

交通部中央氣象局  
委託研究計畫期末成果報告

作業性數值天氣或氣候預測模式對於季內尺度天氣系統的  
動力或物理過程診斷分析

Diagnostic Analysis of Dynamic or Physical Process of  
Intraseasonal Weather System on Operational Numerical  
Weather Prediction Model or Climate Prediction Model.

計畫類別：氣象    海象    地震

計畫編號：MOTC-CWB-100-M-13

執行期間：100 年 2 月 23 日至 100 年 12 月 31 日

計畫主持人：陳正平

許晃雄

翁春雄

執行機構：臺灣大學大氣科學系

本成果報告包括以下應繳交之附件(或附錄)：

- 赴國外出差或研習心得報告 1 份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告 1 份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各 1 份

中華民國一百年十一月三十日

政府研究計畫期末報告摘要資料表

計畫中文名稱	作業性數值天氣或氣候預測模式對於季內尺度天氣系統的動力或物理過程診斷分析		
計畫編號	MOTC-CWB-100-M-13		
主管機關	交通部中央氣象局		
執行機構	國立臺灣大學		
年度	100	執行期間	100年2月23日 至 100年12月31日
本期經費 (單位：千元)	629		
執行進度	預定(%)	實際(%)	比較(%)
	100	100	0
經費支用	預定(千元)	實際(千元)	支用率(%)
	629	629	100
研究人員	計畫主持人	協同主持人	研究助理
	陳正平	許晃雄、翁春雄	曾品涵
報告頁數	99	使用語言	中文
中英文關鍵詞	季內振盪 (Intraseasonal Oscillation) 氣候預報模式 (Climate Prediction Model) 頻譜分析 (Spectrum Analysis) 經驗正交函數 (Empirical Orthogonal Function)		
研究目的	本計畫目的為建立季內尺度天氣系統的模式診斷分析工具，作為瞭解與呈現中央氣象局氣候預測模式對季內尺度天氣系統的物理機制與預測能力，並對氣候預測作業模式對改善季內天氣預報的策略與執行，提出具體建議。		
研究成果	<p>一、模式對氣候平均、總變異數與 30-60 天變異數模擬結果，經過 Pattern Correlation 與 NRMSE 比較，發現模式對 850hPa 與 200hPa 緯向風場的模擬 OLR 與降水量好，對降水量的模擬較差。在兩組 ECHAM5 與 GFS 模式比較上，ECHAM5 比 GFS 的結果好。此外，不論是夏季或是冬季，不同海溫對模式的影響，小於模式之間的差異。</p> <p>二、分析 CAPE、CIN、LCL 與 LFC 的季節平均發現，夏季與冬季 GFS 模式在熱帶洋面上，CAPE 較大、CIN 值較小，LCL 與 LFC 值較低，較有利於對流生成，在熱帶西太平洋上，ECHAM5 的 CAPE 較小、LCL 與 LFC 值較高，較不利於對流生成。但就空間結構分佈而言，ECHAM5 較</p>		

接近重分析場。

三、降水量分析結果顯示，模式在冬季的模擬結果較夏季時為佳，海溫對降水量模擬的影響小於模式間的差異。平均場分析顯示，兩組模式差異較小，但總變異數與季內變異數分析結果顯示，ECHAM5 的模擬結果優於 GFS。

四、利用 Pattern Correlation 與 NRMSE 分析氣候平均場、總變異數及季內總變數，結果顯示在夏季與冬季 OLR 與 200hPa 緯向風場的差異不大，不過，在冬季時，850hPa 的模擬結果優於夏季。

五、在夏季三個區域的模擬分析中，南海與菲律賓東部西北太平洋地區（ $10^{\circ}\text{N}$ - $20^{\circ}\text{N}$ ， $110^{\circ}\text{E}$ - $140^{\circ}\text{E}$ ）區域以 ECHAM5\_CFS 在 0531 的模擬較佳，而在熱帶東印度洋（ $5^{\circ}\text{S}$ - $5^{\circ}\text{N}$ ， $80^{\circ}\text{E}$ - $95^{\circ}\text{E}$ ）與印度半島西側阿拉伯海附近（ $10^{\circ}\text{N}$ - $15^{\circ}\text{N}$ ， $65^{\circ}\text{E}$ - $75^{\circ}\text{E}$ ）區域則以 GFS\_CFS 的模擬較佳。似乎，在夏季使用 CFS 海溫模擬季內 OLR 的效果較好。冬季針對澳洲北部外海地區季內振盪的模擬 ECHAM5\_OPG 在 1031 的 run 中模擬出週期 30 天的頻譜，但在 1130 的 run 中並未模擬出顯著季內擾動頻譜，所以，似乎較接近預報初始場的季內擾動模擬結果並不一定較佳。

六、使用波譜分析 OLR 結果，發現 ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 不論在夏季或是冬季，西移的現象均較東移的現象明顯。而且，夏季或是冬季，GFS\_CFS 與 GFS\_OPG 使用 0430 與 1031 的 runs 時，訊號均比使用 0531 與 1130 的 runs 時，訊號偏弱。GFS\_CFS 與 GFS\_OPG 分別使用 0531 與 1130 的 run 來分析夏季與冬季的 OLR 季內擾動波數頻率時，會出現波數 0 的特殊現象，而使用 0430 與 1031 的 run 來分析卻無此現象出現。相對於 ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG，亦無此現象出現。不同模式使用不同海溫對於 OLR 季內擾動的波數頻率模擬，對改善季內擾動西移或東移現象不大，主要影響在訊號強弱差異。

七、利用波數與頻率分析結果顯示，ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 不論在夏季或是冬季，西移的現象均較東移的現象明顯。不同模式使用不同海溫對於 OLR 季內擾動的波數頻率模擬，對改善季內擾動西移或東移現象不

大，主要影響在訊號強弱差異。GFS\_CFS 與 GFS\_OPG 分別使用 0531 與 1130 的 run 來分析夏季與冬季的 OLR 季內擾動波數頻率時，會出現波數 0 的特殊現象，而使用 0430 與 1031 的 run 來分析卻無此現象出現。而 ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG，亦無此現象出現。

八、使用單變數 EOF 分析熱帶地區季內擾動結構與移行特性，發現在夏季，兩組模式並無法在熱帶印度洋與西太平洋地區模擬出與觀測資料相近的季內擾動結構與東移現象，不過，ECHAM5 模式在西北太平洋模擬出向西北移行的季內擾動，這與觀測結果類似。冬季時，兩組模式在不同海溫的驅動下，模擬結果相似度較低。不論是夏季或冬季，兩組模式無法模擬類似觀測值的季內空間結構、分佈與移行現象，而且解釋的變異數較觀測值低，大約只有觀測值的 50%。

九、利用多變數 EOF 分析 OLR、850hPa 緯向風場與 200hPa 緯向風場的季內擾動，在季內空間結構的分佈模擬上，發現 ECHAM5 的模擬結果較 GFS 好，季內擾動強度的時間序列相關係數分析與 NRMSE 分析顯示在冬季 ECHAM5 的模擬結果較夏季好，GFS 則是在夏季模擬結果較好，使用 CFS 海溫模擬結果略優於 OPG 海溫。不過，因為相關係數值均未超過 0.2，統計上的意義較低，分析其 pattern correlation 與 NRMSE，整體而言，冬季的模擬結果均較夏季為佳。

研究流程說明附圖如下：

	<pre> graph TD     subgraph SST_Forcing [SST Forcing]         CFS_SST[CFS/SST]         OPG_SST[OPG/SST]     end     subgraph Climate_Models [Climate Models]         CWB_GFS_ECHAM5[CWB/GFS and ECHAM5]     end     subgraph Ensemble_Forecasts [Ensemble Forecasts]         GFS_CFS[GFS/CFS]         GFS_OPG[GFS/OPG]         ECHAM5_CFS[ECHAM5/CFS]         ECHAM5_OPG[ECHAM5/OPG]     end     subgraph Evaluation [Evaluation]         MSVA[Mean State and Variance Analysis Pattern Correlation and NRMSE Analysis]         SA[Spectra Analysis]         WFS[Wavenumber - Frequency Spectra Analysis]         UEOF[Univariate EOF Correlation Phase Analysis]         RMM[RMM Analysis]     end     subgraph Conclusion [Conclusion and Suggestion]         CS[Conclusion and Suggestion]     end      CFS_SST --&gt; CWB_GFS_ECHAM5     OPG_SST --&gt; CWB_GFS_ECHAM5     CWB_GFS_ECHAM5 --&gt; GFS_CFS     CWB_GFS_ECHAM5 --&gt; GFS_OPG     CWB_GFS_ECHAM5 --&gt; ECHAM5_CFS     CWB_GFS_ECHAM5 --&gt; ECHAM5_OPG     GFS_CFS --&gt; MSVA     GFS_OPG --&gt; MSVA     ECHAM5_CFS --&gt; MSVA     ECHAM5_OPG --&gt; MSVA     MSVA --&gt; SA     SA --&gt; WFS     WFS --&gt; UEOF     UEOF --&gt; RMM     RMM --&gt; CS </pre>
具體落實應用情形	<p>本研究所使用的 CLIVAR 評估季內振盪的診斷程式與其他相關分析技術，除透過上課或講解方式向氣象局相關人員提供至少兩小時以上的報告與討論外，並將程式與分析圖檔燒錄成光碟資料，提供氣象局相關人員持續分析研究，俾利本研究技術成果，能落實於氣象局氣候預報分析作業，進一步提升氣象局對季內振盪分析及氣候預報能力。</p>
計畫變更說明	無
落後原因	無
檢討與建議 (變更或落後之因應對策)	無

(以下接全文報告)

# 作業性數值天氣或氣候預測模式對於季內尺度天氣系統 的動力或物理過程診斷分析

## 摘要

本計畫目的為建立季內尺度天氣系統的模式診斷分析工具，作為瞭解與呈現中央氣象局氣候預測模式對季內尺度天氣系統預測與瞭解模式季內擾動物理機制，並對氣候預測作業模式對改善季內天氣預報的策略與執行，提出具體建議。

本研究利用美國氣候變化與預測研究計畫（CLIVAR）季內振盪工作團隊發展的季內振盪評估診斷方法，分析 1981-2005 年夏季及冬季 NCEP R2 重分析場及 1997-2005 年 GPCP 夏季及冬季降水量，與 GFS\_CFS、GFS\_OPG、EC5\_CFS 及 EC5\_OPG 四組氣候預測模擬的 OLR、降水量、850hPa 緯向風場與 200hPa 緯向風場，瞭解模式對基本場與季內振盪的模擬能力。

初步分析結果顯示，模式與 NCEP R2 與 GPCP 在氣候平均、總變異數與 30-60 天變異數模擬均能掌握主要空間結構，200hPa 緯向風場的模擬較其他變數好，對降水量的模擬略差。在 ECHAM5 與 GFS 模式比較上，ECHAM5 比 GFS 的結果好。此外，不論是夏季或是冬季，不同海溫對模式的影響，小於模式之間的差異。整體而言，冬季的模擬結果較夏季佳。

區域頻譜分析顯示，模式使用 CFS 的海溫對模擬季內擾動訊號，比 OPG 海溫的結果好，不同海溫會影響模式模擬頻譜變化。波數頻譜與經驗正交函數分析顯示 ECHAM5 不論在夏季或是冬季，西移的現象現象明顯。模式使用不同海溫對於季內擾動對改善季內擾動西移或東移現象不大，主要影響在訊號強弱差異。GFS 與 ECHAM5 對於模擬季內振盪能力仍有改善空間。

## Abstract

The objective of this project is to set up diagnostics tool and to understand and present the intraseasonal variability, physical process and predictability in the CWB climate prediction model. Suggestions on model's further improvement will be also proposed.

To understand and present the intraseasonal variability and predictability in the CWB climate prediction model, 850hPa zonal wind, 200hPa zonal wind, precipitation and OLR from prediction of CWB/GFS and ECHAM5 climate models driven by CFS/SST and OPG/SST are compared with those from NCEP R2 reanalysis in summer and winter from 1981 to 2005 and GPCP precipitation in summer and winter from 1997 to 2005 with diagnostics including climatology, total variance, intraseasonal variance, spectrum analysis, wavenumber-frequency analysis, EOFs and correlation coefficient analysis for objectively evaluating the MJO developed by the US-CLIVAR MJO working group.

The results show both modes display better simulation of 200hPa zonal wind in mean state, total variance and intraseasonal variance, but worse simulation of precipitation. In spite of CFS or OPG sea surface temperature forcing, ECHAM5 performs better than GFS. The prediction of winter is better than it in summer.

In spectrum analysis of summer intraseasonal variance, both GFS and ECHAM5 models show better intraseasonal signal by using CFS SST than by using OPG SST. The notably westward migration of intraseasonal signal of ECHAM5\_CFS and ECHAM5\_OPG were shown in summer and winter by wavenumber-spectrum and EOFs analysis. The difference SST forcing affects the intensity of intraseasonal signal, but has less influence on migration direction .

### 中英文關鍵字：

季內振盪 (Intraseasonal Oscillation)

氣候預報模式 (Climate Prediction Model)

頻譜分析 (Spectrum Analysis)

經驗正交函數 (Empirical Orthogonal Function)

## 壹、前言

季內振盪 (Madden and Julian Oscillation, 簡稱 MJO) 為週期 40-50 天, 發生在熱帶及副熱帶地區的大氣擾動 (Madden and Julian, 1971; 1972; 1994), 在冬季時, 季內振盪由熱帶西印度洋沿著赤道向東移行, 夏季時, 除了沿赤道東移外, 在印度及西北太平洋地區亦有向北及西北移行特性 (Hsu and Weng, 2001; Hsu et al, 2004), 季內振盪除了影響熱帶地區天氣外, 亦會透過向北移行擾動, 影響中高緯度地區天氣 (Weickmann, 1983)。季內振盪對颱風 (Maloney and Hartmann, 2000)、季風 (Yasunari, 1979; Yasunari, 1980; Hendon and Liebmann, 1990a; Hendon and Liebmann, 1990b) 與 ENSO (Moore and Kleeman, 1999; Slingo et al, 1999) 的生成發展扮演重要角色。

目前國際上, 各先進國家天氣預報作業模式或氣候模式, 對季內振盪的預報能力普遍不佳 (Slingo et al., 1996; Lin et al, 2006; Sperber and Waliser, 2008), 無法精確預報季內振盪的生成。所以, 模式對季內振盪的模擬成果, 便成為評定預報模式優劣的方法之一。目前世界氣象組織也將改善季內尺度天氣系統的預測列為重點項目。

Hsu and Weng (2001) 與 Hsu et al (2004) 發現在季內振盪對流東側具有負的潛熱距平, 對流移行前緣, 低層有正的水氣輻合距平, 這點與 Frictional Wave-CISK 機制類似 (Wang 1988; Salby et al. 1994), 而 Sperber and Waliser (2008) 亦發現在部分的模式模擬中, 在較強季內振盪訊號時, 對流東側具有負的潛熱距平, 而在強對流移行前緣, 邊界層 (925hPa) 有正的水氣輻合距平。不過, 大部分的大氣環流模式在模擬水氣的垂直結構與季內振盪相位的關係時, 還是無法模擬出對流前緣低層水氣的輻合與增加, 這說明模式的對流參數化過程必須調整以有效模擬出對流前緣的水氣輻合作用。

Kim et al. (2009) 比較多數 GCM 模式的層狀降水與總降水量的比例, 與實際值相比的結果, 差異性極大, 不甚理想。一般而言, 模式對低層緯向風場的模擬比降水量的模擬好, 所以如果能模擬出好的降水量, 便可能模擬出較好的 MJO, 所以, 如果可以透過較佳解析度觀測資料與雲解析模式, 可能進一步改善積雲參數化過程, 對於季內振盪的預報便能有進步空間。

美國氣候變化及預測研究計畫 (Climate Variability and Predictability Research Program, 簡稱 CLIVAR) 的季內振盪工作團隊 (MJO Working Group, 以下簡稱 MJOWG) 於 2006 年發展一套季內振盪模擬診斷方法 (內容詳見 [http://climate.snu.ac.kr/mjo\\_diagnostics/index.htm](http://climate.snu.ac.kr/mjo_diagnostics/index.htm)), 提供一個診斷模式預報季內振盪能力的測試方法。(Kim et al., 2009; Waliser et al., 2009)

本研究使用 1981 年至 2005 年氣象局 GFS 與 ECHAM5 兩個氣候模式在 CFS 與 OPG 兩組不同海溫驅動下, 產生的 GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS 與

ECHAM5\_OPG 等四組預報與 NCEP R2 重分析資料來比較，瞭解氣象局氣候模式在夏季、冬季模擬季內振盪的能力、物理過程與差異。

## 貳、研究目的及意義

本計畫的目的為建立季內尺度天氣系統的模式診斷分析工具，作為瞭解與呈現中央氣象局氣候預測模式對於季內尺度天氣系統物理過程與預測能力，並對氣候預測作業模式對改善季內天氣預報的策略與執行，提出具體建議。

本報告內容主要目的為透過對重分析資料與氣候預測模式不同變數的氣候平均場、變異數、季內變異數、波譜分析與波數頻譜分析、單變數與多變數經驗正交函數及相關係數方法比較，瞭解模式模擬與觀測值之間的差異與特性，並與國外其它氣候模式預報結果分析比較，瞭解氣象局氣候模式與國外氣候模式的差異。期末研究成果將提供氣象局對發展新一代氣候預報模式的評估方法與研究基礎參考。

## 參、使用資料與研究方法

### 一、使用資料

本報告使用觀測資料主要為 1981-2005 年 NCEP/NCAR R2 重分析的 850hPa 與 200hPa 的緯向風場（以下簡稱 U 場）、1997-2005 年 GPCP 每日降水量與 1981-2005 年 NOAA Interpolated Outgoing Longwave Radiation (以下簡稱 OLR)，模式資料為氣象局提供的 GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 的四組氣候模式預報的 850hPa 與 200hPa 緯向風場、總降水量與 OLR。

此外，為了瞭解季內對流的物理過程，我們也使用 NCEP R2 與模式各層的溫度場、相對溼度場來計算大氣對流可用位能（Convective Available Potential Energy，簡稱 CAPE）、對流抑制（Convective Inhibition，簡稱 CIN）、舉升凝結高度（Lifted Condensation Level，簡稱 LCL）與自由對流高度（Level of Free Convection，簡稱 LFC）。在本研究中，為了解季內振盪的生成、發展與移行過程，各個變數間的相互關係與扮演角色，除上述變數外，我們亦使用與分析其他各種變數，譬如，2 公尺溫度、雲蓋量、輻散場、比濕、相對溼度、垂直速度、水氣輻散、潛熱通量、可感熱通量、表面溫度、海平面氣壓、表面氣壓、垂直風切、對流降水、淨表面熱通量，不過，限於篇幅，我們擇要討論與呈現。

GFS\_CFS、GFS\_OPG 為氣象局利用 NCEP/GFS 與 CWB/OPG 預報海溫所驅動的 CWB/GFS 氣候模式預報資料。ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 為氣象局利用 NCEP/GFS 與 CWB/OPG 預報海溫所驅動的 ECHAM5 氣候模式預報資料。

GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 資料時間分別為 1981-2005 年夏季（六月、七月與八月，以下簡稱 JJA）與冬季（12 月、1 月與 2 月，以下簡稱 DJF），夏季使用初始預報時間為 4 月 31 日 12Z 與 5 月 31 日 12Z 共 2 個 member 的 run，分析資料時間長度為 92 天，均從 6 月 1 日至 8 月 31 日。冬季使用初始預報時間為 10 月 31 日 12Z 與 11 月 30 日 12Z 共 2 個 member 的 run，分析資料時間長度為 90 天，均從 12 月 1 日至 2 月 28 日。不過，在與 GPCP 降水量比較時，為配合 GPCP 每日降水量時間長度，模式資料時間為 1997-2005 年。

在比較夏季與冬季時，分別使用兩個 Run 的原因有二，第一是為配合使用 NCL（NCAR Command Language）的時間濾波方法 Lanczos Filtering，因為在使用 Lanczos Filtering 時，為求得到較佳濾波結果，必須在資料前後各截斷一個月的資料（夏季使用 4 月 31 日 12Z 的 run，冬季使用 10 月 31 日 12Z 的 run），第二是為瞭解截斷一個月對模式預報結果的差異。

### 二、分析方法

計畫中預計採用分析方法，主要參考 Wheeler and Hendon (2004)、Waliser et

al (2009) 與 Kim et al. (2009) 等所使用分析方法。如分析季節平均態、變異量分佈、圖型相關 (Pattern Correlation) 與標準化均方根誤差 (Normalized RMSE, 以下簡稱 NRMSE)、Hovmöller Diagram、頻譜分析、波數頻譜 (Wavenumber - Frequency Spectra)、經驗正交函數 (Empirical Orthogonal Function, 以下簡稱 EOF) 與延遲相關分析與相位空間分析 (Phase Space Diagram) 等。分析程式與詳細說明可參考美國氣候變化與預測研究計畫 (The U.S. Climate Variability and Predictability Research Program, 簡稱 CLIVAR) 季內振盪工作團隊 (US-CLIVAR MJO Working Group) 在 NCL 網站上所提供的資訊 (<http://www.ncl.ucar.edu/Applications/mjoclivar.shtml>)。

在本報告內使用主要分析方法為季節平均態、變異量分佈、圖型相關 (Pattern Correlation)、標準化均方根誤差 (Normalized RMSE, 以下簡稱 NRMSE)、頻譜分析與波數頻譜 (Wavenumber - Frequency Spectra)、單變數與多變數經驗正交函數分析 (Empirical Orthogonal Function, 以下簡稱 EOF) 與延遲相關相位空間分析 (Phase Space Diagram) 等。

## 肆、具體成果

### 一、夏季季節平均分析

#### (一) OLR

圖1為1981至2005年夏季OLR季節平均圖。比較模式與觀測資料，發現夏季時，NOAA OLR在北半球熱帶非洲、熱帶印度洋、印度半島、孟加拉灣、熱帶西北太平洋、熱帶東太平洋附近有較低值顯示這些地區在夏季時有較旺盛對流發展，而GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS 與ECHAM5\_OPG在上述大部分地區均有模擬出較低的OLR值，不過，在菲律賓附近，兩組模式模擬的OLR氣候值較觀測值略大，尤其是ECHAM5模式。如比較熱帶地區（30°S-30°N,0°E-0°W）模式與觀測的Pattern Correlation與NRMSE（圖9），發現ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的Pattern Correlation大約0.8，NRMSE大約0.7，而GFS\_CFS與GFS\_OPG的Pattern Correlation大約0.75，NRMSE大約1，均較ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的結果略差，而相同模式使用不同海溫的影響，差異不大，反而是不同模式之間的差異較大。

#### (二) 降水量

圖2為1997至2005年夏季降水量季節平均圖。比較模式與GPCP資料，發現GPCP降水量在孟加拉灣、中南半島、赤道東印度洋、熱帶西太平洋、北半球熱帶東太平洋附近有較大值，這與OLR的觀測結果相似。而在模式模擬的降水量與GPCP降水量差異較大地方，為模式南海與菲律賓附近降水量偏少。此外，GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS 與ECHAM5\_OPG在青康藏高原的降水量偏大，顯示模式的地形作用可能造成此區域有較大的季節降水量。如比較模式與觀測的Pattern Correlation與NRMSE（圖10），發現四組模擬結果差異不大。Pattern Correlation的值大約介於0.65與0.7，而NRMSE大約在1.32與1.4之間。

#### (三) 850hPa緯向風場

圖3為1981至2005年夏季850hPa緯向風場季節平均圖。圖中顯示GFS\_CFS與GFS\_OPG在阿拉伯海上的850hPa緯向西風偏強。在南海地區，觀測資料顯示有明顯西風，不過四組模式在南海地區的西風均偏小，可能對於影響水氣由印度印傳送至南海與菲律賓附近，影響此區域的對流活躍度與降水。

比較模式與重分析場的Pattern Correlation與NRMSE（圖11），發現結果均較OLR與降水量佳。顯示模式對於低對流層動力場的模擬較熱力場佳。比較兩組模式的模擬結果，發現ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的Pattern Correlation大約0.9，NRMSE大約0.5，而GFS\_CFS與GFS\_OPG的Pattern Correlation大約介於0.85與0.9之間，NRMSE大約0.65，也較OLR與降水量的結果為佳。不過，

ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的結果略優於GFS\_CFS與GFS\_OPG，而且，模式之間的差異大於海溫的影響。

#### (四) 200hPa緯向風場

圖4為1981至2005年夏季200hPa緯向風場季節平均圖。比較模式與觀測資料，發現四組模式在熱帶阿拉伯海與印度半島上的高層東風位置略偏北，而在海洋大陸與南海上空高層的東風偏弱，尤其是GFS\_CFS與GFS\_OPG。

比較模式模擬與觀測資料的Pattern Correlation與NRMSE（圖12），發現四組模式的Pattern Correlation均在0.95與1之間，NRMSE大約為0.3，整體而言，模擬結果接近觀測值，模式之間與海溫對模擬結果的影響很小。

#### (五) 對流可用位能(CAPE)

圖5為1981至2005年夏季CAPE季節平均圖。在熱帶地區，CAPE的值越大，越有利於深對流發展。比較模式與觀測資料，發現NCEP R2 CAPE值較大的地區，主要分布在地勢較高地區，如喜馬拉雅山脈、墨西哥與北半球熱帶非洲地區（超過4000J/Kg），在熱帶洋面上，熱帶印度洋、孟加拉灣、南海、熱帶西北太平洋、熱帶東太平洋、墨西哥灣等地區有顯著CAPE值（超過2000J/Kg）。在模式方面，GFS\_CFS與GFS\_OPG模式在赤道與熱帶印度洋、孟加拉灣、中南半島、海洋大陸、熱帶西太平洋、熱帶東太平洋、中美洲與墨西哥灣等地區有較NCEP R2大的CAPE值，而ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG在上述地區則偏小。顯示，GFS\_CFS模式在夏季熱帶洋面上有較ECHAM5大的CAPE，海溫對CAPE值變化影響不大，不同模式的影響較大。

#### (六) 對流抑制(CIN)

圖6為1981至2005年夏季CIN平均圖。在熱帶地區，CIN的值越大，越不利於對流發展，如果對流要發展，大尺度擾動外力必須克服CIN，所以，在熱帶洋面上，CIN越小且CAPE值越大地區，越容易出現深對流。比較模式與觀測資料，發現NCEP R2 CIN值在熱帶印度洋、孟加拉灣、南海、熱帶西北太平洋、熱帶東太平洋、墨西哥灣等地區介於10至30J/Kg，在模式方面，GFS\_CFS與GFS\_OPG模式在熱帶洋面上的值均偏小（小於10J/Kg），這表示GFS\_CFS與GFS\_OPG在夏季熱帶洋面上，對流較易發生。而ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG在熱帶洋面上的CIN值大小與分佈較接近NCEP R2值。

#### (七) 舉升凝結高度 (LCL)

圖7為1981至2005年夏季LCL季節平均圖。在NCEP R2中，夏季在熱帶地勢較高地區，如赤道非洲、印度半島西部、喜馬拉雅山脈、中南半島與大陸華南丘陵、海洋大陸的婆羅洲與新幾內亞、墨西哥、南美洲西部與北部高地等地區，

LCL的高度均較低，熱帶洋面上LCL高度大約在600至700公尺之間。GFS\_CFS與GFS\_OPG在熱帶洋面上的LCL高度較低，大約在400公尺以下，較NCEP R2為低，此外，GFS模式在北美洲西岸與南美洲西岸冷洋流處，未能模擬出較高的LCL。ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的LCL高度與分布，較接近NCEP R2的結果，不過，在西太平洋上，模式顯示LCL值偏高，顯示，雲層較不易生成，這可能與先前見到此區降水量較少與OLR值較高有關。

#### (八) 自由對流高度(LFC)

圖8為1981至2005年夏季LFC季節平均圖。在NCEP R2中，夏季在熱帶地勢較高地區，如赤道非洲、印度半島西部、喜馬拉雅山脈、中南半島與大陸華南丘陵、海洋大陸的婆羅洲與新幾內亞、墨西哥、南美洲西部與北部地勢較高等地區，LCL較低的地區，LFC的高度也較低，熱帶洋面上LFC高度大約在900至1800公尺之間。GFS\_CFS與GFS\_OPG在熱帶洋面上的LFC高度較低，大約介於200至600公尺，範圍也較NCEP R2為大。此外，GFS模式在北美洲西岸與南美洲西岸冷洋流處，未能模擬出較高的LFC。ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的LFC高度與分布，較接近NCEP R2的結果，不過，在西太平洋上，模式顯示LFC值亦略偏高，這與LCL的結果相似，顯示這地區的雲層生成與對流均較不易發展。

## 二、夏季總變異數分析

因為經過分析結果，CAPE、CIN、LCL與LFC的總變異數與季內變異數在熱帶地區的變化不大，故以下針對總變異數與季內變異數分析時，我們不將CAPE、CIN、LCL與LFC的總變異數與季內變異數結果列入討論，僅針對OLR、降水量、850hPa緯向風場、200hPa緯向風場分析結果列入討論。

### (一) OLR

圖13為1981至2005年夏季OLR總變異數圖。比較模式與觀測資料，發現NOAA OLR總變異數在熱帶印度洋、孟加拉灣、南海、熱帶西北太平洋及熱帶東太平洋附近有較大值，而GFS\_CFS與GFS\_OPG在熱帶北非、阿拉伯半島與索馬利亞附近OLR總變異數值偏大，在孟加拉灣與熱帶東太平洋附近偏小。ECHAM5\_CFS 與ECHAM5\_OPG在紅海、阿拉伯半島、赤道東印度洋與北太平洋150°E到換日線之間的總變異數值偏大，不過在南海與熱帶西北太平洋附近總變異數值略偏小。

比較模式與觀測的Pattern Correlation與NRMSE(圖17)，發現ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的Pattern Correlation大約0.8，NRMSE大約0.75，而GFS\_CFS與GFS\_OPG的Pattern Correlation大約0.5，NRMSE大約1.1，均較ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的結果差，而相同模式使用不同海溫的影響，總變異數差異不大，而不同模式之間的總變異數差異較大。

### (二) 降水量

圖14為1997至2005年夏季降水量總變異數圖。比較模式與GPCP資料，發現GPCP降水量變異數在孟加拉灣熱帶東印度洋、熱帶西北太平洋與熱帶東太平洋附近有較大值。而GFS\_CFS與GFS\_OPG在降水量變異數較大值集中在赤道西印度洋與孟加拉北側靠喜馬拉雅山附近，不過，在孟加拉灣、南海與熱帶西北太平洋附近總降水量變異數卻偏少。而ECHAM5\_CFS 與ECHAM5\_OPG在西馬拉雅山附近有偏大的降水量總變異數，但在南海與熱帶西北太平洋地區的變異數也偏少。

比較夏季模式與GPCP降水量變異數的Pattern Correlation與NRMSE(圖18)，發現ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的Pattern Correlation大約0.7左右，NRMSE大約1.4，ECHAM5\_OPG與ECHAM5\_CFS結果相近。GFS\_CFS與GFS\_OPG的Pattern Correlation偏低，大約0.53與0.48，NRMSE大約為1.6與1.7，GFS\_CFS略優於GFS\_OPG。整體而言，ECHAM5\_CFS 與ECHAM5\_OPG的表現較GFS\_CFS與GFS\_OPG好，不過，四組模式的Pattern Correlation與NRMSE模擬結果均較OLR略差。

### (三) 850hPa緯向風場

圖15為1981至2005年夏季850hPa緯向風場總變異數圖。比較模式與觀測資料，發現NCEP R2 850hPa緯向風場總變異數在阿拉伯海、熱帶西北太平洋、日本東南方海面及南半球中緯度地區有較大變異數值。而GFS\_CFS與GFS\_OPG在阿拉伯海附近有較大變異數值，在南海、熱帶西北太平洋附近變異數值偏小。ECHAM5\_CFS 與ECHAM5\_OPG變異數在喜馬拉雅山附近有局部較大值，而且在南海、孟加拉灣與熱帶西北太平洋的變異數值偏小。

比較模式與觀測的Pattern Correlation與NRMSE(圖19)，發現ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的Pattern Correlation大約0.85與0.82，NRMSE大約0.6與0.65，而GFS\_CFS與GFS\_OPG的Pattern Correlation大約0.6，NRMSE大約1，均較ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的結果差，而對相同模式使用不同海溫的差異不大，而不同模式間的差異較大。

### (四) 200hPa緯向風場

圖16為1981至2005年夏季200hPa緯向風場總變異數圖。比較模式與重分析場，發現GFS\_CFS、GFS\_OPG在北美高層緯向風場變異數偏大。GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS 與ECHAM5\_OPG在南半球中緯度地區高層緯向風場的變異數均較觀測值為大，東西向範圍也較廣。

比較模式與觀測的Pattern Correlation與NRMSE(圖20)，發現GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS 與ECHAM5\_OPG的Pattern Correlation大約0.85，差異不大，不過ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的NRMSE約為0.55均較GFS\_CFS與GFS\_OPG的0.75與0.7為小，顯示在NRMSE的比較上，ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG略優於GFS\_CFS與GFS\_OPG。

### 三、夏季30-60 天變異數分析

#### (一) OLR

圖21為1981至2005年夏季30-60天OLR變異數圖。比較模式與觀測資料，發現NOAA OLR在東阿拉伯海、孟加拉灣、赤道東印度洋、南海與熱帶西北太平洋地區有較大季內變異數。而GFS\_CFS與GFS\_OPG在阿拉伯海、孟加拉灣、赤道東印度洋與菲律賓東側之熱帶西北太平洋地區季內變異數較小。ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG在南海北部與菲律賓東側之西北太平洋局部地區季內變異數較小，不過，在赤道東印度洋與菲律賓南部地區的季內變異數較大，顯示，ECHAM5\_CFS 與ECHAM5\_OPG在此區域的季內擾動較活躍。

比較模式與觀測的Pattern Correlation與NRMSE（圖25），ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的Pattern Correlation大約0.8，NRMSE大約1左右，兩者結果相近，而GFS\_CFS與GFS\_OPG的Pattern Correlation大約0.38與0.42，NRMSE大約1.1，均較ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的結果差。ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG兩者的差異微小，而GFS\_CFS與GFS\_OPG在使用不同海溫差異略大。

#### (二) 降水量

圖22為1997至2005年夏季降水量季內變異數圖。比較模式與GPCP觀測資料，發現GPCP降水量季內變異數在東阿拉伯海、孟加拉灣、東熱帶印度洋、南海與熱帶西北太平洋與熱帶東太平洋地區有較大季內變異數，這與OLR季內變異數的分佈相近。而GFS\_CFS與GFS\_OPG在赤道西印度洋、孟加拉北部靠喜馬拉雅山附近季內變異數較大，但在孟加拉灣、南海與熱帶西北太平洋地區降水量季內變異數較小。ECHAM5\_CFS 與ECHAM5\_OPG在喜馬拉雅山出現因地形作用造成的異常較大值，而在南海與熱帶西北太平洋附近的季內變異數略小。

比較模式與觀測的Pattern Correlation與NRMSE（圖26），發現ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的Pattern Correlation大約0.62與0.6，NRMSE大約2.0與2.05，而GFS\_CFS與GFS\_OPG的Pattern Correlation大約0.47與0.48，NRMSE大約1.85，Pattern Correlation較ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的結果差，而NRMSE稍優於ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG。

#### (三) 850hPa緯向風場

圖23為1981至2005年夏季850hPa緯向風場變異數圖。比較模式與觀測資料，發現NCEP R2 8500hPa緯向風場季內變異數在阿拉伯海、印度半島、赤道東印度洋、孟加拉灣、南海、菲律賓附近西北太平洋地區較顯著。而GFS\_CFS與GFS\_OPG在孟加拉灣、南海與菲律賓東西北太平洋上的季內變異數偏小，ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG在印度半島北部的喜馬拉雅山附近出現局部顯著季內變異

數，此外，在台灣附近的季內變異數也較大，不過，在孟加拉灣、南海與菲律賓附近季內變異數也偏小。

比較模式與觀測的Pattern Correlation與NRMSE(圖27)，發現ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的Pattern Correlation大約0.79與0.75，NRMSE大約0.7與0.8，而GFS\_CFS與GFS\_OPG的Pattern Correlation大約0.55，NRMSE大約0.9，均較ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的結果差，而且對相同模式使用不同海溫的影響，差異不大，反而是不同模式之間的差異較大。

#### (四) 200hPa緯向風場

圖24為1981至2005年夏季200hPa緯向風場變異數圖。比較模式與觀測資料，發現四組模擬結果與NCEP R2的200hPa緯向風場季內變異數在北半球熱帶地區均偏小，整體而言，在熱帶地區，高層緯向風場的季內變異數差異不大。差異較大地區出現在南半球中緯度地區，如南印度洋與南太平洋地區，模式預報季內變異數較重分析場大。

比較模式與觀測的Pattern Correlation與NRMSE(圖28)，發現四組模擬結果與重分析場差異不大，Pattern Correlation大約0.85附近，NRMSE大約介於0.5至0.6之間，表現較好的是ECHAM5\_CFS。

## 四、冬季季節平均分析

### (一) OLR

圖29為1981至2005年冬季OLR季節平均圖。比較模式與觀測資料，發現NOAA OLR在南半球熱帶南非、海洋大陸、熱帶南美洲與喜馬拉雅山附近有較低的OLR值，其中喜馬拉雅山地區OLR較低值是地形與降雪低溫造成，其他地區則與熱帶對流活躍有關。比較四組資料模式與觀測資料，發現模式與觀測資料差異不大。GFS\_CFS與GFS\_OPG在孟加拉灣與印度半島南部的OLR低值略偏北，而ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG在新幾內亞東側海面的OLR偏低，顯示模式在此處可能有較強對流。

比較模式與觀測的Pattern Correlation與NRMSE(圖37)，發現ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的Pattern Correlation大約0.85與0.83，NRMSE大約0.6與0.65，而GFS\_CFS與GFS\_OPG的Pattern Correlation大約0.8，NRMSE大約0.8，較ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的結果略差。

### (二) 降水量

圖30為1997至2005年冬季降水量季節平均圖。比較模式與GPCP資料，發現GPCP降水量在熱帶東印度洋、海洋大陸婆羅洲及新幾內亞、西太平洋赤道間熱帶輻合區、南太平洋輻合帶(South Pacific Convergence Zone，以下簡稱SPCZ)與熱帶南美洲附近有較大的降水量分布。而GFS\_CFS與GFS\_OPG在新幾內亞與熱帶南非的降水量偏大，在SPCZ與熱帶南印度洋降水量較小，而ECHAM5\_CFS及ECHAM5\_OPG則在熱帶西太平洋附近有較大降水量。

比較模式與觀測的Pattern Correlation與NRMSE(圖38)，發現四組模式的Pattern Correlation大約0.75至0.77之間，NRMSE大約1.2至1.3之間，模式對降水量的較對OLR的模擬略差一些。

### (三) 850hPa緯向風場

圖31為1981至2005年冬季850hPa緯向風場季節平均圖。比較模式與觀測資料，發現GFS\_CFS與GFS\_OPG在海洋大陸的西風偏弱，而在熱帶太平洋上及熱帶北非的東風偏強，中緯度北太平洋、北大西洋與熱帶印度洋西風偏強。相較之下，ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的850hPa緯向風場與觀測值較接近。

比較模式與重分析場的Pattern Correlation與NRMSE(圖39)，發現ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的Pattern Correlation大約0.91，NRMSE大約0.4，均較OLR與降水量的結果為佳。而GFS\_CFS與GFS\_OPG的Pattern Correlation大約0.78與0.76，NRMSE大約為0.87與0.9。ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的結果優於GFS\_CFS與GFS\_OPG，而且，模式之間的差異大於海溫的影響。

#### (四) 200hPa緯向風場

圖32為1981至2005年冬季200hPa緯向風場季節平均圖。比較模式與觀測資料，發現ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG在熱帶印度洋上的高層東風偏弱，而GFS\_CFS與GFS\_OPG在熱帶印度洋上的高層東風略偏強。

比較模式與觀測的Pattern Correlation與NRMSE (圖40)，發現四組模擬結果的Pattern Correlation約在0.95與1之間，NRMSE大約為0.3與0.38，整體而言，結果差異很小，而ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG稍優於GFS\_CFS與GFS\_OPG。

#### (五) 對流可用位能(CAPE)

圖33為1981至2005年冬季CAPE季節平均圖。在冬季，由於北半球氣溫與海溫均下降，熱帶地區的對流由北半球轉移至南半球，NCEP R2 CAPE值較大的地區，出現在南半球熱帶非洲與南美洲安地斯山脈地區有較大CAPE (超過4000J/Kg) 值，在海洋方面，熱帶南印度洋、海洋大陸、太平洋上ITCZ與SPCZ、熱帶東南美洲等地區有明顯CAPE值 (1000至2000J/Kg)。在模式方面，GFS\_CFS與GFS\_OPG在熱帶印度洋、海洋大陸與熱帶西太平洋地區有偏大的CAPE值，在冬季NCEP R2的CAPE雖較夏季時小，不過，GFS\_CFS與GFS\_OPG模擬的CAPE值仍然過大，顯示，GFS模式在冬季在海洋大陸與熱帶太平洋地區亦容易出現深對流。ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG在熱帶地區則偏小。顯示，在熱帶地區，ECHAM5模式在冬季熱帶洋面上，較不利於深對流發展。

#### (六) 對流抑制(CIN)

圖34為1981至2005年冬季CIN平均圖。NCEP R2 CIN值在熱帶印度洋、孟加拉灣、南海、熱帶西北太平洋、熱帶東太平洋、墨西哥灣等地區介於10至20J/Kg，在模式方面，GFS\_CFS與GFS\_OPG模式在熱帶洋面上的值均偏小 (小於10J/Kg)，這表示GFS模式對於抑制對流的能力叫弱，對流較容易發生，此外，南美洲西側外海冷洋流易於發生處，CIN值較重分析場大。而ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG在熱帶洋面上的CIN值大小與分佈較接近NCEP R2值。

#### (七) 舉升凝結高度 (LCL)

圖35為1981至2005年冬季LCL季節平均圖。在NCEP R2中，冬季在南半球熱帶地勢較高地區，如熱帶非洲、海洋大陸的婆羅洲與新幾內亞與南美洲地區，LCL的高度均較低，熱帶洋面上LCL高度大約在500至700公尺之間。GFS\_CFS與GFS\_OPG在熱帶洋面上的LCL高度較低，大約在400公尺以下，較NCEP R2為低，此外，模式在北美洲西岸與南美洲西岸冷洋流處，模擬出的LCL較低。ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的LCL高度與分布，較接近NCEP R2的結果，不過，在SPCZ上，模式顯示LCL值偏高，顯示，對流較不易生成。

## (八) 自由對流高度(LFC)

圖36為1981至2005年冬季LFC季節平均圖。在NCEP R2中，冬季在熱帶地勢較高地區，如同在LCL較低地區，地勢較高地區，LCL也較低，LFC的高度也較低，熱帶洋面上LFC高度大約在800至1800公尺之間。GFS\_CFS與GFS\_OPG在熱帶洋面上的LFC高度較低，大約介於200至600公尺，範圍也較NCEP R2為大，不過，在赤道非洲、印度半島西部、喜馬拉雅山脈、中南半島與大陸華南丘陵、墨西哥、南美洲西部與北部地勢較高等地區，地形效應並不明顯。此外，模式在北美洲西岸與南美洲西岸冷洋流處，LFC高度與NCEP R2較為相似。ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的LFC高度與分布，較接近NCEP R2的結果，不過，在西太平洋上，模式顯示LFC值亦略偏高。

## 五、冬季總變異數分析

### (一) OLR

圖41為1981至2005年冬季OLR總變異數圖。比較模式與觀測資料，發現GFS\_CFS與GFS\_OPG在阿拉伯海、印度半島、孟加拉灣、熱帶東北太平洋、熱帶北大西洋與墨西哥灣附近有較大的OLR總變異數，而在SPCZ（南太平洋間熱帶輻合區）的變異數較小。而ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG在熱帶西太平洋、海洋大陸、熱帶東南太平洋與熱帶東北太平洋與大西洋上的OLR總變異數較大。

比較模式與觀測的Pattern Correlation與NRMSE（圖45），發現ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的Pattern Correlation大約0.83與0.8，NRMSE大約0.7與0.8，而GFS\_CFS與GFS\_OPG的Pattern Correlation大約0.47與0.45，NRMSE大約1.15與1.2，均較ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的結果差，而相同模式使用不同海溫的影響，總變異數差異不大，而不同模式之間的總變異數差異較大。

### (二) 降水量

圖42為1981至2005年冬季降水量總變異數圖。比較模式與GPCP觀測資料，發現GFS\_CFS與GFS\_OPG在婆羅洲與新幾內亞附近降水量變異數偏大，而在熱帶印度洋、ITCZ、SPCZ與熱帶南美洲附近的變異數偏小。ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG整體而言，變異數雖然在空間分佈較接近觀測值，不過，變異數值缺偏小。

比較模式與觀測的Pattern Correlation與NRMSE（圖46），發現ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的Pattern Correlation大約0.87，NRMSE大約1.1。GFS\_CFS與GFS\_OPG的Pattern Correlation大約0.45與0.47，NRMSE大約1.9與2.05。整體而言，ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的表現較GFS\_CFS與GFS\_OPG好很多。

### (三) 850hPa緯向風場

圖43為1981至2005年冬季850hPa緯向風場總變異數圖。比較模式與NCEP R2重分析場，發現GFS\_CFS與GFS\_OPG在中南半島南方、婆羅洲北部與中美洲西側外海附近有較大值，而ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG在熱帶印度洋與西太平洋值較小。

比較模式與NCEP R2重分析場的Pattern Correlation與NRMSE（圖47）。ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的Pattern Correlation大約0.91，NRMSE大約0.45，而GFS\_CFS與GFS\_OPG的Pattern Correlation大約0.68與0.66，NRMSE大約0.86，均較ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的結果差。不同海溫對模式模擬結果影響不大。

#### (四) 200hPa緯向風場

圖44為1981至2005年冬季200hPa緯向風場總變異數圖。比較模式與NCEP R2資料，發現GFS\_CFS、GFS\_OPG在中緯度西亞附近及中緯度北大西洋的高層緯向風場變異數較大，北太平洋中部的總變異數較小。ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG看起來與NCEP R2結果較相似。

比較模式與觀測的Pattern Correlation與NRMSE（圖48），發現GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG差異不大。ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的Pattern Correlation大約0.9，NRMSE約為0.45，而GFS\_CFS與GFS\_OPG的Pattern Correlation約為0.88，NRMSE約為0.5，ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG略優於GFS\_CFS與GFS\_OPG。

## 六、冬季30-60 天變異數分析

### (一) OLR

圖49為1981至2005年冬季30-60天OLR變異數圖。比較模式與觀測資料，發現NOAA OLR季內變異數在熱帶東印度洋、澳洲北部海面、熱帶南太平洋換日線附近有較大值，而GFS\_CFS與GFS\_OPG在阿拉伯海、印度半島、熱帶東北太平洋、熱帶北大西洋與巴西附近有較大季內變異數值，這些區域較觀測資料大，而在澳洲北方海面與熱帶南太平洋換日線附近季內OLR變異數較觀測值小。ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG在熱帶西南印度洋、墨西哥及其西南外海、巴西東南外海有較觀測值大的季內OLR變異數值。

比較模式與觀測的Pattern Correlation與NRMSE (圖53)，ECHAM5\_CFS 與ECHAM5\_OPG的Pattern Correlation大約0.85與0.8，NRMSE大約0.85與0.75，ECHAM5\_CFS略優於ECHAM5\_OPG。GFS\_CFS與GFS\_OPG的Pattern Correlation大約0.41與0.38，NRMSE大約1與1.1，GFS\_CFS略優於GFS\_OPG。似乎，使用CFS海溫的結果，在預報冬季季內OLR變異數方面，略優於使用OPG的海溫。整體而言，ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG模擬結果明顯優於GFS\_CFS與GFS\_OPG。

### (二) 降水量

圖50為1979至2005年冬季降水量季內變異數圖。比較模式與GPCP觀測資料，發現GPCP降水量季內變異數在熱帶南印度洋與熱帶西南太平洋與換日線附近有較大值。而GFS\_CFS與GFS\_OPG在婆羅洲與新幾內亞附近季內變異數值較觀測值大，但在熱帶印度洋與西太平洋與中太平洋附近值偏小，ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG與觀測結果在熱帶印度洋與西太平洋的空間分佈較相近，不過數值卻較小。

比較模式與觀測的Pattern Correlation與NRMSE (圖54)，發現ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的Pattern Correlation大約0.675，NRMSE大約1.4，兩者差異很小，顯然，兩組不同海溫對ECHAM5的冬季季內降水量預報差異不大。而GFS\_CFS與GFS\_OPG的Pattern Correlation大約為0.325與0.275，NRMSE大約2.1與2.4，使用不同海溫對CFS的影響大於ECHAM5。GFS\_CFS與GFS\_OPG的Pattern Correlation與NRMSE均較ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的結果差。

### (三) 850hPa緯向風場

圖51為1981至2005年冬季850hPa緯向風場季內變異數圖。比較模式與觀測資料，發現NCEP R2 850hPa緯向風場季內變異數在中緯度東北太平洋、東北大西洋與澳洲北部海面附近有較大值，而GFS\_CFS與GFS\_OPG孟加拉灣南部、印度

半島、阿拉伯海及地中海附近有較大的季內變異數。ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG在澳洲北部海面的季內變異數偏小，而在中緯度東北太平洋上的季內變異數較大。

比較模式與觀測的Pattern Correlation與NRMSE(圖55)，發現ECHAM5\_CFS 與ECHAM5\_OPG的Pattern Correlation大約0.875與0.89，NRMSE大約0.55，而GFS\_CFS與GFS\_OPG的Pattern Correlation大約0.65與0.7，NRMSE大約0.8，均較ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的結果差。

#### (四) 200hPa緯向風場

圖52為1981至2005年冬季200hPa緯向風場季內變異數圖。比較模式與觀測資料，發現NCEP R2 200hPa緯向風場季內變異數在中緯度北太平洋換日線附近、北美、北大西洋、地中海、阿拉伯半島北部、青康藏高原及澳洲東南部附近有較大值。而GFS\_CFS與GFS\_OPG在北美洲、北大西洋及裏海南部地區的季內變異數值較大，但在中緯度北太平洋換日線及澳洲東南部附近的值較小。ECHAM5\_CFS 與ECHAM5\_OPG在中緯度北太平洋季內變異數較大值的位置較偏東。

比較模式與觀測的Pattern Correlation與NRMSE(圖56)，發現ECHAM5\_CFS 與ECHAM5\_OPG的Pattern Correlation大約0.825與0.8，NRMSE大約0.6與0.65，而GFS\_CFS與GFS\_OPG的Pattern Correlation大約0.75與0.775，NRMSE大約0.8與0.75。ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的結果較GFS\_CFS與GFS\_OPG稍佳。

## 七、波譜分析

為了解 1981 年至 2005 年夏季與冬季，GFS 與 ECHAM5 模式在熱帶印度洋及西北太平洋季內振盪盛行地區，是否有能力模擬大尺度季內對流能力，我們在熱帶印度洋、海洋大陸及熱帶西太平洋 OLR 季內變異數較大地區（圖 21a 與圖 48a），比較觀測與模式預報季內振盪的頻譜差異。

首先，我們分析 NOAA OLR 在 1981 年至 2005 年夏季季內變異數分布（圖 17a），選擇三個季內變異數較大的區域，即南海與菲律賓東部西北太平洋地區（ $10^{\circ}\text{N}$ - $20^{\circ}\text{N}$ ， $110^{\circ}\text{E}$ - $140^{\circ}\text{E}$ ）、熱帶東印度洋（ $5^{\circ}\text{S}$ - $5^{\circ}\text{N}$ ， $80^{\circ}\text{E}$ - $95^{\circ}\text{E}$ ）、印度半島西側阿拉伯海（ $10^{\circ}\text{N}$ - $15^{\circ}\text{N}$ ， $65^{\circ}\text{E}$ - $75^{\circ}\text{E}$ ）。

在南海與菲律賓東部西北太平洋地區（ $10^{\circ}\text{N}$ - $20^{\circ}\text{N}$ ， $110^{\circ}\text{E}$ - $140^{\circ}\text{E}$ ），我們比較兩個 4 月 30 日（簡稱 0430，圖 57）與 5 月 31 日（簡稱 0531，圖 58）兩個 run 的結果，目的是想瞭解模式預報在相差一個月的時間，對季內頻譜的預報能力是否有顯著差異。圖 57（a）顯示 1981-2005 年夏季 NOAA OLR 在 30 天、15 與 9 天有超過 95%confidence 顯著頻譜值，而 GFS\_CFS 與 GFS\_OPG 只有在 11 天以下有較顯著頻譜值。而 ECHAM5\_CFS 在 30 天與 15 天附近有顯著頻譜值，而 ECHAM5\_OPG 無顯著季內頻譜。分析 0531（圖 58），發現 GFS\_CFS 與 GFS\_OPG 的頻譜變異數值顯著較 0430（圖 57）的大，不過，兩組 runs 均沒有模擬出季內頻譜。而 ECHAM5\_CFS 有模擬出週期 23 天與 18 天的頻譜，與 ECHAM5\_OPG 的顯著頻譜出現在 15 天與 13 天左右。

所以，在南海與菲律賓東部西北太平洋地區（ $10^{\circ}\text{N}$ - $20^{\circ}\text{N}$ ， $110^{\circ}\text{E}$ - $140^{\circ}\text{E}$ ），GFS\_CFS 與 GFS\_OPG 在 0430 與 0531 兩個 runs 均無法模擬出週期 30-60 天左右的 OLR 季內擾動。而 ECHAM5\_CFS 在 0430 的 run 中模擬出週期 30 天左右的季內擾動，顯示對於 ECHAM5 模式，不同海溫對季內擾動的模擬，在南海與菲律賓東部西北太平洋地區（ $10^{\circ}\text{N}$ - $20^{\circ}\text{N}$ ， $110^{\circ}\text{E}$ - $140^{\circ}\text{E}$ ）的結果的確有影響。

接著，我們分析熱帶東印度洋（ $5^{\circ}\text{S}$ - $5^{\circ}\text{N}$ ， $80^{\circ}\text{E}$ - $95^{\circ}\text{E}$ ）地區 OLR 夏季季內頻譜結果（圖 59 與圖 60）。在圖 59(a)中，我們發現 NOAA OLR 有顯著 30 天左右的頻譜，而四組模式在 0430 的預報中，並未顯示有季內頻譜現象。在 0531 的模擬中（圖 60），發現 GFS\_CFS 在週期 30 天附近有明顯頻譜反應（接近 95%confidence），GFS\_OPG 雖然也顯現週期 30 天附近有明顯頻譜反應，但頻譜強度較弱。ECHAM5\_CFS 在 0531 的 run 中模擬出週期 23 天左右的擾動，但未出現週期 30-60 天的擾動訊號，而 ECHAM5\_OPG 模擬結果不佳。所以，在熱帶東印度洋（ $5^{\circ}\text{S}$ - $5^{\circ}\text{N}$ ， $80^{\circ}\text{E}$ - $95^{\circ}\text{E}$ ）地區，使用 CFS 與 OPG 海溫來模擬季內擾動，CFS 的結果似乎較佳。

夏季季內振盪在南亞季風區有明顯北移特性，從 OLR 的夏季季內變異數亦可見到從阿拉伯海、孟加拉灣到南海，均存在較大的季內變異數。接著，我們分

析在印度半島西側阿拉伯海附近 ( $10^{\circ}\text{N}$ - $15^{\circ}\text{N}$ ,  $65^{\circ}\text{E}$ - $75^{\circ}\text{E}$ ) 區域的季內頻譜特性 (圖 61 與圖 62)。圖 61 為 1981-2005 年 0430 預報夏季印度半島西側阿拉伯海附近 ( $10^{\circ}\text{N}$ - $15^{\circ}\text{N}$ ,  $65^{\circ}\text{E}$ - $75^{\circ}\text{E}$ ) 區域的頻譜分析圖, 途中可見 NOAA OLR 存在週期 30 天左右的頻譜。GFS\_CFS 與 GFS\_OPG 出現週期 46 天左右的頻譜, 而 ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 則未出現季內週期的頻譜反應。在 0531 的 run, GFS\_CFS 亦出現週期 46 天左右的頻譜。而 ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 亦未出現顯著季內週期的頻譜反應。所以, 在印度半島西側阿拉伯海附近 ( $10^{\circ}\text{N}$ - $15^{\circ}\text{N}$ ,  $65^{\circ}\text{E}$ - $75^{\circ}\text{E}$ ) 區域的季內頻譜分析中, 以 GFS\_CFS 的模擬較佳。

因此, 在夏季三個區域的模擬分析中, 南海與菲律賓東部西北太平洋地區 ( $10^{\circ}\text{N}$ - $20^{\circ}\text{N}$ ,  $110^{\circ}\text{E}$ - $140^{\circ}\text{E}$ ) 區域以 ECHAM5\_CFS 在 0531 的模擬較佳, 而在熱帶東印度洋 ( $5^{\circ}\text{S}$ - $5^{\circ}\text{N}$ ,  $80^{\circ}\text{E}$ - $95^{\circ}\text{E}$ ) 與印度半島西側阿拉伯海附近 ( $10^{\circ}\text{N}$ - $15^{\circ}\text{N}$ ,  $65^{\circ}\text{E}$ - $75^{\circ}\text{E}$ ) 區域則以 GFS\_CFS 的模擬較佳。似乎, 在夏季使用 CFS 海溫模擬季內 OLR 的效果較好。

其次, 我們分析 NOAA OLR 在 1981 年至 2005 年冬季季內變異數分布 (圖 49a), 我們選擇季內變異數較大的區域, 即澳洲北部海面 ( $15^{\circ}\text{S}$ - $5^{\circ}\text{S}$ ,  $110^{\circ}\text{E}$ - $140^{\circ}\text{E}$ )。圖 63 為 1981-2005 年冬季 1031 run 的 OLR 波譜分析圖。從圖 63 (a) 中可見 NOAA OLR 在週期 30 天有顯著頻譜反應, 在週期 46 天附近亦存在接近 95% confidence 的頻譜, 顯示冬季季內振盪在此區域較活躍。GFS\_CFS 與 GFS\_OPG 在此區域並未模擬出顯著季內擾動, 而 ECHAM5\_OPG 有模擬出週期 30 天左右的季內頻譜, ECHAM5\_CFS 模擬週期 30 天左右的季內頻譜訊號稍弱, 未達 95% confidence。不過, 分析 1130 的 run (圖 64), 四組模式均無法有效模擬季內擾動頻譜。

ECHAM5\_OPG 在 1031 的 run 中模擬出週期 30 天的頻譜, 但在 1130 的 run 中並未模擬出顯著季內擾動頻譜, 所以, 似乎較接近預報初始場的季內擾動模擬結果並不一定較佳。

## 八、波數與頻率分析

季內振盪不論在夏季與冬季，均有沿著赤道東移現象。為了解模式是否能模擬季內擾動沿著赤道東移現象與波數結構，我們分析 1981-2005 年夏季與冬季 NOAA OLR 與 GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 的 OLR 波數頻率頻譜圖。同樣的，我們在夏季比較 0430 與 0531 兩個 runs，而在冬季比較 1031 與 1130 兩個 runs。

在頻譜分析中，所用資料時間長度均為三個月，夏季 92 天（6 月 1 日至 8 月 31 日），冬季 90 天（12 月 1 日至 2 月 28 日，為統一起見，潤年時的 2 月 29 日不採計），在週期出現 60 天以上訊號時，統計意義不大，我們不予討論。

分析 1981-2005 年夏季 0430 的 run，發現 NOAA OLR（圖 65a）在 30-60 天季內週期波數 1 有最強東移訊號，東移波數 2 與波數 3 訊號較弱。而週期 30-60 天西移擾動主要集中在波數 1。GFS\_CFS 與 GFS\_OPG 在週期 30-60 天沒有顯著訊號，而 GFS\_CFS 在東移波數 2 與西移波數 3 有微弱訊號。比較 ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG，發現西移季內訊號較東移訊號明顯，ECHAM5\_CFS 在西移波數 2 至波數 4 有較明顯訊號，而東移則是出現在波數 2 與波數 4 有微弱訊號。ECHAM5\_OPG 西移訊號集中在波數 2 至波數 5，波數 5 的訊號較強，而較弱東移訊號集中在波數 1 與波數 5。在 0430 的 run 中，四組模式比較起來，以 ECHAM5\_CFS 在模擬季內擾動訊號較明顯，ECHAM5\_OPG 次之。不過，ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 西移的訊號太強，則是其缺點。

接著分析 1981-2005 年夏季 0531 的 run（圖 66），GFS\_CFS 與 GFS\_OPG 最強訊號呈現對稱性的集中在波數 0，其次東移訊號在波數 1 與波數 4，而 GFS\_OPG 東移訊號略強於 GFS\_CFS。ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 則未像 GFS\_CFS 與 GFS\_OPG 最強訊號呈現對稱性的集中在波數 0，季內西移訊號較東移強，季內西移訊號主要分布在波數 3，不同海溫對西移訊號的影響不大，東移訊號主要分佈在波數。

分析 1981-2005 年冬季 1031 的 run，發現 NOAA OLR（圖 67a）在 30-60 天週期波數 1 東移訊號較強，其次是波數 2 與波數 3，西移訊號微弱。GFS\_CFS 與 GFS\_OPG（因訊號較弱，color bar interval 較 NCEP R2、ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 小 1/3）在週期 30-60 天訊號微弱，而 GFS\_CFS 在東移波數 1 與西移波數 4 有微弱季內訊號，西移微弱訊號出現在波數 2。比較 ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG，發現西移季內訊號還是較東移訊號明顯，ECHAM5\_CFS 西移擾動在波數 4 有較明顯訊號，而東移則是出現在波數 2 有微弱訊號。ECHAM5\_OPG 西移訊號在波數 3 的訊號較強，而東移訊號微弱。

在 1031 的 run 中，四組模式比較起來，以 GFS\_CFS 在模擬季內擾動東移波數 1 的擾動訊號較明顯，較接近觀測值。

分析 1981-2005 年冬季 1130 的 run (圖 68), GFS\_CFS 與 GFS\_OPG 最強訊號呈現對稱性的集中在波數 0, 與夏季時的現象一致, 而且西移訊號較東移訊號稍強, GFS\_OPG 在西移波數 3 訊號較明顯。ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 西移訊號亦較東移訊號強, ECHAM5\_CFS 在波數 4 有較強西移季內訊號, 而 ECHAM5\_OPG 則在波數 3 有較強西移季內訊號。在東移季內訊號方面, ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 在波數 1 均出現較弱訊號。

綜觀在 1981-2005 年夏季與冬季對熱帶地區 OLR 季內擾動波數頻率的模擬分析, 發現以下幾個現象:

- (一) ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 不論在夏季或是冬季, 西移的現象均較東移的現象明顯。
- (二) 不論夏季或是冬季, GFS\_CFS 與 GFS\_OPG 使用 0430 與 1031 的 runs 時, 訊號均比使用 0531 與 1130 的 runs 時, 訊號偏弱。
- (三) GFS\_CFS 與 GFS\_OPG 分別使用 0531 與 1130 的 run 來分析夏季與冬季的 OLR 季內擾動波數頻率時, 會出現波數 0 的特殊現象, 而使用 0430 與 1031 的 run 來分析卻無此現象出現。相對於 ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG, 亦無此現象出現。
- (四) 不同模式使用不同海溫對於 OLR 季內擾動的波數頻率模擬, 對改善季內擾動西移或東移現象不大, 主要影響在訊號強弱差異。

## 九、單變數經驗正交函數相位分析

季內振盪不論在夏季與冬季，均有沿著赤道東移現象，夏季時在印度洋有向北移行現象。為了解模式是否能模擬夏季與冬季季內擾動是否具有沿著赤道東移現象，我們分析1981-2005年夏季與冬季NOAA OLR與GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的OLR經驗正交函數（Empirical Orthogonal Functions以下簡稱EOF）的第一個特徵向量的時間序列與各個變數（譬如，2公尺溫度、雲蓋量、輻散場、比濕、相對溼度、垂直速度、水氣輻散場、潛熱通量、可感熱通量、表面溫度、平均海平面氣壓、表面氣壓、垂直風切、對流降水、淨表面熱通量等）之間存在密切關係。季內對流沿著赤道地區從西印度洋東移至西太平洋地區，「表面摩擦輻合作用—低層輻合作用—對流」空間配置與相位差的關係是促使季內對流東移的主要機制，東移的機制類似「Frictional-Kelvin-Wave-CISK」理論(Hendon and Salby,1994;Jones and Weare,1996;Maloney and Hartmann,1998)。而夏季季內對流的北移可以分為兩階段，而且兩個階段的北移機制是不同的。在季內對流北移的第一個階段，促使對流北移的主要機制為對流前緣不穩定的低層大氣。而造成對流前緣的低層大氣變的不穩定的主要原因，為對流北側為強日照的下沉運動區，表面風速微弱，SST與表面溫度上升，導致可感熱上傳，使得對流北側低層大氣變得較為不穩定，形成有利對流北移的大氣環境。至於對流北移的第二個階段，主要是受到對流北側氣旋式環流增強並且與印度半島陸地交互作用，促使對流北側低層輻合作用，比濕增加，與增強上升運動而造成對流向北移行。（翁，2000；Hsu,Weng and Wu，2004）

在本報告中，限於篇幅，僅討論OLR與850hPa水氣輻散場之間的關係。

圖 69 為 1981-2005 年夏季 30-60 天熱帶地區（30°S-30°N,0°E-360°E）NOAA OLR 第一個經驗正交函數特徵向量（解釋 11.9%變異數）時間序列與 NCEP R2 850hPa 比濕輻散場所做的延遲相關圖。從圖中可見，季內 OLR 擾動主要從生成於熱帶印度洋（圖 69d、圖 69e），季內擾動生成後，隨時間向東與向北移行（圖 69g、圖 69h、圖 69i、圖 69j），東移至熱帶西太平洋的季內擾動，有向西北太平洋北移現象（圖 69a、圖 69b、圖 69c），在整個季內擾動向東與向北移行過程中，低對流層水氣輻合相位均有領先 OLR 的季內擾動，顯示熱帶地區低對流層水氣輻合對季內振盪生成、發展與移行，扮演重要角色。事實上，除了低對流層水氣輻合之外，對流前緣大氣不穩定度增加造成 CAPE 增加、CIN 減少、垂直風切減小等，也是，季內對流生成、發展與移行重要因素。

圖 70 為 1981-2005 年夏季 30-60 天熱帶地區（30°S-30°N,0°E-360°E）GFS\_CFS OLR 第一個經驗正交函數特徵向量（解釋 5.76%變異數）時間序列與 GFS\_CFS 850hPa 比濕輻散場所做的延遲相關圖。從圖中見到，GFS\_CFS 模擬的主要訊號並非出現在熱帶印度洋與西太平洋，而是出現在阿拉伯海北部與阿拉伯半島附近，GFS\_CFS 無法模擬出夏季季內擾動主要結構與移行現象。圖 71 為 1981-2005 年夏季 30-60 天熱帶地區（30°S-30°N,0°E-360°E）GFS\_OPG OLR 第一個經驗正交函數特徵向量（解釋 5.76%變異數）時間序列與 GFS\_OPG 850hPa 比濕輻散場所

做的延遲相關圖。GFS\_OPG模擬出的季內擾動與GFS\_CFS的結果類似，顯示，同一模式使用不同海溫對季內振盪的模擬結果變化不大。

接著分析ECHAM5模式的模擬結果，圖72為1981-2005年夏季30-60天熱帶地區(30°S-30°N,0°E-360°E)ECHAM5\_CFS OLR第一個經驗正交函數特徵向量(解釋8.1%變異數)時間序列與ECHAM5\_CFS 850hPa比濕輻散場所做的延遲相關圖。ECHAM5\_CFS模擬的季內擾動結果呈現兩個非常有趣的現象，即是，在熱帶印度洋上的季內擾動呈現由熱帶東印度洋向西移行至西印度洋的現象，而熱帶西北太平洋地區(0°N-10°N,130°E-170°E)的季內擾動(圖72d、圖72e)生成後，向西移行至熱帶東印度洋與向西北移行至台灣附近，模式模擬出的季內擾動均呈現向西移行特性，這與觀測資料觀測結果不符，不過，在熱帶西北太平洋的季內擾動出現部分向西北移行現象，這與觀測結果類似。圖73為1981-2005年夏季30-60天熱帶地區(30°S-30°N,0°E-360°E)ECHAM5\_OPG OLR第一個經驗正交函數特徵向量(解釋7.3%變異數)時間序列與ECHAM5\_OPG 850hPa比濕輻散場所做的延遲相關圖。ECHAM5\_OPG模擬結果與ECHAM5\_CFS類似，不過，熱帶印度洋上無西移季內擾動，這與ECHAM5\_CFS不同，而且解釋的變異數也較小。

綜觀而言，在1981-2005年夏季，兩組模式並無法在熱帶印度洋與西太平洋地區模擬出與觀測資料相近的季內擾動結構與東移現象，不過，ECHAM5模式在西北太平洋模擬出向西北移行的季內擾動，這與觀測結果類似，而且，第一個特徵向量解釋的變異數略高於GFS模式，但是，ECHAM5模式模擬的季內擾動有顯著西移特性，這與觀測結果差異較大。

圖74為1981-2005年冬季30-60天熱帶地區(30°S-30°N,0°E-360°E)NOAA OLR第一個經驗正交函數特徵向量(解釋10.7%變異數)時間序列與NCEP R2 850hPa比濕輻散場所做的延遲相關圖。圖中可見季內擾動在熱帶西印度洋生成後(圖74d、圖74e)，向東穿越海洋大陸後，移行至熱帶西太平洋，在進入熱帶西太平洋後，部分擾動持續東移穿過換日線進入熱帶東太平洋(圖74d、圖74e、圖74f)，部分北移至熱帶西北太平洋(圖74b、圖74c、圖74d)，在季內擾動通過海洋大陸時，擾動較強訊號主要由爪哇島南側繞行進入並通過海洋大陸，這可能與局部地形效應有關。

圖75為1981-2005年冬季30-60天熱帶地區(30°S-30°N,0°E-360°E)GFS\_CFS OLR第一個經驗正交函數特徵向量(解釋4.85%變異數)時間序列與GFS\_CFS 850hPa比濕輻散場所做的延遲相關圖。從圖中發現GFS\_CFS並無法模擬出與觀測資料相似的季內擾動空間結構，在熱帶印度洋與西太平洋上無顯著季內擾動，而主要的季內擾動出現在印度半島西側，而且似乎呈現滯留性。

圖76為1981-2005年冬季30-60天熱帶地區(30°S-30°N,0°E-360°E)GFS\_OPG OLR第一個經驗正交函數特徵向量(解釋5.12%變異數)時間序列與GFS\_OPG 850hPa比濕輻散場所做的延遲相關圖。從圖中發現GFS\_OPG亦無法模擬出與重分析場類似的季內擾動空間結構，在熱帶印度洋與西太平洋上亦無顯著季內擾動，而主要的季內OLR擾動出現在(10°N-20°N,160°E-160°W)附近，而且亦呈現滯留性現象。在熱帶印度洋與西太平洋的季內訊號微弱且結構零散。GFS\_OPG與GFS\_CFS模擬結果有些微類似現象，不過季內擾動位置與強度略有差異。

至於ECHAM5在冬季的模擬結果，ECHAM5\_CFS(圖77，解釋4.58%變異數)在冬季模擬結果，並未出現由熱帶西印度洋生成，並向東移進入熱帶西太平洋的季內擾動，主要擾動出現在熱帶西太平洋，有近似向西北移行的現象。至於ECHAM5\_OPG(圖78，解釋4.77%變異數)OLR季內擾動，亦未模擬出由熱帶西印度洋生成季內擾動，並向東移進入熱帶西太平洋的現象，其模擬出的主要季內擾動，出現在澳洲北部與東部，不過，似乎呈現滯留狀，沒有顯著移動現象。ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG模擬結果相似度不高，這與夏季的模擬結果相比，冬季時，兩組模式在不同海溫的驅動下，模擬結果相似度較低。

綜合上述分析可見，不論是夏季或冬季，兩組模式對OLR季內擾動的模擬結果不佳，解釋的變異數普遍較觀測值低，大約只有觀測值的50%。

## 十、多變數經驗正交函數 (Multivariate EOF) 分析

Wheeler and Hendon (2004) 提出即時多變數季內振盪指數 (Real-Time Multivariate MJO Index, 簡稱 RMM Index) 方法來評估季內振盪的模擬與預報, 所謂即時 (Real-Time) 是指觀測或預報資料不需經過時間波段濾波處理, 因為過去研究季內振盪時, 一般都會將資料做 30-60 天、30-80 天或是 20-100 天的波段濾波處理, 濾除掉季內時間尺度以外的訊號, 不過, 如果要瞭解短、中期預報資料是否具有季內振盪訊號時, 是無法利用 30-60 天波段濾波方法來求得季內訊號並加以分析。Wheeler and Hendon (2004) 所提出的多變數季內振盪指數, 多變數是指 OLR、850hPa 緯向風場與 200hPa 緯向風場, 方法是將 OLR、850hPa 緯向風場與 200hPa 緯向風場變數去掉平均場, 取 (15°S-15°N, 0°E-0°W) 區域做經向平均與標準化處理, 之後將 3 個變數場依序串接起來, 再做 EOF 處理。而其 EOF 的第 1 個與第 2 個特徵向量的時間序列 (RMM1 與 RMM2), 經過波譜分析後, 發現在週期 30-80 天之間具有較明顯的波譜訊號, 這說明 RMM1 與 RMM2 可以用來代表即時季內擾動。

為了瞭解模式模擬多變數經驗正交函數的經向空間結構與 RMM 指數的年際變化, 我們比較 1981-2005 年夏季與冬季的模擬結果, 並比較其異同。

圖 79 為 1981-2005 年夏季 NOAA(圖 79a)、GFS\_CFS(圖 79b)、GFS\_OPG(圖 79c)、ECHAM5\_CFS(圖 79d) 與 ECHAM5\_OPG(圖 79e) 的多變數經驗正交函數第 1 特徵向量在 (15°S-15°N, 0°E-360°E) 區域的緯向空間結構。五組資料分別解釋變異數百分比為 14%、22.3%、22.7%、22.2%、14.7%。比較觀測與重分析資料及四組模擬結果, 發現 ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 的模擬結果較接近觀測資料, 不過結構略向東偏移 30°, 而 GFS\_CFS、GFS\_OPG 與觀測結果差異大。此外, GFS\_CFS 與 GFS\_OPG 及 ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 空間結構相近, 顯示, CFS 與 OPG 兩組海溫對模擬結果影響不大。

圖 80 為 1981-2005 年夏季 NOAA(圖 80a)、GFS\_CFS(圖 80b)、GFS\_OPG(圖 80c)、ECHAM5\_CFS(圖 80d) 與 ECHAM5\_OPG(圖 80e) 的多變數經驗正交函數第 2 特徵向量在 (15°S-15°N, 0°E-360°E) 區域的緯向空間結構。五組資料分別解釋變異數百分比為 11.6%、17.4%、18.3%、10.4%、11.7%。比較觀測與重分析資料及四組模擬結果, 發現 ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 的模擬結果較接近觀測資料, 不過結構略向東偏移 60°, 結果較第一個特徵向量差。而 GFS\_CFS、GFS\_OPG 與觀測結果差異大。此外, GFS\_CFS 與 GFS\_OPG 及 ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 空間結構相近, 顯示, 對第二個特徵向量的模擬結果而言, CFS 與 OPG 兩組海溫對模擬結果影響不大。

圖 81 1981-2005 年夏季在 (15°S-15°N, 0°E-360°E) 區域 NCEP、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 的 OLR (實線) 的多變數經驗正交函數第 1、2 特徵向量的時間序列的平方和 (代表季內振盪強度, 值越大代表季內振盪強度越強) 的年際變化圖。圖 81a 至圖 81y 分別代表 1981 年至 2005 年每年夏季季內振盪強度的時間序列變化。為使模擬時間貼近實際觀測時間, 每一組模擬結果均使用每年 5 月 31 日 12Z2 的 run (1 組 member)。從圖中發現觀測

資料的季內擾動具有顯著年際變化特性，比較四組模擬結果與觀測資料，發現模式對夏季季內擾動強度模擬結果並不佳，如果我們將四組模擬強度結果與觀測資料做相關係數與 NRMSE 分析，結果顯示，GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 的相關係數分別為 0.15、0.13、0.05、0.01，NRMSE 分別為 2.48、2.56、1.42、1.49，顯示四組模擬結果觀測資料的相關性低，NRMSE 的結果也不佳。

圖 82 為 1981-2005 年夏季 NOAA(圖 82a)、GFS\_CFS(圖 82b)、GFS\_OPG(圖 82c)、ECHAM5\_CFS(圖 82d) 與 ECHAM5\_OPG(圖 82e) 的多變數經驗正交函數第 1 特徵向量在 (15°S-15°N, 0°E-360°E) 區域的緯向空間結構。五組資料分別解釋變異數百分比為 20%、24.5%、25%、15.6%、16.2%。比較觀測與重分析資料及四組模擬結果，發現 ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 的模擬結果雖類似觀測資料，不過結構位置向西偏移約 50°，而 GFS\_CFS、GFS\_OPG 與觀測結果差異大，無法模擬出與觀測結果相近的空間結構。此外，GFS\_CFS 與 GFS\_OPG 及 ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 空間結構相近，顯示在冬季，CFS 與 OPG 兩組海溫對模擬結果影響不大。

圖 83 為 1981-2005 年夏季 NOAA(圖 83a)、GFS\_CFS(圖 83b)、GFS\_OPG(圖 83c)、ECHAM5\_CFS(圖 83d) 與 ECHAM5\_OPG(圖 83e) 的多變數經驗正交函數第 2 特徵向量在 (15°S-15°N, 0°E-360°E) 區域的緯向空間結構。五組資料分別解釋變異數百分比為 10.8%、9.5%、9.7%、13.7%、13.5%。比較模擬結果，發現 ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG (與 ECHAM5\_CFS 反相位) 的模擬結果較接近觀測資料，不過結構略向東偏移約 30°。而 GFS\_CFS、GFS\_OPG 與觀測結果差異大，無法模擬出與觀測資料相近的結構。此外，GFS\_CFS 與 GFS\_OPG 及 ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 空間結構相近，顯示，對第二個特徵向量的模擬結果而言，CFS 與 OPG 兩組海溫對模擬結果影響不大。

圖 84 為 1981-2005 年夏季在 (15°S-15°N, 0°E-360°E) 區域 NCEP、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 的 OLR 的多變數經驗正交函數第 1、2 特徵向量的時間序列的平方和的年際變化圖。為使模擬時間貼近實際觀測時間，每一組模擬結果均使用每年 11 月 30 日 12Z2 的 run (1 組 member)。從圖中發現冬季觀測資料的季內擾動亦具有顯著年際變化特性，比較四組模擬結果與觀測資料 RMM 強度的相關係數與 NRMSE 分析，結果顯示，GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 的相關係數分別為 -0.02、-0.03、0.19、0.17，NRMSE 分別為 2.44、2.36、1.25、1.22，顯示四組模擬結果觀測資料的相關性低，NRMSE 的結果也不佳。不過，GFS 與 ECHAM5 兩個模式相比，ECHAM5 的模擬結果之相關係數與 NRMSE 比 GFS 的結果好。

## 伍、結論與建議

本研究使用氣象局 1981-2005 年夏季與冬季，GFS 與 ECHAM5 兩個氣候模式在 CFS 與 OPG 兩組不同海溫驅動下，產生的 GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 等四組預報的 OLR、總降水量、850hPa 緯向風場與 200hPa 緯向風場及其它變數，與 NOAA OLR、GPCP 降水量及 NCEP R2 重分析場相對應變數，利用氣候平均場、總變異數、季內變異數、波譜分析與波數頻率、單變數 EOF、多變數 EOF 與相關係數分析方法，來分析比較氣候模式在夏季與冬季模擬季內振盪的能力。

分析結果如下：

- 一、模式對氣候平均、總變異數與 30-60 天變異數模擬結果，經過 Pattern Correlation 與 NRMSE 比較，發現模式對 850hPa 與 200hPa 緯向風場的模擬 OLR 與降水量好，對降水量的模擬較差。在兩組 ECHAM5 與 GFS 模式比較上，ECHAM5 比 GFS 的結果好。此外，不論是夏季或是冬季，不同海溫對模式的影響，小於模式之間的差異。
- 二、分析 CAPE、CIN、LCL 與 LFC 的季節平均發現，夏季與冬季 GFS 模式在熱帶洋面上，CAPE 較大、CIN 值較小，LCL 與 LFC 值較低，較有利於對流生成，在熱帶西太平洋上，ECHAM5 的 CAPE 較小、LCL 與 LFC 值較高，較不利於對流生成。但就空間結構分佈而言，ECHAM5 較接近重分析場。
- 三、降水量分析結果顯示，模式在冬季的模擬結果較夏季時為佳，海溫對降水量模擬的影響小於模式間的差異。平均場分析顯示，兩組模式差異較小，但總變異數與季內變異數分析結果顯示，ECHAM5 的模擬結果優於 GFS。
- 四、利用 Pattern Correlation 與 NRMSE 分析氣候平均場、總變異數及季內總變數，結果顯示在夏季與冬季 OLR 與 200hPa 緯向風場的差異不大，不過，在冬季時，850hPa 的模擬結果優於夏季。
- 五、在夏季三個區域的模擬分析中，南海與菲律賓東部西北太平洋地區（10°N-20°N，110°E-140°E）區域以 ECHAM5\_CFS 在 0531 的模擬較佳，而在熱帶東印度洋（5°S-5°N，80°E-95°E）與印度半島西側阿拉伯海附近（10°N-15°N，65°E-75°E）區域則以 GFS\_CFS 的模擬較佳。似乎，在夏季使用 CFS 海溫模擬季內 OLR 的效果較好。冬季針對澳洲北部外海地區季內振盪的模擬 ECHAM5\_OPG 在 1031 的 run 中模擬出週期 30 天的頻譜，但在 1130 的 run 中並未模擬出顯著季內擾動頻譜，所以，似乎較接近預報初始場的季內擾動模擬結果並不一定較佳。
- 六、使用波譜分析 OLR 結果，發現 ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 不論在夏

季或是冬季，西移的現象均較東移的現象明顯。而且，夏季或是冬季，GFS\_CFS 與 GFS\_OPG 使用 0430 與 1031 的 runs 時，訊號均比使用 0531 與 1130 的 runs 時，訊號偏弱。GFS\_CFS 與 GFS\_OPG 分別使用 0531 與 1130 的 run 來分析夏季與冬季的 OLR 季內擾動波數頻率時，會出現波數 0 的特殊現象，而使用 0430 與 1031 的 run 來分析卻無此現象出現。相對於 ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG，亦無此現象出現。不同模式使用不同海溫對於 OLR 季內擾動的波數頻率模擬，對改善季內擾動西移或東移現象不大，主要影響在訊號強弱差異。

- 七、利用波數與頻率分析結果顯示，ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 不論在夏季或是冬季，西移的現象均較東移的現象明顯。不同模式使用不同海溫對於 OLR 季內擾動的波數頻率模擬，對改善季內擾動西移或東移現象不大，主要影響在訊號強弱差異。GFS\_CFS 與 GFS\_OPG 分別使用 0531 與 1130 的 run 來分析夏季與冬季的 OLR 季內擾動波數頻率時，會出現波數 0 的特殊現象，而使用 0430 與 1031 的 run 來分析卻無此現象出現。而 ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG，亦無此現象出現。
- 八、使用單變數 EOF 分析熱帶地區季內擾動結構與移行特性，發現在夏季，兩組模式並無法在熱帶印度洋與西太平洋地區模擬出與觀測資料相近的季內擾動結構與東移現象，不過，ECHAM5 模式在西北太平洋模擬出向西北移行的季內擾動，這與觀測結果類似。冬季時，兩組模式在不同海溫的驅動下，模擬結果相似度較低。不論是夏季或冬季，兩組模式無法模擬類似觀測值的季內空間結構、分佈與移行現象，而且解釋的變異數較觀測值低，大約只有觀測值的 50%。
- 九、利用多變數 EOF 分析 OLR、850hPa 緯向風場與 200hPa 緯向風場的季內擾動，在季內空間結構的分佈模擬上，發現 ECHAM5 的模擬結果較 GFS 好，季內擾動強度的時間序列相關係數分析與 NRMSE 分析顯示在冬季 ECHAM5 的模擬結果較夏季好，GFS 則是在夏季模擬結果較好，使用 CFS 海溫模擬結果略優於 OPG 海溫。不過，因為相關係數值均未超過 0.2，統計上的意義較低。

Slingo et al. (1996) 使用月平均海溫驅動大氣 GCM 模式來模擬季內振盪，結果發現所有 AMIP (Atmospheric Model Intercomparison Project) 模式均無法模擬出週期 30-70 天緯向波數 1 的 200hPa 速度位的季內變化。Lin et al. (2006) 分析 14 個 CMIP3 (Coupled Model Intercomparison Project-3) 模式模擬的季內變化，發現只有其中 2 個模式有模擬出近似觀測資料的季內變異數。Sperber and Annamalai (2008) 使用 CMIP3 模擬季內振盪東移現象時，結果略有改善。過去十幾年來，大部分氣候模式均在改善模擬季內振盪，尤其是物理參數化方面。Slingo et al. (1996) 認為改善積雲參數化有利改善季內振盪模擬結果，而 Lin et al. (2006) 認為改善大氣水氣輻合作用有利改善模式模擬季內變化。

最近的研究多顯示位於季內振盪深對流東側的淺對流發展是主要關鍵。亦即，垂直加熱結構必須向上往西傾斜，才能促成季內振盪的東移。如何改善季內振盪模擬，一般認為必須從物理參數化著手，但是哪一部分的參數化最重要則無一定結論。研究顯示改善積雲參數化、淺對流、雲輻射作用、邊界層都可以一定程度改善季內振盪模擬，而且不同模式有不同反應。簡而言之，目前在參數化改善部分，尚無共識。由於季內振盪是多重尺度現象，全球和對流尺度現象都參與其中進行交互作用，而且熱帶對流提供主要的能量來源與決定季內振盪的特性，因此改善模式模擬熱帶對流的能力，應該是改善季內振盪模擬能力的先決條件。

模式解析度方面，雖然極高解析度模擬不見得可以模擬出較佳的季內振盪，但是如果解析度太低，勢必無法模擬出熱帶對流特性，極可能無法改善模式模擬季內振盪的能力。言此觀之，增加模式的水平及垂直解析度應該是改善模式模擬季內振盪的必要條件。

另一個可能性是海氣耦合。這方面的探討近幾年相當多。許多研究顯示雖然海氣耦合不是具主宰性的物理過程，但是仍可以某種程度改善季內振盪的模擬結果。亦即，如果大氣模式本身無法產生季內振盪至一定程度，即使與海洋模式耦合，很可能無明顯改善。德國 U. of Kiel 的最近研究結果則稍有不同，他們發現如果將國內莊秉潔教授的一維高解析海洋混合層模式與 ECHAM5 耦合，可以大幅度改善季內振盪模擬結果。ECHAM5 的季內振盪原本屬於滯留型態，缺乏東移特徵，加入該一維海洋模式後，不僅東移現象明顯，週期接近觀測值，連對流的垂直結構都變得相當真實。此一改善是不是特例，如果將該混合層模式耦合至其大氣模式，是否有同樣的顯著效果，仍有待進一步研究。

本計畫診斷的模擬資料是由舊版本模式所產出，該模式中的熱帶對流仍有許多待改善之處，季內振盪訊號相當微弱，基本上無法判斷是由何種因素造成。建議未來不須繼續診斷該模式，而是改為診斷新版模式的結果，了解新版模式的特性，評估模擬能力。除了診斷既有模擬結果，亦應規劃敏感度測試，藉由改變模式參數化，有系統的評估模式參數化的影響。除此之外，亦可嘗試耦合莊秉傑教授的模式至氣象局新版大氣模式，看是否可以像 ECHAM5 一樣，有顯著的改善。

## 陸、成果的貢獻與價值

本研究主要的貢獻與價值如下：

- 一、瞭解並使用美國 CLIVAR 季內振盪工作團隊所發展來評估季內振盪的診斷工具，熟悉診斷工具的特性與限制，用以評估氣象局 GFS 氣候模式與德國 ECHAM5 氣候模式，在不同海溫的驅動下，預報夏季與冬季季內振盪能力與差異。
- 二、評估氣候預測模式不同變數間的氣候平均場、變異數、季內變異數、季內頻譜、波數分布、季內擾動空間結構分佈及移行特性，以及相互之間的關係，找出模式模擬結果與觀測值之間的差異，藉以了解模式特性，並與國外其它氣候模式預報結果比較，瞭解氣象局氣候模式與國外氣候模式的差異。
- 三、研究成果將作為後續研究氣象局氣候模式的基礎參考，未來可利用本研究方法，進一步分析氣象局新一代氣候模式的模擬結果，找出氣候模式模擬季內振盪與觀測資料主要結構生成、發展與移行的物理機制異同與原因，改善並增進氣象局未來氣候預報能力。

## 柒、落實應用情形

本研究所使用的 CLIVAR 評估季內振盪的診斷程式與其它相關分析技術，除透過上課或講解方式向氣象局相關人員提供至少兩小時以上的報告與討論外，並將程式與分析圖檔燒錄成光碟資料，提供氣象局相關人員持續分析研究，俾利本研究技術成果，能落實於氣象局氣候預報分析作業，進一步提升氣象局對季內振盪分析及氣候預報能力。

## 捌、附圖

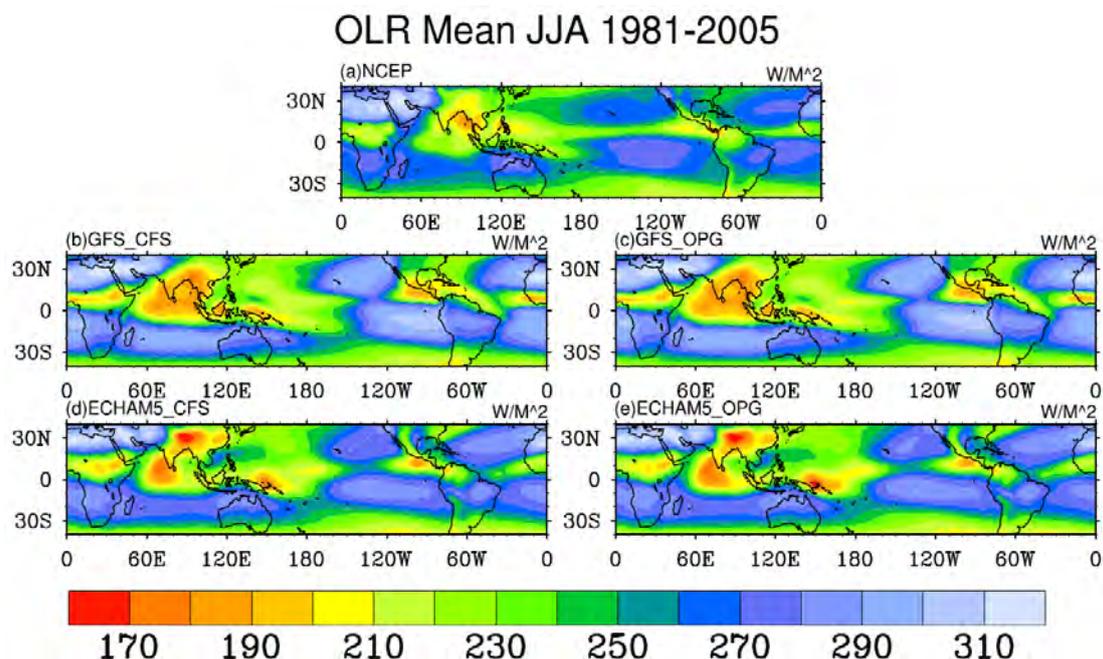


圖1 1981-2005年夏季OLR季節平均圖。(a)、(b)、(c)、(d)與(e)分別為NOAA、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的OLR季節平均圖，單位為 $w/m^2$ 。

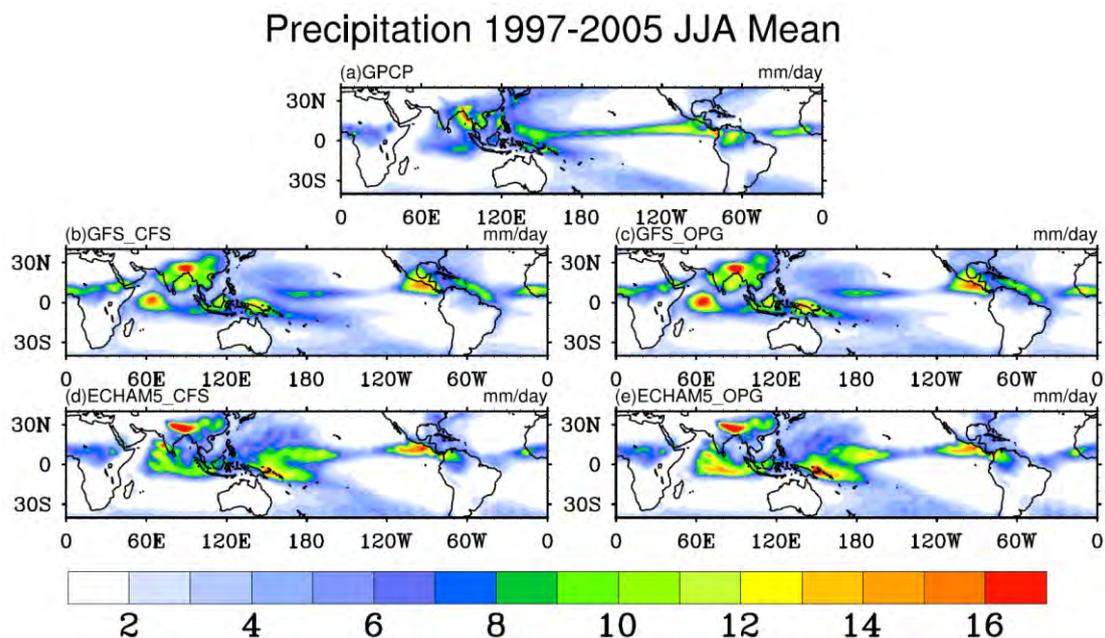


圖2 1997-2005年夏季降水量季節平均圖。(a)、(b)、(c)、(d)與(e)分別為GPCP、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的降水量季節平均圖，單位為 $mm/day$ 。

### U 850hPa mean JJA 1981 2005

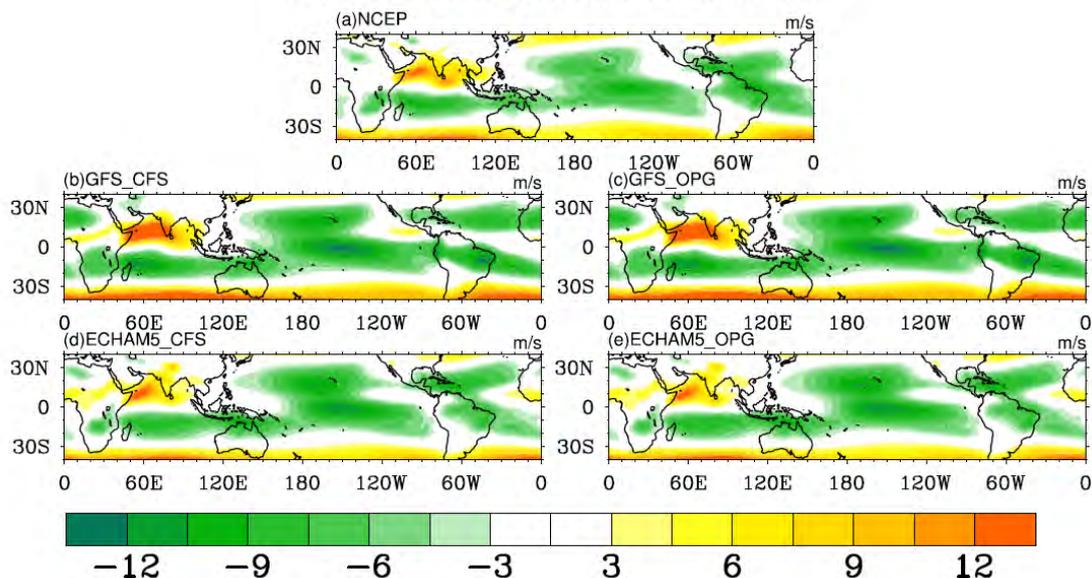


圖 3 說明同圖 1，但為 850hPa 緯向風場，單位為 m/sec。

### U 200hPa mean JJA 1981 2005

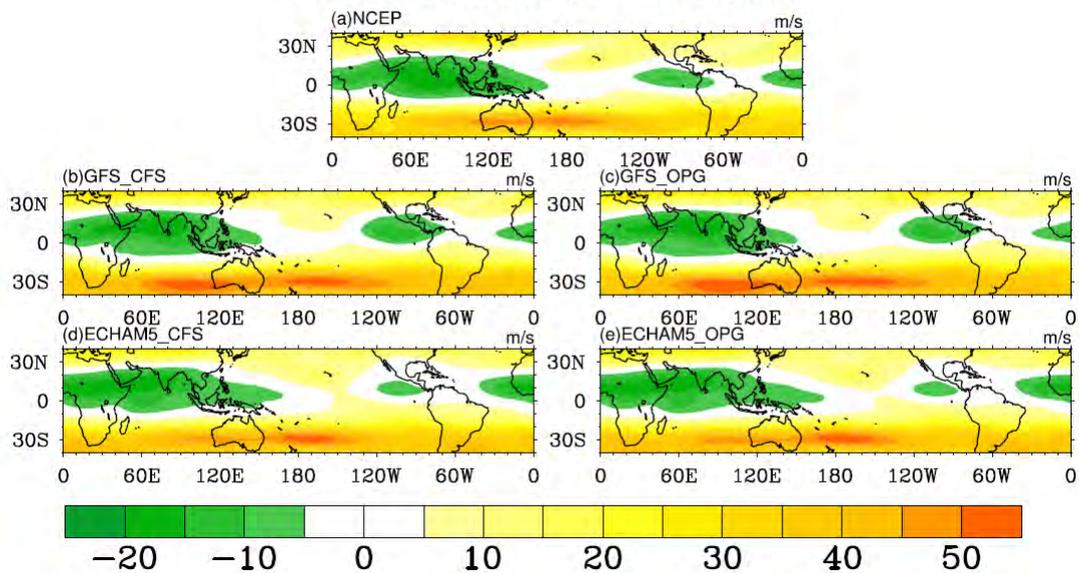


圖 4 說明同圖 1，但為 200hPa 緯向風場，單位為 m/sec。

### CAPE Mean JJA 1981-2005

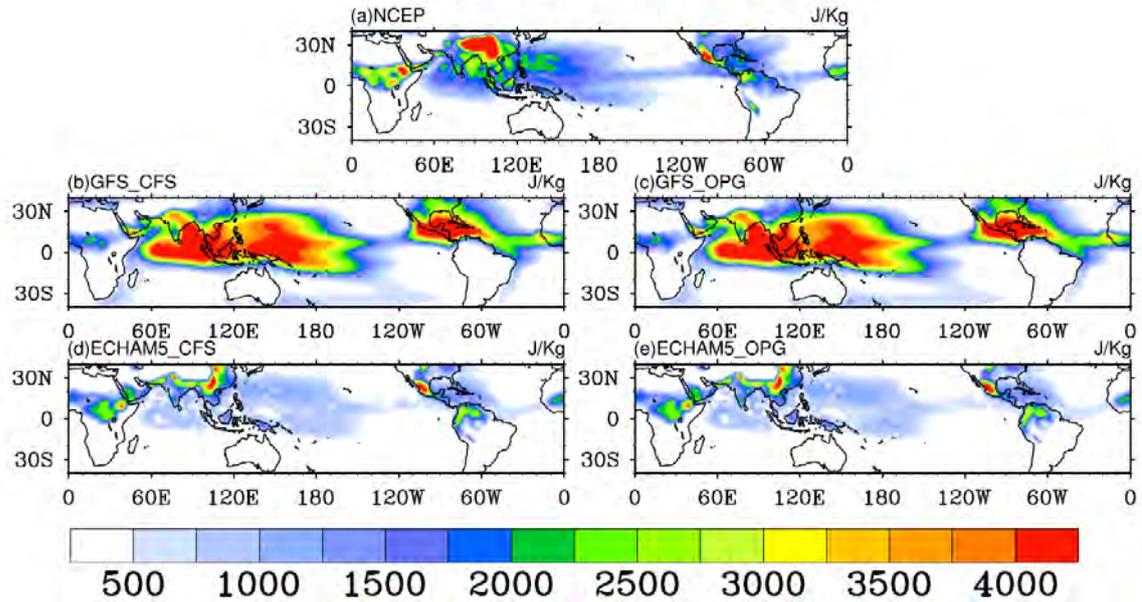


圖5 1981-2005年夏季對流可用位能(CAPE)季節平均圖。(a)、(b)、(c)、(d)與(e)分別為NOAA、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的CAPE季節平均圖，單位為J/Kg。

### CIN mean JJA 1981-2005

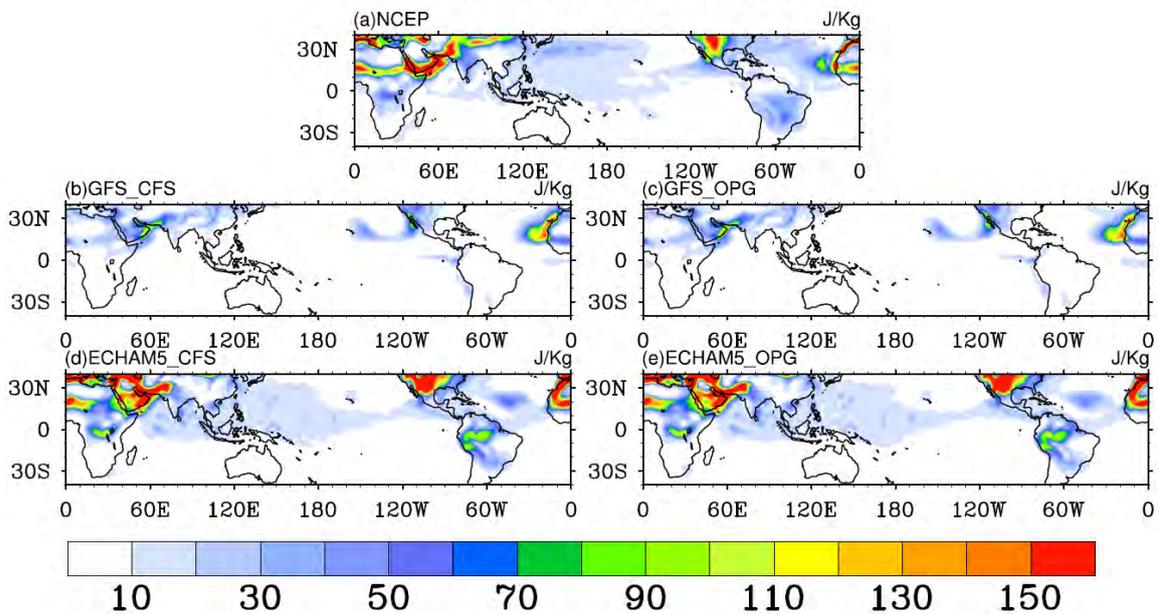


圖6 1981-2005年夏季對流抑制(CIN)季節平均圖。(a)、(b)、(c)、(d)與(e)分別為NOAA、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的CIN季節平均圖，單位為J/Kg。

### LCL Mean JJA 1981-2005

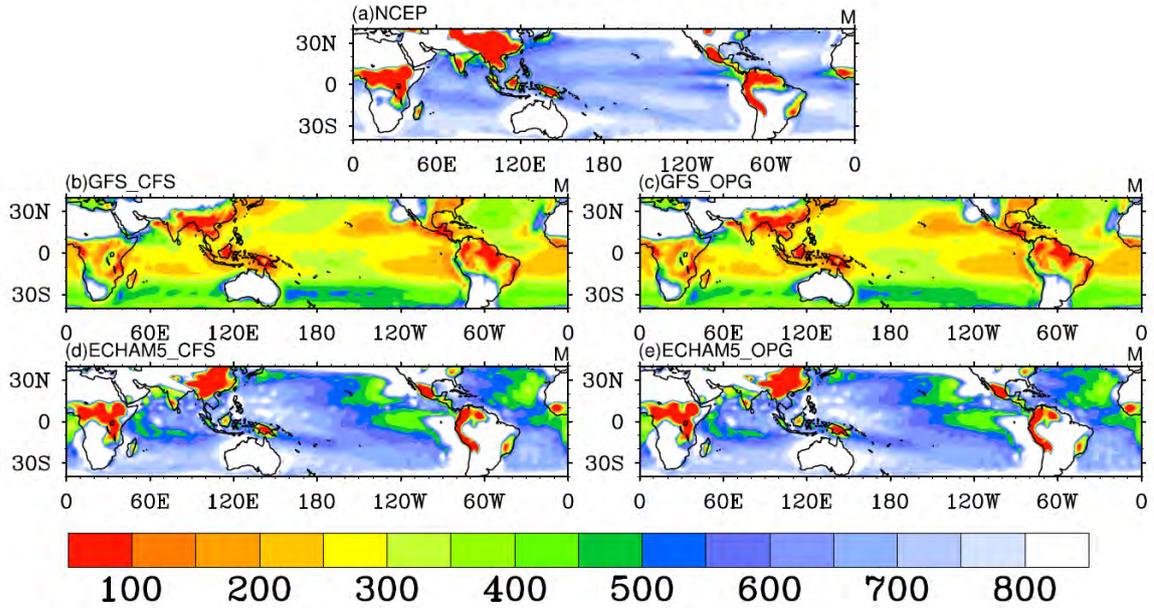


圖7 1981-2005年夏季舉升凝結高度(LCL)季節平均圖。(a)、(b)、(c)、(d)與(e)分別為 NOAA、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 的LCL季節平均圖，單位為公尺。

### LFC Mean JJA 1981-2005

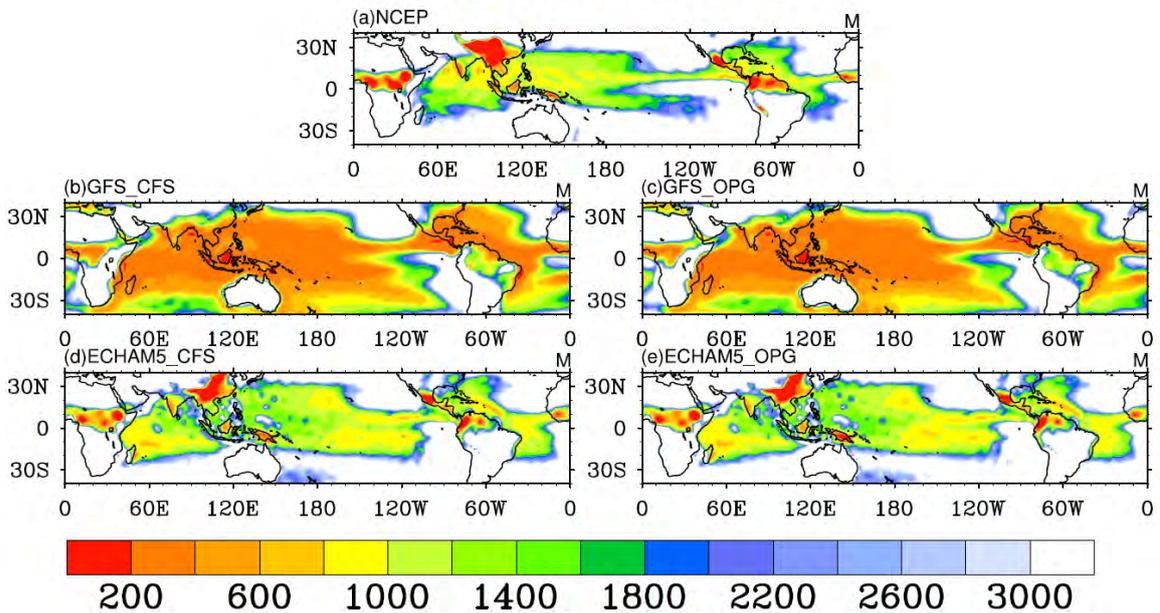


圖8 1981-2005年夏季自由對流高度(LFC)季節平均圖。(a)、(b)、(c)、(d)與(e)分別為 NOAA、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 的LFC季節平均圖，單位為公尺。

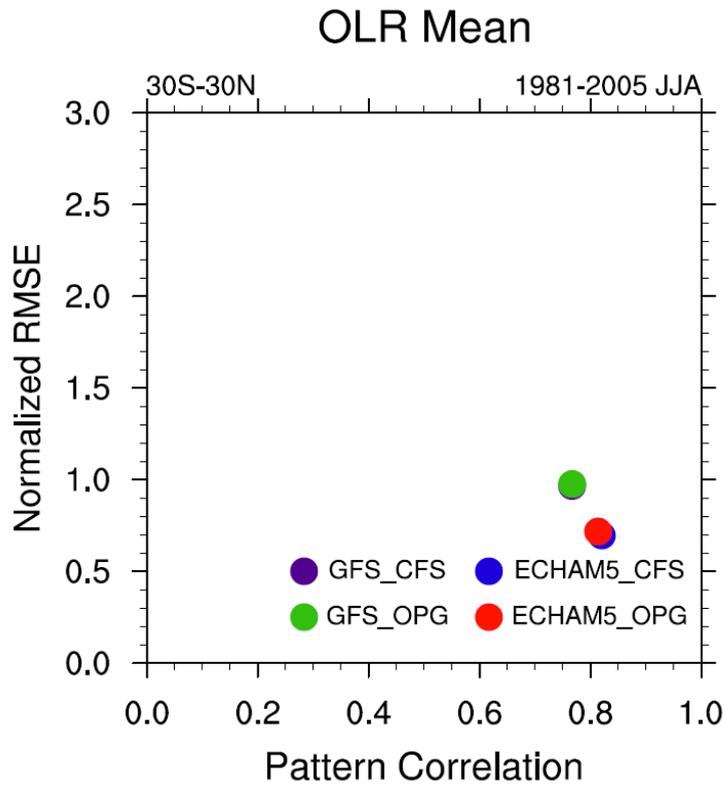


圖9 1981-2005年夏季NOAA重分析OLR氣候平均場分別與GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的OLR氣候平均場在(30°S-30°N,0°E-0°W)地區所做的Pattern Correlation與NRMSE圖。

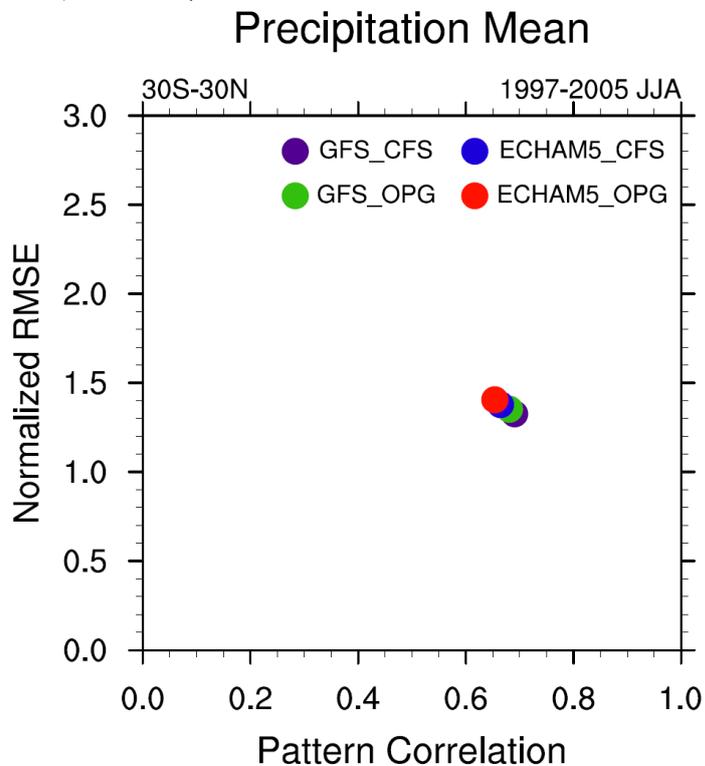


圖10 1997-2005年夏季GPCP降水量氣候平均場分別與GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的降水量氣候平均場在(30°S-30°N,0°E-0°W)地區所做的Pattern Correlation與NRMSE圖。

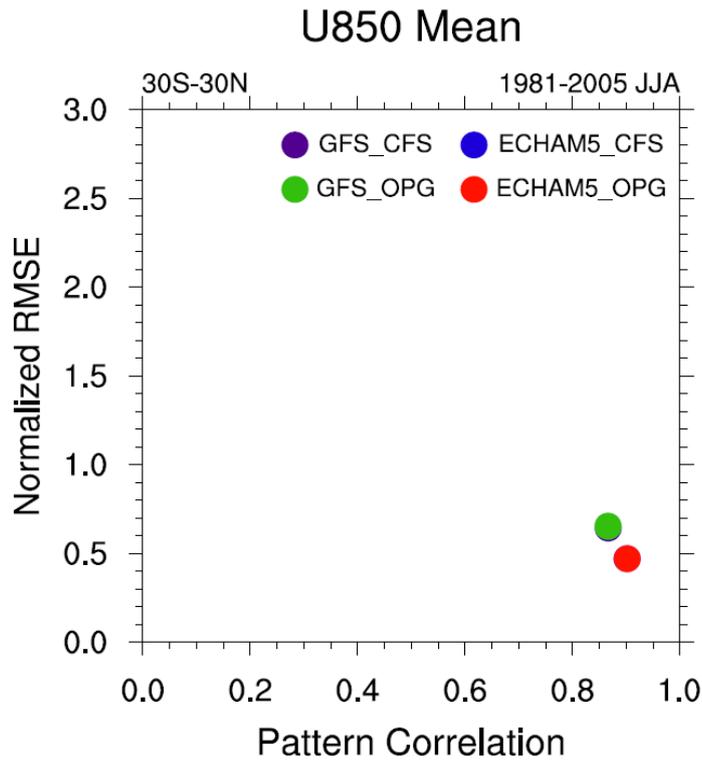


圖 11 說明同圖 5，但為 850hPa 緯向風場。

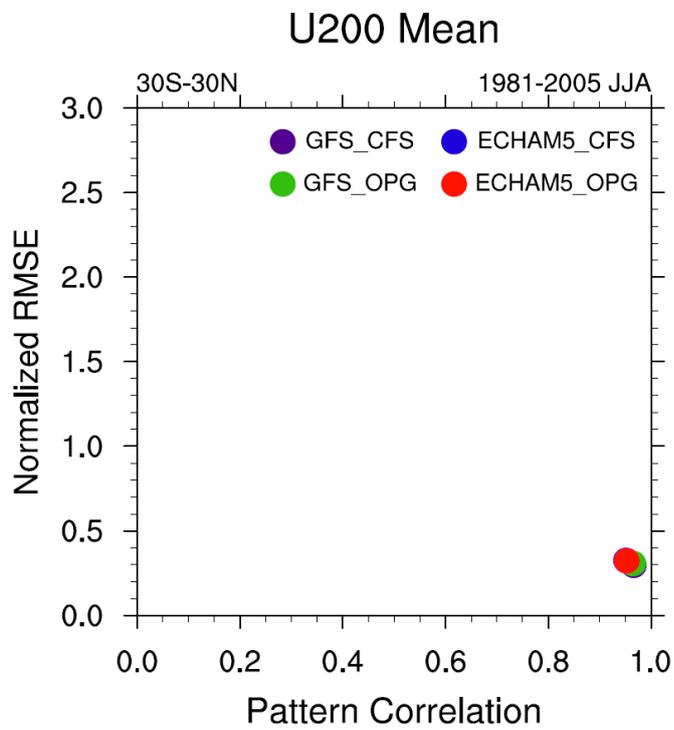


圖 12 說明同圖 5，但為 200hPa 緯向風場。

### OLR Variance JJA 1981-2005

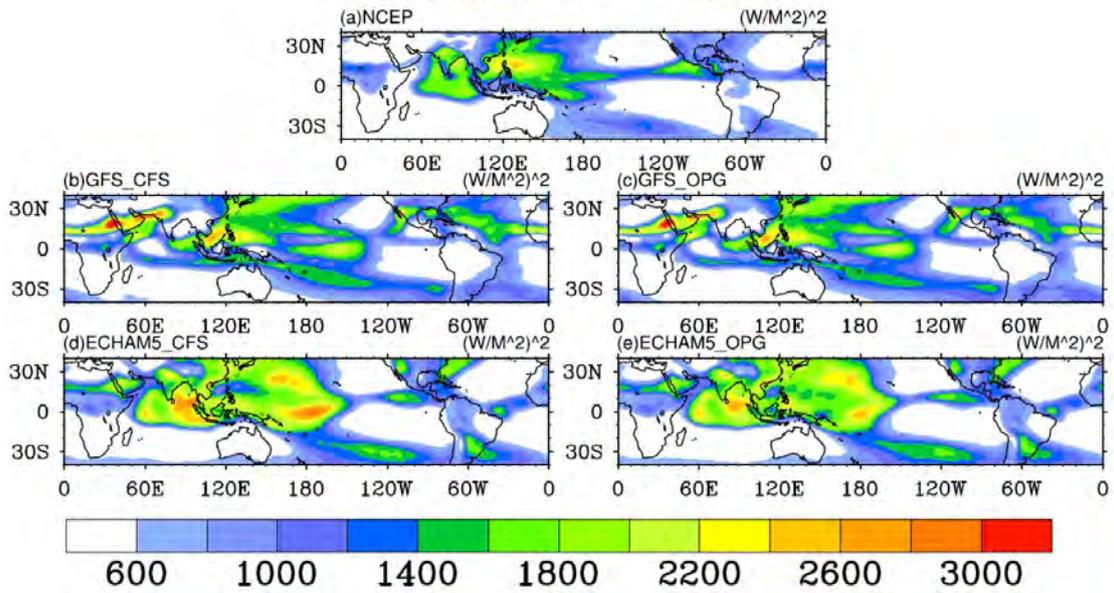


圖13 1981-2005年夏季OLR總變異數圖。(a)、(b)、(c)、(d)與(e)分別為NOAA、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的OLR總變異數圖，單位為 $w^2/m^4$ 。

### Precipitation 1997-2005 JJA Total Variance

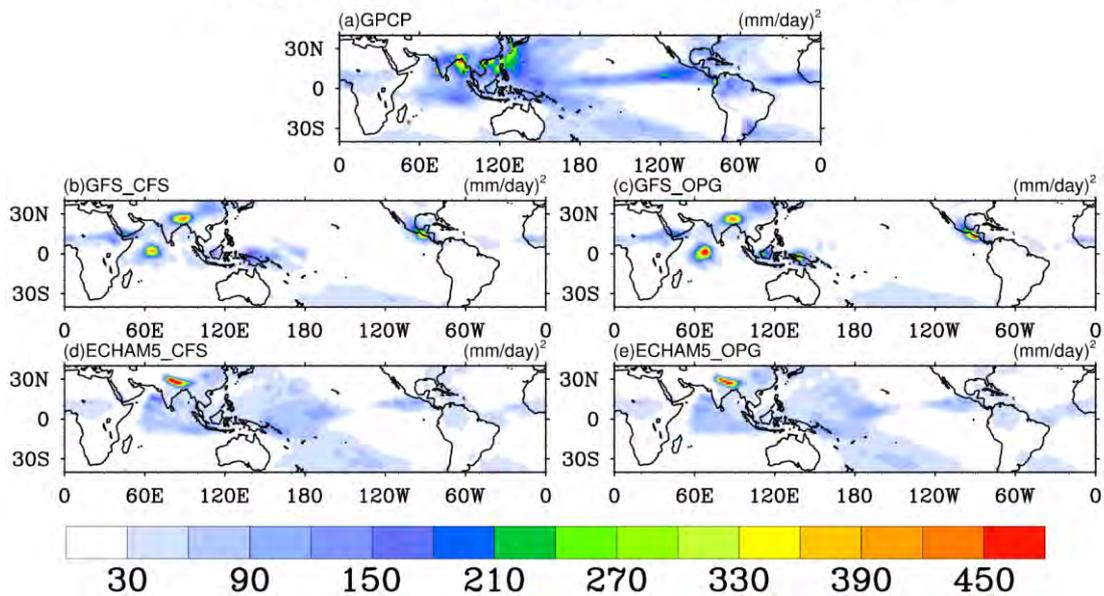


圖14 1997-2005年夏季降水量總變異數圖。(a)、(b)、(c)、(d)與(e)分別為GPCP、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的降水量總變異數圖，單位為 $mm^2/day^2$ 。

### U850 1981-2005 JJA Total Variance

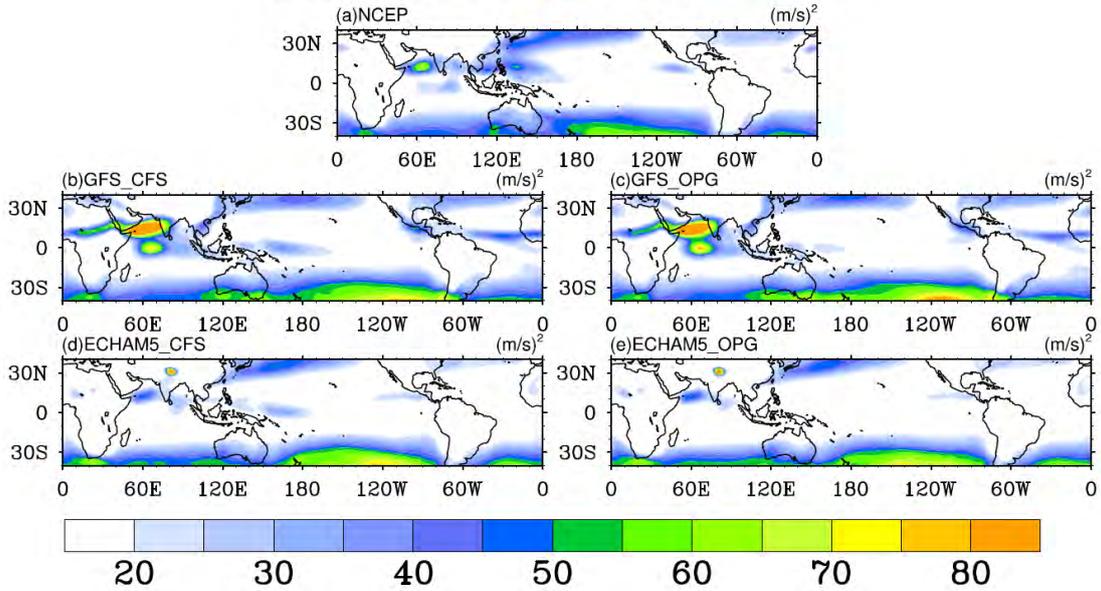


圖 15 說明同圖 13，但為 850hPa 緯向風場，單位為  $m^2/sec^2$ 。

### U200 1981-2005 JJA Total Variance

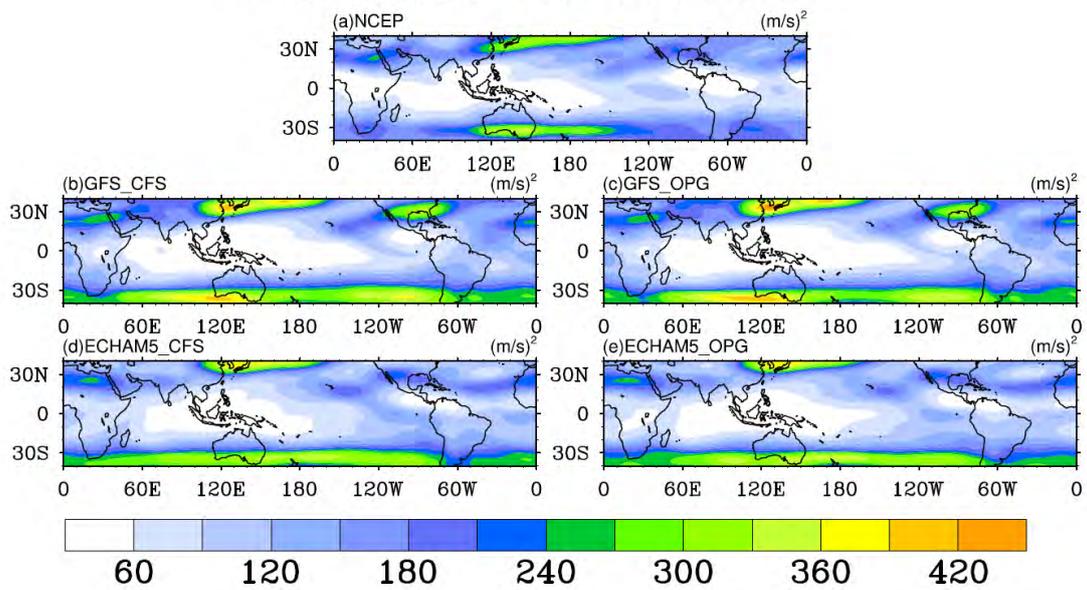


圖 16 說明同圖 13，但為 200hPa 緯向風場，單位為  $m^2/sec^2$ 。

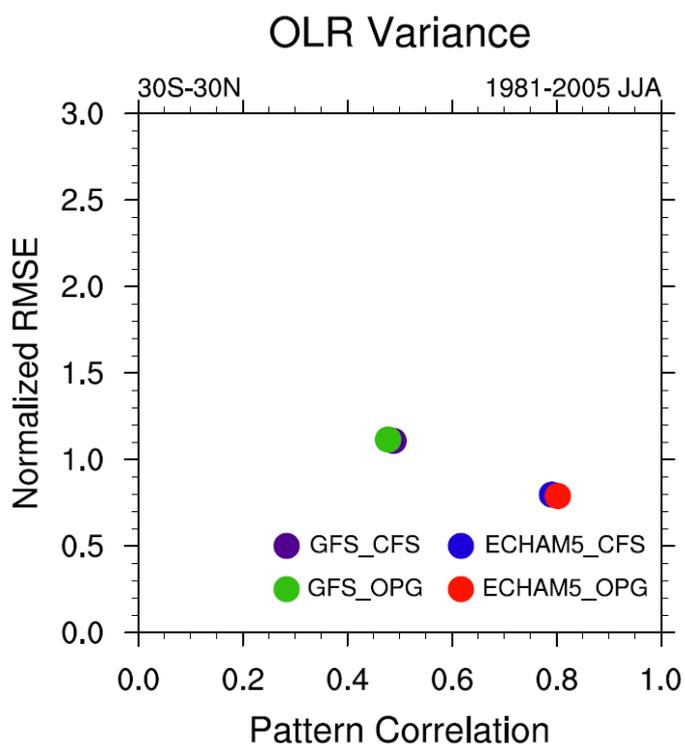


圖 17 1981-2005年夏季NOAA OLR總變異數分別與GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的OLR總變異數在(30°S-30°N,0°E-0°W)地區所做的Pattern Correlation與NRMSE圖。

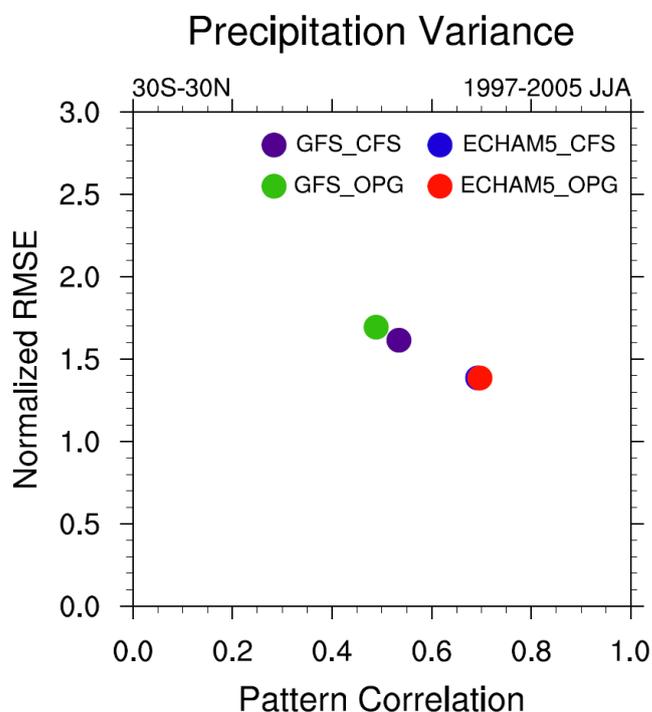


圖 18 1997-2005年夏季GPCP降水量總變異數分別與GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的降水量總變異數在(30°S-30°N,0°E-0°W)地區所做的Pattern Correlation與NRMSE圖。

## U850 Variance

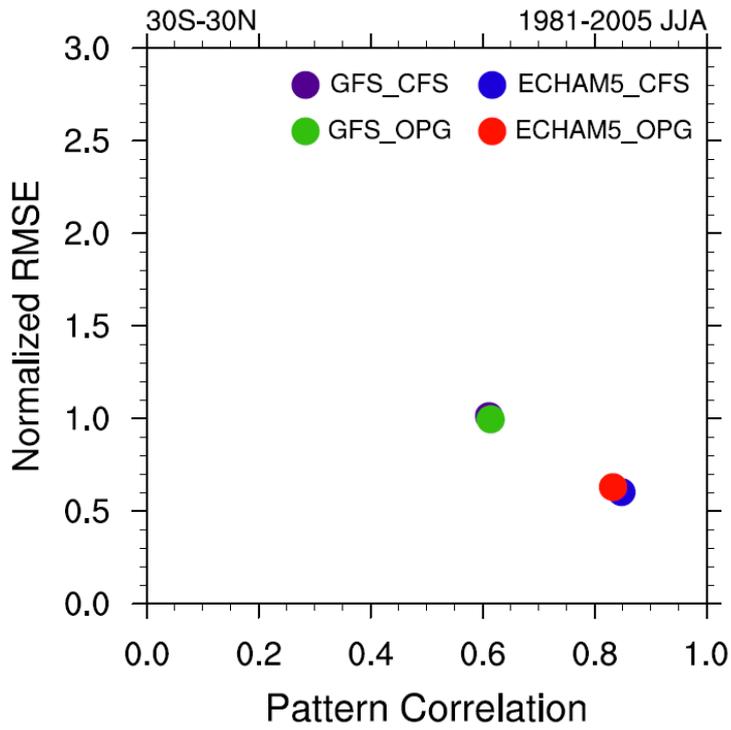


圖19 說明同圖17，但為850hPa緯向風場。

## U200 Variance

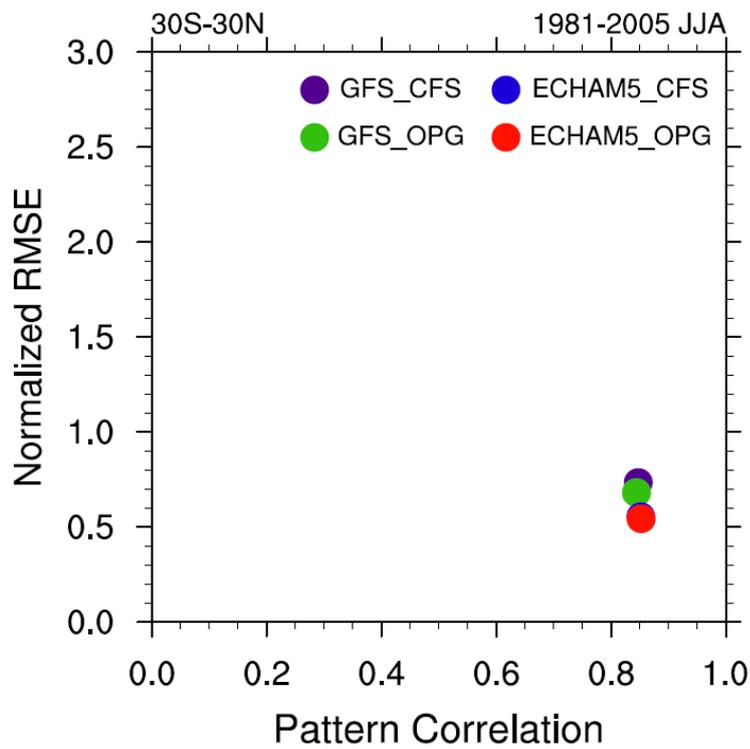


圖20 說明同圖17，但為200hPa緯向風場。

## OLR 30-60 Day Variance JJA 1981-2005

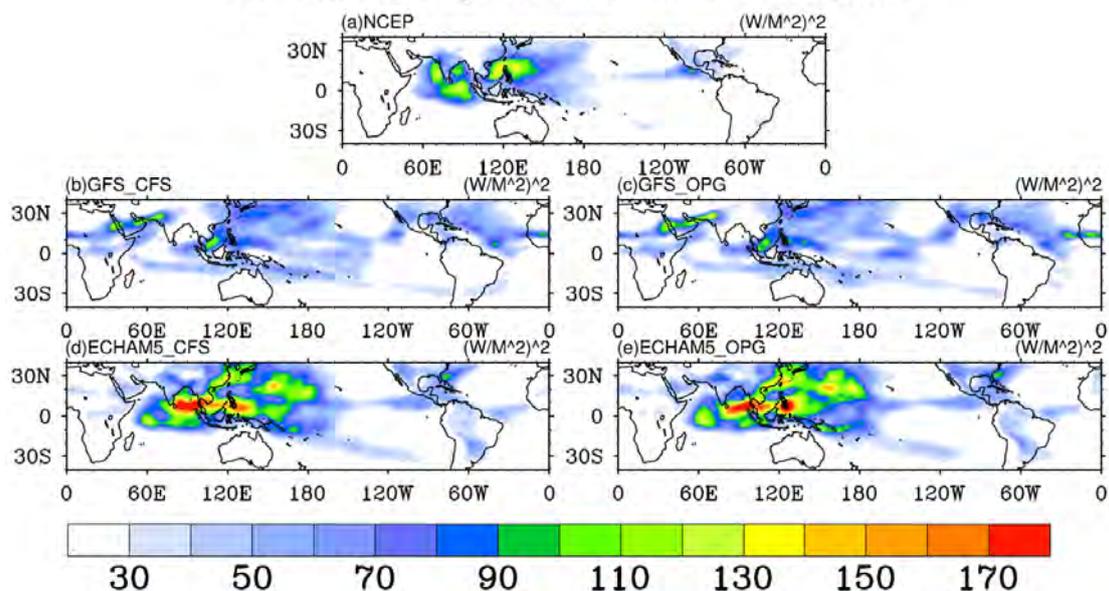


圖21 1981-2005年夏季30-60天OLR變異數圖。(a)、(b)、(c)、(d)與(e)分別為NOAA、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的季內OLR變異數圖，單位為 $w^2/m^4$ 。

## Precipitation 1997-2005 JJA 30-60 day Variance

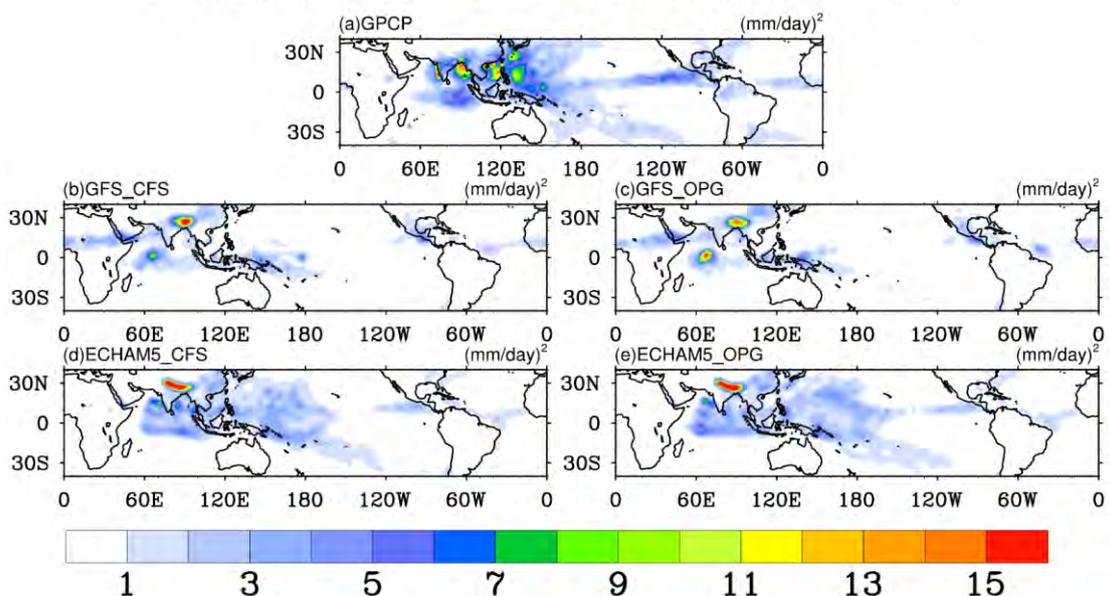


圖22 1997-2005年夏季週期30-60天降水量變異數圖。(a)、(b)、(c)、(d)與(e)分別為GPCP、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的週期30-60天降水量變異數圖，單位為 $mm^2/day^2$ 。

### U850 1981-2005 JJA 30-60 day Variance

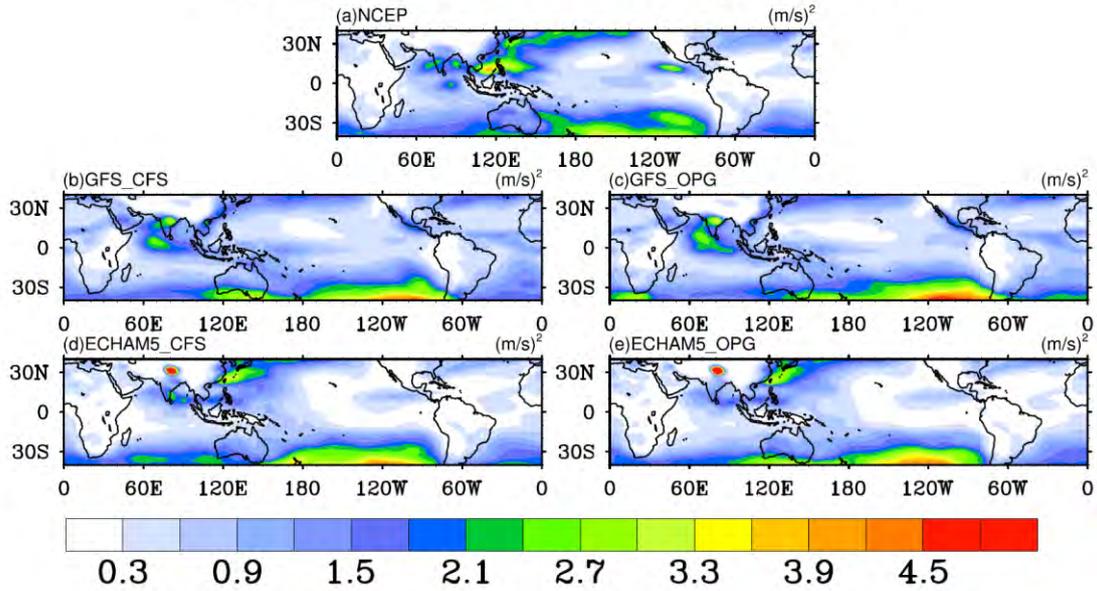


圖 23 說明同圖 21，但為 850hPa 緯向風場，單位為  $m^2/sec^2$ 。

### U200 1981-2005 JJA 30-60 day Variance

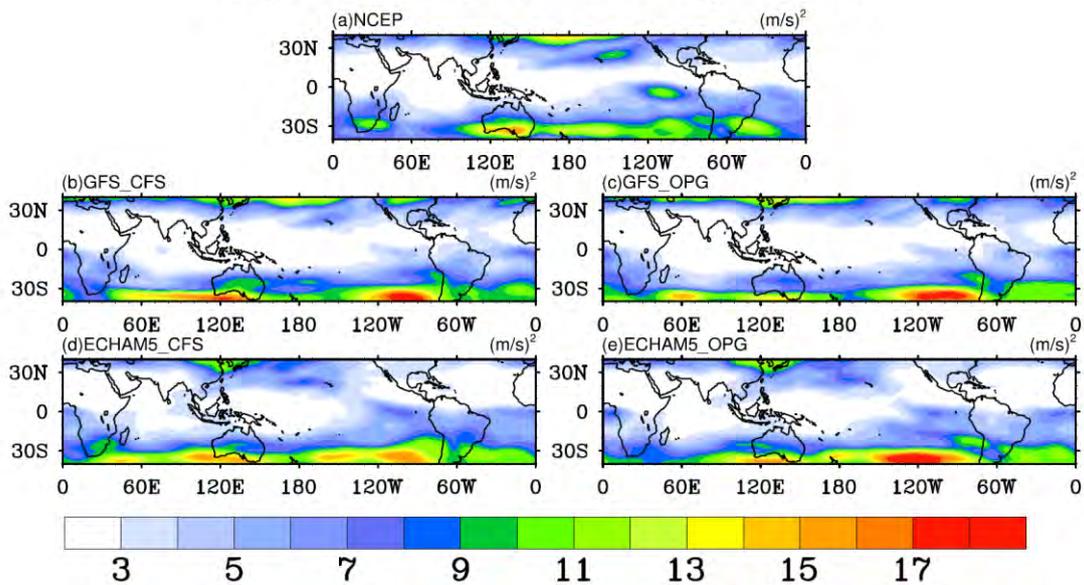


圖 24 說明同圖 21，但為 200hPa 緯向風場，單位為  $m^2/sec^2$ 。

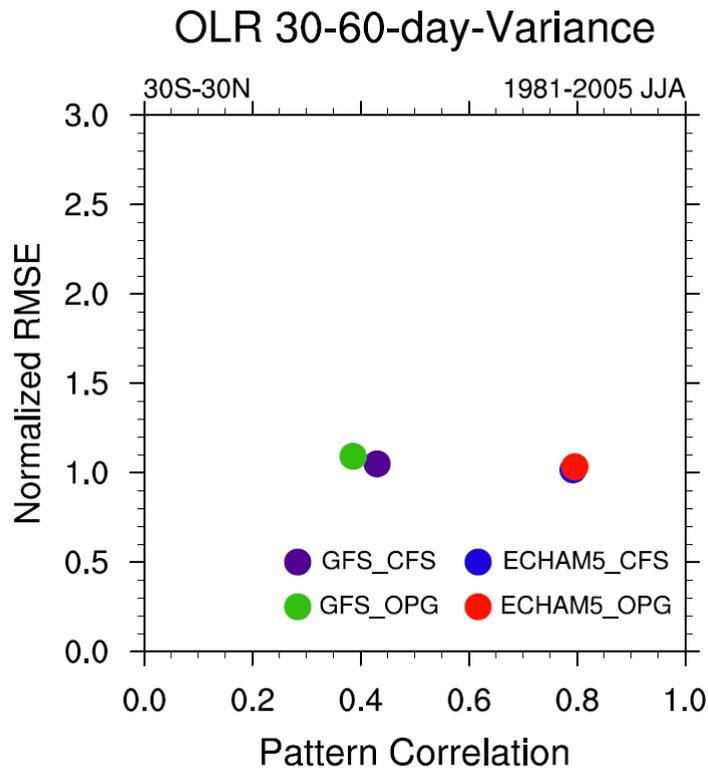


圖25 1981-2005年夏季NOAA OLR 30-60天變異數分別與GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 的 30-60 天 OLR 變異數在 (30°S-30°N,0°E-0°W)地區所做的Pattern Correlation與NRMSE圖。

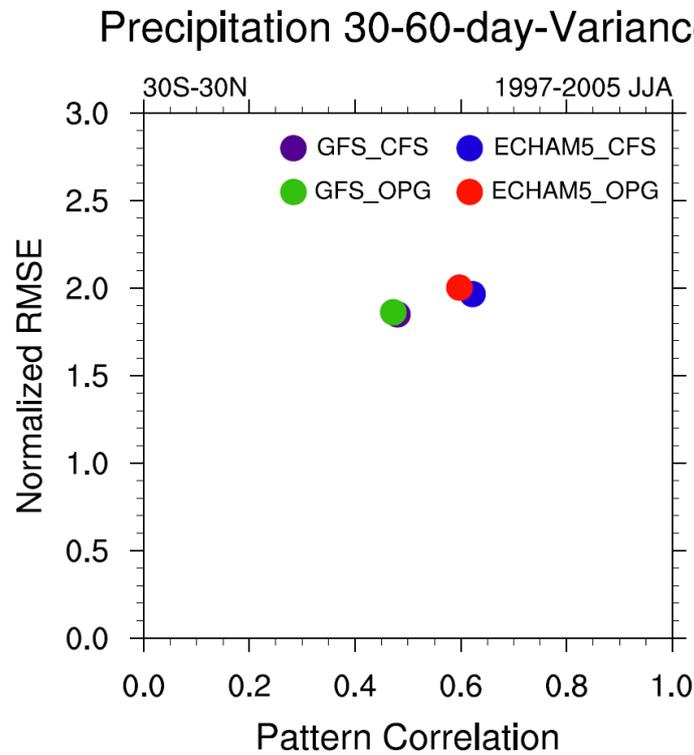


圖26 1997-2005年夏季GPCP週期30-60降水量變異數分別與GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的週期30-60天降水量變異數在 (30°S-30°N,0°E-0°W)地區所做的Pattern Correlation與NRMSE圖。

## U850 30-60-day-Variance

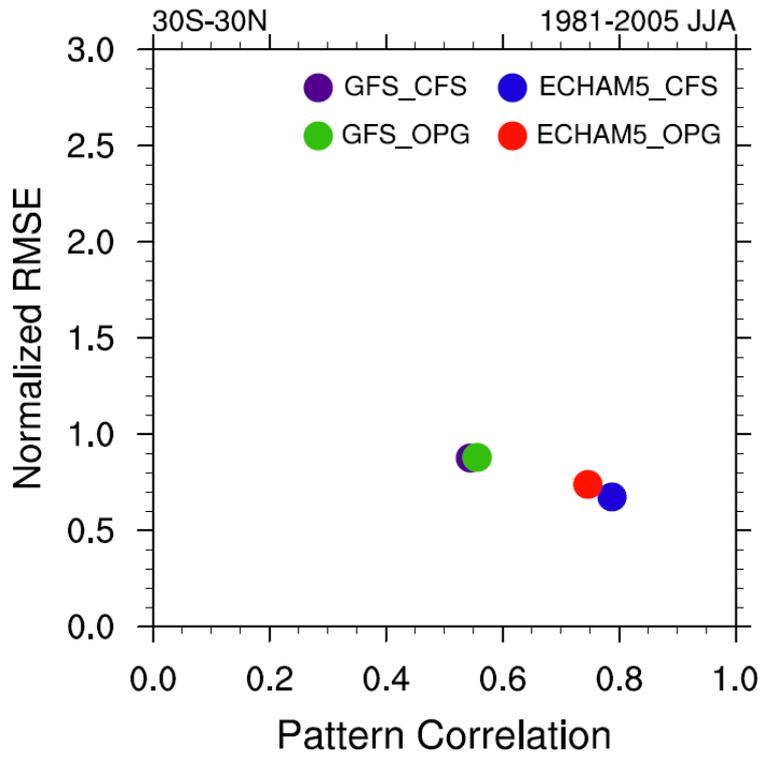


圖27 說明同圖25，但為850hPa緯向風場。

## U200 30-60-day-Variance

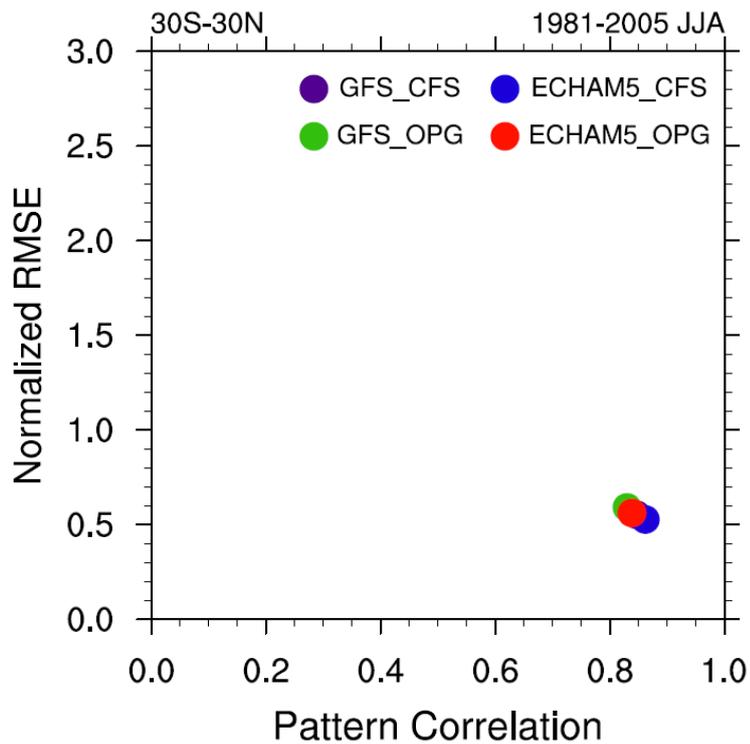


圖28 說明同圖25，但為200hPa緯向風場。

### OLR Mean DJF 1981-2005

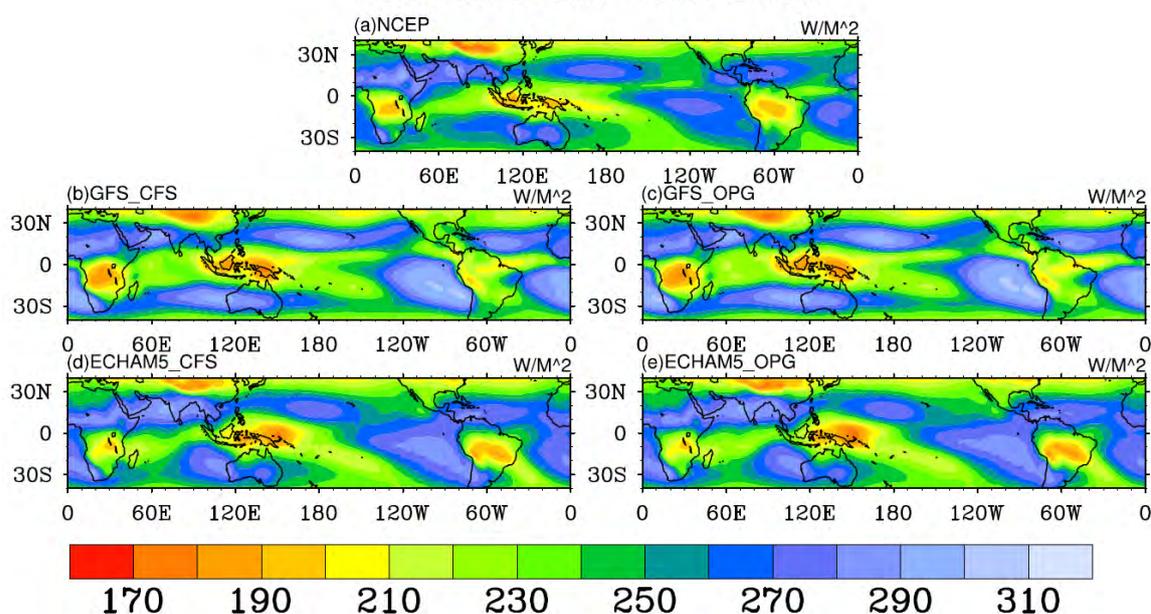


圖29 1981-2005年冬季OLR季節平均圖。(a)、(b)、(c)、(d)與(e)分別為NOAA、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的OLR季節平均圖，單位為 $w/m^2$ 。

### Precipitation 1997-2005 DJF Mean

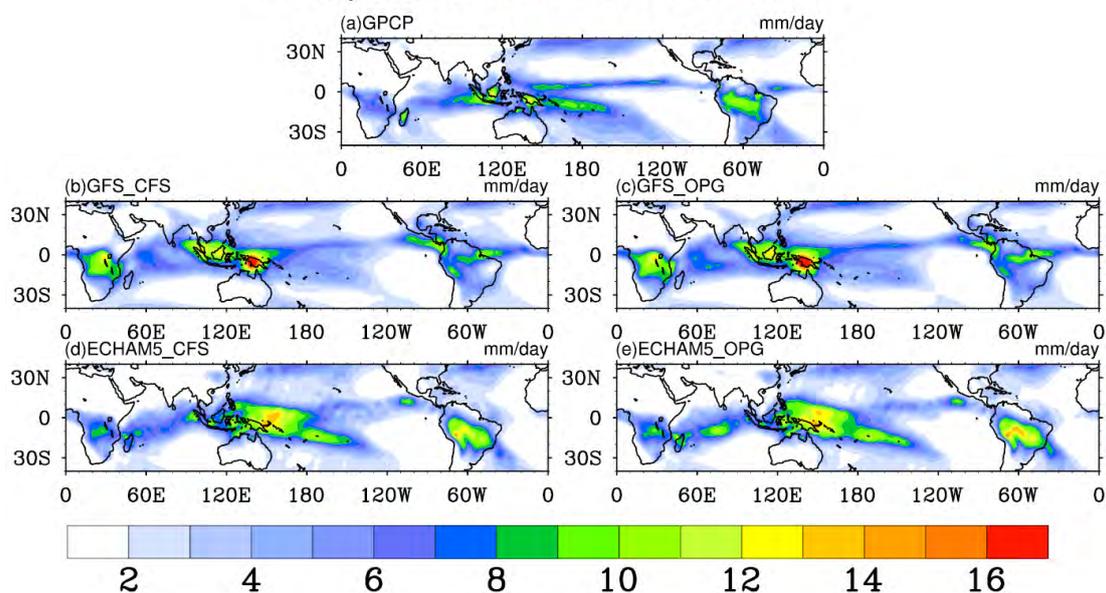


圖30 1997-2005年冬季降水量季節平均圖。(a)、(b)、(c)、(d)與(e)分別為GPCP、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的降水量季節平均圖，單位為 $mm/day$ 。

### U 850hPa mean DJF 1981 2005

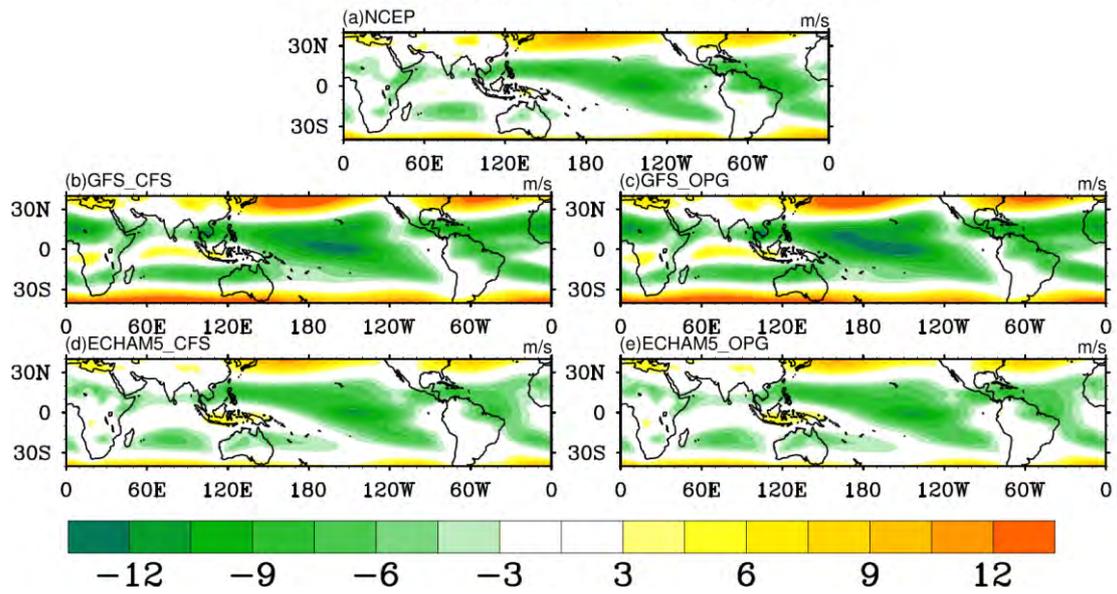


圖 31 說明同圖 29，但為 850hPa 緯向風場，單位為 m/sec。

### U 200hPa mean DJF 1981 2005

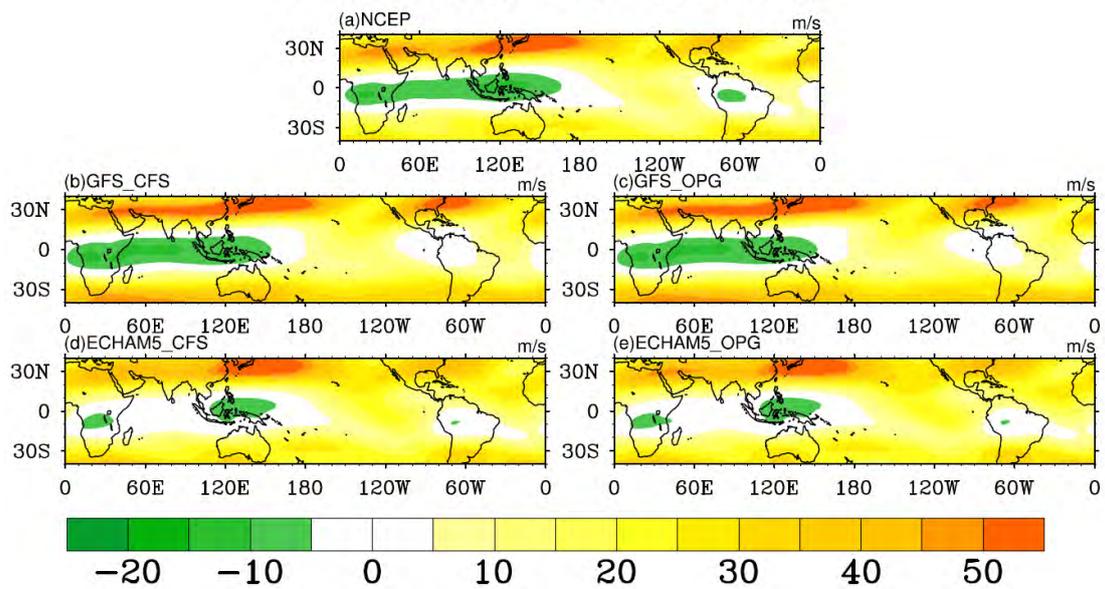


圖 32 說明同圖 29，但為 200hPa 緯向風場，單位為 m/sec。

### CAPE Mean DJF 1981-2005

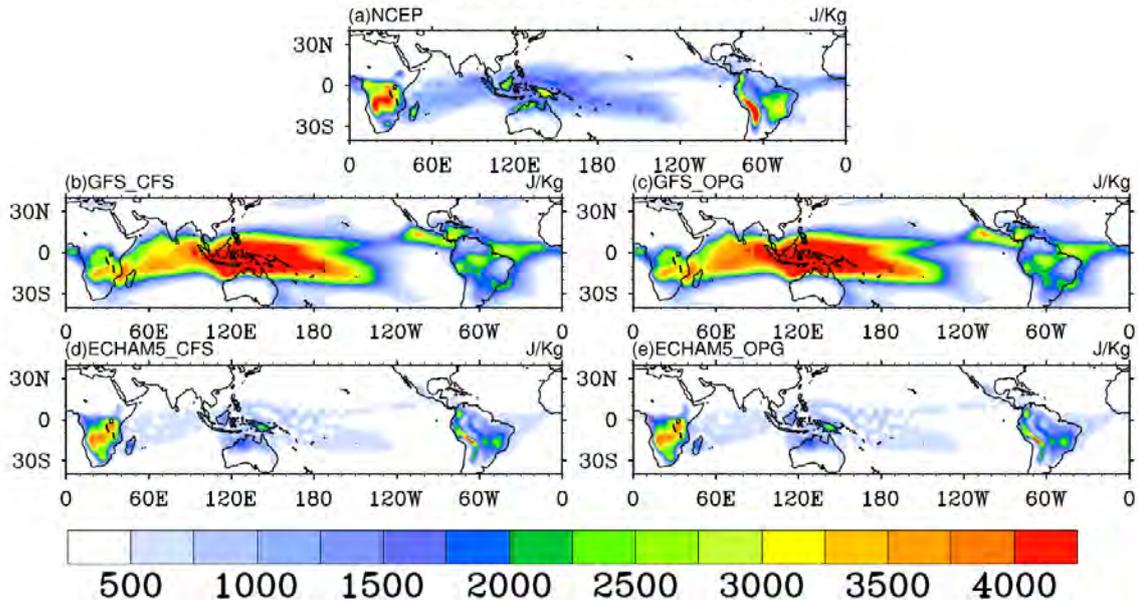


圖33 1981-2005年冬季CAPE季節平均圖。(a)、(b)、(c)、(d)與(e)分別為NCEP R2、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS 與ECHAM5\_OPG的CAPE季節平均圖，單位為J/Kg。

### CIN Mean DJF 1981-2005

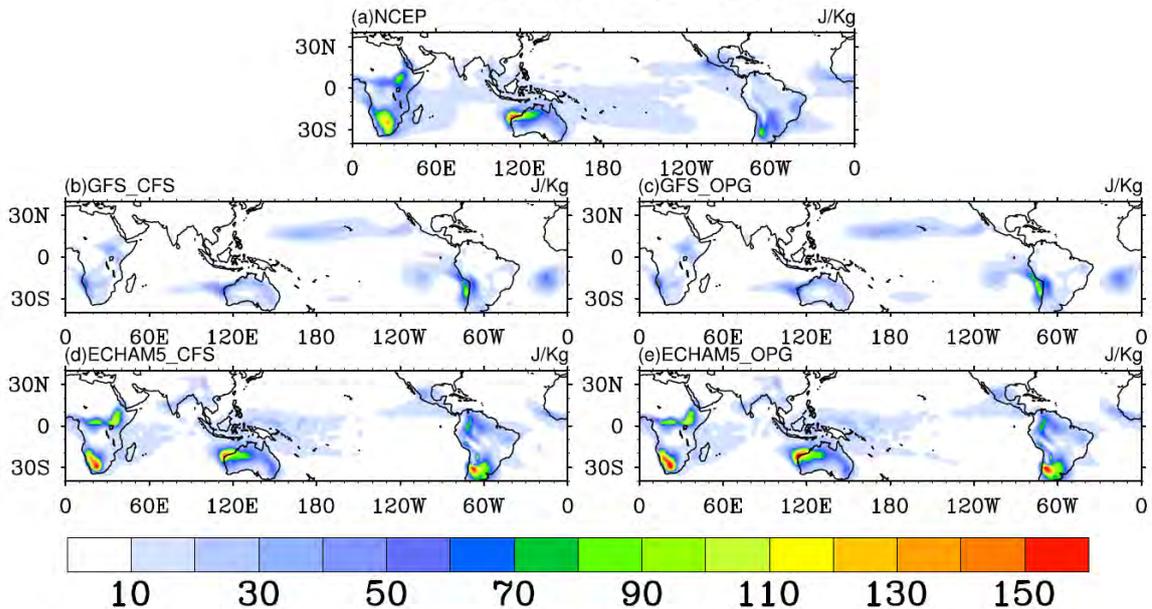


圖34 1981-2005年冬季CIN季節平均圖。(a)、(b)、(c)、(d)與(e)分別為NOAA、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的CIN季節平均圖，單位為J/Kg。

### LCL Mean DJF 1981-2005

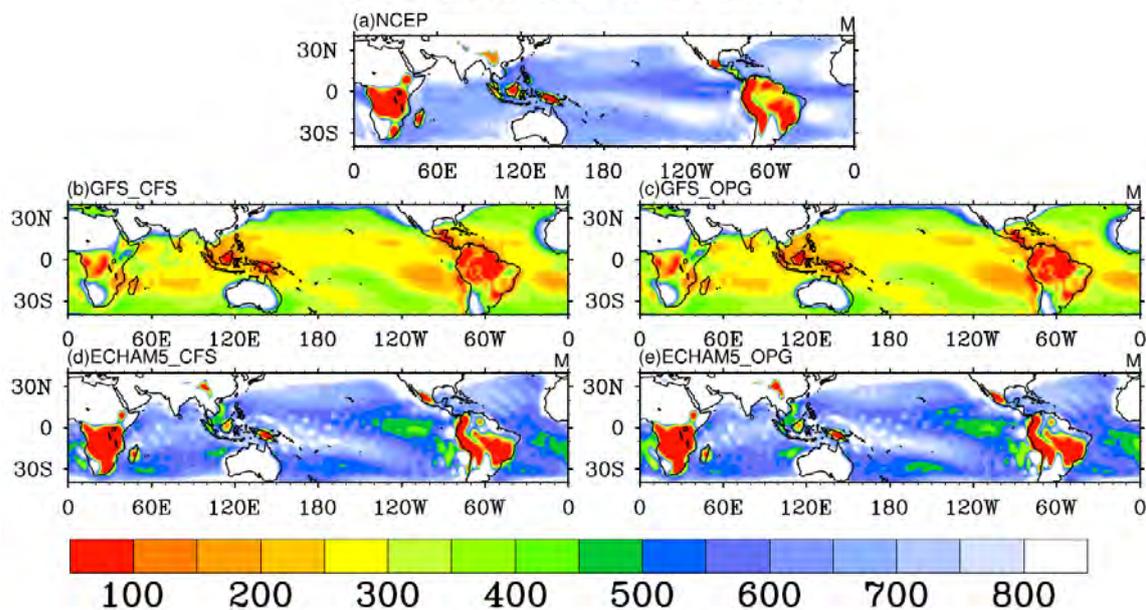


圖35 1981-2005年冬季LCL季節平均圖。(a)、(b)、(c)、(d)與(e)分別為NOAA、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的LCL季節平均圖，單位為公尺。

### LFC Mean DJF 1981-2005

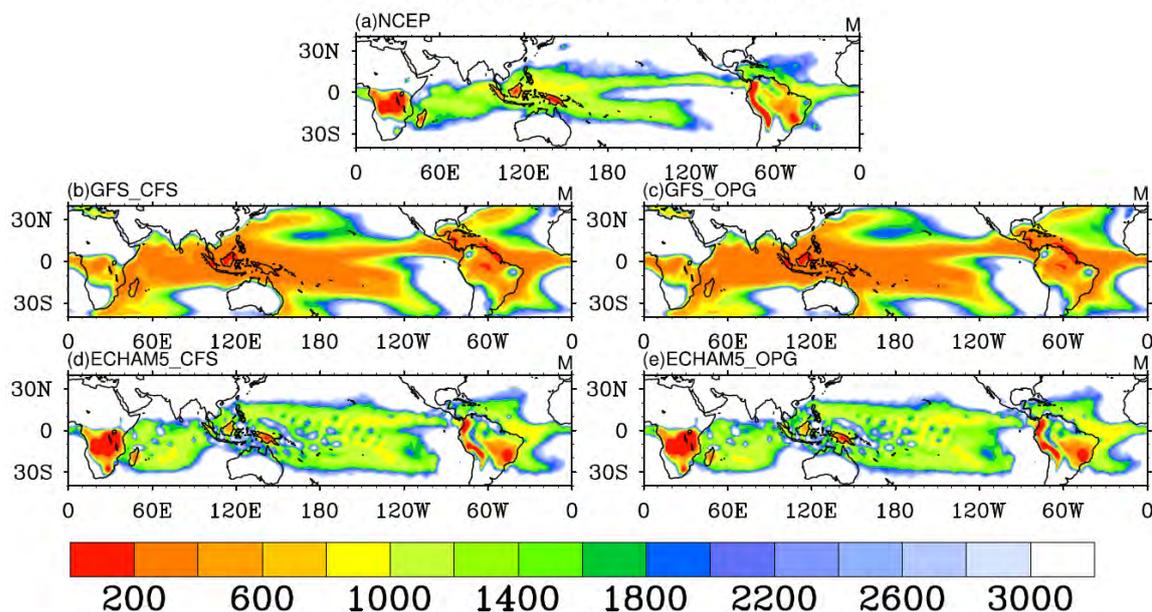


圖36 1981-2005年冬季LFC季節平均圖。(a)、(b)、(c)、(d)與(e)分別為NOAA、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的LFC季節平均圖，單位為公尺。

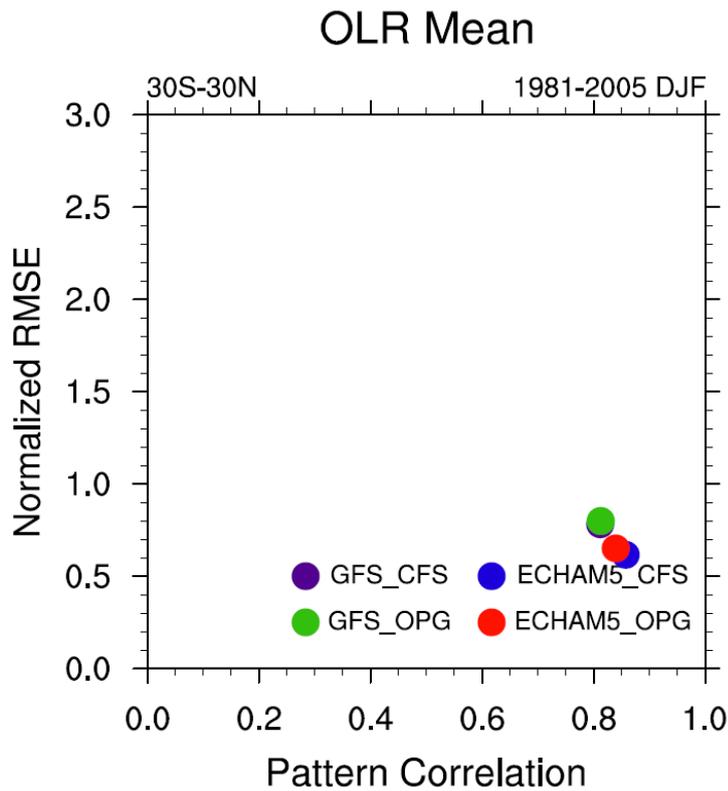


圖37 1981-2005年冬季NOAA OLR氣候平均場分別與GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 的 OLR 氣候平均場在 (30°S-30°N,0°E-0°W)地區所做的Pattern Correlation 與NRMSE 圖。

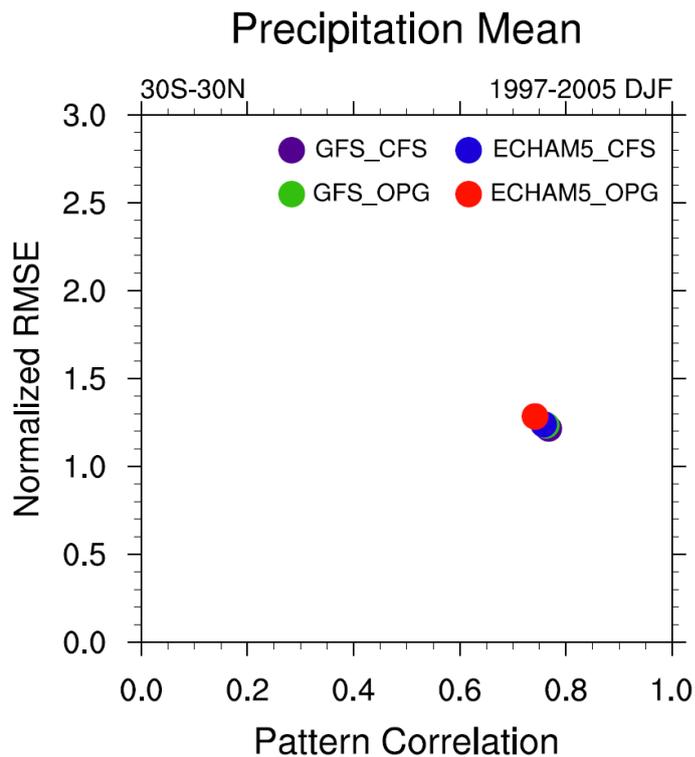


圖38 1997-2005年冬季GPCP降水量氣候平均場分別與GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 的 降水量氣候平均場在 (30°S-30°N,0°E-0°W)地區所做的Pattern Correlation 與NRMSE圖。

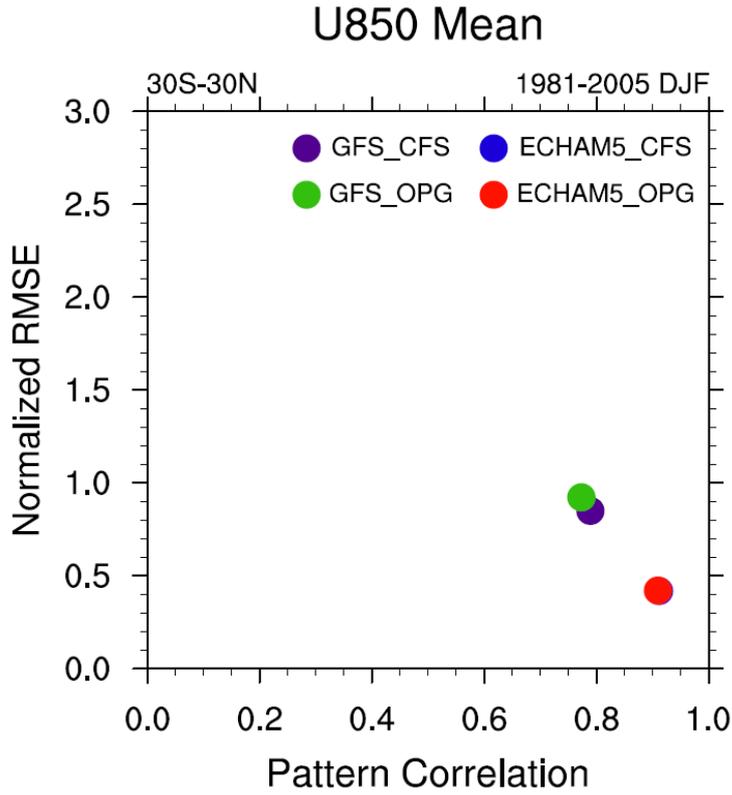


圖 39 說明同圖 37，但為 850hPa 緯向風場。

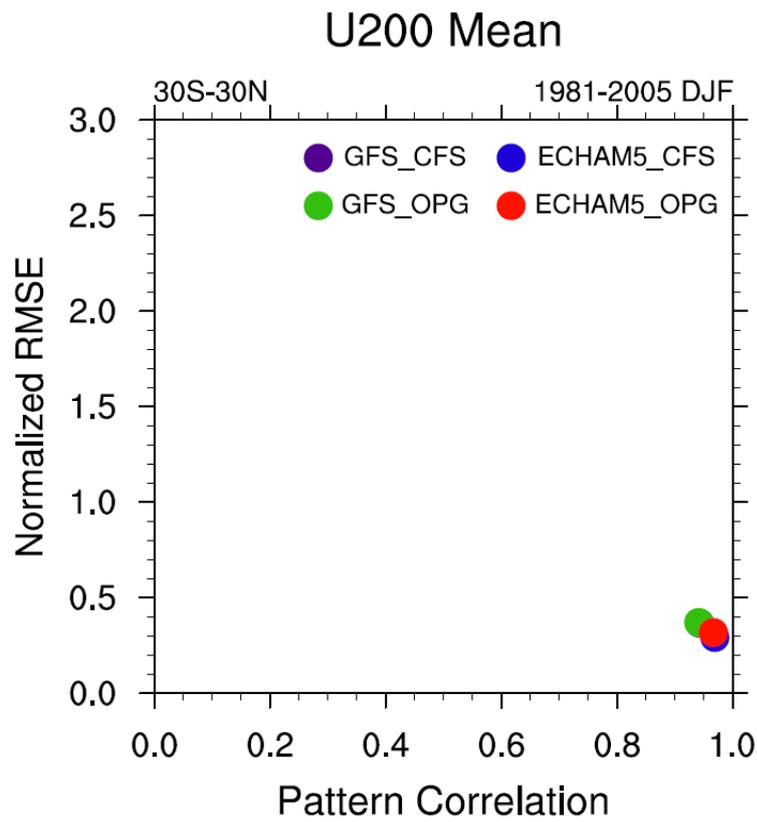


圖 40 說明同圖 37，但為 200hPa 緯向風場。

## OLR 1981-2005 DJF Total Variance

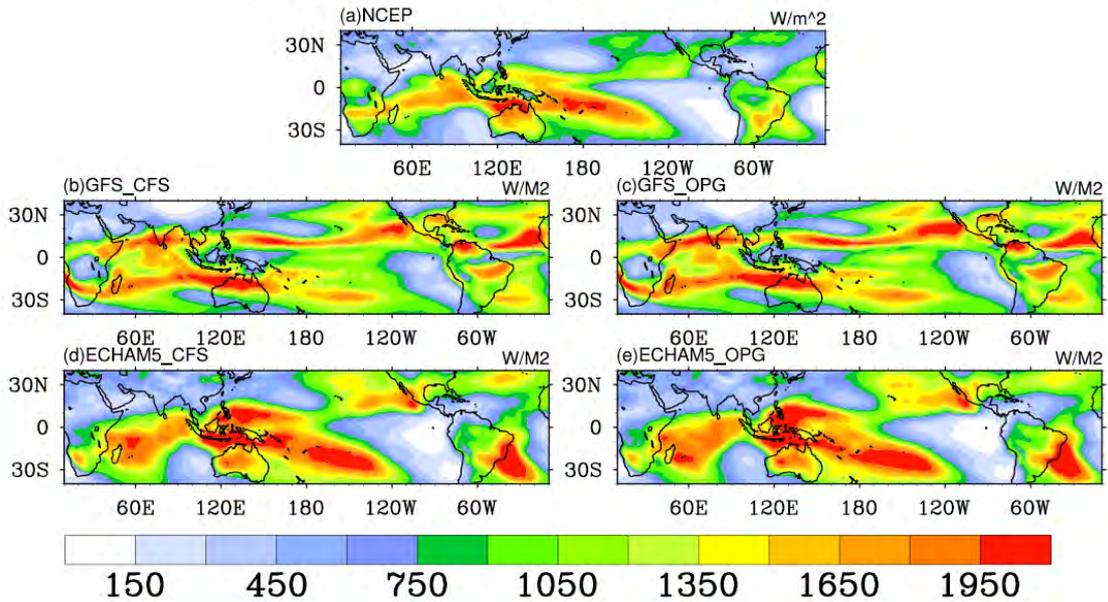


圖41 1981-2005年冬季OLR變異數圖。(a)、(b)、(c)、(d)與(e)分別為NOAA、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的OLR變異數圖，單位為 $w^2/m^4$ 。

## Precipitation 1997-2005 DJF Total Variance

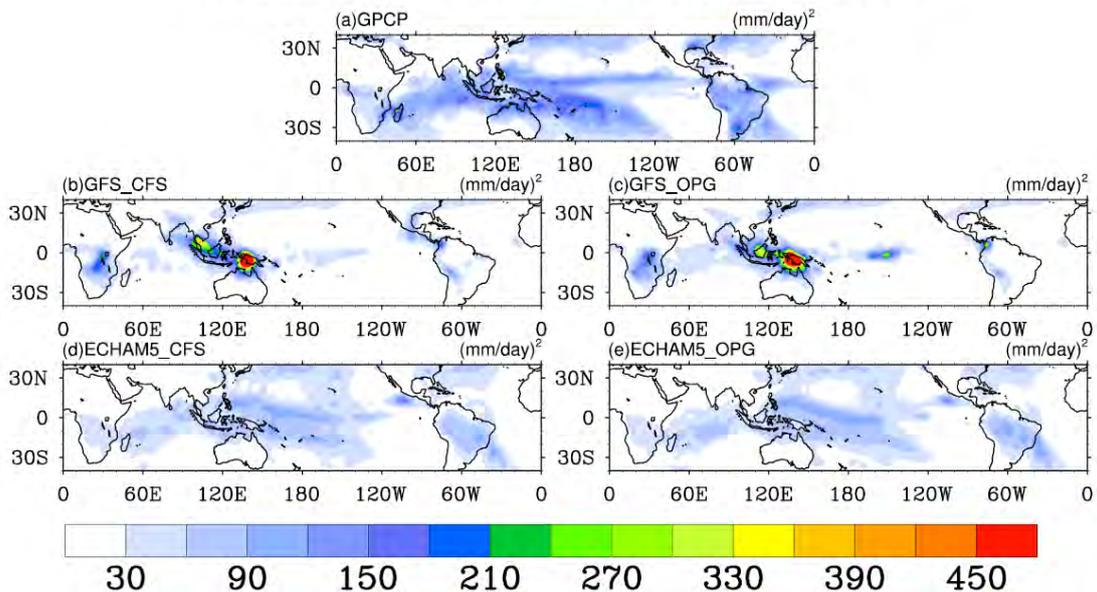


圖42 1997-2005年冬季降水量變異數圖。(a)、(b)、(c)、(d)與(e)分別為GPCP、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的週期30-60天降水量變異數圖，單位為 $mm^2/day^2$ 。

### U850 1981-2005 DJF Total Variance

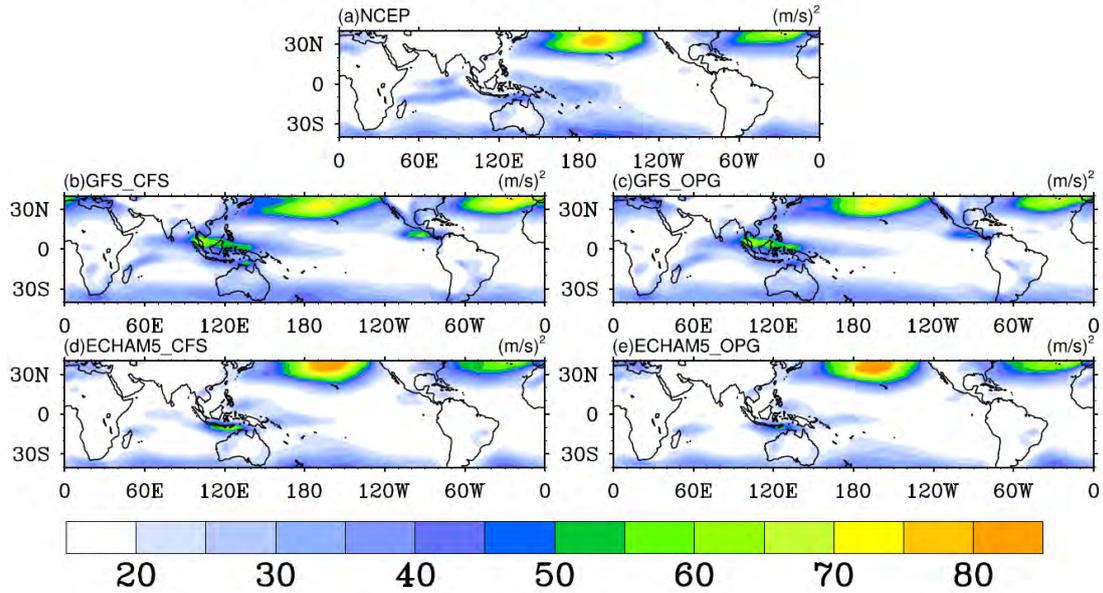


圖 43 說明同圖 41，但為 850hPa 緯向風場，單位為  $m^2/sec^2$ 。

### U200 1981-2005 DJF Total Variance

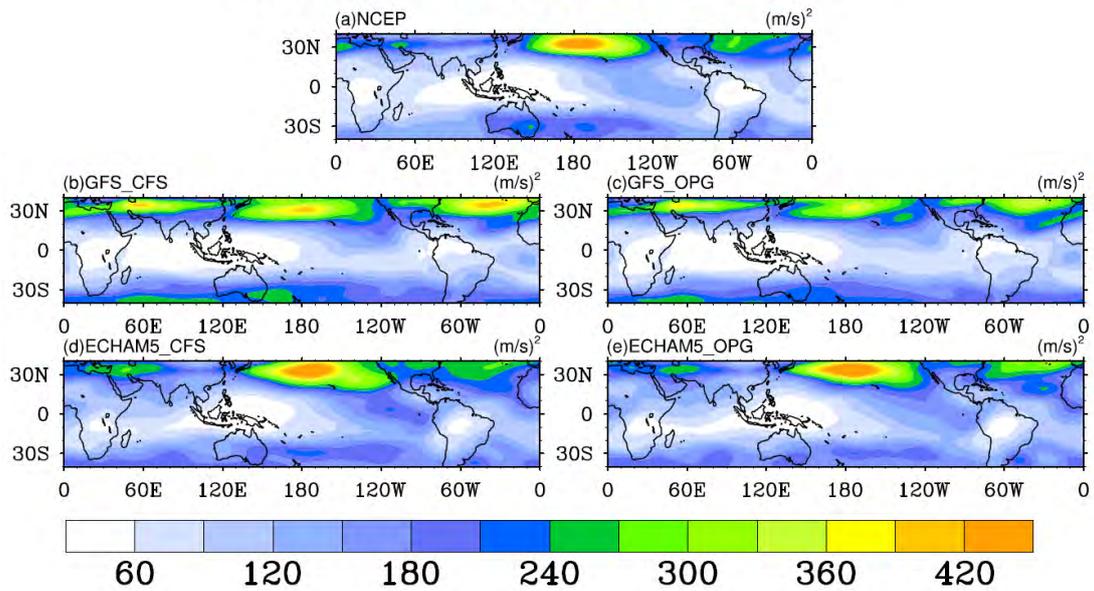


圖 44 說明同圖 41，但為 200hPa 緯向風場，單位為  $m^2/sec^2$ 。

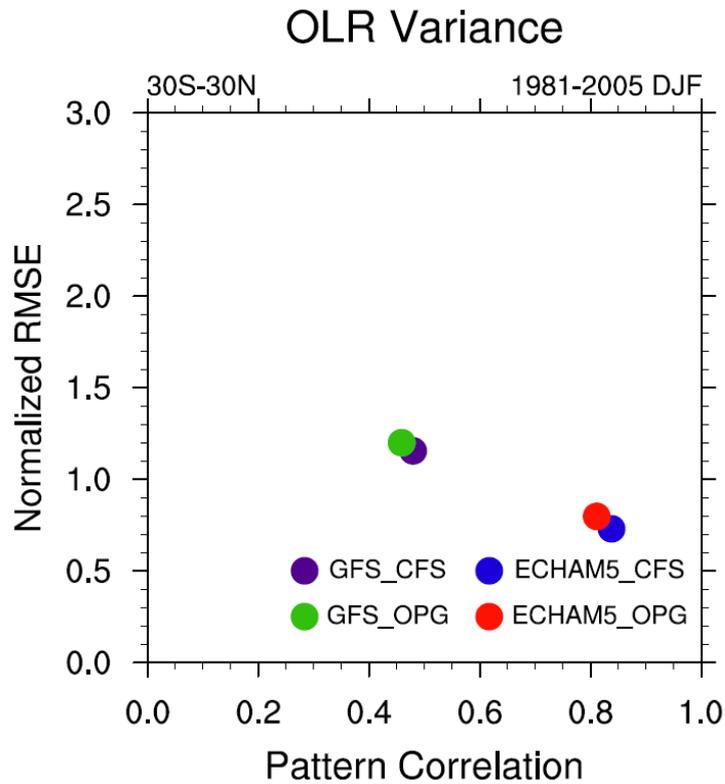


圖 45 1981-2005 年冬季 NOAA OLR 總變異數分別與 GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 的 OLR 總變異數在 (30°S-30°N, 0°E-0°W) 地區所做的 Pattern Correlation 與 NRMSE 圖。

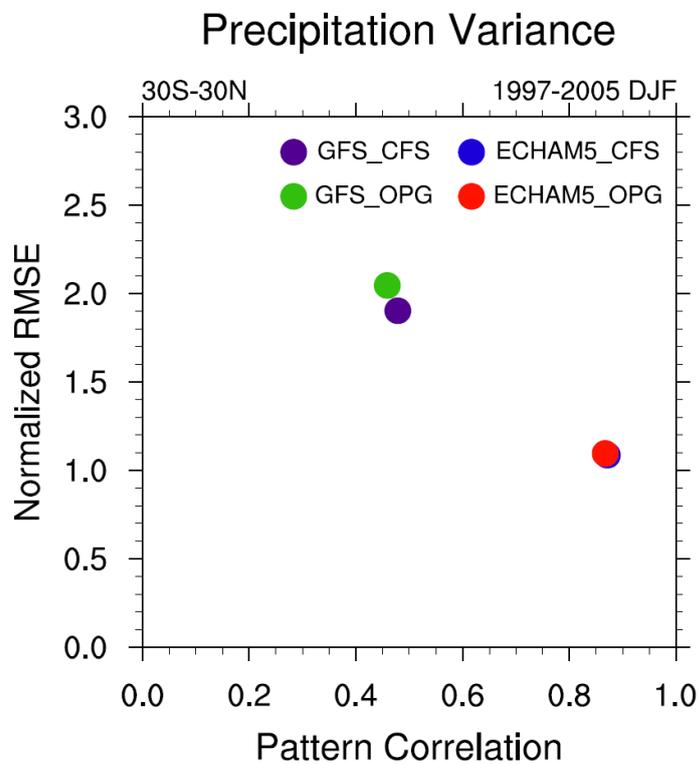


圖 46 1997-2005 年冬季 GPCP 降水量總變異數分別與 GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 的降水量總變異數在 (30°S-30°N, 0°E-0°W) 地區所做的 Pattern Correlation 與 NRMSE 圖。

## U850 Variance

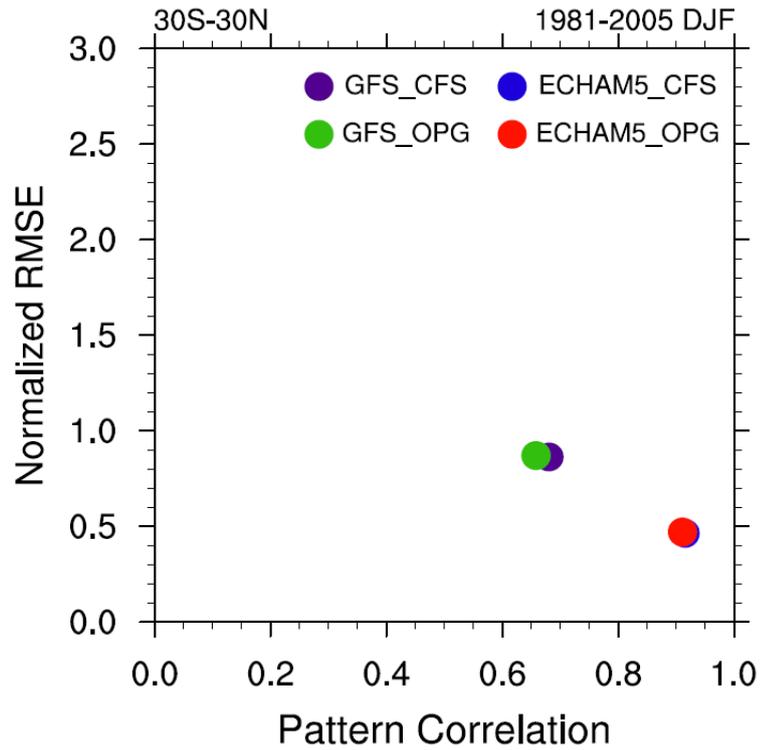


圖 47 說明同圖 45，但為 850hPa 緯向風場。

## U200 Variance

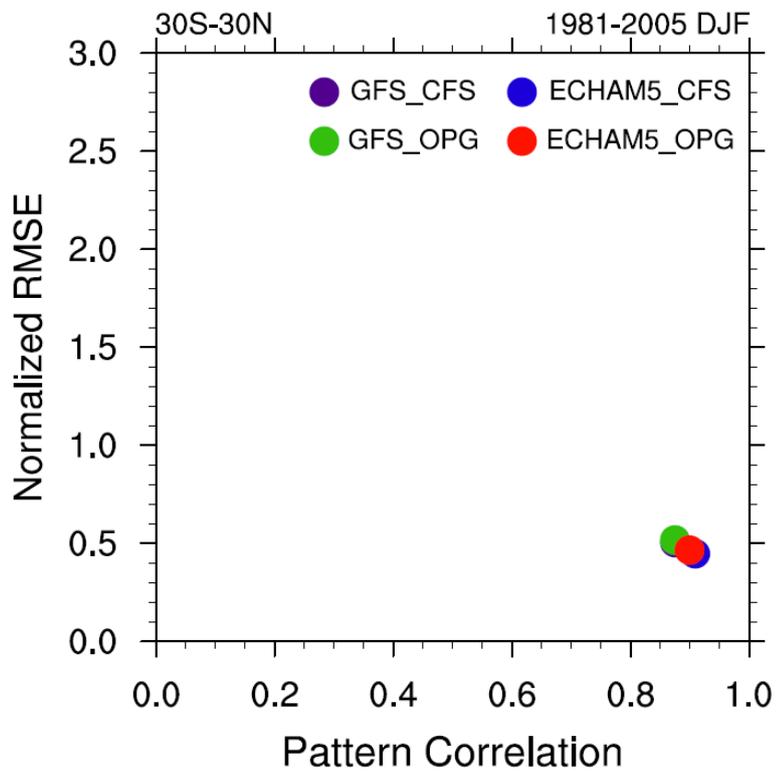


圖 48 說明同圖 45，但為 200hPa 緯向風場。

## OLR 1981-2005 DJF 30-60 day Variance

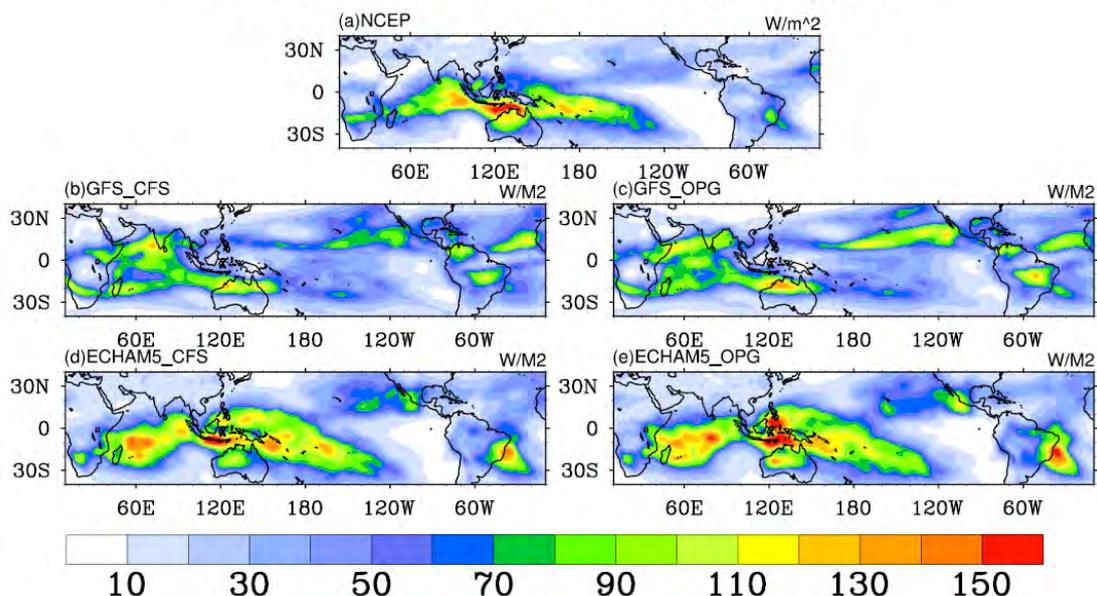


圖49 1981-2005年冬季30-60天OLR變異數圖。(a)、(b)、(c)、(d)與(e)分別為NOAA、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的OLR變異數圖，單位為 $w^2/m^4$ 。

## Precipitation 1997-2005 DJF 30-60 day Variance

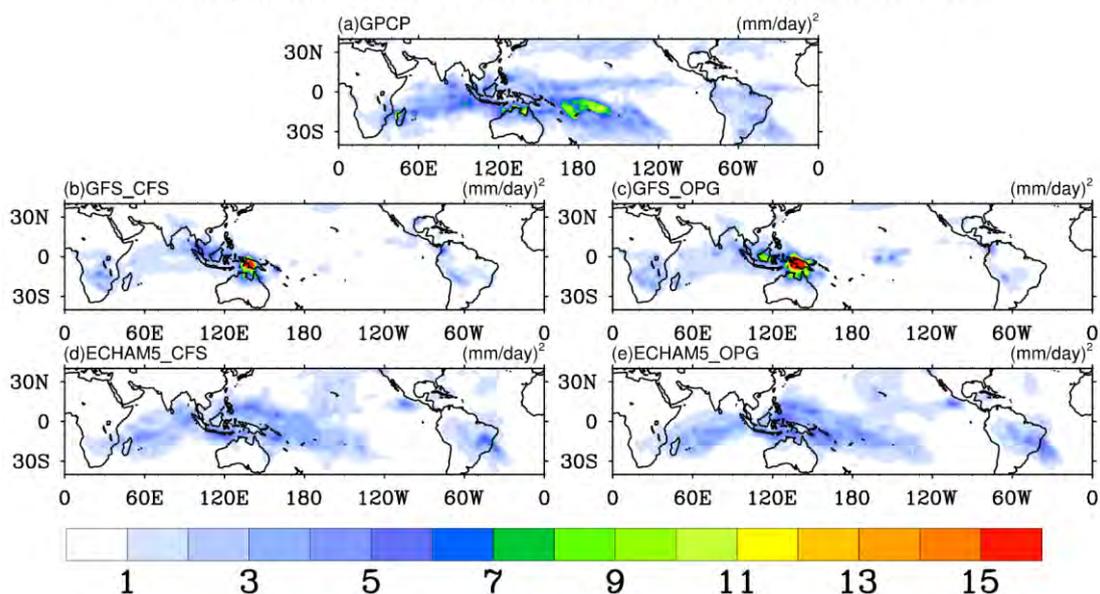


圖50 1997-2005年冬季週期30-60天降水量變異數圖。(a)、(b)、(c)、(d)與(e)分別為GPCP、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的週期30-60天降水量變異數圖，單位為 $mm^2/day^2$ 。

## U850 1981-2005 DJF 30-60 day Variance

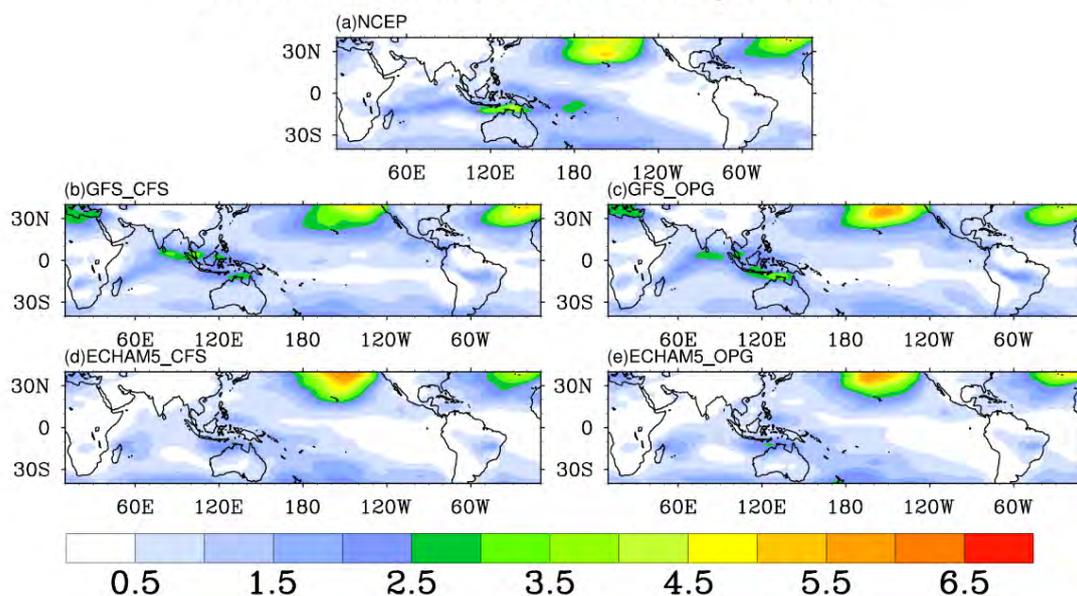


圖 51 說明同圖 49，但為 850hPa 緯向風場，單位為  $\text{m}^2/\text{sec}^2$ 。

## U200 1981-2005 DJF 30-60 day Variance

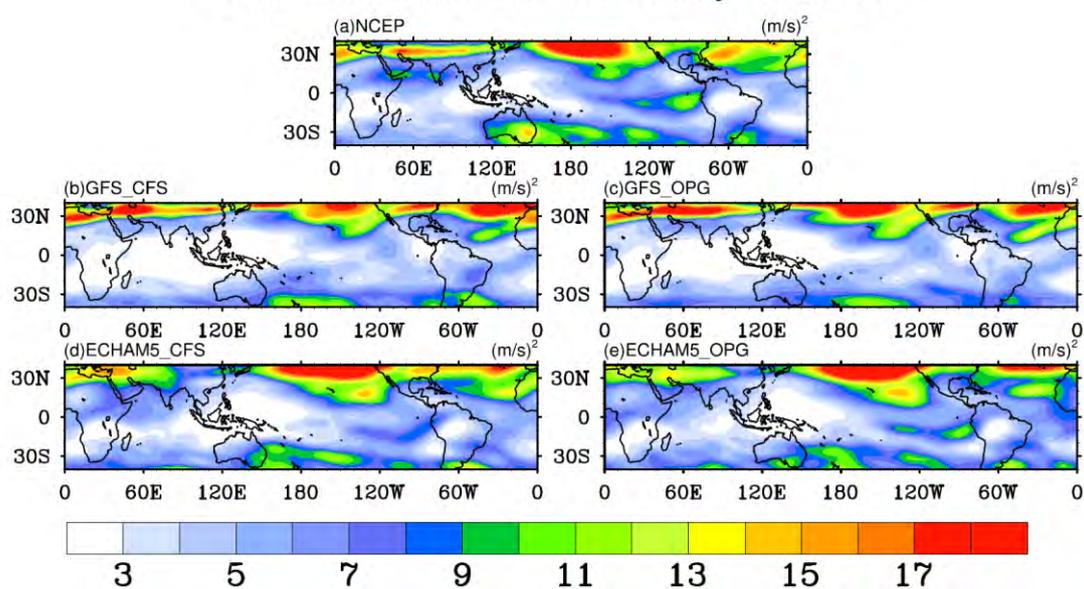


圖 52 說明同圖 49，但為 200hPa 緯向風場，單位為  $\text{m}^2/\text{sec}^2$ 。

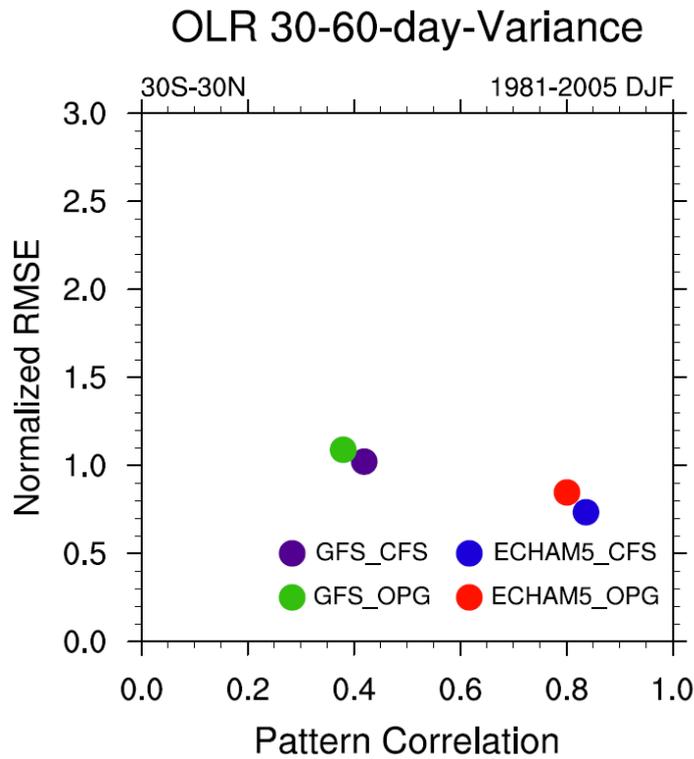


圖 53 1981-2005 年冬季 30-60 天 NOAA OLR 與 GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 的 OLR 氣候平均場在 (30°S-30°N,0°E-0°W)地區所做的Pattern Correlation 與NRMSE 圖。

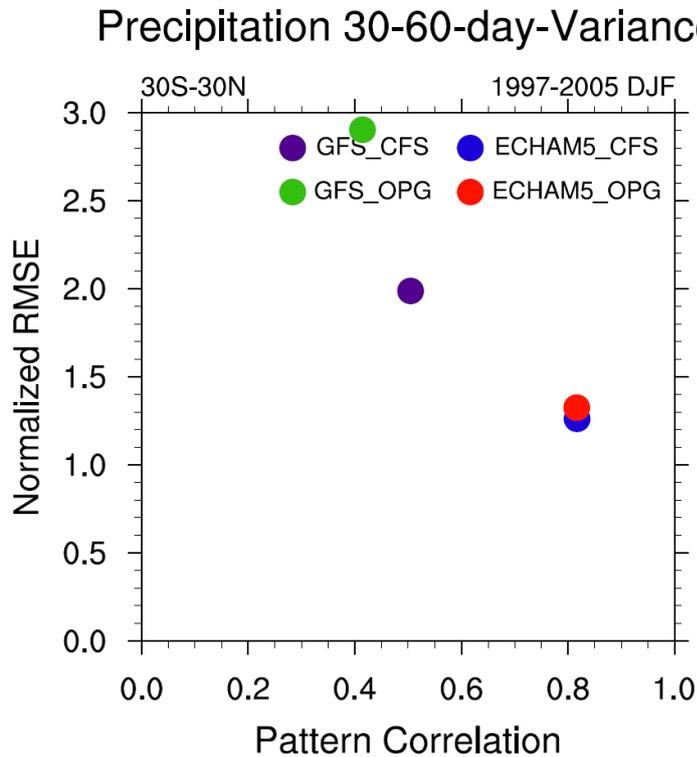


圖 54 1997-2005 年至冬季 GPCP 週期 30-60 降水量變異數分別與 GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 的週期 30-60 天降水量變異數在 (30°S-30°N,0°E-0°W)地區所做的Pattern Correlation 與NRMSE 圖。

## U850 30-60-day-Variance

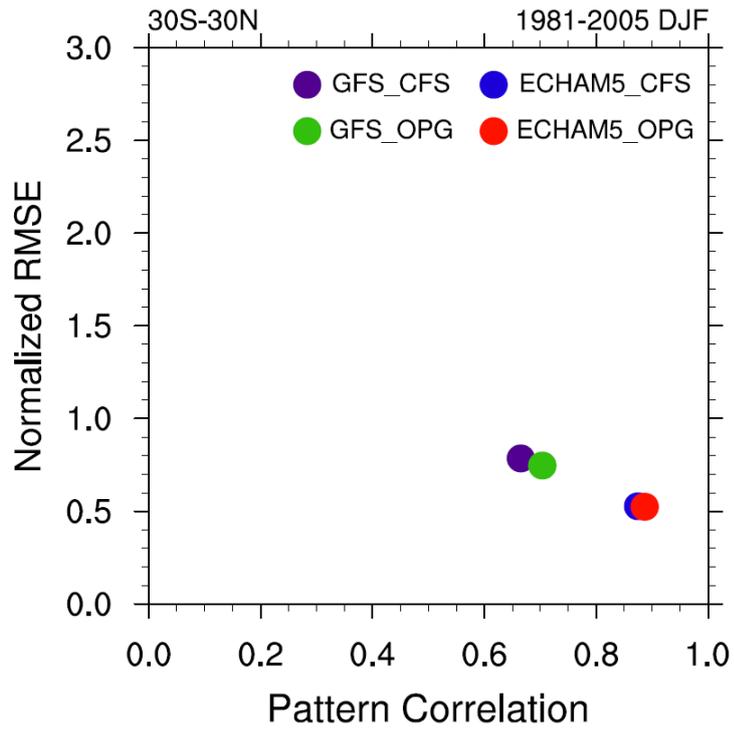


圖55 說明同圖53，但為850hPa緯向風場。

## U200 30-60-day-Variance

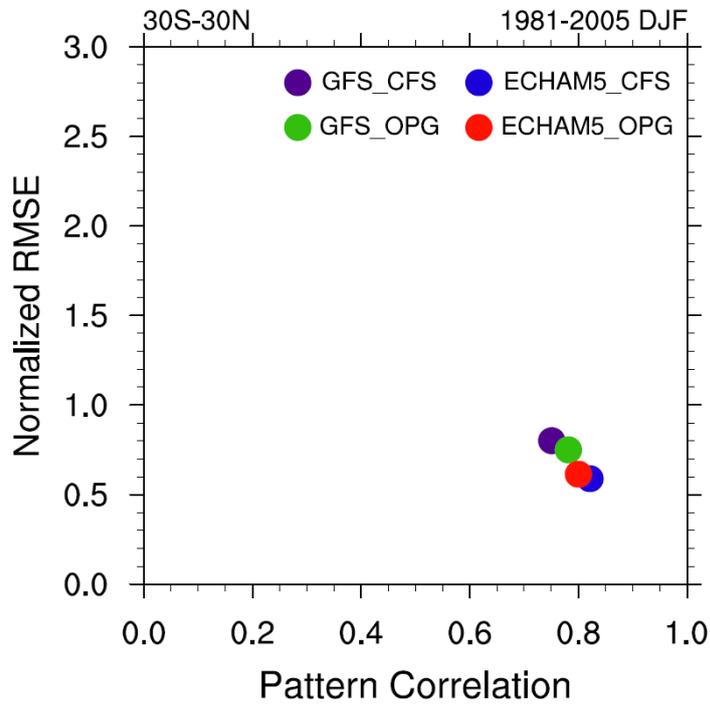


圖56 說明同圖53，但為200hPa緯向風場。

# OLR Spectra 1981-2005 0430 JJA

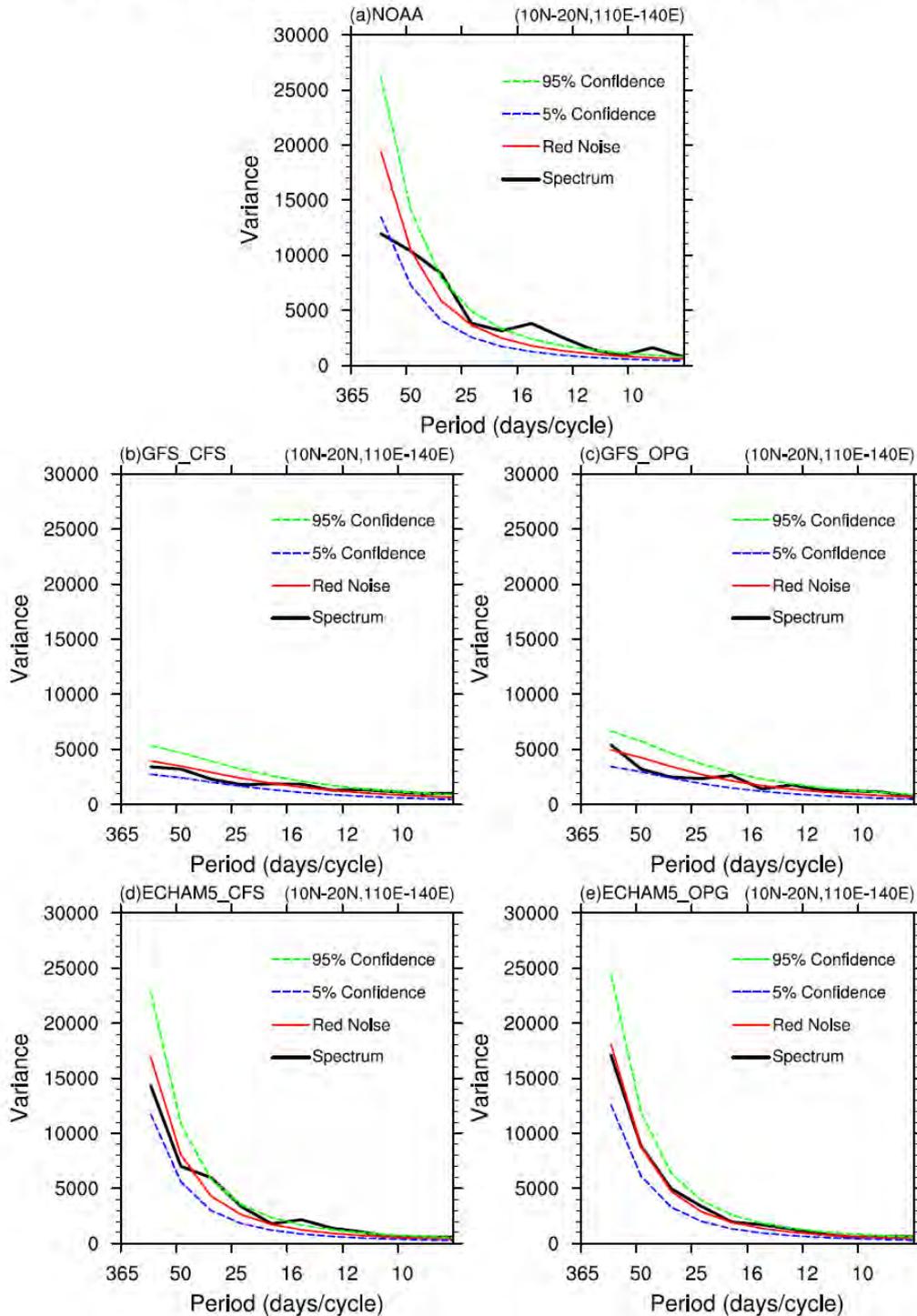


圖57 1981-2005年夏季OLR波譜分析圖。(a)、(b)、(c)、(d)與(e)分別為NOAA、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的OLR波譜分析圖，選取區域為(10°S-20°N, 110°E-140°E)，綠色與藍色段線分別代表95%與5%Confidence limit，紅色實線為Red Noise，黑色實線為實際波譜。模式預報初始時間為每年4月30日12Z。

# OLR Spectra 1981-2005 0531 JJA

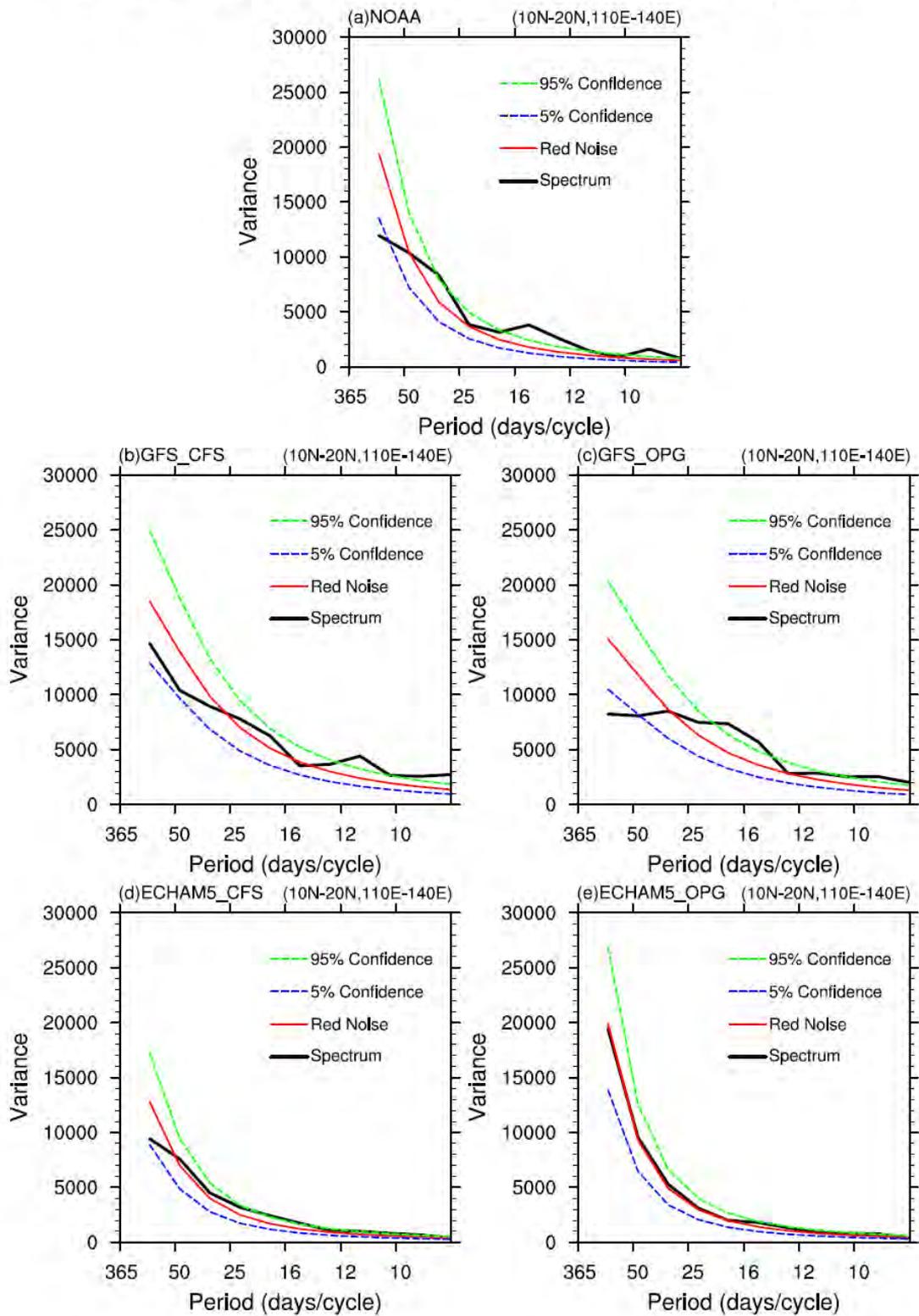


圖 58 說明同圖 57，但模式預報初始時間為每年 5 月 31 日 12Z。

# OLR Spectra 1981-2005 0430 JJA

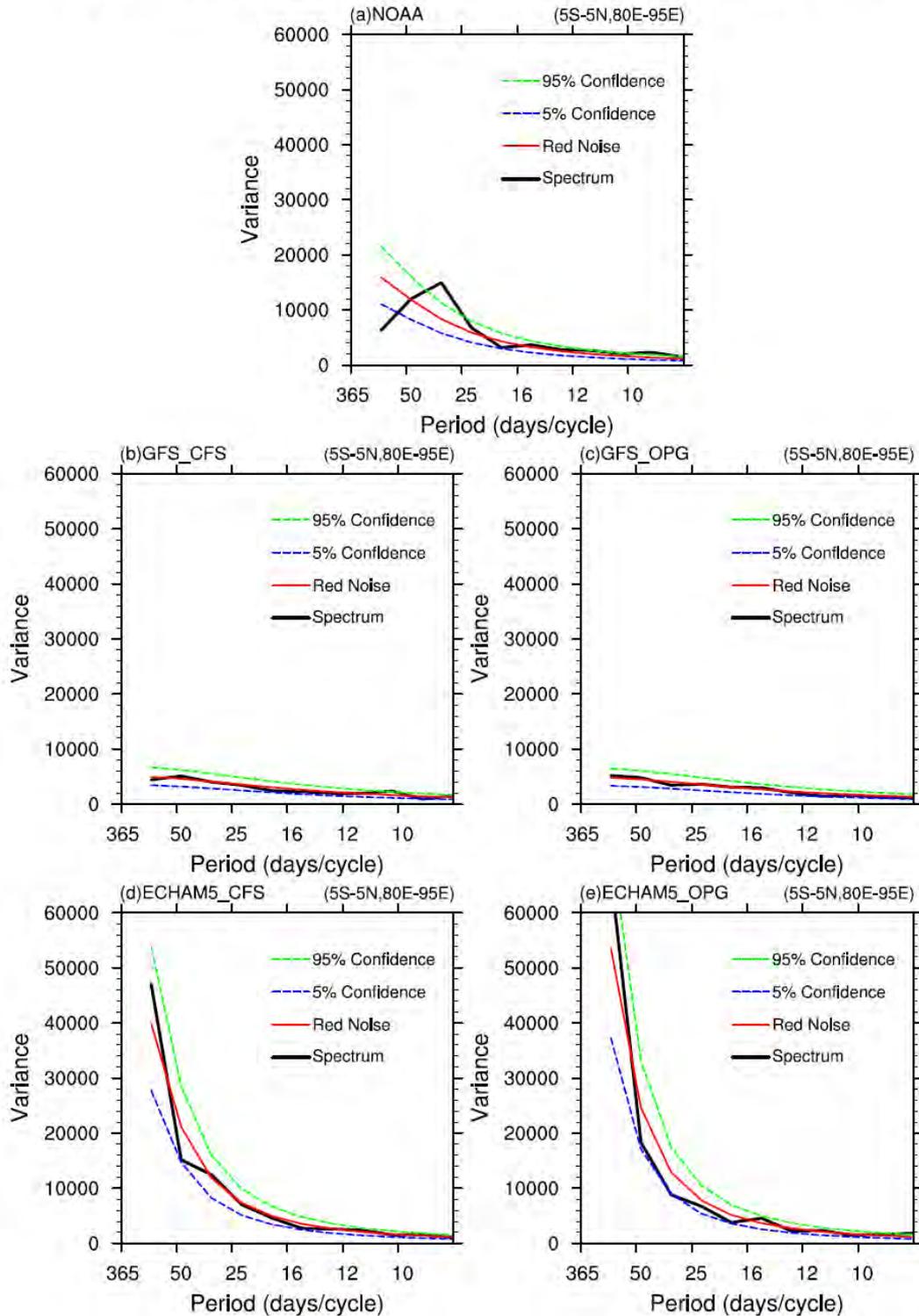


圖59 1981-2005年夏季OLR波譜分析圖。(a)、(b)、(c)、(d)與(e)分別為NOAA、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的OLR波譜分析圖，選取區域為(5°S-5°N, 80°E-95°E)，綠色與藍色段線分別代表95%與5%Confidence limit，紅色實線為Red Noise，黑色實線為實際波譜。模式預報初始時間為每年4月30日12Z。

# OLR Spectra 1981-2005 0531 JJA

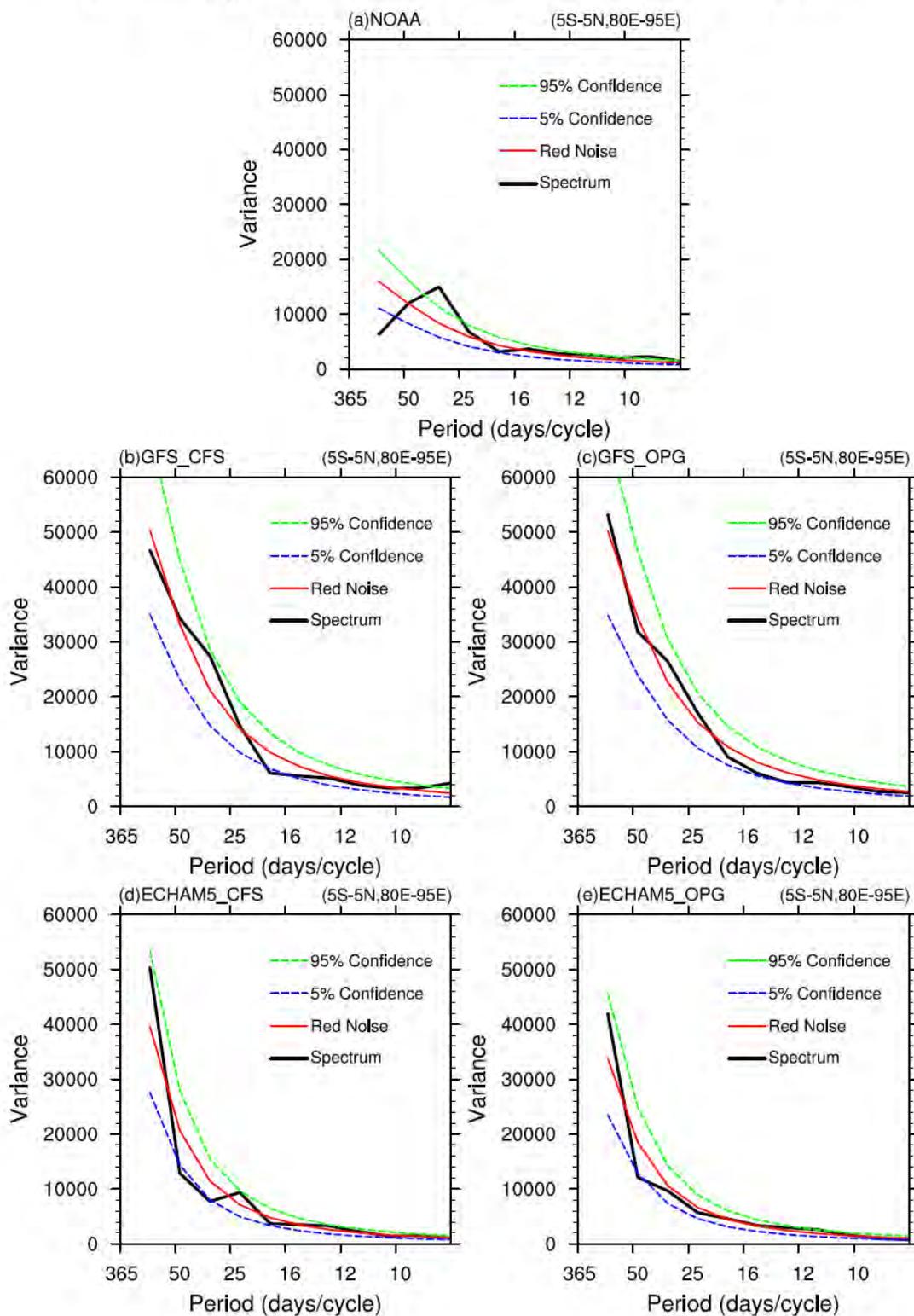


圖 60 說明同圖 59，但模式預報初始時間為每年 5 月 31 日 12Z。

# OLR Spectra 1981-2005 0430 JJA

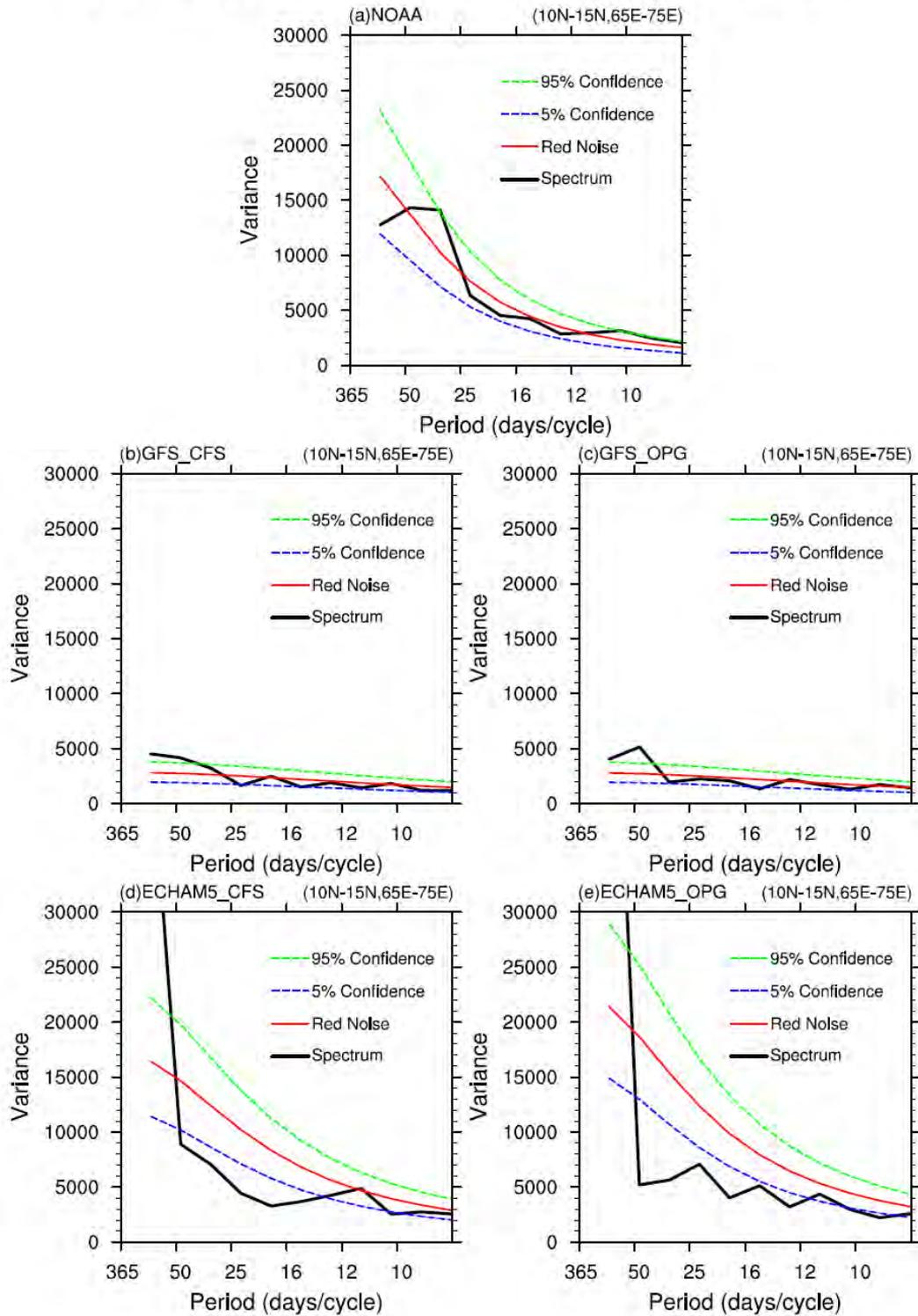


圖61 1981-2005年夏季OLR波譜分析圖。(a)、(b)、(c)、(d)與(e)分別為NOAA、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS與ECHAM5\_OPG的OLR波譜分析圖，選取區域為(10°N-15°N, 65°E-75°E)，綠色與藍色段線分別代表95%與5%Confidence limit，紅色實線為Red Noise，黑色實線為實際波譜。模式預報初始時間為每年4月30日12Z。

# OLR Spectra 1981-2005 0531 JJA

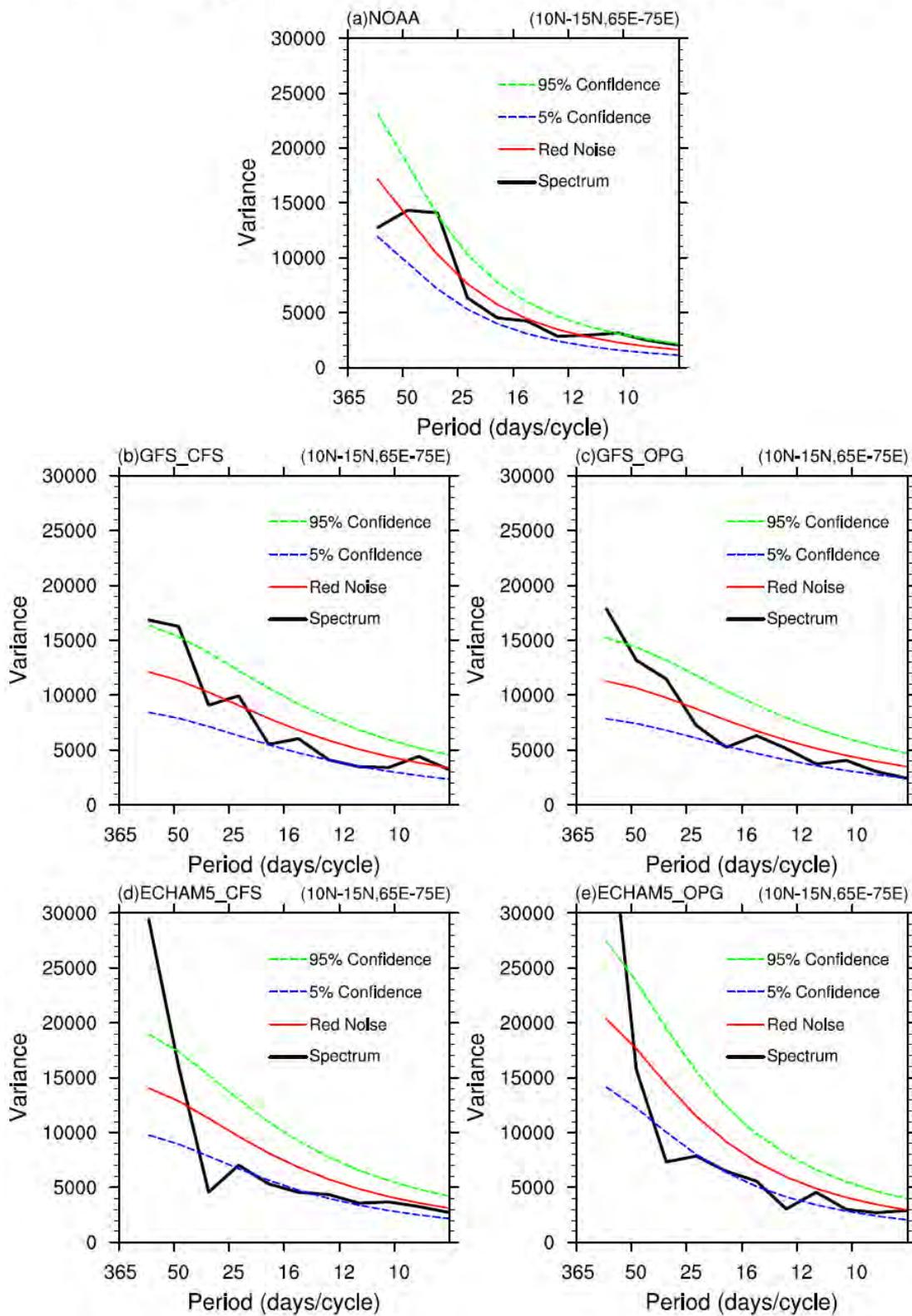


圖 62 說明同圖 61，但模式預報初始時間為每年 5 月 31 日 12Z。

# OLR Spectra 1981-2005 1031 DJF

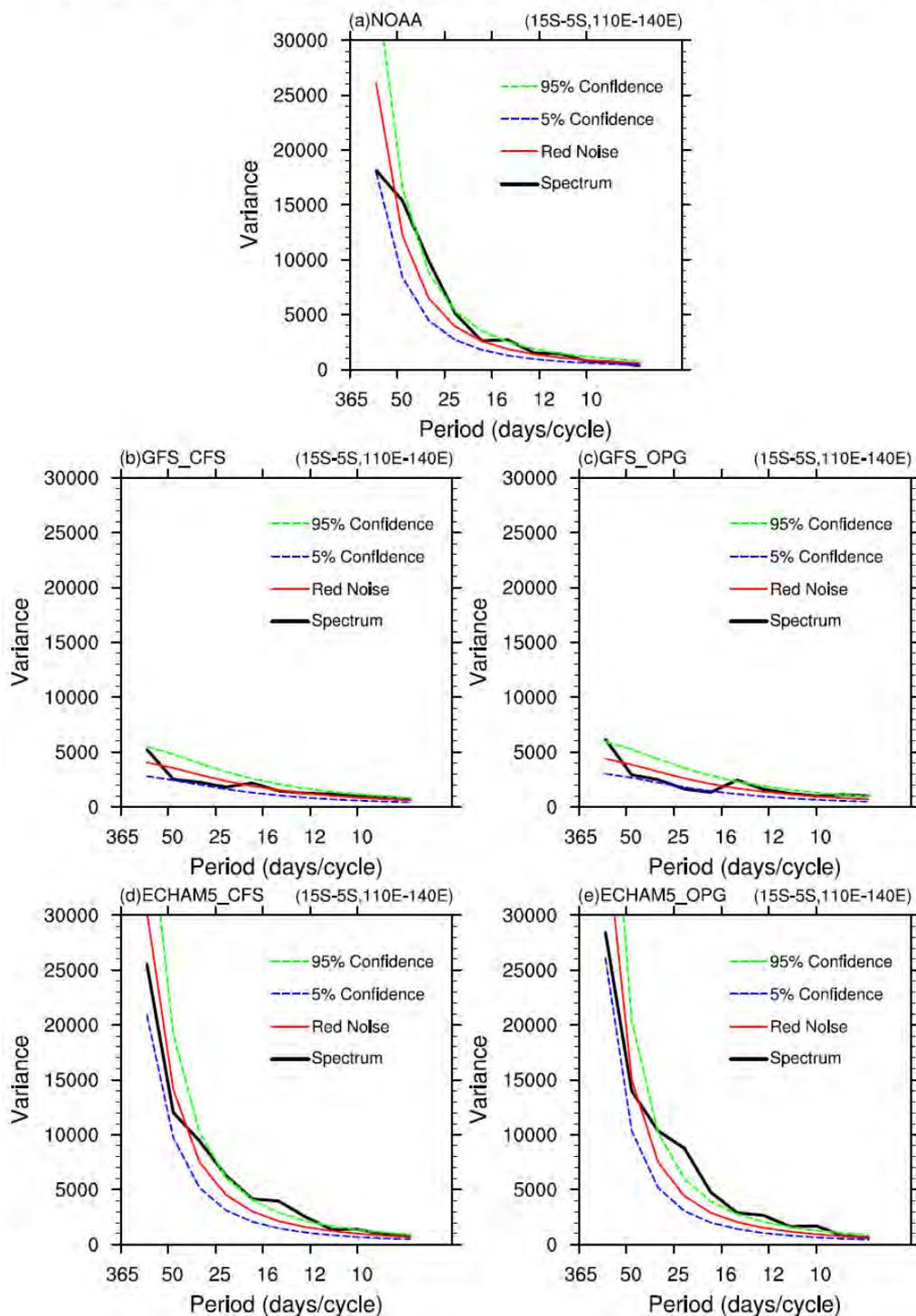


圖 63 1981-2005 年冬季 OLR 波譜分析圖。(a)、(b)、(c)、(d) 與 (e) 分別為 NOAA、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 的 OLR 波譜分析圖，選取區域為 (15°S-5°S, 110°E-140°E)，綠色與藍色段線分別代表 95% 與 5% Confidence limit，紅色實線為 Red Noise，黑色實線為實際波譜。模式預報初始時間為每年 10 月 31 日 12Z。

# OLR Spectra 1981-2005 1130 DJF

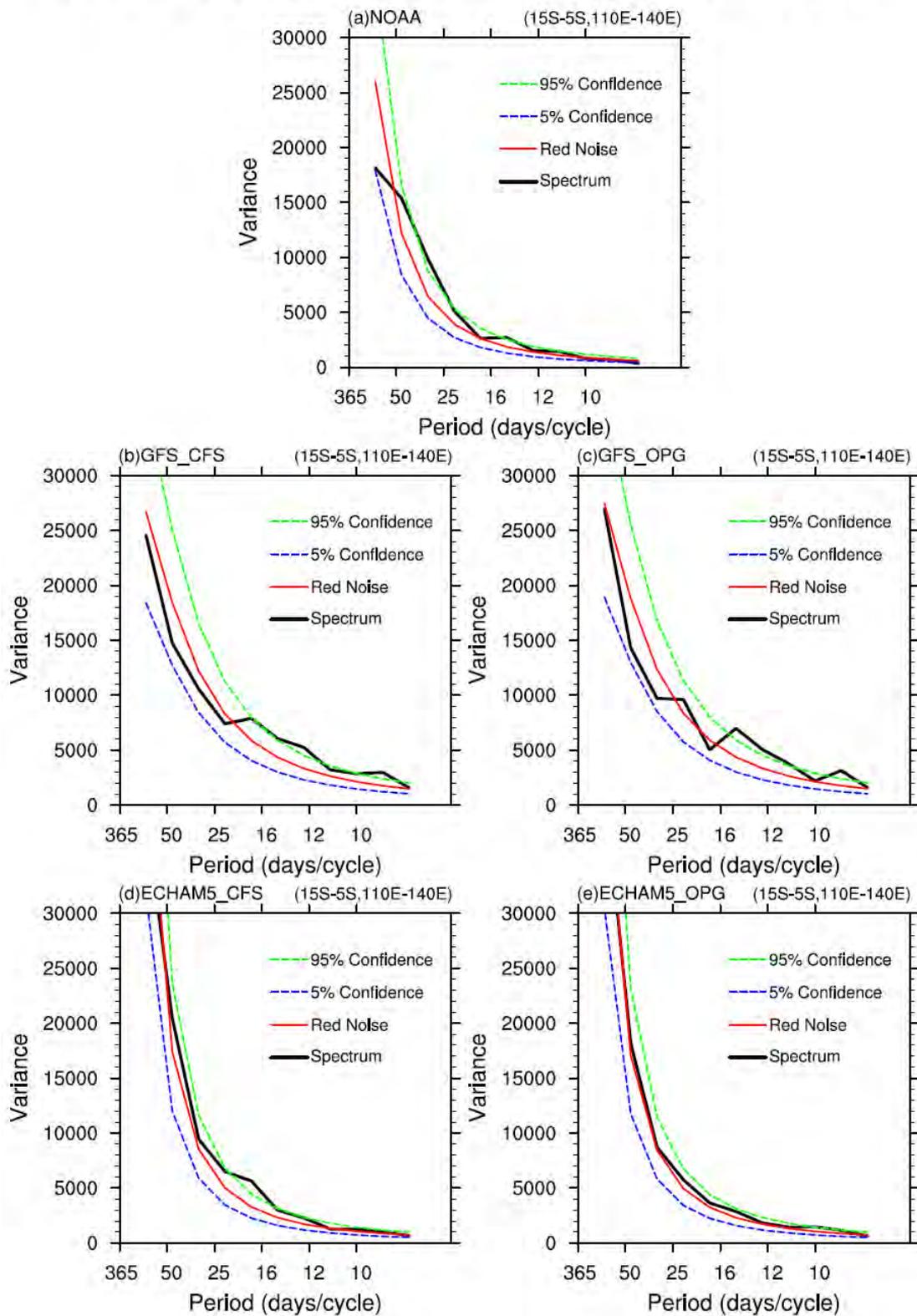


圖 64 說明同圖 63，但模式預報初始時間為每年 11 月 30 日 12Z。

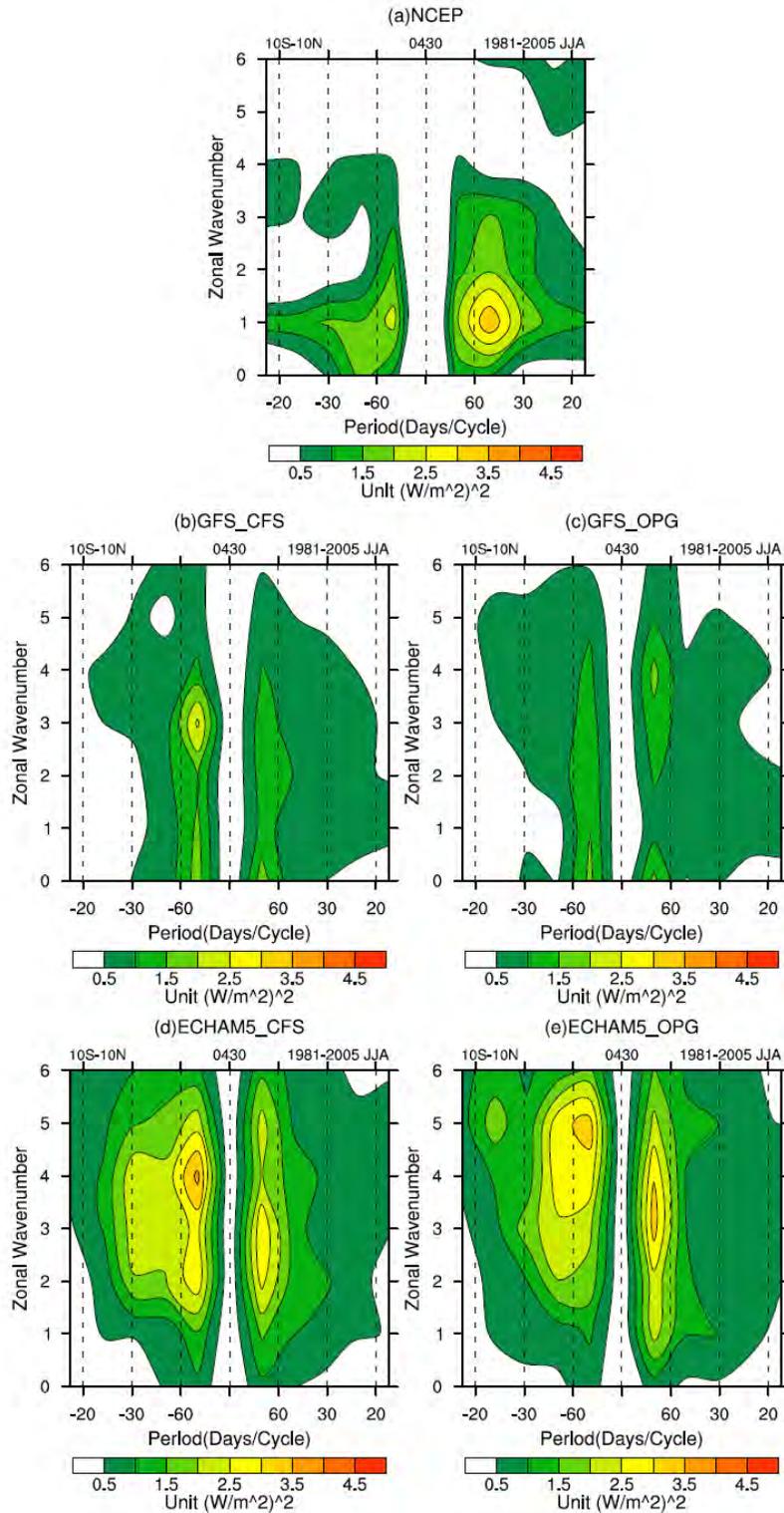


圖 65 1981-2005 年夏季 OLR 波數頻率頻譜圖。(a)、(b)、(c)、(d) 與 (e) 分別為 NOAA、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 的 OLR 波數頻率頻譜圖，選取區域為 (10°S-10°N, 0°E-0°W)，縱座標為波數，橫座標為週期，正號代表擾動向東移行，負號代表擾動向西移行，出現對稱性訊號時表示擾動呈現滯留。OLR 色階單位為  $w^2m^{-4}$ 。模式預報初始時間為每年 4 月 30 日 12Z。

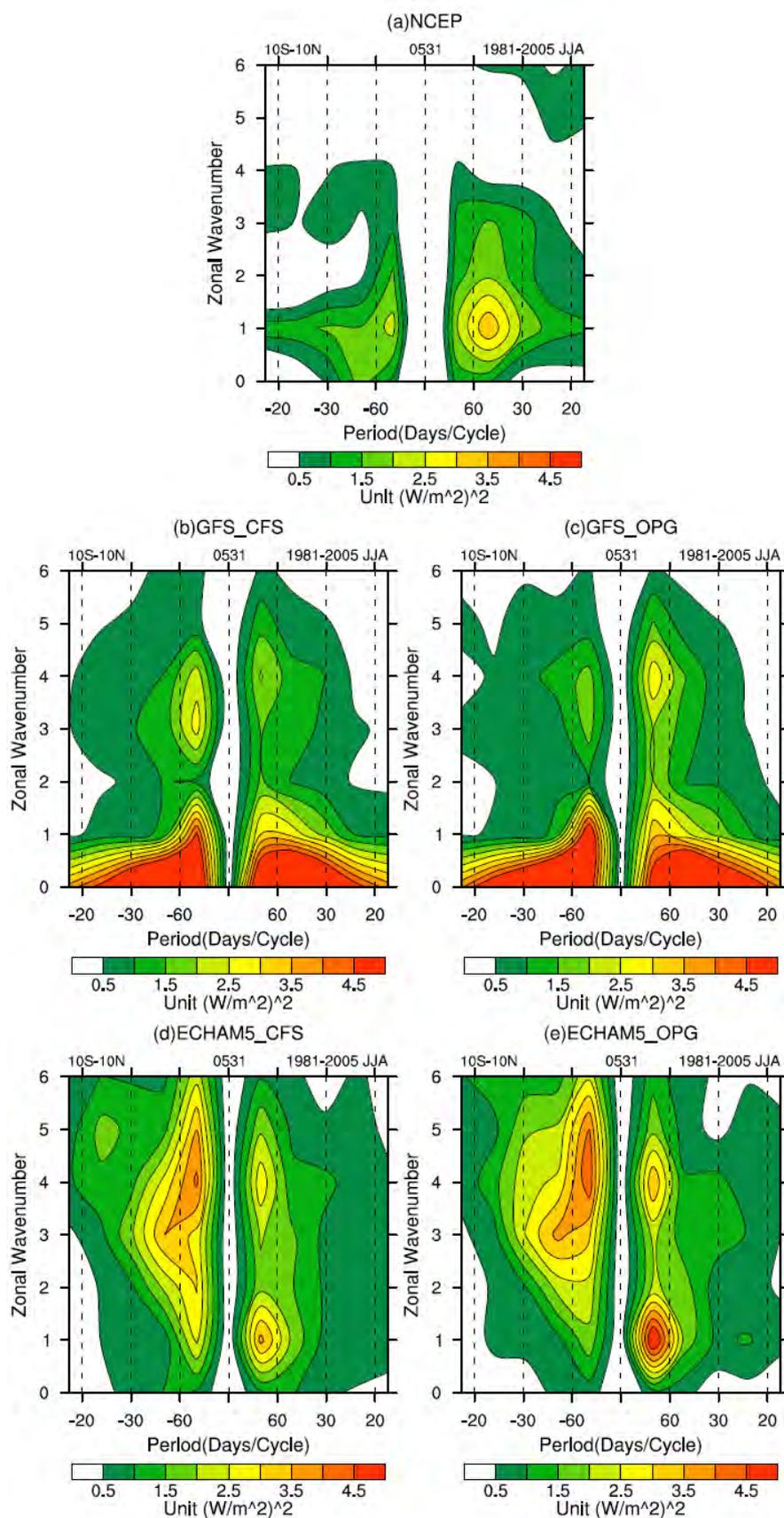


圖 66 說明同圖 65，但模式預報初始時間為每年 5 月 31 日 12Z。

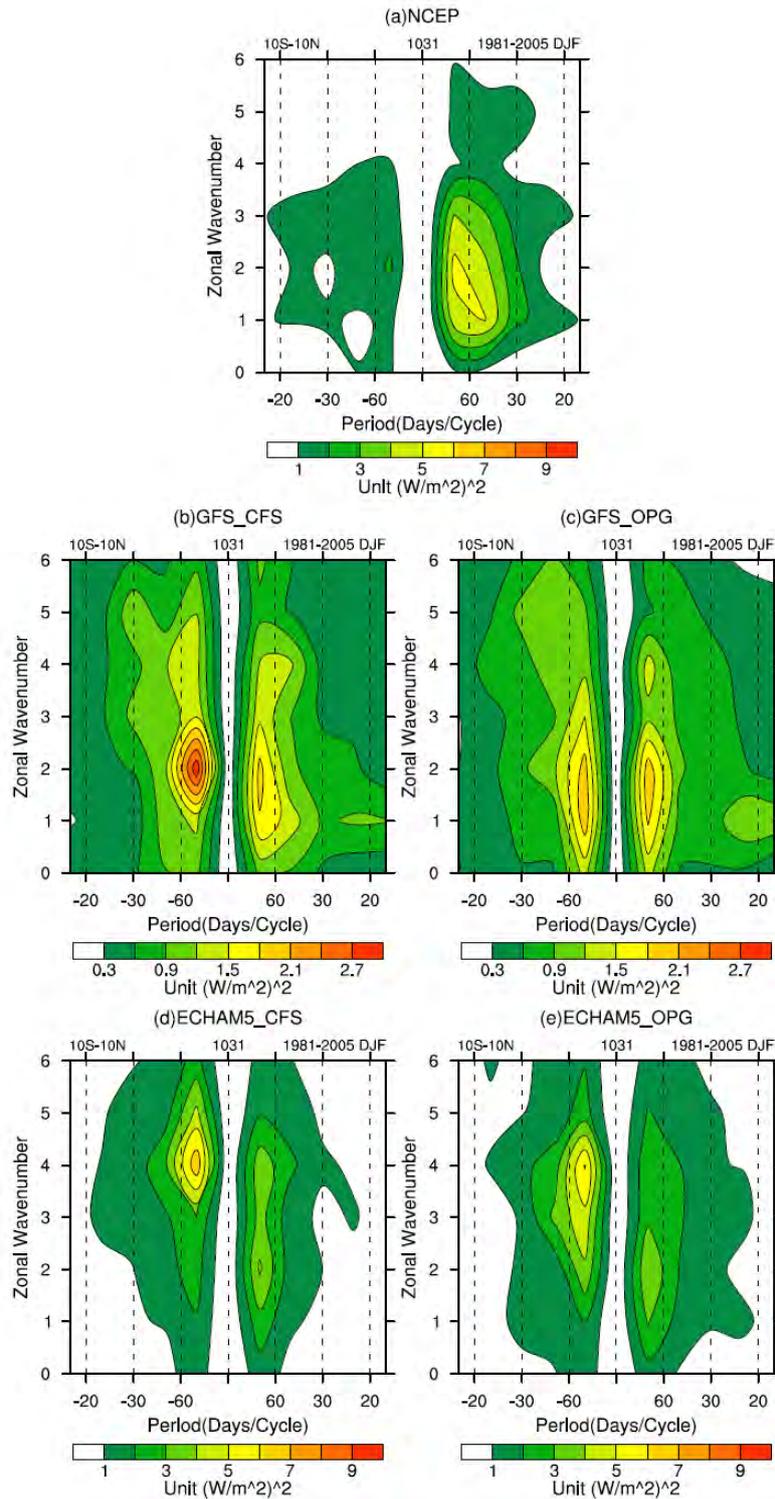


圖 67 1981-2005 年冬季 OLR 波數頻率頻譜圖。(a)、(b)、(c)、(d) 與 (e) 分別為 NOAA、GFS\_CFS、GFS\_OPG、ECHAM5\_CFS 與 ECHAM5\_OPG 的 OLR 波數頻率頻譜圖，選取區域為 (10°S-10°N, 0°E-0°W)，縱座標為波數，橫座標為週期，正號代表擾動向東移行，負號代表擾動向西移行，出現對稱性訊號時表示擾動呈現滯留。OLR 色階單位為  $w^2m^{-4}$ 。模式預報初始時間為每年 10 月 31 日 12Z。

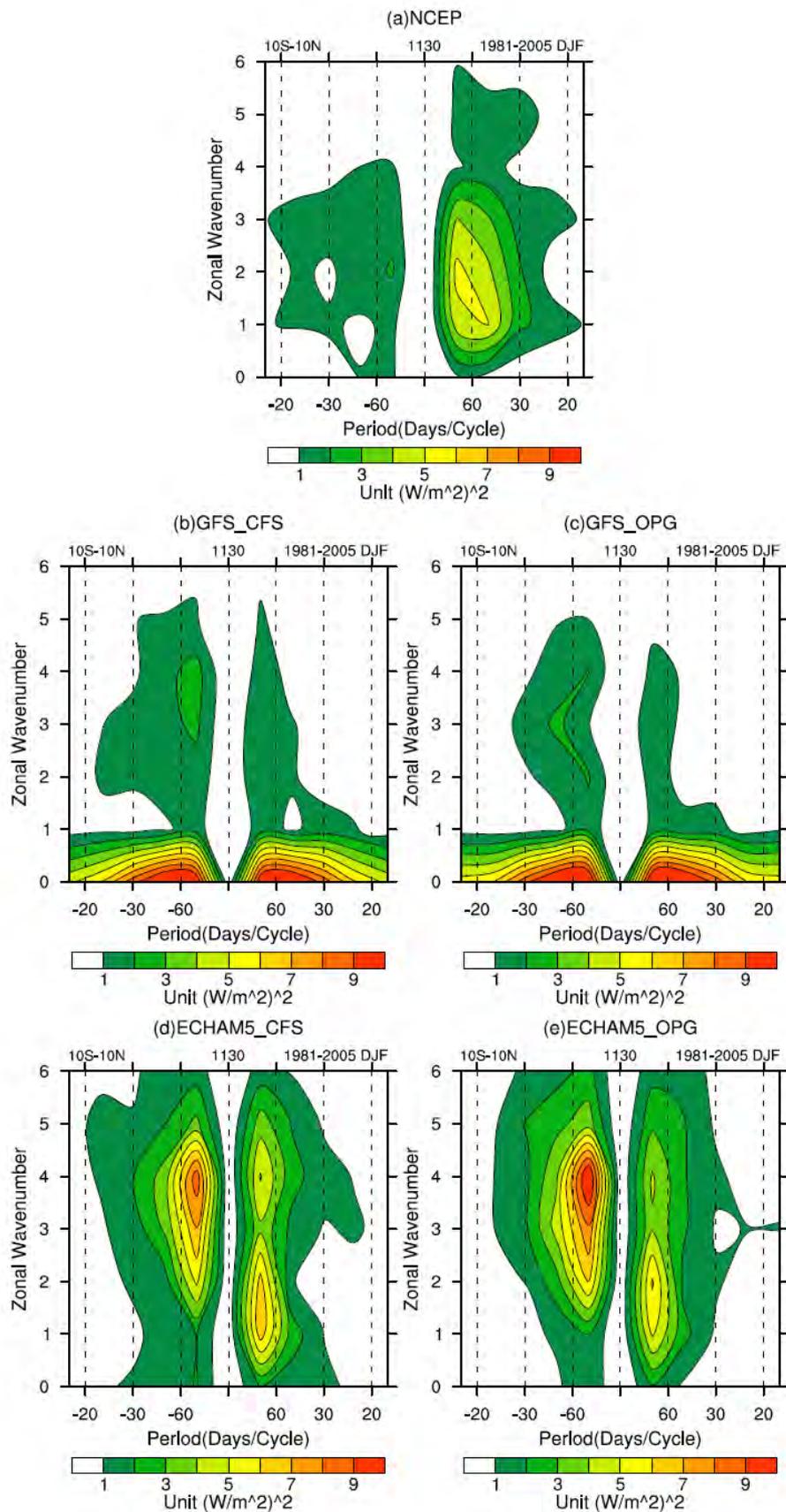


圖 68 說明同圖 67，但模式預報初始時間為每年 11 月 30 日 12Z。

# NOAA OLR and NCEP R2 850hPa DIV\_UVQ Lag Correlation JJA 1981-2005

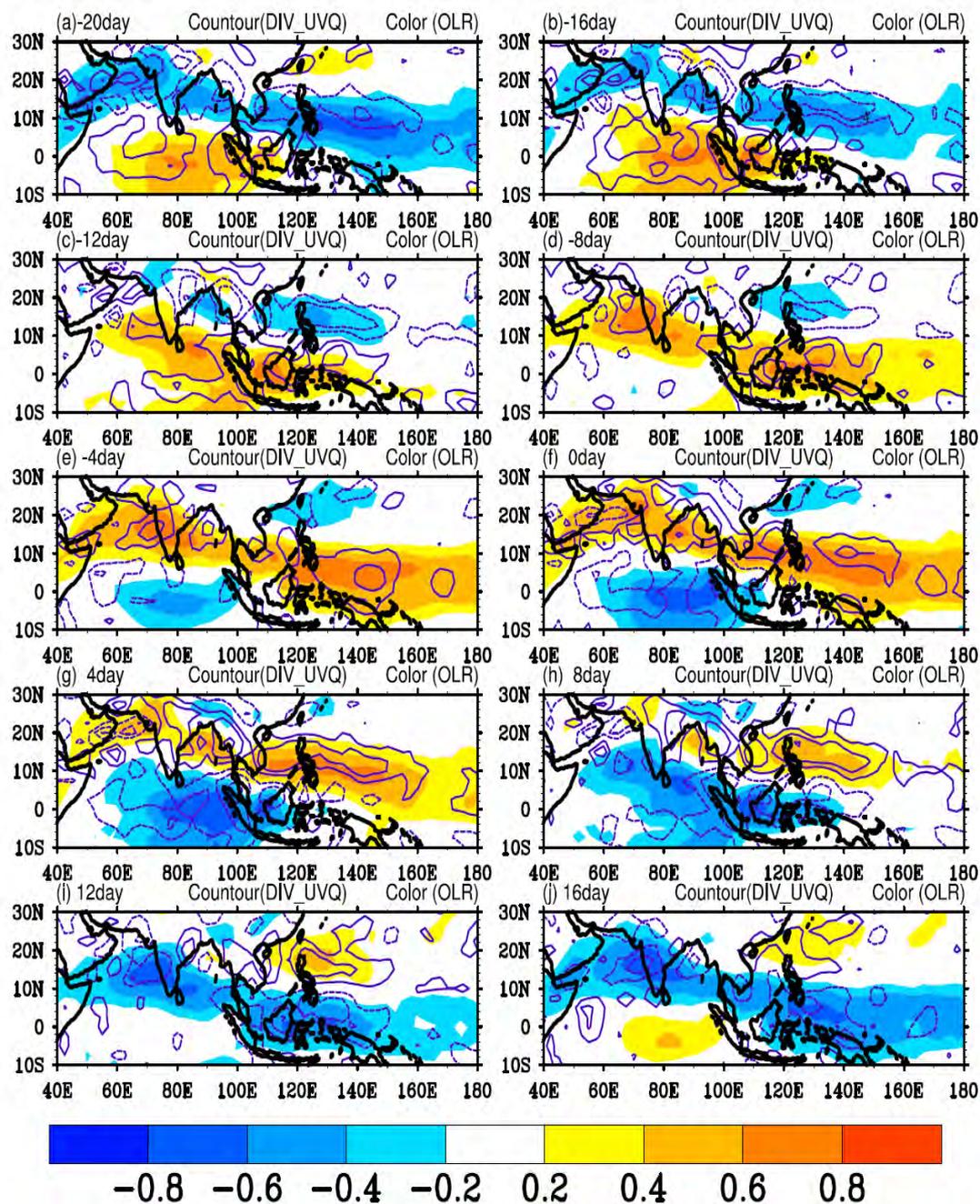


圖 69 1981-2005 年夏季 30-60 天熱帶地區 (30°S-30°N,0°E-360°E) NOAA OLR 第一個經驗正交函數特徵向量 (解釋 11.9%變異數) 時間序列與 NCEP R2 850hPa 比濕輻散場所做的延遲相關圖。(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)、(g)、(h)、(i)、(j) 分別代表-20 天、-16 天、-12 天、-8 天、-4 天、0 天、4 天、8 天、12 天、16 天與 20 天相關係數圖，實線與段線分別代表 850hPa 比濕輻散場正、負相關係數值，color bar 代表 OLR 相關係數，間距均為 0.2，圖內數值均通過 99%統計檢定。

GFS\_CFS OLR 850 hPa DIVQ 3060 EOF1 Lag Correlation JJA 1981-2005

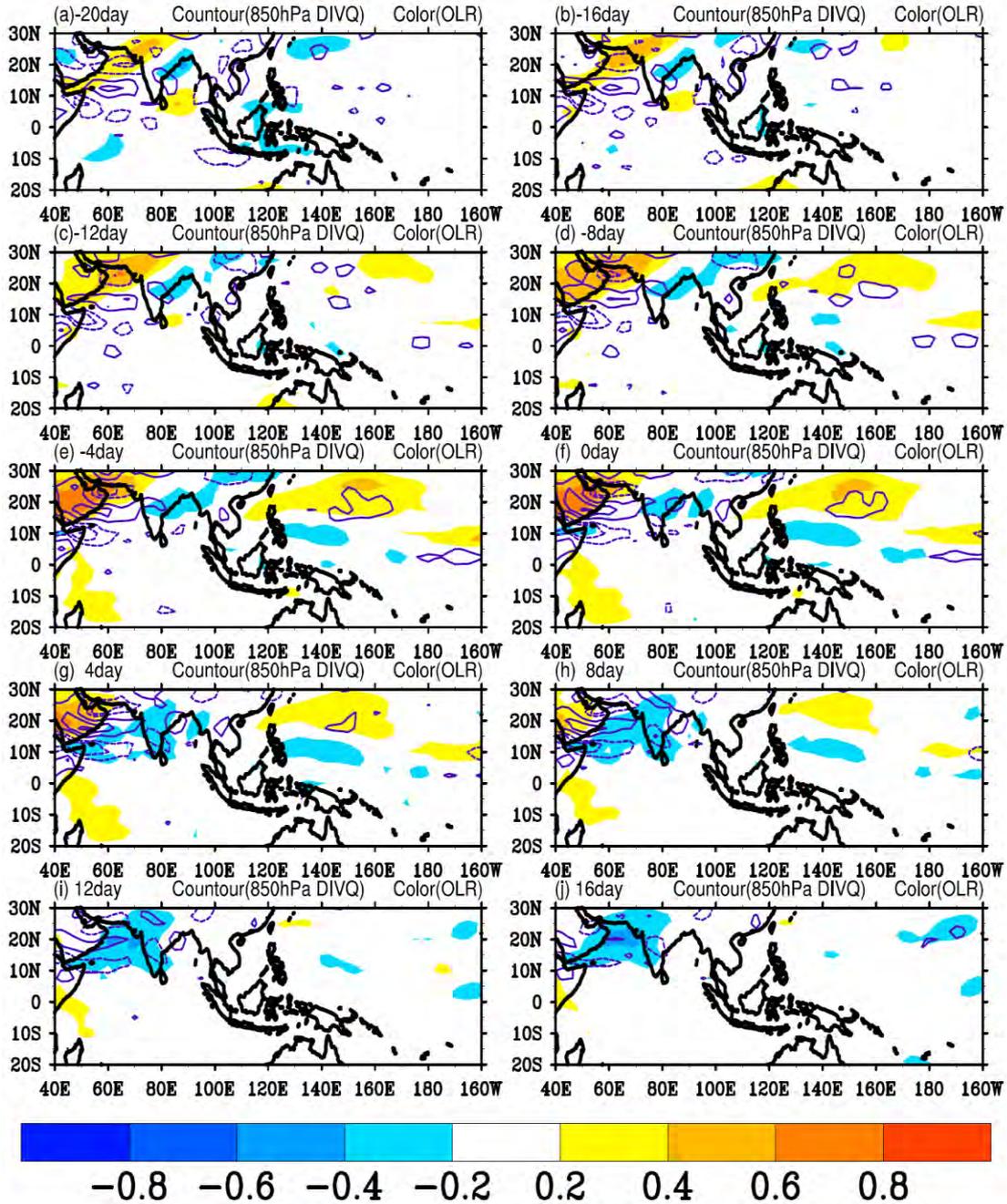


圖 70 1981-2005 年夏季 30-60 天熱帶地區(30°S-30°N,0°E-360°E)GFS\_CFS OLR 第一個經驗正交函數特徵向量(解釋 5.76%變異數)時間序列與 GFS\_CFS 850hPa 比濕輻散場所做的延遲相關圖。(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)、(g)、(h)、(i)、(j) 分別代表-20 天、-16 天、-12 天、-8 天、-4 天、0 天、4 天、8 天、12 天、16 天與 20 天相關係數圖，實線與段線分別代表 850hPa 比濕輻散場正、負相關係數值，color bar 代表 OLR 相關係數，間距均為 0.2，圖內數值均通過 99%統計檢定。

GFS\_OPG OLR 850 hPa DIVQ 3060 EOF1 Lag Correlation JJA 1981-2005

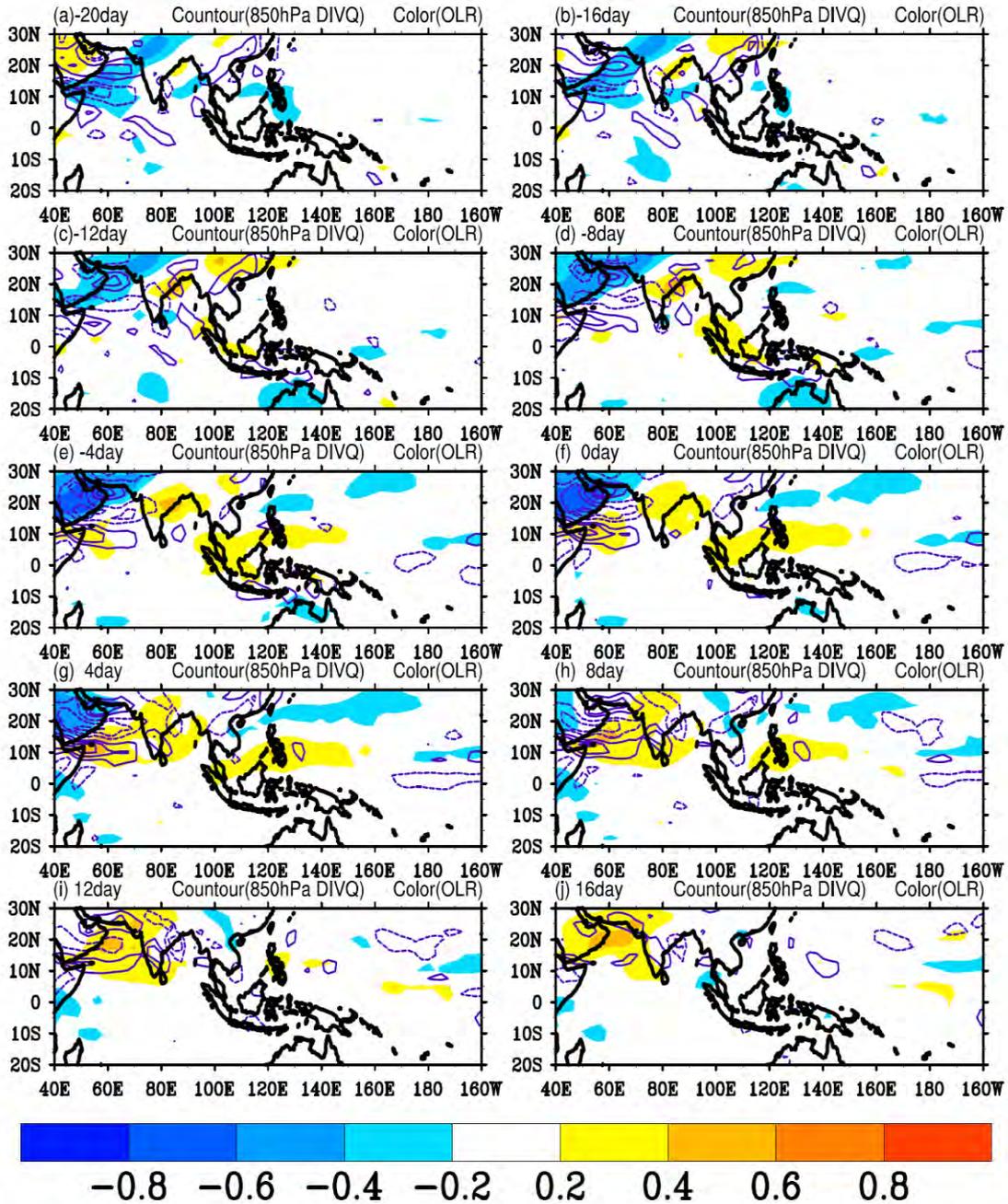


圖 71 1981-2005 年夏季 30-60 天熱帶地區 ( $30^{\circ}\text{S}-30^{\circ}\text{N}, 0^{\circ}\text{E}-360^{\circ}\text{E}$ ) GFS\_OPG OLR 第一個經驗正交函數特徵向量 (解釋 5.8%變異數) 時間序列與 GFS\_OPG 850hPa 比濕輻散場所做的延遲相關圖。(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)、(g)、(h)、(i)、(j) 分別代表 -20 天、-16 天、-12 天、-8 天、-4 天、0 天、4 天、8 天、12 天、16 天與 20 天相關係數圖，實線與段線分別代表 850hPa 比濕輻散場正、負相關係數值，color bar 代表 OLR 相關係數，間距均為 0.2，圖內數值均通過 99% 統計檢定。

ECHAM5\_CFS OLR 850 hPa DIVQ 3060 EOF1 Lag Correlation JJA 1981-2005

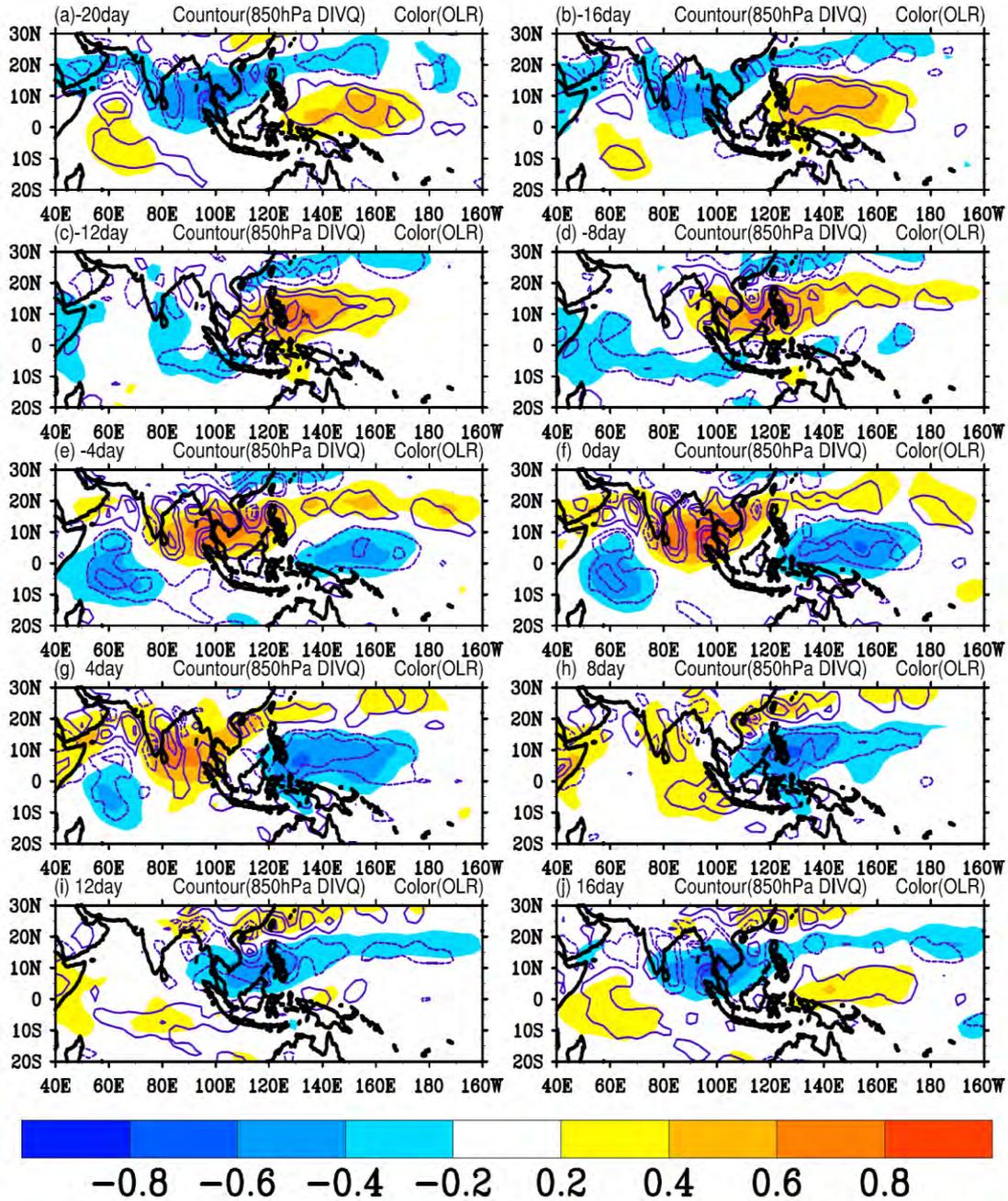


圖 72 1981-2005 年夏季 30-60 天熱帶地區 (30°S-30°N,0°E-360°E) ECHAM5\_CFS OLR 第一個經驗正交函數特徵向量 (解釋 8.1%變異數) 時間序列與 ECHAM5\_CFS 850hPa 比濕輻散場所做的延遲相關圖。(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)、(g)、(h)、(i)、(j) 分別代表-20 天、-16 天、-12 天、-8 天、-4 天、0 天、4 天、8 天、12 天、16 天與 20 天相關係數圖，實線與段線分別代表 850hPa 比濕輻散場正、負相關係數值，color bar 代表 OLR 相關係數，間距均為 0.2，圖內數值均通過 99%統計檢定。

ECHAM5\_OPG OLR 850 hPa DIVQ 3060 EOF1 Lag Correlation JJA 1981-2005

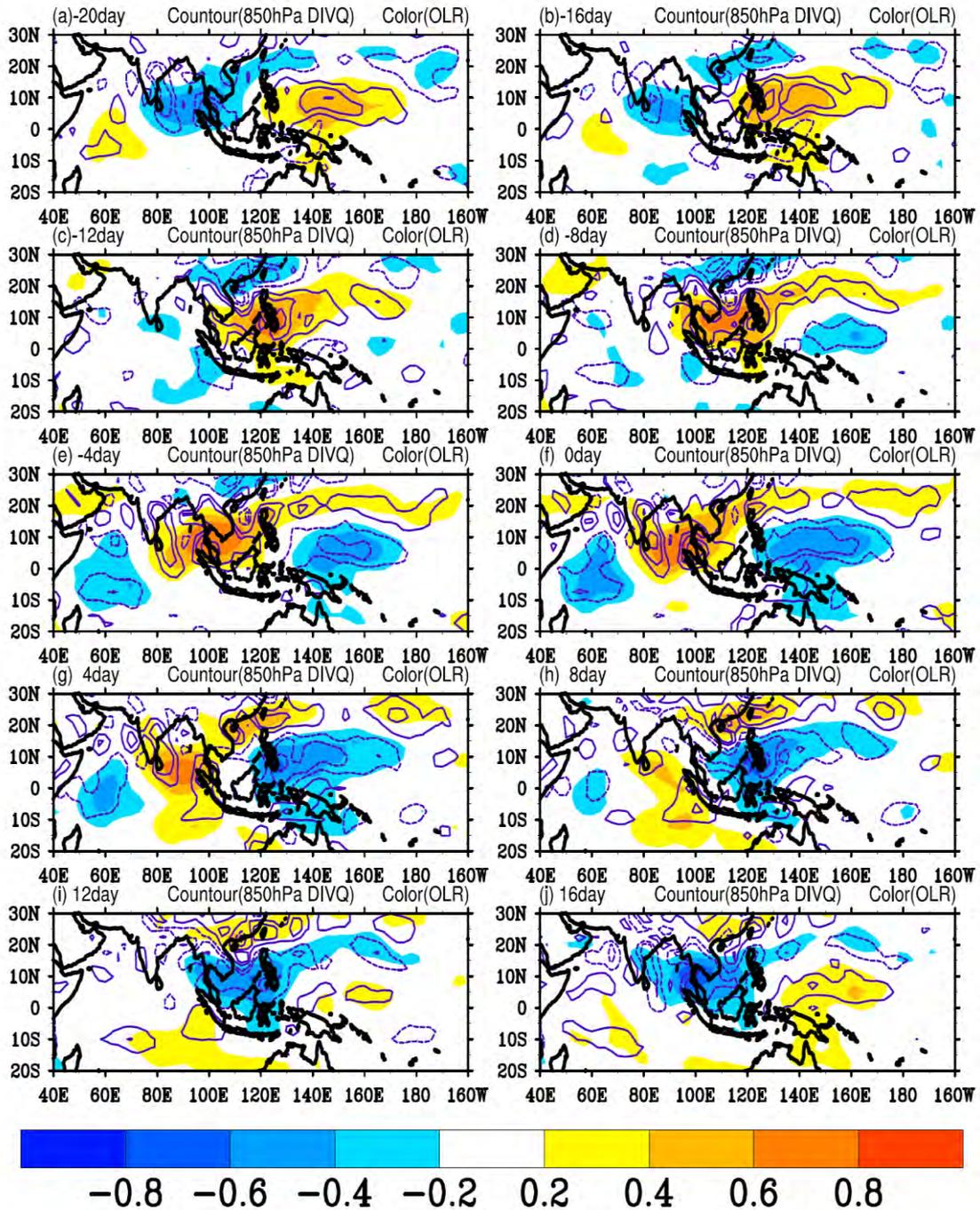


圖 73 1981-2005 年夏季 30-60 天熱帶地區 (30°S-30°N,0°E-360°E)ECHAM5\_OPG OLR 第一個經驗正交函數特徵向量 (解釋 7.3%變異數) 時間序列與 ECHAM5\_OPG 850hPa 比濕輻散場所做的延遲相關圖。(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)、(g)、(h)、(i)、(j) 分別代表-20 天、-16 天、-12 天、-8 天、-4 天、0 天、4 天、8 天、12 天、16 天與 20 天相關係數圖，實線與段線分別代表 850hPa 比濕輻散場正、負相關係數值，color bar 代表 OLR 相關係數，間距均為 0.2，圖內數值均通過 99%統計檢定。

# NOAA OLR and NCEP R2 850hPa DIV\_UVQ Lag Correlation DJF 1981-2005

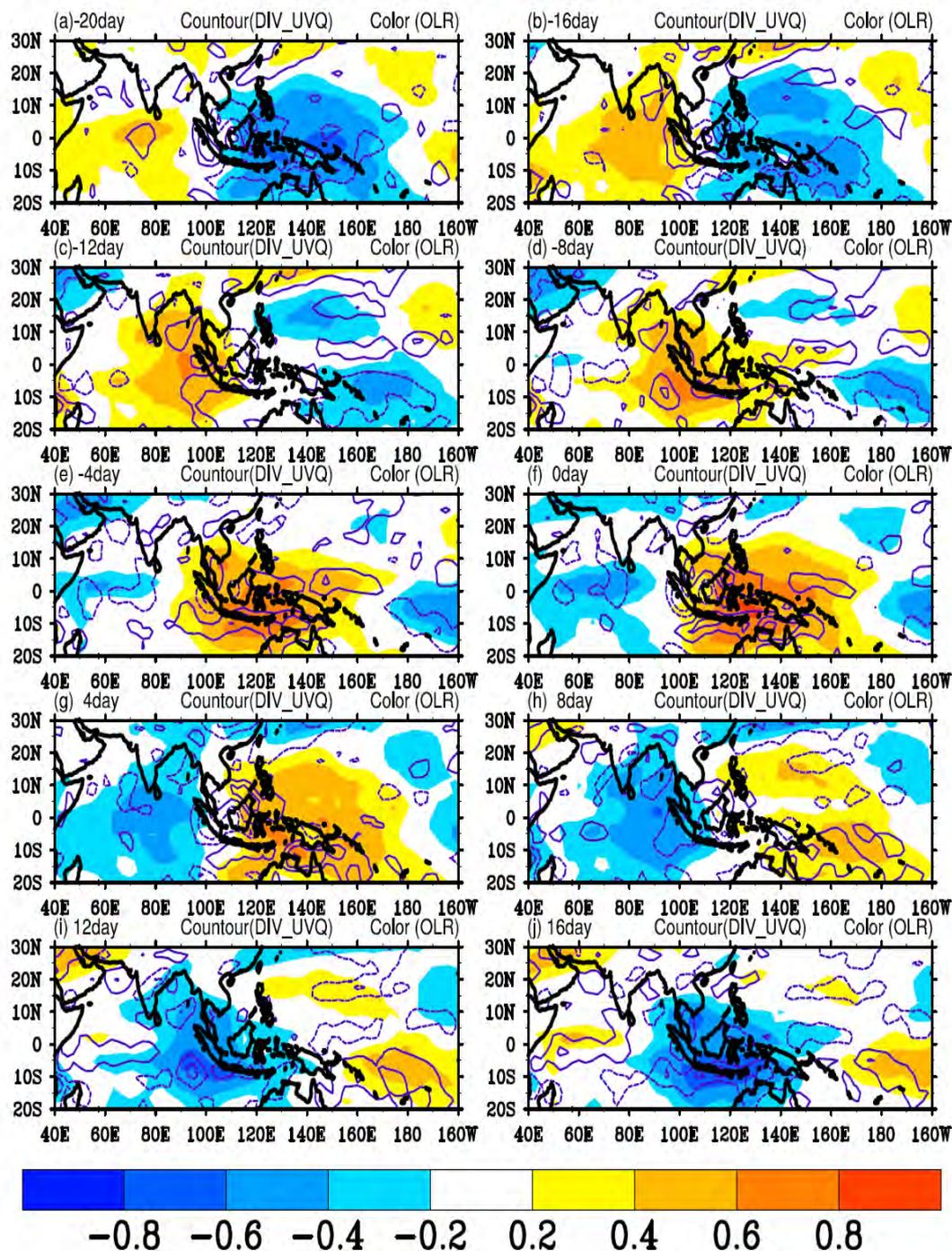


圖 74 1981-2005 年冬季 30-60 天熱帶地區 (30°S-30°N,0°E-360°E) NOAA OLR 第一個經驗正交函數特徵向量 (解釋 10.7%變異數) 時間序列與 NCEP R2 850hPa 比濕輻散場所做的延遲相關圖。(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)、(g)、(h)、(i)、(j) 分別代表-20 天、-16 天、-12 天、-8 天、-4 天、0 天、4 天、8 天、12 天、16 天與 20 天相關係數圖，實線與段線分別代表 850hPa 比濕輻散場正、負相關係數值，color bar 代表 OLR 相關係數，間距均為 0.2，圖內數值均通過 99%統計檢定。

GFS\_CFS OLR 850 hPa DIVQ 3060 EOF1 Lag Correlation DJF 1981-2005

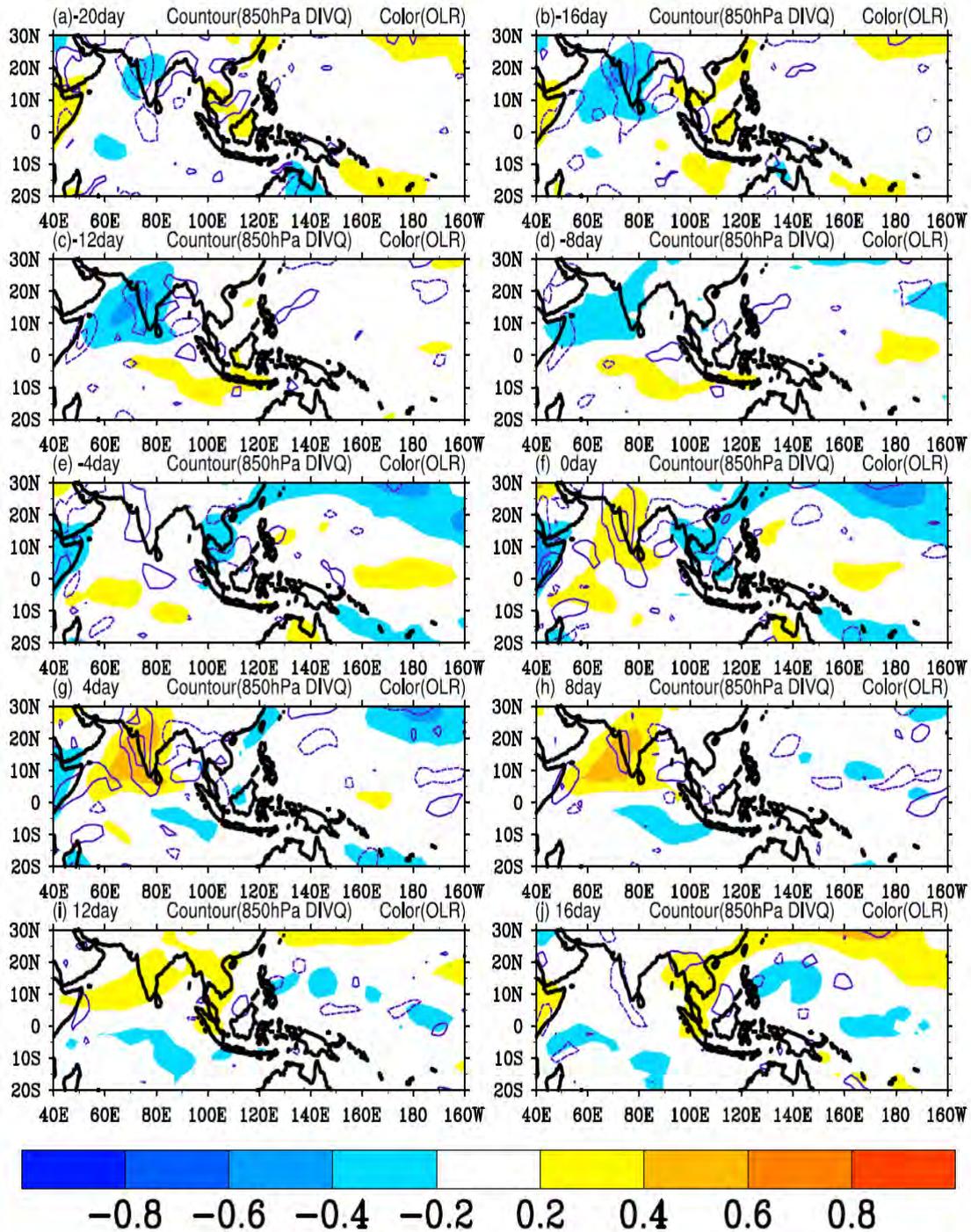


圖 75 1981-2005 年冬季 30-60 天熱帶地區 (30°S-30°N,0°E-360°E) GFS\_CFS OLR 第一個經驗正交函數特徵向量 (解釋 4.85%變異數) 時間序列與 GFS\_CFS 850hPa 比濕輻散場所做的延遲相關圖。(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)、(g)、(h)、(i)、(j) 分別代表-20 天、-16 天、-12 天、-8 天、-4 天、0 天、4 天、8 天、12 天、16 天與 20 天相關係數圖，實線與段線分別代表 850hPa 比濕輻散場正、負相關係數值，color bar 代表 OLR 相關係數，間距均為 0.2，圖內數值均通過 99%統計檢定。

GFS\_OPG OLR 850 hPa DIVQ 3060 EOF1 Lag Correlation DJF 1981-2005

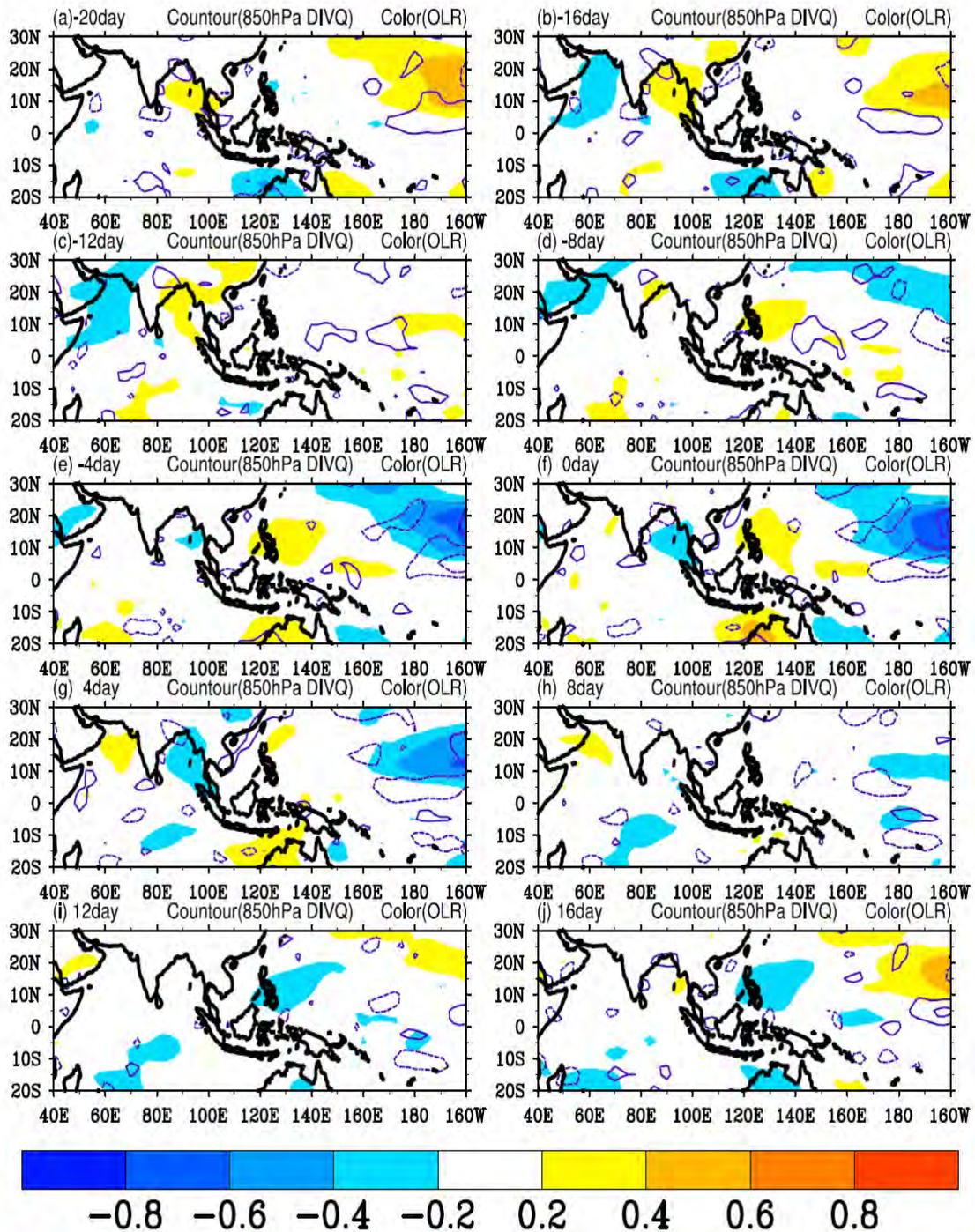


圖 76 1981-2005 年冬季 30-60 天熱帶地區 (30°S-30°N,0°E-360°E) GFS\_OPG OLR 第一個經驗正交函數特徵向量 (解釋 5.12%變異數) 時間序列與 GFS\_OPG 850hPa 比濕輻散場所做的延遲相關圖。(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)、(g)、(h)、(i)、(j) 分別代表 -20 天、-16 天、-12 天、-8 天、-4 天、0 天、4 天、8 天、12 天、16 天與 20 天相關係數圖，實線與段線分別代表 850hPa 比濕輻散場正、負相關係數值，color bar 代表 OLR 相關係數，間距均為 0.2，圖內數值均通過 99% 統計檢定。

# ECHAM5\_CFS OLR 850 hPa DIVQ 3060 EOF1 Lag Correlation DJF 1981-2005

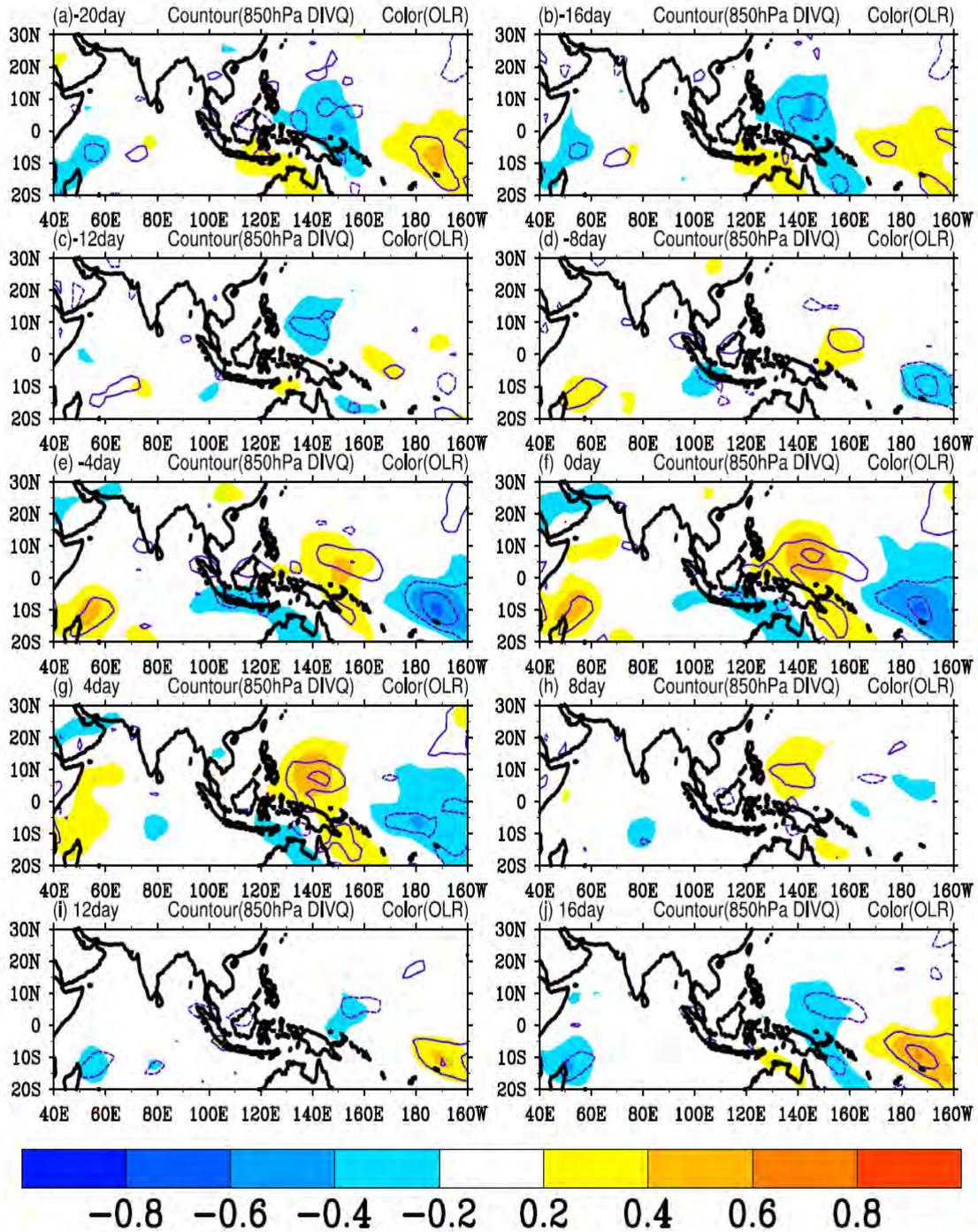


圖 77 1981-2005 年冬季 30-60 天熱帶地區 (30°S-30°N,0°E-360°E) ECHAM5\_CFS OLR 第一個經驗正交函數特徵向量 (解釋 4.58%變異數) 時間序列與 ECHAM5\_CFS 850hPa 比濕輻散場所做的延遲相關圖。(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)、(g)、(h)、(i)、(j) 分別代表-20 天、-16 天、-12 天、-8 天、-4 天、0 天、4 天、8 天、12 天、16 天與 20 天相關係數圖，實線與段線分別代表 850hPa 比濕輻散場正、負相關係數值，color bar 代表 OLR 相關係數，間距均為 0.2，圖內數值均通過 99%統計檢定。

# ECHAM5\_OPG OLR 850 hPa DIVQ 3060 EOF1 Lag Correlation DJF 1981-2005

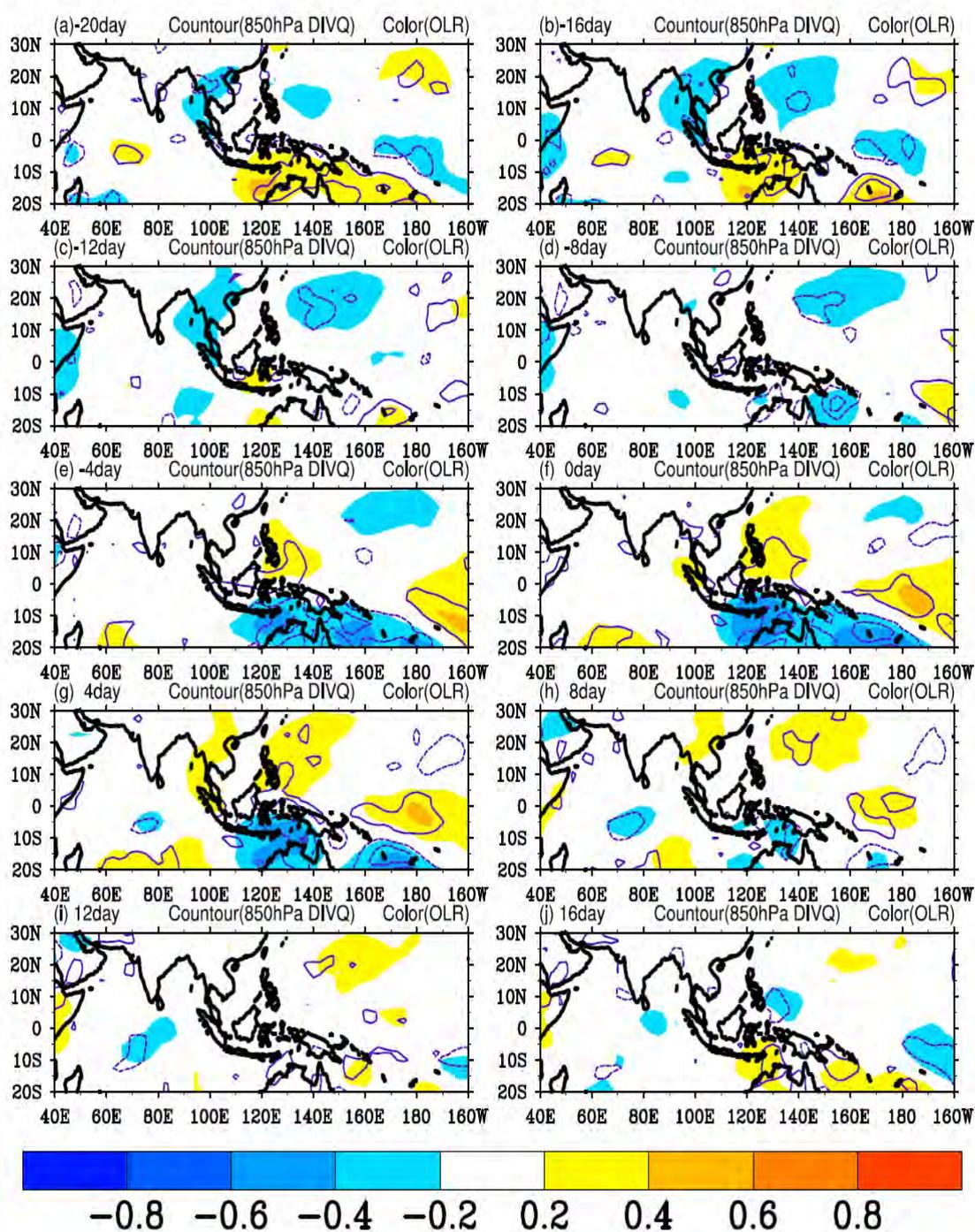


圖 78 1981-2005 年冬季 30-60 天熱帶地區 (30°S-30°N,0°E-360°E)ECHAM5\_OPG OLR 第一個經驗正交函數特徵向量 (解釋 4.77%變異數) 時間序列與 ECHAM5\_OPG 850hPa 比濕輻散場所做的延遲相關圖。(a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)、(g)、(h)、(i)、(j) 分別代表-20 天、-16 天、-12 天、-8 天、-4 天、0 天、4 天、8 天、12 天、16 天與 20 天相關係數圖，實線與段線分別代表 850hPa 比濕輻散場正、負相關係數值，color bar 代表 OLR 相關係數，間距均為 0.2，圖內數值均通過 99%統計檢定。

# Multivariate EOF1 JJA 1981-2005

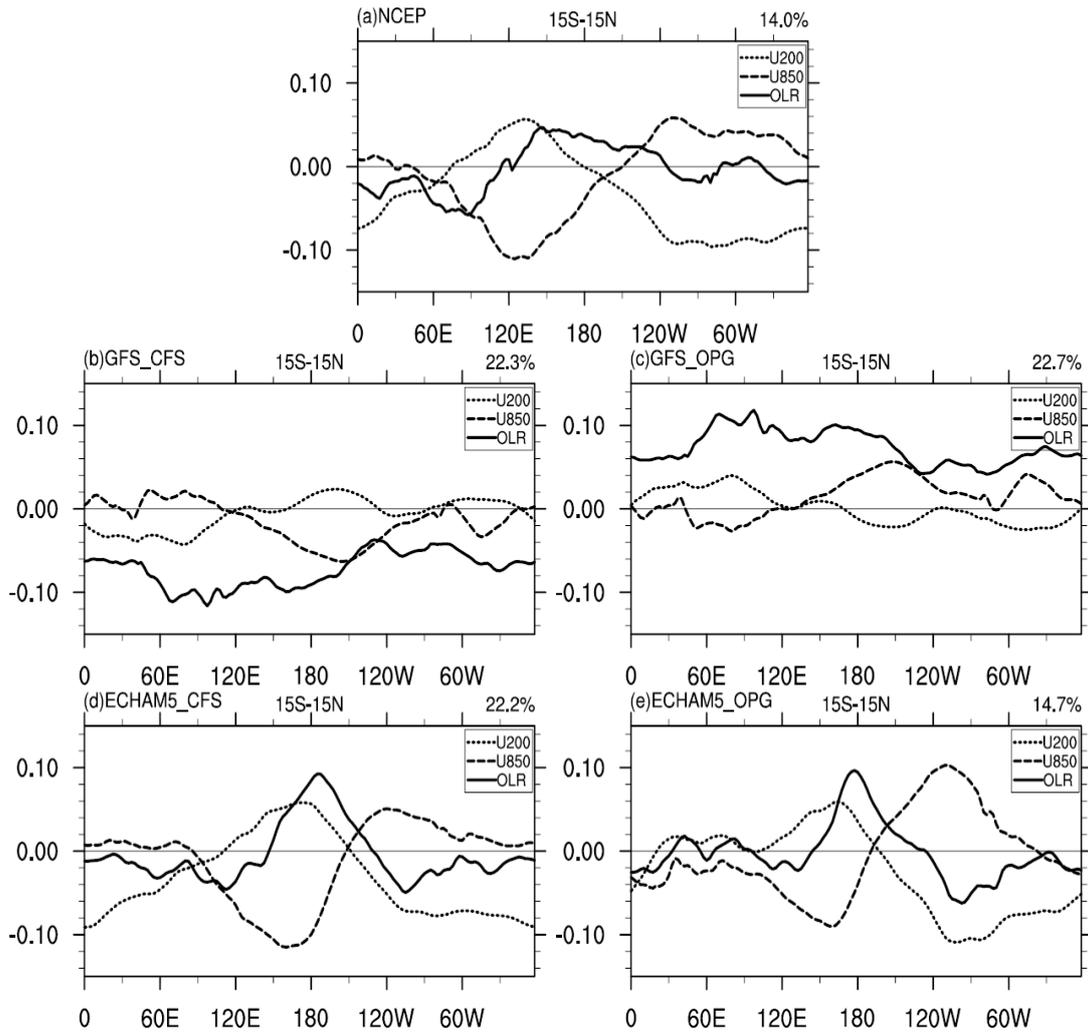


圖 79 1981-2005 年夏季 NOAA (圖 a)、GFS\_CFS (圖 b)、GFS\_OPG (圖 c)、ECHAM5\_CFS (圖 d) 與 ECHAM5\_OPG (圖 e) OLR (實線)、850hPa 緯向風場 (段線)、200hPa 緯向風場 (點線) 的多變數經驗正交函數第 1 特徵向量在 (15°S-15°N, 0°E-360°E) 區域的緯向空間結構。圖右上側百分比代表解釋的變異數百分比。

# Multivariate EOF2 JJA 1981-2005

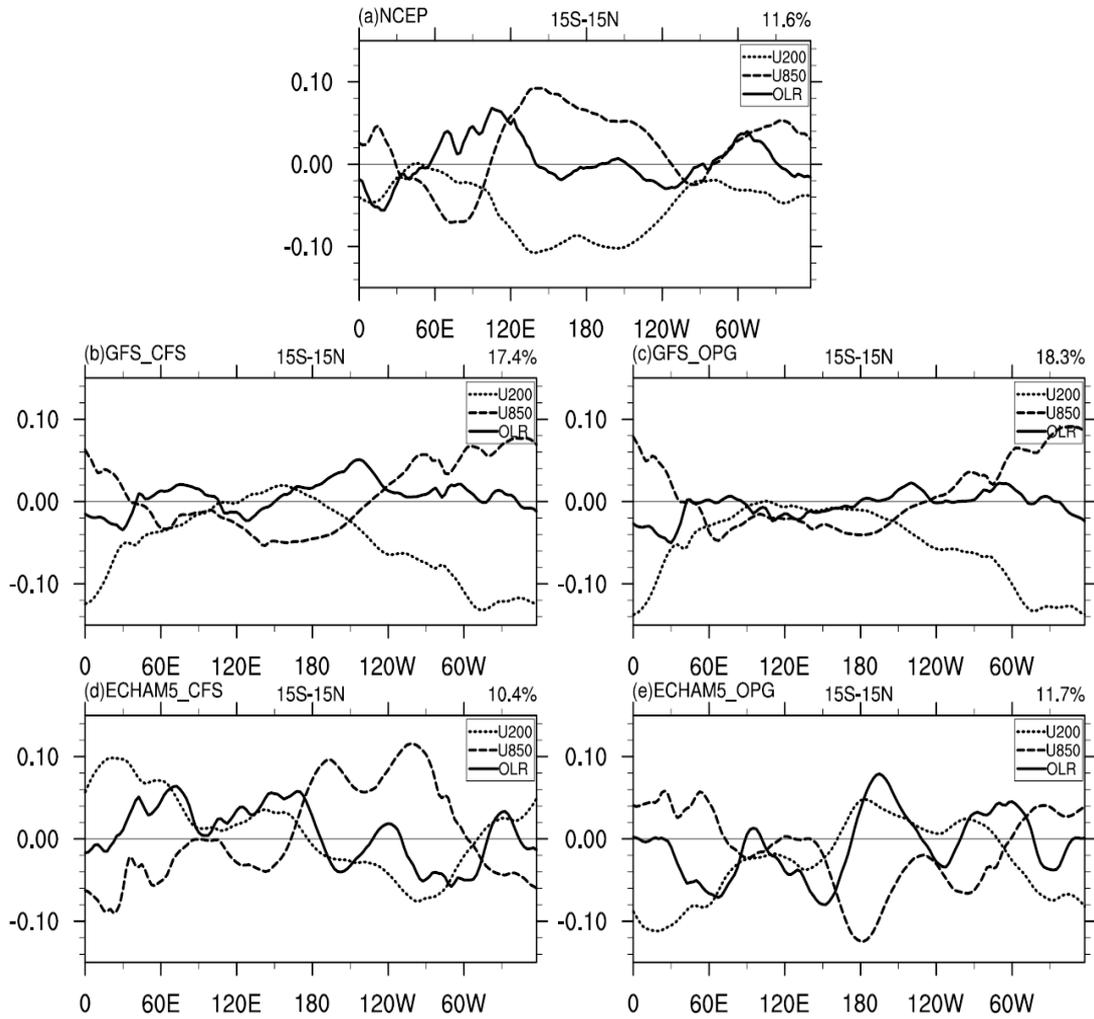


圖 80 1981-2005 年夏季 NOAA (圖 a)、GFS\_CFS (圖 b)、GFS\_OPG (圖 c)、ECHAM5\_CFS (圖 d) 與 ECHAM5\_OPG (圖 e) OLR (實線)、850hPa 緯向風場 (段線)、200hPa 緯向風場 (點線) 的多變數經驗正交函數第 2 特徵向量在 (15°S-15°N, 0°E-360°E) 區域的緯向空間結構。圖右上側百分比代表解釋的變異數百分比。

# RMM PC1+PC2 Index JJA 1981-2005

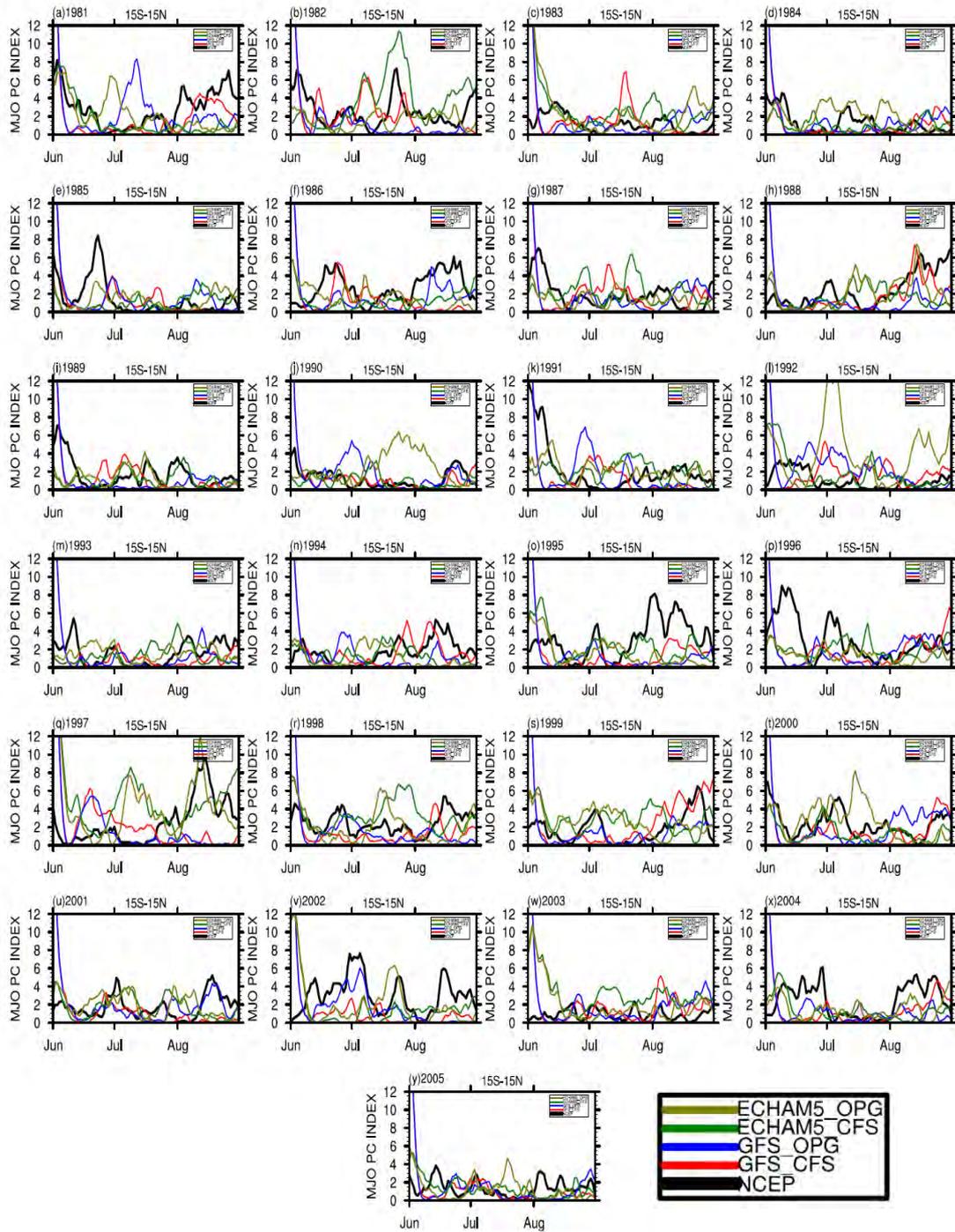


圖 81 1981-2005 年夏季在(15°S-15°N, 0°E-360°E)區域 NCEP(黑粗線)、GFS\_CFS (紅線)、GFS\_OPG (藍線)、ECHAM5\_CFS (綠線) 與 ECHAM5\_OPG (草綠色) OLR (實線) 的多變數經驗正交函數第 1、2 特徵向量的時間序列的平方和的年際變化圖。圖 a 至圖 y 分別代表 1981 年至 2005 年夏季時間序列變化。

# Multivariate EOF1 DJF 1981-2005

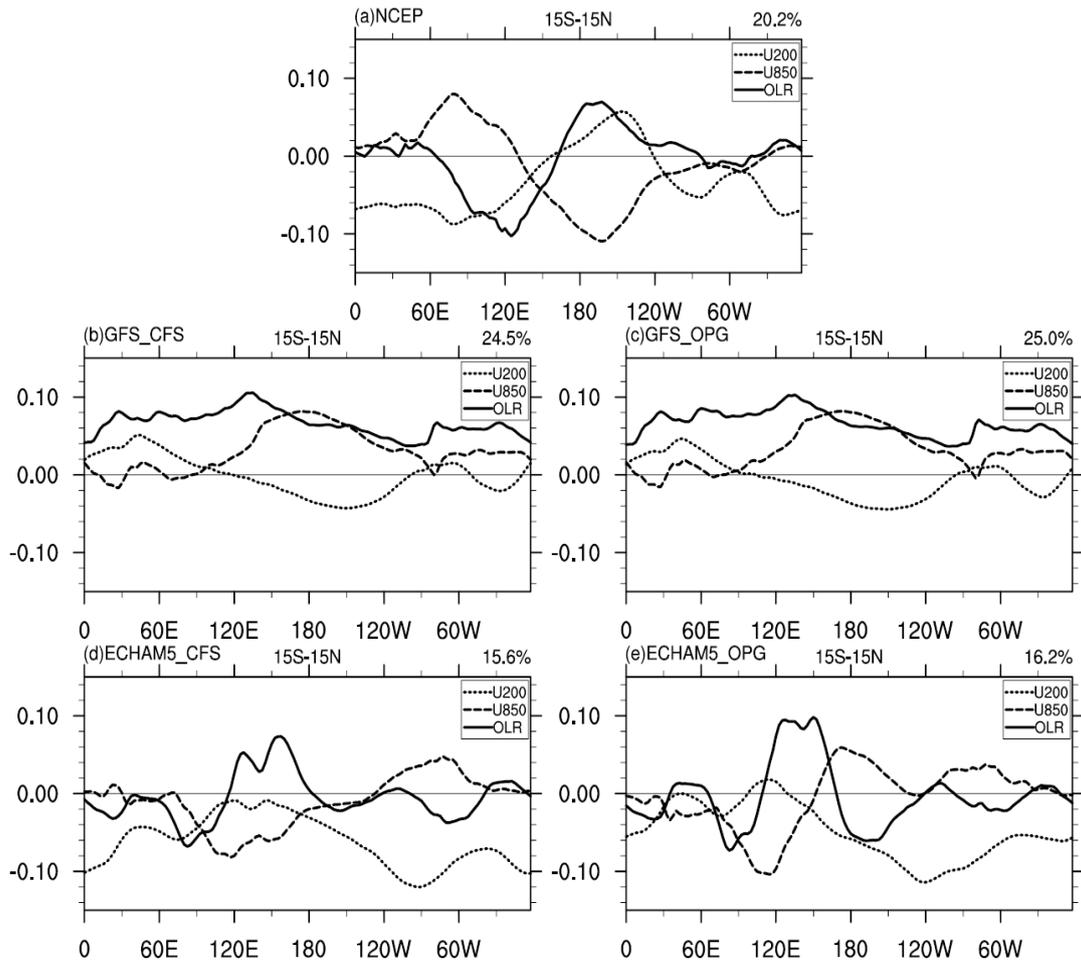


圖 82 1981-2005 年冬季 NOAA (圖 a)、GFS\_CFS (圖 b)、GFS\_OPG (圖 c)、ECHAM5\_CFS (圖 d) 與 ECHAM5\_OPG (圖 e) OLR (實線)、850hPa 緯向風場 (段線)、200hPa 緯向風場 (點線) 的多變數經驗正交函數第 1 特徵向量在 (15°S-15°N, 0°E-360°E) 區域的緯向空間結構。圖右上側百分比代表解釋的變異數百分比。

# Multivariate EOF2 DJF 1981-2005

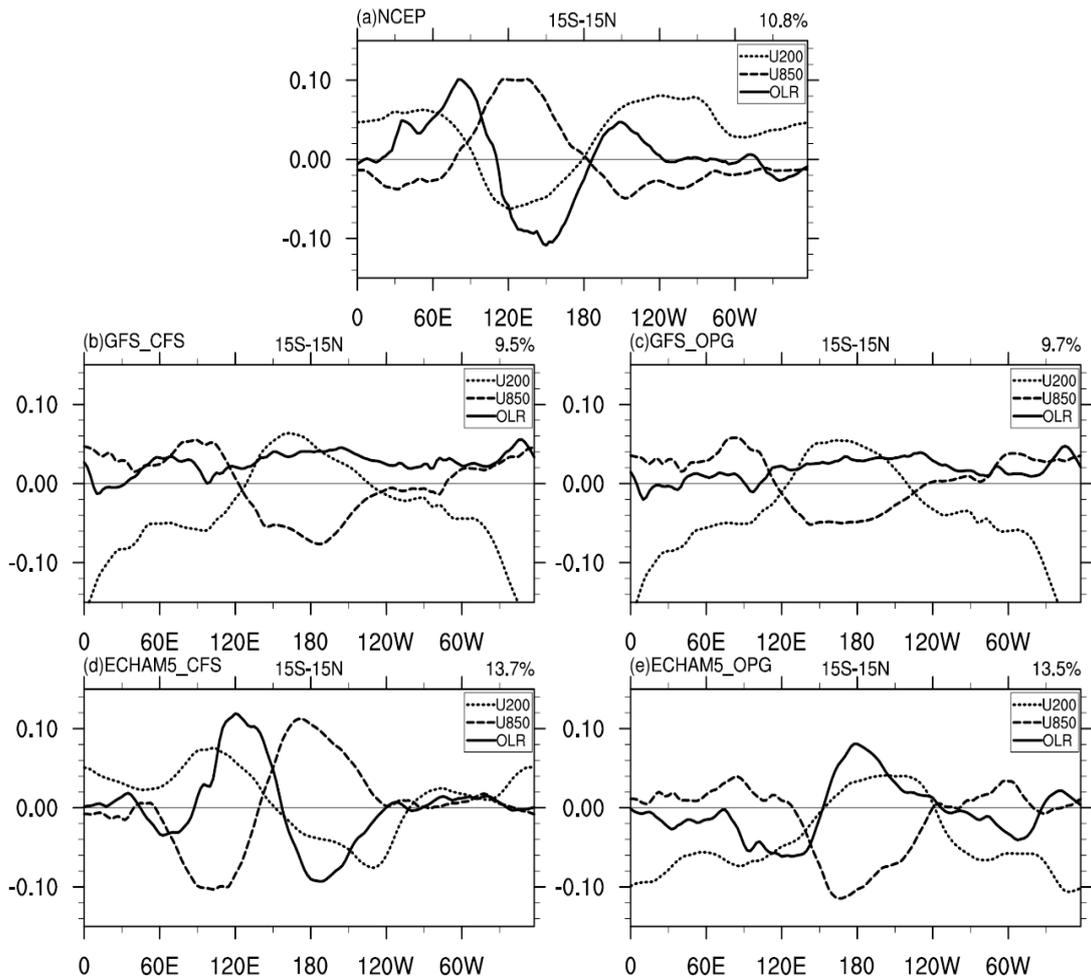


圖 83 1981-2005 年冬季 NOAA (圖 a)、GFS\_CFS (圖 b)、GFS\_OPG (圖 c)、ECHAM5\_CFS (圖 d) 與 ECHAM5\_OPG (圖 e) OLR (實線)、850hPa 緯向風場 (段線)、200hPa 緯向風場 (點線) 的多變數經驗正交函數第 2 特徵向量在 (15°S-15°N, 0°E-360°E) 區域的緯向空間結構。圖右上側百分比代表解釋的變異數百分比。

# RMM PC1+PC2 Index DJF 1981-2005

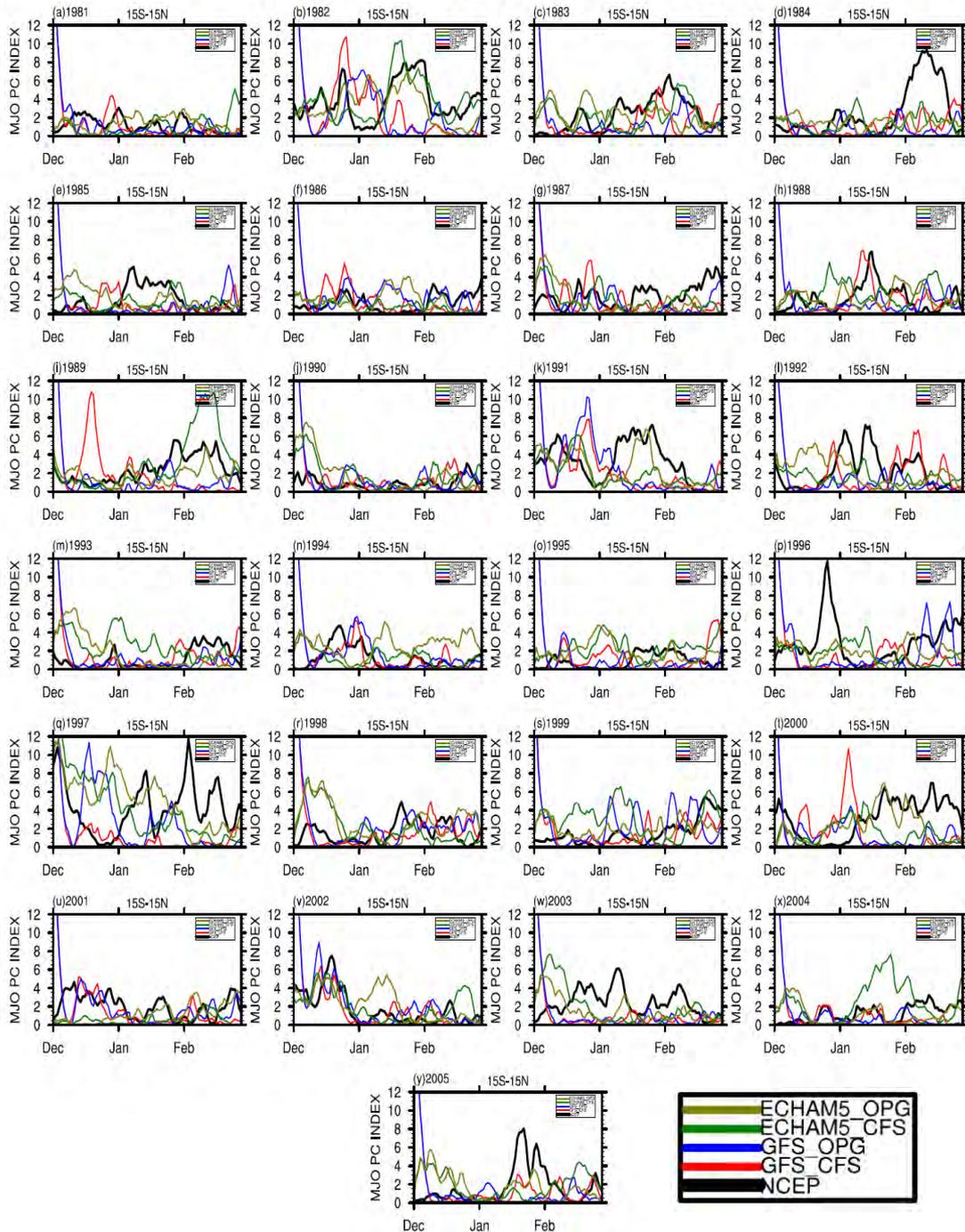


圖 84 1981-2005 年冬季在(15°S-15°N,0°E-360°E)區域 NCEP(黑粗線)、GFS\_CFS (紅線)、GFS\_OPG (藍線)、ECHAM5\_CFS (綠線) 與 ECHAM5\_OPG (草綠色) OLR (實線) 的多變數經驗正交函數第 1、2 特徵向量的時間序列的平方和的年際變化圖。圖 a 至圖 y 分別代表 1981 年至 2005 年冬季時間序列變化。

## 玖、參考文獻

- 李明營，2003：地形與海溫對季內振盪東移的影響。國立台灣大學大氣科學研究所碩士論文，70 頁。
- 翁春雄，2000：夏季季內海氣陸交互作用。國立台灣大學大氣科學研究所博士論文，102 頁。
- Hendon, H. H., and B. Liebmann, 1990a: A composite study of onset of the Australian summer monsoon. *J. Atmos. Sci.*, 47, 2227-2240.
- —, and — —, 1990b: The intraseasonal (30-50 day) oscillation of the Australian summer monsoon. *J. Atmos. Sci.*, 47, 2909-2923.
- —, and J. Glick, 1997: Intraseasonal air—sea interaction in the tropical Indian and Pacific Oceans. *J. Climate.*, 10, 647-661.
- —, and M. L. Salby, 1994: The life cycle of the Madden—Julian oscillation. *J. Atmos. Sci.*, 51, 2225-2237.
- Hong, C.-C., M.-Y. Lee, H.-H. Hsu, and J.-L. Kuo, 2010: Role of submonthly disturbance and 40–50 day ISO on the extreme rainfall event associated with Typhoon Morakot (2009) in Southern Taiwan, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L08805, doi:10.1029/2010GL042761.
- Hsu, H.-H., and C.-H. Weng, 2001: Northwestward propagation of the intraseasonal oscillation during the boreal summer: Mechanism and structure. *J. Climate*, 14, 3834-3850.
- Hsu, H.-H., C.-H. Weng, and C.-H. Wu, 2004: Contrasting characteristics between the northward and eastward propagation of the intraseasonal oscillation during the boreal summer. *J. Climate*, 17, 727-743.
- Hsu, H.-H., and M.-Y. Lee, 2005: Topographic effects on the eastward propagation and initiation of the Madden-Julian Oscillation. *J. Climate*, 18, 795-809.
- Hsu, H.-H., 2005: East Asian monsoon. A chapter in ‘Intraseasonal Variability in the Atmosphere-Ocean Climate System’, Eds. K.-M. Lau and D. Waliser, Praxis, Springer Berlin, 63-94.
- Hsu, H.-H., Y.-L. Chen, A.-K. Lo, C.-H. Hung, W.-S. Kau, and C.-C. Wu, 2008 : Intraseasonal Oscillation-Tropical Cyclone Coupling in the Western North

- Pacific during the 2004 Typhoon Season. In “Recent Progress in Atmospheric Sciences: Applications to the Asia-Pacific Region”, Ed. K. N. Liou and M. D. Chou, World Scientific, Singapore, 49-65.
- Hung, C.-W., and H.-H. Hsu, 2008: The First Transition of the Asian Summer monsoon, intraseasonal Oscillation, and Taiwan Meiyu. *J. Climate*, 21, 1552-1568.
- Kim, D., K. Sperber, W. Stern, D. Waliser, I.-S. Kang, E. Maloney, W. Wang, K. Weickmann, J. Benedict, M. Khairoutdinov, M.-I. Lee, R. Neale, M. Suarez, K. Thayer-Calder, and G. Zhang, 2009 : Application of MJO Simulation Diagnostics to Climate Models. *J. Climate*, 22, 6413-6436.
- Kim, J. H., C. H. Ho, H. S. Kim, C. H. Sui, and S. K. Park, 2008: Systematic variation of summertime tropical cyclone activity in the western North Pacific in relation to the Madden–Julian oscillation. *J. Climate*, 21, 1171–1191.
- Ko, K.-C., and H.-H. Hsu, 2009: ISO Modulation on the Sub-monthly Wave Pattern and the Recurving Tropical Cyclones in the Tropical Western North Pacific. *J. Climate*, 22, 982-999.
- Liebmann, B., H. H. Hendon, and J. D. Glick, 1994: The relationship between tropical cyclones of the western Pacific and Indian Oceans and the Madden–Julian Oscillation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 72, 401–411.
- Lin, J.-L., and Coauthors, 2006: Tropical intraseasonal variability in 14 IPCC AR4 climate models. Part I: Convective signals. *J. Climate*, 19, 2665–2690.
- Lin, H., G. Brunet, and J. Derome, 2008: Forecast skill of the Madden-Julian Oscillation in two Canadian atmospheric models. *Mon. Wea. Rev.*, 136, 4130-4149.
- Lo, F., and H. H. Hendon, 2000: Empirical extended-range prediction of the Madden–Julian oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 2528–2543.
- Madden R. A, and P. R. Julian ,1971 : Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. *J. Atmos. Sci.*, 28, 702-708.
- —, and — —, 1972 : Description of global-scale circulation cells in the tropics with 40–50 day period. *J. Atmos. Sci.*, 29, 1109-1123.
- —, and — —, 1994 : Observations of the 40-50-day tropical oscillation—review.

- Mon. Wea. Rev., 122, 814-837.
- Maloney, E.D., and D. L. Hartmann, 2000 : Modulation of hurricane activity in the Gulf of Mexico by the Madden-Julian oscillation. *Science.*, 287, 2002-2004.
- Moore, A. M., and R. Kleeman, 1999 : The nonnormal nature of El Niño and intraseasonal variability. *J. Climate.*, 12, 2965-2982.
- Nakazawa, t., 1986: Intraseasonal variations of OLR in the tropical during the FGGE year. *J. Meteor. Soc. Japan*, 64, 17-34.
- Salby, M. L., and H. H. Hendon, 1994: Intraseasonal behavior of clouds, temperature, and motion in the tropics. *J. Atmos. Sci.*, 51, 2207–2224.
- Slingo, J. M., and coauthors, 1996: Interseasonal oscillations in 15 atmospheric general circulation models: Results from an AMIP diagnostic subproject. *Climate Dyn.*, 12, 325-357.
- — , D. P. Rowell, K. R. Sperber and F. Nortley, 1999 : On the predictability of the interannual behaviour of the Madden–Julian oscillation and its relationship with EL Niño. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 125. 583-609.
- Sperber, K. R., and D. Waliser, 2008: New approaches to understanding, simulating, and forecasting the Madden–Julian oscillation. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 89, 1917–1920.
- — , and H. Annamalai, 2008: Coupled model simulations of boreal summer intraseasonal (30–50 day) variability. Part I: Systematic errors and caution on use of metrics. *Climate Dyn.*, 31, 345–372.
- Tsou, C.-H., P.-C. Hsu, W.-S. Kau, and H.-H. Hsu, 2005: Northward and Northwestward Propagation of 30-60 day Oscillation in the Tropical and Extratropical Western North Pacific. *J. Meteor. Soc. Japan*, 83, 711-726.
- Waliser, D.E., K. Sperber, H. Hendon, D. Kim, E. Maloney, M. Wheeler, K. Weickmann, C. Zhang, L. Donner, J. Gottschalck, I.-S. Kang, D. Legler, M. Moncrieff, S. Schubert, W. Stern, F. Vitart, B. Wang, W. Wang, S. Woolnough, 2009 : MJO Simulation Diagnostics. *J. Climate*, 22, 3006-3030.
- Wang, B., 1988: Dynamics of tropical low-frequency waves: An analysis of the moist Kelvin wave. *J. Atmos. Sci.*, 45, 2051–2065.
- Weickmann, K. M., 1983: Intraseasonal circulation and outgoing longwave radiation

modes during Northern Hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.*, 111, 1838–1858.

Wheeler, M. C., and H. H. Hendon, 2004: An all-season real-time multivariate MJO index: Development of an index for monitoring and prediction. *Mon. Wea. Rev.*, 132, 1917–1932.

Wu, C.-H., and H.-H. Hsu, 2009: Potential Influence of Topography on the MJO in the Maritime Continent. *J. Climate*, 22, 5433-5448.

Yasunari, T., 1979: Cloudiness fluctuations associated with the Northern Hemisphere monsoon. *J. Meteor. Soc. Japan.*, 58, 225-229.

— —, 1980 : A quasi-stationary appearance of the 30-40 day period in the cloudiness fluctuations during the summer monsoon over India. *J. Meteor. Soc. Japan.*, 59, 336-354.