

運用衛星與現地觀測對照模式模擬於南海區域之雲特徵研究

魏伯修、侯昭平

國防大學理工學院環境資訊與工程學系

摘要

研究結果顯示，東北季風強弱變化，明顯影響南海區域海氣交互作用，增強對流降水強度，並使海上層積雲雲量和高度出現變化，在雲微物理敏感度測試比對中發現，二種微物理個案在模擬高雲時差異不大，但在中雲模擬雲量分佈情況時，WDM6效果較佳；低雲於預測雲覆蓋範圍時，常有高估的情況。在三種不同邊界層參數敏感度測試部分，在模擬高雲時各參數表現無明顯差異，但在高雲及中雲的分布位置上，選擇YSU的參數化，在雲量分佈及雲層出現位置與實際雲圖較符合。

另在成雲機率(Cloud Fraction, CF)部分，在100-300 hPa高雲分布表現上，YSU較接近實際雲圖，700-400 hPa中層雲分布情況無明顯差異，800-950 hPa CF覆蓋範圍明顯較實際衛星觀測資料低估。另外，本次研究中也發現，東北季風能夠深入南海區域，並可能與南海周邊地形交互作用，進而激發局部深對流。向外長波輻射(Outgoing Longwave Radiation, OLR)的計算結果和衛星觀測比較後，發現在雲量分佈上，部分區域和實際觀測存在明顯差異，且OLR對應雲的覆蓋範圍，並不如模式中高雲或中雲更為接近觀測結果，因此若單以OLR的結果來估算雲層的涵蓋範圍，極易造成誤判。

關鍵字：南海區域、雲特徵、成雲機率、向外長波輻射。

1. 前言

南海至海洋大陸地區位於印度洋和赤道西太平洋之間，是全球最大島群與最溫暖的海水的所在之處。此區域不但是南北向區域哈德里環流與東西向太平洋赤道沃克環流的主要上升區，也是重要的大尺度水氣通道，以及中緯度—熱帶地區交互作用最強烈的地區。臺灣周遭區域的天氣與氣候也經常受到南海地區對流與水氣過程的顯著影響。但因海面及垂直觀測資料不足，僅能使用模式搭配衛星觀測來進行天氣診斷分析，而該區域雲相的特徵和變化

常是天氣變化的前期訊號，且可能伴隨重要的物理過程，因此使用模式進行研究，期能瞭解此區域天氣變化特性，進而提升天氣預報精確性。

研究期藉觀測對流、水氣過程與大尺度季風氣候震盪，結合現地觀測與數值模式分析雲水過程與動力過程的相互作用，增進對南海及台灣周邊區域天氣演變機制的了解，加強改進預報的基礎，以進一步釐清南海區域季風環流與海洋對流產生各類雲相的關聯程度及各類對流雲相的特徵。

Johnson *et al.* (1999) 指出，積雲

(cumulus)、濃積雲 (congestus) 及積雨雲 (cumulonimbus) 為熱帶對流雲譜的重要組成部分，此外，這些雲類型與熱帶地區的輻散、雲的逸出及部分雲量的分佈有關。

Chang and Chen (2005) 指出在北半球冬季，海洋大陸是一個深積雲對流和強降水系統的區域，在全球和區域尺度的過程中起着重要的作用，在該區域的西部地區，與之相對應的綜觀尺度婆羅洲渦旋 (Borneo vortex) 和東北寒潮 (northeast cold surge) 和馬登·朱利安振盪 (Madden Julian Oscillation) 對深對流的變化有貢獻。

Chang *et al.* (1983) 提到東北風的寒潮往往支配著南海的低層環流，另 Zhang *et al.* (1997)、Chang *et al.* (2003) 均指出，冬季期間每月約有一到兩次寒潮，並可能持續幾天到一周或更長時間，這導致東北季風的區域振盪，其頻率高於 MJO 一到兩個月的振盪。此外，Chang *et al.* (2003) 還發現在婆羅洲島附近發生了天氣尺度擾動，在這一區域，底層的基本型態背景渦度是氣旋性的，這是由於南海和與亞洲冬季季候風的赤道西風帶有關，通常，環流作為一種準靜態、低層氣旋環流呈現，這是北方冬季氣候學的一個持續性特徵，它通常被稱為婆羅洲渦旋 (Borneo vortex)。

2. 研究工具及方法

2.1 模式簡介

本研究所使用的模式為 WRF V3.9.1.1 版，模擬過程以較密集之時間解析度 (1 小時)，模擬南海周邊地區對流雲系的發展，測試並掌握該模式海洋邊界層物 參數化特性。邊界層使用 Yonsei University

scheme (YSU)、Mellor-Yamada-Janjic scheme (MYJ) 及 Grenier-Bretherton-McCaa scheme (GBM) 來作模擬對照，微物理參數 (Microphysics) 使用 WRF Single-Moment 6-class scheme 及 WRF Double-Moment 6-class scheme，積雲參數 (Cumulus Parameterization) 使用 Kain-Fritsch scheme，其數值模式設定如表 1。

表一 WRF 模式參數化設定表

Name of scheme	Main features	Selected reference ^a
Microphysical (MP) schemes		
WRF Single-Moment 6-class,	single-moment for ice and rain	Hong and Lim (2004)
WRF Double-Moment 6-class,	double-moment for ice and rain	Hong and Lim (2009)
PBL schemes ^a		
Yonsei University (YSU)	First-order, nonlocal	Hong <i>et al.</i> (2006) ^a
Mellor-Yamada-Janjic (MYJ)	level-2 turbulence closure	Mellor and Yamada (1982); Janjic (2002)
Grenier-Bretherton-McCaa (GBM)	Tested in clouddopped PBL case	Grenier and Bretherton (2013)
Cumulus Parameterization schemes		
Kain-Fritsch scheme	Deep and Shallow convection sub-grid	Kain (2004)

2.2. WRF 模式設定

本研究以美國環境預報中心提供的 NCEP 全球模式分析場 FNL，資料水平空間解析度為 $1^\circ \times 1^\circ$ ，垂直空間解析度為 50 層，時間解析度為每 6 小時 1 筆資料，作為模式初始資料場及邊界場，針對南海區域作三層巢狀網格模擬 90 小時，初始的模擬時間分別為 2017 年 12 月 5 日 00 UTC 至結束時間 2017 年 12 月 8 日 18 UTC，因為模擬的區域緯度較低，因此地圖投影使用麥卡托投影，模擬區域為東經 71 度至東經 138 度，赤道至北緯 39 度 (如圖 1)，第一層網格解析度為 72 公里，積分時間為 120 秒；第二層網格解析度為 24 公里。

本研究模擬分為兩層巢狀網格，模擬水平空間解析度由外到內分別為 72 公里及 24 公里，地形解析度分別為 10 公尺及 5 公尺；積分步長使用 120 秒，垂直解析度分為 50 層，垂直層頂為 100 hPa，以利適當模擬南

海區域對流雲系的特性。

WPS Domain Configuration

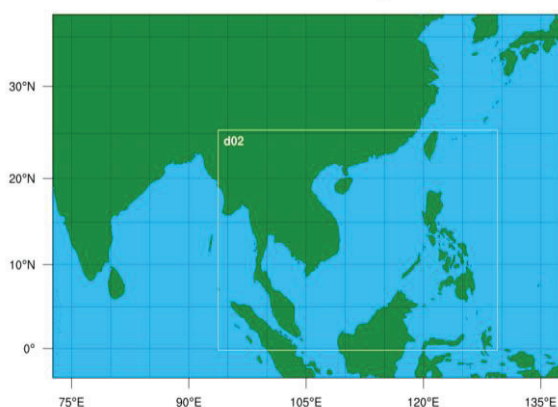


圖1 巢狀網格區域設定。

2.3 研究方法

本研究採用YSU、MYJ與BGM等三種邊界層參數化與WSM6及WDM6等二種雲微物理參數化過程(如表2)模擬雲特徵及大氣垂直結構，並藉由表2的設計，探討2017年12月5日至8日在南海地區對流雲系特徵，因採用BGM和WDM6個案組合之模擬結果與實際觀測結果較為相似，故後續以該個案當作控制組，運用各類參數化敏感度測試來說明本研究控制組為南海區域模擬雲相較佳的組合。

表二 模式參數化敏感度實驗

設計表名稱	邊界層參數化	雲微物理	備考
CASE D1	BGM	WDM6	CONTROL
CASE D2	YSU	WDM6	
CASE D3	MYJ	WDM6	
CASE S1	BGM	WSM6	

3. 觀測資料分析

3.1 2017年12月5日綜觀環境場分析

根據中央氣象局地面天氣序列圖(圖2)顯示，高壓中心位於華北一帶，其勢力向東南伸展至南海北部海面，冷高壓中心南移至長江口附近東移出海，由於等壓線較

不密集，氣壓梯度推動冷空氣南移範圍有限。另從850hPa(圖3)高空天氣圖顯示，副高壓中心位於華中，臺灣地區及南海均為東北風為主，從等溫線得知在850 hPa東沙島氣溫介於12度，太平島氣溫介於15-18度，由此推得雙島地面氣溫介於22-29度。

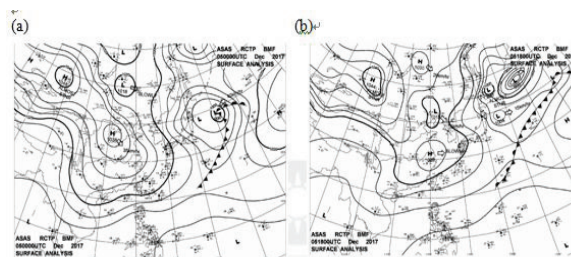


圖2 2017年12月5日地面天氣圖，其中(a)0000UTC、(b)1800UTC(資料來源：中央氣象局)

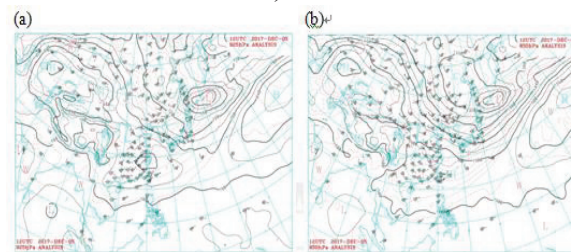


圖3 2017年12月5日850 hPa高空天氣圖(a)0800 LST, (b)2000 LST(資料來源：中央氣象局)。

在東沙島上方存在一道層狀雲系(由紅外線雲圖(圖4a)顯示為高層雲)，對流運動受冷空氣抑制較不明顯；但於太平島上則出現明顯的對流雲系(如紅外線雲圖(圖4a)及可見光雲圖(圖4b)，東沙島(圖5)探空圖可看出從地面至850 hPa風場為東北風且風速達20KT以上，於925-850 hPa溫度及露點溫度接近，相對濕度高，至700 hPa以上中高層明顯乾燥，且風場轉為西-西北風，風場隨高度有順時針旋轉的現象。

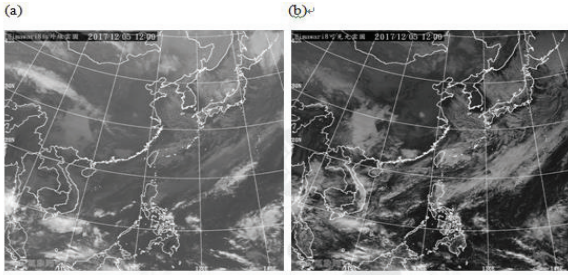


圖4 2017年12月5日1200 LST (a)紅外線雲圖，(b)可見光雲圖(資料來源：中央氣象局)。

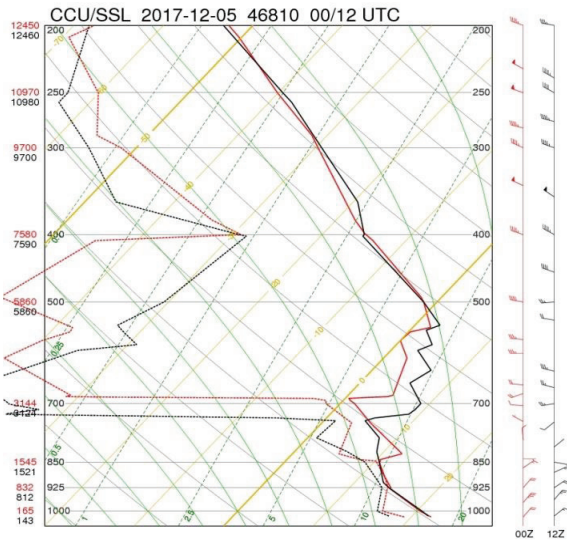


圖5 2017年12月5日東沙島(46810)測站00Z及12Z探空圖。紅色線(實線為氣溫、虛線為露點溫度)為00Z，黑色線(實線為氣溫、虛線為露點溫度)為12Z。

東沙島全日一覽圖(圖6a1)顯示，風場為東北風，風速達15-20 KT，氣溫介於22.1-23度，露點溫度介於17.4-18.9度，相對濕度為75%左右，全日無降水現象，配合該島的連續時間序列圖(圖6a2)可看出，風速、氣溫、露點溫度、相對濕度全日無明顯變化，僅氣壓值具明顯日夜變化，但日夜氣壓差異僅3 hPa，顯見該島為完全受東北季風影響的天氣型態。由於太平島為人為觀測站並不具備24小時觀測紀錄，從具有觀測資料之一覽圖(圖6b1)顯示，風場為微弱東北風，風速多為5 KT以下，僅偶爾出現接近10 KT風速，上午氣溫最高達30

度，氣溫及露點差將近4度，至午後氣溫降至27度，溫度露點差接近為2度，並出現降水現象持續至晚上，推測太平島受東北季風影響較弱，午後仍受對流性降水影響所致，且有增強的現象。

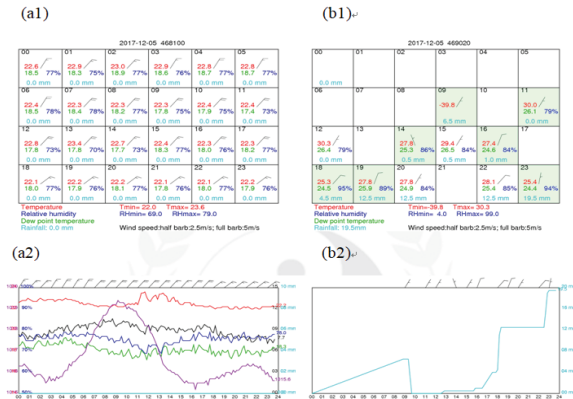


圖6 2017年12月5日一覽圖(a1)東沙島(46810)測站，(b1)太平島(46902)測站。圖(a2、b2)說明各天氣要素24小時的變化，其中紅色線為溫度，藍色線為相對濕度，綠色線為露點溫度，黑色線為風速，紫色線為氣壓值。

3.2 2017年12月8日綜觀環境場分析

從地面天氣圖(圖7)可以看到，另一高壓中心於蒙古一帶建立，且氣壓梯度有明顯較5日強，850 hPa高空天氣圖(圖8)顯示，東沙島及太平島為東北風，東沙島溫度介於9度，較5日下降約3度，太平島溫度仍介於15-18度。

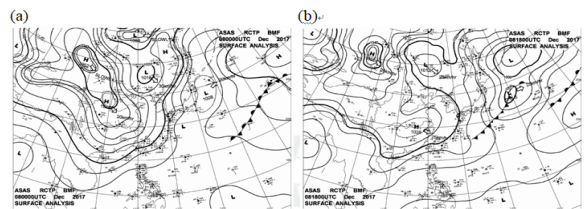


圖7 同圖2，但為8日。

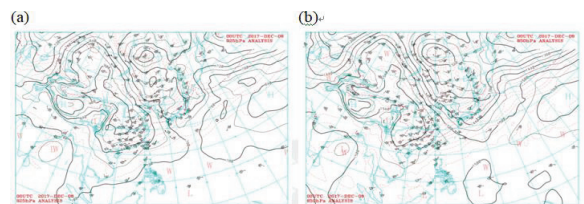


圖8 同圖3，但為8日。

由紅外線雲圖(圖9a)搭配可見光雲圖(圖9b)東沙島上方可見冷空氣所造成的層積雲系，東，而太平島周遭雲對流雲系以前日相較有增加且擴大的情況，並從東沙島(圖10)探空圖，可看出從地面至750 hPa，風場隨高度逆時針旋轉，顯示受高壓勢力南下影響，有冷平流現象向。

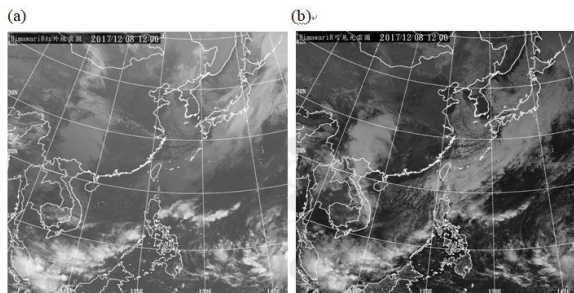


圖9 同圖4，但為8日。

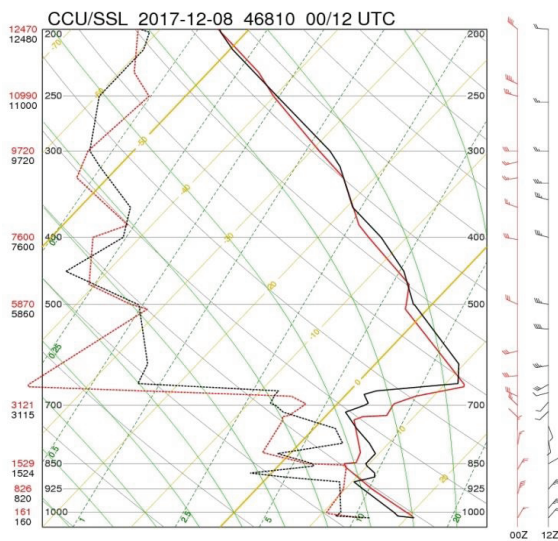


圖10 同圖5，但為8日。

從當東沙島一覽圖(圖11a1)顯示，風場為東北風，風速達到20 KT，相對濕度較5日有減低的情況為63-72%左右，全日仍無降水現象，配合該島的連續時間序列圖(圖11a2)可看出，風速、氣溫、露點溫度、相對濕度白日無明顯變化；但從太平島一覽圖(圖11b1)顯示，風場多為北向風，但風速有略增強多為10-15 KT，全日相對濕度為75左右%，午前無降水現象，午後研判受

對流雲系影響，有降水現象，平均時時雨量為2.0 mm，配合該島的連續時間序列圖顯示(圖11b2)，風速、氣溫、露點溫度、相對濕度全日無明顯變化。

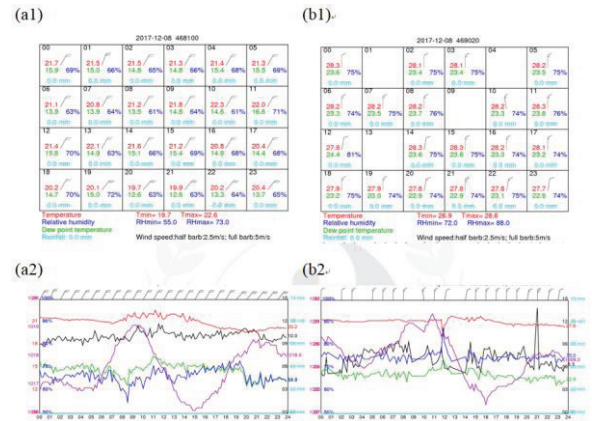


圖11 同圖六，但為8日。

4. 模擬結果

4.1 海洋大陸區域雲特徵模擬

為了瞭解海洋大陸冬季時段雲特徵，挑選「南海計畫」海測船至南海觀測時段2017年12月5日00 UTC至12月8日18 UTC，共計4日，來進行模擬、參數化敏感度測試及海上觀測資料模擬驗證。

從2017年綜觀環境場分析，5日至8日均受大陸高壓所帶來的東北季風影響(圖12)，而東北風最遠甚至可達到南海南部一帶，控制組(如表2)模擬顯示在東亞至海洋大陸溫度梯度由東北向西南遞減，在海洋大陸及周圍海域海溫介於26-30℃。

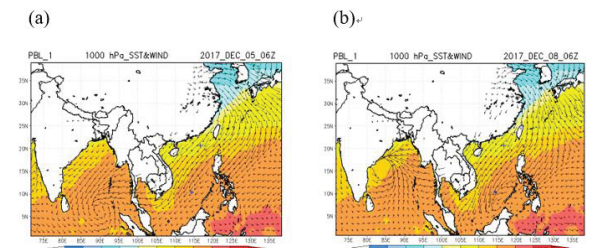


圖12 2017年12月5日及12月8日06Z(圖(a)及圖(b))東南亞地面風場及海溫圖。圖下方色階代表海溫(℃)。

另從逐日降雨量及低層(925 hPa)風場顯示(圖13),大陸高壓所帶來的東北風能影響到中南半島,甚至到孟加拉灣,與地面天氣圖相近,12月5日印度東側洋面(約7°N, 90°E)附近有一熱帶氣旋,後續逐漸朝西北方向移動,在降雨分佈方面,受東北季風迎風面影響,從呂宋島雲量分佈圖顯示,主要受中低層雲系(圖14(b)、(c))堆積影響,降水主要集中於該島東側,另東北風到馬來半島一帶,有部分風場分量受地形影響轉為偏西風,造成在婆羅洲北部海域有氣旋式環流出現,從巴拉望西側海域至婆羅洲西北部外海有明顯對流降水,與實際衛星雲圖(圖14 (d))對流雲系位置相較大致相符。

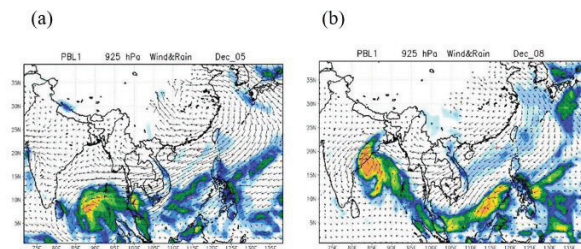


圖13 同圖12,但為925hPa風場及降水量分佈圖。右方色階代表降水量(單位mm)

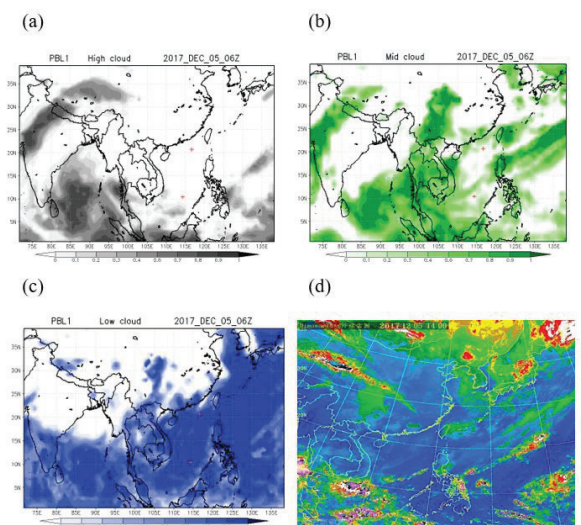


圖14 為2017年12月5日06UTC海洋大陸區域雲量分布(a)高層雲, (b) 中層雲, (c)低層雲圖, (d)色調強化紅外線雲圖。右方色階代表雲覆蓋的分數。

8日北方高壓帶來新一波東北季風(圖13(b)),在呂宋島東北風風場北風分量增加,從巴拉望西側海域至婆羅洲西北部外海從底層到高層的雲量都偏多(圖15(a)-(c)),與實際衛星雲情況相當(圖15(d)),對應局部環流造成的對流降水則明顯增強(圖13(b)),另印度東方洋面之熱帶氣旋朝西北方向進入低溫區後(圖12(b)),降水強度有減弱的情況。以上模擬成效,均相當類似該區域衛星雲圖觀測結果。

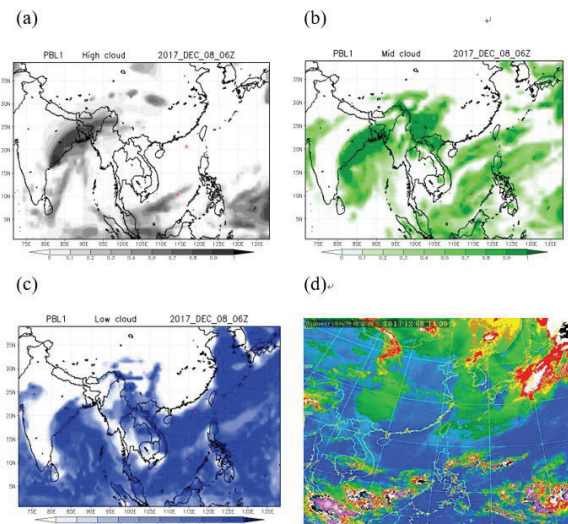


圖15 同圖14,但為8日。

4.2 南海區域雲特徵模擬

在同一模擬中,將研究範圍縮小至南海區域後,除運用控制組針對不同方式雲相計算結果實施比較外,將進一步以控制組個案(CASE D1)針對雲相變化所導致的向外長波輻射(Outgoing Longwave Radiation, OLR)及與實際衛星雲圖做比較,並探討大氣與海洋主要熱通量交換情況。由於大氣接受海洋的熱量主要是來自潛熱、可感熱和長波輻射,因此分別對冬季及夏季做個別探討後,可以得知對流的強度、大氣水氣分布和雲量的關係。

WRF模式中有關雲相的計算裡,高、中、低雲(High、Mid、Low cloud)係使用相

對濕度來分別進行計算，其計算定義為 High cloud：400 hPa至模式最高層；Mid cloud：800 hPa至400 hPa；Low cloud：970 hPa至800 hPa，並運用相對溼度的大小來定義雲量多寡，而其值的上限介於0和1之間。成雲機率(Cloud-fraction, CF)是另一種計算雲相的方式，其計算方式則是採用液態水和冰的混合比作為主要預測因子，而值的上限也介於0和1之間，其定義為當CF值為1，意味著預測出現雲層的機率為100%，CF值為0則代表不會出現雲層。

從12月08日06 UTC南海區域雲量分佈比較中，發現High cloud(圖16(a))掌握了在太平島東北側外海至西側的雲量分佈，但對於海南島周遭海域至越南北部的雲量分佈與實際(圖16(b))相較略微高估，而在Mid cloud部分(圖16(c))大致都有配合到實際衛星雲圖的位置，而在Low cloud部分(圖16(d))預測低雲雲量則為明顯比實際情形高估。另從CF模擬圖顯示(圖16(e))，模擬結果與實際衛星雲圖位置大致相符，但於海南島周遭至越南北部的雲量明顯高估，與實際衛星雲圖相較有差異，另可發現，CF計算結果與OLR圖(圖16(f))的較低輻射通量位置大致相當，顯見模式中，若以CF計算結果衍生之OLR代表雲層覆蓋位置，可能在某些區域造成較大的誤差，而High cloud加上Mid cloud模擬雲量覆蓋範圍的結果和實際衛星觀測所出現的雲層位置和覆蓋範圍較接近，誤差值較小。另從High、Mid、Low Cloud與CF描述雲特徵的方式，細部去探討各層雲特徵。

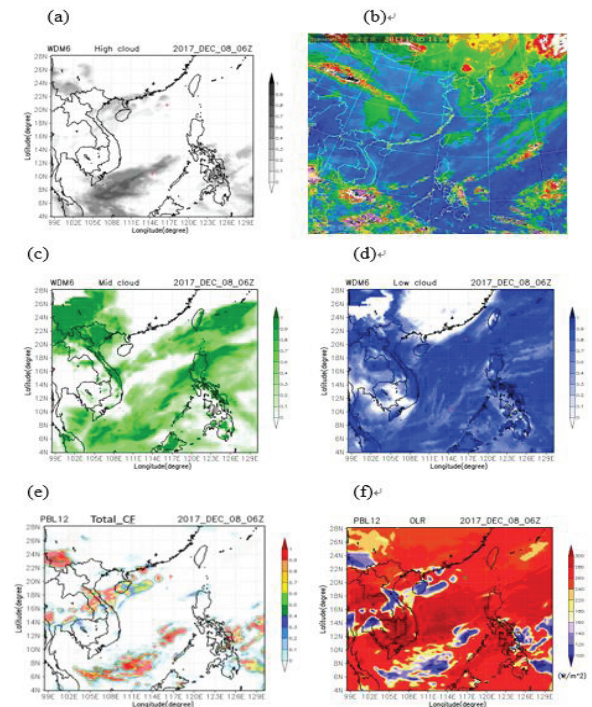


圖 16 2017年12月8日06UTC南海區域雲量分佈(a)High cloud圖，(b)實際紅外線衛星雲圖，(c)Mid cloud圖，(d)Low cloud圖，(e)總雲量圖，(f)向外長波輻射圖。右方色階代表預報雲出現的機率。

在12月8日南海區域雲量分佈圖顯示，在High Cloud(圖17(a))部分大致有掌握到南海南部的雲量分佈，在100-300 hPa雲量(圖4.8(b)-(d))分佈也有掌握到，但100 hPa(圖17(b))華南至台灣海峽及200 hPa(圖17(c))海南島至越南北部的雲量預測明顯高估，而在Mid Cloud雲量部分(圖17(e))有掌握到南海區域的雲量分佈，且在700-500 hPa各層雲量(圖17(f)-(h))則是也有掌握，但雲的覆蓋量較少。在底層雲部分低雲雲量則為明顯高估(圖17(i))，而在950-800 hPa雲量(圖17(j)-(l))大致掌握雲量分佈，但雲的覆蓋量則低估。

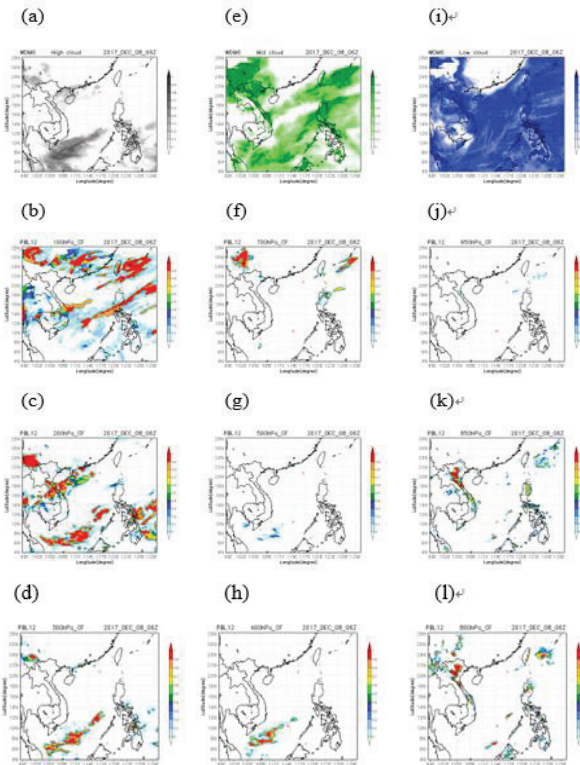


圖 17 2017 年 12 月 8 日 06UTC(a)High cloud 圖，(b)100 hPa 雲量圖，(c)200 hPa 雲量圖，(d)300 hPa 雲量圖，(e) Mid cloud 圖，(f)700 hPa 雲量圖，(g)500 hPa 雲量圖，(h)400 hPa 雲量圖，(i)Low cloud 圖，(j)950 hPa 雲量圖，(k)850 hPa 雲量圖，(l)800 hPa 雲量圖。右方色階代表預報雲出現的機率。

由於CF計算雲相的方式和High、Mid及Low cloud計算方式不同，為了瞭解CF計算雲層出現的原理，運用CF圖(圖18(a)、(c)、(e))與相對濕度圖(圖19(b)、(d)、(f))比對，經充分比對後得知，當100 hPa時相對濕度達到35%以上(圖18(b))，200 hPa時相對濕度達到50%以上(圖18(d))及300 hPa時相對濕度達到65%以上(圖18(f))，模式就研判高層有雲生成的機會，但這樣的計算方式，未必符合雲生成的物理過程，以至於在海南島至越南北部計算有高雲生成，但卻與實際衛星觀測結果不符。

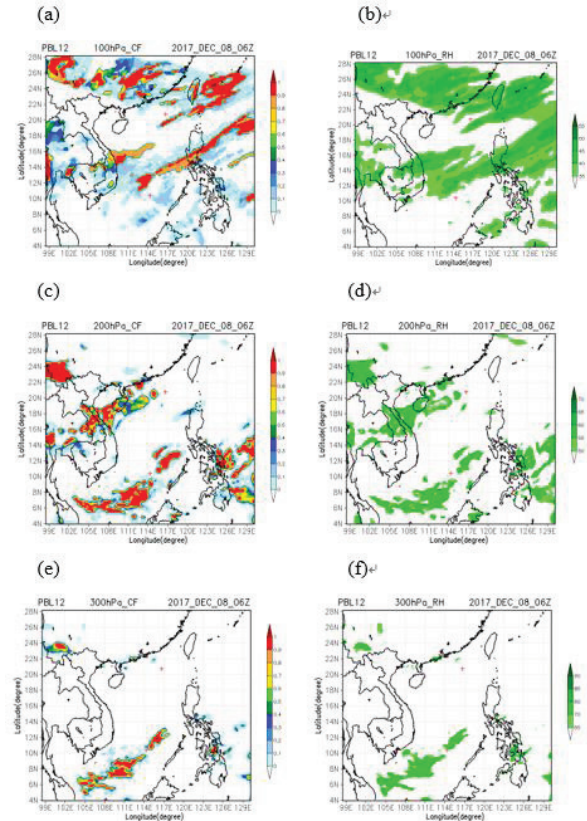


圖 18 2017 年 12 月 5 日 1200LST 紅外線(圖(a))及可見光雲圖(圖(b))。圖中綠色方框代表domain2。黃色直線代表經度113度及114度，黃色虛線代表緯度12度及13度，橘色星號由高緯度至低緯度分別代表東沙島及太平島，紅色虛線代表目標雲系。

從可感熱通量圖顯示(圖19(a))，在北緯22度-17度，通量值介於50~100 W/m²，北緯17度以南介於0~50 W/m²，顯見南海北部海域受到東北季風氣溫下降影響較南部海域大，海氣溫差因此較南海南部海域來的大，可感熱通量因此較大。潛熱通量圖分布圖顯示(圖19(b))，從北緯28度至8度海面上通量值約150~500 W/m²，北緯8度以南則快速遞減，顯見南海南部的熱帶洋面上，雖然氣溫較高，但水氣趨近飽和，致使潛熱通量下降，海氣交互作用反而因此較不明顯。而潛熱通量值越高，就表示海面傳輸至大氣的水汽通量越多，因此水氣通量

也呈現出同樣的結果(圖19(c)),在冬季海表面溫度較低且風速較大的情況下,從海表面傳輸至大氣的可感熱通量值就會比夏季時較多,搭配海洋表面溫度(Sea Surface Temperature, SST)及1000 hPa風速圖(圖19(d))顯示,東北風的勢力向南伸展約北緯6度,且溫度由東北向西南遞增,模擬之雷達回波圖(圖19(e))顯示,南海區域僅有零星之回波反應,在台灣東部外海至巴士海峽回波反應較明顯,但這些回波均無產生降水(圖19(f)),應屬雲中水氣分布。

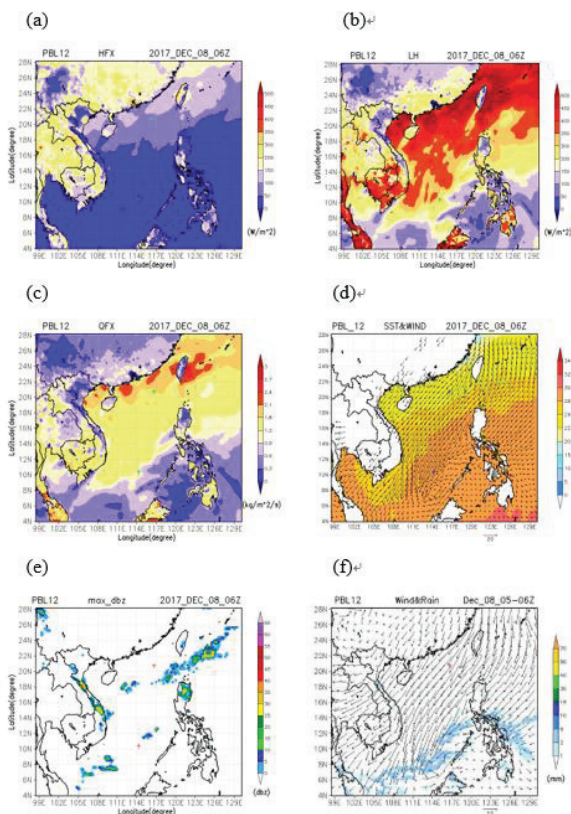


圖19 2017年12月8日06UTC(a)可感熱通量圖, (b)潛熱通量圖, (c)水氣通量圖, (d) 1000 hPa海溫及風場圖, (e)最大回波圖, (f)12月8日05-06Z累積雨量圖。

4.3 雲微物理敏感度測試

為了解模式中不同雲微物理參數對雲相變化的影響,本次模擬挑選CASE D1與CASE S1進行雲相的比對。

從2017年12月8日06 UTC時南海區域雲量分佈圖顯示(圖20(a)、(b))高雲無明顯差異,在中雲部分(圖20(c)、(d))於台灣東部外海至台灣海峽南部及呂宋島東北部外海至呂宋島CASE D1雲出現的機率高於CASE S1,與實際衛星雲圖位置較為相似,在低雲方面(圖20(e)、(f))出現低雲的機率2種個案相比均為高估。

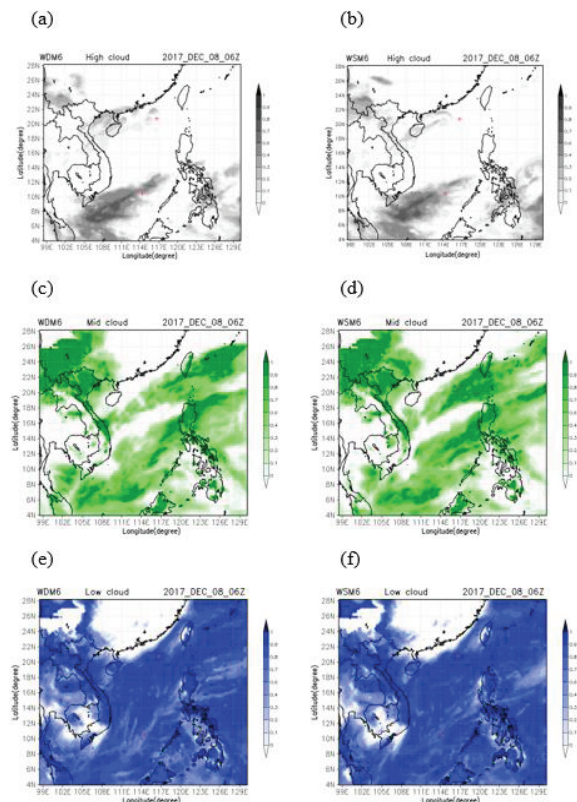


圖20 2017年12月08日06UTC南海區域雲量分布 (a)WDM6-High cloud, (b) WSM6- High cloud, (c)WDM6-Mid cloud, (d)WSM6-Mid cloud, (e) WDM6-Low cloud, (f)WSM6- Low cloud。右方色階代表雲出現的機率。

另外在CF方面,12月8日06 UTC 100 hPa及200 hPa(圖21)兩種個案雲量均高估於實際,但CASE D1雲(圖21(a)-(c))分布的位置較接近實際雲圖,在700-400 hPa(圖22)雲量掌握上兩種個案均低估於實際,但CASE D1於700 hPa(圖22(a))有掌握到台灣

東部外海的雲系，相較下較CASE D1為佳，但在底層800-925 hPa(圖23)在掌握雲量部分CASE S1(圖23(d)-(f))是比較優於CASE D1(圖23(a)-(c))。

在雲層的模擬，2種微物理個案在模擬High cloud時差異不大，但在Mid cloud在模擬雲量分佈情況以CASE D1效果較佳，Low cloud於預測雲時，常有高估的情況，故在預測低雲時較不適用。在CF個案，100-300 hPa兩種個案雲量均高估於實際，但CASE D1雲分布的位置較接近實際雲圖，在950-400 hPa中低雲層中兩者在雲量分佈上均低估於實際情形，但CASE D1較稍好些。

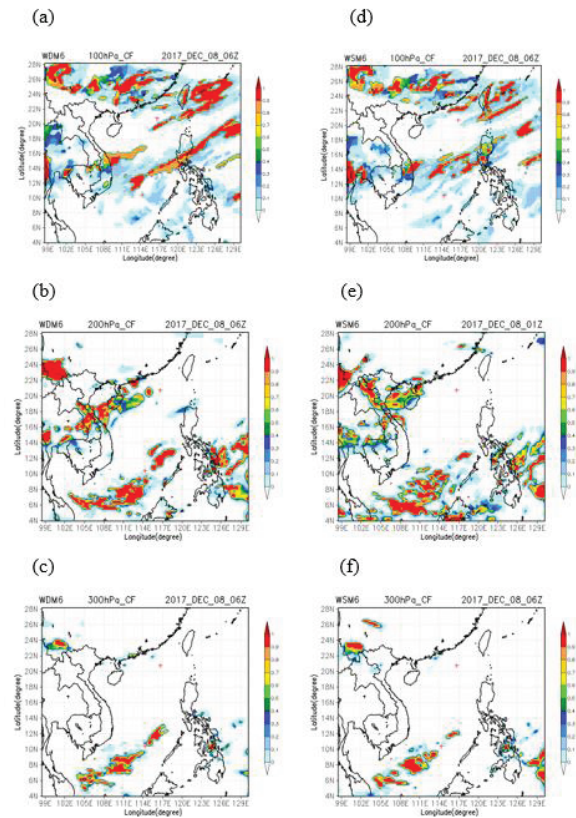


圖21 2017年12月8日06UTC(a)WDM6 100 hPa雲量圖，(b)WDM6200 hPa雲量圖，(c)WDM6100 hPa雲量圖，(d)WSM6 300 hPa雲量圖，(e)WDM6 200 hPa雲量圖，(f)WDM6 100 hPa雲量圖。右方色階代表預報雲出現的機率。

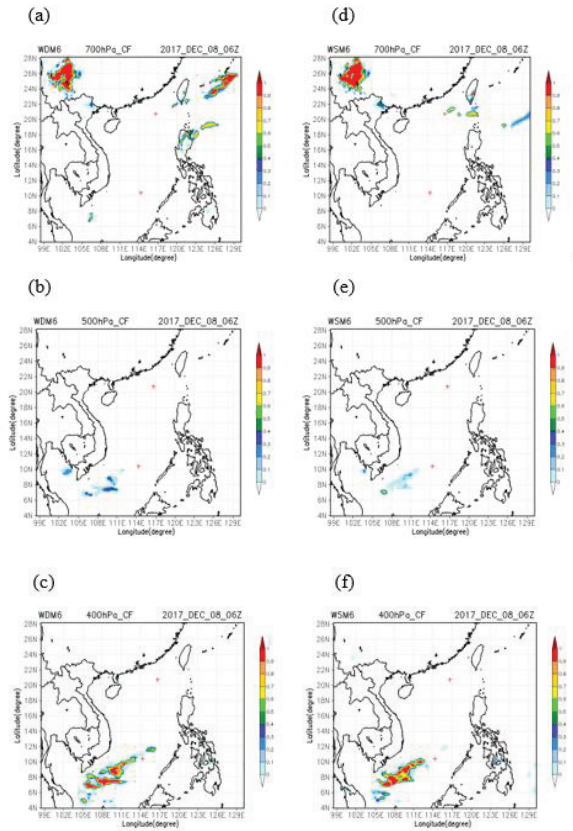


圖22 2017年12月8日06UTC(a)WDM6 700 hPa雲量圖，(b)WDM6 500 hPa雲量圖，(c)WDM6 400 hPa雲量圖，(d)WSM6 700 hPa雲量圖，(e)WDM6 500 hPa雲量圖，(f)WDM6 400 hPa雲量圖。右方色階代表預報雲出現的機率。

在OLR部分，2017年12月8日06 UTC在巴拉望群島西面海域的通量範圍CASE D1(圖24(a))較CASE S1(圖24(b))大，較接近實際，而在中南半島上通量範圍個案與實際觀測比較均有高估的情況。

在雲層(High、Mid、Low cloud)的模擬，兩種微物理個案在模擬High cloud時差異不大，但在Mid cloud在模擬雲量分佈情況CASE D1效果較佳，Low cloud於冬季預測雲時，常有高估的情況。CF的模擬，100-300 hPa兩種雲微物理參數雲的覆蓋範圍均高估於實際，但CASE D1雲分布的位置較接近實際雲圖。

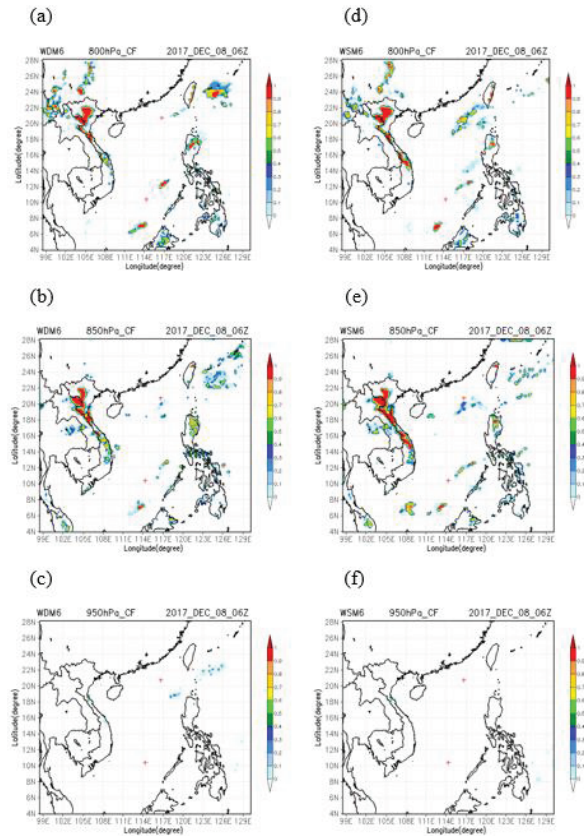


圖 23 2017年12月8日06UTC(a)WDM6 800 hPa雲量圖，(b) WDM6 850 hPa雲量圖，(c) WDM6 900 hPa雲量圖，(d)WSM6 800 hPa雲量圖，(e) WDM6 850 hPa雲量圖，(f) WDM6 900 hPa雲量圖。右方色階代表預報雲出現的機率。

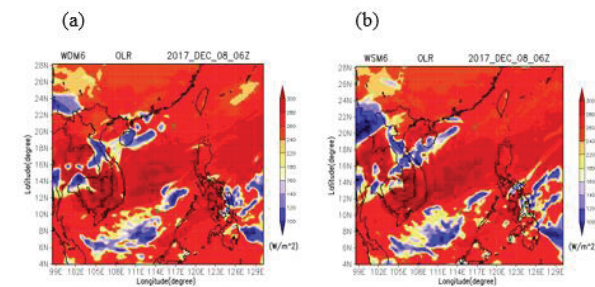


圖 24 OLR圖(a)12月8日06UTC WDM6，(b) 12月8日06UTC WSM6。

4.4 邊界層參數化敏感度測試

為了解不同邊界層參數對雲相的影響，本次模擬除雲微物理參數化採用WDM6不變外，另以CASE D1、CASE D2及CASE D3等3種個案搭配BGM、YSU和MYJ三種

邊界層參數化(個案設計詳如表2)進行模擬結果敏感度測試。

在南海區域在各層雲的比較中，2017年12月08日06 UTC在High cloud部分CASE D1(圖25(a))及CASE D3(圖4.24(c))在越南北部至海南島周遭雲系出線機率高估於實際，CASE D2(圖25(b))在雲量分佈及出現位置與實際雲圖較符合，而在南海區域Mid cloud雲的分布位置以CASE D2(圖25(e))較CASE D1(圖25(d))及CASE D3(圖25(f))與實際較為接近，Low cloud方面三個個案在雲量分佈上(圖25(g)-(i))均高估於實際雲量。

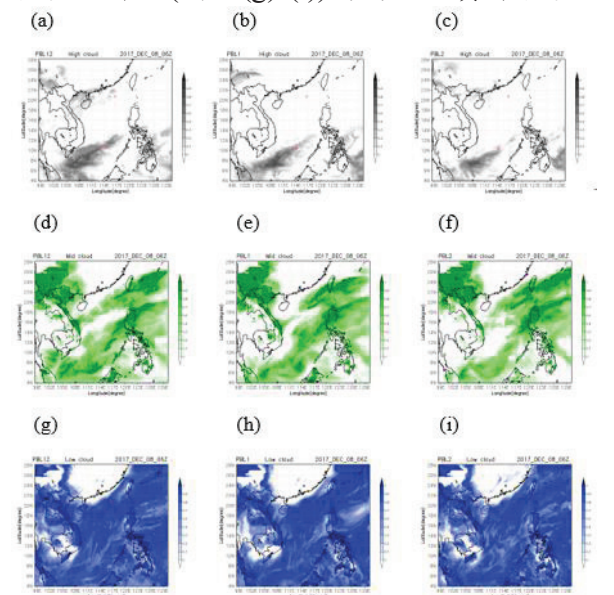


圖 25 2017年12月8日06UTC南海區域不同邊界層參數之雲量分布(a)PBL 12 High-cloud，(b) PBL 1 High-cloud，(c) PBL 2 High- cloud，(d) PBL 12 Mid-cloud，(e) PBL 1 Mid-cloud，(f) PBL 2 Mid-cloud，(g) PBL 12 Low-cloud，(h) PBL 1 Low-cloud，(i) PBL 2 Low-cloud。右方色階代表雲覆蓋的分數。

在100-300 hPa CF部分，在南海地區雲量及位置分布CASE D2(圖26(b)、(e)、(h))比CASE D1(圖26(a)、(d)、(g))及CASE D3(圖26(c)、(f)、(i))較接近於實際雲圖，從

700-400 hPa的CF圖顯示，三個個案對於實際雲量均為低估的情況，但CASE D1(圖27(a)、(d)、(g))在雲量分佈位置較其他兩種方較好，而在800-950 hPa CF雲的覆蓋量顯示(圖28)，三種個案均明顯低估於實際。

由此結果可以看出，不同的邊界層參數化，對於南海區域雲相的日夜變化，對於雲量有不同的變化，另外不同的邊界層參數化後，陸地上的雲相變化計算結果，明顯較海洋上的雲相差異來的更大，這主要的原因來自海洋與陸地比熱的不同所帶來的熱力作用有關。

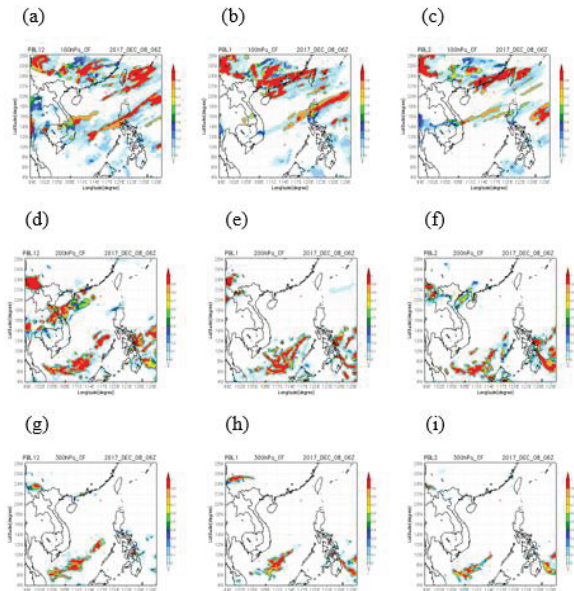


圖26 2017年12月8日06UTC南海區域不同邊界層參數之雲量分布(a)PBL 12 100 hPa_CF, (b) PBL 1 100 hPa_CF, (c)PBL 2 100 hPa_CF, (d)PBL 12 200 hPa_CF, (e)PBL 1 200 hPa_CF, (f)PBL 2 200 hPa_CF, (g)PBL 12 300 hPa_CF, (h) PBL 1 300 hPa_CF, (i) PBL 2 300 hPa_CF。右方色階代表雲覆蓋的分數。

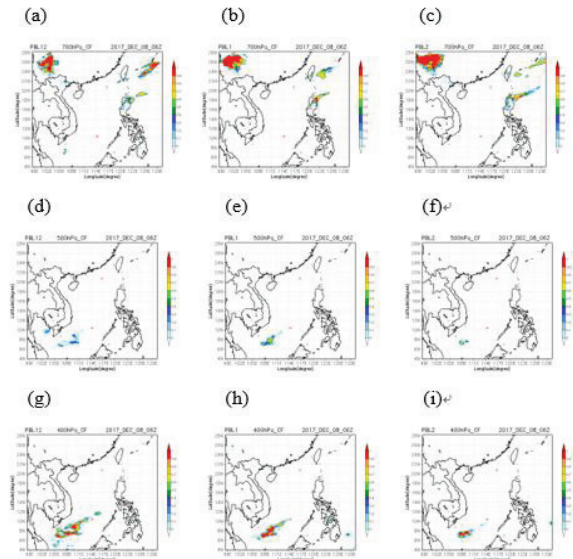


圖27 2017年12月8日06UTC南海區域不同邊界層參數之雲量分布(a)PBL 12 700 hPa_CF, (b) PBL 1 700 hPa_CF, (c) PBL 2 700 hPa_CF, (d)PBL 12 500 hPa_CF, (e)PBL 1 500 hPa_CF, (f)PBL 2 500 hPa_CF, (g)PBL 12 400 hPa_CF, (h) PBL 1 400 hPa_CF, (i) PBL 2 400 hPa_CF。右方色階代表雲覆蓋的分數

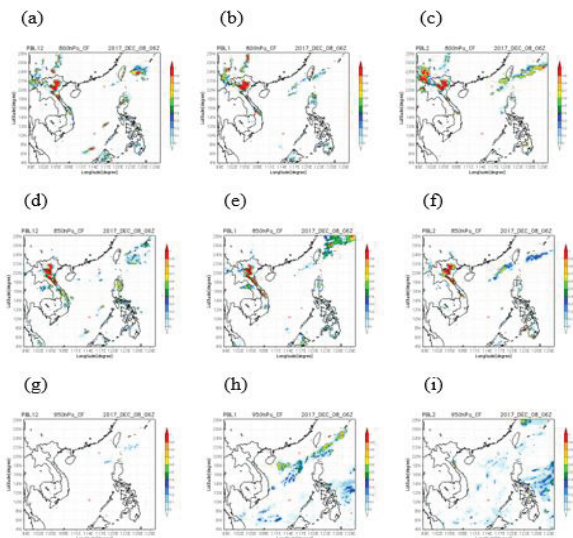


圖28 2017年12月8日06UTC南海區域不同邊界層參數之雲量分布(a)PBL 12 800 hPa_CF, (b)PBL 1 800 hPa_CF, (c)PBL 2 800 hPa_CF, (d)PBL 12 850 hPa_CF, (e)PBL 1 850 hPa_CF, (f)PBL 2 850 hPa_CF, (g)PBL 12 950 hPa_CF, (h) PBL 1 950 hPa_CF, (i) PBL 2 950 hPa_CF。右方色階代表雲覆蓋的分數。

在OLR比較上，2017年12月8日06 UTC CASE D1在中南半導致海南島顯示有比較低的通量值(圖29(a))，且比CASE D2(圖29(b))及CASE D3(圖29(c))明顯，在相比之下CASE D2在南海地區通量分佈上較其他兩個個案接近實際觀測。

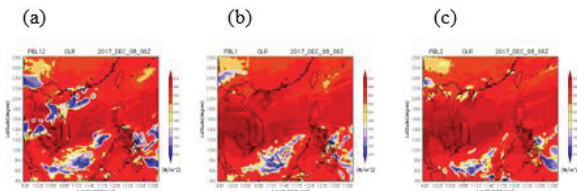


圖29 OLR圖(a)12月8日06UTC PBL12, (b) 12月8日06UTC PBL1, (C) 12月8日06UTC PBL2。

4.5 大氣垂直結構特性與雲發展

為了瞭解南海區域大氣垂直結構特性，本研究在冬季使用南海季風雙島實驗整合計畫(SCSTIMX)期間，2017年12月5日12 UTC 至12月8日00 UTC，東沙島、太平島與南海海測船通過區域(圖30)所施放之探空觀測與模擬探空圖比對，期能了解垂直大氣模擬結果和觀測間的差異，進而了解模式的熱力特性。

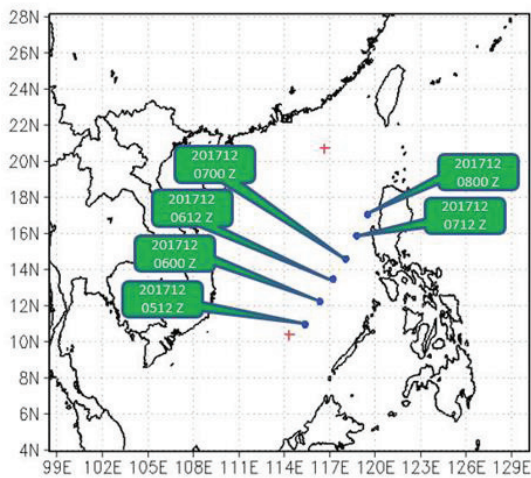


圖30 南海雙島及探空施放位置圖。圖中紅色十字 點為東沙及太平島，藍色點為船舶觀測位置，其上之說明欄為海上觀測日期與時間。

12月8日00 UTC顯示東沙島實際(圖31(a))與模擬(圖31(b))850 hPa以下均為東北風，風速約10-15KT，風速較前幾日有增強情況，700 hPa以上由西風轉西北風，實際觀測在850Pa左右溫度及溫度露點接近，而模擬則在950hPa及800-770 hPa溫度及溫度露點接近；太平島風場為東北至東風，風速無明顯變化，實際(圖31(c))與模擬(圖31(d))情況相當，溫度露點差在850-770 hPa溫度及露點實際較模擬差值較大；海測船實際(圖31(e))觀測與模擬(圖31(f))從底層-850 hPa均為東北-北風，溫度露點差異主要在950-870 hPa，而實際觀測溫度露點較為接近。

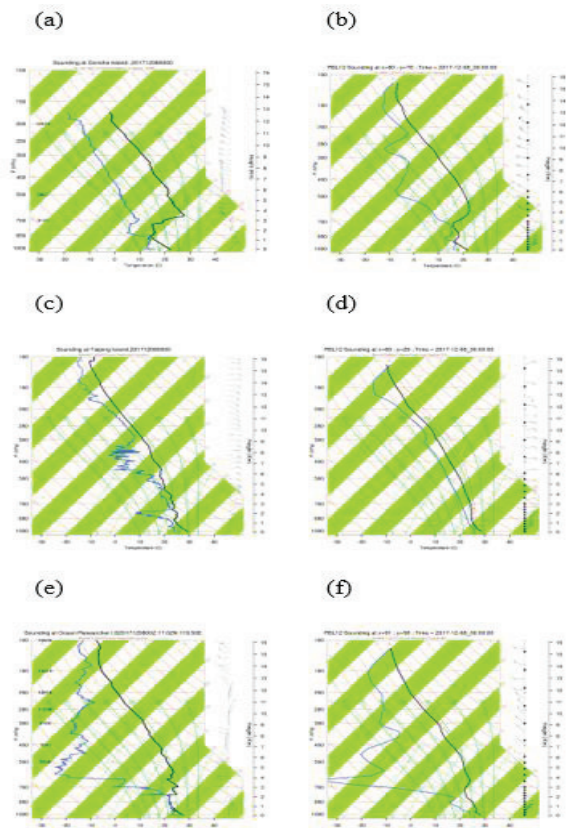


圖31 2017年12月8日00 UTC不同地點觀測與模擬探空圖。(a)東沙島實際探空圖，(b)東沙島模擬探空圖，(c)太平島實際探空圖，(d)太平島模擬探空圖，(e)海研一號實際探空圖，(f)海研一號模擬探空圖。

另依不同緯度區分4個區域(圖32)針對區域做各邊界層比較、同時間不同區域比較及日夜比較，其中比較內容為氣溫、穩定度及水氣含量變化進而瞭解冬季及夏季大氣垂直及雲頂發展機制。

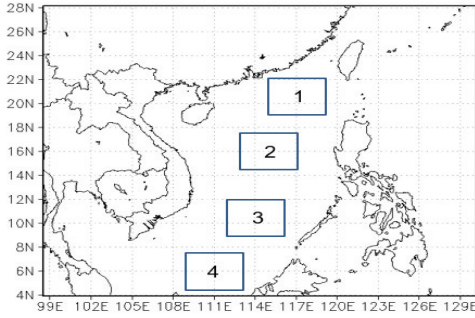


圖32 南海地區分區比較圖。圖中區域1範圍為 22~19°N；115~119°E，區域2為 14.5~17.5°N；113~117°E，區域3為 12~9°N；112~116°E，區域4為 7.5~4.5°N；109~113°E。

2017年12月8日06 UTC在南海各區域中顯示，所有個案邊界層在平均溫度上無明顯差異，區域1(圖33(a))、3(圖33(c))約26.5°C，區域2(圖33(d))約25°C，區域4(圖33(d))約26°C。

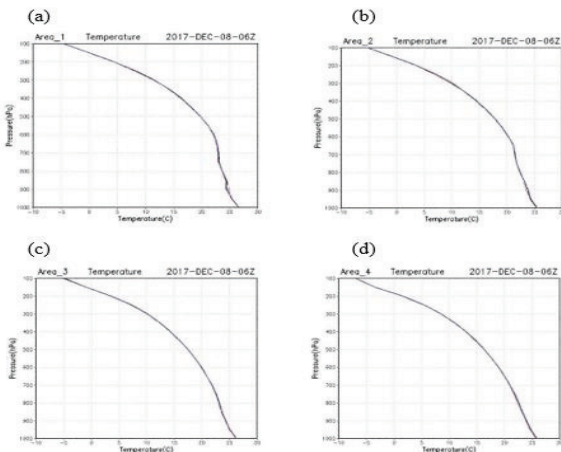


圖33 2017年12月8日06 UTC南海各區域不同邊界層參數化下垂直剖面平均溫度圖，其中(a)區域1，(b)區域2，(c)區域3，(d)區域4。圖中黑色實線為YSU，紅色長虛線為MYJ，藍色點線為BGM。

冬季12月8日06 UTC(圖34)位溫顯示南海上至下游各區域位溫平均型態相當類似，區域1至區域3(圖34(a)-(c))約在950 hPa以下的大氣，溫度混合較為均勻，區域4(圖34(d))低層大氣位溫混合的較不均勻，四個區域在混合層以上的大氣，均呈現位溫隨高度遞增的穩定情形，也就是說在不考慮水氣的情形下，除混合層屬於中性大氣外，各區域其上的大氣皆為穩定大氣。

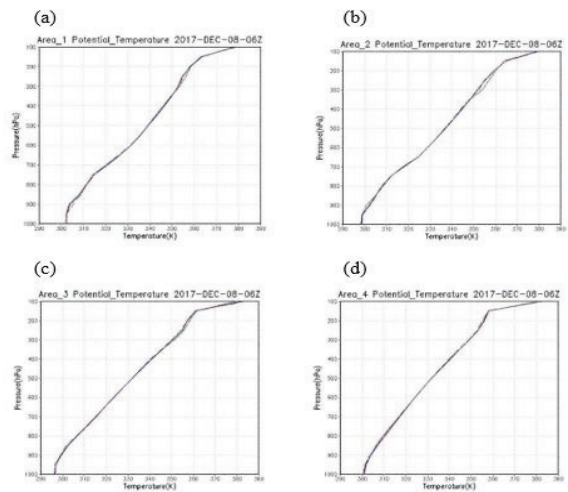


圖34 圖同33，但為2017年12月8日06 UTC位溫。

從12月8日06 UTC水氣混和比含量顯示區域1 (圖35 (a))CASE D3最高，CASE D2次之，CASE D1最少；區域2 (圖35(b))CASE D2及CASE D 3水氣含量相當，CASE D1較少；區域3(圖35(c)) 則為CASE D1及CASE D2相當，CASE D3最少；區域4 (圖35(d)) CASE D1、CASE D3相當，CASE D2最少。

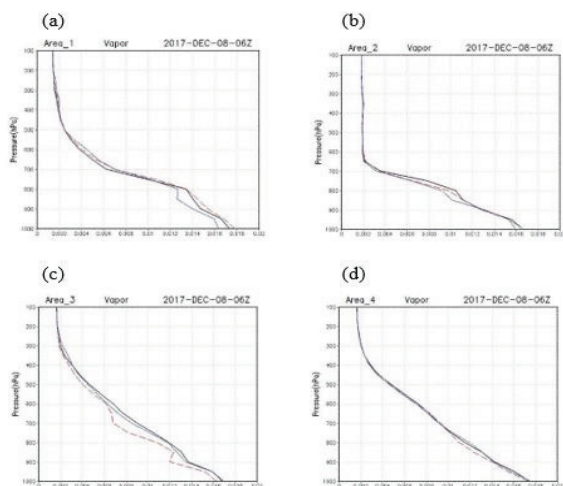


圖35 圖同34，但為2017年12月8日06 UTC 水氣含量。

5. 結論

本研究採用YSU、MYJ與BGM等三種邊界層參數化與WSM6及WDM6等二種雲微物理參數化，模擬海洋大陸區域及南海區域雲特徵，研究結果顯示，冬季個案東北季風增強時，南海區域海氣交互作用增強，南海北部海洋層積雲明顯增加，層積雲高度低於二公里，南海南部則受東北季風環流流向影響，地形迎風面出現明顯降水。東北季風微弱時，南海南部維持熱帶海洋性氣候，熱對流明顯且對流雲系發展較高，雲相多為積雨雲。

WRF模式中有關雲相的計算裡，高、中、低雲(High、Mid、Low cloud)係使用相對濕度來分別進行計算，而另一種是成雲機率(Cloud-fraction, CF)。在雲微物理敏感度測試比對中發現，在雲層的模擬，兩種微物理個案在High cloud時差異不大，但在Mid cloud在模擬雲量分佈情況WDM6效果較佳，Low cloud於預測雲時，常有高估的情況，故在預測低雲時較不適用。使用CF方式進行雲相預測時，冬季時100-300 hPa

兩種雲微物理參數雲量均高估於實際，但WDM6雲分布的位置較接近實際雲圖，在950-400 hPa中低雲層中兩者在雲量分佈上均低估於實際情形，但WDM6較稍好些。

在不同邊界層參數敏感度測試部分，在模擬High cloud時各參數表現無明顯差異，但在High及Mid cloud雲的分布位置，YSU在雲量分佈及出現位置與實際雲圖較符合，Low cloud三個個案在雲量分佈上均明顯高估於實際雲量。另在CF部分，在100-300 hPa高雲分布YSU較接近實際雲圖，700-400 hPa中層雲分布情況無明顯差異，800-950 hPa CF雲的覆蓋範圍三個案均明顯低估。

綜合研究結果顯示在WRF雲特徵的預測中，High cloud與Mid cloud在南海區域的掌握與實際衛星雲圖相似，但Low cloud在冬有高估的情況，OLR與CF預測雲相的位置大致相當，但底層雲系雲的覆蓋量明顯低估，由於OLR的計算結果和衛星觀測比較後，發現在雲量分佈上有差異，在CF，本研究分析所有資料後，發現OLR又以200 hPa的CF為最高雲頂高度，從本研究得知當200 hPa相對濕度達35%時就認定形成冰晶，因此判斷為雲，而OLR是靠CF判斷通量的多寡，因此會造成誤判。由於大氣接受海洋的熱量主要是來自潛熱、可感熱和長波輻射，因此針對2017年12月冬季做探討後，可以得知對流的強度、大氣水氣分布和雲量的關係，並通過比對南海區(上、中、下游)穩定度域及水氣通量加以分析大氣垂直結構與雲相發展機制作探討，冬季在南海上至下游各區域位溫平均型態相當類似，950 hPa以下大氣位溫混合較均勻，而

其以上大氣皆為穩定大氣。

本研究針對模擬雲相與實際衛星雲圖比較的方式較為主觀，期能以定量的方式來做比較，而本次模擬為了減少計算資源，空間解析度較為不足，但仍一定程度的呈現了南海天氣的複雜性，針對南海特定區域，模擬上有提高空間解析度的必要。

6. 參考文獻

Chang, C-P., Harr, P. A., and Chen, H-J.,
“Synoptic Disturbances over the
Equatorial South China Sea and Western
Maritime Continent during Boreal
Winter,” *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 133, No.
3, pp. 489–503, 2005.

Chang, C-P., Millard, J. E. and Chen, G. T. J.,
“Gravitational Character of Cold Surges
during Winter MONEX,” *Mon. Wea.
Rev.*, Vol. 111, No. 2, pp. 293-307, 1983.

Chang, E. K. M., “Midwinter Suppression of
the Pacific Storm Track Activity as Seen
in Aircraft Observations,” *J. Atmos. Sci.*,
Vol. 60, No. 11, pp. 1345-1358, 2003.

Johnson, R.H., Rickenbach, T. M., Rutledge,
S. A., Ciesielski, E., and Schubert H.
“Trimodal Characteristics of Tropical
Convection,” *J. Climate*, Vol. 12, No. 8,
pp. 2397-2418, 1999.

Zhang, C., “Intraseasonal Variability of the
Upper-Ocean Thermal Structure Ob-
served at 0° and 165°E,” *J. Climate*, Vol.
10, No. 12, pp. 3077-3092, 1997.

Study on the Characteristics of Clouds Over the South China Sea by Model Simulation in Comparison With Satellite and Surface Observations

Bo-Shiou Wei and Jou-Ping Hou

Department of Environmental Information and Engineering, CCIT, National Defense University

Abstract

The results show that the change of northeast monsoon intensity obviously affects the interaction of air-sea in the South China Sea, enhances the intensity of convective precipitation, and changes the amount and height of the stratus in the ocean. The sensitivity tests of cloud micro physics indicate minor differences when High cloud is simulated using two selected schemes during winter seasons. Moreover, the cloud amount distribution of Mid cloud simulated by WDM6 has a better result. But, the results also show that over-estimated Low clouds often occur in winter. The simulation of boundary layer physics indicates minor differences of High cloud using three different schemes in winter. However, the results using YSU scheme are closer to observation than other schemes in regard of cloud amount and cloud location.

The simulated High cloud on 100-300 hPa using YSU scheme is closer to observation in Cloud Fraction (referred as CF) part. No significant differences of Mid cloud distribution occur on 700-400 hPa. Obviously, it is under-estimated compared with the actual satellite of CF on 800-950 hPa. In addition, this study also found that the northeast monsoon can penetrate the South China Sea and may interact with the surrounding terrain of the South China Sea to stimulate local deep convection.

After comparing the calculated results of Outgoing Longwave Radiation (OLR) with the satellite observations, it is found that there are obvious differences between some areas and actual observations in cloud coverage distribution, and the cloud coverage corresponding to OLR is not as close to the observed results as the high or medium clouds in the model. Therefore, it is easy to make miscalculation if the cloud coverage is estimated by OLR alone.

Keywords: South-China sea area, Cloud Characteristics, Cloud Fraction, Outgoing Longwave Radiation