

交通部中央氣象局  
委託研究計畫期末成果報告

中央氣象局高解析度全球預報模式的診斷及物理參數化  
的改進研究(2/2)

計畫類別：氣象    海象    地震

計畫編號：MOTC-CWB-106-M-08

執行期間：106年1月17日至106年12月31日

計畫主持人：楊明仁教授

協同主持人：隋中興教授

研究助理：林昌鴻、林宜霖、張惠琪

執行機構：國立臺灣大學大氣資源與災害研究中心

本成果報告包括以下應繳交之附件（或附錄）：

赴國外出差或研習心得報告1份

赴大陸地區出差或研習心得報告1份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文共2份

中華民國106年11月28日

政府研究計畫期末報告摘要資料表

計畫中文名稱	中央氣象局高解析度全球預報模式的診斷及物理參數化的改進研究(2/2)		
計畫編號	MOTC-CWB-106-M-08		
主管機關	交通部中央氣象局		
執行機構	國立臺灣大學大氣資源與災害研究中心		
年度	106 年	執行期間	自 106 年 1 月 17 日起至 106 年 12 月 31 日止
本期經費 (單位：千元)	2150 千元		
執行進度	預定(%)	實際(%)	比較(%)
	100%	100%	0%
經費支用	預定(千元)	實際(千元)	支用率(%)
	2150 千元	2150 千元	100%
研究人員	計畫主持人	協同主持人	研究助理
	楊明仁教授	隋中興教授	林昌鴻、林宜霖、 張惠琪
報告頁數	41	使用語言	中文
中英文關鍵詞	對流可用位能(Convective Available Potential Energy ; CAPE)、雲功函數(cloud work function)、積雲調整時間尺度(convective adjustment time scale)		
研究目的	本研究計畫將進行中央氣象局全球預報模式(CWB/GFS)物理參數化方案的改進，並且使用 CWB/GFS 模式進行對於熱帶季內震盪(Madden-Julian Oscillation; MJO)對流現象的模擬，利用 DYNAMO 實驗的密集觀測資料進行診斷分析。物理參數化方案的改進將更新 Tiedtke 與 NSAS 積雲參數化方案，以及參考 NCEP 模式的現行作業化版本的網格尺度雲物理參數化方案等。期待更新模式的物理參數化方案後，CWB/GFS 模式對於 MJO 對流現象能有更好的掌握。		
研究成果	將 CWB/GFS 模式的 Tiedtke 積雲參數化方案更新為 MPAS 模式的 new Tiedtke 參數化方案，並嘗試將逸入作用增強後，將導致環境相對濕度增加而有利於 MJO 對流系統的發展。參考 WRF 模式 3.8.1 版本的對於 new Tiedtke 積雲參數化方案之調整，修改下衝流逸入作用過程中，增加對流內空氣塊浮力作		

	用的影響，將有助於改善模式對於 MJO-2 的掌握程度。在 EMC 版本中的 NSAS 積雲參數化法，修改計算積雲回饋過程中上衝流/下衝流比濕逸出通量的計算方式，將會導致相較於 CWB/GFS 版本的模擬環境水氣量較多，使得對流發展增強與降水增多。
具體落實應用情形	本(106)年度已完成將 MPAS 模式中的 new Tiedtke 積雲參數化方案置入至 CWB/GFS 全球模式，以及更新 NSAS 積雲參數化方案至最新的 EMC (Environmental Modeling Center) 版本，並對 DYNAMO 實驗期間(2011/10-2012/03)的 MJO-2 事件(2011/11/17-12/12)進行模擬測試。同時，分別說明 new Tiedtke 與 NSAS 積雲參數化方案處裡積雲對流內質量通量的方式。另外，探討 new Tiedtke 積雲參數化方案內，調整上衝/下衝流逸入率(updraft entrainment rate)、積雲調整時間尺度(convective adjustment time scale)與空氣塊抬升等的物理過程，對於 MJO-2 事件模擬結果的影響。
計畫變更說明	(若有)
落後原因	(若有)
檢討與建議(變更或落後之因應對策)	

## 一、 前言

本(106)年度已完成將 MPAS 模式中的 new Tiedtke 積雲參數化方案置入至 CWB/GFS 全球模式，以及更新 NSAS 積雲參數化方案至最新的 EMC (Environmental Modeling Center)版本，並對 DYNAMO 實驗期間(2011/10-2012/03)的 MJO-2 事件(2011/11/17-12/12)進行模擬測試。在本年度研究計畫期末報告中，為了說明 new Tiedtke 與 NSAS 積雲參數化方案，我們參考 Bechtold et al. (2014)與 Han and Pan (2011) 等文獻，分別討論此兩種參數化方案處裡積雲對流內質量通量的方式。另外，我們探討 new Tiedtke 積雲參數化方案內，調整上衝/下衝流逸入率(updraft entrainment rate)、積雲調整時間尺度(convective adjustment time scale)與空氣塊抬升等的物理過程，對於 MJO-2 事件模擬結果的影響。

## 二、 new Tiedtke 積雲參數化方案

在 new Tiedtke [Bechtold et al. (2014)]積雲參數化法中，計算積雲對流內的質量通量大小，取決於大氣環境中的對流可用位能(Convective Available Potential Energy; CAPE)。而 CAPE 隨時間的變化，考慮自由大氣(free atmosphere)以及邊界層(Planetary Boundary Layer; PBL)過程對於 CAPE 的貢獻，並透過積雲對流過程的消耗後，達到三者之間的平衡。

### a. new Tiedtke 積雲參數化方案運算流程

圖 1 說明模式中 new Tiedtke 參數化方案的計算流程(algorithm)。透過地表的熱通量與水氣通量計算地表的動能(kinetic energy)，以及溫度與水氣的分布，使用 Jakob and Siemesma (2003)簡化上衝流方程(simplified updraft equation)，計算空氣塊從近地面抬升時，其氣塊溫度、水氣與動能的變化，並考慮逸入(fractional entrainment rate)的影響，如式(1)~(3)，

$$\varphi_{z+1}^{init} = [a_{init}(\bar{\varphi}_{z+1} + \bar{\varphi}_z) + (1 - a_{init})\varphi_z] / (1 + a_{init}), \quad (1)$$

$$\varepsilon_{up}^{init} = 0.55 \times \frac{1}{z} + 10^{-4},$$

$$a_{init} = 0.5 \times \varepsilon_{up}^{init} \times dz,$$

$$K_{up}^{surf} = \frac{W_*^2}{2}, \quad (2)$$

$$k_{z+1}^{init} = [(1 - 2a_{init} \times K_z^{init}) + 2dz \times B] / (1 + 2a_{init}) \quad (3)$$

式中 $\varphi$ 代表空氣塊的溫度、比濕等變數、 $K$ 為空氣塊動能、 $B$ 為浮力、 $W_*$ 為垂直速度、

$\varepsilon$ 為逸入率。

當空氣塊持續抬升而達到飽和，且空氣塊的垂直動能  $K > 0$  時，定義此高度層為舉升凝結層(Lifting Condensation Level；LCL)，即為雲底高度( $H_{base}^{init}$ )，並依照不同的積雲型態，定義此高度層的質量通量初始猜測值( $M_{base}^{init}$ )。空氣塊於積雲內持續抬升時，考慮凝結(Condensation)作用的影響。當空氣塊的垂直動能  $K < 0$ ，定義此高度層為雲頂高度初始猜測值( $H_{top}^{init}$ )。在參數化方案中，假設雲的厚度  $H_c > 200$  hPa 時為深對流雲， $H_c < 200$  hPa 則為淺積雲；而當雲底高度位於 PBL 之上且相對濕度  $> 80\%$  時，定義為中層對流雲。若此階段判斷為深對流雲，new Tiedtke 方案將另外使用深對流雲的上沖流方程式、動能與逸入率，重新計算深對流雲的 LCL 與雲頂高度[式(4)~(6)]如下，

$$\varphi_{z+1} = 0.5a_{deep}(\bar{\varphi}_{z+1} + \bar{\varphi}_z) + (1 - a_{deep})\varphi_z, \quad (4)$$

$$\varepsilon_{up}^{deep} = 1.75 \times 10^{-3} \times \left[ \frac{\bar{q}_s}{\bar{q}_{s,surf}} \right]^3, \quad (5)$$

$$a_{deep} = 0.5 \times \varepsilon_{up}^{deep} \times dz,$$

$$k_{z+1}^{deep} = [(1 - 2a_{deep}) \times K_z^{deep} + 2dz \times B] / (1 + 2a_{deep}). \quad (6)$$

將對流雲分類後，開始分別計算雲內上衝流(updraft)與下衝流(downdraft)的質量通量與降水，並考慮空氣塊逸入(entrainment)及逸出(detrainment)過程。當空氣塊抬升至垂直動能  $K < 0$  處且空氣塊未飽和的高度層時，則定義此為雲頂高度，即自由下沉高度(Level of Free Sinking；LFS)，並將位於雲頂高度的下沖流質量通量初始猜測值定義為

$$M_{d,LFS} = -\alpha M_{u,base}, \quad (7)$$

$$\alpha = 0.3,$$

而位於 PBL 內，則假設下衝流質量通量自雲底高度遞減至地面時為 0。最後使用 CAPE 近似積雲質量通量的方法[Bechtold et al. (2014)]，修正上衝流質量通量的初始猜測值並代入大尺度收支方程中，更新預報變數(溫度、比濕及風場)，完成 new Tiedtke 積雲參數化方案的運算流程。

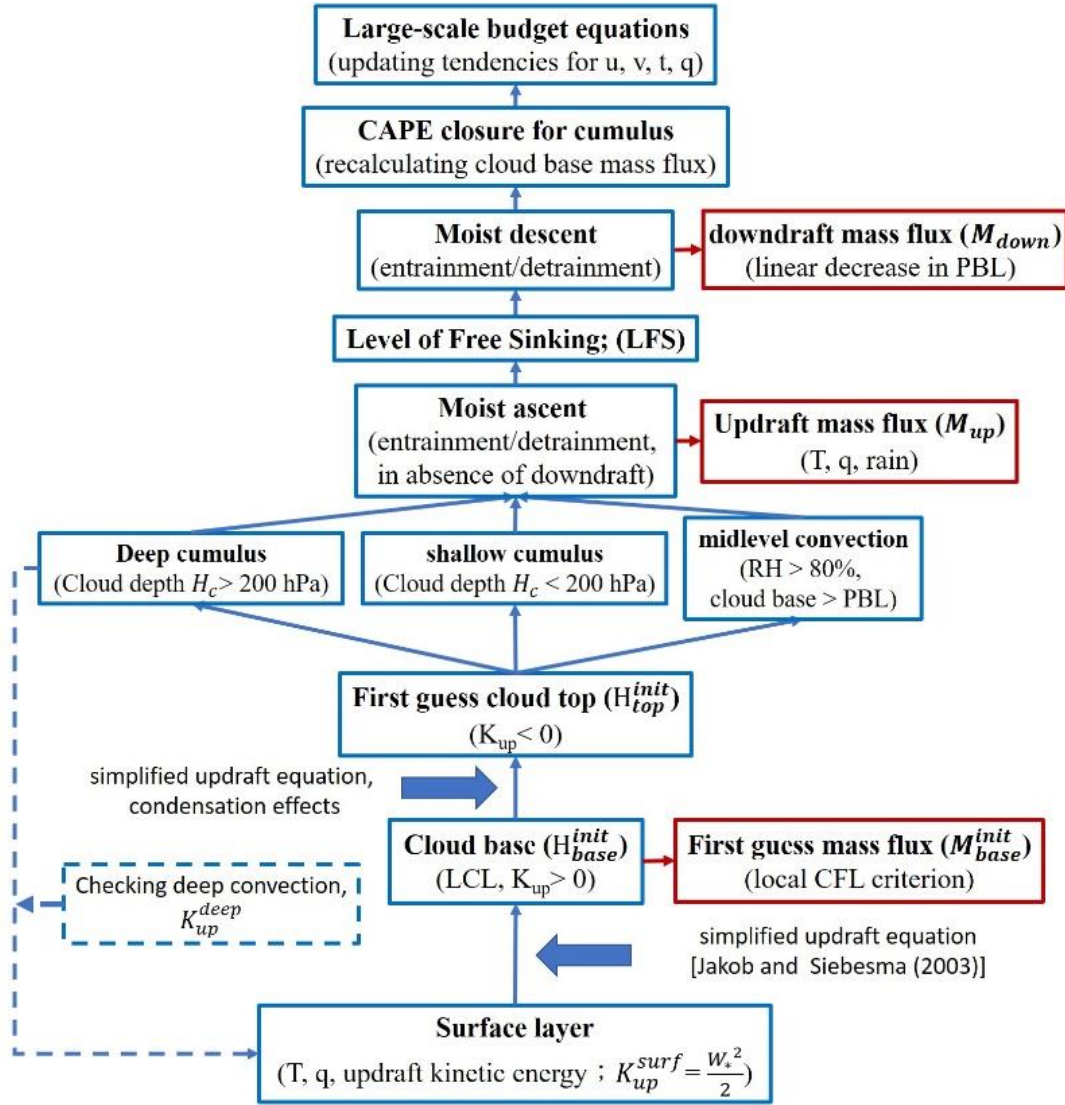


圖 1: new Tiedtke 積雲參數化法運算流程圖。

### b. 雲底質量通量初始猜測值(first guest mass flux)

在 new Tiedtke 參數化方案中，分別設定深對流雲(deep convection)、淺積雲(shallow convection)以及中層對流雲(midlevel convection)三種不同積雲類型的初始雲底質量通量。於深對流雲時設定為

$$M_{base}^{init,deep} = 0.1M_{b,max} , \quad (8)$$

(8)式中最大雲底質量通量 $M_{b,max}$ ，則參考 Jakob and Siebesma (2003)所定義的局地 CFL (Courant-Friedrichs-Lewy)計算穩定條件為考量

$$M_{b,max} = 3 \frac{\Delta p}{g\Delta t} , \quad (9)$$

其中 $\Delta p$ 和 $\Delta t$ 分別為雲底模式厚度與模式積分時步長。於淺積雲時，初始雲底質量通量則設定為 PBL 內濕靜能隨時間變化的垂直積分

$$M_{base}^{init,shal}(h_{base}^{up} - \bar{h}_{base}) = -\frac{1}{g} \int_{P_{surf}}^{P_{base}} \frac{\partial h}{\partial t} dp \quad (10)$$

而中層對流雲內，則假設初始質量通量與等高度層的大尺度垂直質量通量傳輸相同

$$M_{base}^{init,mid} = \rho \bar{\omega}_b \quad (11)$$

### c. 逸入/逸出(entrainment/detrainment)

於深對流雲內，上衝流的逸入和逸出作用定義為相對濕度(relative humidity)相關的函數如下：

$$E_{deep}^{up} = \varepsilon^{up} (1.3 - RH) f_s \quad (12)$$

$$\varepsilon^{up} = 1.75 \times 10^{-3} \quad ,$$

$$f_s = \left[ \frac{q_{sat}(\bar{T})}{q_{sat}(T_{base})} \right]^3 \quad ,$$

$$D_{deep}^{up} = \delta^{up} (1.6 - RH) \quad (13)$$

$$\delta^{up} = 0.75 \times 10^{-4} \quad ,$$

式中 $\varepsilon^{up}$ 和 $\delta^{up}$ 分別為深對流雲的逸入率(entrainment)和逸出率(detrainment)、RH 為環境相對濕度、 $q_{sat}$ 為飽和比濕。由(12)、(13)式可知，當相對濕度越高(越低)，環境逸入/逸出作用越小(越大)。淺積雲的逸入作用定義為深對流逸入作用的兩倍[(14)式]，而溢出率則設定正比於淺積雲逸入率[(15)式]

$$E_{shal}^{up} = 2E_{deep}^{up} \quad (14)$$

$$D_{shal}^{up} = E_{shal}^{up} (1.6 - RH) \quad (15)$$

下沖流及擾動逸入、逸出，則設定為常數，其分別為  $E^{down} = D^{down} = 2 \times 10^{-4}(m^{-1})$  和  $E_{tur} = D_{tur} = 0.75 \times 10^{-4}(m^{-1})$ 。

#### d. CAPE 近似方法

在氣壓(P)座標下的對流可用位能 CAPE ( $Jm^{-3}$ )，可定義為

$$PCAPE = - \int_{P_{base}}^{P_{top}} \frac{T_v^{up} - \bar{T}_v}{T_v} dp, \quad (16)$$

式中  $T_v$  為虛溫，pbase 和 ptop 分別為雲底和雲頂高度的氣壓。環境中的 PCAPE，會受到輻射和大尺度平流過程(LS)，並透過積雲對流消耗 PCAPE。此外邊界層(Boundary-layer; BL)物理過程產生的 PCAPE，會透過對流雲所產生的下衝氣流以及雲底之下的降水冷卻過程影響 PCAPE 的變化。因此 PCAPE 的預報方程，可表示成

$$\frac{\partial PCAPE}{\partial t} = \underbrace{\int_{P_{base}}^{P_{top}} \frac{1}{\bar{T}_v} \frac{\partial \bar{T}_v}{\partial t} dp}_{LS+CONV} - \underbrace{\int_{P_{base}}^{P_{top}} \frac{1}{\bar{T}_v} \frac{\partial T_v^{up}}{\partial t} dp + \frac{T_v^{up} - \bar{T}_v}{\bar{T}_v} \Big|_{base} \frac{\partial p_{base}}{\partial t}}_{BL+CONV}, \quad (17)$$

$$= \frac{\partial PCAPE}{\partial t} \Big|_{LS} + \frac{\partial PCAPE}{\partial t} \Big|_{BL} + \frac{\partial PCAPE}{\partial t} \Big|_{CONV=shal+deep}. \quad (18)$$

深對流雲內的 CAPE 隨時間發展的變化，可假設為透過積雲對流的活動，於對流時間尺度  $\tau$  內(Fritsch and Chappell, 1980; Betts and Miller, 1986; Nordeng, 1994)，消耗大尺度以及邊界層物理過程所產生的 PCAPE。

$$\frac{\partial PCAPE}{\partial t} \Big|_{CONV,1} = \frac{\partial PCAPE}{\partial t} \Big|_{LS} = - \frac{PCAPE_{LS} - PCAPE_{BL}}{\tau}. \quad (19)$$

或者，我們可以假設，積雲對流造成環境補償性的下衝流所產生的加熱作用，可表示成對流質量通量  $M$  ( $kgm^{-2}s^{-1}$ )形式如下



$$\begin{aligned}
\left. \frac{\partial PCAPE}{\partial t} \right|_{CONV,2} &= - \int_{z_{base}}^{z_{top}} \frac{g}{\bar{T}_v} M \left( \frac{\partial \bar{T}_v}{\partial z} + \frac{g}{c_p} \right) dz \\
&= - \frac{M_{base}}{M_{base}^*} \int_{z_{base}}^{z_{top}} \frac{g}{\bar{T}_v} M^{init} \left( \frac{\partial \bar{T}_v}{\partial z} + \frac{g}{c_p} \right) dz ,
\end{aligned} \tag{20}$$

(20)式中， $M_{base}/M_{base}^{init}$ 為真實與初始猜測的雲底質量通量的比值，而 $M^{init}$ 代表上衝流與下衝流初始質量通量的總和 $M_u^{init} + M_d^{init}$ 。為了求得真實質量通量 $M_{base}$ ，將(19)、(20)兩式相等

$$M_{base} = M_{base}^{init} \frac{PCAPE_{LS} - PCAPE_{BL}}{\tau} \frac{1}{\int_{z_{base}}^{z_{top}} M^{init} \frac{g}{\bar{T}_v} \frac{\partial \bar{T}_v}{\partial z} dz} ; \tag{21}$$

$$PCAPE_{BL} = -\tau_{BL} \int_{P_{surf}}^{P_{base}} \left. \frac{\partial \bar{T}_v}{\partial t} \right|_{BL} dp , \tag{22}$$

(22) 式中， $PCAPE_{BL}$  包含地表熱通量、平流以及輻射過程的影響。關於對流調整時間尺度 $\tau$  (convective adjustment time scale)，本研究參考 Bechtold et al. (2008)，定義為

$$\tau = \frac{H_C}{\overline{\omega^{up}}} f(n) ; \tag{23}$$

$$f(n) = 1.0 + 1.33 \times 10^{-5} \times \Delta x ,$$

其中 $H_C$ 為對流雲厚度， $\overline{\omega^{up}}$ 為垂直平均的上衝流速度， $\Delta x$ 為模式水平網格間距。邊界層內的對流時間尺度 $\tau_{BL}$ ，在海上及陸地上有不同的假設，分別為

$$\begin{aligned}
\tau_{bl} &= \tau \quad \text{for land} \\
\tau_{bl} &= \frac{H_{base}}{u_{bl}} \quad \text{for water} ,
\end{aligned} \tag{24}$$

式中 $H_{base}$ 為雲底高度， $u_{bl}$ 代表邊界層內的平均水平風速。

淺積雲過程，可表示成邊界層內的平流、擾動與輻射過程所造成濕靜能(moist static energy)  $h$  的變化，透過淺積雲的調整而達到平衡：

$$\int_{P_{surf}}^{P_{base}} \left[ g \frac{\partial(\overline{w'h'})}{\partial p} \Big|_{cu} + \left( \frac{\partial \bar{h}}{\partial t} \right)_{tur} + \left( \frac{\partial \bar{h}}{\partial t} \right)_{adv} + \left( \frac{\partial \bar{h}}{\partial t} \right)_{rad} \right] dp = 0 ; \quad (25)$$

$$\bar{\rho}(\overline{w'h'})_{cu,b} = M_{u,b}(h_u - \varepsilon h_d - (1 - \varepsilon)\bar{h})_b ; \varepsilon = M_u^* / M_d^* , \quad (26)$$

將式(26)代入式(25)，並假設於地表的對流通量為 0，即可得到真實雲底通量

$$M_{u,b} = \frac{-\frac{1}{g} \int_{P_{surf}}^{P_{base}} \left[ \left( \frac{\partial \bar{h}}{\partial t} \right)_{tur} + \left( \frac{\partial \bar{h}}{\partial t} \right)_{adv} + \left( \frac{\partial \bar{h}}{\partial t} \right)_{rad} \right] dp}{(h_u - \varepsilon h_d - (1 - \varepsilon)\bar{h})_b} . \quad (27)$$

### 三、 Tiedtke 版本差異比較

表 1 顯示 MPAS 的 new Tiedtke 與 CWBGFS 舊的 Tiedtke 積雲參數化方案的差異比較。兩版本之間的主要差異大致分為四項，分別為雲種的判斷方法、逸入/逸出作用的假設、定義初始上衝流質量通量的方式，以及積雲對流時間尺度的設定與計算環境對流可用位能的過程。

在積雲分類的判斷中，舊 Tiedtke 參數化方案假設比濕  $q$  隨時間變化的垂直積分，若大於某個門檻值(與水氣通量相關的函數)時，則定義為深對流雲，反之則為淺積雲。而 new Tiedtke 參數化法則使用雲的厚度  $H_c$  是否大於 200hPa 的方式，來判斷為否為深對流雲。

逸入和逸出作用，除了在擾動以及下衝氣流過程中，設定的常數有些微不同外，積雲上衝流內的逸入率假設方式有明顯差異。在舊 Tiedtke 參數化方案中，以大尺度水氣輻合的方式來決定，而 new Tiedtke 參數化方案中，則以相對濕度的函數來決定環境空氣的逸入率。

質量通量的初始猜測方式，於舊 Tiedtke 參數化方案中，深對流和淺積雲雲底皆考慮到大尺度水氣傳輸與邊界層內的擾動過程，造成通量的改變。而 new Tiedtke 參數化方案則在深對流方面，簡化為雲底質量通量最大值的 0.1 倍。

關於對流閉合的方法，在兩個版本中皆以計算環境對流可用位能的方式來修正初始質量通量。但是在舊 Tiedtke 參數化方案的版本中，忽略邊界層內所造成的對流可用位能的變化，且對流調整時間尺度(convective adjustment time scale)固定為常數 1800 s。在 new Tiedtke 參數化方案版本，則考慮了包含大尺度與邊界層過程造成對流可用位能的變化。另外在對流調整時間尺度中，將其設定為積雲厚度、平均垂直速度和模式水平

網格大小有關的函數。

	Tiedtke (CWBGFS)	New Tiedtke (MPAS)
<b>distinction of cloud type</b>	$\int_0^{P^{top}} \frac{dq}{dt} dp > threshold (q \text{ flux})$	cloud depth ( $H_c > 200 \text{ hPa}$ )
<b>entrainment/detrainment rate</b>	large-scale moisture convergence $E_u^{(2)} = -\frac{\bar{\rho}}{q} \left( \bar{v} \cdot \nabla \bar{q} + \bar{w} \frac{\partial \bar{q}}{\partial z} \right)$	Relative humidity $E_{deep}^{up} = \varepsilon^{up} (1.3 - RH)_s$
<b>first guess mass flux</b>	Large-scale transport and turbulent transport in subcloud layer $-\int_0^B \left( \bar{v} \cdot \nabla \bar{q} + \bar{w} \frac{\partial \bar{q}}{\partial z} + \frac{1}{\bar{\rho}} \frac{\partial}{\partial z} (\bar{\rho} \overline{w'q'})_{tu} \right) \bar{\rho} dz$	<i>deep convection:</i> $0.1 M_{bmax}$ $M_{bmax} = 3 \frac{\Delta p}{g \Delta t}$
<b>convective closure</b>	CAPE closure: time scale $\tau = 1800$ , ignore $CAPE_{BL}$	CAPE closure: Bechtold et al. (2014) $\tau = \frac{H_c}{\bar{w}^{up}} f(n)$

表 1: MPAS 的 new Tiedtke 方案與 CWBGFS 的 Tiedtke 方案的差異比較。

#### 四、 MPAS 版本之 New Tiedtke 參數化方案模擬結果

本研究將 MPAS 模式的 new Tiedtke 積雲參數化方案放入至 CWB/GFS 模式後，針對 DYNAMO 實驗期間(2011/10-2012/3)，針對 MJO 對流發展訊號最明顯的 MJO-2 事件(2011/11/17-12/12)，進行模擬測試。模擬策略方面則使用 CWB/GFS 模式於 2011 年 11 月 15 日與 30 日兩個初始時間，分別模擬 15 天後，再將其結果串聯(兩個 15 天模擬結果接起來)得到涵蓋完整 MJO-2 事件(30 天)的模擬結果。

圖 2 及圖 3.(b)、(c)為使用舊 Tiedtke、new Tiedtke 積雲參數化方案，對於 MJO-2 事件的外逸長波輻射(Outgoing Long wave Radiation; OLR)距平與 24 小時累積降雨距平時序圖。其結果呈現出，使用 new Tiedtke 方案所模擬的 MJO-2 事件期間[圖 2 及圖 3.(c)]，於印度洋及西太平洋海域，對流發展強度皆明顯偏弱，且 MJO 肇始時間較晚，以及強降水(>6 mm)範圍有明顯偏少的現象。

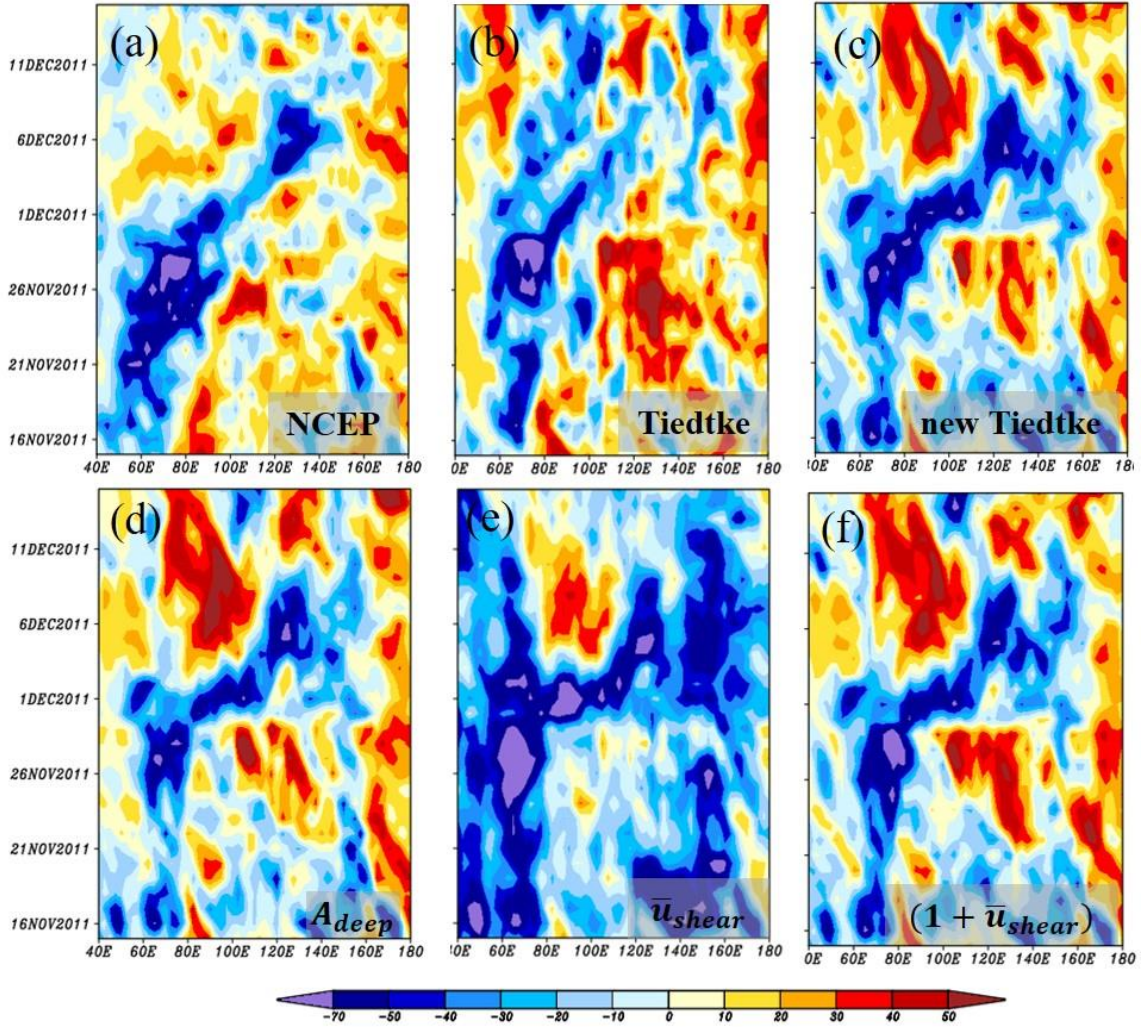


圖 2: 於  $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$  平均的 OLR 距平( $\text{w}/\text{m}^2$ ) 時序圖。分別為(a)NCEP 再分析資料以及使用(b)Tiedtke 和(c)new Tiedtke 積雲參數化法模擬結果。而(d)為 new Tiedtke 參數化方案中，考慮雲量變數調整積雲時間尺度大小。考慮環境垂直風切影響，(e)減少及(f)增加環境逸入率的實驗。

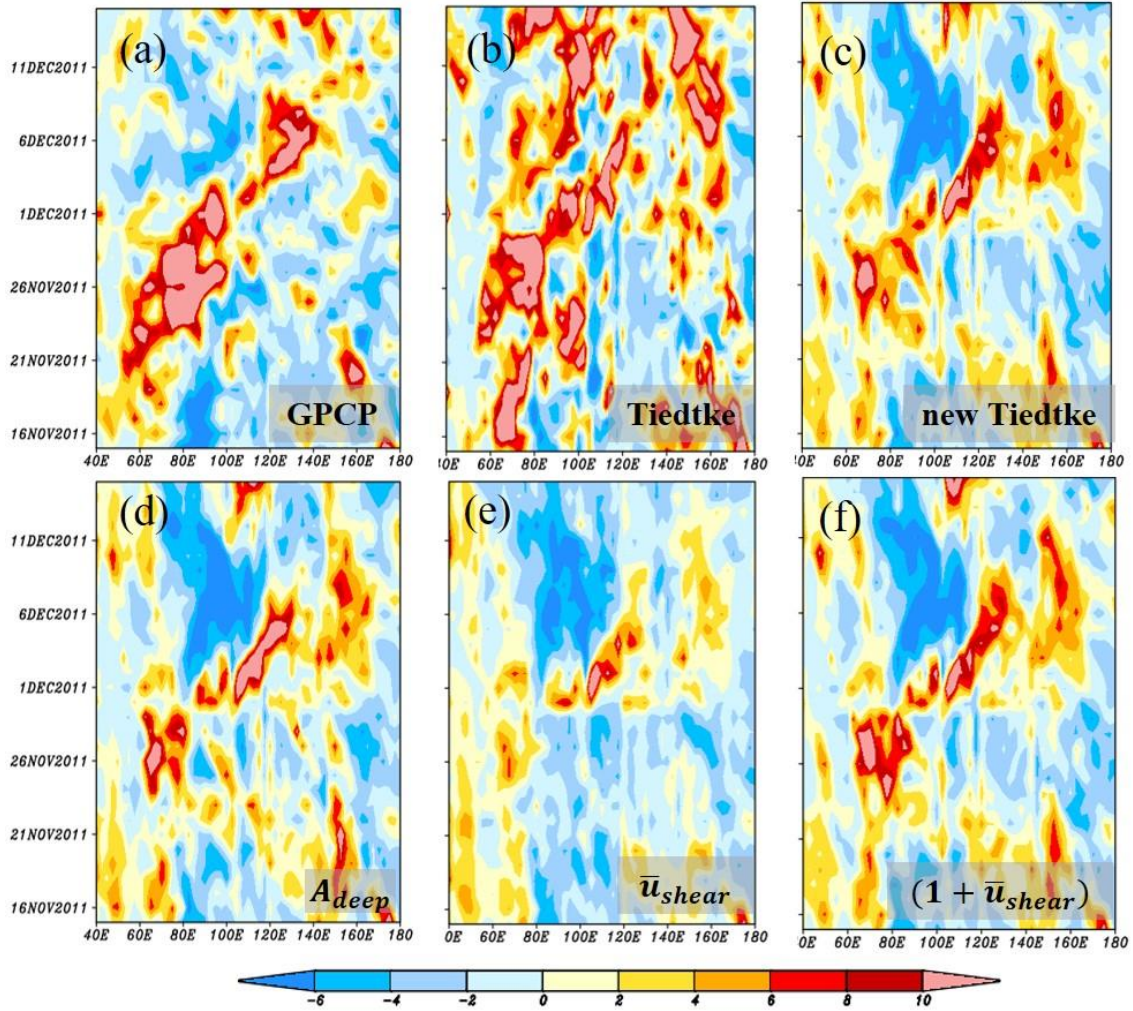


圖 3: 同圖 2，但為 24 小時累積降雨距平時序圖(mm)。

由於 CWB/GFS 的積雲參數化方案改為 new Tiedtke 方案後，對於 MJO-2 對流系統的模擬結果有明顯較 Tiedtke 方案及觀測資料偏弱的現象。因此我們嘗試調整積雲時間尺度  $\tau$  以及上衝流內逸入率  $E$ ，希望能增強 CWB/GFS 模式中的對流強度。

對流調整時間尺度(convective adjustment time scale)定義為積雲對流消耗環境之對流可用位能的時間尺度。若積雲發展越旺盛，其調整環境能量的時間越短，即環境的對流可用位能很快地被積雲對流給消耗掉。而且在(21)式中，若位於分母的時間尺度  $\tau$  越小，上衝流的質量通量越大。另外，當積雲發展越旺盛，積雲半徑越大，調整時間尺度越短。因此，我們定義新的時間尺度  $\tau^{new}$ ，使其為雲的半徑大小相關的函數。但由於全球模式的網格點，無法準確解析個別對流雲的水平大小，因此改為網格雲量比例  $C_{deep}$ (cloud fraction)代替，

$$\begin{aligned} \tau^{new} &= \tau \times A_{deep}; \\ A_{deep} &= (1 - C_{deep}), \end{aligned} \quad (28)$$

(28)式中，深對流雲之雲量 $C_{deep}$ ，參考 Xu and Krueger (1991)的定義

$$C_{deep} = 0.14 \times \ln(1.0 + 500 \times M_{up}^{deep}), \quad (29)$$

其中 $M_{up}^{deep}$ 為深對流內上衝流的質量通量。

由於環境乾空氣逸入至對流雲內會造成雲水蒸發冷卻，而限制對流發展。此外，當環境存在較小垂直風切時，有較少的逸入作用。因此，為了考慮環境垂直風切對於逸入作用的影響，我們設定新的上衝流逸入作用 $E^{new}$ 隨環境垂直水平風切改變，

$$E^{new} = E_{deep}^{up} \times |\bar{u}_{shear}|, \quad (30)$$

$$|\bar{u}_{shear}| = \left| \frac{(\partial \bar{u} / \partial z)}{(\partial \bar{u} / \partial z)_{max}} \right|, \quad 0 \leq |\bar{u}_{shear}| \leq 1$$

其中，將 $(\partial \bar{u} / \partial z)_{max}$ 設定為常數 5(m/s)，使 $|\bar{u}_{shear}|$ 的變化範圍在 0 至 1 之間。

圖 2 及圖 3(d)、(e)為使用調整過後的對流調整時間尺度 $\tau^{new}$ 與逸入率 $E^{new}$ 後的模擬結果。在改變時間尺度後[圖 2 及圖 3(d)]，相較於 NCEP 與未經過調整的模擬結果[圖 2 及圖 3(a)~(c)]，呈現 OLR 距平偏大， $OLR < -60(w/m^2)$ 的範圍變小，但強降水( $>10mm$ )則有增加的現象，而 MJO 肇始時間則與 CTL 實驗沒有明顯的差別。減少逸入率的測試結果中[圖 2 及圖 3.(e)]，OLR 距平有明顯過於偏小的情況， $OLR < -60(w/m^2)$ 的範圍偏大。但降水距平場中，則呈現明顯過少的現象。

由於 new Tiedtke 參數化方案中，上衝流內的質量通量考慮空氣塊逸入和逸出作用

$$M_{deep}^{up} = M^* + (E_{deep}^{up} \times M^*) - (D_{deep}^{up} \times M^*), \quad (31)$$

若增加環境逸入至對流內，有助於增加上衝流內的質量通量，使對流發展。因此，將(30)式改寫為

$$E^{new} = E_{deep}^{up} \times (1 + |\bar{u}_{shear}|), \quad (32)$$

使逸入作用於環境垂直風切相關。

圖 2 及圖 3(f)顯示，增加逸入作用後，會呈現出 MJO-2 對流系統相較於 CTL 實驗有明顯增強的趨勢， $OLR < -70$  ( $w/m^2$ )的範圍增加，且降雨量也明顯變多。由於增加環境乾空氣逸入率後，將低層大氣的雲水重新蒸發至環境中，造成低層濕度與比濕較 CTL 與減少逸入實驗高(圖 4)，而使得低層環境適合 MJO 對流的發展。

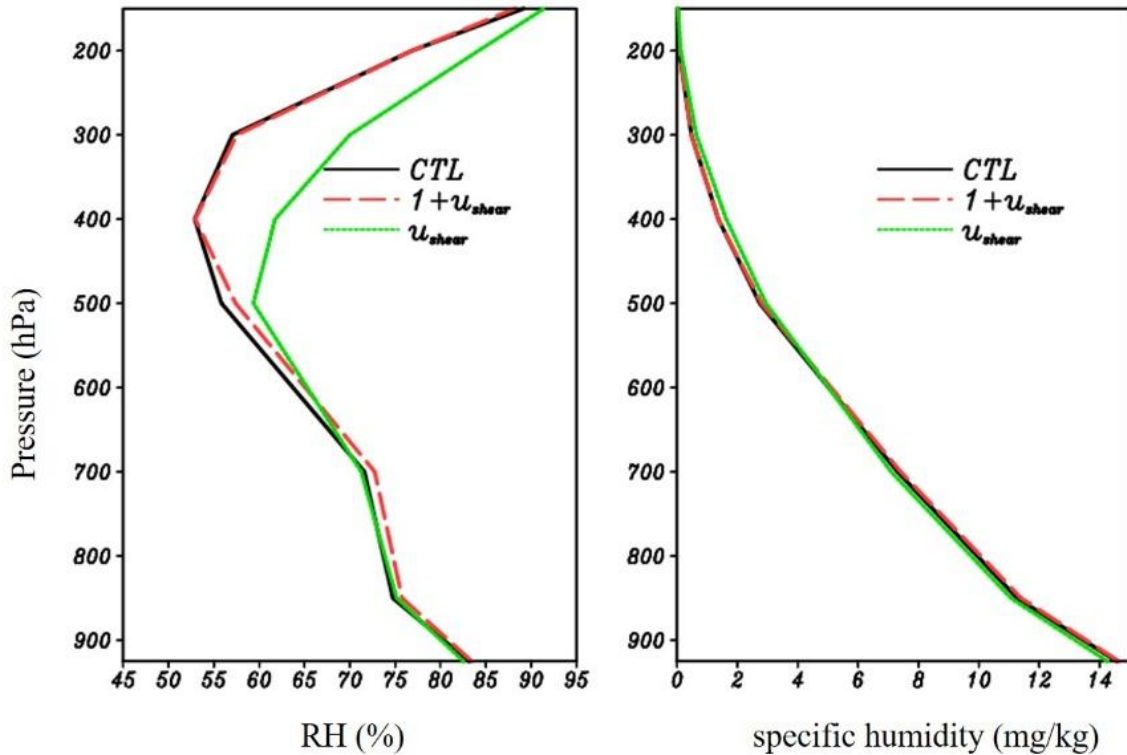


圖 4: 2011/11/15~12/15 相對濕度與比濕的垂直分布圖( $63^{\circ}E\sim 83^{\circ}E$ 、 $0^{\circ}N\sim 7^{\circ}N$  範圍平均)。黑實線為 c5s2p2 的控制組實驗，紅虛線為增加逸入作用後的模擬結果，綠實線則為減少逸入作用後的結果。

在圖 5 的雲水/冰含量與垂直速度  $\omega$  的垂直剖面圖中，雖然將對流調整時間尺度縮短後，最大垂直速度  $\omega$  有些微增加[圖 5(d)]，但位於  $0^{\circ}N\sim 10^{\circ}N$  的雲水/冰含量則明顯減少。因此 new Tiedtke 參數化方案中，減少對流調整時間尺度後，雖然對流內的上衝流增加，但空氣塊受到抬升並達到飽和後，便可以轉換成液態水而降落到地面，造成 OLR 偏大但降水量增加的情形。在逸入率減少的測試實驗結果中[圖 5(e)]，雖然乾空氣逸入作用降低，使得雲水/冰含量於整層大氣中相較於 CTL 實驗為多，但其含量卻不足以轉換成液態水而繼續留在大氣中，因此造成 OLR 偏小而降水明顯減少的現象。在增加逸入作用的實驗中，較多的雲水/冰含量( $>10$  mg/kg)由低層延伸至 400hPa 左右，環境存在的雲水/冰較 CTL 實驗為多。

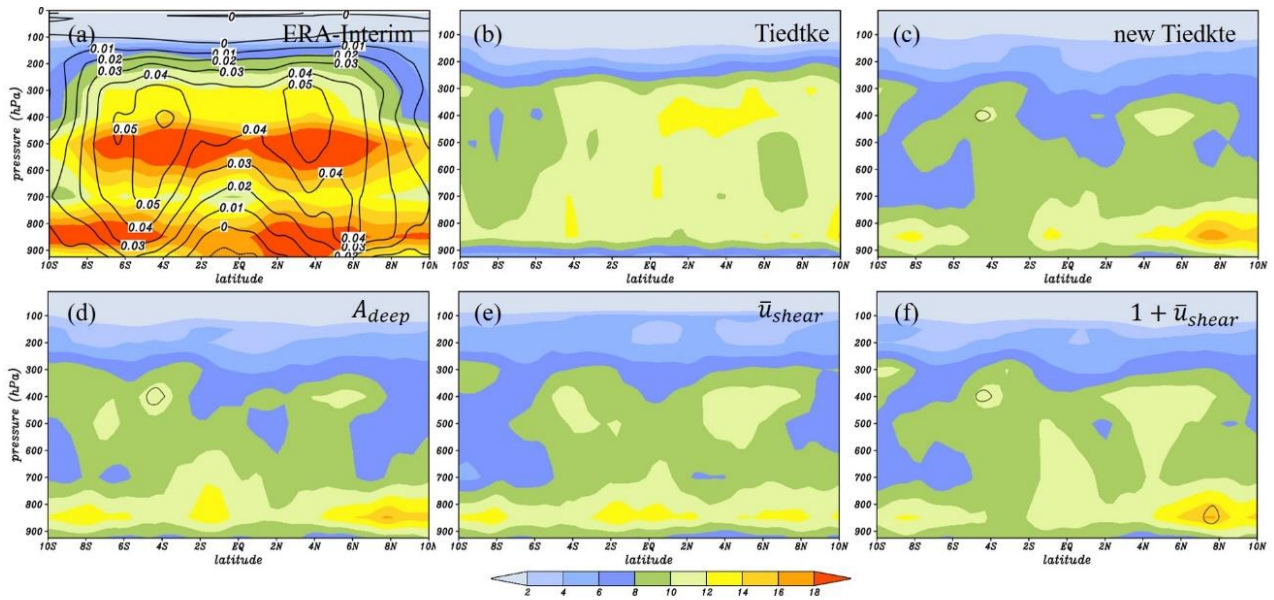


圖 5: 為(a) ERA-Interim、(b)Tiedtke、(c)new Tiedtke、(d)改變對流調整時間尺度, 以及(e)~(f) 改變逸入率強弱的雲水/冰含量 $q_m(mg/kg)$ 和垂直速度 $\omega(Pa/s)$ , 等值線間格為  $0.01(Pa/s)$ , 於  $40^{\circ}E \sim 130^{\circ}E$ , 時間自 2011/11/15~12/15 的平均。

此外, 為了將模擬 MJO-2 對流系統及降水增強, 嘗試調整其它減少逸入率的過程, 包括使用 CAPE 近似後的最後雲底質量通量( $M_{base}^{new}$ ), 重新代入計算上衝流內的物理過程, 取代原本使用尺度調整(rescaling,  $M_{base}^{new}/M_{base}^{init}$ )的方式, 求得每一層修正後的質量通量。以及, 調整判斷氣塊抬升起始高度和混合層(mixing level)厚度, 促使積雲更容易生成。測試結果顯示, 雖然對流系統及降水皆有些微增強, 但效果不明顯, 與原來 CTL 模擬差異不大。

## 五、 WRF 版本之 new Tiedtke 參數化方案

我們另外參考了 WRF (Weather Research and Forecasting) 模式 3.8.1 版本的 new Tiedtke 積雲參數化方案進行調整。表 2 為 Tiedtke 積雲參數化方案在 MPAS 與 WRF 模式之差異比較, 主要有 4 個部分。於 WRF 模式中的 Tiedtke 積雲參數化方案, (1)增加淺積雲氣塊自近地面抬生過程中的逸入率、(2)氣塊抬升時, 溫度、水氣的變化較小(除以  $1 + a_{deep}$  項)、(3)縮短於邊界層過程中的對流調整時間尺度, 以及(4)計算下衝流逸入率時, 考慮浮力項造成逸入率的變化, 當浮力越大時, 逸入率越小, 反之則越大。



version	MPAS	WRF v3.8.1
1. Updraft entrainment rate (shallow convection)	$\varepsilon_{up}^{shallow} = 0.55 \times \frac{1}{dz} + 10^{-4}$	$\varepsilon_{up}^{shallow} = 0.8 \times \frac{1}{z} + 2 \times 10^{-4}$
2. Simplified updraft equation (parcel ascent)	$\varphi_{z+1} = 0.5a_{deep}(\bar{\varphi}_{z+1} + \bar{\varphi}_z) + (1 - a_{deep})\varphi_z$	$\varphi_{z+1} = [a_{deep}(\bar{\varphi}_{z+1} + \bar{\varphi}_z) + (1 - a_{deep})\varphi_z] / (1 + a_{deep})$
3. Convective adjustment time scale, $\tau_{bl}$ (PBL process)	$\tau_{bl} = \frac{H_{base}}{u_{bl}}$ for water	$\tau_{bl} = \frac{H_{base}}{10 + u_{bl}}$ for water $\tau_{bl} > 300$ (s)
4. Downdraft entrainment rate	$\varepsilon_{down} = 2 \times 10^{-4} \cdot M_d \cdot dz$	$\varepsilon_{down} = 2 \times 10^{-4} \cdot M_d \cdot dz \cdot \left[ \frac{0.5gB}{1 - \int_{surf}^z Bdz} \right]$

表 2: MPAS 與 WRF 模式 3.8.1 版本的 new Tiedtke 參數化方案差異比較。  $a_{deep} = 0.5 \times \varepsilon_{up}^{deep} \times dz$ ，其中  $\varepsilon_{up}^{deep}$  為深對流雲自近地面抬生過程中的逸入率，假設為  $1.75 \times 10^{-3} \times \left[ \frac{\bar{q}_s}{\bar{q}_{s,surf}} \right]^3$ ， $\bar{q}_s$ 、 $\bar{q}_{s,surf}$  分別為環境層飽和比濕與地表層飽和比濕。 $\varphi$  為上沖流內濕淨能與比濕 (updraft property)。

圖 6 與圖 7 分別為 NCEP 再分析資料與 CWB/GFS 模式模擬 MJO-2 個案的 OLR 及降水距平時序圖。我們將 new Tiedtke 積雲參數化方案更改為 WRF 模式 3.8.1 版本後，雖然在印度洋海域，MJO 對流系統有明顯增強[圖 6、圖 7(c)]，但是其模擬降水仍與原本 MPAS 版本之 new Tiedtke 積雲參數化方案結果變化不大，而在西太平洋海域上亦呈現模擬對流過強的情形。

為了探討上述 WRF 與 MPAS 版本對於積雲質量通量計算的差異對於模擬結果的影響，我們逐一修改 4 個物理過程，並分別進行測試。由模擬結果中，調整上沖流逸入率以及邊界層時間尺度後[圖 6、圖 7(d)、(e)]，對於 MJO-2 事件之模擬 OLR 及降水沒有明顯影響，與 MPAS 版本之 new Tiedtke 積雲參數化方案結果類似。而更改空氣塊抬升方程式後，由圖 8 位溫及比濕垂直剖面圖中，顯示使用 WRF 版本之 new Tiedtke 積雲參數化方案，於中低層大氣的溫度及水氣較原本 MPAS 版本模擬結果較高，造成對流系統及降水於印度洋至西太平洋海域增強[圖 6、圖 7(f)]，但其模擬的對流發展仍然有過強的情形。雖然嘗試透過調整逸入率等方式以降低積雲質量通量，但是其改善效果有限。

最後，調整在計算下衝流逸入率時，考慮到浮力項的影響，其模擬結果有明顯改善。由[圖 6、圖 7(g)]中，於印度洋海域上的對流，相較於其他實驗，其對流強度及降水皆明顯增加，並且 MJO-2 系統隨時間向東移動。

由雲水/冰垂直分布圖中(圖 9)，調整淺積雲逸入率及邊界層時間調整尺度實驗[圖 9(d)、9(e)]，呈現雲水/冰多集中於低層，中高層含量較低，與 CTL 實驗類似[圖 9(b)]。而 WRF 版本以及分別調整 $\varphi_{z+1}$ 、 $\varepsilon_{down}$ 實驗[圖 9(c)、9(f)、9(g)]，則顯示環境雲水/冰含量較其它實驗高，而 $\varepsilon_{down}$ 實驗的區域平均垂直速度較大。因此，於下衝流逸入過程中增加浮力項的影響，將有助於改善 CWB/GFS 對於 MJO-2 個案的模擬結果。

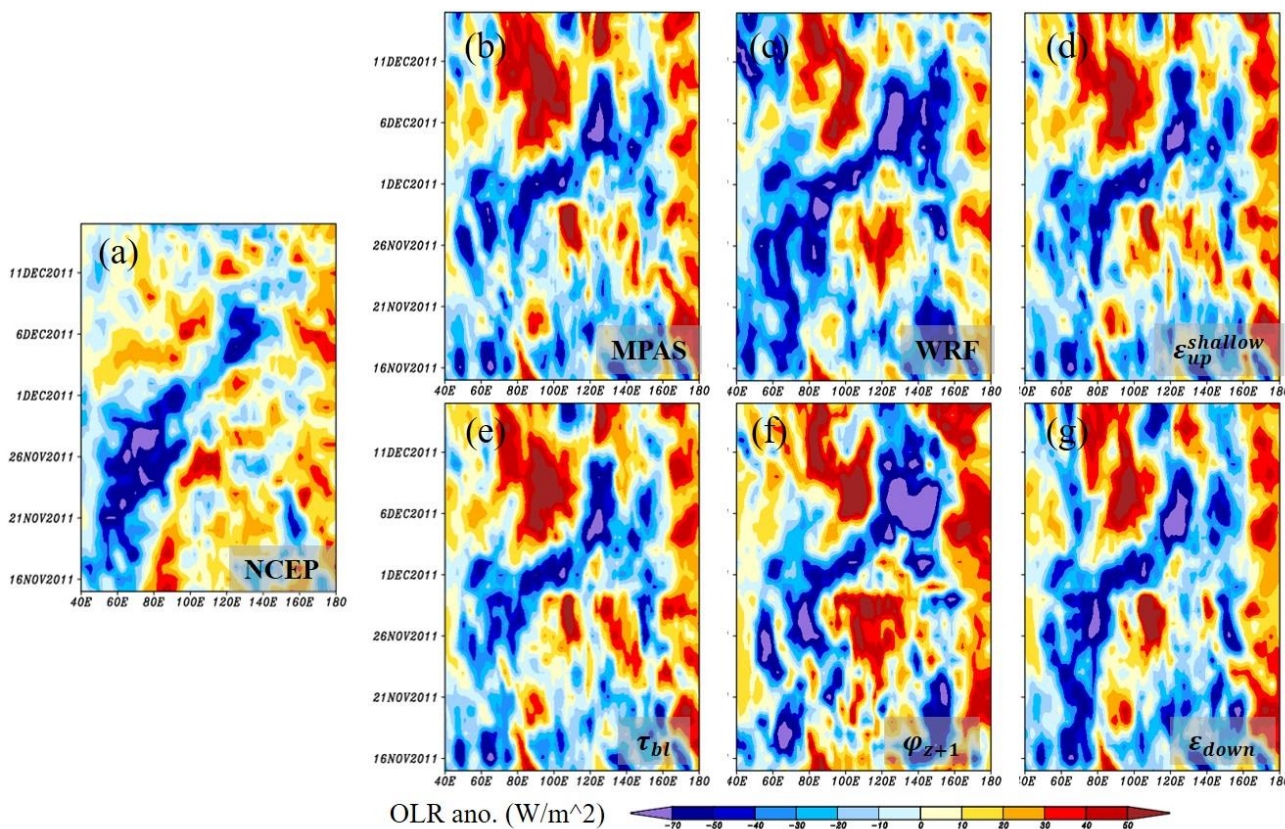


圖 6: OLR 距平時序圖。分別為(a)NCEP 再分析資料、(b)MPAS 版本、(c)WRF 模式 3.8.1 版本，以及參考 WRF 版本分別修改(d)淺積雲上沖流逸入率、(e)邊界層積雲調整時間尺度、(f)空氣塊抬升過程中，溫度和水氣變化以及(g)下衝流逸入率。

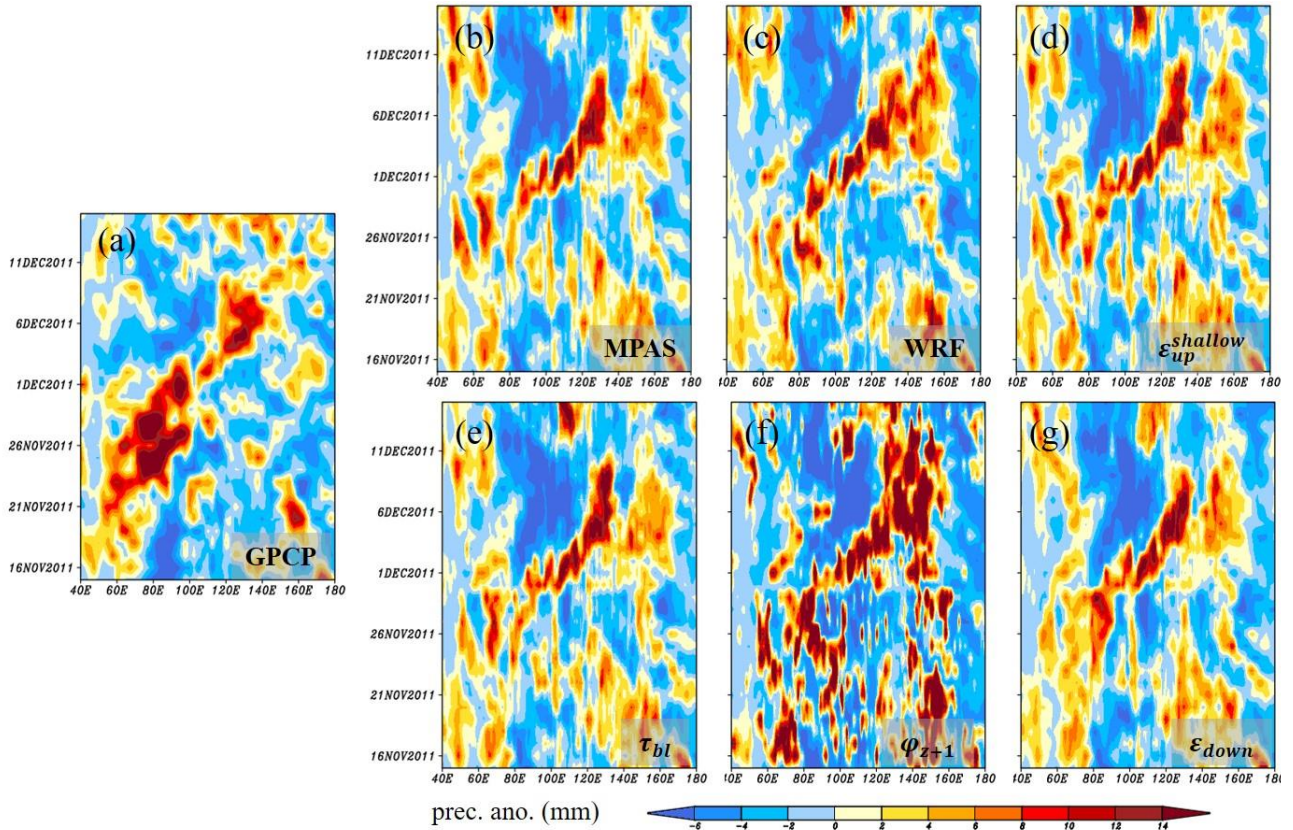


圖 7: 同圖 6，但為降水距平場(mm)。

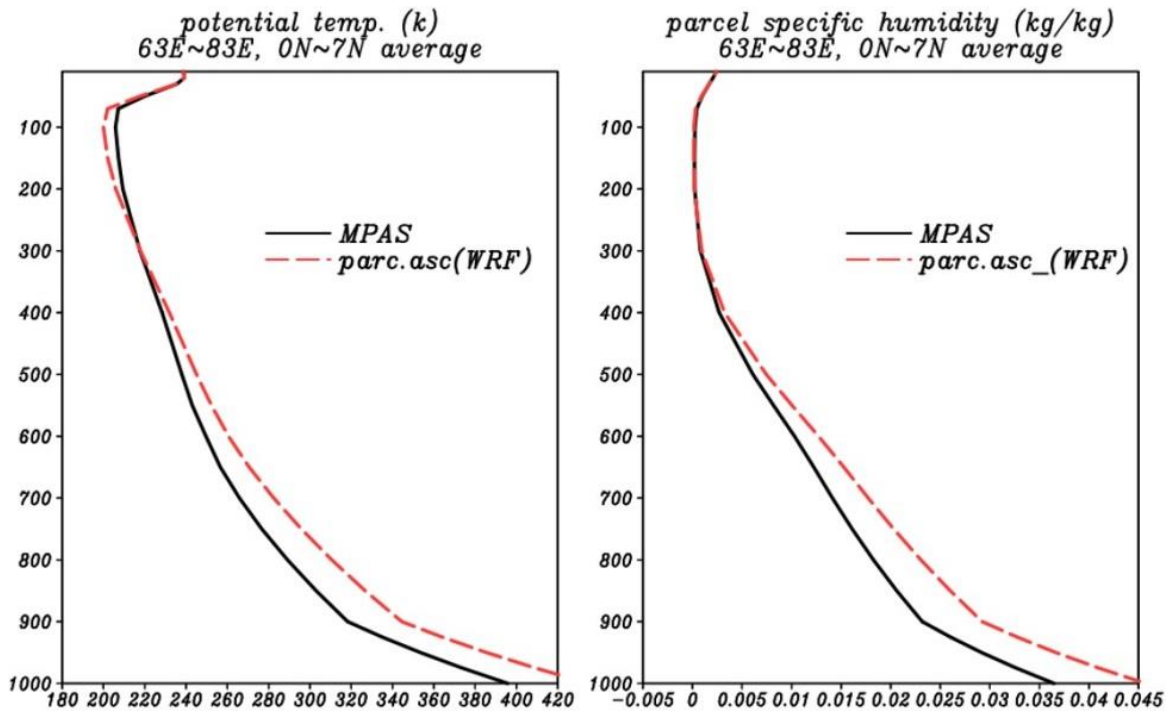


圖 8: 於 new Tiedtke 積雲參數化方案中，經過計算氣塊抬生後(表 2 之第二項)位溫(左)及比濕(右)垂直剖面圖。黑實線為 MPAS 版本結果。紅虛線為氣塊抬升方程式修改為 WRF 模式 3.8.1 版本後的結果。

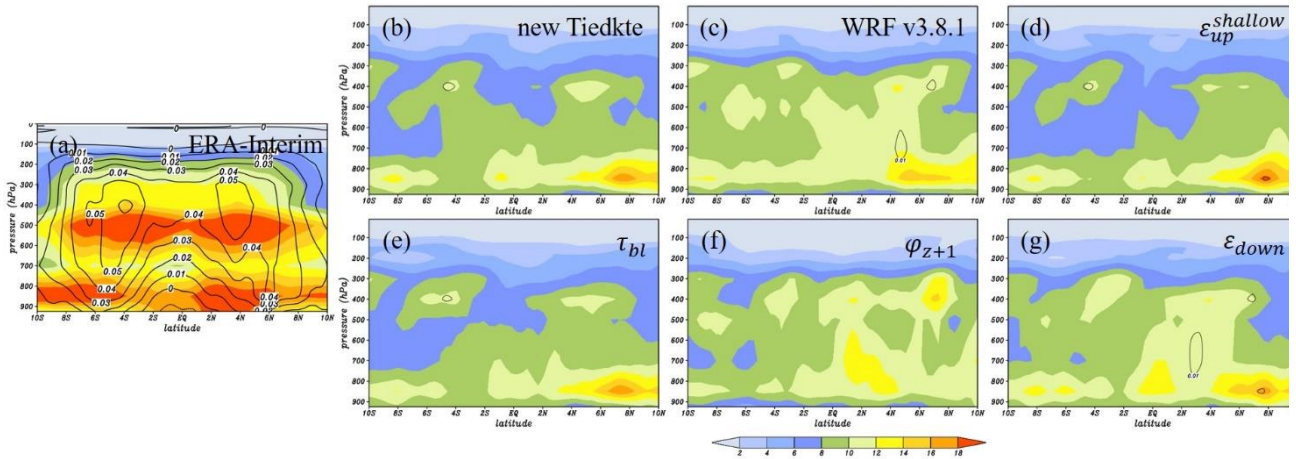


圖 9: 同圖 5, 但(c)為 WRF 模式 3.8.1 版本, 以及分別調整(d)調整淺積雲氣塊自近地面抬升時的逸入率、(e)邊界層過程的積雲調整時間尺度、(f)身對流雲氣塊抬升時, 溫度與水氣的變化和(g)下衝流逸入率。

## 六、 NSAS 積雲參數化法

NSAS 積雲參數化方案中, 假設環境不穩定所產生的雲功函數(cloud work function), 藉由積雲對流運動消耗大氣不穩定度後而達到平衡狀態, 並透過此準平衡(quasi-equilibrium)假設, 求得近似真實大氣的積雲質量通量。

### a. NSAS 積雲參數化方案運算流程

NSAS 積雲參數化方案運算過程中(圖 10), 以地面至 700hPa 內的最大濕淨能(moist static energy;  $h$ )作為氣塊抬升的起始高度層(Convection Starting Level; CSL)。空氣塊開始抬升後, 於雲底高度之下(Subcloud Layer), 不考慮環境空氣逸入的影響。當濕淨能( $h$ )大於飽和濕淨能( $h_s$ )時, 設定為初始自由對流高度(Level of Free Convection;  $LFC^{init}$ )。當積雲生成後, 加入環境空氣逸入的影響, 計算雲內上沖流質量通量的初始猜測值( $M_{up}^{init}$ )、雲內溫度、水氣等變數隨高度的變化, 並定義當浮力大於零時, 為雲底高度( $H_{base}$ ), 即真實自由對流高度( $LFC^{new}$ )。而隨高度抬升, 當雲內浮力轉為負值時, 設定為初始雲頂高度( $H_{top}^{init}$ )。

在 NSAS 積雲參數化方案中, 假設兩個積雲驅使條件(trigger condition):(1) 假設初始雲底高度( $H_{base}^{init}$ )與對流起始高度(CSL)之間的氣壓厚度, 需要介於 120~180-hPa 之間, 其對流抑制臨界值(Critical Convection Inhibition)取決於雲底垂直速度( $\omega_{base}$ ), 其公式如下,

$$a1 = \begin{cases} \frac{\omega_{base} - w4}{w3 - w4}, & \omega_{base} \leq w4 \\ -\frac{(\omega_{base} + w4)}{w4 - w3}, & \omega_{base} \geq -w4 \end{cases},$$

$$w_3 = -5 \times 10^{-3} ; w_4 = -5 \times 10^{-4} \quad \text{for land ,}$$

$$w_3 = -1 \times 10^{-3} ; w_4 = -2 \times 10^{-5} \quad \text{for water ,}$$

$$\text{Critical Convective Inhibition(CCI)} = 180 - a_1 \times 30 \quad (120 \sim 180 \text{ hPa})$$

。另外，(2) 假設初始(LFC<sup>init</sup>)與真實自由對流高度(LFC<sup>new</sup>)的氣壓厚度，亦須小於 25hPa。而積雲類型的判斷，以積雲厚度(cloud depth)區分；當厚度( $H_{top}^{init} - H_{base}$ )大於 150hPa 時，判斷為深對流雲，反之則為淺積雲。當判斷為淺積雲後，NSAS 積雲參數化方案將使用新的定義，重新計算  $H_{CSL}^{shallow}$ ,  $H_{base}^{init}$  與  $H_{top}^{init}$  等參數。將積雲類型區分後，進行深對流雲下衝流過程的計算，而淺積雲的部分則不考慮下衝流的過程，只計算上衝流質量通量。

對於過衝雲頂(overshooting cloud top)的處理，則以初始雲頂高度( $H_{top}^{init}$ )之環境雲功函數(Cloud Work Function)的十分之一作為向上的作用力，而當此作用力為零時，定義為最後的雲頂高度( $H_{top}^{new}$ )。當大尺度環境的不穩定度造成積雲生成後，假設在極短時間尺度內(於 NSAS 方案中，假設為 10 秒)，透過回饋機制(feedback mechanism)改變環境的溫度、水氣與風場，並重新計算雲功函數後，求得深對流雲消耗環境不穩定度的貢獻。最後，透過準平衡假設(quasi-equilibrium assumption)，修正深對流雲中的質量通量初始猜測值。而淺積雲的部分，則假設最後的雲底質量通量(final cloud base mass flux,  $m_b$ )與邊界層內的對流速度尺度(convective velocity scale,  $w_*$ )相關，其公式如下，

$$m_b = 0.03\rho w_* , \quad (33)$$

$$w_* = [(g/T_0)(\overline{w'\theta'_v})_0 H_{PBL}]^{1/3} , \quad (34)$$

式中  $H_{PBL}$  為 PBL 高度， $T_0$  代表環境溫度，而  $\overline{w'\theta'_v}$  代表垂直熱通量。

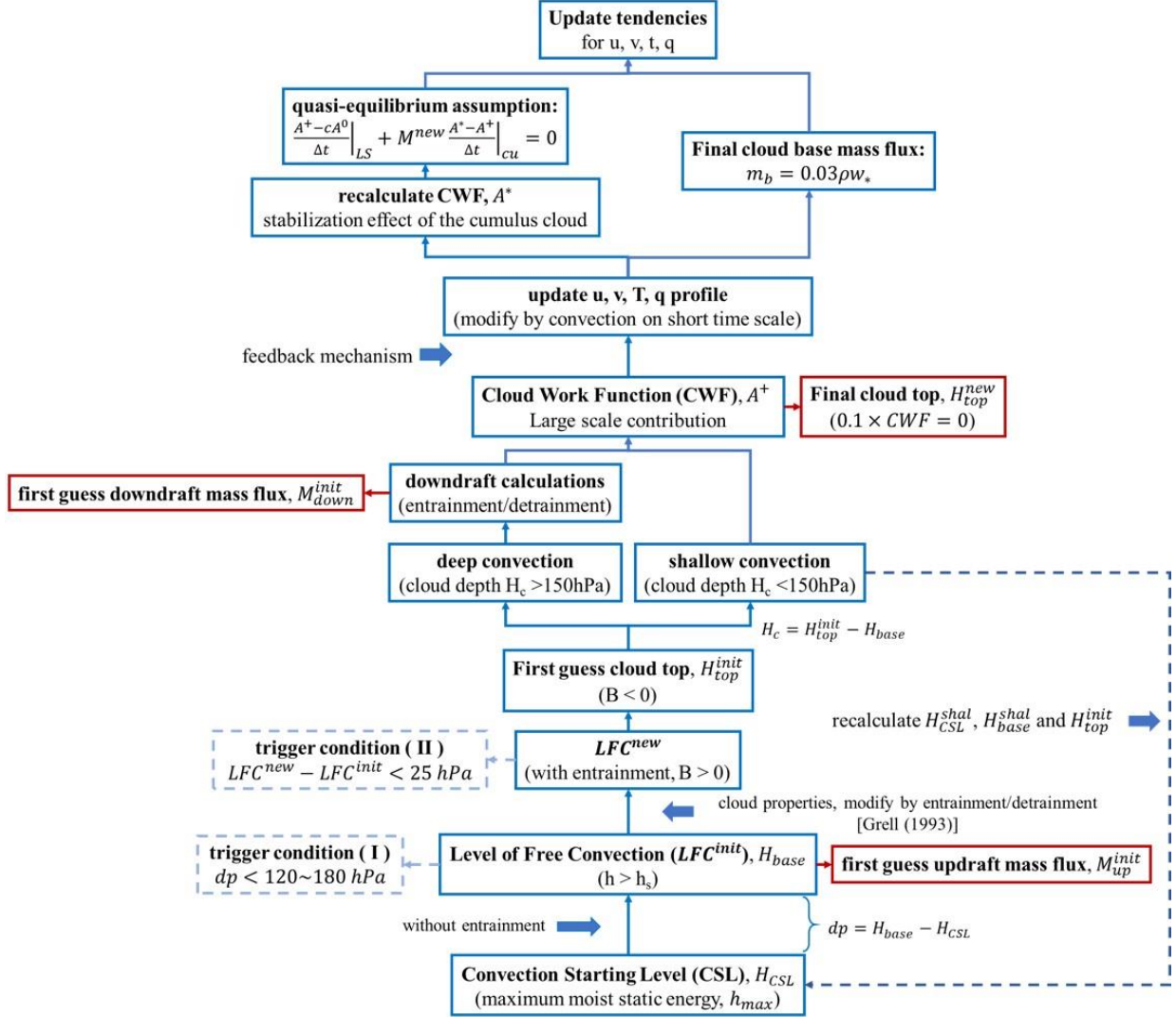


圖 10: NSAS 積雲參數化方案計算流程圖。

### b. 初始上沖流質量通量

根據 Pan and Wu (1995)的研究，雲底之下與雲內的上衝流單位質量通量的垂直變化，為空氣塊逸入和逸出所造成，

$$\frac{1}{M} \frac{\partial M}{\partial z} = E^{up} - D^{up}, \quad (35)$$

將(35)式展開，並整理過後可寫成形式如下，

$$M_{up}^k = M_{up}^{k-1} \times [1 + (E^{up} - D^{up})dz], \quad (36)$$

$$dz = z^k - z^{k-1},$$

透過(36)式，在定義完初始雲底質量通量後，即可向上及向下計算每一層的質量通量。

### c. 逸入/逸出率

於積雲類型為深對流雲時，假設雲底之下(subcloud layer)的逸入率與高度成反比，

$$E_{sub}^{deep} = E_{sub}^{shal} = \frac{0.1}{H}, \quad (37)$$

而雲內的逸入率，根據 Bechtold et al. (2008) 定義為，

$$E_{up}^{deep} = E_0 F_0 + 10^{-4}(1 - RH)F_1, \quad (38)$$

其中  $E_0 = \frac{0.1}{H}$ ,  $F_0 = \left(\frac{\bar{q}_s}{\bar{q}_{sb}}\right)^2$ ,  $F_1 = \left(\frac{\bar{q}_s}{\bar{q}_{sb}}\right)^3$ ,  $q_s$  和  $q_{sb}$  分別為空氣塊層與雲底的飽和比濕。由 (38) 式得知，當環境濕度(RH)越高，式中第二項越小，環境空氣逸入率越低，反之，則逸入率越大。逸出的部分，則於雲底之下及雲內皆假設等於雲底高度的逸入率，

$$D_{up}^{deep} = E_{base}. \quad (39)$$

淺積雲的部分，於雲底之下與雲內的逸入和逸出分別假設為，

$$E_{up}^{shal} = \frac{0.1}{H}, \quad (40)$$

$$D_{up}^{shal} = E_{base}. \quad (41)$$

### d. 雲功函數(cloud work function)

根據 Grell (1993)，假設上衝流/下衝流內的雲功函數為雲底至雲頂高度之間空氣塊受到浮力影響產生向上作用力，可以分別表示為，

$$A_u = \int_{base}^{top} \frac{g}{c_p T} \frac{(h - \bar{h}_s)}{1 + \gamma} \left[ 1 + \left( \frac{r_v}{r_d} - 1 \right) c_p \gamma T / L \right] dz \quad (42)$$

$$A_d = \int_{top}^{base} \frac{g}{c_p T} \frac{P^* \cdot (h - \bar{h}_s)}{1 + \gamma} \left[ 1 + \left( \frac{r_v}{r_d} - 1 \right) c_p \gamma T / L \right] dz \quad (43)$$

式中  $\gamma = \frac{L^2 \bar{q}_s}{r_v c_p T^2}$ ， $P^*$  為降水效應。總雲功函數即為  $A^+ = A_u + A_d$ 。

### e. 回饋機制(feedback mechanism)

圖 11 說明大尺度不穩定所激發的對流運動，於短時間尺度內透過回饋機制改變環境垂直結構的過程。根據 Grell (1993)，以濕淨能為例，於模式第  $k$  層的回饋過程可表示為，

$$d\bar{h}^k = [\bar{h}_{old}^{k+0.5}(M_u^{k+0.5} - P^* \cdot M_d^{k+0.5}) - \bar{h}_{old}^{k-0.5}(M_u^{k-0.5} - P^* \cdot M_d^{k-0.5}) - \bar{h}_{old}^k(E_u^k M_u^k + P^* \cdot E_d^k M_d^k) + (D_u^k M_u^k h_u^k + P^* \cdot D_d^k M_d^k h_d^k)]g/dp, \quad (44)$$

式中  $P^*$  代表降雨效應，下標  $u$ 、 $d$  為上衝流與下衝流。(44)式等號右邊的第一、二項分別代表積雲生成後，於  $k+0.5$  和  $k-0.5$  模式層受到積雲補償性下沉的影響，而第三、四項分別代表位於模式第  $k$  層受到環境逸入與積雲內逸出作用造成濕淨能通量的改變。由(44)式計算出變異量後，再經由向前積分(forward)的方式，

$$\begin{aligned} \bar{h}_{new}^k &= \bar{h}_{old}^k + d\bar{h}^k dt_{cu} \\ dt_{cu} &= 10 \text{ (sec)} \end{aligned} \quad (45)$$

求得經過回饋機制後的环境濕淨能的垂直結構。

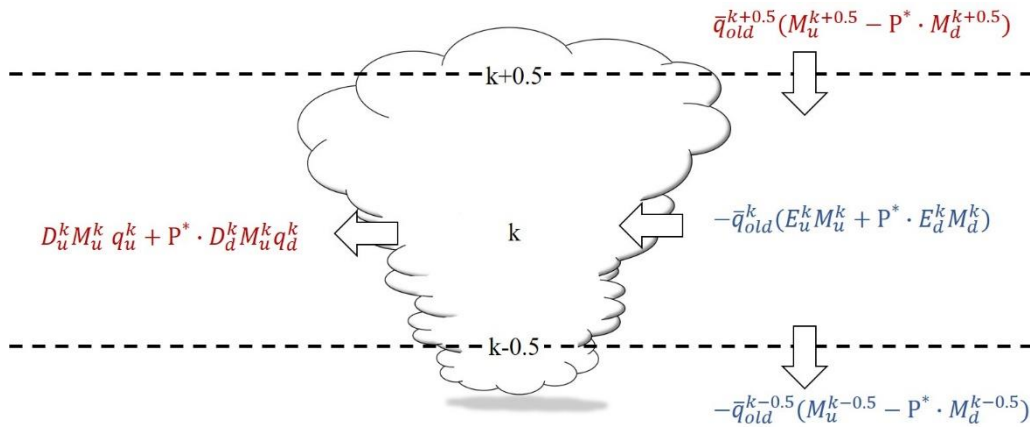


圖 11: 積雲回饋機制示意圖。

### f. 準平衡假設(quasi-equilibrium assumption)

NSAS 積雲參數化方案以準平衡假設，近似真實大氣深對流雲內的質量通量。其假設為大氣不穩定所產生的雲功函數，透過深對流雲的運動過程，消耗環境的不穩定度後達到平衡狀態。根據 Pan and Wu (1995)的研究，準平衡假設可表示為，



$$\frac{A^+ - A^0}{\Delta t} \frac{1}{LS} + M^{new} \frac{A^* - A^+}{\delta t} \frac{1}{cu} = 0 \quad (46)$$

式中下標 LS、cu 代表大尺度運動與深對流積雲的貢獻項， $A^+$ 和  $A^*$ 分別代表大尺度環境場與深對流雲的雲功函數， $A^0$ 為根據 Lord (1978)透過觀測分析所得到的環境雲功函數的基準值(reference cloud work function)。而大尺度貢獻項的時間調整尺度 $\partial t_{LS}$ ，受到雲底垂直速度影響，

$$\partial t_{LS} = dt + (1800 - dt) \left( \frac{\omega_{base} + 4 \cdot 10^{-2}}{-8 \cdot 10^{-3} + 4 \cdot 10^{-2}} \right) \quad (47)$$

其中 dt 為模式積分時步長。

## 七、 EMC 版本差異比較

在最新 EMC 與 CWB/GFS 版本中，NSAS 積雲參數化方案主要差異分為三個部分：(1)於調整水氣回饋過程中，計算用來代表位於雲層(k層)水氣逸出的差分式、(2)新增對流雲水(convective cloud water)與(3)對流雲覆蓋量(convective cloud cover)的變數輸出。

EMC 版本中，對流雲水與對流雲覆蓋量，其定義如下，

$$cnvw = q_c \cdot M_u^{new} \frac{g}{dp} dt, \quad (48)$$

$$cnvc = 0.04 \times \ln(1 + 675 \cdot M_u^{new}), \quad (49)$$

(48)式中  $q_c$  為雲水混合比(kg/kg)。水氣回饋過程的調整如圖 12 所示，圖中 k+0.5 與 k-0.5 層代表環境的變數場，而 k 層則代表雲內的變數場。在 CWB/GFS 版本的 NSAS 積雲參數化方案，以上下兩層環境層，經過內差的方式計算雲內(k層)的水氣比濕， $q_u^k = (q^{k+0.5} + q^{k-0.5})/2$ ，若環境比濕達過飽和時，則以經驗公式將其轉換為飽和比濕與雨水。而在 EMC 版本中，於上衝流內，k+0.5 層(上層環境層)若達過飽和狀態時，維持使用過飽和比濕，k-0.5 層的處理方式則與 CWB 版本相同，並以相同方式內插至雲層(k層)。於下衝流內，則於 k-0.5 層(下層環境層)維持過飽和狀態以計算雲層(k層)水氣通量。

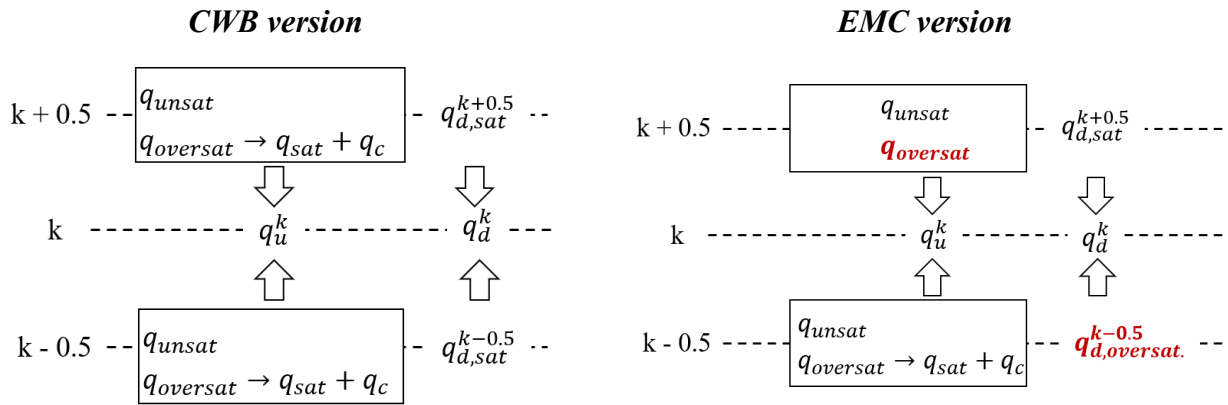


圖 12: CWB 與 EMC 版本的 NSAS 參數化法，計算雲層(k 層)比濕方式的示意圖。 $q_{unsat}$  代表未飽和比濕， $q_{oversat}$  代表過飽和比濕， $q_{sat}$  為飽和比濕而  $q_r$  為雨水混合比。下標 u、d 分別代表上衝流與下衝流。

### e. EMC 版本模擬結果

圖 13 為 CWB/GFS 模式與 EMC 版本的 NSAS 積雲參數化方案模擬 MJO-2 的結果，並與 NCEP 的 OLR 距平再分析資料和 GPCP 降水距平資料進行比較。由 OLR 距平時序圖中，使用 EMC 版本的 NSAS 參數化方案，於印度洋海域較 CWB/GFS 模式的對流強度有稍微較強的情況，OLR 距平最小值較低。於積雲水氣回饋過程的上衝流逸出水氣通量垂直剖面圖中(圖 14)，EMC 版本的運算方法會導致積雲水氣逸出較 CWB/GFS 版本為多，使得環境水濕度增加，造成有利於 MJO 系統對流發展的環境。

雖然將 NSAS 積雲參數化方案更新為最新 EMC 版本後，對於 MJO-2 對流發展有增強的趨勢，但相較於 Tiedtke 與 NCEP 資料的 MJO-2 對流系統強度則明顯偏弱，於印度洋海域的降水距平仍明顯偏少。

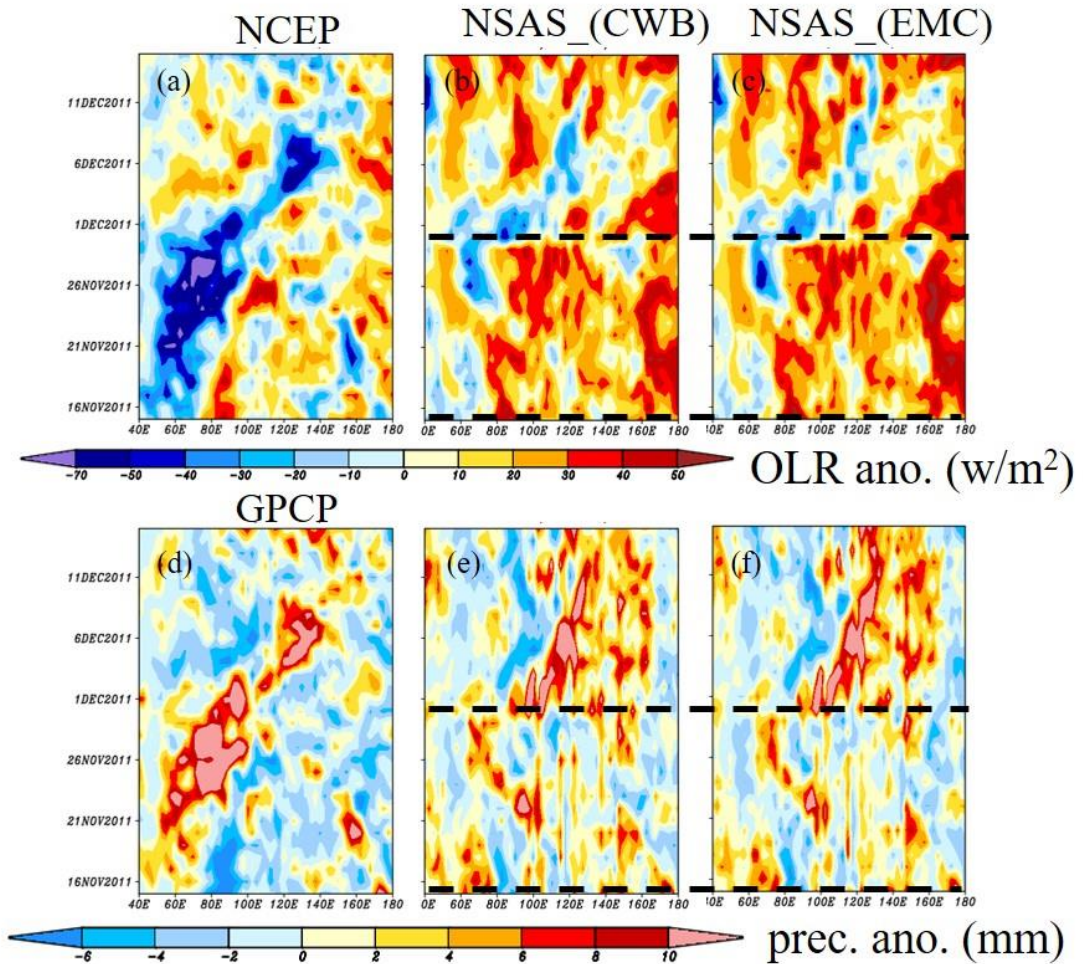


圖 13:分別為 CWB/GFS 模式的 Tiedtke、NSAS 參數化方案與 EMC 版本的 NSAS 方案，模擬 MJO-2 的 OLR 距平( $W/m^2$ )與降水距平(mm)的結果。黑虛線為初始場時間 2011/11/15 和 2011/11/30。

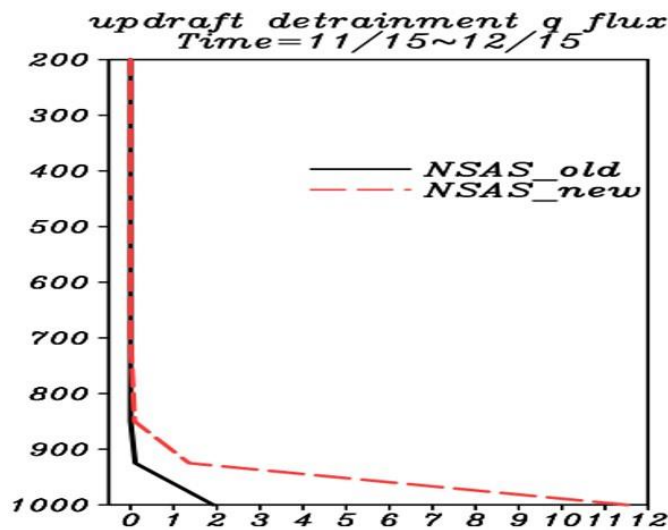


圖 14: 積雲回饋過程中的上衝流逸出水氣通量( $10^6 \cdot kg/s^2m^2$ )垂直剖面圖。

## 八、 結論與建議

本計畫將 CWB/GFS 模式的 Tiedtke 積雲參數化更新為 MPAS 模式的 new Tiedtke 參數化方案後，對於 DYNAMO 期間的 MJO-2 個案進行測試。結果顯示 CWB/GFS 模式對於 MJO 對流系統的模擬結果，相較於 NCEP 再分析資料與 Tiedtke 參數化模擬結果得比較，有明顯偏弱的情形。嘗試將逸入作用增強後，使得低層雲水重新蒸發至環境中，將導致環境相對濕度增加而有利於 MJO 對流系統的發展，進而使得對流系統增強。

另外，本計畫參考 WRF 模式 3.8.1 版本的對於 new Tiedtke 積雲參數化方案之調整，修改深對流雲的氣塊自近地面抬升時，空氣塊的溫度、比濕隨高度的變化(simplified updraft equation)，使得中低層大氣溫度和水氣增加，造成對流系統與降水模擬有明顯增強，但有過強的趨勢。而在下衝流逸入作用過程中，增加對流內空氣塊浮力作用的影響，將有助於改善模式對於 MJO-2 的掌握程度。

在 EMC 版本中的 NSAS 積雲參數化法，修改計算積雲回饋過程中上衝流/下衝流比濕逸出通量的計算方式，將會導致相較於 CWB/GFS 版本的模擬環境水氣量較多，使得對流發展增強與降水增多。

本計畫使用 Tiedtke 參數化方案，相較於目前 CWB/GFS 作業版本所使用的 NSAS 參數化法，對於 DYNAMO 期間的 MJO 對流系統掌握度有明顯增加，建議 CWB/GFS 針對熱帶地區的模擬，可採用 Tiedtke 參數化方案。未來，可使用水氣收支分析，探討不同積雲參數化法造成 CWB/GFS 對於 MJO 系統模擬結果差異的原因。此外，可針對時間尺度較短的天氣系統(如颱風、梅雨鋒面等)進行模擬測試，以評估 Tiedtke 參數化方案於 CWB/GFS 之適用性。

## 九、 參考文獻

- Bechtold, P., N. Semane, P. Lopez, J.-P. Chaboureau, A. Beljaars, and N. Bormann, 2014: Representing equilibrium and nonequilibrium convection in large-scale models. *J. Atmos. Sci.*, **71**, 734–753.
- Bechtold, P., M. Kohler, T. Jung, F. Doblas-Reyes, M. Leutbecher, M. Rodwell, F. Vitart, and G. Balsamo, 2008: Advances in simulating atmospheric variability with the ECMWF model: From synoptic to decadal time-scales. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **134**, 1337–1351.
- Betts, A. K., and M. J. Miller, 1986: A new convective adjustment scheme. Part II: Single column tests using GATE wave, BOMEX, ATEX, and Arctic air-mass data sets. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **112**, 693–710
- Environmental Modeling Center 2017: GFS Operational Physics Documentation. Retrieved from [http://www.dtcenter.org/GMTB/gfs\\_phys\\_doc/index.html](http://www.dtcenter.org/GMTB/gfs_phys_doc/index.html)

- Fritsch, J. M., and C. G. Chappell, 1980: Numerical prediction of convectively driven mesoscale pressure systems. Part I: Convective parametrization. *J. Atmos. Sci.*, **37**, 1722–1733.
- Grell, G., 1993: Prognostic Evaluation of Assumptions Used by Cumulus Parameterizations. *American Meteorological Society*, **121**, 764-787.
- Han, J., and H.-L. Pan, 2011: Revision of convection and vertical diffusion schemes in the NCEP global forecast system, *Wea. Forecasting*, **26**, 520-533.
- Hong, S.-Y., and H.-L. Pan, 1996: Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model. *Mon. Wea. Rev.*, **124**, 2322-2339.
- Jakob, C., and A. P. Siebesma, 2003: A new subcloud model for mass-flux convection scheme: Influence on triggering, updraft properties, and model climate. *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 2765-2778.
- Nordeng, T.-E., 1994: Extended versions of the convection parametrization scheme at ECMWF and their impact upon the mean climate and transient activity of the model in the tropics. ECMWF Tech. Memo. 206, 41 pp
- Pan, H.-L. and W.-S. Wu, 1995: Implementing a mass flux convection parameterization package for the NMC medium-range forecast model. NMC office note 409 , 40 pp.
- Tiedtke, M, 1989: A comprehensive mass flux scheme for cumulus parameterization in large-scale models. *Mon. Wea. Rev.*, **117**, 1779-1800.
- Xu, K.-M., and S. K. Krueger, 1991: Evaluation of cloudiness parameterizations using a cumulus ensemble model, *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 342-367.
- Yang, M.-J., C.-H. Lin, J.-H. Chen, M.-Y. Chang, C.-H. Sui, M.-M. Lu, and B.-J. Tsuang, 2017: Numerical Simulations of the Madden-Julian Oscillations during DYNAMO field campaign using the Taiwan CWB global model. *Preprints, Fifth Symposium on the Prediction of the Madden-Julian Oscillation*, the 97<sup>th</sup> AMS Annual Meeting, Seattle WA, 22–26 January 2017, American Meteorological Society (AMS).

## 附錄：出席國際學術會議心得報告

報告 1：

2017 97th American Meteorological Society Annual Meeting, Robert A. Houze, Jr. Symposium, Fifth Symposium on Prediction of the Madden-Julian Oscillation: Processes, Prediction, and Impact

報告 2：

The Sixth WMO International Workshop on Monsoons (IWM-6)

# 氣象局委託計畫項下出席國際學術會議心得報告

日期：106 年

2 月 15 日

計畫編號	MOTC-CWB-106-M-08		
計畫名稱	中央氣象局高解析度全球預報模式的診斷及物理參數化的改進研究(2/2)		
出國人員姓名	楊明仁	服務機構及職稱	國立台灣大學 教授
會議時間	106 年 1 月 20 日 至 106 年 1 月 27 日	會議地點	美國，西雅圖
會議名稱	(中文) (英文) <b>2017 97th American Meteorological Society Annual Meeting, Robert A. Houze, Jr. Symposium, Fifth Symposium on Prediction of the Madden-Julian Oscillation: Processes, Prediction, and Impact</b>		
發表論文題目	(中文) (英文) <b>Numerical Simulations of the Madden-Julian Oscillations During DYNAMO Field Campaign Using the Taiwan CWB Global Model</b> (英文) <b>Changes of Water Budget and Precipitation Efficiency of Typhoons Nari (2001) and Morekot (2009) during Landfall on Taiwan</b>		

## 一、目的：

本次 2017/01/20-27 赴美國西雅圖之目的，在於參加第五屆 MJO 預報論壇(The Fifth Symposium on Prediction of the Madden-Julian Oscillation: Processes, Prediction, and Impact)並順道參加美國氣象學會年會(AMS Annual Meeting)與 Robert A. Houze, Jr. Symposium.

## 二、參加會議經過：

1/20 (星期五)

個人搭乘長榮航空BR26班機，於11:40 pm 由桃園國際機場起飛，飛行10小時30分後，於美國西岸時間06:10 pm 抵達西雅圖。我拿到行李後，就搭乘Shuttle Express巴士到住宿的旅館Paramount Hotel休息。

1/21 (星期六) - 1/22 (星期日)

這兩天美國氣象學會安排學生研究會(Student Conference)，讓美國各大學大氣系的大學部學生與研究生們共聚一堂，並與年輕的教授或博士後研究員進行座談，讓學生們瞭解他們畢業後可能的工作選擇，以及因應未來職場需求大學或研究所階段應該選修哪些相關課堂。

同時美國私人氣象公司(如Weather Company與Accu Weather)及各電視台的氣象播報人員也在這兩天的Student Conference時間跟學生們座談，讓學生們提早瞭解職場上氣象預報所需的專業素養，並提供經驗分享給學生做個人生涯規劃的參考。這兩天有一半的時間都是學生海報展覽(poster presentation)，AMS大會當局並會頒獎給最佳的海報競賽學生們。

1/23 (星期一)

MJO Workshop 今日第一個單元議題即是「Simulating the MJO」，共有四個口頭報告，其中比較重要的有加州理工學院(CalTech)Prof. Xianan Jiang報告的「Key Physics of the MJO Based on Multi-Model Simulations」，以及華盛頓大學 Prof. Daehyun Kim報告的「MJO Simulation in CMIP5 Climate Models: MJO Skill Metrics and Process-Oriented Diagnostics」。

下午第一個單元議題是「MJO Mechanisms」，共有四個報告，其中個人較感興趣的是紐約大學SUNY Albany的 Prof. Paul Roundy報告之「MJO Phase Speed and Blocking」，以及Univ. of Miami的 Prof. Shuyi Chen與其學生 Mr. Ajda Savarin報告之「Effects of Atmosphere-Ocean Coupling in MJO Eastward Propagation: A Missing Piece of the Puzzle」。

接著02:30 - 04:00 pm 即為Poster Session，我的海報報告(#337)即安排在此時間，題目為「Numerical Simulations of the MJOs during DYNAMO Field Campaign Using the Taiwan CWB Global Model」。幾位研究MJO現象的著名教授，如 Prof. Mike Wallace與 Prof. Dennis Hartmann及 Prof. Brian Mapes等人，都在我的poster前停留與我討論，反應十分熱烈，我竭盡所能與前來poster討論的學者一一回答他們的問題。

04:00 - 05:30 pm 的單元主題為「Observing the MJO」，主要是著重於MJO現象的觀測分析，本單元共有六個報告，比較重要的報告為華盛頓大學 Prof. Wallace的「Ongoing Global Observation of the MJO: An Historical Overview」，Univ. of Miami的 Prof. Chidong Zhang報告之「Five Years After: What Have We Learned from DYNAMO?」，以及Univ. of Illinois的 Prof. Deanna Hense報告之「The Role of Multi-scale Atmospheric Conditions in the Evolution of Convective Organization during MJO-1 of DYNAMO」。

1/24 (星期二)

今日整天的重頭戲是Robert A. Houze, Jr. Symposium。早上第一個單元主題是「Tropical Convection and Global Weather and Climate」，由陳書毅(Prof. Shuyi Chen)教授主持，共有四個報告，分別由 Prof. Peter Webster, Prof. Ed Zipser, Prof. Dick Johnson及Dr. Chidong Zhang報告Prof. Bob Houze參與過的各項熱帶海洋觀測計畫(GATE、WMONEX、TOGA CORE及DYNAMO)的歷史回顧與重要科學成果。



第二個單元主題是「MCSs in the Mid-latitude and Tropics」，也有六個報告，介紹Houze在中尺度對流系統方面的研究成果。其中我的研究生時代的辦公室室友 Dr. Scott Braun與 Prof. Sandra Yuter，分別介紹 Houze研究團隊在 PRE-STORM實驗期間的研究成果，我的博士論文研究(Yang and Houze, 1995a,b)被他們兩位提到幾次，Yuter也特別感謝 Scott Braun與我在她博士論文研究階段的協助與支持。

第三個單元是「Tropical Cyclones」，共有四個報告，比較重要的有MIT Prof. Kerry Emanuel的「Tropical cyclones: What have we learned and where are we going?」，以及HRD Director Dr. Frank Marks的「Pioneering the Use of Doppler Radar in Tropical Cyclones」。

接著第四個單元為海報展覽，共有78篇海報參與盛會，我的海報(#435)也安排在此單元。我的海報報告題目是「Changes of Water Budget and Precipitation Efficiency of Typhoons Nari (2001) and Morekot (2009) during Landfall on Taiwan」，很多人在我的海報前停留並與我討論，如 Prof. Cliff Mass, Dr. Xuejin Zhang及Prof. Fuqing Zhang等人，我們彼此意見交流，相談甚歡。

最後一個單元的主題是「Orographic Precipitation」，同樣有六個報告，比較重要的報告有NCAR Dr. Richardson Rotunno的「Review of Orographic Precipitation」，瑞士 ETH Prof. Chris Schar的「Orographic Precipitation in the Alps」以及華盛頓大學 Miss Jennifer DeHart的「OLYMPEX: A Unique and Comprehensive Dataset for Understanding Precipitation Processes in Complex Terrain」。晚上美國氣象學會安排一個晚宴，讓所有Houze的學生、博士後與同事們與他共聚一堂，表揚他在學術上的貢獻，並祝福他有美滿的退休人生。

1/25 (星期三)

今日我主要參加預報度討論會(Predictability Workshop)，第一個單元主題為「Atmospheric Predictability Part I」，共有六個報告，個人較感興趣的是MIT Prof. Kerry Emanuel的「TC Prediction and Predictability: Advances and Challenges」，SUNY Albany的Prof. Lance Bosart之「Surface Boundaries and Severe Weather: Living on the “Edge” in a World of Forecast Uncertainty」，以及賓州州立大學(Penn State University)張福清教授(Prof. Fuqing Zhang)的「What is the Ultimate Limit of Weather Predictability?」。

第二個單元主題是「Atmospheric Predictability Part II」，比較重要的是歐洲ECMWF的Dr. Magnusson之報告「Predictability of High-impact Weather Events」，與美國海洋研究實驗室(Naval Research Laboratory)的 Dr. Jim Doyle之「Sensitivity and Predictability of the Waveguide and High-impact Extratropical Cyclones」。

第三個單元主題是「Atmospheric Predictability Part III」，個人比較有興趣的報告是美國地球物理流體動力實驗室(Geophysical Fluid Dynamics Laboratory)的 Dr. Shian-Jan Lin之「Towards a Unified Prediction System from Weather to Climate Scale」，美國海洋研究實驗室(Naval Research

Laboratory)的Dr. Carolyn Reynolds之「Prediction of the MJO in Navy Global and Regional Systems」。  
晚上我則參加AMS年會的大會晚宴(Annual Meeting Banquet)，並參觀重要獎項如 Rossby Award與 Charney Award等的頒獎典禮。

1/26(星期四)

我搭乘今日凌晨00:45 am 的長榮BR-25班機，由西雅圖機場起飛，飛行了13小時在台北時間1/27(星期五)早上約05:30 am 抵達桃園機場，結束此次AMS年會暨MJO預報研討會的行程。

### 三、與會心得及建議：

本次美國氣象學會年會共有 4,500 人參加，包括大會邀請演講(Walter Roberts Lecture 與 Robert Horton Lecture)，兩場學術論壇(Houze Symposium 與 Bosart Symposium)，及短期密集訓練課程與各類型研討會等(共 41 場)，真可說是美國氣象界的年度大盛事，參與人士包括學術界、作業單位、及民間企業界等都前來共襄盛舉。反觀我們的中華民國氣象學會年會的參與程度並不踴躍，我們年會活動的安排已過於制式而沒有每個年度會議的重點主題；美國氣象學會年會的設計與活動安排，有很多值得我們學習借鏡的地方。

MJO 現象，是界於天氣與氣候尺度間的季內天氣震盪身對流現象，目前世界各國氣象作業單位，對於它的預報能力，大概僅有 7-10 天，台灣氣象局全球模式的預報能力約 5 天，與世界其他重要國家的氣象作業單位如 ECMWF、JMA 及 NCEP 等大致相同但稍微落後，代表我們國家還有很多需要努力改進的地方。

最後感謝氣象局委託計畫 MOTC-CWB-106-M-08 補助個人此次參與美國氣象學會年會及 MJO 預報論壇的機票與生活費。

### 四、攜回資料名稱及內容：

個人帶回「2017 97th American Meteorological Society Annual Meeting」大會手冊 1 本。

### 五、其他建議：

無。

### 六、報告海報與會議照片：



- Start
- At-A-Glance
- Browse by Day
- Author Index
- Personal Scheduler

### 337 Numerical Simulations of the Madden-Julian Oscillations During DYNAMO Field Campaign Using the Taiwan CWB Global Model

**Monday, 23 January 2017** More  
 4E (Washington State Convention Center)

**Ming-Jen Yang**, National Taiwan University, Taipei, Taiwan; and C. H. Lin, J. H. Chen, M. Y. Chang, C. H. Sui, M. M. Lu, and B. J. Tsuang

This study investigates the simulation results of three Madden-Julian Oscillations (MJOs) during the 2011–12 (DYNAMO) Dynamics of the MJO (DYNAMO) field campaign, using the Taiwan Central Weather Bureau (CWB) global model. The Real-time Multivariate MJO (RMM) index with an emphasis on the zonal wind fields is used to examine the model's skill in predicting global patterns of the MJOs. Eastward propagation of the model simulated precipitation and outgoing longwave radiation (OLR) of three MJO events during the DYNAMO field campaign is also compared with the National Center for Environment Prediction (NCEP) Reanalysis data. In terms of the RMM index, the CWB global model is capable to capture the initiation, development, and weakening of three MJO events around the globe (i.e., the different phases of MJO). On the other hand, the CWB global model has different degrees of agreement of the eastward propagation (in terms of timing, propagation speed, and strength) of convection and precipitation among three MJO scenarios as compared with observations, and the simulation results are highly dependent on the cumulus and air-sea feedback parameterizations used in the model. In a sensitivity simulation with a new Tiedtke cumulus scheme and an air-sea flux scheme, the CWB global model has a better skill in predicting the eastward propagation and intensity of precipitation for three MJO events during the DYNAMO field campaign. Detailed analyses and comparisons of model results of MJO features with available observations during the DYNAMO field experiment will be given at the MJO Symposium.

-  - Indicates paper has been withdrawn from meeting
-  - Indicates an Award Winner

See more of: Fifth Symposium on Prediction of the Madden-Julian Oscillation: Processes, Prediction, and Impact  
 See more of: Fifth Symposium on Prediction of the Madden-Julian Oscillation: Processes, Prediction and Impact

◀ Previous Abstract | Next Abstract ▶



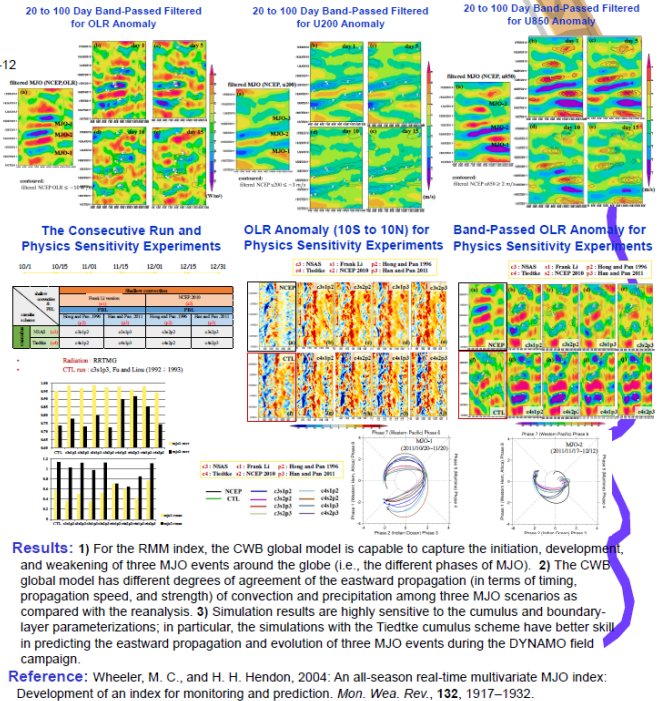
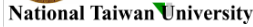
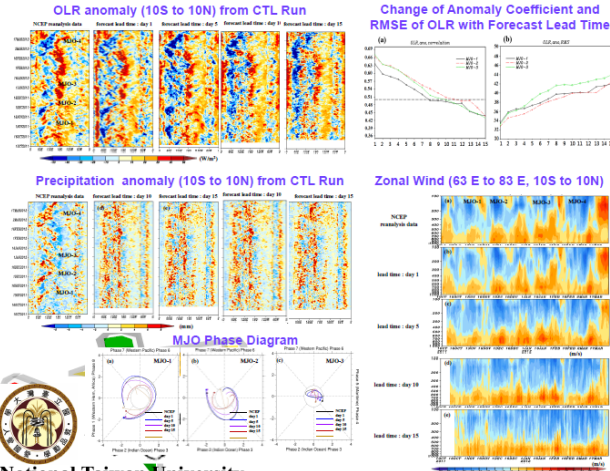
# Numerical Simulations of the Madden-Julian Oscillations during DYNAMO Field Campaign using the Taiwan CWB Global Model

Ming-Jen Yang<sup>1</sup>, Chang-Hong Lin<sup>2</sup>, Jen-Ho Chen<sup>2</sup>, Chung-Hsiung Sui<sup>1</sup>, and Mong-Ming Lu<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>National Taiwan University, Taipei, Taiwan  
<sup>2</sup>Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan

**Objective:** To investigate the capability of the Taiwan Central Weather Bureau (CWB) Global Model to simulate the propagation, evolution, and intensity of Madden-Julian Oscillations (MJOs) during the 2011–12 DYNAMO field campaign, and intensive radar and satellite observations are available for verification.

**Background:** Three convection events of Madden-Julian Oscillations (MJOs) occurred during the 2011–12 DYNAMO field campaign, and intensive radar and satellite observations are available for verification.

**Methodology:** 1) The Taiwan Central Weather Bureau (CWB) Global Model with a grid resolution of T319L40 is used. 2) The Real-time Multivariate MJO (RMM) index with an emphasis on the zonal wind field is used to examine the model's skill in predicting global patterns of the MJOs. 3) Simulated precipitation and outgoing longwave radiation (OLR) of the MJO even is compared with the National Center for Environment Prediction (NCEP) Reanalysis data. 4) Sensitivities to cumulus, boundary layer, and radiation parameterizations are examined.



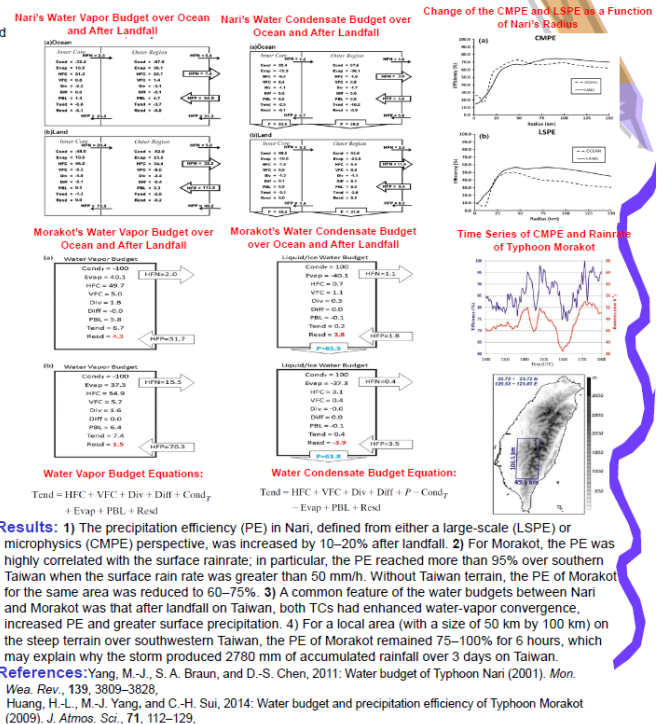
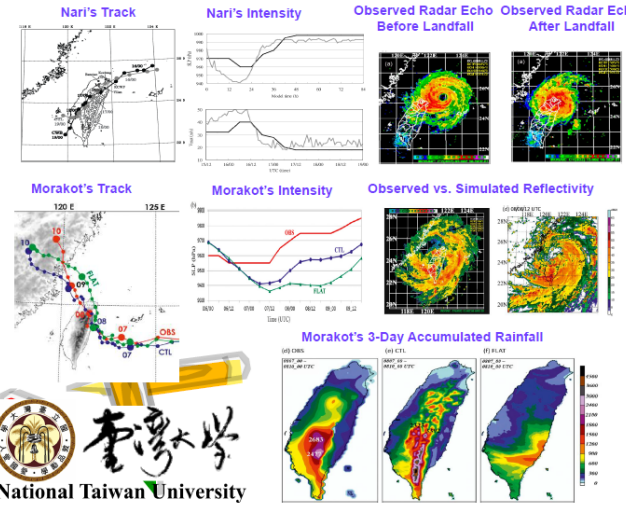
# Changes of Water Budget and Precipitation Efficiency of Typhoons Nari (2001) and Morakot (2009) during Landfall on Taiwan

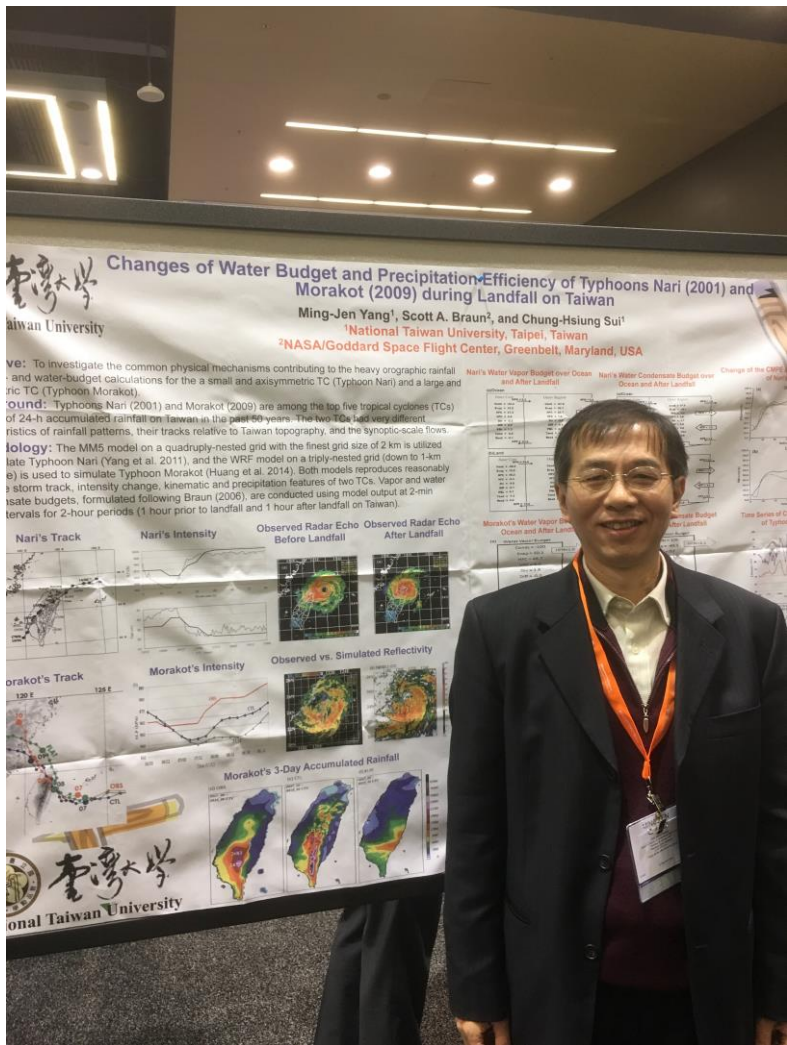
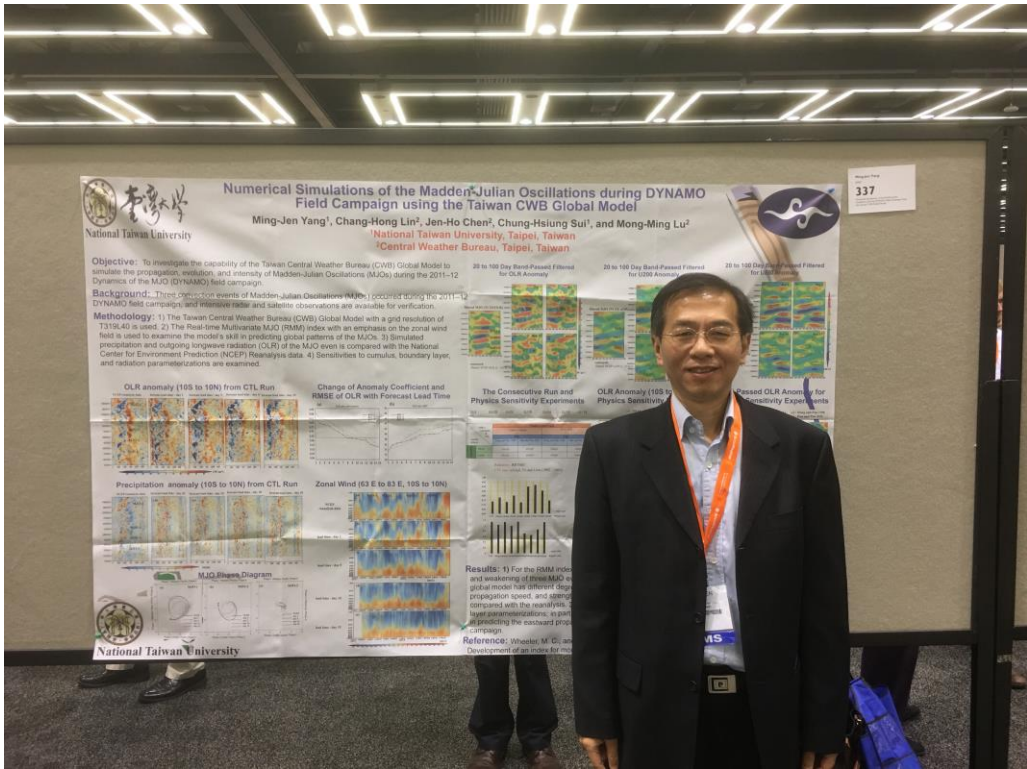
Ming-Jen Yang<sup>1</sup>, Scott A. Braun<sup>2</sup>, and Chung-Hsiung Sui<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>National Taiwan University, Taipei, Taiwan  
<sup>2</sup>NASA/Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, USA

**Objective:** To investigate the common physical mechanisms contributing to the heavy orographic rainfall by vapor- and water-budget calculations for the a small and axisymmetric TC (Typhoon Nari) and a large and asymmetric TC (Typhoon Morakot).

**Background:** Typhoons Nari (2001) and Morakot (2009) are among the top five tropical cyclones (TCs) in terms of 24-h accumulated rainfall on Taiwan in the past 50 years. The two TCs had very different characteristics of rainfall patterns, their tracks relative to Taiwan topography, and the synoptic-scale flows.

**Methodology:** The MM5 model on a quadruply-nested grid with the finest grid size of 2 km is utilized to simulate Typhoon Nari (Yang et al. 2011), and the WRF model on a triply-nested grid (down to 1-km grid size) is used to simulate Typhoon Morakot (Huang et al. 2014). Both models reproduce reasonably well the storm track, intensity change, kinematic and precipitation features of two TCs. Vapor and water condensate budgets, formulated following Braun (2006), are conducted using model output at 2-min time intervals for 2-hour periods (1 hour prior to landfall and 1 hour after landfall on Taiwan).





# 氣象局委託計畫項下出席國際學術會議心得報告

日期：106 年

12 月 05 日

計畫編號	MOTC-CWB-106-M-08		
計畫名稱	中央氣象局高解析度全球預報模式的診斷及物理參數化的改進研究(2/2)		
出國人員姓名	林昌鴻	服務機構及職稱	國立臺灣大學 專任研究助理
會議時間	106 年 11 月 13 日 至 106 年 11 月 17 日	會議地點	新加坡
會議名稱	(中文) (英文) <b>The Sixth WMO International Workshop on Monsoons (IWM-6)</b>		
發表論文題目	(中文) (英文) <b>Numerical Simulations of the Madden-Julian Oscillations during DYNAMO Field Campaign using the Taiwan CWB Global Model</b>		

## 七、目的：

本次 11/13-11/17 赴新加坡之目的，在於參加第 6 屆季風國際研討會(The Sixth WMO International Workshop on Monsoons)。

## 八、參加會議經過：

星期日(11/12)

大約於12點抵達新加坡樟宜機場，並搭乘計程車前往Grand Copthorne Waterfront Hotel，於晚間至會場現場報到，領取會議識別證與行程表。

星期一(11/13)

會議於9點，由Ajit Tyagi, Hans Huang, C.-P. Chang等人致詞開場，並於會場外合影。今日會議的主題為區域季風與氣候(Regional Monsoon and Climate)，演講者的主題包含了非洲、印度、東/東南亞、澳洲及南/北美洲地區，季風造成強降水過程或模式可預報度等等的研究。

早上一共有5個口頭報告，其中個人覺得比較有趣的是來自印度科學理工學院(Indian Institute of Science)的Sulochana Gadgil報告的「Role of Land-Ocean Contrast in the Interannual Variation of the Indian Summer Monsoon Rainfall」，內容主要探討印度次大陸地區與印度洋之間，存在強烈的溫度梯度時，對於夏季季風降水的變化有很大的關聯性。另一個，是中國科學

院的吳國雄院士報告的「The Nature of the Thermal Forcing of the Asian Summer Monsoon」，其中提到，由於太陽輻射加热的年變化影響，造成海、陸以及西藏-伊朗高原(Tibetan-Iranian Plateau; TIP)溫度、熱能的差異，造成大氣環流及亞洲夏季季風的改變。

下午則是由9位講者報告，比較重要的包括Aurel F. Moise的「Climate for the Australian Monsoon」、Kyung-Ja Ha的「Multifaceted Modes in the East Asian-Western North Pacific Summer Monsoon」、Tim Li的「Formation Mechanisms of Western North Pacific Anomalous Anticyclone during El Nino - A Review」、Alice Grimm的「South and North American Monsoon」以及Lin Wang的「East Asian Winter Monsoon」，其中比較感興趣的是中國科學院Lin Wang對於不同時間尺度，包括interannual、decadal和interseasonal的東亞冬季季風變化的介紹。

星期二(11/14)

會議改於上午8點40分開始，主題為「High-Impact Weather」，演講題目包含中尺度對流系統、颱風和龍捲風等研究成果。

整天共有15個報告，其中較為印象深刻的是來自美國科羅拉多州立大學的Michael M. Bell報告的「Mesoscale/High Impact Weather Topics」，以台灣於2009年受莫拉克颱風影響造成南部強降雨事件為例，解釋颱風的下風切左側加上西南季風的影響，使對流增強。並且引用了黃小玲博士於2014年研究的颱風降水效率的研究。另一個，則是來自中國北京大學的Zhiyong Meng的「Tropical Cyclone Tornadoes in Southern China」，研究颱風的外圍環流造成在華南地區引發龍捲風的生成的環境結構特徵，並分享當時由路邊監視器拍攝到龍捲風經過時的震撼畫面。

星期三(11/15)

今日早上的主題跟我目前的研究內容的相關性較高。演講內容包含MJO橫越海洋-大陸地區的觀測及預報結果、海氣交互作用的物理過程、MJO對中緯度地區波動的影響以及ECMWF模式目前對於MJO對流系統掌握度等等。

下午則主要是季內時間尺度的季風的研究成果。包含位於南海及海陸區域季內震盪產生的對流系統、用來評估氣旋生成頻率的經驗指數(Genesis Potential Index; GPI)，於西北太平洋的季內變化，以及發展Boreal Summer Interseasonal Oscillation (BSISO)指數預報韓國湄公河流域強降水事件等。

最後16:15-16:35為大會安排每人2.5分鐘的海報論文口頭報告時間，以一張簡報的方式簡短報告海報論文內容。口頭報告結束後，於16:25-17:00即為海報展示時間，供大家互相討論海報內容。楊明仁老師、本人、陳建河簡任技正等共同合作，對於CWB/GFS模擬DYNAMO期間MJO系統掌握度的海報論文也安排在此單元。

星期四(11/16)

上午的會議為接續星期一(11/13)的區域季風與氣候主題，總共有10為講者報告，其中個人比較有興趣的是張智北老師的「Monsoon Rainfall Prediction Problem in the Western Maritime Continent」，以及德國Ludwig-Maximilians University of Munich的Roger K. Smith報告「The Dynamics of Tropical Lows over Land during the Monsoon」。

下午則接續星期二(11/14)的「High-Impact Weather」，共有4個報告，其中印象最深刻的是印度Central University of Rajasthan的Someshwar Das報告希瑪拉雅山南側積雲對流爆發的機制，主要受到大尺度高層西風受到山脈阻隔影響，促使對流激發以及增強。另一篇，則是來自日本東京大學，Yukari N. Takayabu報告東亞以及熱帶地區，透過衛星或雷達資料觀測，得到發生極端降雨事件的环境結構特徵。

最後15:15-17:00接續星期三(11/15)的海報論文討論時間，與國外學者進行學術交流，討論近期的研究成果。

#### 星期五(11/17)

今天整天的會議主題為Modeling and Climate Change。報告現今不同預報模式，對於不同區域的季風氣候造成強降水的模擬結果與改進。比較重要的包含日本Nagoya University的Kazuhiisa Tsuboki的「High-resolution Simulations of Heavy Rainfall and Typhoons Using a Cloud Resolving Model」、日本Meteorological Business Support Center的Akio Kitoh, Hirokazu報告Future changes in global monsoon precipitation and their uncertainty: Results from high-resolution MRI-AGCM ensemble simulation with multi-SSTs and multi-physics」，以及美國夏威夷大學H. Annamalai的「CLIVAR Working Group on Monsoons: Grand Challenges In Monsoon Modeling: Representation of Processes and Source of Model Errors」。

下午的15:00-16:55本人參加主題為「Exploitation of MJO and Equatorial wave products for operational analysis and forecasting of TC genesis and extreme rainfall events」的小型訓練課程，由法國氣象局Météo France的Thierry Lefort負責講解MJO的基本概念、MJO index的運用等等，並且介紹某些對於MJO即時預報的網站。

課程結束後，最後的5分鐘則由張智北老師等人進行閉幕演說，結束為期5天的國際季風氣候研討會。

#### 九、與會心得及建議：

本次參加第6屆季風國際研討會，主要分為論文回顧、近期研究報告以及訓練課程三個部分。參加會議人數眾多且演講結束後的討論相當熱烈，可感受到學著們對於學術研究的熱情。

擔任論文回顧以及近期研究報告的演講者，將多篇論文重點整理濃縮成短短15~20分鐘的報告，並繪製簡單的示意圖，使聽眾能夠在短時間內吸收重要的物理機制與研究成果。會議



演講的主題中，最感興趣的是 MJO 海氣交互作用。講述海洋與大氣介面之間，於 MJO 前端海洋透過輻射過程，產生向上的淺熱通量回饋至大氣中，而大氣中的積雲對流與降水過程造成輻射通量、海水溫度、混合層等等的改變。另一個則是各國作業預報模式對於 MJO 系統掌握能力的報告，提出，若以 MJO 指數作為指標，ECMWF 預報 MJO 系統的能力大約為 3~5 週。但若單獨分析 OLR 場，其預報能力縮短至 5~10 天，此結果與 CWB/GFS 的表現類似。因此，現今模式對於 MJO 系統橫越海陸地區的發展的模擬，仍存在很大的挑戰性，以及改進的地方。

最後感謝氣象局委託計畫的補助機票與生活經費，以及楊明仁老師及陳建河簡任技正讓我有機會能夠出國參加國際會議，拓展視野。另外，謝謝陳雲蘭技正與其他氣象局同仁的照顧與幫忙，讓這次參加國際學術會議的過程能夠順利。

十、攜回資料名稱及內容：

帶回「2017 6<sup>th</sup> WMO International Workshop on Monsoons (IWM-VI)」大會手冊 1 本。

十一、其他建議：

無。

十二、報告海報與會議照片：

