

氣象局全球預報模式(CWB GFS)與一維海洋模式(SIT) 整合之SIT適用設定及DYNAMO案例研究

郭珮萱¹ 陳建河¹ 莊秉潔²
中央氣象局氣象資訊中心¹ 國立中興大學環境工程學系²

摘要

利用中央氣象局全球預報模式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)進行整合，並於整合後針對SIT模式進行相關的適用設定測試，包括：SIT應用範圍測試、SIT nudging選項測試等，此外，亦利用2011年DYNAMO(Dynamics of the Madden-Julian Oscillation)期間之案例研究結果，進行SII模組Turbulence Kinetic Energy計算相關參數之調整，及能量校正量建立。目前案例研究結果顯示，為有效模擬出MJO兩帶東傳的現象，SIT模組至少需應用在印度洋至西太平洋地區(25S-25N, 40E-180E)，而在加入能量校正量及使用GODAS pentad、氣候資料進行nudging後，可降低過去SIT模式在海洋大陸地區之海平面溫度暖偏差量。由2011年11月之30個預報45天案例結果顯示，此整合設定可提高模式在預報第10-20天之北半球500 hPa高度場、熱帶1000 hPa高度場之變異相關係數。

關鍵字：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。

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。GFS與SIT之耦合模式(簡稱GFS-SIT)，過去研究結果顯示，使用New SAS積雲機制(Han and Pan (2011))對2011年11月MJO模擬度有限，在MJO開始後雖可模擬出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(Tiedtke (1989) & Nordeng (1994))，可明顯預報出2011年11月之MJO案例，兩帶東移速度與觀測相近，但整體降雨量有高估的現象。以「(Tiedtke (1989) & Nordeng (1994)積雲機制+ Li and Wang (2000)淺對流機制+ Hong and Pan (1996)邊界層機制」之機制組合進行2011年11月1-30日每日1次45天之模擬結果顯示，在預報第5日時，兩模式皆可模擬200 hPa風場速度位輻散現象，且預報之降雨發生時間及兩帶東移速度皆與觀測值相近，但在預報第10、15日時，GFS模式所模擬的降雨有延遲5-10天的情況，且兩帶東移速率較慢，而GFS-SIT模式之降雨時間則與觀測相近，且仍保有與觀測相近的東移速度。

但在2011年11月模擬過程中，SIT模組所模擬的海溫在海洋大陸附近有偏高的現象，可能是因赤道附近由於陽光較強，對海水的加熱量大，而模組以較高溫的觀測表水海溫nudging至100 m深的海溫，造成海水溫度過高。因此，本研究主要工作為進行SIT模組海溫剖面分布調整工作，修改海溫與觀測值的nudging方式，同時，調整不同大小的SIT模組應用範圍，以找尋SIT模組於GFS模式之最佳的應用範圍及方式。

二、研究方法

SIT模組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。

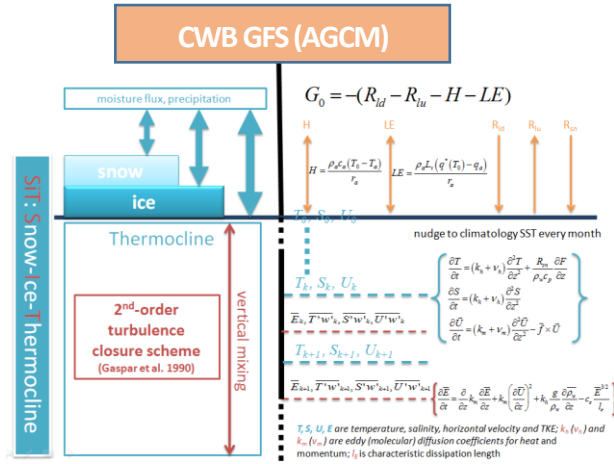


圖1，CWB GFS模式與SIT模組耦合示意圖

圖1中，G0為海表面的能量通量，Rld及Rlu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。Ta為大氣溫度，T0為水表面溫度，Tk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。SIT模組應用範圍可視案例而定，為避免海溫在邊界處有明顯不連續性，採用權重方式計算SIT海溫與GFS模式海溫，以獲得邊界處±10°間之新海溫，如SIT模組應用於±30°N，則在南北緯30°-40°間進行權重計算。

為確定SIT模組在GFS模式中之適用設定，本研究針對SIT模組不同的項目調整工作，包括應用範圍、Nudging設定、TKE計算參數設定，及SIT與GFS海溫交換設定，目前實驗設計主要為每日00Z進行45天回溯預報，在45天的回溯預報過程中，每預報24小時後，即以觀測資料更新模式的海溫(Sea Surface Temperature, SST)、海冰比例(Snow ice fraction)及雪厚度(Snow depth)等資料，使用的資料來源為NCEP再分析資料。無SIT模組之CWB GFS直接更新海溫、海冰比例及雪厚度，而有SIT模組之GFS-SIT，40S-40N之間的SST視為nudging資料。

在nudging設定測試部分，主要是對不同深度(深度0-10 m、10-100 m、100 m以上)之海水進行不同nudging設定，海溫nudging之計算方式如公式1所示。其中sitwt為SIT模組計算海溫，obswtb為輸入之觀測海溫，restore_temp為nudging溫度在目前研究案例中，為每日分析場SST或每月GODAS(NCEP Global Ocean Data Assimilation System)海溫，zdttime為模擬的time step(秒)，restore_time為設定之海溫nudging時間(秒)。90°S-40°S及40°N-90°N之間則與GFS相同，直接更新海溫、海冰比例及雪厚度。

$$\begin{cases} \text{restore_temp} = (\text{obswtb} - \text{sitwt}) * (1 - 0.5^{(zdttime/\text{restore_time})}), & \text{if } \text{restore_time} > 0 \\ \text{restore_temp} = \text{obswt} - \text{sitwt} & , \text{if } \text{restore_time} = 0 \\ \text{restore_temp} = 0 & , \text{if } \text{restore_time} < 0 \\ \text{sitwt} = \text{sitwt} + \text{restore_temp} \end{cases} \quad (\text{式1})$$

而TKE計算參數設定測試主要是SIT模組使用Simple eddy Kinetic Energy Model(Gasper et al., 1990)的方式計算水中溫度(T)之垂直狀況，如下列公式：

$$\frac{\partial T}{\partial t} = (k_h + v_h) \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{R_{sn}}{\rho_w c_w} \frac{\partial F}{\partial z} \quad (\text{式2})$$

$$k_m = c_k l_k \sqrt{E} \quad (\text{式3})$$

$$k_h = k_m / P_{rw} \quad (\text{式4})$$

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} k_m \frac{\partial E}{\partial z} + k_m \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right)^2 + k_h \frac{g}{\rho_w} \frac{\partial \rho_w}{\partial z} - c_\epsilon \frac{E^{3/2}}{l_\epsilon} \quad (\text{式5})$$

$$l_\epsilon = \sqrt{l_u l_d} \quad (\text{式6})$$

$$l_u = \max(l_u, l_{d0}); l_d = \max(l_d, l_{d0}) \quad (\text{式7})$$

其中E為TKE(Turbulent Kinetic Energy, m²/s²), kh(vh)及km(vm)為熱及動量的eddy diffusion coefficients, lε為characteristic dissipation length, ck、cε及ld0為常數，分別為0.1、0.7及0.03。詳細SIT模式說明可參考(Tsuang et al., 2001; Tu and Tsuang 2005; Tsuang et al., 2009)。

三、結果與討論

3.1、調整SIT模組海溫模擬nudging分布、應用範圍

針對應用範圍可分為兩項情境：(1)「5d1m1mIWP」為SIT應用於印度洋及東太平洋為主，(2)「5d1m1mIO」為SIT僅應用於印度洋地區。在「5d1m1mIO」之案例中，除調整海溫nudging設定外，亦調整第一層海溫nudging厚度為海平面至mixed layer，此mixed layer以GODAS資料為基礎，時間內差各網格海溫後，利用式8計算而得：

$$\text{Mixed Layer Depth} = \text{depth where } (t = t_{10m} \pm 0.2 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad (\text{式8})$$

其中，t10m為10 m海溫。其後第一層的nudging使用的觀測海溫為分析場SST，並每日更新一次，第二及第三層nudging使用的觀測海溫為GODAS月均海溫。詳細設定如表1所示：

表1, 模擬情境設定

模擬情境	GFS_pSST	5d1m1mIWP	5d1m1mIO
模擬期間	2011/11/1-30 每日00Z, 預報45天		2011/11/1-30 每奇數日 00Z, 預報45天
SIT 模擬範圍	無SIT	15S-15N, 30E-180E (blending: 25S-15S, 15N-25N, 20E-30E, 180E-190E)	10S-10N, 40E-100E (blending: 20S-10S, 10N-20N, 30E-40E, 100E-110E)
SIT Nudging 設定	1 st layer	-	(1) Depth: 0-5 m (2) set: 5 day
	2 nd layer	-	(1) Depth: 5-100 m (2) set: 1 month
	3 rd layer	-	(1) Depth: >100 m (2) set: 1 month
海溫觀測值 設定	固定 SST	(1) 0-5 m: 分析場 SST ¹ (2) >5 m: GODAS 海溫	(1) 0-mixed layer: 分析場 SST ¹ (2) > mixed layer: GODAS 海溫
海水比例 雪厚度	-	Update every 24 hour	Update every 24 hour

註1: 分析場 daily SST 每24小時更新一次。

圖2為NCEP及各案例OLR變異圖, 使用之氣候資料為1979-2013年NCEP再分析資料, 圖(a)為NCEP資料, 可視為觀測資料, 圖(b)-(d)為11月1-30日每日或每二日之45天模擬之平均結果, 且因僅進行11/1-30日之模擬, 因此12月15日以後之結果皆為模擬15日以上之結果。圖(a) NCEP資料可明顯看出OLR較低的三個MJO案例(如圖上標示MJO1-3); 使用固定海溫(圖b)之結果可看出若模擬初始已有MJO形成, 模式可繼續模擬MJO之現象, 而11月中之MJO2, GFS雖有OLR隨時間向東移動, 但模擬之MJO強度較觀測弱且東移距離較短, 對MJO3案例略有MJO產生, 但強度及東移距離仍較觀測低; 圖(c)之「5d1m1mIWP」可明顯看出MJO1及MJO2之低OLR隨時間東移現象且可東移至約160°E處, 但對MJO3案例的模擬則不明顯; 圖(d)中可看出MJO1-MJO3三個事件, MJO2之事件初始強度與觀測相似, 但東移量有限僅至約100-120°E, 且後續低OLR不明顯, 可能是因SIT模組在此案例僅應用至100-110°E, 110°E以東使用每日更新之日均觀測海溫, 此無日夜變化的日均海溫無法在陽光較強時真正反應海溫變化, 及時提供對流所需能量, 使得對流無法繼續形成, 造成MJO東傳受限。圖(b)至(d)中, 針對MJO3事件, 目前僅「5d1m1mIO」案例較可模擬出MJO3事件, 但位置略為東邊且時間較晚。

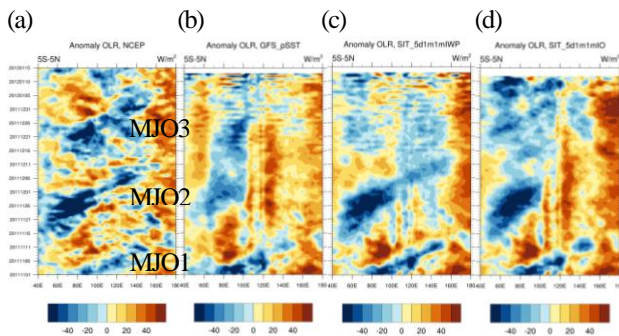


圖2, NCEP 及各案例 OLR 與氣候值之變異圖, 圖(a) NCEP, (b) 為「GFS_pSST」, (c) 為「5d1m1mIWP」, (d) 為「5d1m1mIO」。

3.2、調整 SIT 模組與大氣模組之海溫時間權重

SIT 模組之海溫時間權重設定如式 9 至式 14 所示, 其中 tmp0, tmp1 及 a 可隨不同案例進行調整, 目前所列為「5dnn1mD20」案例之設定。tau 為模擬時間(小時), tmp0 為權重計算起始時間(小時), tmp1 為權重計算參考值, SIT_SST 為 SIT 計算 SST, fratio 為 SIT_SST 之權重, BASE_SST 為觀測 SST, 可為初始 SST 或每 24 小時更新之 SST。

$$\text{tmp0}=120 \quad (\text{式 } 9)$$

$$\text{tmp1}=14*24 \quad (\text{式 } 10)$$

$$\text{tmp2}=\text{tmp1}-\text{tmp0} \quad (\text{式 } 11)$$

$$\begin{cases} gm = -1, & \text{if } \text{tmp2} \leq 0 \\ gm = \text{abs}\left(a * \frac{\text{tau}}{\text{tmp2}} - 1\right), & a = 0.5 \end{cases} \quad (\text{式 } 12)$$

$$\begin{cases} \text{fratio} = 0, & \text{if } gm < 0 \\ \text{fratio} = 1 - e^{\left(\frac{1}{gm} * e^{\left(\frac{a}{gm-1}\right)}\right)}, & a = 0.5 \\ \text{fratio} = 1, & \text{if } \text{tau} \geq \text{tmp0} + 2 * \text{tmp2} \end{cases} \quad (\text{式 } 13)$$

$$\text{SST}=\text{fratio}*\text{SIT_SST}+(1-\text{fratio})*\text{BASE_SST} \quad (\text{式 } 14)$$

調整時間權重實驗設定如表 2 所示, 「5dnn1mD20」之權重係數隨時間變化如圖 3(a)所示。由圖中可看出, 在模擬前 5 天(tau<=120hour)SIT 模組的比重為 0, 在 tau=360hour 時 SIT 模組所模擬海溫比重約佔 0.5, 而當 tau>=480hour 後, 模式之海溫則以 SIT 模組海溫為主。「5dnn1mN20」與「5dnn1mD20」相似, 但權重函數在 SIT 模組進行 nudging 各層海溫至觀測海溫時使用, 各模擬時間之 nudging 權重 ratio 同是以式 9 至式 13 計算, 但式 14 更換為式 15, 其中, nudging coeff 為真正使用的 nudging 係數, restore_time 是以秒為單位計算, 而當原設定 nudging 係數(nudging setting)小於 0 時, 則以 2 個月做為計算之標準, restore_time 隨時間權重之係數如圖 3(b)所示, 式 15 之結果將再代入式 1 進行真正 nudging 計算。

$$\begin{cases} \text{restore_time} = \text{fratio} * \text{Nudging setting}, & \text{if } \text{Nudging setting} \geq 0 \\ \text{restore_time} = \text{fratio} * 5184000., & \text{if } \text{Nudging setting} < 0 \end{cases} \quad (\text{式 } 15)$$

表2, 模擬情境設定

模擬情境	GFS_pSST	5dnn1mD20	5dnn1mN20
模擬期間	2011/11/1-30 每奇數日 00Z, 預報45天		
SIT 模擬範圍	無SIT	30S-30N, 0E-360E (blending: 40S-30S, 30N-40N)	30S-30N, 0E-360E (blending: 40S-30S, 30N-40N)
SIT 海溫可傳至 大氣模組		使用時間權重 (圖3(a))	每time step
SIT Nudging 設定	1 st layer	-	(1) Depth: 0-5 m (2) setting: 5 day (3) nudging 時間權重 (圖3(b))
	2 nd layer	-	(1) Depth: 5 m-mixed layer (2) set: -99. (no nudging) (3) nudging 時間權重 (圖3(b))
	3 rd layer	-	(1) Depth: > mixed layer (2) set: 1 month

			(3)nudging 時間權重 (圖3 (b))
海溫觀測值設定	固定 SST	(1)0-5 m:分析場 SST ¹ (2)>5 m: GODAS 海溫	(1)0-5 m:分析場 SST ¹ (2)>5 m: GODAS 海溫
海水比例 雪厚度	-	Update every 24 hour	Update every 24 hour

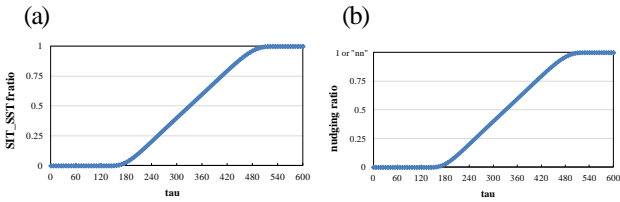


圖3. SIT 模組與大氣模擬之海溫時間權重, (a)為「5dnn1mD20」調整 SIT 模組海溫權重方式, (b)為「5dnn1mN20」調整各層模擬海溫 nudging 強度之方式

圖4 為 NCEP 及各案例 OLR 變異圖, 使用之氣候資料為 1979-2013 年 NCEP 再分析資料, 圖(a)為 NCEP 資料, 可視為觀測資料, 圖(b)-(c)為 11 月 1-30 日每二日之 45 天模擬之平均結果, 且因僅進行 11/1-30 日之模擬, 因此 12 月 15 日以後之結果皆為模擬 15 日以上之結果。使用固定海溫(圖 b)之結果可看出若模擬初始已有 MJO 形成, 模式可繼續模擬 MJO 之現象, 而 11 月中之 MJO2, GFS 雖有 OLR 隨時間向東移動, 但模擬之 MJO 強度較觀測弱且東移速度較慢、距離短, 僅東移至約 100E 附近, MJO3 事件不明顯; 圖(c)及圖(d)結果相似, 可明顯看出 MJO1 及 MJO2 之低 OLR 隨時間東移現象且可東移至約 140E 處, 可能是 45 天模擬中期後 SIT 海溫影響開始, 使得海溫有日夜變化 OLR 可以繼續東移, 整體 OLR 東移速度雖較圖(b)快但仍較觀測圖(a)慢, 針對 MJO3 事件, 圖(b)-(d)皆無法明顯看出 MJO3 事件, 僅圖(c)在 2011 年 12 月 21 日起有 OLR 較低的現象, 但與圖(a)相較, 圖(c)之 MJO3 發生時間較晚、位置較西且東移速度較慢。

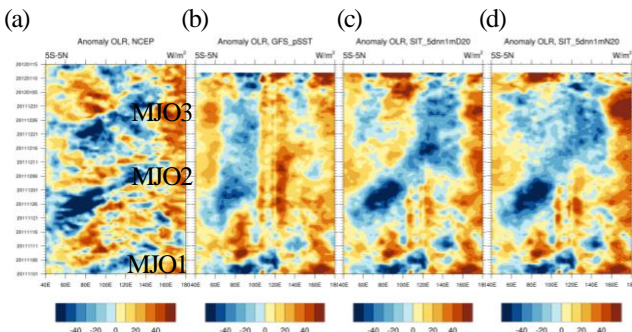


圖4, NCEP 及各案例 OLR 與氣候值之變異圖, 圖(a) NCEP 資料, (b)為「GFS_pSST」案例, (c)為「5dnn1mD20」案例, (d)為「5dnn1mN20」案例。

3.3、調整 SIT 模組 TKE 計算參數

利用 10-12 月之海溫模擬剖面以調整 SIT 模組 TKE 計算之相關參數, 並每日使用大氣分析場假設大氣條件是接近真實情況, 模擬海溫剖面以 Chi 等(2014)海洋研究實驗所獲得之 (0°N, 79°E) 觀測點之海溫剖面資料進行對照調整, 調整參數模

擬設定如表 3 所示。

表 3, 2011 年 10-12 月 SIT 模組參數調整模擬相關設定

模擬初始場	2011/10/1-2011/12/31, 每日00Z		
模擬時間長度	24小時		
SIT 模組 應用範圍	15S-15N, 30E-180E (blending: 25S-15S, 15N-25N; 20E-30E, 180E-190E)		
SIT 海溫可傳至 大氣模組	每time step		
SIT 相關參數	l_0 (公式 9 之 l_0)	(1) 0 (2) 0.005 (3) 0.01 (4) 0.03(預設)	
	c_e (公式 7 之 c_e)	(1) 0 (2) 0.1 (3) 0.3 (4) 0.7(預設)	
	c_k (公式 5 之 c_k)	(1) 0.1(預設) (2) 0.3 (3) 0.5 (4) 0.6	
nudging 設定	海水深度	溫度、鹽度	海流(u, v, w)
	(1) 0-10 m	不 nudging	不 nudging
	(2) 10-100 m ¹	不 nudging	0d ¹
(3) > 100 m ¹	0d ¹	0d ¹	

註: 1. nudging 參考值為 GODAS pentad 資料

圖5 為 l_0 、 c_e 及 c_k 參數實驗之結果。(1) l_0 測試(圖 a): 可發現在原預設 $l_0=0.03$ 的情況下, 雖在 70-100 m 海溫偏低之誤差較小, 但有 60-80 m 海溫有降低太大的趨勢, 因此暫不考慮, 且 0 m 海溫平均偏低, 因此選以 0 m 海溫偏差較小的 $l_0=0$ 為後續調整方向。(2) c_e 測試(圖 b): $c_e=0$ 及 $c_e=0$ 雖暖海水 20-30 m 附近, 但卻使表水水溫偏低, $c_e=0.3$ 及 $c_e=0.7$ 之結果相近, $c_e=0.3$ 在 0-20 m 誤差較小, 建議選用 $c_e=0.3$ 。(3) c_k 測試(圖 c): 暖海水可隨 c_k 增加而向下混合較深, 但也同時使海水溫度增加量變小, 因此 $c_k=0.6$ 時在 0 m 之海水平均偏低, 建議選用 $c_k=0.1$ 。因此, 測試結果顯示 $l_0=0$ 、 $c_e=0.3$ 、 $c_k=0.1$ 之參數較合適, 進行 2011 年 11 月每日 00Z 的預報模擬測試。

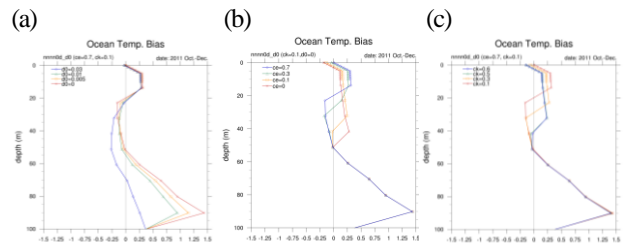


圖5, SIT 相關參數海溫剖面平均偏差, (a)為不同 l_0 之模擬海溫平均偏差, (b)為各 c_e 之模擬海溫平均偏差, (c)為各 c_k 之模擬海溫平均偏差。

3.4、SIT 模組案例測試

依據 3.1-3.4 節之結果, 進行 GFS-SIT 模式 2011 年 11 月每日 00Z 之 45 天預報實驗, 實驗設定如表 4:

表 4, 各情境模式模擬設定

情境	GFS_pSST	SIT_fcst45	SIT_N20_pa45
SIT 模組	(無 SIT)	10S-10N, 40E-180E	

應用範圍		(blending: 20S-10S, 10N-20N; 30E-40E, 180E-190E)	
SIT 參數	-	(1) $c_s=0.3$ (2) $c_s=0.1$ (3) $l_f=0$	(1) $c_s=0.3$ (2) $c_s=0.6$ (3) $l_f=0$
Nudging 設定	(1) 0-10 m	-	無 nudging nudging 時間權重 (圖3 (b))
	(2) 10-100 m	-	t,s: no nudging U, v: 0d nudging 時間權重 (圖3 (b))
	(3) >100 m	-	0d 0d
海溫等觀測資料	Persistent SST	GODAS pentad	Persistent anomaly GODAS pentad (20 day ago)
海水比例、雪厚度	-	Update every 24 hour	Update every 24 hour

圖 6 為各情境 OLR、降雨量與 NCEP、GPCP 氣候值之變異圖，使用之氣候資料為 1979-2013 年 NCEP 再分析資料及 GPCP 1997-2014 年資料。圖(a)為 NCEP 資料，圖(b)-(d)為 11 月 1-30 日每二日之 45 天模擬之平均結果。圖(a) NCEP 資料可明顯看出 OLR 較低的三個 MJO 案例(如圖上標示 MJO1-MJO3)，針對 MJO-1 事件，圖(b)-(d)之結果可看出若模擬初始已有 MJO 形成，皆可模擬東移現象；而 11 月中之 MJO2，使用固定海溫(圖(b))雖有 OLR 隨時間向東移動，但模擬之 MJO 強度較觀測弱且東傳速度較慢、距離較短，僅東傳至約 100E 附近即在原地停止不動。圖(c)-圖(d)結果相似，可明顯看出 MJO2 之低 OLR 隨時間東移現象且可東傳至約 160°E 處，但在 12/1 以後較低 OLR 變得較不明顯，整體 OLR 東傳速度以圖(c)較快，但仍較觀測圖(a)慢，圖(d)因 SIT 以權重方式影響 GFS，因此有減低東移速度。圖(g)-(j)之降雨量結果與 OLR 相似，GFS_pSST 之降雨多集中在 60-100°E 之間，圖(f)-(h)有降雨區東移現象，但圖(h)之東移速度較慢。

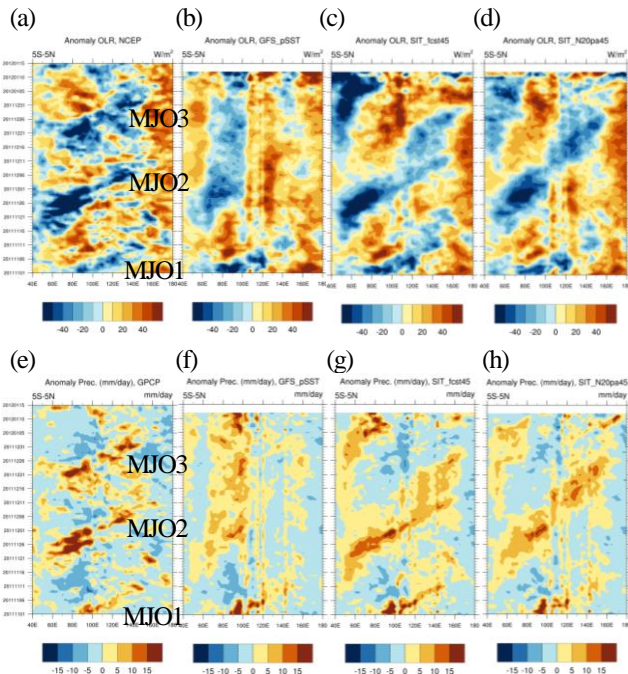


圖 6，NCEP 及各案例 OLR、降雨量與觀測氣候值之變異圖，(a)為 NCEP OLR 變異，(e)為 GPCP 變異，(b)、(f)為「GFS_pSST」案例，(c)、(g)為「SIT_fcst45」案例，(d)、(h)為「SIT_N20pa45」案例。

圖 7 所示，圖(a)為 OISST 之結果，圖(b)、(c)之結果顯示使用固定 SST 情況下，11 月 SST 在赤道以南偏冷、赤道以北偏暖，多數地區溫度偏差小於±0.6 度，主要是因 11 月是太陽照射南半球，理論上南半球海溫應隨模擬時間逐漸增暖、而北半球逐漸降溫，「GFS_pSST」案例使用固定海溫，因此造成南半球有冷偏差、北半球地區有暖偏差。圖(d)-(i)為 SIT 之結果，因 SIT 模組僅用於 25°S-25°N、30-190°E，因此其他地區無值暫以 0 表示，圖(d)-(e)為「SIT_fcst45」之結果，SIT 模組之海溫平均約高 1.34 度，圖(f)-(g)為「SIT_N20pa45」之結果，因 SIT 模組主要由模擬 20 日後開始影響，因此海溫平均偏暖 0.2 度，且在印度洋東半部有海溫偏冷的現象，海水提供的水氣及能量減弱，因此對流生長較慢或較不完整，但太平洋西岸之海溫仍偏暖，因此，可能仍可促成對流的生長，此也可能可解釋圖 6(d)中，OLR 在 110-120°E 處低值區域變小，但在 120°E 以後又有較低的 OLR 出現。

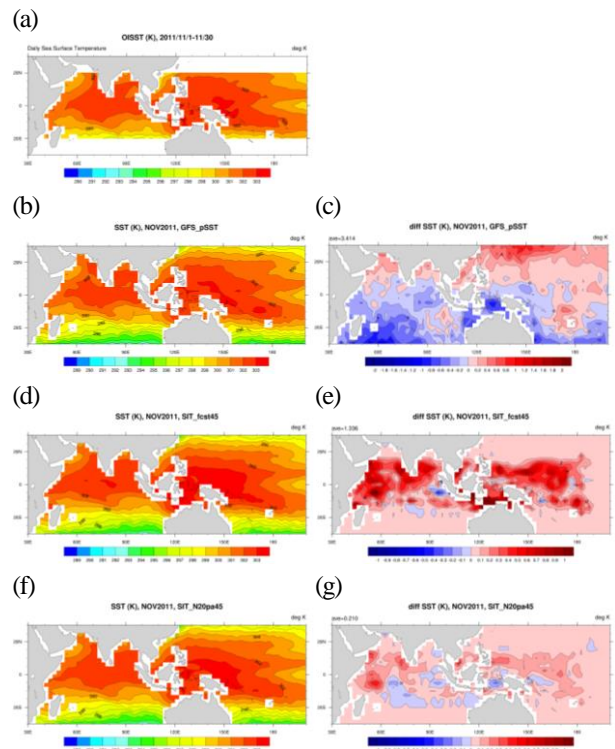


圖 7，2011 年 11 月觀測 OISST、各案例 SST 月均值及與 OISST 變異圖，圖(a)為 OISST，(b)、(d)、(f)為案例之平均 SST，(c)、(e)、(g)為模擬 SST 與 OISST 之差異。圖(b)-(c)為「GFS_pSST」之結果，(d)-(e)為「SIT_fcst45」之結果，(f)-(g)為「SIT_N20pa45」之結果。

圖 8 為「GFS_pSST」、「SIT_fcst45」、「SIT_pa45」及「SIT_N20pa45」案例之 500 mb 及 1000 mb 高度場隨不同模擬 lead day 之變異相關係數，其中北半球地區(NH)計算範圍為 20-80°N，南半球地區(SH)為 80-20°S，熱帶地區(TP)計算範圍為 20°S-20°N。由圖中可看出「SIT_fcst45」及「SIT_pa45」案例結果非常相似，北半球及南半球第 1-12 天 1000 mb 及 500 mb 高度場兩案例之結果與「GFS_pSST」相近但略差，在第 20-28 日之結果中，兩案例之結果在北半球略佳、南半球略差。

而兩案例僅對熱帶地區之 1000 mb 高度場在第 8 日起有明顯變佳，但在 500 mb 高度場則變差。因 SIT 目前主要僅應用在印度洋及西太平洋熱帶地區，因此對南、北半球之結果影響有限，目前 SIT 對熱帶 1000 mb 高度場有明顯改善但卻會造成 500 mb 高度場模擬結果變差。「SIT_N20pa45」在南、北半球之結果與「SIT_fcst45」及「SIT_pa45」非常相似，但在熱帶地區則有明顯位差，除 SIT_N20pa45 使用的初始場資料不同外，可能還要進一步確認造成熱帶地區位差的主要原因。

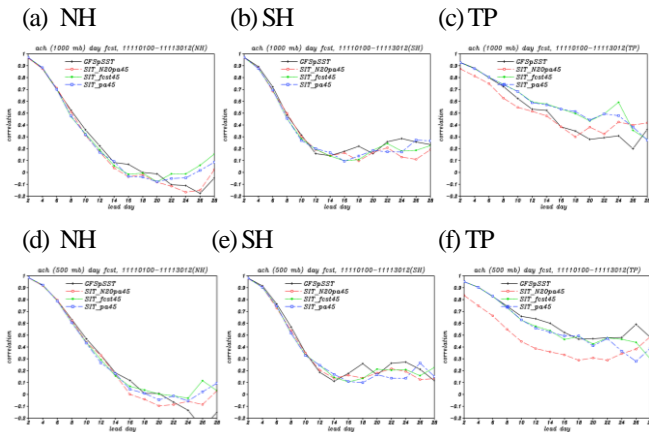


圖 8，「GFS_pSST」、「SIT_fcst45」及「SIT_N20pa45」案例 1000 mb 及 500 mb 高度場各 lead day 之變異相關係數，圖(a-c)為 1000 mb 高度場，圖(d-f)為 500 mb 高度場，黑色線為「GFS_pSST」、綠色線為「SIT_fcst45」、紅色線為「SIT_N20pa45」案例，「NH」為北半球地區(20N-80N)，「SH」為南半球地區(80S-20S)，「TP」為熱帶地區(20S-20N)之統計結果。

四、結論

研究結果顯示，調整SIT模組內nudging方式，使0 m-mixed layer之觀測SST使用時間解析度較高之每日分析場SST，並使用5 day的設定進行nudging，可有助於改善SIT模組所模擬之0-20 m之海溫，模擬之平均SST與觀測值差距較小。而縮小SIT模組應用範圍至20°S-20°N，可使SIT應用於海溫主要受陽光照射影響的地區，而減小因暖流或涼流影響所造成的模擬海溫系統性差異，但若SIT模組應用範圍東西向縮小至30E-110°E時，無法順利模擬MJO雲帶東移的現象，因此SIT模組東西向應用範圍至少須包括至180°E，才能模擬出較完整的MJO生命期。利用權重係數控制SIT模擬海溫回傳至大氣模組的時間及權重結果顯示，利用時間權重進行模擬可有效降低SIT模組模擬海溫與觀測海溫的差距，且SIT模組對熱帶地區(20S-20N)低層大氣之高度變異相關係數有明顯提高，但未提高南、北半球之壓力場高度相關係數。

選取25S-25N, 30E-190E為SIT應用範圍，及TKE計算相關參數($c_e=0.3$ 、 $c_k=0.1$ 、 $l_d=0$)進行45天之模擬結果顯示，「SIT_fcst45」可模擬出MJO期間降雨東傳的現象及東傳的速度、提高熱帶地區1000 mb高度場

之變異相關係數，但對於南、北半球之模擬結果改善度有限，且使500 mb高度場之模擬結果變差，顯示雖可略改善熱帶低層之模擬，但可能會破壞模式整體大氣環境的模擬而造成結果變差。而「SIT_N20pa45」之模擬結果，在南、北半球的反應與「SIT_fcst45」相似，但在熱帶之結果還需進一步確認。此外，雖已使校正項調整SIT模擬海溫，目前在印度洋及海洋大陸仍有SST海溫偏高的現象，顯示目前校正量可能過小，且在未考慮海洋動力情況下，在洋流較強的地區，SIT模組計算之海溫仍會有系統性偏差的問題。

五、參考文獻

- Chi, N.-H., R.-C. Lien, E. A. D'Asaro, and B. B. Ma (2014). The surface mixed layer heat budget from mooring observations in the central Indian Ocean during Madden-Julian Oscillation events. *J. Geophys. Res. Oceans*, 119, 4638-4652.
- Gaspar, P., Grégoris, Y., & Lefevre, J. M. (1990). A simple eddy kinetic energy model for simulations of the oceanic vertical mixing: Tests at station Papa and Long-Term Upper Ocean Study site. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 95(C9), 16179-16193.
- Han, J., & Pan, H. L. (2011). Revision of convection and vertical diffusion schemes in the NCEP global forecast system. *Weather and Forecasting*, 26(4), 520-533.
- Hong, S. Y., & Pan, H. L. (1996). Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model. *Monthly weather review*, 124(10), 2322-2339.
- 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.
- Li, C. W., & Wang, J. H. (2000). Large eddy simulation of free surface shallow-water flow. *International journal for numerical methods in fluids*, 34(1), 31-46.
- Nordeng, T. E. (1994). Extended versions of the convective parameterization scheme at ECMWF and their impact on the mean and transient activity of the model in the tropics. *Technical Memorandum 206*, ECMWF, Reading, UK.
- 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.
- Tsuang, B.-J., Tu, C.-Y., & Arpe, K. (2001). Lake Parameterization for climate models. Max-Planck-Institute for Meteorology, Report No. 316, Hamburg.
- 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.
- Tu, C. Y., & Tsuang, B. J. (2005). Cool-skin simulation by a one-column ocean model. *Geophysical research letters*, 32(22).