

附件一

出國報告 (出國類別：實習)

參與美國氣候預報中心季風訓練 (Monsoon Training Desk)課程

服務機關：交通部中央氣象局

姓名職稱：張美玉 技正

派赴國家：美 國

出國期間：103年5月30日至10月03日

報告日期：103年12月18日

摘要

美國環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)轄下氣候預報中心(Climate Prediction Center, CPC)為推廣美國國家海洋暨大氣總署之氣候模式及重分析資料的應用，並藉由國際交流與整合，加強對季風及氣候系統的監測與研發合作，提升季風影響國家之預報能力，自 2010 年起，擴大舉辦國際性的季風訓練課程(Monsoon Training Desk)，以提供世界各地氣候預報人員參與訓練課程及相關討論會議的機會。

臺灣位於東亞季風區，因季風所帶來的劇烈天氣事件，常造成國人生命及財產的嚴重損失。職此行除了參與上述季風訓練課程，進一步掌握國際作業中心對於季風、聖嬰現象、及季內振盪等系統相關監測與預報作業之最新資訊外，亦在 NCEP 轄下之美國環境模式中心(Environmental Modeling Center, EMC)，進行中央氣象局模式之研發工作，主要為移植 NCEP 最新一代全球預報系統之臭氧及輻射參數化模組至中央氣象局模式。此項工作，目前已完成初步移植建置，未來將進一步針對模式臭氧濃度及輻射通量進行更細部的校驗、修正與評估，並期改進中央氣象局氣候預報作業系統，使能提供中央氣象局天氣及氣候預報作業更佳的參考資訊，提升氣象服務的品質。另一方面，亦在國家科技生根及與世界接軌的目標下，使國家的氣象業務與為民服務能與先進國家同步，為下一階段氣象與氣候預報作業系統的發展，奠立技術交流的平臺與基礎。

關鍵詞：季風訓練課程(Monsoon Training Desk)、輻射及臭氧參數化模組

目次

一、目的	4
二、過程	6
三、心得與建議	12
參考文獻	13
附圖(表)	15

一、目的：

美國環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)轄下氣候預報中心(Climate Prediction Center, CPC)自 1995 年以來，為協助及提升非洲地區的氣候及天氣預報，開始提供非洲地區國家氣象單位有關氣候及天氣預報之訓練課程— Africa Desk；至 2010 年，此計畫更擴大而設立國際性的季風訓練課程 (Monsoon Training Desk)。季風訓練課程的目標為透過教育訓練的方式，推廣美國國家海洋暨大氣總署之氣候模式及重分析資料的應用，以增進季風影響國家氣候預報人員之預報能力；另一方面，並藉由國際交流與整合，加強對季風及氣候系統的監測、預報及研發合作，以提升預報的準確度，減緩季風及氣候系統所帶來的自然災害，並針對乾旱與災變天氣進行風險評估，以提供政府單位及決策者最佳的氣候資訊與指引，保障人民的生命和財產。

臺灣位於東亞季風區，因季風所帶來的劇烈天氣事件，常造成國人生命及財產的嚴重損失。中央氣象局(以下簡稱本局)為取得最新的預報技術，並增進國際合作與交流的機會，自 2011 年起，即積極派員參與此訓練課程。其目的，一方面有助於本局氣候預報人員更深入瞭解及熟習美方氣候預報單位之作業實務及產品應用，以提升本局氣候預報之技術與能力；另一方面，期望透過此交流與合作的機會，促進臺美氣象機關更多面向的實質合作與資源交流。

職此行目的，一方面將參加美國氣候預報中心之季風訓練課程，以掌握國際作業中心對於目前全球季風、聖嬰現象、及季內振盪等氣候系統相關監測與預報作業之最新動態及未來研究發展趨勢；另一方面，亦將在 NCEP 轄下環境模式中心(Environmental Modeling Center；EMC)資深研究員 Dr. Yu-Tai Hou 指導下，進行 NCEP 2014 年最新一代的全球預報模式輻射及臭氧參數化模組的移植工作。

輻射參數化模組可說是數值氣象預報模式中最複雜的物理模組，其與臭氧參數化模組主控數值模式中大氣短波及長波輻射作用量的計算，將直接影響地球－大氣－海洋系統的能量變化；此外，輻射作用量亦為估算溫室效應及氣候變遷強度的度量，因此引進目前國際作業中心最新一代的輻射及臭氧參數化模組，將有助於改進本局全球預報模式與氣候預報系統的物理過程，提升模式預報品質，產出更佳的預報相關資訊與指引供預報作業單位在短期天氣預報、中長期氣候預報以及氣候變遷衝擊評估之參考。

二、 過程：

此次赴美行程及工作內容如下表：

日期	地點與相關工作內容
103/5/27-5/29	臺北→洛杉磯(休假3日提前赴美以處理生活安置相關事宜)
103/5/30	洛杉磯→馬里蘭州
103/6/1-9/30	<ol style="list-style-type: none"> 1. 參與季風訓練課程，由 Dr. Zeng Zen Hu 及 Dr. Wassila Mamadou Thiaw 規劃課程內容及安排課程。 2. 參與例行預報討論會，每月1次的Monthly climate review、海洋、乾旱監測等。 3. 在環境模式中心(EMC)的資深研究員 Dr. Yu-Tai Hou 指導下，進行環境預報中心(NCEP)2014年最新一代的全球預報模式輻射及臭氧參數化模組的移植，工作內容包括： <ol style="list-style-type: none"> (1) 建置測試環境及相關script file新增及修改 (2) 建置輻射及臭氧參數化模組所需新增氣候背景資料 (3) 修改模式流程、撰寫內差程式及建置新增氣候資料於本局模式網格 (4) 建置臭氧參數化模組及相關程式修改 (5) 建置輻射參數化模組及相關程式修改 (6) 進行臭氧參數化模組測試及初步診斷 (7) 進行輻射參數化模組測試及初步診斷 4. 9月16日：於美國氣候預報中心(CPC)報告初步研究成果。
103/10/1-10/3	馬里蘭州→洛杉磯→返回臺北

美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction ; NCEP)隸屬於美國商業部(Department of Commerce)海洋暨大氣總署(NOAA)之國家氣象局(National Weather Service, NWS)，為美國國家氣象局轄下一全國性、專業性的支援中心。NCEP 下共有 7 個專業中心及 2 個技術中心，7 個專業中心包括氣候預報中心(Climatic Prediction Center, CPC)、天氣預報中心(Weather Prediction Center, WPC)、海洋預報中心(Ocean Prediction Center, OPC)、風暴預報中心(Storm Prediction Center, SPC)、航空天氣中心(Aviation Weather Center, AWC)、國家颶風中心(National Hurricane Center, NHC) 以及太空天氣預報中心(Space Weather Prediction Center, SWPC)，分別負責美國不同任務需求的預報工作；此外，2 個技術中心—環境模式中心(Environmental Modeling Center, EMC)及 NCEP 作業中心(NCEP Central Operations)則分別負責模式的研發以及預報模式相關的作業化任務。

職此次奉派赴美國NCEP研習，主要合作交流的單位為美國國家環境預報中心轄下的CPC及EMC，主要任務包括參與CPC之季風訓練課程（Monsoon Training Desk），並在 EMC Dr. Yu-Tai Hou 指導下，移植NCEP/EMC最新一代全球預報模式之輻射及臭氧參數化模組至本局模式，以下將就各任務逐一說明。

（一）季風訓練課程（Monsoon Training Desk）

季風訓練計畫為美國 CPC 近年來所推動的一國際性的氣候預報作業單位預報及研發人才培訓計畫，其訓練課程為期 4 個月，主要的課程內容包括：

1. 氣候預報中心任務、組織架構、預報作業產品及對外提供的氣候資料與服務項目說明。
2. 亞洲季風、非洲季風、北美季風、南美季風、聖嬰現象以及季內震盪等重要氣候系統之專題講述。

3. 氣候預報中心應用美國國家海洋暨大氣總署之重分析資料及氣候模式預報資料進行預報、校驗之作業流程與方法介紹。

此計畫之目的為透過季風訓練課程的培訓，增進季風影響國家氣候預報人員之預報能力，提升預報的準確度，以減緩季風及氣候系統所帶來的自然災害及人民生命財產的損失。課程中除了講述季風等重要氣候系統的理論、監測現況及分析預報方法外，並針對目前CPC例行的預報任務如6-10天、8-14天的降水與溫度展望、3-14天(美國及全球熱帶地區)的災害性天氣展望、月季預報、以及乾旱、颶風與ENSO (El Nino Southern Oscillation)的月季展望，所採用的統計模式、動力模式及系集預報系統加以說明。CPC現今所採用的統計模式包括CCA (Canonical Correlation Analysis)、OCN (Optimal Climate Normals)等，動力模式則包括美國NCEP全球預報模式(NCEP/Global Forecast System)、氣候預報模式(NCEP/Climate Forecast System)以及 ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecasts)等預報模式。此外為長期氣候預報所發展的國家多模式系集系統(National Multi-Model Ensemble, NMME)，目前亦已納入NCEP之CFSV2、GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory)之CM2.1 (Climate Model version 2.1)及CM2.5-FLOR (Forecast-oriented Low Ocean Resolution version of CM2.5)、NCAR (National Center for Atmospheric Research)之CCSM3.0 (Community Climate System Model version 3)及CCSM4 (Community Climate System Model version 3)、NASA (National Aeronautics and Space Administration)之氣候模式以及加拿大氣象中心(Canadian Meteorological Centre)之氣候模式 CMC1-CanCM3 及 CMC2-CanCM4 等8個模式109系集成員之預報產品(如表一)，可供預報作業使用。未來更將透過國際合作的方式，增加National Multi-Model Ensemble的成員，朝向國際多模式系集(International Multi-Model Ensemble, IMME)的目標前進，希望透過各國模式結果之相互比較與校驗，模式發展者之交流與相互激盪，加速各國模式的發展與改進，以提升二週以上至年際尺度之模式預報能力。

(二) 模式移植：

1. 研究目的

太陽的短波輻射為地球—大氣系統能量的來源，此外長波輻射和大氣的溫室效應兩者息息相關，亦為維持地球—大氣系統溫度相對穩定的主要機制，輻射參數化模組為數值模式中最複雜的物理模組，其與臭氧參數化模組主控數值模式中大氣短波及長波輻射作用量的計算，將直接影響地球—大氣—海洋系統的能量變化；此外，輻射作用量亦為估算溫室效應及氣候變遷強度的度量，因此引進目前國際作業中心最新一代的輻射及臭氧參數化模組，將有助於改進本局全球預報模式與氣候預報系統的物理過程，提升預報品質，並提供預報作業單位在短期天氣預報、中長期氣候預報以及氣候變遷衝擊之評估方面，更佳的預報資訊與指引。

2. 參數化方法簡介

2.1 臭氧參數化方法

臭氧參數化方法採用 Cariolle and Deque (1986) 修正版本，此參數化方法假設大氣中臭氧(O₃)的化學變化將依一線性鬆弛方程而趨近於光化平衡，其隨時間(t)變化之預報方程如下：

$$\frac{dO_3}{dt} = C_0 + C_1(O_3 - \overline{O_3}) + C_2(T - \overline{T}) + C_3(O_3^\uparrow - \overline{O_3^\uparrow})$$
$$O_3^\uparrow(p) = -\int_p^0 \frac{O_3(p')}{g} dp'$$

其中 T 為溫度、P 為氣壓、g 為重力加速度、C_i (i=0, 1, 2, 3) 為鬆弛係數(relaxation coefficient)、 $O_3^\uparrow(p)$ 為大氣層頂(p=0)至氣壓 p 面上單位面積累積之臭氧質量、 \overline{T} 、 $\overline{O_3}$ 、 $\overline{O_3^\uparrow}$ 為溫度、臭氧濃度及大氣層頂至氣壓 p 面上單位面積累積臭氧質量之光化平衡值，鬆弛係數與光化平衡值資料則由光化模式所提供。

2.2 輻射參數化方法

輻射參數化方法採用 RRTMG (Iacono et al., 2008) - McICA (Pincus and Morcrette, 2003) 方法 (Rapid Radiative Transfer Model for GCM - Monte Carlo Independent Column Approximation)，此方法乃利用相關 K-分布方法(correlated k-distribution technique)簡化輻射通量之計算，以輻射吸收氣體之吸收係數 K 的累積機率分布函數(g)，將輻射光譜由數(十)萬個波頻線積分計算，簡化為數十個 g 波段之輻射通量累加，以計算大氣短波及長波的輻射通量及衍生之加熱率。此外，並透過亂數取樣方式(Monte Carlo Independent Column Approximation)，處理次網格雲的分布及其對輻射的影響。NCEP 新一代輻射參數化模組包括天文、懸浮微粒、(溫室)氣體、地表、雲、短波及長波計算等 7 個子模組，分別處理影響大氣輻射作用量的各主要機制。

3. 模式移植的主要工作項目：

- (1) 建置測試環境及相關script file新增及修改。
- (2) 建置輻射及臭氧參數化模組所需新增氣候背景資料。
- (3) 修改模式流程、撰寫內差程式及建置新增氣候資料於本局模式網格。
- (4) 建置臭氧參數化模組及相關程式修改。
- (5) 建置輻射參數化模組及相關程式修改。
- (6) 進行臭氧參數化模組測試及初步診斷。
- (7) 進行輻射參數化模組測試及初步診斷。

4. 研習成果：

4.1 模式新增背景資料場建置及內插至本局模式網格

4.1.1 輻射參數化模組所建置之相關資料場包括：

- (1) 天文模組：11 年太陽黑子週期影響之太陽常數表。
- (2) 懸浮微粒模組：

- a. 對流層 OPAC (Optical Properties of Aerosols and Clouds) -氣候懸浮微粒月平均資料。
 - b. 平流層火山噴發之懸浮微粒月平均資料。
- (3) 溫室氣體模組：二氧化碳月平均及年平均資料。
- (4) 地表模組：
- a. 反照率氣候背景資料。
 - b. 地表放射率氣候背景資料。

4.1.2 臭氧參數化模組所建置之相關資料場包括臭氧光化鬆弛係數資料。

4.1.3 完成反照率等氣候背景資料內插至本局模式網格，如圖 1 所示，將 NCEP 模式網格 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 解析度資料內差至本局 GFST512 模式網格(~25 公里)解析度。

4.2 臭氧參數化模組建置及初步診斷

臭氧參數化模組目前已建置於本局全球模式，並進行個案測試及初步校驗診斷。個案時間為 2013/01/18/1200 UTC，模式進行 120 小時(5 天)積分，由圖 2 模式臭氧初始場及模式 5 天預報的逐日臭氧預報場可見，臭氧濃度分布及型態在大氣環流系統的動力與物理機制影響下，伴隨環流系統進行平流、擴散及光化反應等物理過程，其 5 天的模式積分結果均呈現穩定而合理的表現，其極值亦在合理的數值範圍內。由圖 3 臭氧參數化模組對模式臭氧變化之影響顯示，由於太陽短波輻射於此季節直射南半球，因此在此 1 月的個案中，臭氧參數化模組在偏南的間熱帶輻合區內，大氣高層因太陽短波輻射之光化效應增強，將使其臭氧濃度增加；此外，對於南半球極區高層，則因氟氯碳化物造成此區域臭氧濃度減少之故，臭氧參數化模組亦模擬出此效應之影響，使此區域之臭氧濃度減少。由於以上效應皆與臭氧光化鬆弛係數及臭氧預報方程所致之光化平衡趨勢有關，未來將

進一步取得較完整之臭氧觀測資料，將模擬結果與觀測資料進行更詳細的校驗評估，以進行下一階段臭氧參數化方法之調整及作業性測試。

4.3 輻射參數化模組建置及初步診斷

輻射參數化模組業經相關架構修改及新增模組建置與測試調整，目前亦已完成初步移植建置。由個案 2013/01/18/12UTC，5 天(120 小時)積分預報結果 (圖 4) 顯示，輻射參數化模組在 5 天積分過程，並未出現任何不穩定的數值預報結果，其輻射分布型態亦屬合理，但其地表之長波與短波輻射通量值偏弱，此原因經初步診斷，可能與雲模組中、低、高雲分量之計算有關，未來將進一步針對輻射及其相關模組如雲模組、積雲、大尺度降水及淺積雲參數化模組進行更細部的校驗與評估，調整及修正雲量之計算，以改進地表輻射量之偏弱情形。

三、心得與建議

職此次參與 NCEP/CPC 季風訓練課程，在此為期 4 個月的短暫訓練期間，深刻體驗此一課程之內容豐富，授課講師皆為美國 NCEP/CPC 內部相關領域的一時之選，授課內容亦兼具理論與實務需求，參與此課程不僅有助於增進本局氣候預報人員的專業知識及預報能力，更重要的是拓展氣象局人員的國際視野及與國際交流合作的機會。此一交流機會將有助於臺美氣象作業單位的持續合作與加強政府對外的國際接軌。建議本局應持續支持此訓練計畫及維持此合作關係。

此外，NCEP/EMC 為 NCEP 轄下所有預報中心的資訊來源，猶如 NCEP 預報資訊的心臟部門，其有關全球大氣模式、大氣—海洋偶合模式與資料同化等先進技術的研發，長久以來，一直為本局借鏡及學習的對象。雖然氣象科技的發展持續更進，但全球暖化所帶來的極端天氣加劇、旱澇頻仍、酷暑與嚴寒季節交替等天候現象，卻更加深全世界各國氣象及政府有關單位對長期氣候預報之迫切需

求，各國政府在氣候變遷的衝擊下，皆期望獲得更多實用性的氣候預報資訊，以因應未來即將面臨的相關挑戰與衝擊。由 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) AR5 (the Fifth Assessment Report) 最新報告顯示，動力預報模式之系集預報產品仍是目前最具有預報能力之氣候預報資訊來源；此外，由實際業務面考量，如本局長期預報單位在進行月季預報時，亟需取得長期且良好的氣候模式預報數據資料，以進行於不同季節、不同系統之預報診斷校驗及預報誤差修正；由於此龐大的模式數據資料並不易由外界取得，因此本局在模式研發方面，實有必要投入更多的資源及人力，以加強本局全球預報模式及氣候預報系統之發展與改進，使預報作業單位能獲得更優質的預報資料及參考。建議本局能與 EMC 建立正式且長期的合作夥伴關係或合作計畫，將有助於延續本局有關預報任務等相關專業技術的持續發展，以提供政府與國人最先進的氣象服務及預報資訊。

參考文獻：

Barker, H.W., R. Pincus, and J.-J. Morcrette, 2003: The Monte-Carlo Independent Column Approximation: Application within large-scale models. *Proceedings of the GCSS/ARM Workshop on the Representation of Cloud Systems in Large-Scale Models*. May 2002, Kananaskis, Alberta, Canada, 10pp.

Cariolle, D. and M. Deque, 1986 : Southern hemisphere medium-scale waves and total ozone disturbances in a spectral general circulation model. *J. Geophysical Res.*, **91**, 10825-10846.

Clough, S.A., M.W. Shephard, E.J. Mlawer, J.S. Delamere, M.J. Iacono, K. Cady-Pereira, S. Boukabara, and P.D. Brown, 2005: Atmospheric radiative transfer modeling: A summary of the AER codes. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.*, **91**,

233-244.

Iacono, M. J., J. S. Delamere, E. J. Mlawer, M.W. Shephard, S.A. Clough, and W.D. Collins, 2008: Radiative forcing by long-lived greenhouse gases: Calculations with the AER radiative transfer models. *J. Geophys. Res.*, **113**, D13103, doi:10.1029/2008JD009944.

Pincus, R., H.W. Barker, and J.-J. Morcrette, 2003: A fast, flexible, approximate technique for computing radiative transfer in inhomogeneous clouds. *J. Geophys. Res.*, **108**, D13, doi:10.1029/2002JD003322.

附圖(表)：

表 1. NMME Forecast Models (Real-time May 2014-current)。

Model name	Period	Members	Lead(months)	Reference
NCEP-CFSv2	1982-2010	24(28)	0-9	Saha et al. (2010)
GFDL-CM2.1	1982-2010	10	0-11	Delworth et al. (2006)
GFDL-FLOR	1982-2010	24	0-11	Jia et al. (2014), Vecchi et al. (2014)
CMC1-CanCM3	1981-2010	10	0-11	Merryfield et al. (2012)
CMC2-CanCM4	1981-2010	10	0-11	Merryfield et al. (2012)
NCAR-CCSM3.0	1982-2010	6	0-11	Kirtman and Min(2009)
NCAR-CCSM4	1982-2010	10	0-11	Infanti and Kirtman (2014; in preparation)
NASA	1981-2010	11	0-8	Rienecker et al. (2008)

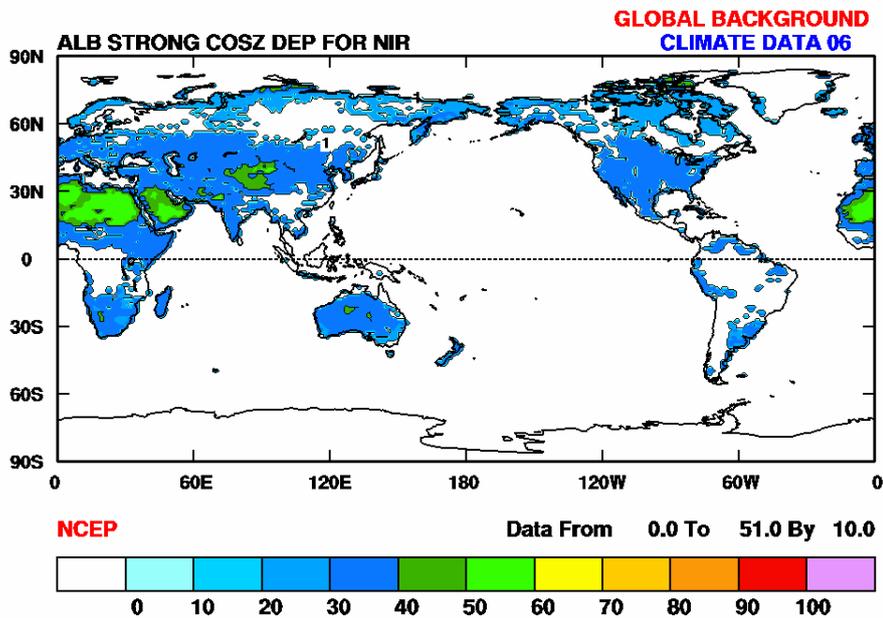


圖 1. (a) NCEP 模式 $1^\circ \times 1^\circ$ 解析度反照率氣候背景場。

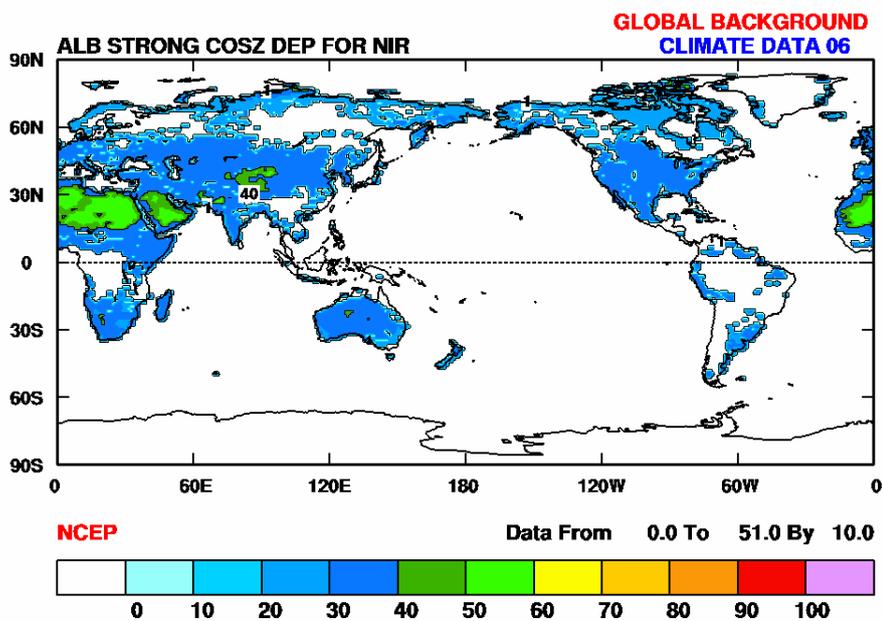


圖 1. (b) CWB 全球模式 T512 (~25 公里) 解析度反照率氣候背景場。

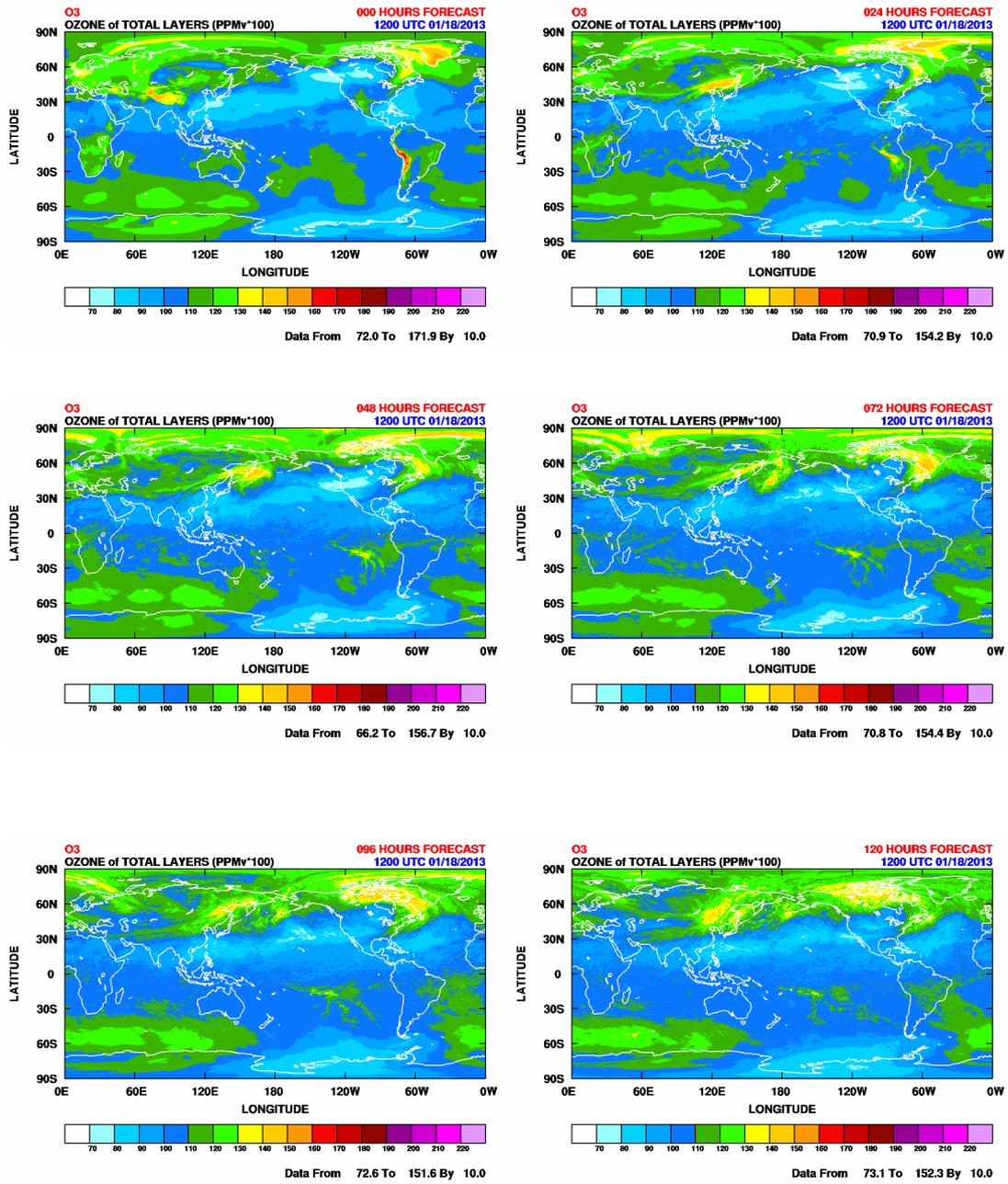


圖 2 2013/01/18/1200 UTC 個案臭氧整層濃度初始場及預報 1~5 天預報場變化 (024/048/072/096/120 小時預報場)。

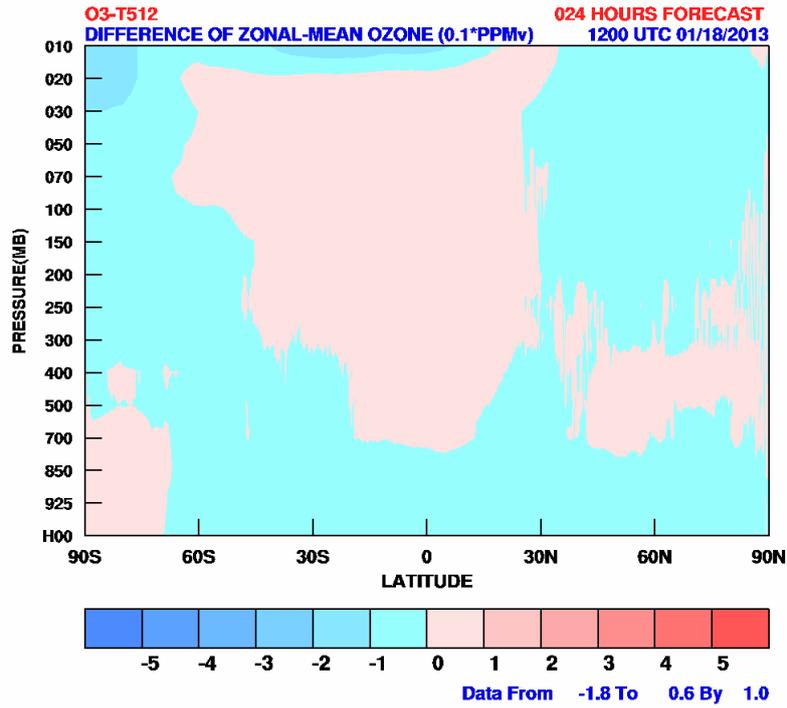


圖 3 (a) 臭氧參數化模組所影響之 zonal mean 臭氧變化(24 小時預報)。

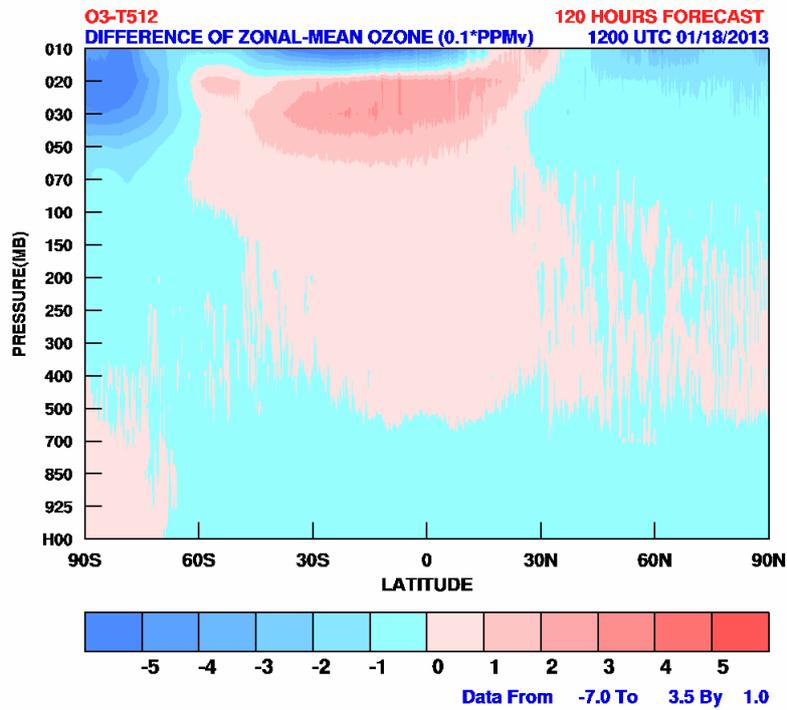


圖 3 (b) 臭氧參數化模組所影響之 zonal mean 臭氧變化(120 小時預報)。

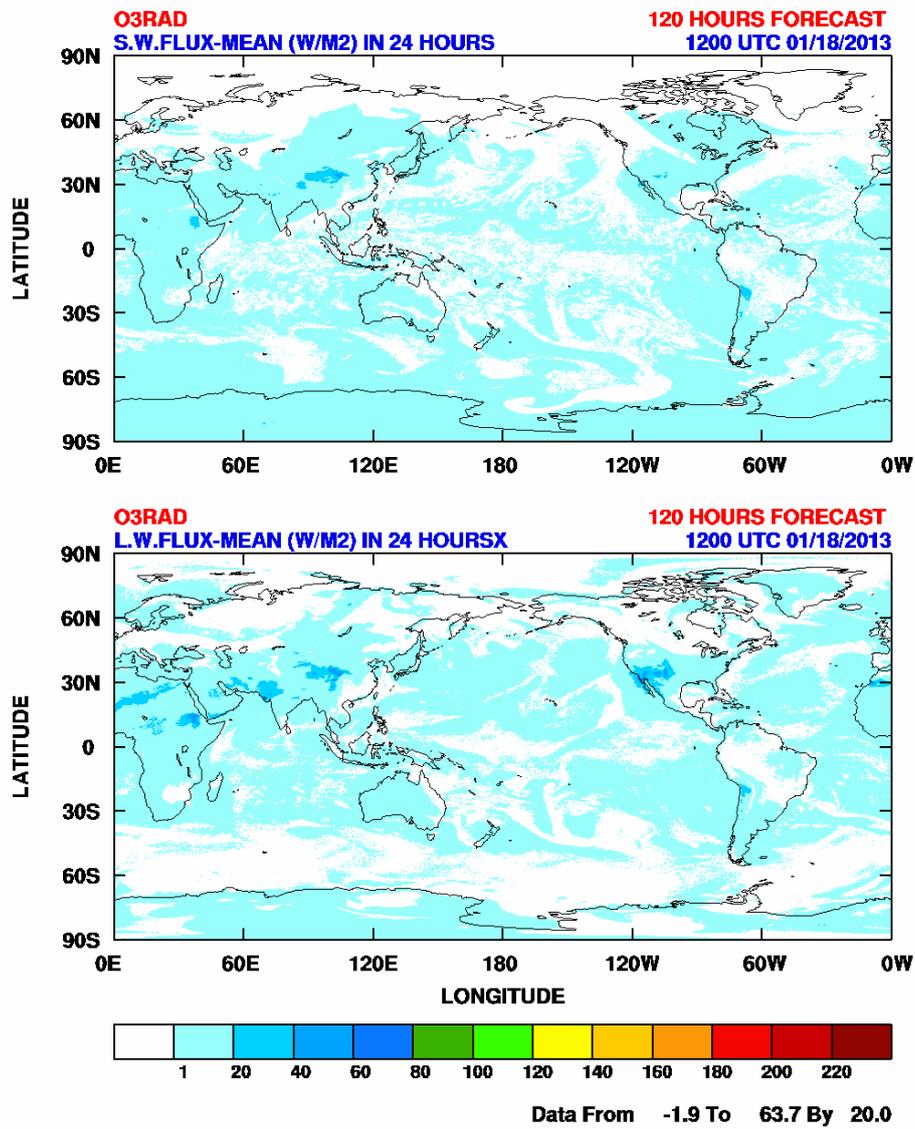


圖 4 輻射參數化模組計算之 24 小時平均短波及長波輻射通量(120 小時預報)。