z500

North Hemisphere(20N-80N)	Tropical(20S-20N)	South Hemisphere(20S-80S)	East Asia(5S-55N,60E-180E)
BSS/RPSS	BSS/RPSS	BSS/RPSS	BSS/RPSS
CRP/CRPS	CRP/CRPS	CRP/CRPS	CRP/CRPS
ROC	ROC	ROC	ROC
HIS	HIS	HIS	HIS
RMS	RMS	RMS	RMS
ERR	ERR	ERR	ERR
PAC	PAC	PAC	PAC



圖四、系集校驗產品顯示網頁之Berier Skill Scores/Ranked Probability Scores產品圖例

Valid time verification type

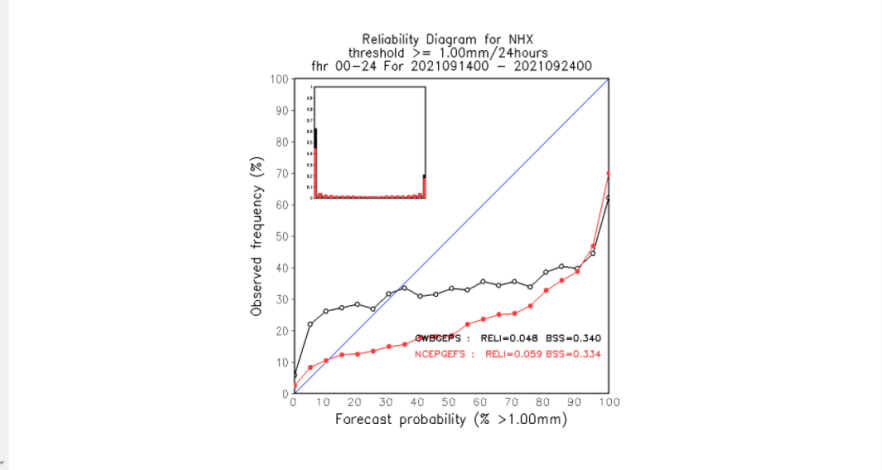
resolution type	G2	00Z	12Z
	G3	00Z	12Z

Grid to Grid verification

- Scorecard
- Anomaly Correlation
- Bias & RMSE Meta analysis
- Mean of surface variable
- 2D map of pressure level
- 2D map of surface level
- Ensemble verification
  - Ordinary variables
    - CRPS/RMSE/MERR
    - ETS/Bner/ETSSKILL
    - RELI
  - Ordinary variables - weekly

### Ensemble Rainfall Verification Score of RELI

	North Hemisphere(20N-80N)	Tropical(20S-20N)	South Hemisphere(20S-80S)	East Asia(5S-55N,60E-180E)	CONUS(20N-75N,40W-0W)	Taiwan Region(15N-30N,110E-130E)
threshold > 1.00	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16
threshold > 2.00	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16



圖五、系集雨量校驗產品顯示網頁之Reliability產品圖例