

氣象局GFS模式與一維海洋模式整合案例研究

郭珮萱¹ 陳建河² 莊秉潔³ 林昌鴻²

中央氣象局氣象科技研究中心¹ 中央氣象局氣象資訊中心² 國立中興大學環境工程學系³

摘要

利用中央氣象局GFS (Global Forecast System)模式與可處理雪、冰及水體的一維海洋模式SIT (Snow/Ice/Thermocline, SIT)整合,期望可利用SIT之海氣交換模擬技術,嘗試改善GFS模式的下邊界模擬之技術。目前已完成40 °S- 40 °N間SIT模組與GFS模式之結合,並利用一年的模擬所建立的Qflux資料及預報海溫資料進行案例測試,結果顯示,加入預報海溫資料或Qflux資料可改善海溫模擬結果,及降低颱風中心距離差。此外,在不同積雲、淺對流及邊界層參數化機制組合的情況下,針對2011年DYNAMO (Dynamics of the Madden-Julian Oscillation)期間進行GFS模式有、無SIT模式之案例測試,由OLR (outgoing longwave radiation)及雨量結果顯示,使用New SAS積雲機制,無論有、無SIT模組對2011年11月DYNAMO預報度有限,在DYNAMO開始後雖可預報出低OLR及降雨量有隨時間東移的現象,但東移速度較慢;使用Tiedtke之積雲機制後明顯可預報出2011年11月之DYNAMO案例,加入SIT模組後,可增加OLR及降雨帶東移的速度,提高DYNAMO現象的預報力。

關鍵字：CWB GFS, SIT, DYNAMO

一、前言

結合水體、冰及雪(Snow/Ice/Thermocline)三相之模式(簡稱SIT)為一維海洋模式,可處理海上海、冰及雪之能量交換,針對海洋表面溫度變化發展溫度能量傳輸模組,可計算海水表面之溫度,其在熱帶海洋表層的模擬結果已刊出在Geophysical Research Letter (Tu and Tsuang, 2005),並已成功的在用德國MPI (Max Planck Institute for Meteorology)機構所發展之ECHAM4/5氣候模式中測試完成(Tsuang et al., 2001, 2009),此一參數化方法可以模擬出海水表面之Cool Skin,並減少海氣Couple過程10 W/m²之能量誤差。2015年Tseng等人利用ECHAM5與SIT整合之ECHAM5-SIT進行25年模擬,研究結果發現其對國際間已知之赤道季節振盪Madden-Julian Oscillation (MJO)之模擬有顯著之改進(Tseng et al., 2015)。此外,Jiang等人(2015)也整理許多模式針對MJO之模擬結果,顯示ECHAM5-SIT對MJO之模擬結果在27個模式中亦佔前20%強(Jiang et al., 2015)。

配合中央氣象局GFS模式之發展,因此引進SIT一維海洋模式,期望可利用SIT模組海氣交換的模擬技術,嘗試改善GFS模式的下邊界模擬之技術。本文利用案例進行模擬測試,嘗試了解SIT模組加入GFS模式後,並探討對模式模擬結果的影響。

二、研究方法

GFS與SIT之耦合模式(簡稱GFS-SIT),主要由大氣模式提供大氣下邊界之能量通量、風場等資訊傳入SIT, SIT經過計算海洋各層水溫後,最後將計算後的表水水溫傳回大氣模式進行大氣部分計算。由於海面結冰或下雪過程之計算過程較複雜,因此目前先針對海水部分進行計算,於40 °S- 40 °N間海洋網格啟動SIT模組計算, GFS與SIT之間耦合方式示意如圖1所示。

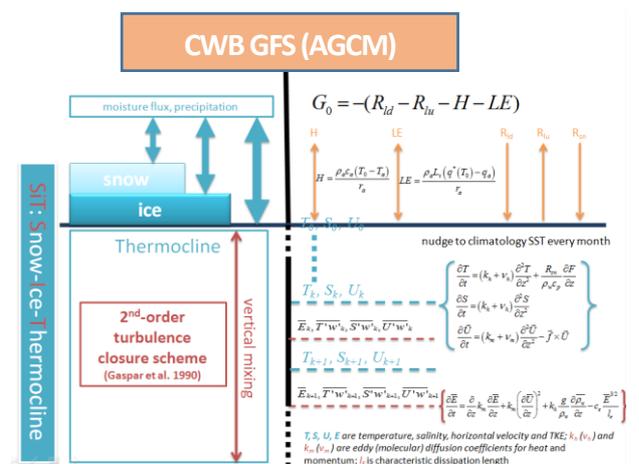


圖1, CWB GFS模式與SIT模組耦合示意圖

圖中， G_0 為海表面的能量通量， R_{id} 及 R_{iu} 為向上及向下的輻射通量， H 為可感熱通量， LE 為潛熱通量，這些主要由GFS模式提供模式下邊界資料給SIT。海面下 T 表示溫度， S 表示鹽度， U 表示洋流， W 表示水體。 T_a 為大氣溫度， T_0 為水表面溫度， T_k 表示第 $k-1$ 層至第 k 層的平均水溫。

目前模擬GFS模式大氣解析度為T319 (經度960格，緯度480格) L60(高度60層，模式頂層0.1 mb)，SIT模組將海洋深度0-200公尺間分為31層，其中0-10公尺表層海水分為11層，各層海水之間主要使用TKE (Turbulent Kinetic Energy)能量守恆方式(Gasper et al., 1990)垂直計算各層海水之間的能量變化，經由有限差分法計算至模式設定最底層，即可獲得各層的溫度，詳細SIT模式說明可參考(Tsuang et al., 2001; Tu and Tsuang 2005; Tsuang et al., 2009)。而為避免海溫在 $\pm 40^\circ N$ 處有明顯不連續性，採用權重方式計算SIT海溫與GFS模式海溫，以獲得 $\pm 30-40^\circ N$ 間之新海溫。

此外，由於SIT模組加入GFS模式後，可能會有模組本身所造成之誤差，因此，為調整SIT模組本身之系統性誤差，先利用長時間之模擬結果與氣候值比較，以建立SIT模組在模擬海溫時1-12月海水能量校正量(簡稱Qflux)。此外，在颱風案例測試中，SIT模組使用氣象局內的最佳化海溫預報系統(OPGSST)所預報的海溫資料(解析度為 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$)加入案例研究。而由於SIT模組在過去研究中可改善ECHAM模式對MJO的模擬，2011年10月至2012年3月間，許多國家研究單位在印度洋共同進行大型觀測實驗，以了解MJO生成機制，稱為DYNAMO (Dynamics of the Madden-Julian Oscillation)，因此，為了解GFS加入SIT模組是否也有較好的DYNAMO模擬結果，案例研究中也針對2011年DYNAMO實驗期間進行案例探討。選取的案例研究包括：(1) 颱風案例：2012年6月15-20日谷超颱風，(2) DYNAMO案例：2011年10、11月。

三、結果與討論

3.1、SIT調校量資料建立

以2013年1月1日為初始時間進行1年的積分，輸入為NCEP (the National Centers for Environmental Prediction, NCEP) GODAS (NCEP Global Ocean Data Assimilation System) 0-250 m之海溫資料作為海溫剖面資料，利用儲存模擬過程中各層溫度對觀測資料的修正量，圖2為利用2013年之模擬結果所建立之平均海溫能量調校量，圖中GFS-SIT在黑潮及墨西哥灣流等暖流的地方需要增加約100 - 150 W/m^2 之能量，而在太平洋赤道區域則需要減少約25-100 W/m^2 之能量。

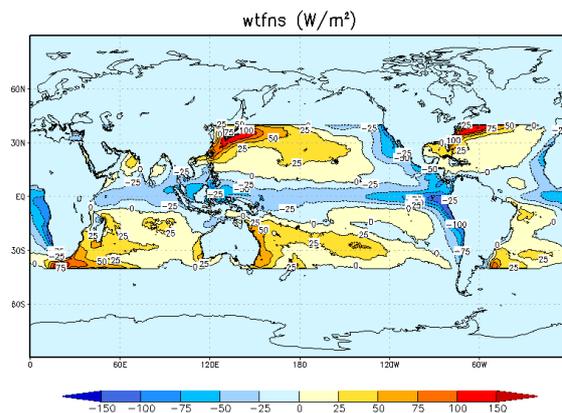


圖2，GFS_SIT模式之海溫能量調校量

3.2、颱風案例

此段谷超颱風(GUCHOL)期間台灣雖未發布颱風警報，但其從菲律賓東方向北移動，經台灣東方海域直達日本，因大部分路徑皆在海上，影響因素較少，因此可適合做為案例探討。模擬之起始時間為2012年6月15日標準時間0點，並進行5天的預報。模擬設定如表1所示，其中使用資料為SIT模組加入後額外使用之資料，而SIT模組在模擬時會利用初始海溫建立一個nudging場資料，並在模擬過程中利用不同nudging設定對海溫進行nudging調整，本案例模擬中，SIT模組海溫nudging之頻率為5d1d1d，即0-10 m深度之海溫每5天nudging一次，10-100 m深度之海溫每1天nudging，100 m深度以下之海溫每1天nudging一次。

表1，颱風案例模擬設定

模式	案例名稱	額外資料
GFS	GFS	無
GFS-SIT	GFS_SIT+opgsst_2dy ¹	OPGSST 資料
	GFS_SIT+qflux ²	Qflux 資料

註：1. 每兩天使用opgsst取代模式海溫nudging資料。

2. 使用Qflux資料校正SIT海溫模擬值。

如圖3，谷超颱風案例中，GFS_SIT模式在預報第3-5天可略改善颱風路徑誤差，而加入qflux校正量之GFS_SIT+qflux模擬結果又略較GFS_SIT+opgsst_2dy改善，颱風中心壓力差各案例差距不大。

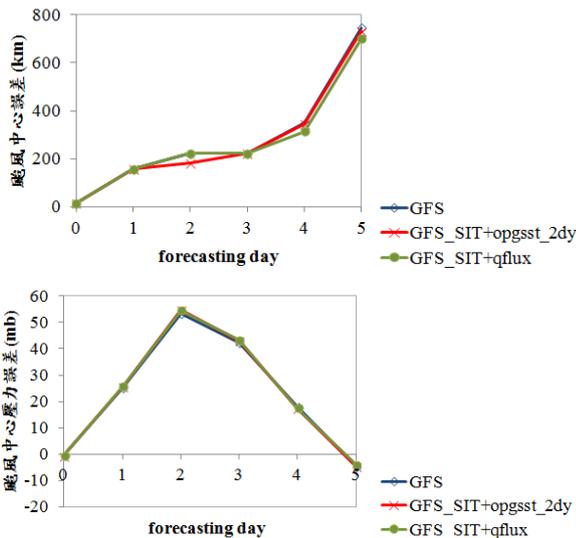


圖3，各案例模擬之颱風中心壓力與觀測颱風中心距離差及壓力差圖

3.3、DYNAMO案例

(1) DYNAMO案例：

2011年10-11月每天00Z進行45天回溯預報，模擬解析度為T319L60，版本為D63，使用New SAS積雲參數化機制。針對SST部分，GFS-SIT模式設定40°S-40°N間之NCEP SST資料為nudging資料，依執行SIT模組時所設定的nudging方式對不同深度之海水進行nudging，90°S-40°S及40°N-90°N之NCEP SST資料則與GFS模式相同，每預報24小時更新一次，海冰比例及雪厚度兩模式相同，每24小時更新一次。

2011年10-11月對熱帶地區(20°S-20°N, 0-360°E)預報第1-15日之統計結果如圖4所示，圖(a)為500 hPa高度場之變異相關係數，圖(b)為海平面氣壓場(SLP)之變異相關係數，圖(c)為第5, 10, 15天之高度場變異相關係數，其中GFS模式以黑線表示，GFS-SIT模式以紅線表示，統計所使用之觀測資料為氣候值。由圖中可知，GFS與GFS-SIT之500 hPa高度場及海平面氣壓場之結果非常相似，15天之內之變異相關係數皆可達0.7以上，第3-7天以GFS-SIT之變異相關係數略高，第11-13天以GFS之變異相關係數略高，但兩者的差異不大。同樣的，兩模式在壓力層高度之結果亦相似，GFS-SIT在300 hPa壓力層以下之高度場變異相關係數雖略較GFS高，但兩者差異仍小。

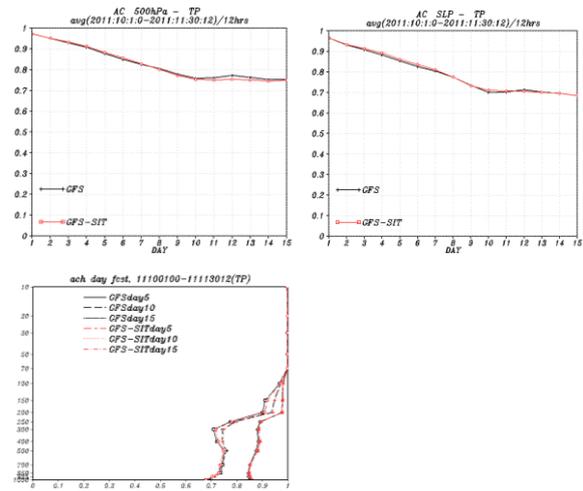
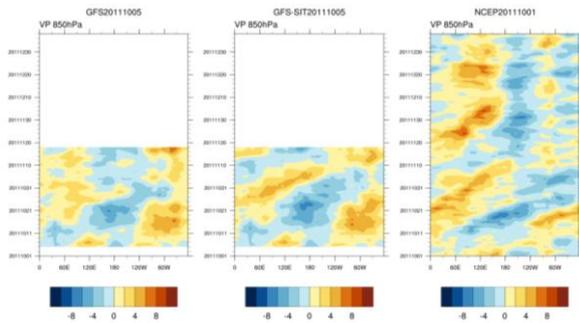


圖4，GFS及GFS-SIT模式2011年10-11月熱帶地區回溯預報變異相關係數圖

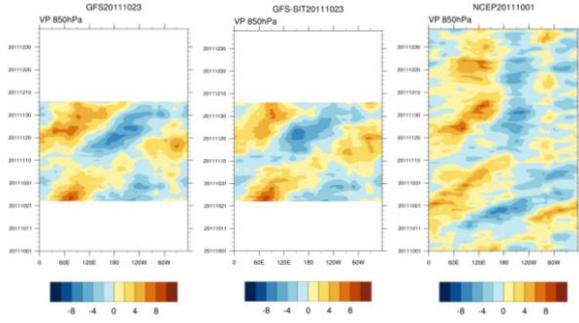
由於MJO事件發生地區，在雨帶前端下層大氣風場為東風，雨帶處下層大氣風場為西風，因此受到前後東風及西風的交會，下層大氣的風場呈現輻合現象，因此，利用分析模式預報的風場速度位(velocity potential)變化，也可了解模式對DYNAMO期間風場模擬是否合理。GFS及GFS-SIT預報45天之850 mb風場速度位 (velocity potential)範例如圖5所示，其中，左圖為GFS模式結果，中圖為GFS-SIT模式結果，右圖為觀測資料，觀測資料來源為NCEP再分析每日風場資料，解析度為2.5°×2.5°，(<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.analysis.html>)，氣候值為1979-2013年之結果，圖中紅色代表風場輻合，藍色代表風場輻散。

圖5(1)、圖5(2)為2011年10月5、23日之結果，在MJO開始前(如10/5)GFS-SIT較GFS有輻合帶東移的現象，輻合帶已形成後(如10/23)，因所輸入之初始值已經過觀測值進行校正，GFS及GFS-SIT模式在初始情況已有輻合帶之生成，因此兩個模式皆能保有輻合帶向東移的現象，GFS-SIT之輻合帶略可較GFS東傳。圖5(3)、圖5(4)為2011年11月4、23日之結果，在MJO開始前(11/4)兩模式對第二次MJO預報的強度偏弱，GFS-SIT有輻合帶東移的現象，在MJO開始後(如11/23)，GFS-SIT之東移速度略較GFS快，但東移量仍不足。

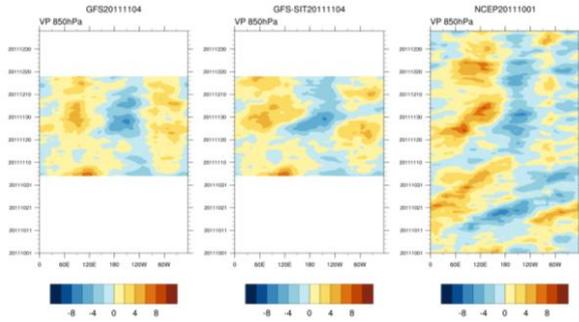
(1) 2011/10/5



(2) 2011/10/23



(3) 2011/11/4



(4) 2011/11/23

圖5，2011年10、11月GFS及GFS-SIT模式預報45天之850 mb速度位

(2) DYNAMO案例敏感度分析：

由於前述的結果發現，目前10、11月回溯預報的結果不甚理想，推測可能是目前回溯模擬所用之積雲、對流或邊界層等機制較不適用於MJO之模擬，因此，亦針對積雲、淺對流及邊界層等機制，選用不同組合進行模式的敏感度測試。

測試以2011年11月DYNAMO案例為例，使用MJO前(11/12)、中(11/22)、後(12/2)三日為初始場，各進行10天預報，海溫、海冰及雪厚度不更新。表2為模擬使用的參數設定，積雲機制代碼1為New SAS (simplified Arakawa-Schubert (SAS) convection scheme, Pan and Wu, 1995)機制，是GFS模式目前使用機制，由於降雨帶的產生亦與積雲參數化機制有關，因此改以代碼2-Tiedtke積雲參數化機制(Tiedtke, 1989, 1993)，此機制亦應用於ECHAM5模式中(Roeckner et al., 2003)。淺對流機制代碼1為Tiedtke機制(Tiedtke, 1984)為GFS模式舊版淺對流機制，代碼2為New SAS淺對流機制，是GFS主要使用機制。邊界層機制代碼2為GFS模式舊版邊界層機制，代碼3為New SAS邊界層機制。

表2，GFS模式及GFS-SIT模式模擬設定值

	GFS 版本：Rrt17_Tie				GFS 版本：Rrt17_Tie9			
	案例名稱				案例名稱			
	c3s1p3	c3s2p3	c3s1p2	c3s2p2	c4s1p3	c4s2p3	c4s1p2	c4s2p2
積雲	3	3	3	3	4	4	4	4
淺對流	1	2	1	2	1	2	1	2
邊界層	3	3	2	2	3	3	2	2

圖6及圖7為GFS及GFS-SIT模式整合11/12, 11/22, 12/2每預報日均OLR及降雨量之結果，(1)為GFS模式之結果，(2)為GFS-SIT模式之結果，(a)-(d)及(f)-(i)為各案例的結果，(e)為觀測值。觀測資料為NOAA網站所提供資料，為NCAR之日均OLR觀測資料 (來源：http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.interp_OLR.html)，及日均Global Precipitation Climatology Project (GPCP) 雨量觀測資料 (資料來源：<http://precip.gsfc.nasa.gov/>)，資料格式為 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。

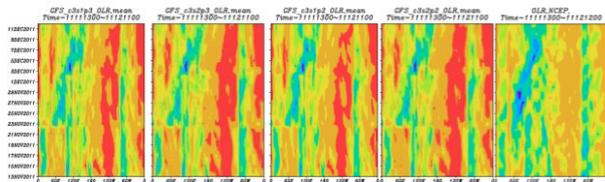
GFS模式之結果，可看出(a)-(d)案例在第一段11/12-11/21之間在 $30^{\circ}\text{E}-90^{\circ}\text{E}$ 間之OLR較觀測值高，且觀測值在11/17日起OLR已明顯下降，但預報結果看不出OLR有明顯下降趨勢。第二段11/22-12/1之間，因初始場的OLR已較低，因此此10天預報過程之OLR維持在 $160-220\text{W}/\text{m}^2$ 之間，與觀測值相近，但較低OLR現象僅隨時間東移至 90°E 附近，在11/29至12/1無法如觀測東移至 120°E ，東移速度較慢。第三段12/2-12/11之間，因初始時間仍在MJO案例期間，因此模式所預報之OLR與觀測較相近，但OLR無法維持如觀測的低值，在12/9以後略增加。

GFS-SIT之預報結果，與GFS結果相似，在(a)-(d) 案例所模擬的OLR皆較觀測值高，但在「c3s1p3」及「c3s1p2」案例中，11/17-11/21間GFS-SIT之OLR預報量較GFS低，與觀測值較相近。第二段案例中，GFS-SIT預報OLR之東移速度較GFS大，因此可與第三段12/2日之結果相連接而無斷層現象。第三段案例中，GFS-SIT與GFS相似，在12/9以後120°E-150°E之OLR開始增加。

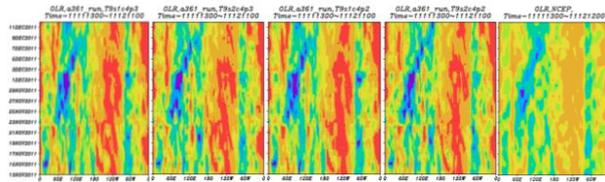
圖6中(f)-(i)案例可明顯看出使用Tiedtke機制的情況下，GFS及GFS-SIT模式在此4個案例狀況下，皆能預報出在60°E-120°E有OLR低值隨時間由西向東移動的現象，且東移速度以較(a)-(d)案例快，在60°E-120°E之OLR值有偏低現象，而在180°E-120°W之間，兩模式所預報之OLR雖與(a)-(d)案例同樣高估，但高估量略有改善。此外，GFS模式所預報之OLR在12/1-12/2附近仍略有斷層現象，GFS-SIT之結果較連續，顯示有SIT模組仍可增加東移的速度。

(1) GFS

(a) c3s1p3 (b) c3s2p3 (c) c3s1p2 (d) c3s2p2 (e) obs

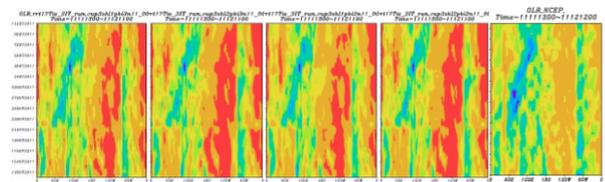


(f) c4s1p3 (g) c4s2p3 (h) c4s1p2 (i) c4s2p2 (e) obs



(2) GFS-SIT

(a) c3s1p3 (b) c3s2p3 (c) c3s1p2 (d) c3s2p2 (e) obs



(g) c4s1p3 (g) c4s2p3 (h) c4s1p2 (i) c4s2p2 (e) obs

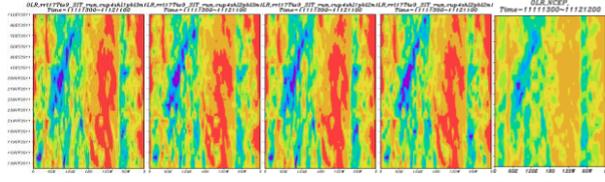


圖6，GFS、GFS-SIT模式各案例OLR預報圖

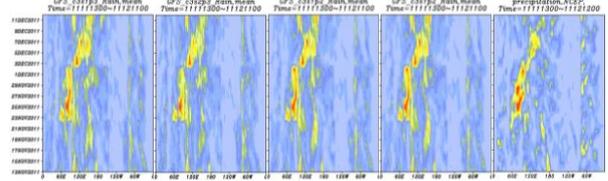
圖7，GFS模式雨量的(a)-(d)案例結果中，第一段11/12-11/21期間，60°E-120°E之間雨量小與觀測值相似，但11/20附近觀測有降雨，僅「c3s1p3」案例略有降雨；第二段11/22-12/1期間，模式結果與觀測相似皆有雨帶產生，但雨量較觀測值小且雨帶東移速度較小，僅隨時間東移至90°E附近，因此與第三段12/2開始之雨帶間有斷層現象；第三段12/2-12/11期間，雨帶亦有東移現象，但降雨範圍略廣。

GFS-SIT模式之(a)-(d)案例結果中，GFS-SIT所預報之雨帶東移速度較GFS略快，與觀測值較相似，但降雨量較GFS大。第一段11/12-11/21期間，案例「c3s1p3」在11/17起60°E-90°E處有降雨產生與觀測的結果相近，但120°E-180°E卻較觀測值高；第二段11/22-12/1期間，所產生的雨帶東移速度較GFS快，因此與第三段12/2之雨帶範圍較能銜接；第三段12/2-12/11期間，GFS-SIT所預報之降雨量較觀測高估。

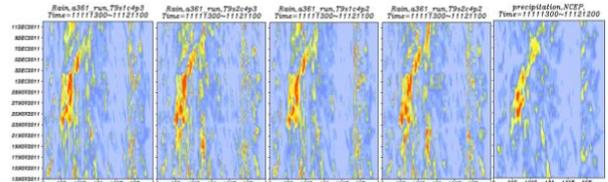
圖7中之降雨結果與OLR相似，可明顯看出使用Tiedtke機制的情況下，GFS及GFS-SIT模式在此(f)-(i)案例狀況下，皆能明顯預報60°E-120°E間之降雨帶隨時間由西向東移動的現象，但所預報的雨量皆有高估的情況，顯示使用Tiedtke之積雲參數化會明顯增加模式的降雨量，但又造成雨量高估。此外，GFS模式所預報之雨量在12/1-12/2附近仍略有斷層現象，GFS-SIT之結果較連續，顯示有SIT模組仍可增加雨帶東移的速度。

(1) GFS

(a) c3s1p3 (b) c3s2p3 (c) c3s1p2 (d) c3s2p2 (e) obs



(f) c4s1p3 (g) c4s2p3 (h) c4s1p2 (i) c4s2p2 (e) obs



(2) GFS-SIT

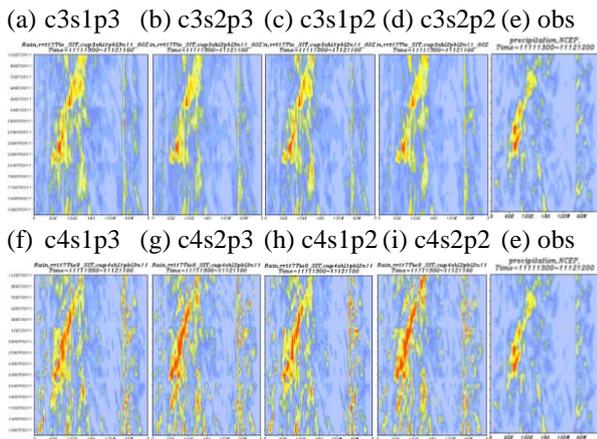


圖7，GFS、GFS-SIT模式各案例Rain預報圖

四、結論與建議

利用中央氣象局GFS模式與一維海洋模式SIT整合之GFS_SIT模式進行案例研究，其中GFS-SIT模擬海溫時在黑潮及墨西哥灣流等暖流的地方需要增加約 $100 - 150 \text{ W/m}^2$ 之能量，而在太平洋赤道區域則需要減少約 $25-100 \text{ W/m}^2$ 之能量。谷超颱風案例中，GFS_SIT模式在預報第3-5天可略改善颱風路徑誤差，而加入qflux校正量之GFS_SIT+qflux模擬結果又略較GFS_SIT+opgsst_2dy改善，颱風中心壓力差各案例差距不大。

DYNAMO案例研究中，使用New SAS積雲機制時，MJO案例開始前，兩個模式預報對MJO的能力皆有限，所預報的重力位輻合帶強度較弱，顯示在輻合帶產生前晴朗天氣所造成的海洋加溫對兩模式淺對流生成量有限，因此無法順利預報出MJO期間輻合帶的強度及東移量。而在MJO案例開始後，因輻合帶已生成，輻合帶西邊的雨帶亦形成，因此，兩模式可順利預報出輻合帶強度，但因輻合帶東方的能量無法順利產生足夠的對流強度，因此無足夠能量維持輻合帶強度，也因此無法提供輻合帶西方足夠的西風，使得東移量較小。在此期間，GFS模式常有輻合帶固定於 $60^\circ\text{E}-120^\circ\text{E}$ 之間，GFS-SIT雖常東移距離略較GFS遠，但仍不易東移超過 150°E 。

使用不同積雲、淺對流及邊界層機制敏感度分析後，Tiedtke之積雲機制後明顯可預報出2011年11月之MJO案例，但略有雨量較多、MJO強度過強的現象。GFS仍有東移較慢的問題，在案例之間易有斷層狀況，GFS-SIT東移速度較快且可案例間的連續性。

五、參考文獻

1. Gaspar, P., Grégoris, Y., Lefevre, J. M. (1990). A simple eddy-kinetic-energy model for simulations of the ocean vertical mixing: Tests at station Papa and Long-Term Upper Ocean Study Site. *J. Geophys. Res.*, 95, 16179-16193.
2. Jiang, X., Waliser, D. E., Xavier, P. K., Petch, J., Klingaman, N. P., Woolnough, S. J., ... & Hannay, C. (2015). Vertical structure and physical processes of the Madden-Julian oscillation: Exploring key model physics in climate simulations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(10), 4718-4748.
3. Pan, H.-L., and W.-S. Wu. (1995). Implementing a mass flux convective parameterization package for the NMC MediumRange Forecast model. NMC Office Note 409, 40 pp.
4. Roeckner, E., B?uml, G., Bonaventura, L., Brokopf, R., Esch, M., Giorgetta, M., ... & Rhodin, A. (2003). The atmospheric general circulation model ECHAM 5. PART I: Model description.
5. Tiedtke, M. (1993). Representation of clouds in large-scale models. *Monthly Weather Review*, 121(11), 3040-3061.
6. Tiedtke, M. I. C. H. A. E. L. (1989). A comprehensive mass flux scheme for cumulus parameterization in large-scale models. *Monthly Weather Review*, 117(8), 1779-1800.
7. Tiedtke, M., 1984: The sensitivity of the time-scale flow to cumulus convection in the ECMWF model. ECMWF's Workshop on Convection in Large-Scale Numerical Models, ECMWF, Reading, United Kingdom, 297-316. [Available from European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Shinfield Park, Reading RG2 9AX, United Kingdom.]
8. Tseng, W. L., Tsuang, B. J., Keenlyside, N. S., Hsu, H. H., & Tu, C. Y. (2015). Resolving the upper-ocean warm layer improves the simulation of the Madden-Julian Oscillation. *Climate Dynamics*, 44(5-6), 1487-1503.
9. Tsuang, B.-J., Tu, C.-Y., & Arpe, K. (2001). Lake Parameterization for climate models. Max-Planck-Institute for Meteorology, Report No. 316, Hamburg.
10. Tsuang, B.-J., Tu, C.-Y., Tsai, J. L., Dracup, J. A., Arpe, K., & Meyers, T. (2009). A more accurate scheme for calculating Earth's skin temperature. *Climate dynamics*, 32(2-3), 251-272.
11. Tu, C. Y., & Tsuang, B. J. (2005). Cool-skin simulation by a one-column ocean model. *Geophysical research letters*, 32(22).