

RHC 敏感度測試

童雅卿 胡志文 陳薇鈞
氣象科技研究中心
中央氣象局

摘要

中央氣象局目前正在發展第二代海氣耦合模式，採用更複雜、更接近實際的大氣與海洋模式。大氣模式為中央氣象局所發展之波譜模式，海洋模式則為GFDL所發展之MOM5模式。

目前這個模式所面臨最大的問題在於所模擬出的地球系統能量收支不平衡，過多的太陽輻射被水氣場保留在地球。透過水氣場之診斷可發現在熱帶地區的中低對流層有太多的水蒸氣，但cloud water & cloud ice卻偏少。在大氣模式中雲量才是影響短波輻射的重要因子，但此變數並非是一個預報因子而是個診斷量與cloud water & cloud ice多寡有正相關。RHC(水氣凝結之最低相對濕度) 即為模式中水蒸氣轉換為cloud water過程中重要之控制因子。

本研究之目的在於探討RHC對水氣場之影響，更進一步分析其對氣候模擬之衝擊。

測試結果顯示將 RHC 減少，造成全球海面溫度不斷上升，中對流層 cloud water 減少，地表短波輻射偏差變大。

提高熱帶地區 RHC 可改善中對流層 cloud water mixing ratio 偏少的狀況，進而增加中雲雲量，反射太陽短波輻射，減少地表向下短波輻射偏多現象，但也會造成熱帶地區大尺度降水偏少的情形更為嚴重。

實驗結果顯示此參數對水氣場甚至氣候場能量收支之模擬均有明顯的影響，未來模式對此參數需要更仔細評估與研究。

關鍵字：RHC, one-tier, coupled model

一、前言

中央氣象局第二代一步法海氣耦合模式，大氣部分採用氣象局所發展之全球波譜模式；海洋部分則是採用 GFDL 的 Module Ocean Model version 5(MOM5)模式。

第二代海氣耦合模式採用 MPMD (Multiple Program - Multiple Data)架構來讓大氣與海洋模式能同步進行積分，每個積分步距均能進行海洋與大氣資料之交換，更接近真實世界所發生之情況。

本研究大氣版本為 T119 水平解析度之波譜模式，物理過程採用 NSAS 積雲參數法、RRTMG 輻射參數法和舊版之淺積雲參數法。使用西元 2015 年 4 月 1 日 00 時初始資料進行 30 年積分，對 30 年之氣候場進行診斷分析。此版本在此稱為控制版。

對氣候場之診斷分析，將採用 ERA interim 再分析資料、OISSTv2 的海面溫度、與 GODAS(Global ocean data assimilation system)海洋資料，於西元 1982 至 2011 年之 30 年平均資料來進行校驗。另外，也使用 ISCCP(International Satellite Cloud Climatology Project)西元 1984 年至 2013 年衛星資料所反演出之雲量分佈，來進行校驗。由於主要檢視各變數氣候特徵，與觀測資料時間差異並不影響校驗結果。

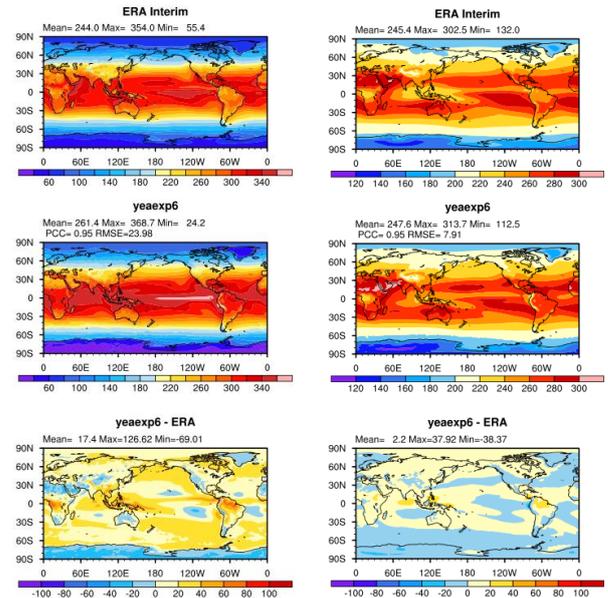


圖 1、大氣層自身短波輻射(左圖)和長波輻射(右圖)，上圖為 ERA interim 資料，中間為模擬 30 年平均場，下圖為模擬氣候場減去 ERA interim 之差值場。Mean 為全球平均值；Max 為最大值；Min 為最小值；PCC 為控制版 ERA-interim 之相關係數；RMSE 為 root mean square error。

海氣耦合模式乃是模擬整個地球系統大氣與海洋之變化，但仍需維持整個地球系統之能量平衡。地球所吸收之太陽短波輻射與地球本身所散發之長波輻射，二者數值必須相當，代表地球本身能量維持一種平衡狀態。檢視此二變數之氣候場，如圖 1 所示，ERA interim 再分析資料顯示地球所吸

收之太陽短波輻射為 244W/m^2 ，地球長波輻射為 245.4W/m^2 ，二者大致相當。但目前所發展之海氣耦合模式則顯示地球所吸收之太陽短波輻射為 261.4W/m^2 ，地球長波輻射為 247.6W/m^2 ，二者相差 13.8W/m^2 。模式之地球長波輻射與 ERA interim 之差異不大，但短波輻射卻明顯偏多，在大部分區域均顯示過多的太陽輻射被保留在地球，反射不足。

由於能量收支的不平衡造成模式預報之全球平均海溫隨時間不斷上升，30年積分大約上升 1.38 度，如圖2所示。

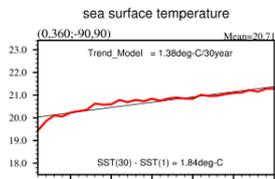


圖 2、全球平均海面溫度隨時間之變化圖。紅線為模式預報值；黑線為其趨勢線。橫軸為積分年。

對於短波輻射之反射，雨雲扮演著重要的角色。中低雲之差值場，如圖3所示，在熱帶地區，有偏多的低雲，但中雲偏少，而雲量多寡與 cloud water & cloud ice 息息相關。

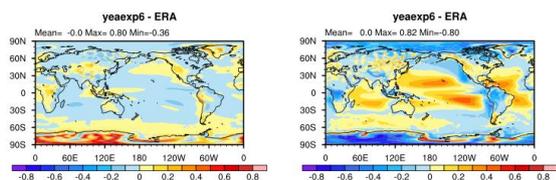


圖 3、如圖4之差值場，但為中雲左圖和低雲右圖。

分析模式30年平均 cloud water & cloud ice 經向平均值與 ERA interim 30年平均氣候場之差值場，如圖4左所示，可發現在南北緯30度間對流層 cloud water & cloud ice 明顯較 ERA interim 少。圖4右之水氣差值場卻顯示水氣偏多。

同樣區域，水氣量偏多，但 cloud water & cloud ice 卻偏少，顯示模式處理水氣量與 cloud water & cloud ice 之間的轉換值得進一步的追縱與探討。

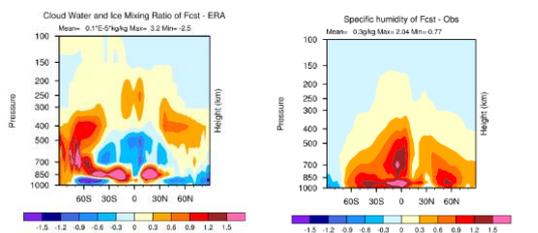


圖4、經向平均之 cloud water & cloud ice mix ratio (左圖) 與為水氣混合比右圖，控制版與 ERA interim 差值場之緯向垂直剖面圖。

在目前的大氣模式中，由於沒有雲物理的處理，僅對 cloud water 進行預報，當大氣溫度低於零下 15 度則視為 cloud ice。以下之討論均用 cloud water 代表 cloud water & cloud ice。模式中水氣要轉換成 cloud water 首先需滿足格點水氣之相對濕度達到某個程度，凝結過程才會發生。RHC 即為此格點

水氣轉換為 cloud water、cloud ice and grid precipitation 之相對溼度判斷標準的參數。

本研究即針對此參數進行敏感度測試，評估其對能量收支與水氣場偏差之影響。

二、測試一版

RHC 是大氣模式中格點水氣轉換為 cloud water、cloud ice and grid precipitation 之最低相對溼度。

$$RHC = \min(0.999 - 0.08 * \cos(\text{lat}) * \cos(\text{lat}), 0.98)$$

上面為 RHC 之定義，lat 是緯度，也就是 RHC 僅是緯度的函數，在赤道約 0.92 ，在極區約 0.98 。在赤道格點相對濕度大於 92% ，就會計算 cloud water 的產生，但同時此參數亦應用在大尺度降水的計算，會有大尺度降水的發生。在高緯度地區，需格點之相對濕度達到 98% ，才會產生 cloud water。

初步調整 RHC，讓所有的 RHC 值減少 0.1 ，預期水氣較容易滿足格點相對濕度之最低要求，更容易將水氣轉成 cloud water，從而增加雲量。此版本為測試 1 版。

將模式進行 30 年積分，但積分 7 年即停止，主要是因為全球海面溫度增暖速度太快。比較全球海面溫度之增暖率，控制版前 7 年大約上升 1 度，但測試 1 版上升了 2.5 度。

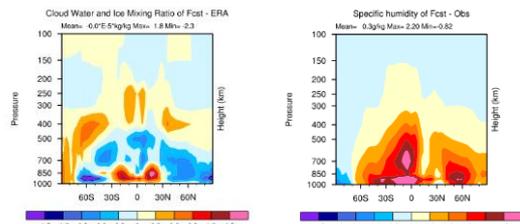


圖 5、如圖4，但為測試版之6年平均場。

比較測試一版水氣與 cloud water 前 6 年平均之緯向垂直分布圖，可發現水氣誤差更多，cloud water 更少，進而造成更多的短波輻射抵達地表(如圖 6 左所示)，加熱海面溫度。

降低格點凝結成 cloud water 之相對溼度判斷標準 (RHC) 為何會造成 cloud water 變少，原因之一可能是與此參數的降低同時影響大尺度降水之產生，更多 cloud water 轉換成大尺度降水，如圖 6 右所示。

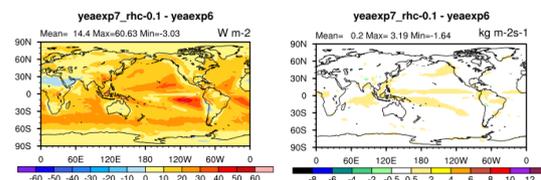


圖 6、測試版地表短波輻射(左圖)和大尺度降水(右圖)之氣候值與控制版之差值場。

雲量之計算公式

$$c = rh^{1/4} \left(1 - \exp \left(\frac{-100ql}{((1 - rh)qs)^{0.49}} \right) \right)$$

其中， rh 為格點的相對濕度； ql 為 cloud water mixing ratio； qs 為飽和水氣壓。

其次，雲量之計算並非單純的 cloud water mixing ratio 的函數，其與格點的相對濕度成正比。當 RHC 變小時，格點之相對濕度超過 RHC 時即開始凝結產生雲滴及大尺度降水，因此格點所能達到的相對濕度也會變低，進而造成雲量估計值變小，雲量變少。雲量少，無法有效反射短波輻射，會造成地表溫度升高，進而加熱大氣，使得飽和水氣壓變大，可容納更多的水氣，如圖 5 右所示。

三、測試二版

由於測試二版顯示降低RHC會造成各變數場更嚴重的偏差，因此測試二版調升熱帶地區RHC的最小值到0.95，也就是赤道地區的格點凝結成cloud water之相對濕度判斷標準(RHC)由0.92提高到0.95，但極區仍維持0.98。將此版本進行30年積分，計算其30年平均氣候場與控制版比較。

首先檢視不同地區平均海面溫度之增溫率。差值為測試二版減去控制版的結果。在不同區域均顯示差值為負，表示測試二版可降低模式不合理的增溫速率。

表一、不同地區平均海面溫度之增溫率(°C/30年)

30year	測試二版	控制版	差值
全球	0.9	1.38	-0.9
南北緯60度間	0.96	1.45	-0.49
南北緯30度間	1.19	1.54	-0.35
南北緯10度間	1.56	1.77	-0.21
熱帶太平洋	1.51	1.63	-0.12
北半球	0.28	0.79	-0.51
南半球	1.48	1.95	-0.47

提高RHC對水氣場與cloud water & cloud ice mixing ratio 之影響如圖7所示，水氣偏差明顯減少，特別是熱帶地區。

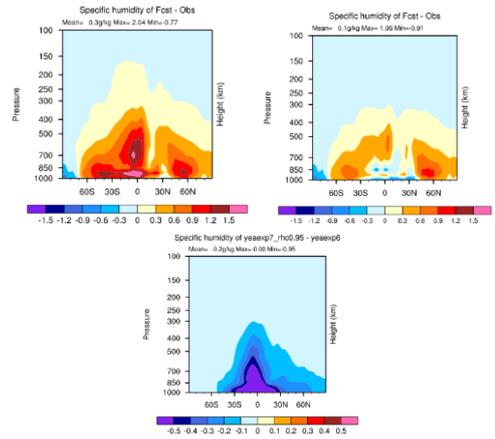


圖 7、經向平均之水氣場，模式氣候值與ERA interim的差值場之縱向垂直剖面圖。由左而由分別為控制版、測試二版。下圖則是測試二版減去控制版之差值場。

對cloud water & cloud ice mixing ratio，主要型態差異不大，熱帶地區中對流層仍明顯偏少，但差值場顯示同樣區域偏少的狀況有所改善(圖8)。850百帕附近的偏多誤差卻增大。在模式中，並無雲冰之預報，而是在850百帕附近藉由大氣溫度來判斷所凝結之水氣為cloud water或cloud ice。此種處理方式是否會影響到cloud water & cloud ice之垂直分布，值得進一步探討。

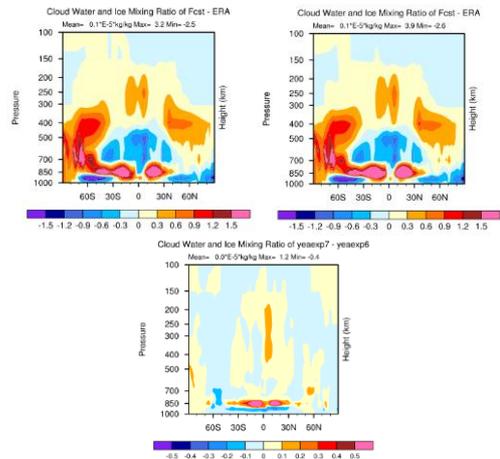


圖 8、如圖 7，但為 cloud water & cloud ice mixing ratio。

測試二版RHC調整對中雲的影響，如圖9所示，可發現與ERA interim 比較仍偏少，但和控制版比較已經變多。雖然測試二版所修改之RHC最小值僅影響熱帶地區，但其效應經長期積分已擴散至全球。

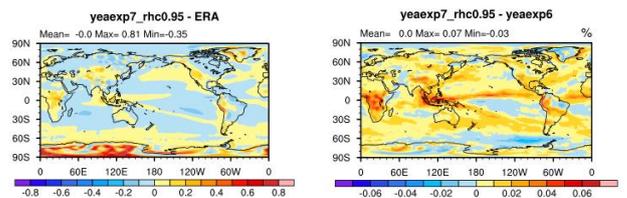


圖 9、測試二版中雲氣候值分別與ERA interim(左圖)和控制版(右圖)之差值場。

分析測試二版對能量收支之影響。檢視地表向下短波輻射可了解大氣對短波輻射之反射程度。圖10為地表向下短波輻射之偏差圖，即模式氣候場減去ERA interim氣候場之差值圖。由此圖中可以發現，控制版全球均顯示過多的短波輻射，表示模式對短波輻射之反射不足。測試二版之偏差型態與控制版極為相似，但二者的差值場顯示提高熱帶地區RHC值對模式在地表之短波輻射誤差之減少有正面的影響。

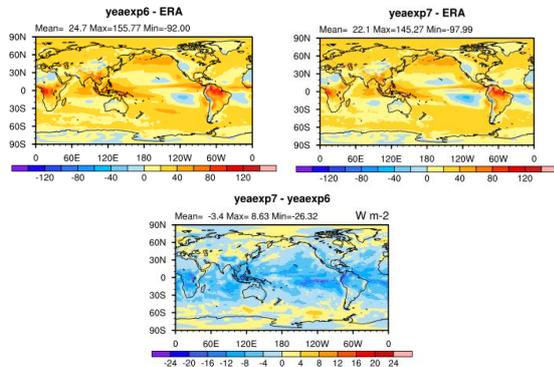


圖 10、地表向下短波輻射氣候場偏差圖，由左而右分別為控制版、測試二版、控制版與測試二版減去控制版之差值場。

大氣層頂淨短波輻射圖顯示控制版與ERA interim之差值場顯示大部分區域偏多，全球平均值較ERA interim 多了 17.4 W/m^2 。測試二版差值場型態類似但全球平均偏差值縮小至 14.0 W/m^2 。測試二版與控制版之差值場顯示大部分偏多區域均有改善。

測試二版對大部分變數之氣候場均有改善，但對大尺度降水卻有反效果。在熱帶地區大尺度降水即偏少，但在測試二版中，此現象更為嚴重。

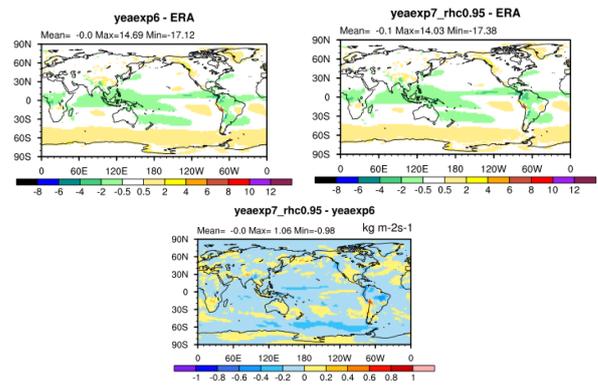


圖 11、地表向下短波輻射氣候場偏差圖，由左而右分別為控制版、測試二版、控制版與測試二版減去控制版之差值場。

四、結論

第二代海氣耦合模式已初步建置完成，採用更高垂直解析度的大氣模式與更先進的海洋模式 MOM5 進行耦合。

目前此海氣耦合模式已可進行長期積分，但其氣候場顯示能量失衡。整個大氣預報吸收太多的太陽短波輻射，而散發出的長波輻射不足，造成整個大氣與陸地處於加熱的狀態，溫度場顯示有明顯的偏暖現象。能量的失衡可能與雲量有關，檢視水氣場發現在熱帶中對流曾有過多的水氣，但 cloud water 和 cloud ice 卻偏少。由於 cloud water 與雲量之計算息息相關，在此對控制水氣凝結之 RHC 參數進行敏感度測試。

RHC 是大氣模式中格點水氣轉換為 cloud water、cloud ice and grid precipitation 之相對溼度判斷標準的控制參數。當格點相對溼度大於 RHC，水氣凝結過程才會啟動。

測試一版將 RHC 減少 0.1，卻造成全球海面溫度不斷上升，中對流層 cloud water 減少，地表短波輻射偏差變大。

測試二版將 RHC 的最小值由 0.92 提高至 0.95，主要影響熱帶地區之參數值。將測試二版積分 30 年，與控制版比較其氣候值，發現此修正可改善中對流層 cloud water mixing ratio 偏少的狀況，進而增加中雲雲量，反射太陽短波輻射，減少地表向下短波輻射之偏多現象。但此測試版也會造成原來熱帶地區大尺度降水偏少的情形更為嚴重。

由上述 2 個測試可發現模式對 RHC 之設定非常敏感，未來對此參數需做更多更嚴謹之測試。

The Sensitivity Test of RHC

Yea-Ching Tung Jyh-Wen Hwu Wei-Jiun Chen

Research and Development Center
Central Weather Bureau

Abstract

The second generation of atmosphere-ocean fully coupled model is under developed in Central Weather Bureau. It uses more complicated and realistic atmospheric and ocean models. The atmospheric model is the spectrum model developed by Central Weather Bureau. The ocean Model is the MOM5 model developed by GFDL.

One of the major problems of this coupled model is the imbalance of the energy of the whole Earth system. Excessive solar radiation is retained on the earth by the water vapor. Diagnosis of moisture fields shows too much water vapor in the middle and low troposphere in tropical regions, but cloud water & cloud ice is less. In the atmospheric model, cloud amount is an important factor affecting shortwave radiation, but this variable is not a predictor but a diagnostic quantity that has a positive correlation with cloud water & cloud ice. RHC (Minimum Relative Humidity for Condensation of Water Vapor) is an important control factor in the process of converting water vapor to cloud water in the model. The purpose of this study is to explore the impact of RHC on the water vapor field and further analyze its impact on climate simulation.

The test results show that the reduction of RHC has caused the global sea surface temperature to rise rapidly, the cloud water in the middle troposphere has decreased, and the bias of shortwave radiation on the surface has increased.

Increasing the RHC in the tropics can improve the low cloud water mixing ratio in the middle troposphere, thereby increasing the cloudiness of the middle clouds, reflecting the solar shortwave radiation, and reducing the excessive downward shortwave radiation from the surface, but it will also cause less large-scale precipitation in the tropics.

Experimental results show that this parameter has a significant impact on the simulation of the energy budget, the water vapor field and even the climate. It need to evaluate and study this parameter more carefully in the future.

Key words: RHC, one-tier, coupled model