

行政院所屬各機關出國報告
(出國類別：實習)

動力氣候預報系統發展計畫
實習報告

服務機關：交通部中央氣象局

姓名職稱：黃任生 技佐

派赴國家：美國

出國期間：94 年 7 月 16 日至 12 月 24 日

報告日期：95 年 3 月 17 日

摘要

職於 94 年 7 月 16 日至 94 年 12 月 24 日，在本局「動力氣候預報系統發展計畫」下赴美國夏威夷大學氣象學系實習，主要項目為數值模式產品及衛星資料在海氣象上的應用、中尺度區域氣候及波浪分析等探討課題。本報告依上述實習項目分 3 部分詳述，分別為 CWB/NFS 分析場與 QuikSCAT 衛星風場之比較、CWB/NWW3 模式與風級浪高對照表差異及參訪相關作業單位。

根據 CWB/NFS-RB、MB、HB 及 CWB/NFS-RC、MC、HC 分析場與 QuikSCAT 衛星風場進行比較，CWB/NFS 分析場普遍小於 QuikSCAT 衛星風場，其中以 HC 風場最明顯，對大偏差約為 4m/s；以季節來看，風速偏差則在夏季較小；相關性分析中，CWB/NFS 分析場與 QuikSCAT 風場相關性在冬季較好，梅雨期最差。在中尺度區域氣候分析中，風場因季節及地形的影響，冬半年風速明顯較夏半年強勁，風期較長。東北季風受台灣地形影響的範圍可以延伸超過 1000 公里以上達南海北部區域；台灣海峽內冬半年平均風速約為台灣東岸同緯度地區的 2 倍，夏半年時期則地形效應不明顯。

本局海象預報中，波浪預報產品分別有波高等值線預報圖及漁業氣象預報，波高等值線預報圖主要依據之波浪模式為 CWB/NWW3，漁業氣象預報則使用本局風級浪高對照表。比較 CWB/NWW3 及本局風級浪高對照表之波高差異，本局風級浪高對照表於風域小、風速大時波高偏大。另使用美國 NWS 風級浪高對照表與本局風級浪高對照表比較，本局風級浪高對照表於風域小、風速大時亦波高偏大。

實習期間參訪美國國家氣象局檀香山天氣預報辦公室(National Weather Service, Weather Forecast Office in Honolulu, HI)及夏威夷大學海水位中心(University of Hawaii Sea Level Center)等作業化預報及觀測單位，就實際作業問題進行討論，另拜訪夏威夷大學海洋資源工程系(Ocean and Resources Engineering)Kwok Fai Cheung 教授請益波浪模式相關問題。

目錄

摘要.....	i
目錄.....	ii
圖目錄.....	iii
壹、目的.....	1
貳、過程.....	2
一、CWB/NFS 分析場與 QuikSCAT 衛星風場及之比較.....	3
二、CWB/NWW3 模式與風級浪高對照表差異.....	9
三、參訪行程.....	13
參、心得與建議.....	14
參考文獻.....	15

圖目次

圖 1	NFS-RC、MC、HC 範圍	16
圖 2	QuikSCAT 衛星資料處理流程(JPL PO.DAAC, 2001)	16
圖 3	QuikSCAT 全球海面平均風場	17
圖 4	QuikSCAT 海面風場	17
圖 5	R、M、H_Domain 範圍	18
圖 6	風羽毛圖點位	19
圖 6(a)~圖 6(d)	點位風速風向羽毛圖	19
圖 7	夏半年及冬半年 QuikSCAT 平均風場	21
圖 8	R_Domain 梅雨期、夏季(西南季風盛行期)、秋季、 冬季(東北季風盛行期)CWB、QuikSCAT 平均風場	22
圖 8(a)~圖 8(g)	R_Domain 統計分析圖	23
圖 9	M_Domain 梅雨期、夏季(西南季風盛行期)、秋季、 冬季(東北季風盛行期)CWB、QuikSCAT 平均風場	30
圖 9(a)~圖 9(g)	M_Domain 統計分析圖	31
圖 10	H_Domain 梅雨期、夏季(西南季風盛行期)、秋季、 冬季(東北季風盛行期)CWB、QuikSCAT 平均風場	38
圖 10(a)~圖 10(g)	H_Domain 統計分析圖	39
圖 11	CWB/NWW3_1、NWW3_2、SWAN 範圍	46
圖 12	NWS 風級浪高對照表	47
圖 13	CWB 與 NWS 風級浪高對照表--風速與波高關係圖	47
圖 14	梅雨期、夏季、秋季、冬季 CWB/NWW3_2、CWB Table 平均波場	48
圖 14(a)~圖 14(d)	CWB Table (一般波高、最大波高)與 CWB/NWW3_2 統計分析圖	49

壹、目的

海象為存在於大氣與海洋交界面之自然現象，例如波浪、潮汐、暴潮、海水表面溫度及海水面之風向、風速、氣壓、溫度...等。中央氣象局(以下簡稱本局)所負責的海象業務包含海象預報、海象觀測及海洋資料庫等3大類別，在海象預報中，波浪產品分別為波高等值線預報及漁業氣象預報，預報使用工具為波浪模式、海象觀測網實測資料及其他大氣資料，現行主要波浪模式為美國海洋暨大氣總署(NOAA)之第三代波浪模式NOAA WAVEWATCH III(NWW3)，模式所輸入風場為本局NFS風場；漁業氣象預報為本局風級浪高對照表由風場轉波場，對風場特性更為敏感，因此了解本局風場為提升波浪預報準確度的首要工作。由於海洋觀測有其先天限制，實測資料不若陸上觀測豐富，海面風場的比對應以使用衛星遙測資料最為完善，本行目的首先就CWB/NFS分析場與QuikSCAT衛星風場進行比較，以了解模式所使用風場的特性。另為了解本局波浪預報及漁業預報產品的差異，採用CWB/NFS分析場由風級浪高對照表轉換波高後與CWB/NWW3模式結果進行比對。

實習期間另一目的為參訪美國國家氣象局檀香山天氣預報辦公室(National Weather Service, Weather Forecast Office in Honolulu, HI)及夏威夷大學海水位中心(University of Hawaii Sea Level Center)等作業化預報及觀測單位，就實際作業問題進行討論，另拜訪夏威夷大學海洋資源工程系(Ocean and Resources Engineering)Kwok Fai Cheung 教授請益波浪模式相關問題。

本行依上述目的，於夏威夷大學氣象學系陳宇能教授指導下進行數值模式產品及衛星資料在海氣象上的應用、中尺度區域氣候及波浪分析等課題探討。

貳、過程

本局波浪預報產品主要為波高等值線預報圖(00UTC 波浪分析、24hr 及 36hr 波浪預報、CWB/NWW3 模式 12-72hr 預測)及漁業氣象預報(近海漁業氣象及三天漁業氣象)，波高等值線預報圖中主要使用本局海象觀測網實測資料及 CWB/NWW3 波浪模式，而漁業氣象採用本局風級浪高對照表由風場推估海域波高。

CWB/NWW3 波浪模式使用風場為本局 NFS 風場(分析場及預報場)，為了解該風場與衛星風場的差異，首先就 CWB/NFS 分析場與 QuikSCAT 衛星風場進行比較；另為比較 CWB/NWW3 模式結果與風級浪高對照表推估波高的差異，採用 CWB/NFS 分析場由風級浪高對照表轉換波高後與 CWB/NWW3 模式結果進行比對。

實習期間分別參訪美國國家氣象局(National Weather Service)、夏威夷大學海洋資源工程系(Ocean and Resources Engineering)Kwok Fai Cheung 教授及夏威夷大學海水位中心(University of Hawaii Sea Level Center)，就波浪預報、波浪模式及海水位資料處理等問題進行討論。

本文依上述實習項目分 3 部分詳述，分別為：

- 一、CWB/NFS 分析場與 QuikSCAT 衛星風場及之比較
- 二、CWB/NWW3 模式與風級浪高對照表差異
- 三、參訪行程

一、CWB/NFS 分析場與 QuikSCAT 衛星風場及之比較

(一)、NFS-RB&RC、MB&MC、HB&HC 分析場資料說明

本文使用中央氣象局非靜力預報系統(Nonhydrostatic Forecast System)；NFS 分析場為 CWB/NWW3 波浪模式所使用的海面 10m 風場，包含 NFS-RB、MB、HB 及 NFS-RC、MC、HC 分析場，為風場模式及觀測資料(探空報、探空風報、飛機報、衛星及風、SYNOP、SHIP、bogus CWB GFS data、Dropsonde 等)的最佳客觀分析結果，每日 4 次分析場時間為 00、06、12、18UTC，解析度分別為 RB&RC: 45×45km、MB&MC: 15×15km 及 HB&HC: 5×5km，RC、MC、HC 範圍如圖 1 所示，RB、MB、HB 的範圍略小於 RC、MC、HC。本文使用 RB、MB、HB 資料時間為 2003 年 7 月 1 日至 2004 年 3 月 31 日；RC、MC、HC 資料時間為 2004 年 4 月 1 日至 2005 年 7 月 31 日。

(二)、QuikSCAT 衛星簡介

QuikSCAT(酬載 Quick Scatterometer 散射儀)太陽同步衛星，於 1999 年 6 月 19 日由美國太空總署(NASA)發射，接續 1996 年 NSCAT 衛星觀測工作，酬載儀器散射儀波段 13.4 GHz，主要任務為全球海面風場的量測，任務週期原預定為 3 年，但目前仍正常運作中，資料處理及供應單位為 NASA/JPL PO.DAAC(Jet Propulsion Laboratory, Physical Oceanography Distributed Active Archive Center)。衛星軌道高度於赤道上空為 803Km，傾角 98.616°，軌道週期為 101mins，量測跨幅為 1800Km 寬，同一地點每日掃描兩次(ascending time, descending time，少數情形會有第三次掃描，JPL 公開的資料分別為當日末次掃描的時間數據)，每日通過赤道的 ascending time 為當地時間 AM 06:00±30mins，通過台灣的 ascending time 約為 22UTC，descending time 約為 10UTC。衛星軌道參數如表 1(JPL PO.DAAC, 2001)。

表 1、QuikSCAT 衛星軌道參數

Nominal Orbital Parameters	
Recurrent Period	4 days (57 orbits)
Orbital Period	101 minutes (14.25 orbits/day)
Local Sun Time at Ascending Node	6:00 A.M. ± 30 minutes
Altitude above Equator	803 km
Inclination	98.616°

QuikSCAT 衛星觀測原理為，海面風場會影響海面粗糙度，而海面粗糙度影響衛星回波的強度，根據此一物理關係，利用微波反射的強度計算海面實際風場，QuikSCAT 衛星觀測與資料處理流程如圖 2。因觀測資料可能受大氣環境如降

雨的影響，在資料處理過程中也考量了水氣、熱通量等因素，風速範圍在 3-20m/sec 之間時，風速誤差為 2m/sec，風向誤差為 20°；風速範圍在 20-30m/sec 之間時，風速誤差為 10%，風向誤差為 20°，資料準確度相當高。QuikSCAT 各項資料參數如表 2 (JPL PO.DAAC, 2001)。

表 2、QuikSCAT 衛星資料參數

Quantity	Requirement	Applicable Range
Wind Speed	2 m/s (RMSE)	3-20 m/s
	10%	20-30 m/s
Wind Direction	20° (RMSE) selected ambiguity	3-30 m/s
Spatial Resolution	25 km	sigma-0 cells
	25 km	Wind Vector Cells
Location Accuracy	25 km (RMSE)	Absolute
	10 km	Relative
Coverage	90% of ice-free ocean every day	
Mission Duration	36 months	

本文中使用的 QuikSCAT 資料為 Level 3 風場，提供每日兩次全球海面 10m 風場，風場以 UV 向量值表示，解析度為 0.25°×0.25°，因衛星軌道因素，衛星資料呈帶狀分布，且受大氣環境影響有些許漏失。一般使用每日平均風場(如圖 3)，此平均風場使用 ascending time 及 descending time 風場所占每日分量(day fraction) 計算後求得，此法的優點是漏失資料的格點較少，可表達當日風場概況，缺點是時間解析度較大，以日為單位。本文中為求較高時間解析度，分別以 ascending 及 descending time 的資料做後續比較，圖 4 為 2005 年 1 月 1 日的 ascending time 及 descending time 風場，經緯度範圍為(0, 100)至(50, 150)，圖中每一格點衛星通過的時間並不相同，因此資料時間略有差異，座標(0, 100)與(50, 150)相差約兩小時。本文後續分析中以 QuikSCAT L3 資料視為實測值，不做任何修改。

(三)、分析方法

根據 CWB/NWW3 模式及模式所使用 CWB/NFS RB&RC、MB&MC、HB&HC 風場範圍，選定欲比較之經緯度範圍 R_Domain、M_Domain 及 H_Domain 如圖 5 所示，對應的資料如表 3 所示。資料時間為 2003 年 7 月 1 日至 2005 年 7 月 31 日。

首先於台灣附近海域以 CWB/NFS MB&MC 資料分別取 4 點作風速風向羽毛圖，點位選擇如圖 5 所示，各點位羽毛圖如圖 6(a)~ 圖 6(d)所示，東北季風期明顯較西南季風期長，4 圖中西南季風期皆有風速突然增加的情形，應為颱風造

成，因西南季風期明顯偏短，去除前段敘述中各 Domain 內有颱風的天數後，西南季風期剩餘可用數據量太少，對接下來的統計分析會產生較大誤差，例如 2004 年於 M_Domain 內有颱風的天數約為 65 天，其中約 40 天位於 7 月至 9 月。因此後續討論中皆未去除 Domain 內有颱風發生的日期。

根據台灣季風型態，一般劃分為冬半年(10 月至次年 4 月)及夏半年(5 月至 9 月)，季風轉換時間大約為每年 5、6 月及 10 月。圖 7 為冬半年及夏半年平均風場，整體來看，風場因季節及地形的影響而在各區域有不同的表現，冬半年為東北季風盛行，因冬季氣壓梯度較大，風速明顯較夏半年強勁，風期也較長。夏半年平均風場中，西南季風因氣壓梯度較小，故風速較小風期也較短。而地形對冬半年平均風場的影響較明顯，影響範圍可以延伸超過 1000 公里以上達南海北部區域，夏半年時期則因季風較弱而不明顯。

以台灣附近區域來看，冬半年時期，東北部海域迎風面因地形阻檔(block)，接近陸地時風速明顯降低，但氣流接觸陸地後受地形抬升形成高壓帶，與西南部低壓帶存在一壓力梯度力，此一梯度力與東北季風同向，增加台灣島兩側及往南延伸的海域風速；而臺灣海峽為一開口方向正對風向的 Channel 地形，東北季風進入後大幅加速，與前述梯度力加成結果，風速在台灣海峽中部達到最大，平均風速約為台灣東岸同緯度地區的 2 倍；在巴士海峽區域，同樣因地形效應造成風速增加，但海峽方向與季風風向不一致，因此地形效應較臺灣海峽為弱，風速增加的幅度較小；而在台灣西南部沿海，因處於背風面，東北季風受中央山脈阻隔，風速明顯較低。在夏半年平均風場中，西南季風不明顯，風速與冬半年相差極大，而台灣海峽內平均風向仍為東北向，到南海北部才有較明顯西南向平均風，可知西南季風盛行期僅為夏半年中的某段時間，一般認為始於 6 月中旬終於 9 月中旬或更短，以整個夏半年時期來看西南季風並不適當。

針對以上氣候概述，分別對各季節風場特性較明顯的時期，定義出 4 個時間區間做後續分析(如表 4)，本文以下所述梅雨季、夏季、秋季及冬季皆為此表所定義之時間區間。

表 3、範圍定義及使用資料表

Domain	經緯度範圍	CWB/NFS 分析場	QuikSCAT 衛星風場	CWB/NWW3 波浪分析場
R_Domain	(0.125, 99.875) 至 (50.125, 149.875)	NFS-RB、RC 海面 10m 風場	QuikSCAT L3 Ascending, Descending 全球海面 10m 風場	
M_Domain	(17.625, 113.625)	NFS-MB、MC 00,06,12,18UTC	QuikSCAT L3 Ascending,	CWB/NWW3_2 00,12UTC

	至 (31.375, 127.375)	海面 10m 風場	descending time 全球海面 10m 風場	波浪分析場
H_Domain	(21.125, 118.625) 至 (25.875, 123.375)	NFS-HB、HC 00,06,12,18UTC 海面 10m 風場	QuikSCAT L3 Ascending, descending time 全球海面 10m 風場	

表 4、季節分類時間

季節分類	時間
梅雨期	5 月 16 日~6 月 15 日
夏季(盛行西南季風時期)	7 月 1 日~8 月 15 日
秋季	9 月 16 日~10 月 31 日
冬季(盛行東北季風時期)	12 月 1 日~隔年 2 月 28 日

分別於 R_Domain、M_Domain 及 H_Domain 中，將每日 4 次 RB&RC、MB&MC 及 HB&HC 分析場依選定範圍線性內插至 QuikSCAT 風場的空間及時間格點上，於選定的季節分類時間內做相關係數 CR (Correlation coefficient)、平均偏差 ME (mean bias error)、均方根誤差 $RMSE$ (root mean square error)及分散係數 SI (scatter index)等檢定，各項統計參數定義如下，

$$CR = \frac{\sum (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\left\{ \sum (P_i - \bar{P})^2 \sum (O_i - \bar{O})^2 \right\}}} \quad (1)$$

$$ME = \frac{1}{n} \sum (P_i - O_i) \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\left\{ \frac{1}{n} \sum (P_i - O_i)^2 \right\}} \quad (3)$$

$$SI = \frac{RMS}{\bar{O}} \quad (4)$$

其中 P 為模式值(CWB/NFS)， O 為觀測值(QuikSCAT)， \bar{P} 、 \bar{O} 為其平均值， n 為觀測資料數。

(四)、結果與討論

理想情況下 QuikSCAT 每一格點資料數應為所選取時間天數的兩倍，但衛星資料必有缺漏，且越接近赤道缺漏越多，為免後續統計分析時出現太大誤差，本文中 QuikSCAT 風場資料少於 40 筆的格點上不列入統計，其中梅雨期定義天數僅為 30 天，因而資料量太少被刪除的格點較多。以下就各 Domain 間，分別對風向量 UV 值及風速風向做統計分析。

(1) R_Domain

圖 8 為 QuikSCAT 風場於各季節分類時間內之平均風場，台灣附近夏季平均風為西南向，其餘季節平均風向為東北向，在梅雨季期間季風正處於轉換期，台灣附近平均風為東北向，南海南部風向為西南向，至夏季時期西南季風盛行，整個東亞海域風向為西南向，與前節所述西南季風盛行期僅為夏半年中部份時期的論述吻合。因季風為海陸季節溫差所產生，隨著遠離陸地而較不明顯，因此太平洋海域風向在梅雨季及夏季尚無明顯變化。至秋季時東亞海域風向轉為東北向，南海南部風速明顯較小，此時應為東北季風初期，而太平洋海域東北風亦不明顯。至冬季，北緯 30° 以北海域季風方向為西北向，往南逐漸偏為東北向，為典型東北季風盛行期，與整個東亞海域包含南海皆在東北季風範圍內，而太平洋海域北緯 5°~25° 之間風向轉為東北向且風速明顯增大。

CWB/NFS 與 QuikSCAT 風向量 UV 及風速風向所做統計分析結果如圖 8(a)~圖 8(c) 及圖 8(d)~圖 8(g) 所示，每一圖上至下分別為梅雨期、夏季、秋季及冬季，風向量 UV 的相關係數 CR 無明顯差異，R_Domain 內大部分海域 CR 皆在 0.7 以上，但接近赤道則明顯較差，由風速的 CR 值則明顯看出梅雨期較其他季節低，而風向 CR 值則四季皆偏小，尤以夏季南海及秋季太平洋海域較明顯；以風向 ME 來看，4 個季節大多數區域約介於 -20°~20° 之間，陸地邊緣則有較大偏差，以梅雨期及夏季最明顯；以風速來看，大部分區域 CWB/NFS 風速小於 QuikSCAT 約 1~2m/s，在陸地邊緣偏差較大，約 3~4m/s；在風向量及風速風向的 RMSE、SI 中，以冬季誤差最小，梅雨期最大。

(2) M_Domain

圖 9 為 CWB/NFS 及 QuikSCAT 平均風場，夏季平均風為西南向，其餘季節平均風皆為東北向，在秋季及冬季，CWB/NFS 風速較 QuikSCAT 偏小，風場受台灣地形影響而產生變化的範圍也小於 QuikSCAT。各項統計分析結果如圖 8(a)~圖 8(g) 所示，在風向量及風 CR 中，四個季節中以梅雨期較低，其餘季節大部分海域 CR 皆在 0.7 以上，風向 CR 中則在冬季較低；以風速 ME 來看，4 個季節內大部分海域 CWB/NFS 風速小於 QuikSCAT 約 0~2m/s，梅雨期、秋、冬 3 季偏差較大，台灣附近除台灣海峽內的偏差最小外，其餘 CWB/NFS 風速小於 QuikSCAT 約 2~3m/s；在風向量及風速 RMSE、SI 中，梅雨期出現較大誤差，冬季誤差最小。

(3) H_Domain

圖 10 為 CWB/NFS 及 QuikSCAT 平均風場，兩者在各季節平均風向一致，夏季平均風為西南向，其餘季節平均風皆為東北向，在秋季及冬季，CWB/NFS 風速明顯偏小。由各項統計分析結果如圖 10(a)~圖 10(g)所示，風向量及風速的 CR 值於梅雨季明顯偏低，以區域來看在台灣西南部及東部海域較低，台灣海峽內則明顯良好，風向量及風速 CR 約在 0.8 以上；風速 ME 值在 H_D0main 內，夏季 CWB/NFS 風速小於 QuikSCAT 約 2~4m/s，梅雨期、秋、冬 3 季中 CWB/NFS 風速小於 QuikSCAT 約 3~5m/s，與上節中 M_Domain 內速度 ME 於台灣海峽最小的結果不一致。

(五)、小結

- 1、以季節來看，CWB/NFS 與 QuikSCAT 風場相關性在冬季較好，梅雨期最差；速度偏差在夏季較小。
- 2、以 Domain 來看，CWB/NFS 風速於 3 個 Domain 中皆偏小，以 H_Domain 最明顯。

二、本局風級浪高對照表與 CWB/NWW3 模式差異

(一)、CWB/NWW3 模式簡介

NOAA WAVEWATCH III (NWW3) 為美國海洋暨大氣總署 (NOAA) 之第三代波浪模式，為數值波浪模式中廣為使用的模式之一，原理為以波譜密度力平衡方程求解方向譜 (Henddrik L. Tolman, 2002)，適用於水深變化不大的區域，通常將 NWW3 輸出的波譜以示性波高及各主要成分波週期與對應波高表示，供作業化預報應用。NOAA 現行 NWW3 分為全球 (NWW3 Global model) 及各區域 (NWW3 Regional model) 模式，其中區域模式以全球模式的結果作為邊界條件輸入。本局引入 NWW3 模式於 2002 年開始作業化使用，每日作業時間為 00UTC、12UTC，輸出分析場及 72hr 預報場，現行作業化 NWW3 模式有兩套，依不同範圍分為 CWB/NWW3_1 及 CWB/NWW3_2，範圍如圖 11 所示，CWB/NWW3_1 解析度為 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ ，輸入風場為 NFS-RC 分析及預報場 (2004 年 3 月 31 日之前為 RB 風場)，邊界條件無波場輸入；CWB/NWW3_2 解析度為 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ ，輸入風場為 NFS-MC 分析及預報場 (2004 年 3 月 31 日之前為 MB 風場)，以 CWB/NWW3_1 的結果作為邊界條件。CWB/NWW3_2 模式結果另供本局測試中近岸波浪模式 SWAN (Simulating WAves Nearshore) 使用。

(二)、風級浪高對照表說明

風浪成長係受風速、風域 (Fetch) 以及吹風延時 (Duration) 等 3 項主要因子所控制，在其發展過程中不同頻率波浪間會發生能量交換作用，使波高漸大而波長漸增。風與浪具有密切的因果關係，風浪生成、發展、衰減的完整理論至今仍有許多課題屬未知，因此早期波浪預報在理論缺乏的狀況下利用經驗法為最便捷的選擇，較廣為使用的有 S.M.B. (Sverdrup-Munk-Bretschneider) 波浪預報圖表或風級浪高對照表等，其中風級浪高對照表為參照蒲福風級表 (Beaufort Scale) 所列風級加入對應的波高範圍，本局漁業氣象預報 (近海漁業氣象及 3 天漁業氣象)，即是採用風級浪高對照表 (如表 5) 由風場推估海域波高。而隨著風浪生成機制漸被了解，不同地區使用的風級浪高對照表也隨著風浪理論及當地波浪特性而略有差異，圖 12 為美國 NWS 使用的風級浪高對照表，除了風速大小外，另考慮風域大小 (Short: 60NM、Normal: 90NM~250NM、Extra Long: 300NM~650NM) 推估波高；值得注意的是，本局及 NWS 風級浪高對照表所轉換波高係指「風浪」波高，NWS 預報員使用此表時另外加入波浪模式 (NWW3) 所求得的湧浪波高，根據波能公式求出總波高，公式如下

$$SEAS = \sqrt{W^2 + S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_n^2} \quad (9)$$

其中 SEAS 為總波高，W 為 NWS 對照表根據現地風場轉換之風浪波高， S_1 、 S_2 ……為 NWW3 模式輸出的湧浪波高。

表 5、本局使用之風級浪高對照表

風級	浪級	風速		浪高	
		每時海浬	每秒公尺	一般	最高
0	-	1 以下	0-0.2	公尺	公尺
1	微波	1-3	0.3-1.5	0.1	0.1
2	微波	4-6	1.6-3.3	0.2	0.3
3	小波	7-10	3.4-5.4	0.6	1.0
4	小浪	11-16	5.5-7.9	1.0	1.5
5	中浪	17-21	8.0-10.7	2.0	2.5
6	大浪	22-27	10.8-13.8	3.0	4.0
7	大浪	28-33	13.9-17.1	4.0	5.5
8	巨浪	34-40	17.2-20.7	6.0	7.5
9	猛浪	41-47	20.8-24.4	7.0	10.0
10	猛浪	48-55	24.5-28.4	9.0	12.5
11	狂濤	56-63	28.5-32.6	11.5	16.0
12	狂濤	64-71	32.7-36.9	14.0	16 以上
13	狂濤	72-80	37.0-41.4	14 以上	16 以上
14	狂濤	81-89	41.5-46.1	14 以上	16 以上
15	狂濤	90-99	46.2-50.9	14 以上	16 以上
16	狂濤	100-108	51.0-56.0	14 以上	16 以上
17	狂濤	109-118	56.1-61.2	14 以上	16 以上

(三)、分析方法

首先對本局及 NWS 風浪級對照表進行比較以了解其間差異。

CWB/NWW3_1 邊界條件則無波場輸入，即不考慮邊界以外發生的湧浪，假設湧浪自東經 155° 遠距離傳遞至台灣前可以完全衰減，則 CWB/NWW3_1 模式有無邊界條件對台灣附近的波高的影響不大，但接近東經 155° 模式邊界時，所受影響最大；CWB/NWW3_2 模式範圍較小，邊界條件為 CWB/NWW3_1 的結果，模式外的湧浪可以進入，理當較貼近實際波場。因此本文採用較小範圍的 CWB/NWW3_2 與本局風級浪高對照表做比較，依據 CWB/NWW3_2 的範圍，將 MC 風場以本局風級浪高對照表轉換為波高後與 CWB/NWW3_2 的結果比較，根

據本章第一節所述，採用相同季節時間(如表 3)，做統計分析，參數定義如下

$$CR = \frac{\sum(T_i - \bar{T})(N_i - \bar{N})}{\sqrt{\left\{ \sum(T_i - \bar{T})^2 \sum(N_i - \bar{N})^2 \right\}}} \quad (5)$$

$$ME = \frac{1}{n} \sum(T_i - N_i) \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\left\{ \frac{1}{n} \sum(T_i - N_i)^2 \right\}} \quad (7)$$

$$SI = \frac{RMS}{\bar{N}} \quad (8)$$

其中 T 為風場對應風級浪高對照表之波高， N 為 CWB/NWW3_2 示性波高。 \bar{T} 、 \bar{N} 為其平均值， n 為觀測資料數。

(四)、結果與討論

圖 13 為本局及 NWS 風級浪高對照表比較圖，相同風速下本局風級浪高對照表所轉換一般波高約略介於 NWS 風級浪高對照表中風域 Short 至 Extra Long 的波高，最大波高則略大於 NWS 對照表 Extra Long 的波高，因此，當風域大於 540 公里(300NM)時，本局對照表所估算一般波高小於 NWS 對照表；當風域小於 450 公里(250NM)時，本局對照表一般波高大於 NWS 對照表，且風速越大時，本局所推估波高越大於 NWS 對照表的結果。以東北季風時期為例，假設台灣海峽內無湧浪，由圖 9 所示 CWB/NFS 冬季平均風場估算，海峽內強風區風域軸向大小約為 100 公里(NWS short Case)，風速 10m/s 時，本局對照表波高為 2~2.5m，NWS 對照表約為 1.8m，本局略大於 NWS；風速 15m/s 時，本局對照表波高為 4~5.5m，NWS 對照表約為 2.3m，本局大於 NWS。但若湧浪存在時，本局結果不變，NWS 所推算波高將隨著湧浪加入而增加。

圖 14 為 NWW3_2 與使用本局風級浪高對照表轉換 NFS-MC 風場所得平均波場，在秋冬兩季，NWW3_2 波高分佈比本局對照表結果為廣，但波高極大值在海峽內 NWW3_2 明顯小於對照表結果。圖 14(a)~(d)為各項統計分析結果，圖中左右側分別為本局對照表內一般波高及最大波高與 NWW3_2 的統計結果，由上而下為梅雨期、夏季、秋季及冬季，在由相關係數 CR 中，其中梅雨期在台灣東部、北部及南海北部 CR 明顯偏低，其餘季節無明顯偏差；波高平均偏差 ME 來看，本局對照表波高大於 NWW3_2 的結果，且 ME 隨著東北季風增強而增加，較大值發生在陸地邊緣及台灣海峽內，在秋季及冬季時差異較大，台灣海峽內本局對照表的一般波高大於 NWW3_2 約 0.5~1m，對照表最大波高大於 NWW3_2 超過 1.5m。

綜合以上所述，本局風級浪高對照表與美國 NWS 對照表比較，另與 CWB/NWW3_2 的結果比較，兩組有一致的結果，於風域小、風速大時，本局對照表波高較大。

三、參訪行程

參訪單位及人員	時間	討論主題
美國國家氣象局檀香山天氣預報辦公室 (National Weather Service, Weather Forecast Office in Honolulu, HI) Mr. Robert Burke	11 月 10 日 11 月 25 日 12 月 6 日	波浪預報
Department of Ocean and Resources Engineering, University of Hawaii (夏威夷大學海洋資源工程系) Prof. Kwok Fai Cheung	11 月 24 日	波浪模式
University of Hawaii Sea Level Center (夏威夷大學海水位中心) Mr. Patrick Caldwell	12 月 12 日	潮位資料

(一)、美國國家氣象局檀香山天氣預報辦公室(National Weather Service, Weather Forecast Office in Honolulu, HI)：

參觀 NWS 實際預報作業，主要與值班預報員 Mr. Robert Burke 討論 NWS 波浪預報作業情形，及 NWS 風浪級對照表使用方式；與本局較大差異為 NWS 波浪預報時主要參考 NWW3 模式，當模式因格點解析度因素，在某些小範圍的海域(例如夏威夷島嶼間海域)出現不合理結果時，才會使用風浪級對照表作為參考；NWS 預報員亦建議本局可提供資料浮標的即時資料，以利雙方互相合作及資料校驗。

(二)、夏威夷大學海洋資源工程系 Prof. Kwok Fai Cheung：

Pof. Cheung 及其研究團隊同時使用 NWW3 及 SWAN 模式，以 NWW3 global model 作為 NWW3 regional model 的邊界，NWW3 regional model 的結果再作為 SWAN 的邊界，與本局目前的波浪模式架構相同，但 CWB/NWW3_1 無邊界條件輸入，模式邊界之外湧浪無法傳入，NWW_1 波高可能有偏差。

(三)、夏威夷大學海水位中心(UHSLC)：

與 Mr. Patrick Caldwell 討論潮位資料中發生資料水位偏移的情形，UHSLC 亦無此種情形的事後修補方式，只能對潮位站水準點及儀器高程的更新多加注意；UHSLC 約兩年會更新夏威夷地區測站的水準高程，但於台灣西南部地形沉陷較快的區域，測站高程的追蹤頻率應更高些。

參、心得與建議

- 一、CWB/NWW3 模式所使用的風場包含 CWB/NFS 分析場及預報場，本實習僅使用分析場與 QuikSCAT 衛星風場比較，未來可進一步加入預報場與 QuikSCAT 做比較，以了解 CWB/NWW3 模式所使用的風場與衛星風場的差異。
- 二、CWB/NWW3_1 並未考慮模式範圍以外的湧浪影響，此湧浪可能因長距離傳遞而衰減，但其對台灣附近海域的影響仍待確認，建議參酌實測資料及 NCEP/NWW3 Global Model 的結果進行分析。
- 三、為求波浪預報範圍內有一致的準確性，建議本局另再執行 1 組 NWW3 作為 CWB/NWW3_1 邊界條件輸入，或將 CWB/NWW3_1 的範圍改為全球模式。
- 四、本局使用中之風級浪高對照表，可參酌實測資料及模式結果進行更新，建議加入風域大小(fetch)及風吹時間的影響；使用時應加入湧浪的影響，建議使用 CWB/NWW3 模式的湧浪資料。
- 五、美國 NWS 所使用的 NWW3 模式產品網站(NOAA/NCEP 供應)介面中，另針對有實測資料的位置提供詳細時間序列產品(各成分波的波高及週期)供預報員查閱及比對實測資料，本局波浪預報作業時亦參考該網站，惟該介面中東亞海域實測點僅存 1 處關島波浪浮球(Guam Waverider Buoy NO.52200)。本局海象觀測網已具相當規模，建議以國際合作方式，由本局提供資料浮標的即時資料，於美國 NOAA/NCEP NWW3 模式網站實測點中加入本局浮標位置，以利雙方互相合作及資料校驗。
- 六、本實習使用 CWB/NFS 風場、CWB/NWW3_1 波浪場及 CWB/NWW3_2 波浪場皆為分析場，建議繼續執行預報場與實測資料作定時校驗，以了解模式預報的準確度。

參考文獻：

JPL PO.DAAC, 2001, SeaWinds on QuikSCAT Level 3 Daily, Gridded Ocean Wind Vectors (JPL SeaWinds Project) Guide Document, Version 1.1.

Hendrik L. Tolman, 2002, User Manual and System Documentation of WAVEWATCH-III, version 2.22.

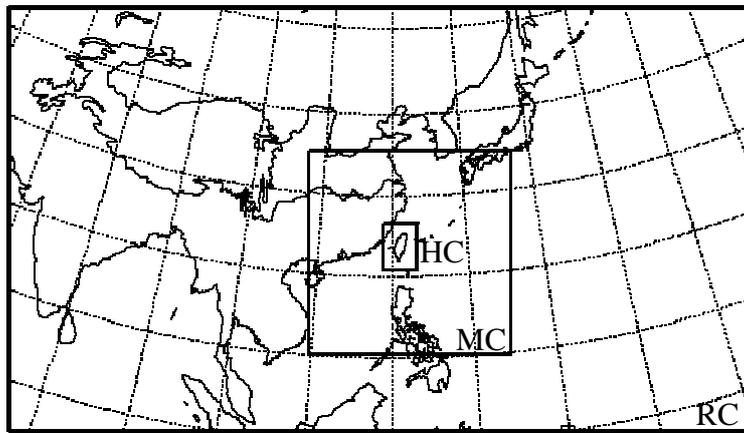


圖 1、NFS-RC、MC、HC 範圍

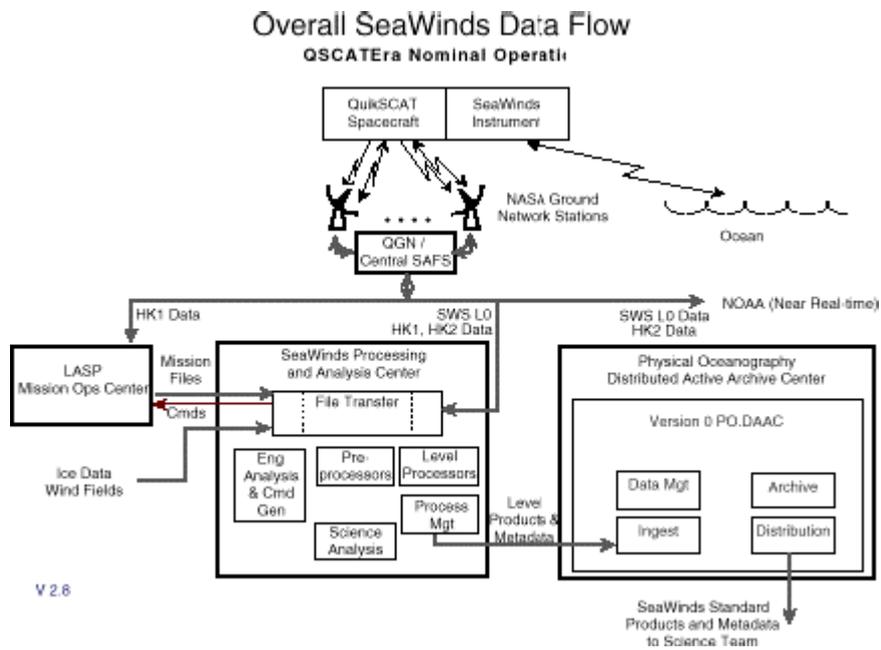


圖 2、QuikSCAT 衛星資料處理流程(JPL PO.DAAC, 2001)

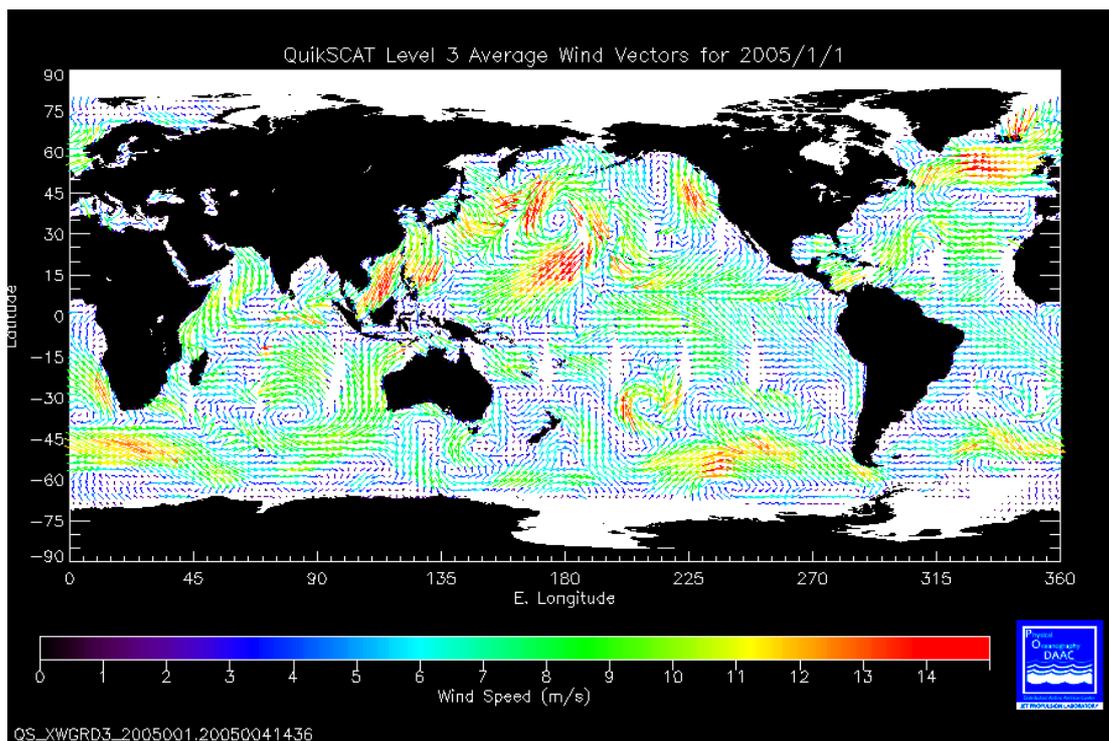


圖 3、QuikSCAT 全球海面平均風場
(JPL website ftp://podaac.jpl.nasa.gov/pub/ocean_wind/quikscat/L3/)

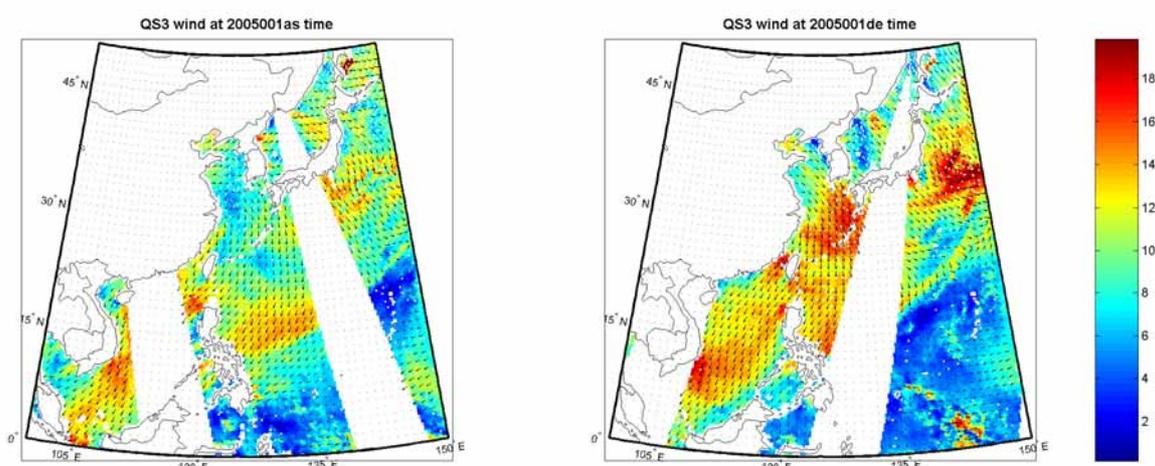


圖 4、QuikSCAT 海面風場 (20050101 ascending time & descending time)

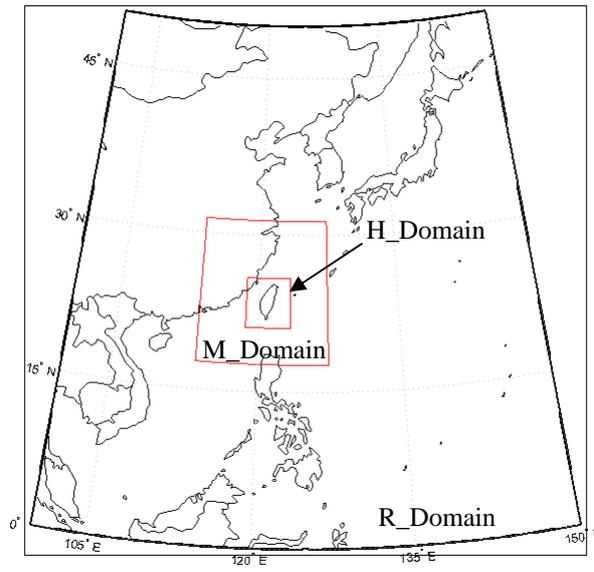


圖 5、R、M、H_Domain 範圍

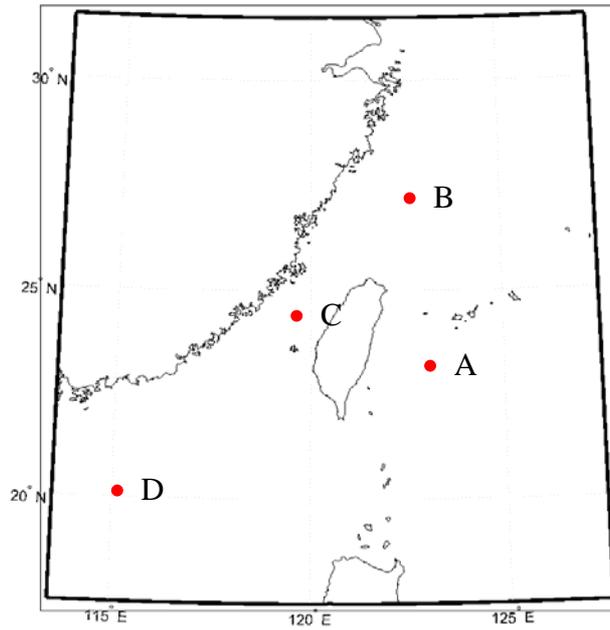


圖 6、風羽毛圖點位

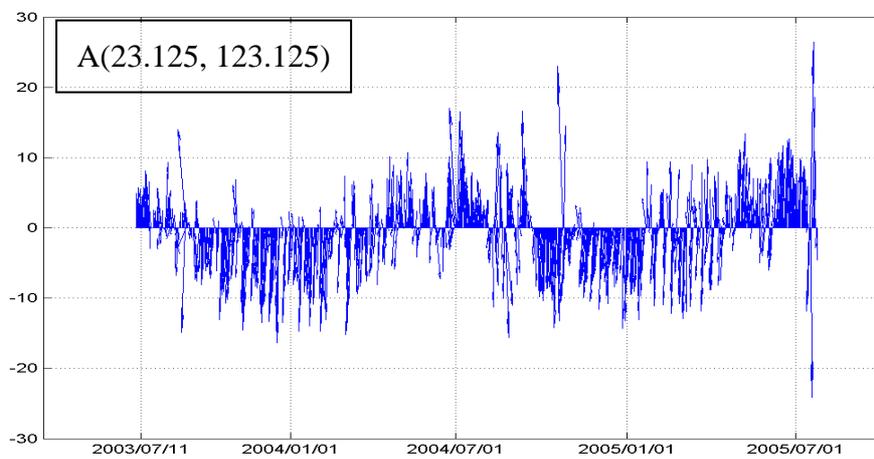


圖 6(a)、A 點位風速風向羽毛圖

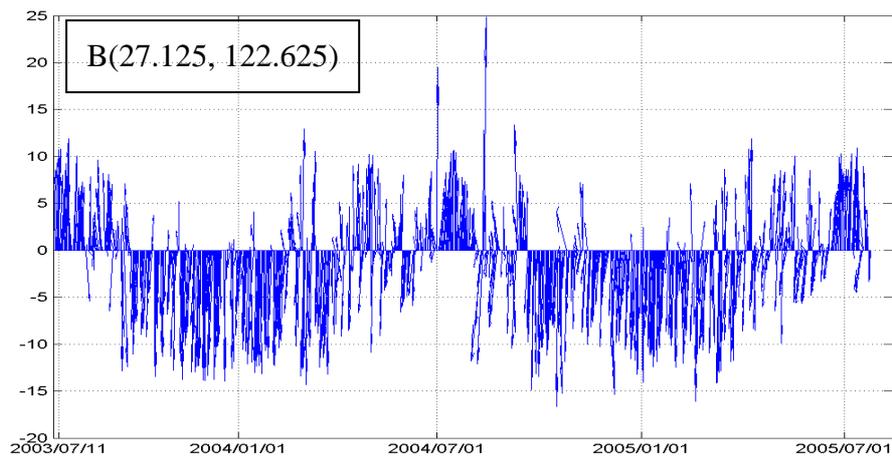


圖 6(b)、B 點位風速風向羽毛圖

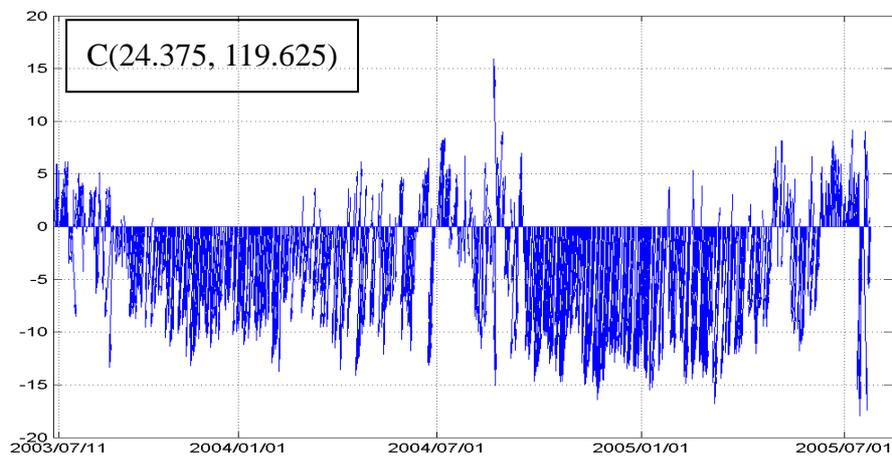


圖 6(c)、C 點位風速風向羽毛圖

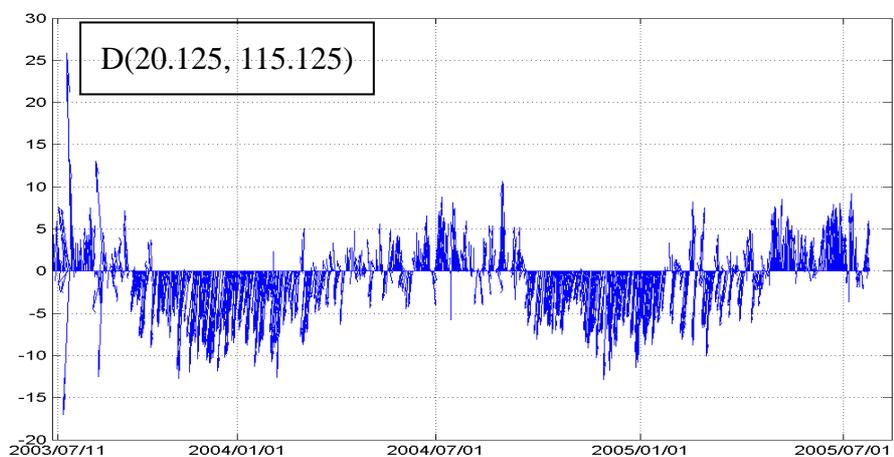


圖 6(d)、D 點位風速風向羽毛圖

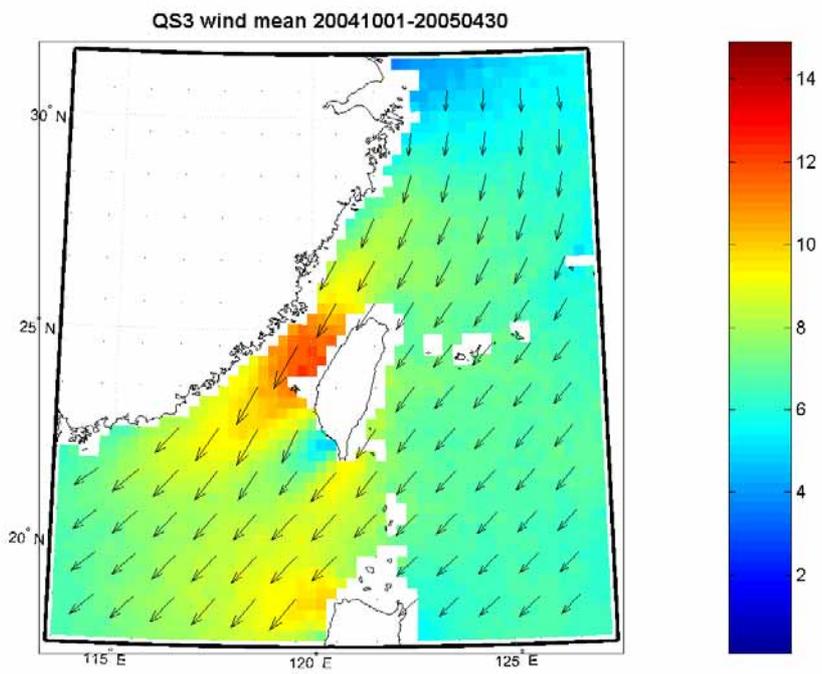
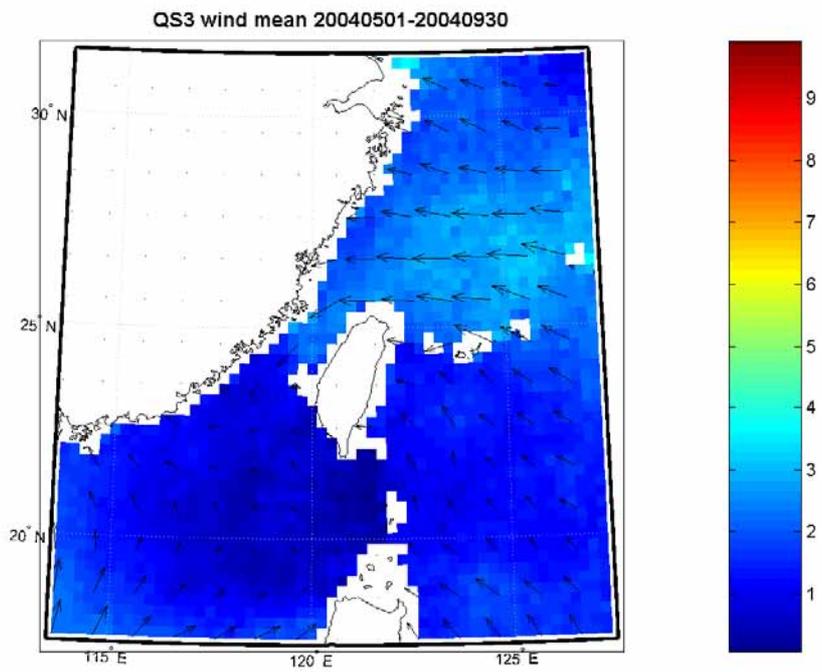


圖 7、夏半年及冬半年 QuikSCAT 平均風場

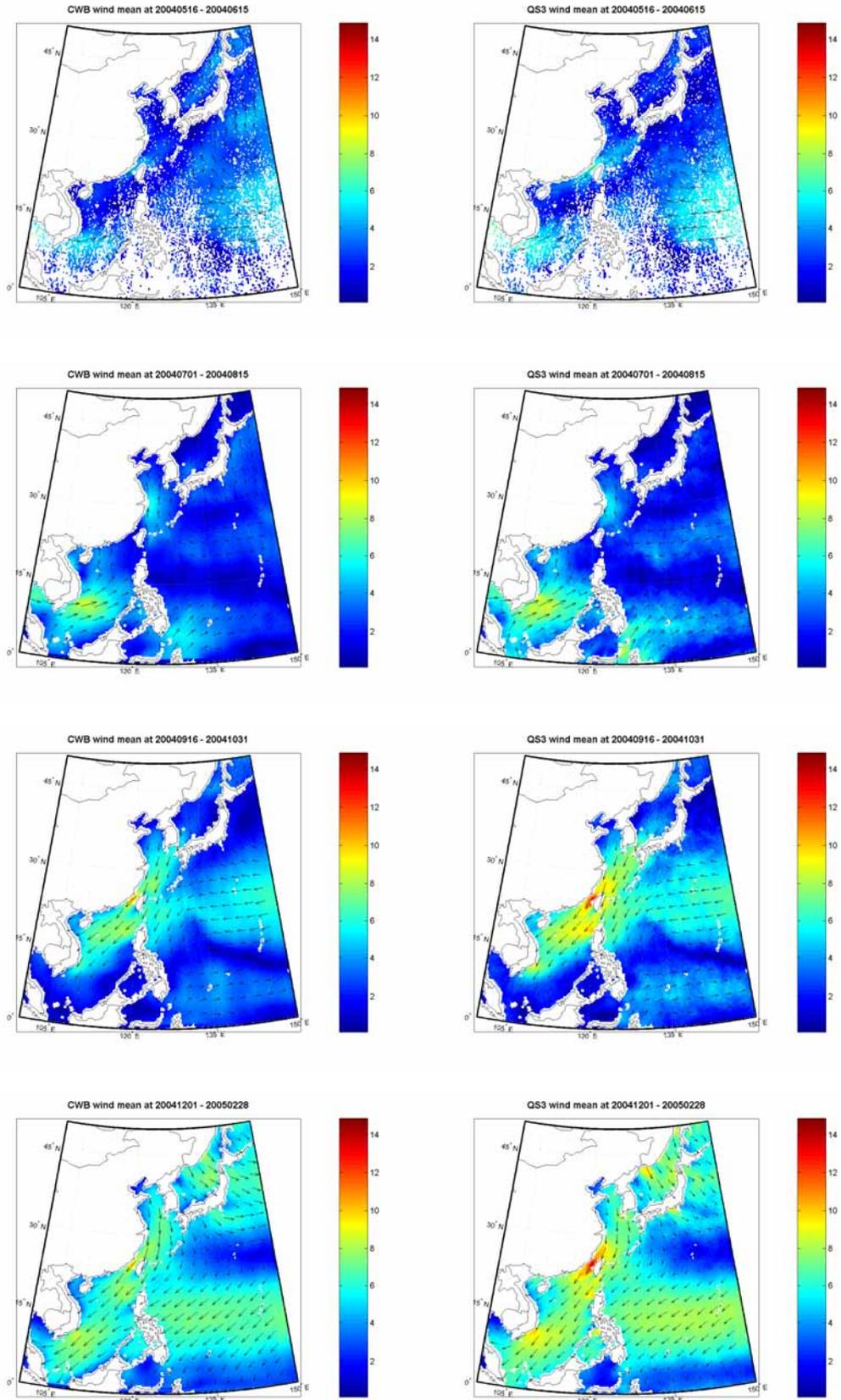


圖 8、R_Domain 梅雨期、夏季(西南季風盛行期)、秋季、冬季(東北季風盛行期)CWB、QuikSCAT 平均風場

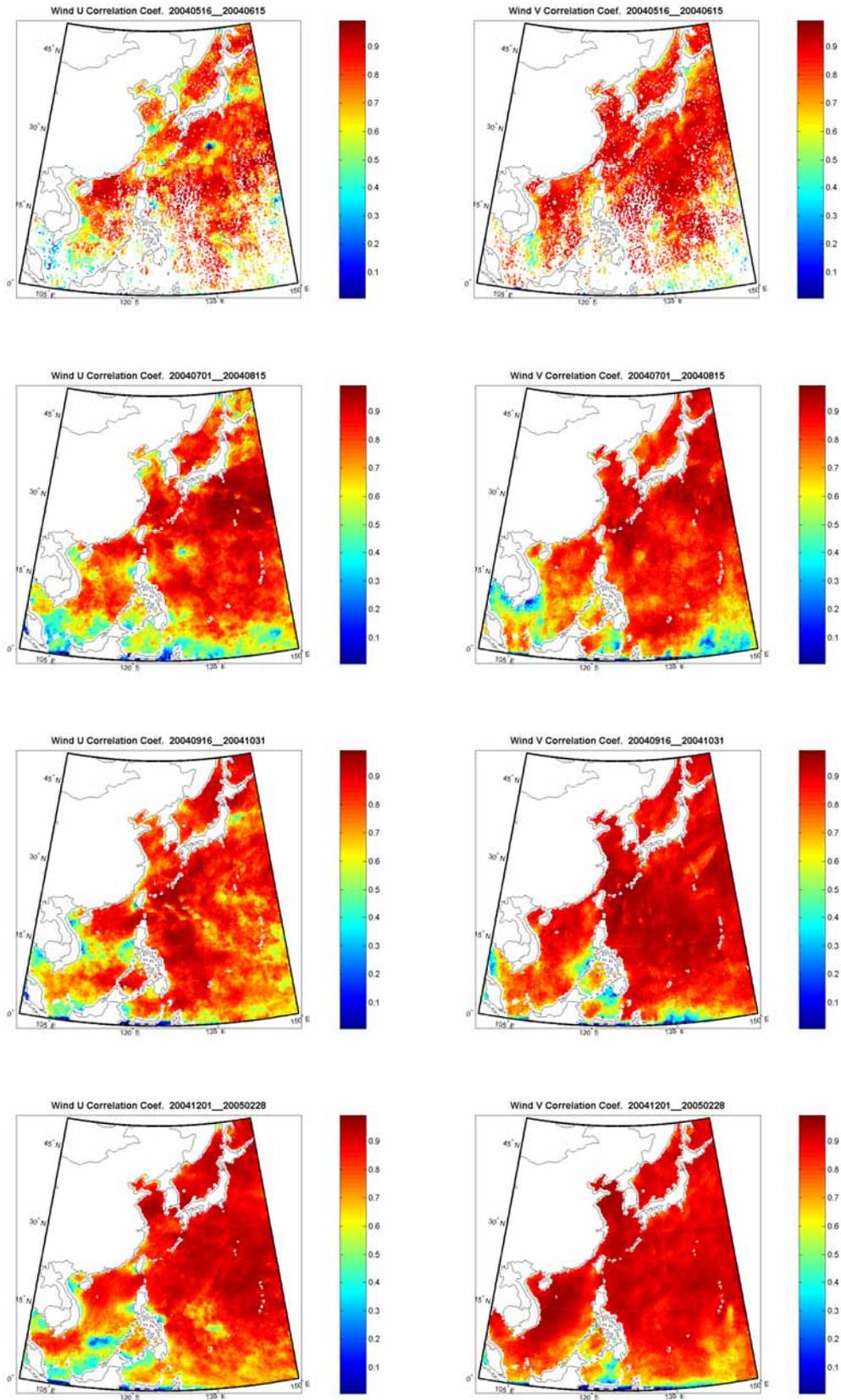


圖 8(a)、R_Domain 風向量 UV 之相關係數 CR

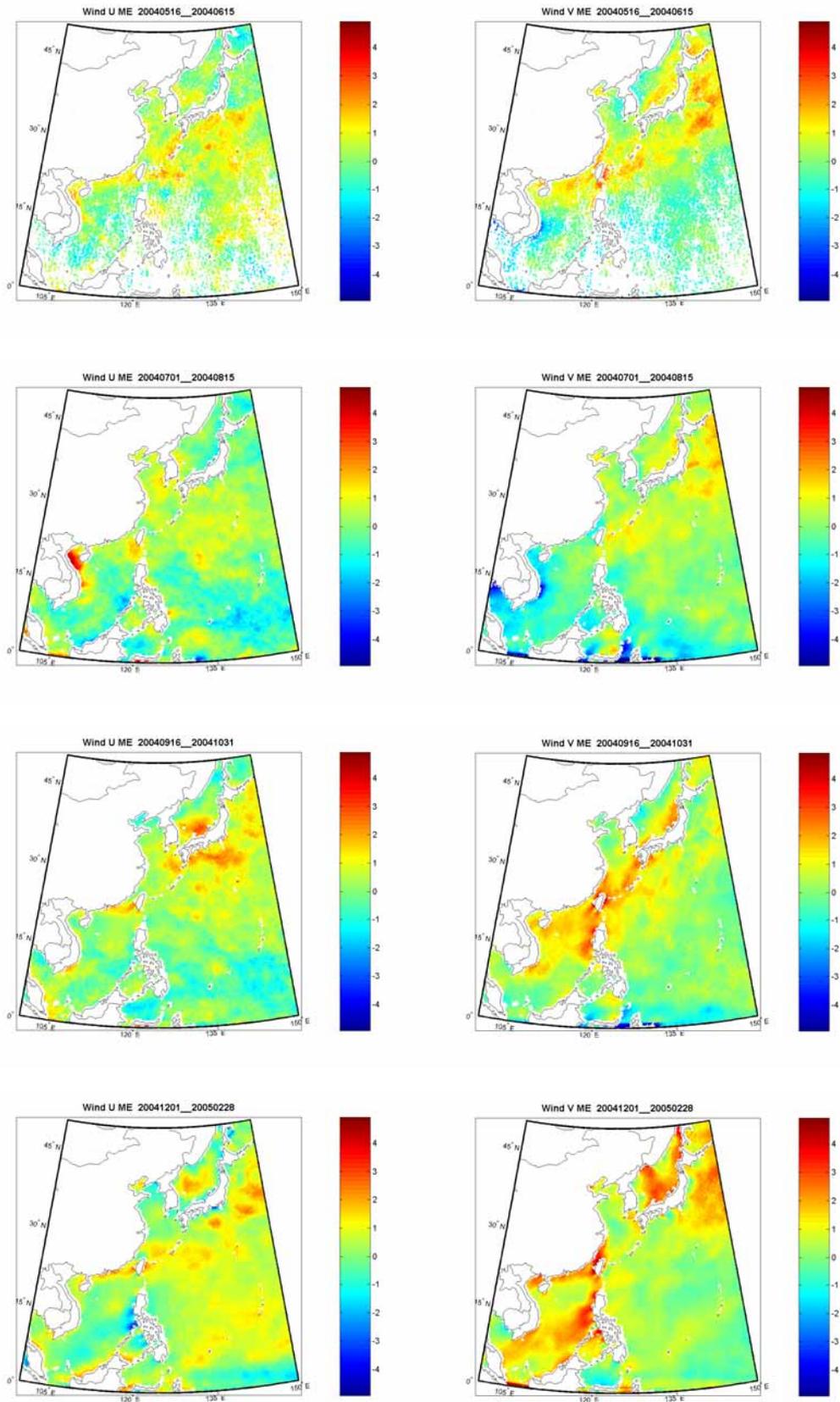


圖 8(b)、R_Domain 風向量 UV 之平均偏差 ME

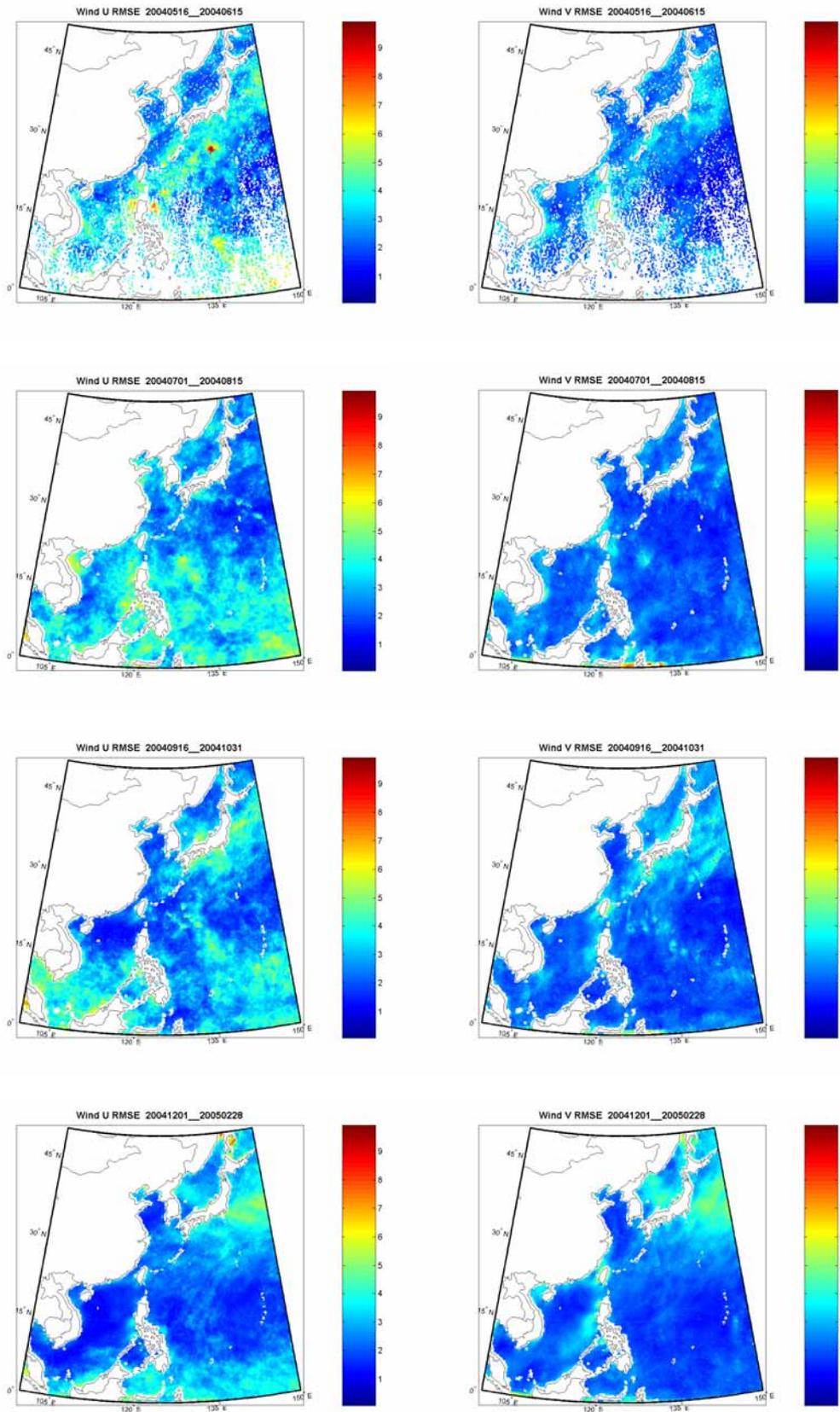


圖 8(c) 、R_Domain 風向量 UV 之均方根誤差 *RMSE*

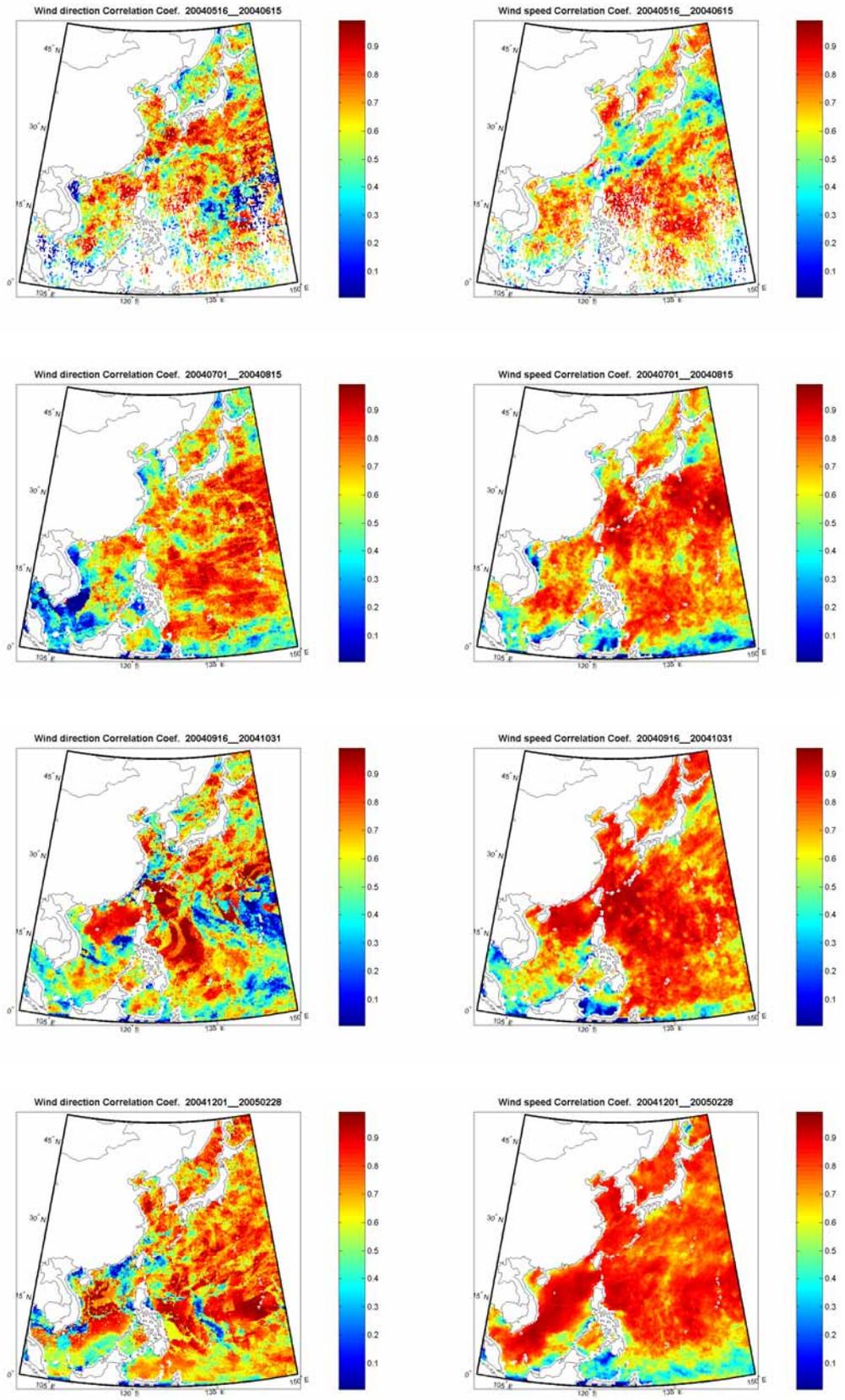


圖 8(d)、R_Domain 風速風向之相關係數 CR

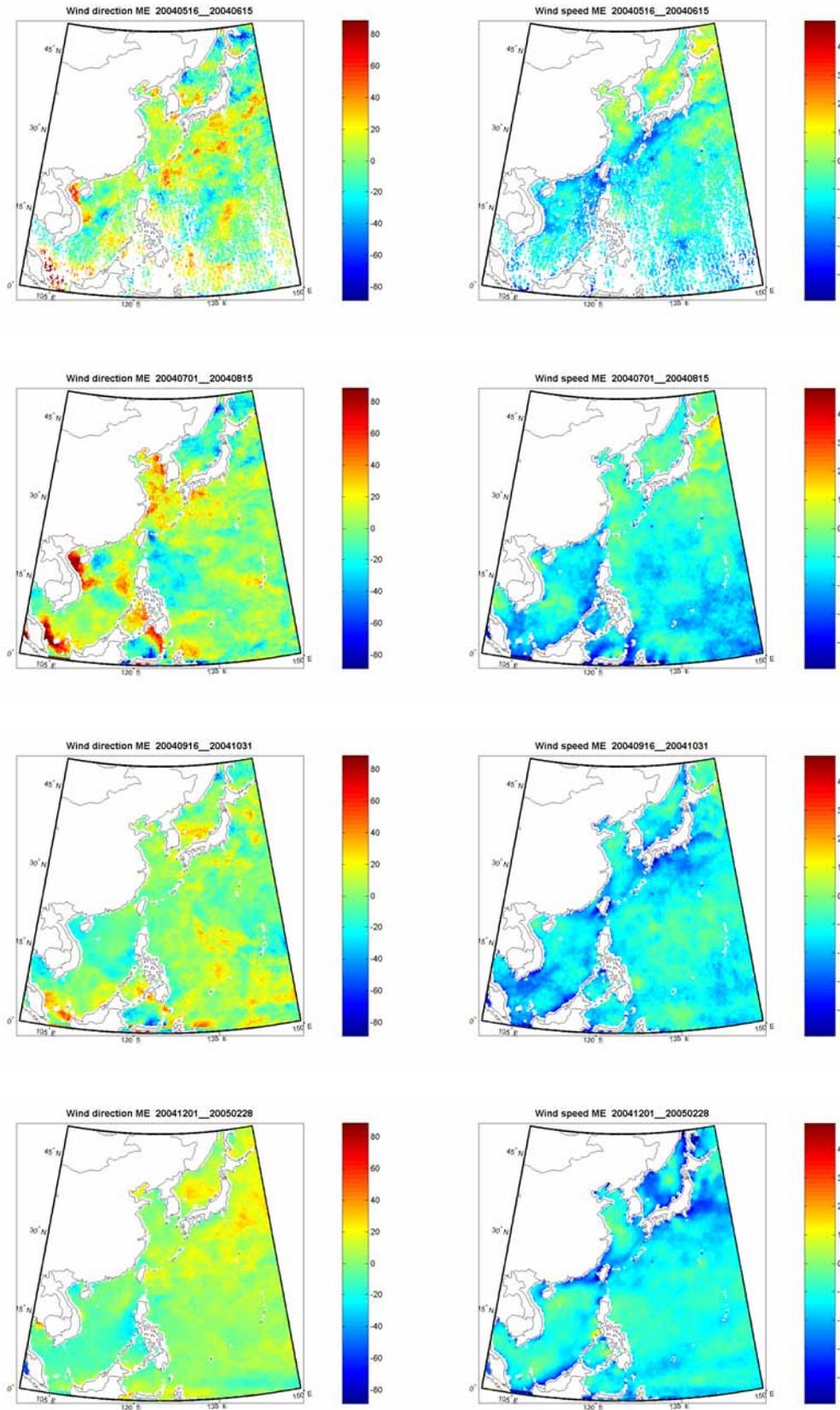


圖 8(e)、R_Domain 風速風向之平均偏差 ME

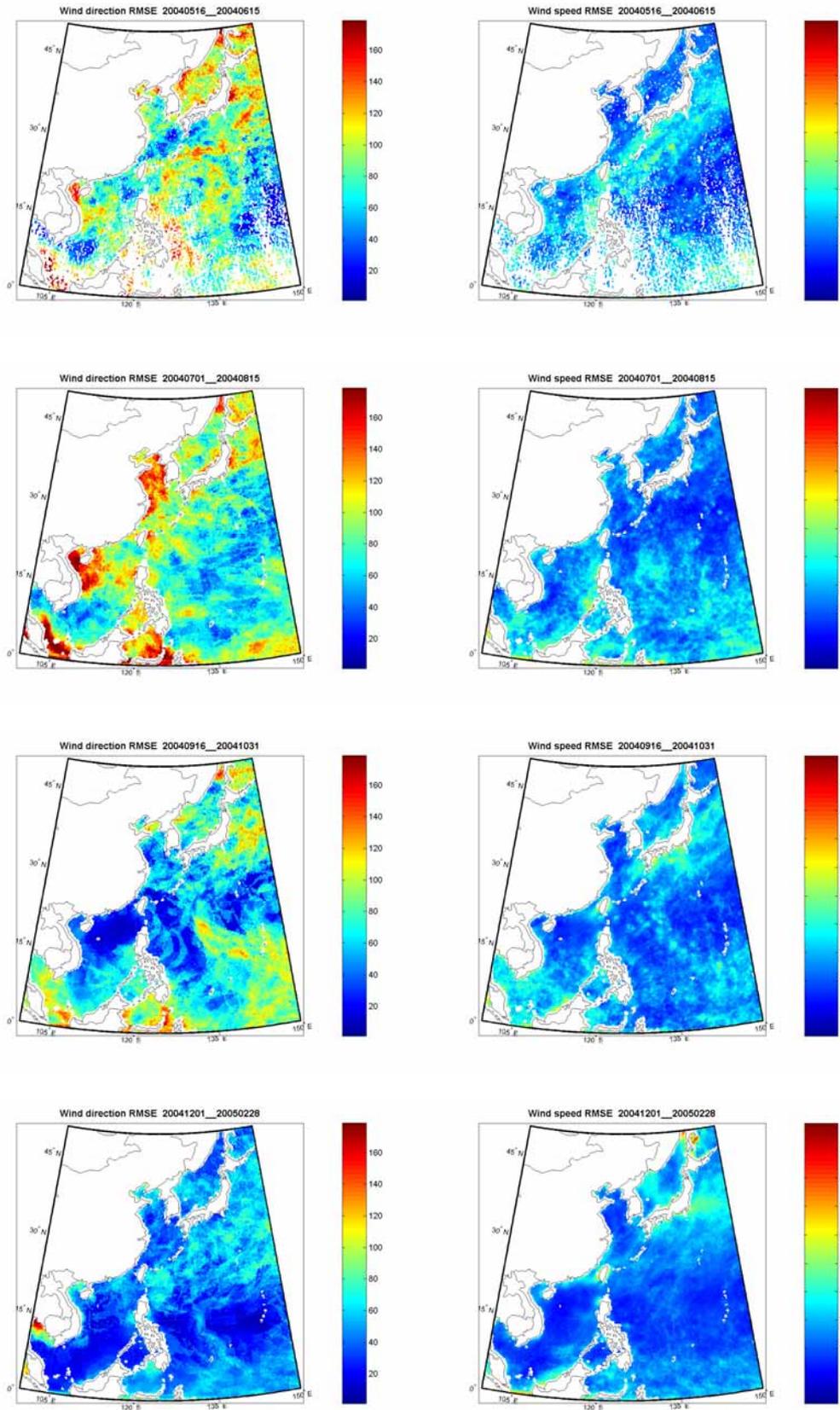


圖 8(f)、R_Domain 風速風向之均方根誤差 $RMSE$

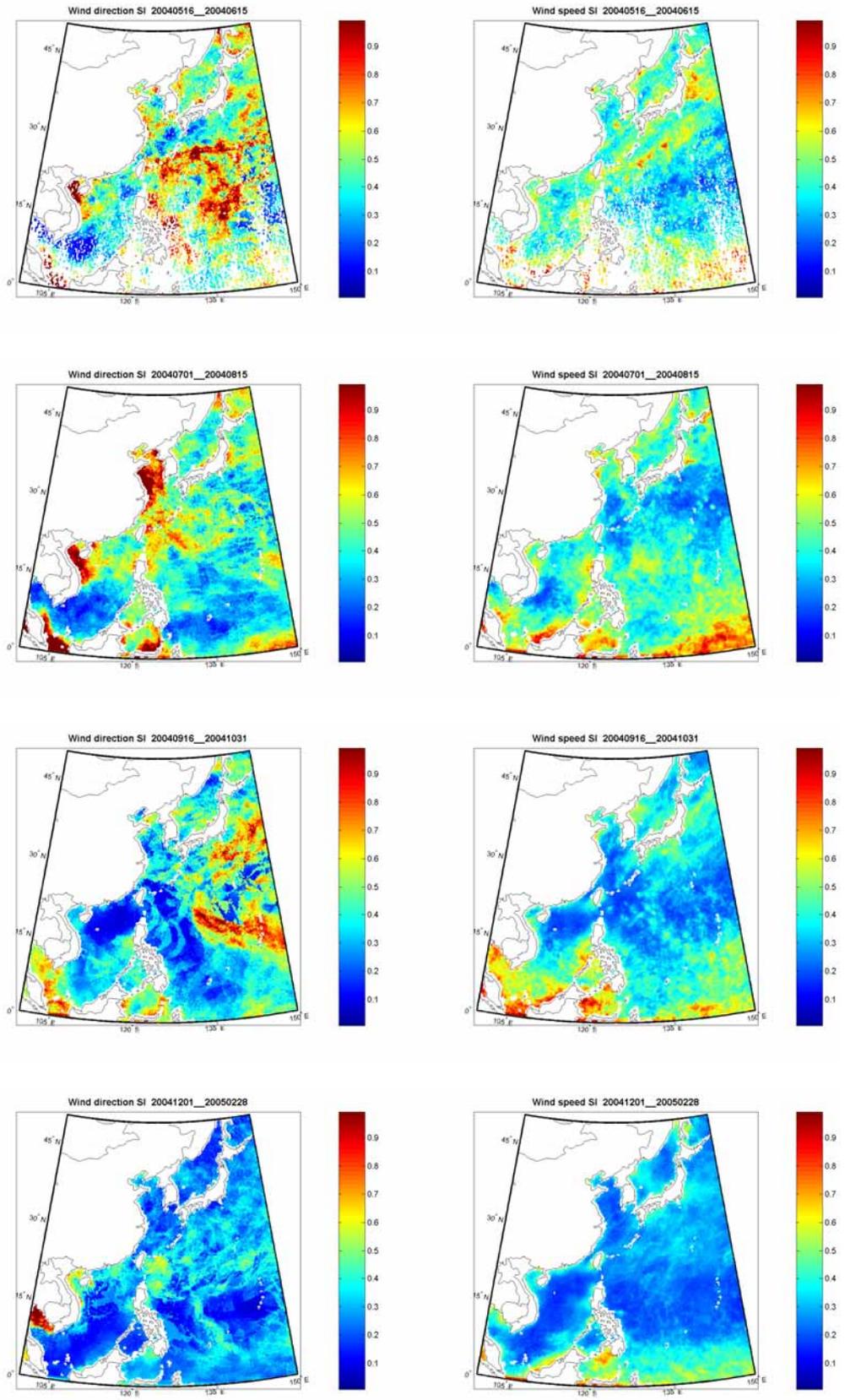


圖 8(g)、R_Domain 風速風向之分散係數 SI

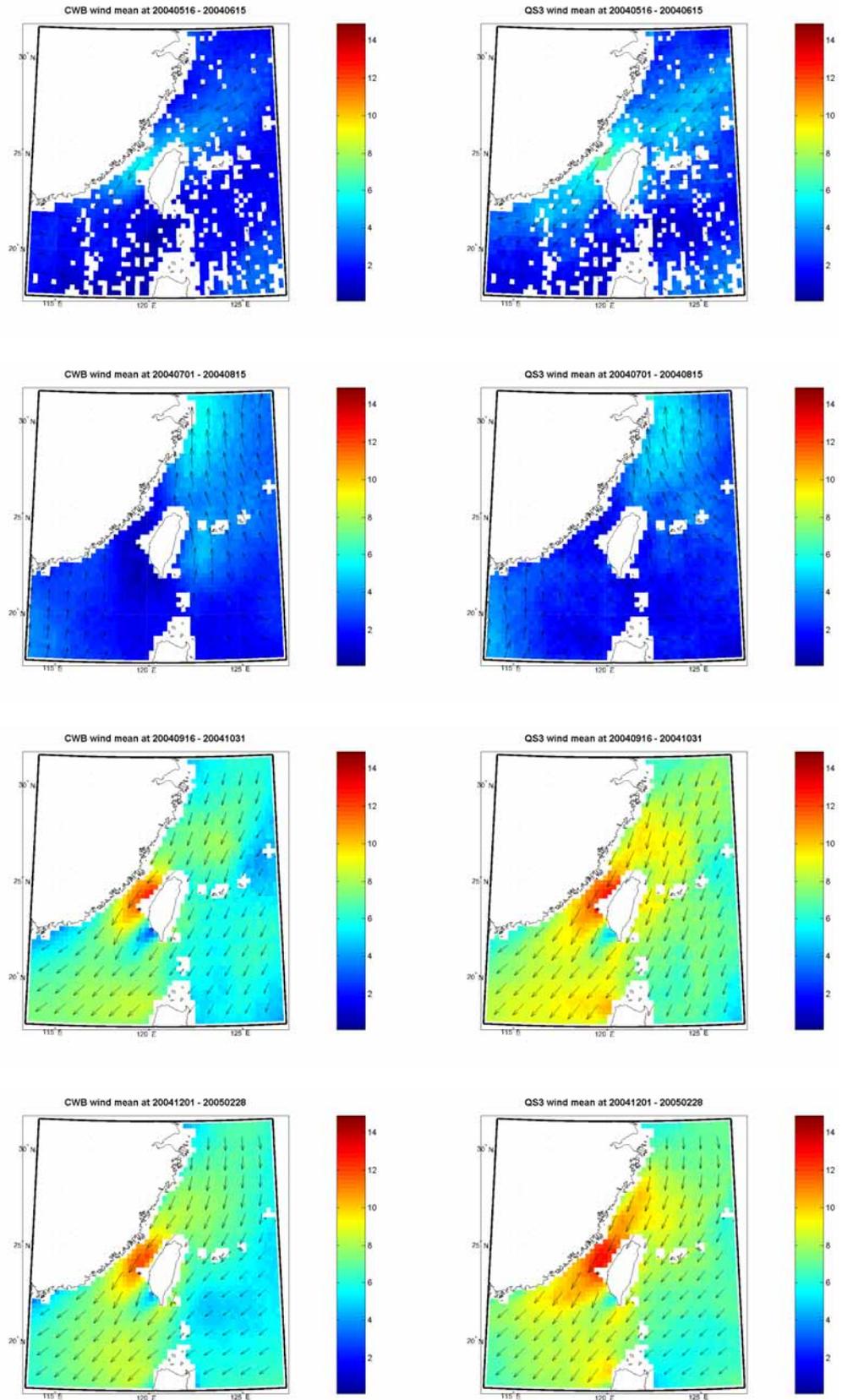


圖 9、M_Domain 梅雨季、夏季(西南季風盛行期)、秋季、冬季(東北季風盛行期)CWB、QuikSCAT 平均風場

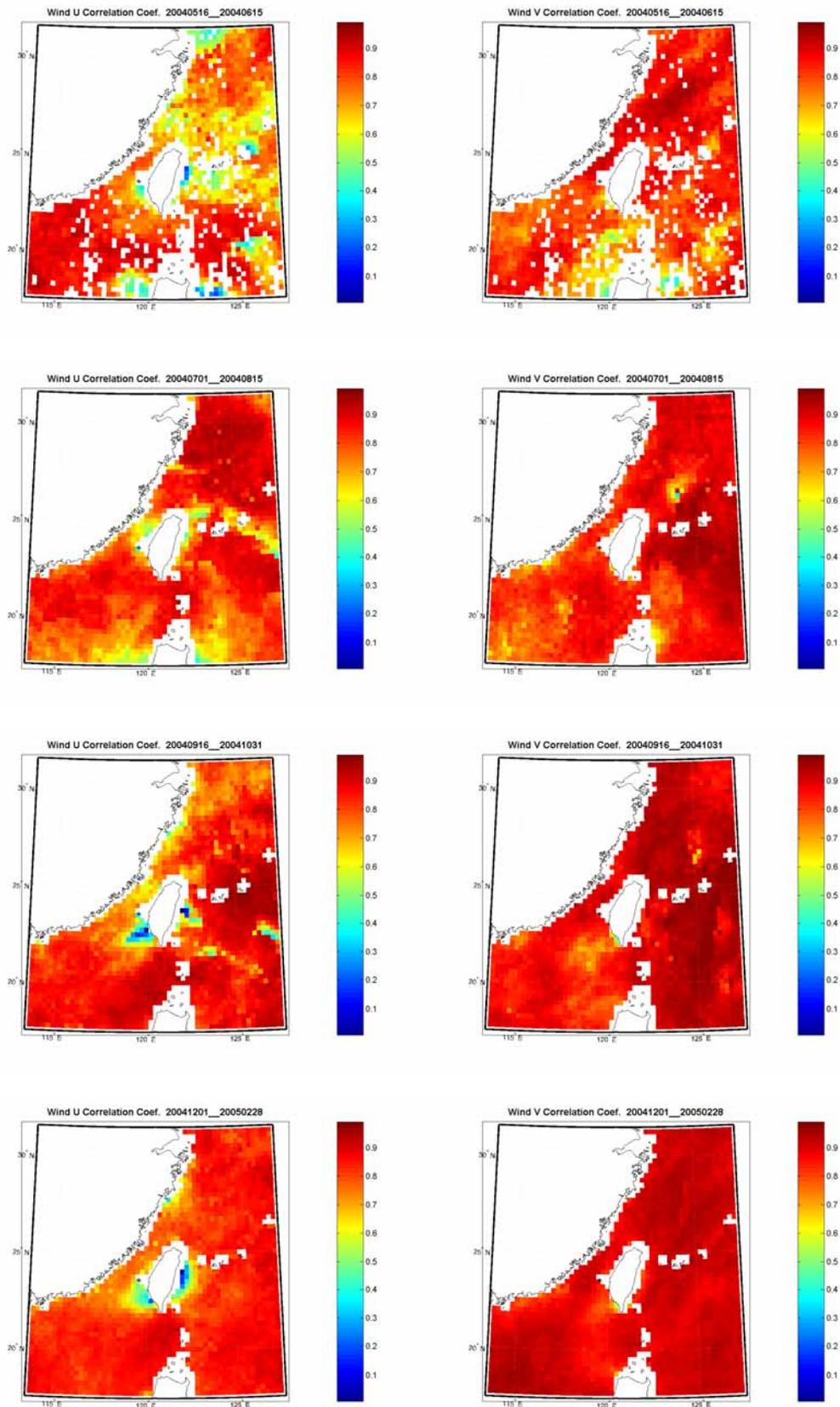


圖 9(a)、M_Domain 風向量 UV 之相關係數 CR

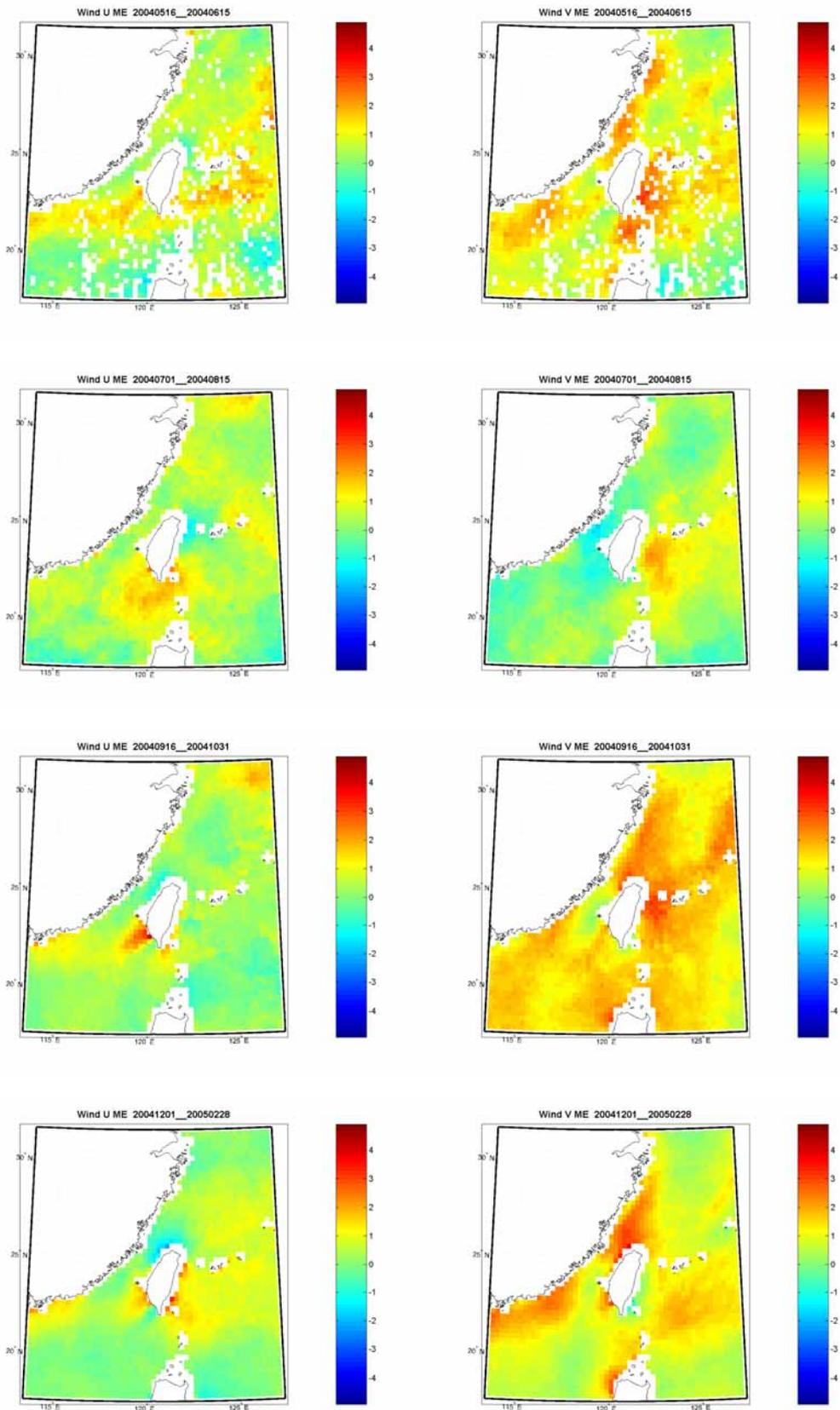


圖 9(b)、M_Domain 風向量 UV 之平均偏差 ME

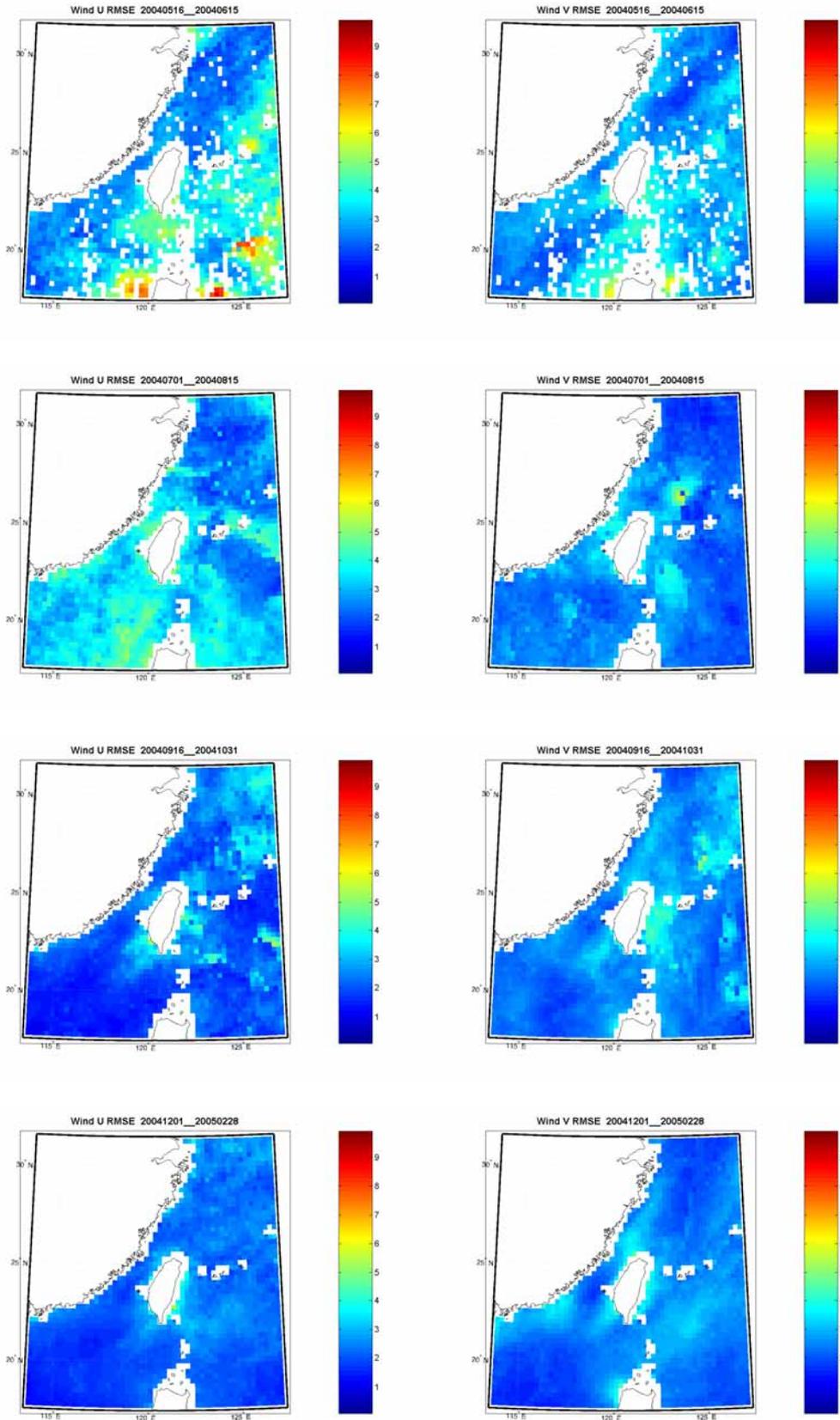


圖 9(c)、M_Domain 風向量 UV 之均方根誤差 RMSE

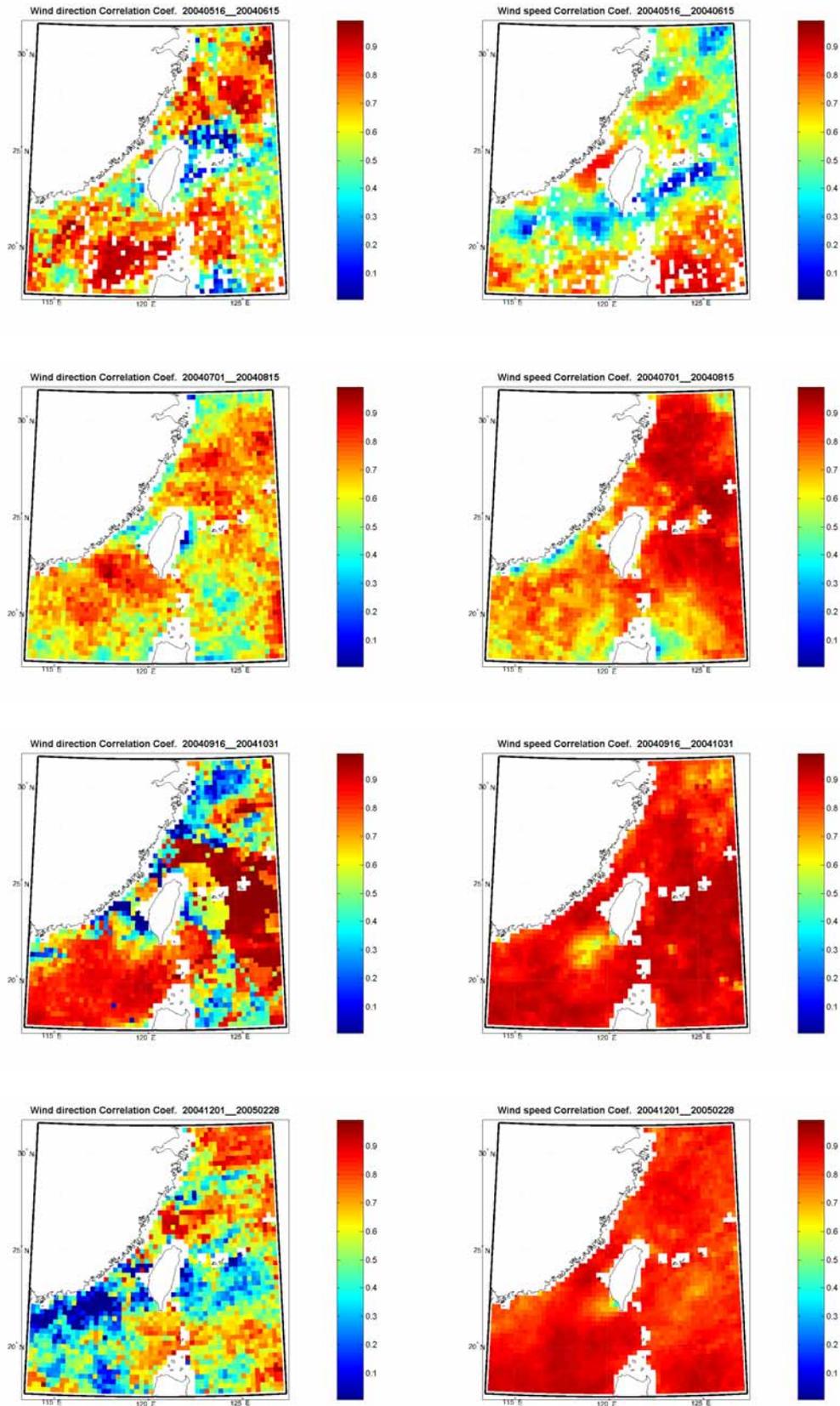


圖 9(d)、M_Domain 風速風向之相關係數 CR

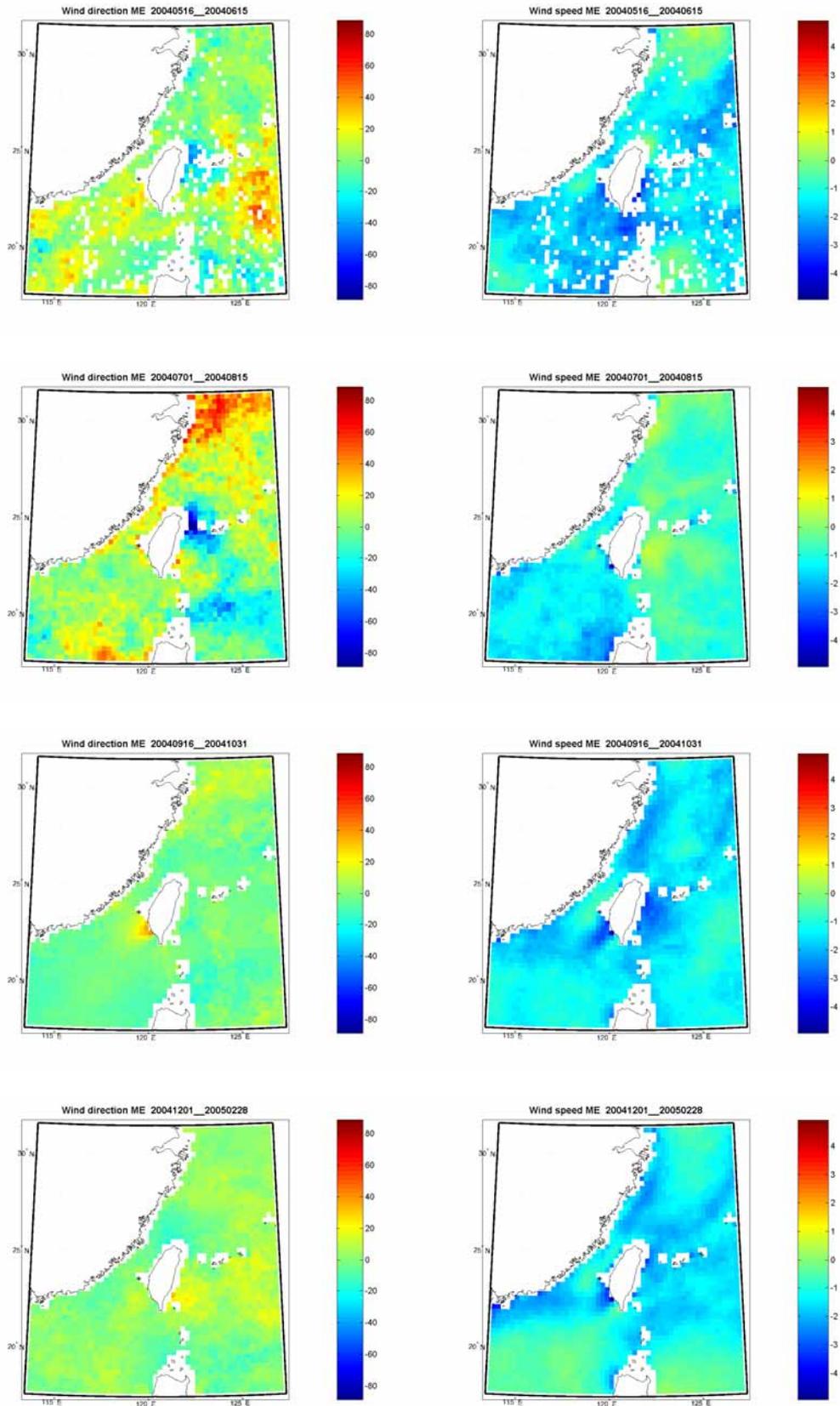


圖 9(e)、M_Domain 風速風向之平均偏差 ME

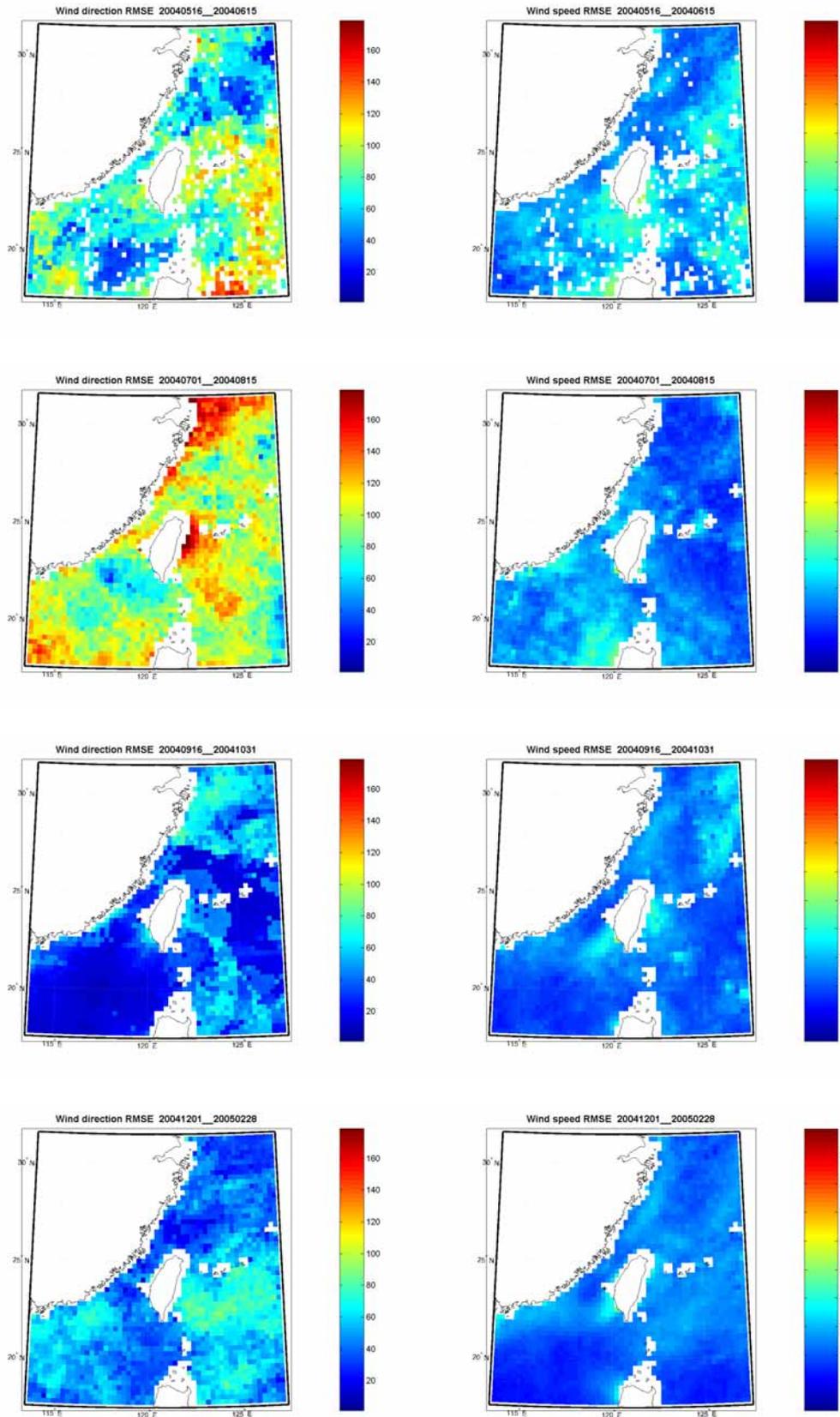


圖 9(f)、M_Domain 風速風向之均方根誤差 $RMSE$

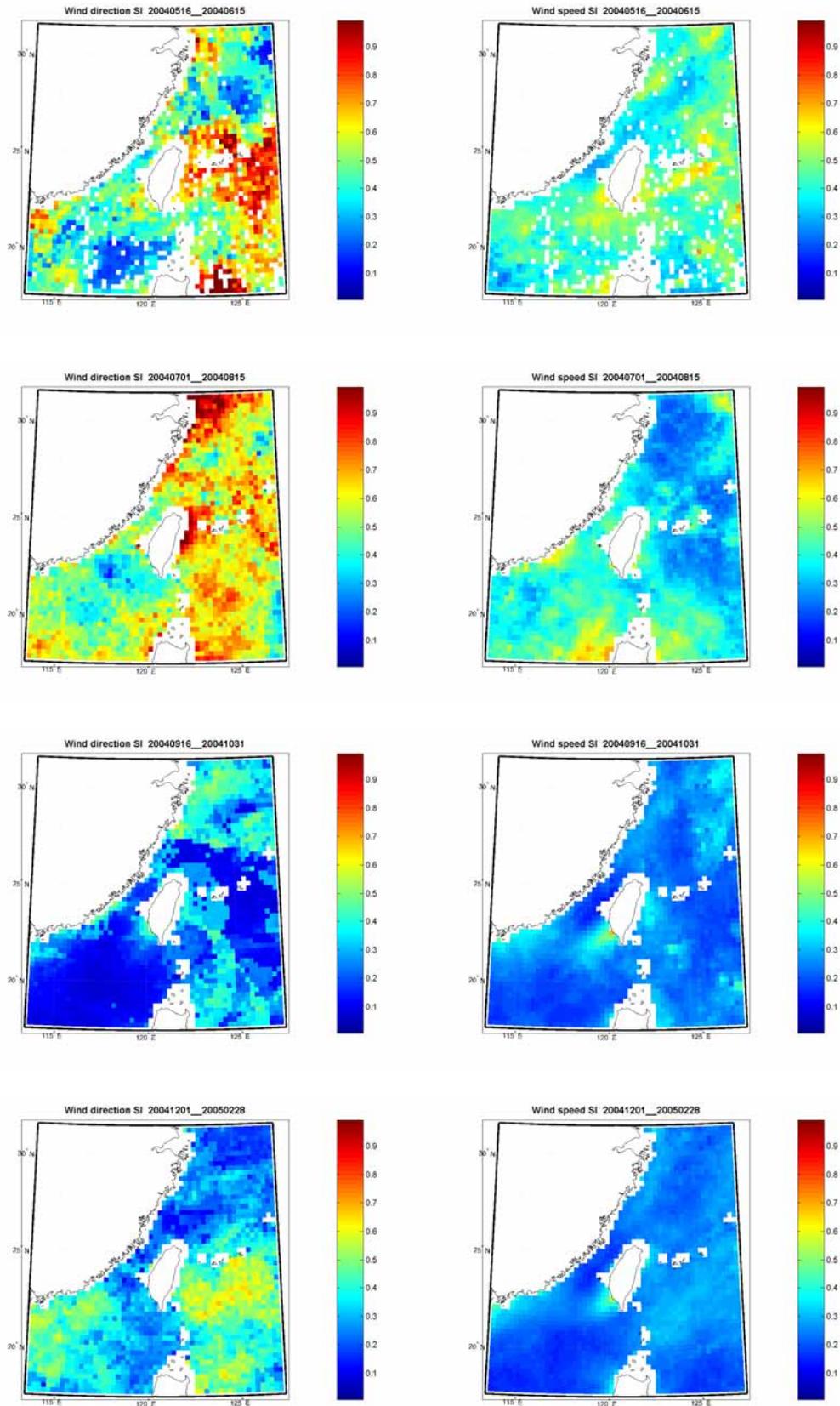


圖 9(g)、M_Domain 風速風向之分散係數 SI

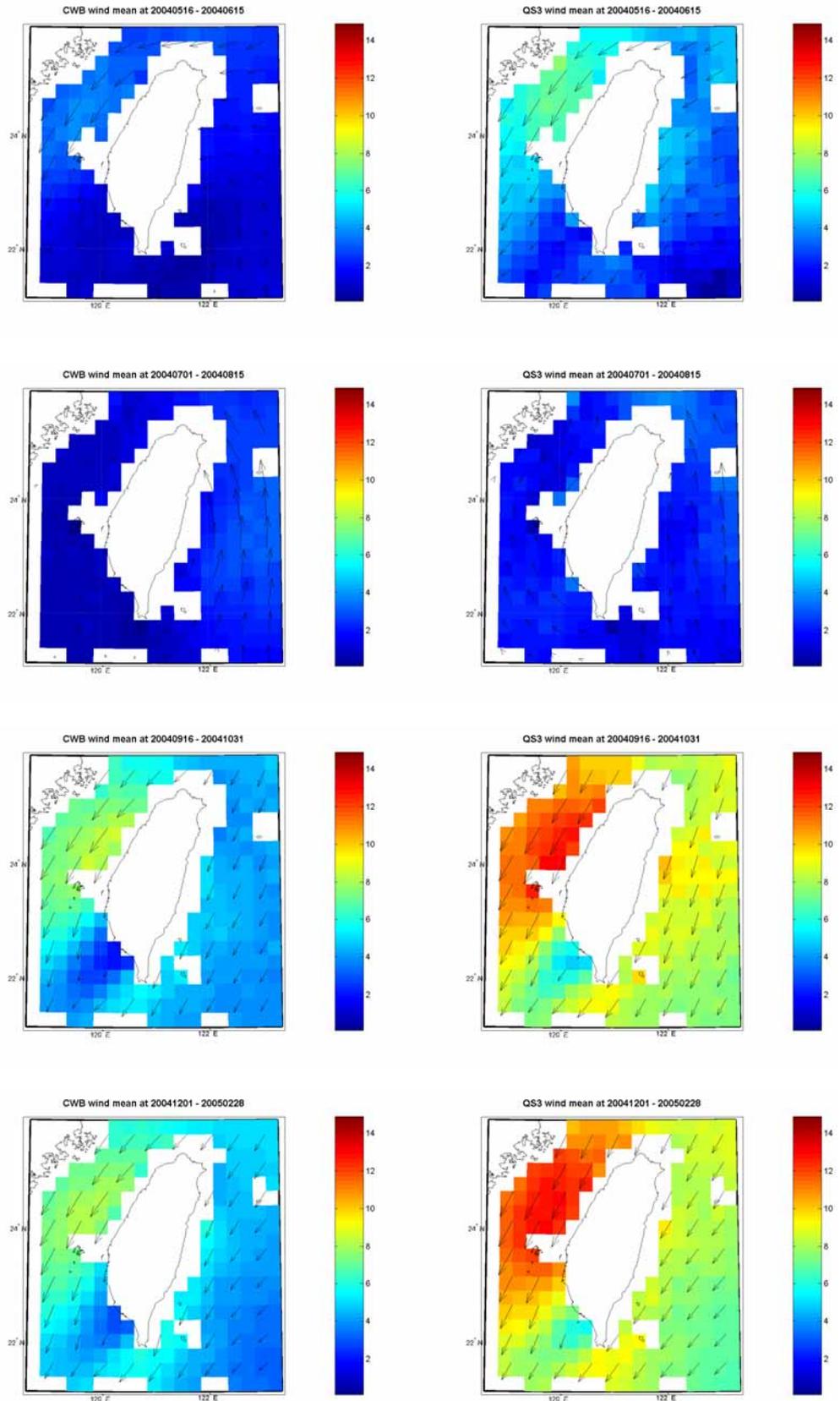


圖 10、H_Domain 梅雨期、夏季(西南季風盛行期)、秋季、冬季(東北季風盛行期)CWB、QuikSCAT 平均風場

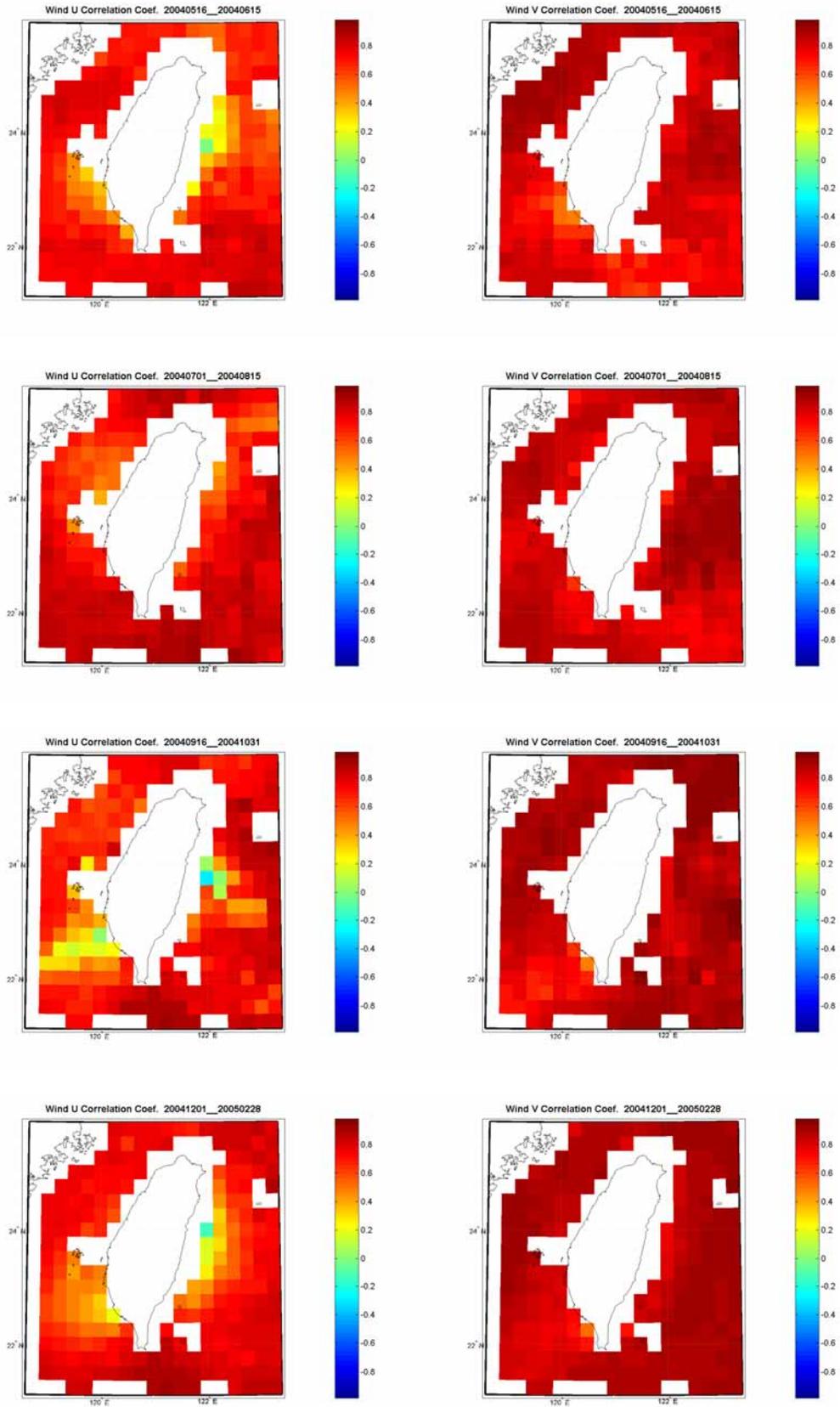


圖 10(a)、H_Domain 風向量 UV 之相關係數 CR

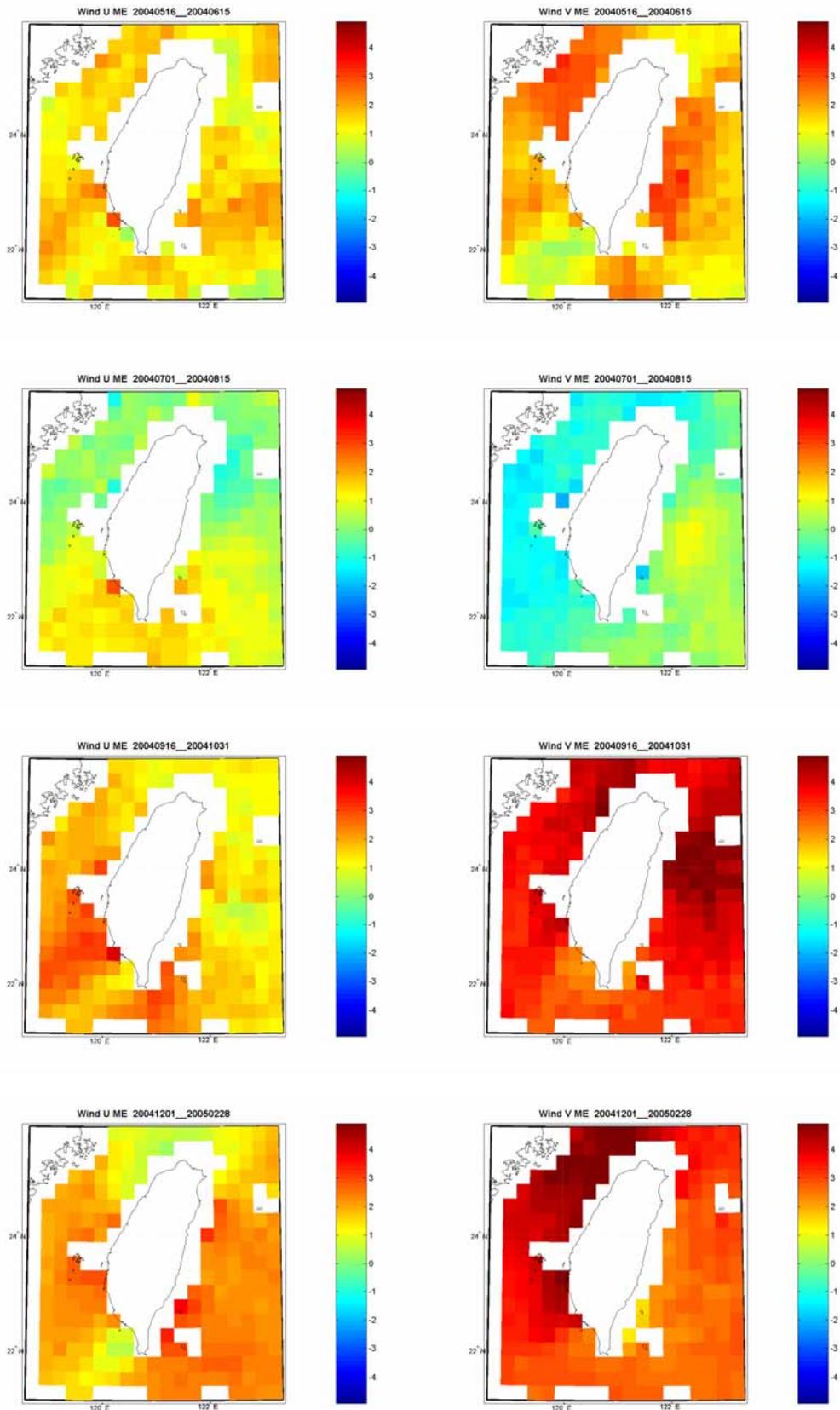


圖 10(b)、H_Domain 風向量 UV 之平均偏差 ME

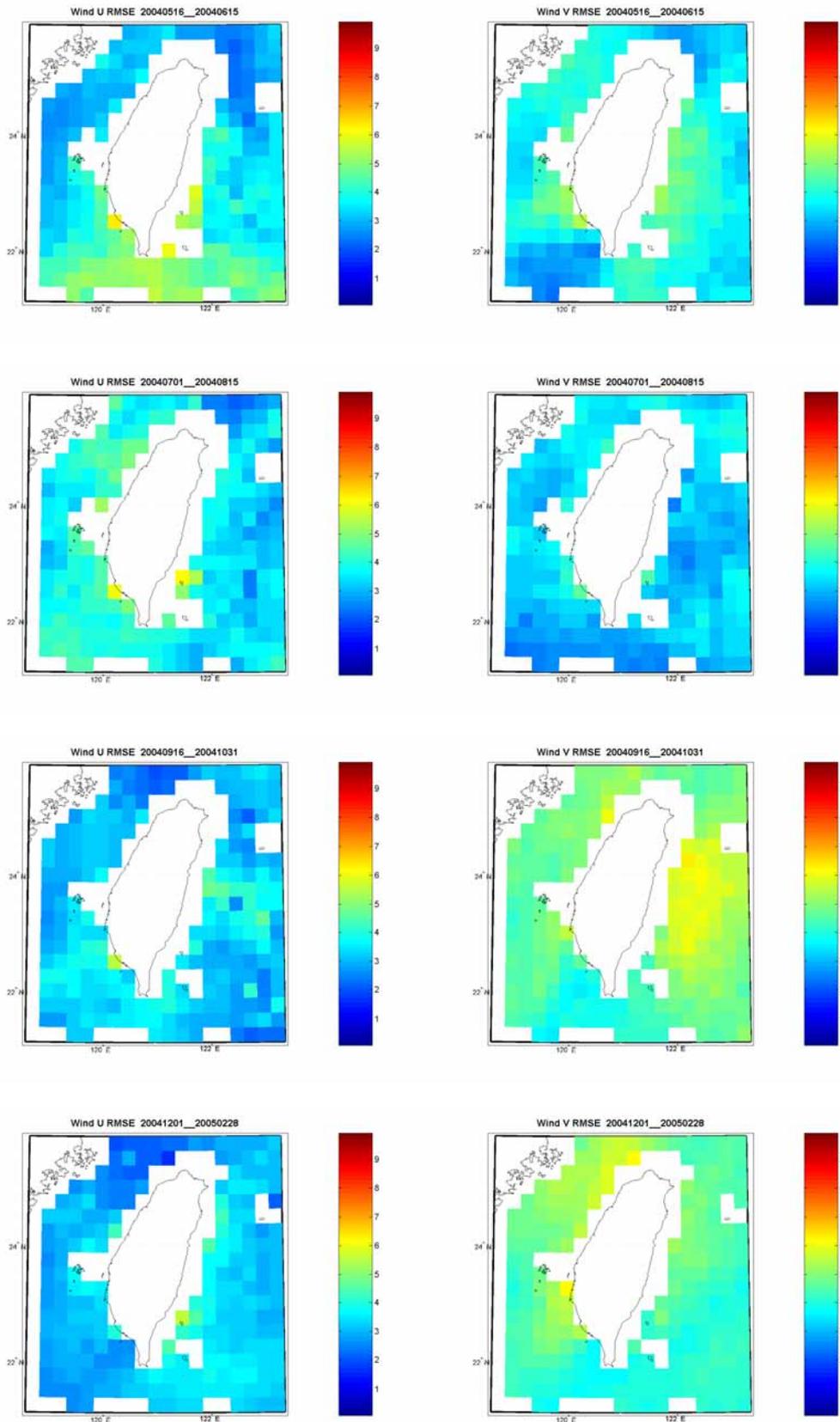


圖 10(c)、H_Domain 風向量 UV 之均方根誤差 $RMSE$

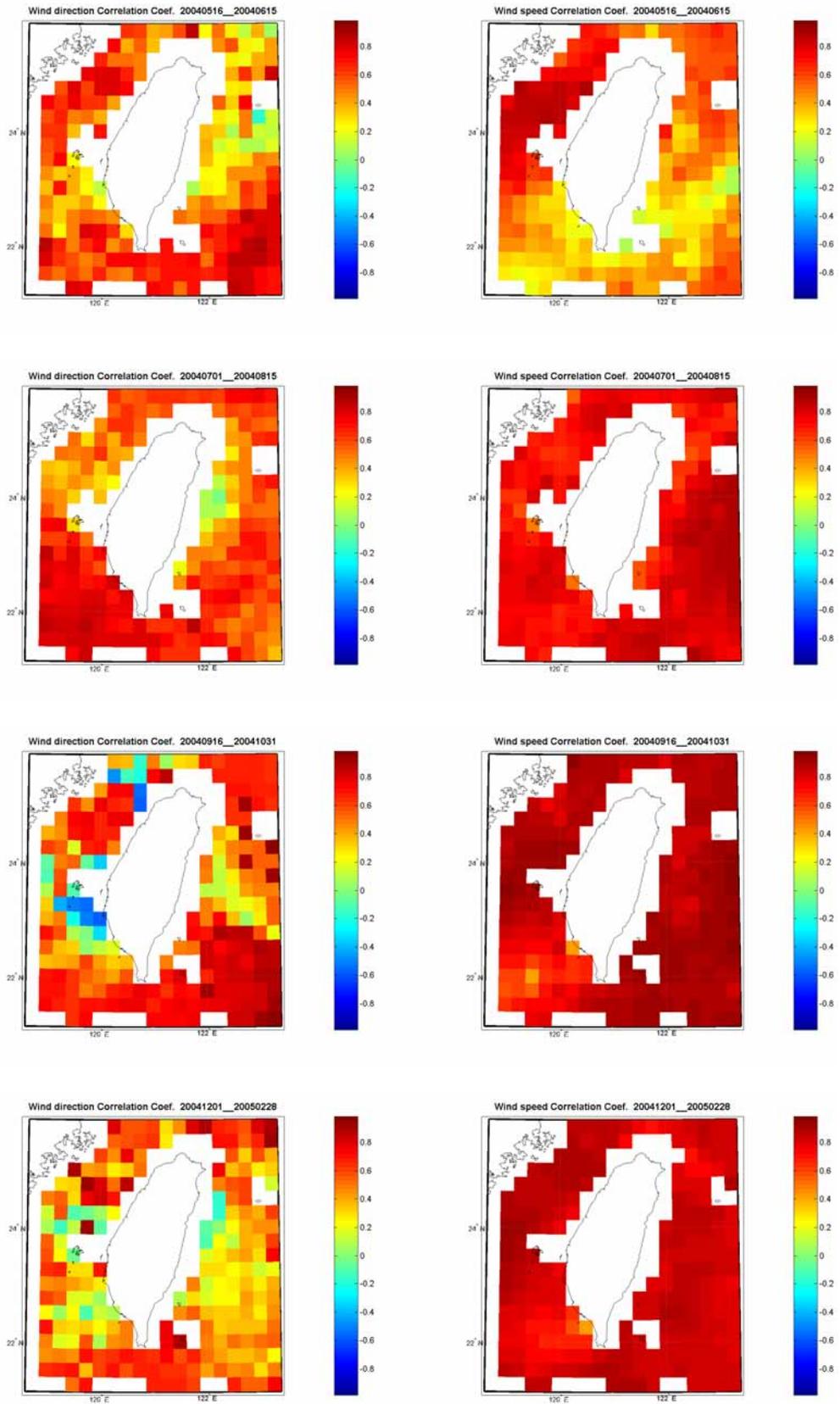


圖 10(d)、H_Domain 風速風向之相關係數 CR

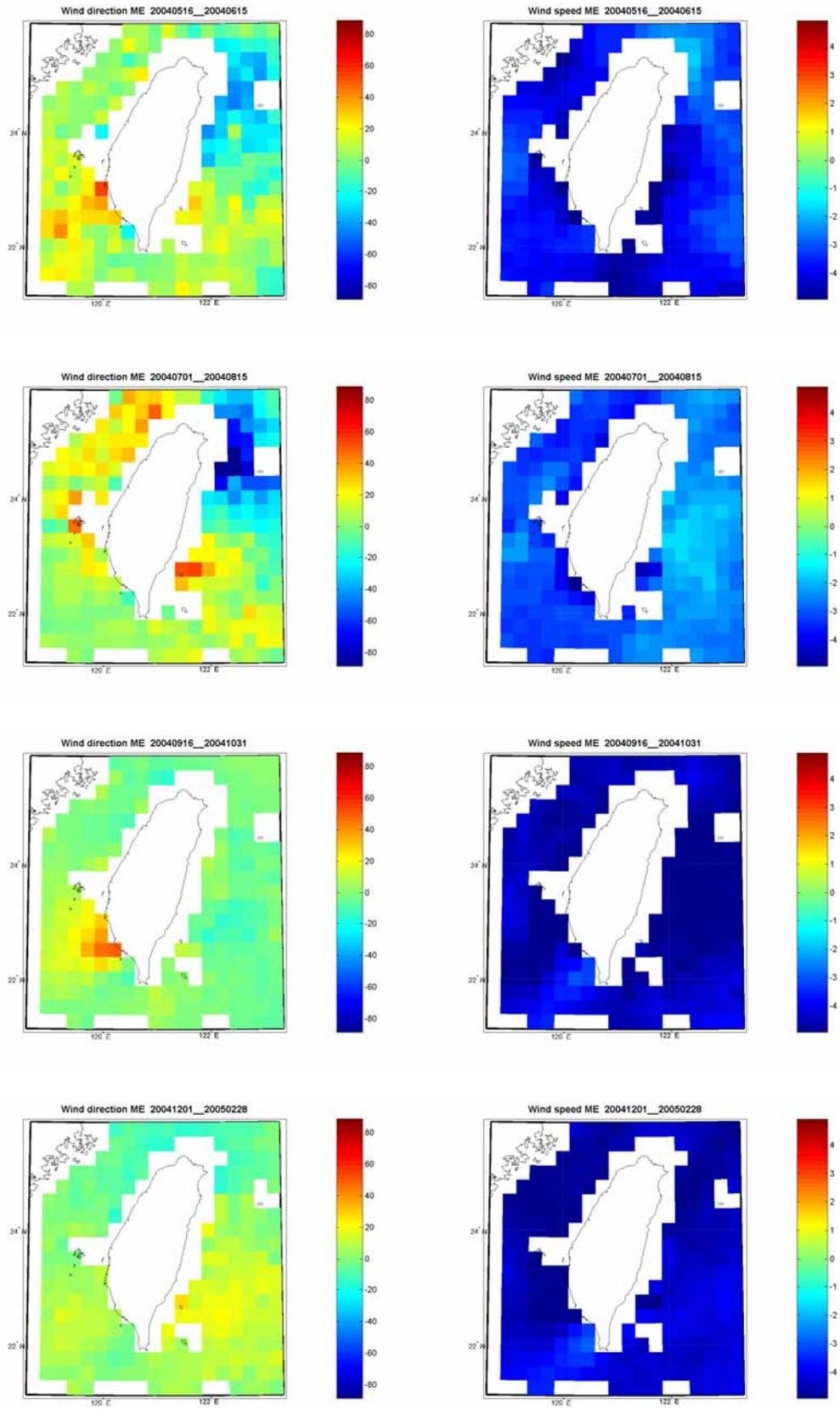


圖 10(e)、H_Domain 風速風向之平均偏差 ME

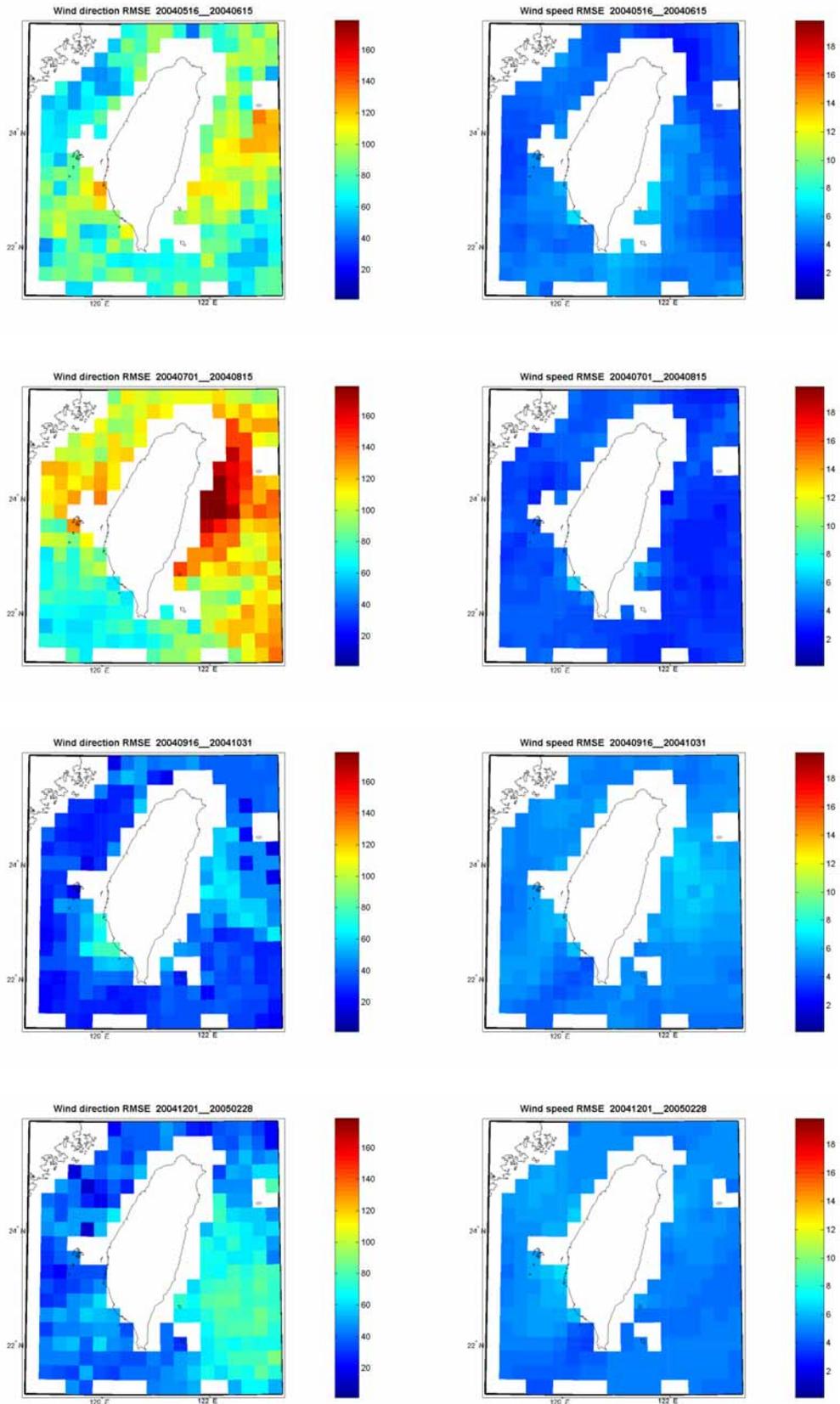


圖 10(f)、H_Domain 風速風向之均方根誤差 $RMSE$

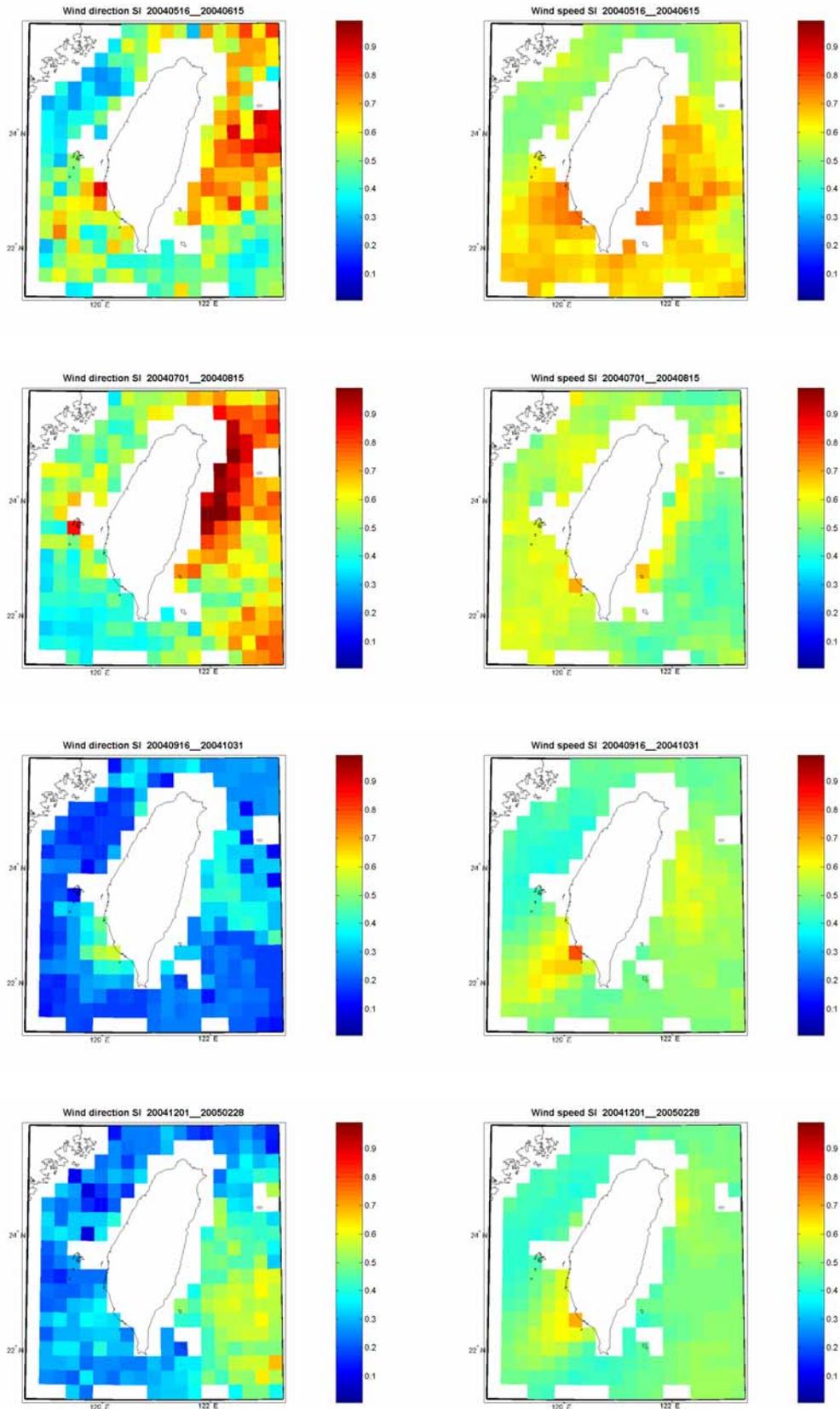


圖 10(g)、H_Domain 風速風向之分散係數 SI

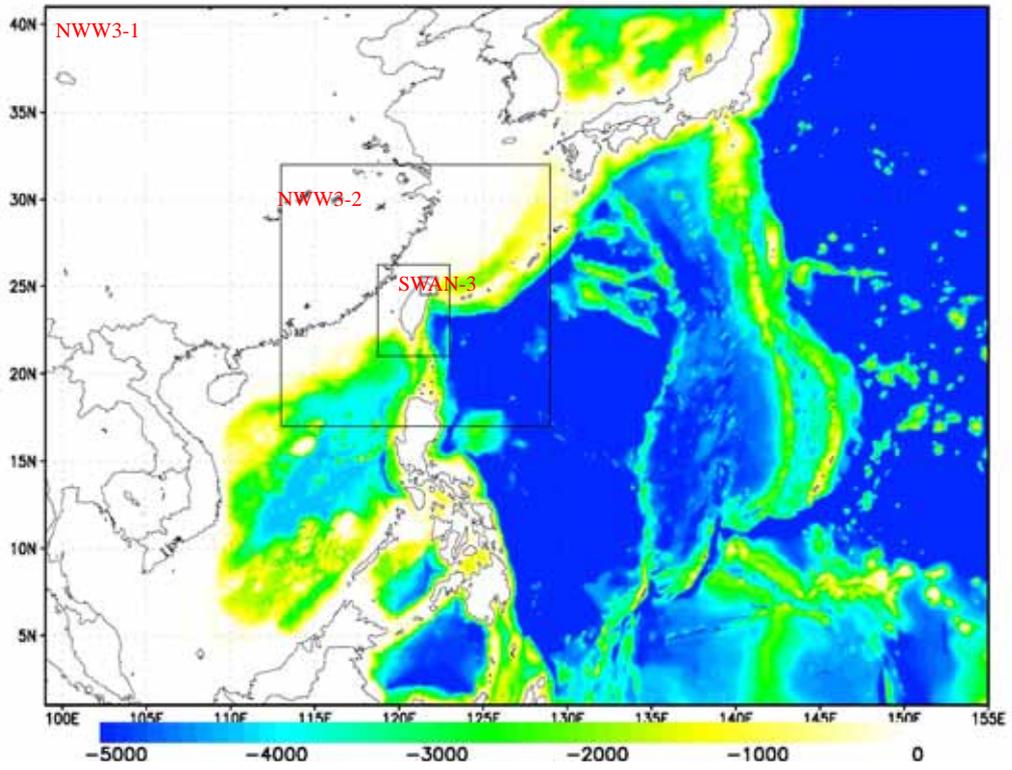


圖 11、CWB/NWW3_1、NWW3_2、SWAN 範圍

WSFO HNL SDM 2.2 05/04/01
(MABSDM2)

WIND SPEED	60NM SHORT	90-250NM NORMAL	300-650NM EXTRA LONG
10 KT	2 FT	2 FT	2 FT
15 KT	4 FT	5 FT	6 FT
20 KT	5 FT	7 FT	8 FT
25 KT	7 FT	10 FT	12 FT
30 KT	9 FT	13 FT	18 FT
35 KT	10 FT	16 FT	22 FT
40 KT	12 FT	20 FT	25 FT
45 KT	14 FT	24 FT	30 FT
50 KT	16 FT	28 FT	35 FT
55 KT	18 FT	31 FT	40 FT
60 KT	20 FT	33 FT	45 FT

FULLY DEVELOPED SEAS:

WIND SPEED	SEA HEIGHT	WIND SPEED	SEA HEIGHT
5 KT	FLAT	35 KT	22 FT
10 KT	2 FT	40 KT	25 FT
15 KT	4 FT	45 KT	30 FT
20 KT	8 FT	50 KT	35 FT
25 KT	12 FT	55 KT	40 FT
30 KT	18 FT	60 KT	45 FT

圖 12、NWS 風級浪高對照表

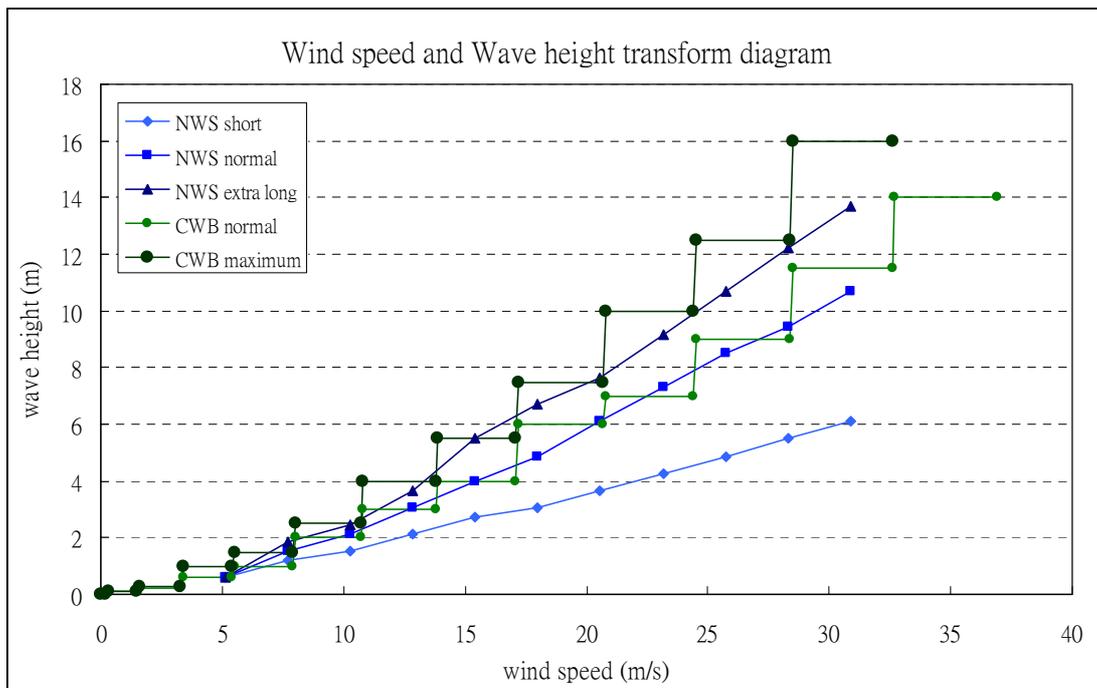


圖 13、本局與 NWS 風級浪高對照表--風速與波高關係圖

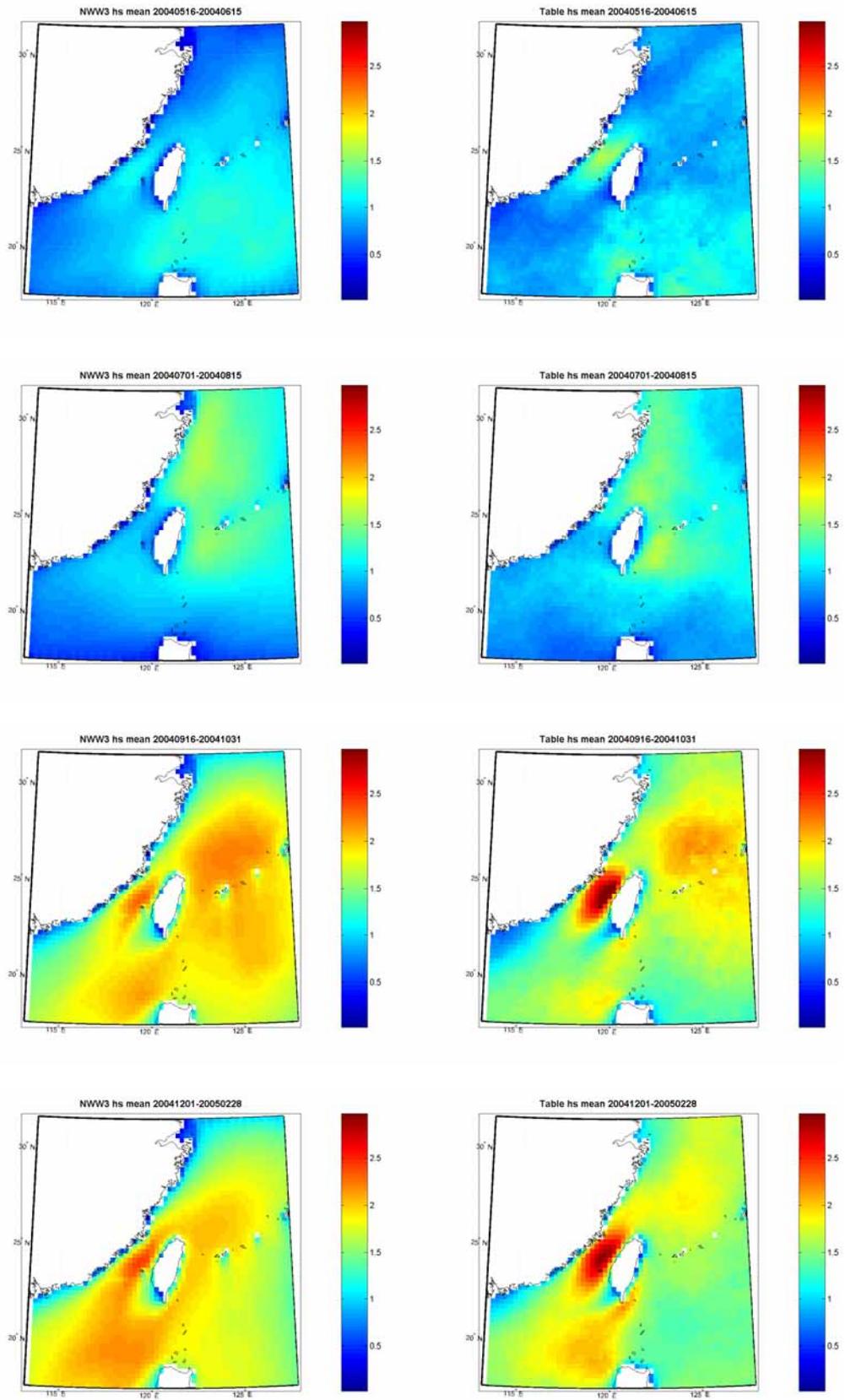


圖 14、CWB/NWW3_2 與採用本局風級浪高對照表所得之平均波場

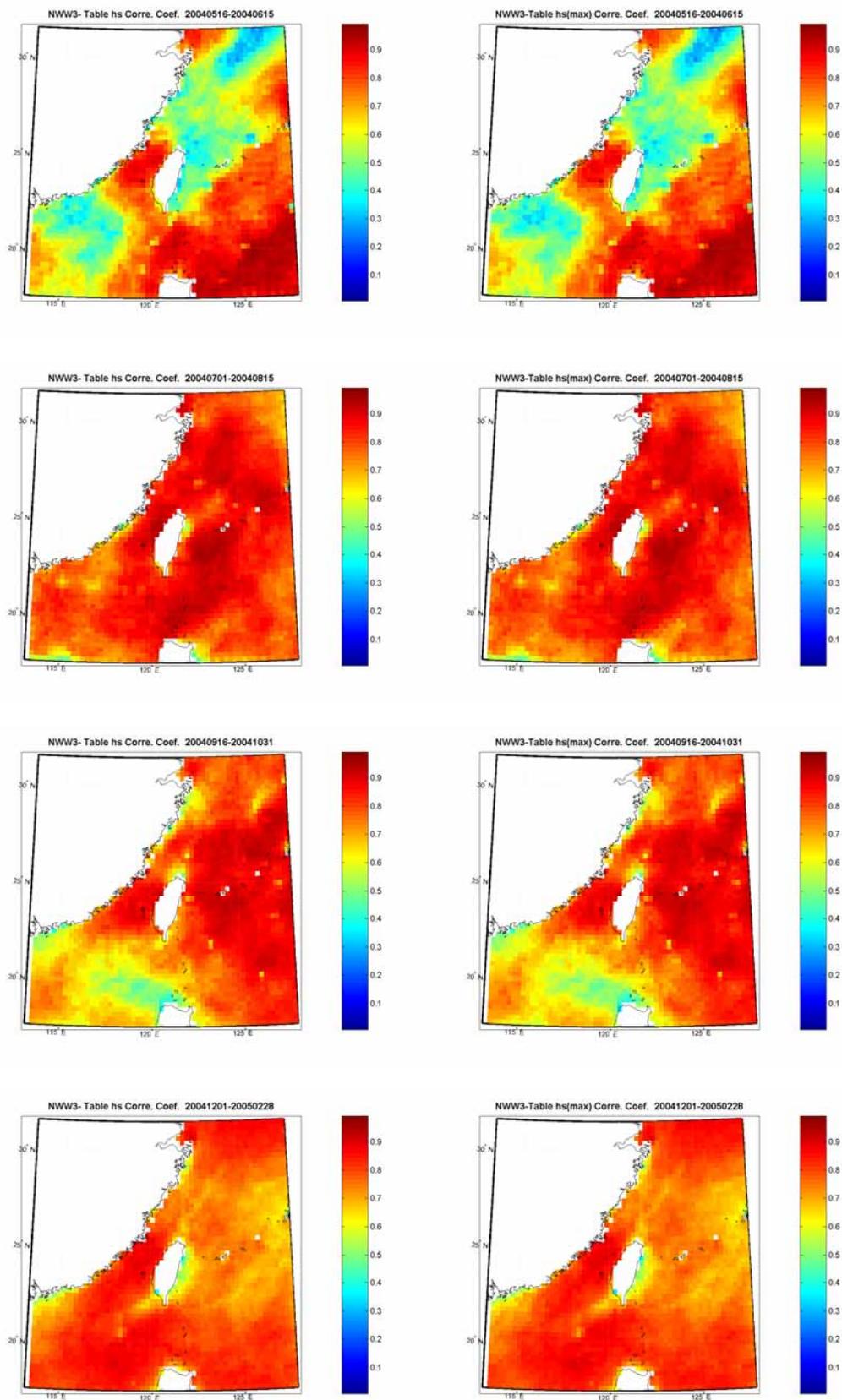


圖 14(a)、使用本局風級浪高對照表所得波高(一般波高、最大波高)與 CWB/NWW3_2 相關係數 CR

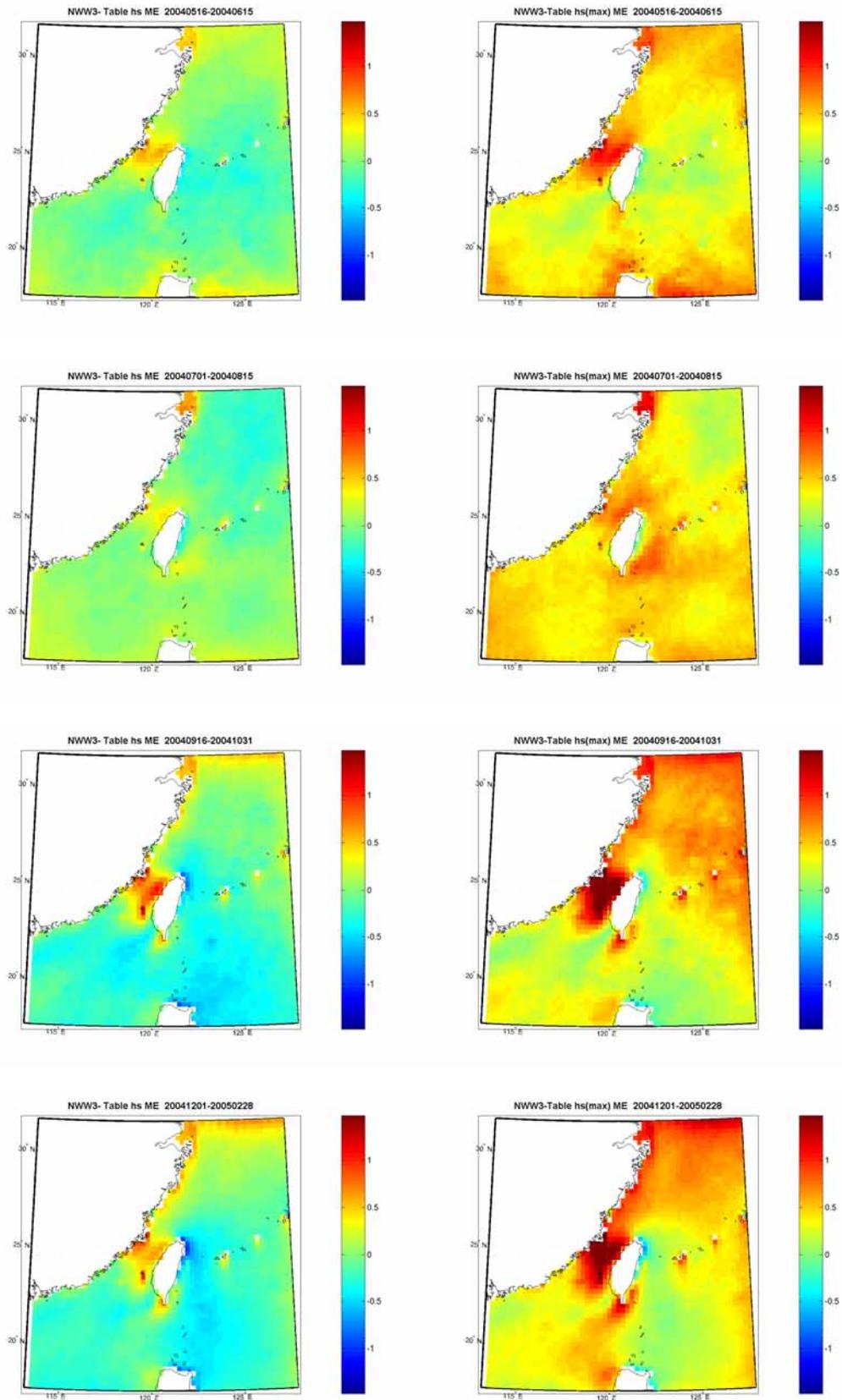


圖 14(b)、使用本局風級浪高對照表所得波高(一般波高、最大波高)與 CWB/NWW3_2 平均偏差 *ME*

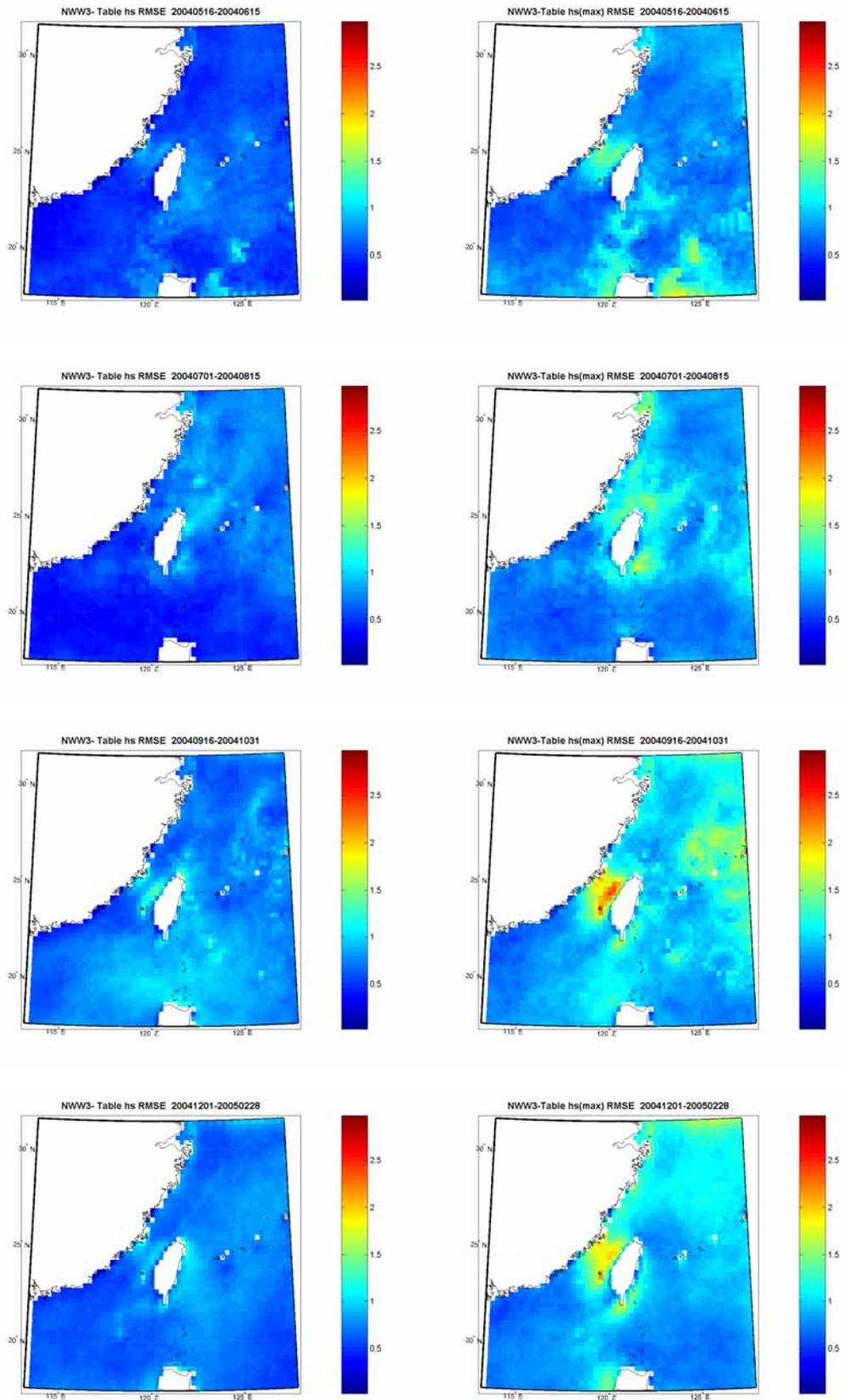


圖 14(c)、使用本局風級浪高對照表所得波高(一般波高、最大波高)與 CWB/NWW3_2 均方根誤差 *RMSE*

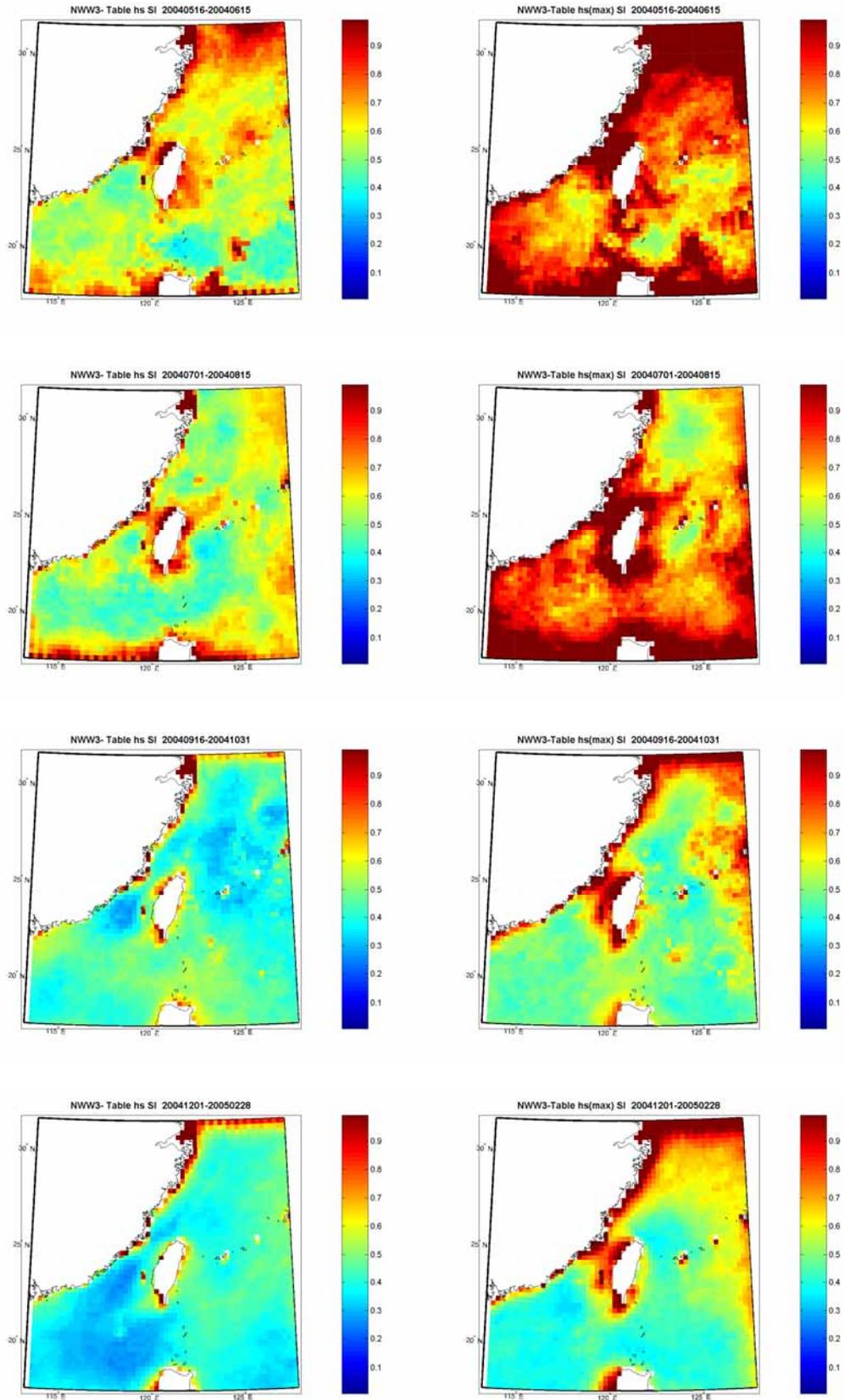


圖 14(d)、使用本局風級浪高對照表所得波高(一般波高、最大波高)與 CWB/NWW3_2 分散係數 SI