

利用高解析度觀測資料產生極端天氣在氣候變遷背景下之投影

駱世豪¹

陳正達²

童裕翔³

國立臺灣師範大學地球科學系

摘要

極端天氣或氣候頻率和強度的改變對自然環境和人類社會有顯著的影響。聯合國跨政府氣候變遷小組 (Intergovernmental Panel on Climate Change)第四次報告中提出，對未來氣候變遷的情境推估結果，極端降雨事件的發生頻率在大多數的地區都有增加的趨勢。這些未來的預測主要是建立在氣候模式模擬極端降雨分布的分析結果，但上述推估最受爭論的地方，在於低解析度的模式模擬，往往無法正確呈現需要高時空解析度的極端天氣現象，而這對模式模擬未來極端天氣變化的可靠性就有所質疑。而解決這問題的途徑之一，是運用超高解析度的區域或全球氣候模式，這需要花去相當多的運算成本與資料儲存資源，只有極少數的氣候研究中心才能做到，但是在這種情形下，反而失去了多個氣候模式所能呈現的氣候變遷情境推估不確定性範圍。

近年來，有些運用測站或衛星觀測所整理的網格化降雨分析資料，已經能提供較高解析度和較長的涵蓋時間範圍，這些資料的時間長度足夠提供較多的極端天氣抽樣。我們可以通過統計方法瞭解觀測資料在不同尺度上的連結，並應用於極端天氣或氣候指標的降尺度方法上。利用此方法在現階段推估未來氣候變遷的低解析度氣候模式上，便可以得到極端天氣事件長期變遷的高解析度推估，並同時兼顧多個氣候模式所能呈現的不確定性範圍。

關鍵字：極端氣候事件、降尺度

一、前言

在近五十年來全球雨量事件發生的平均頻率和強度，是維持在一個減弱或是不變得狀態，但 IPCC 第四次報告中提出極端事件發生的強度和頻率在大多數的地區將呈現增加的狀態，而這些極端事件例如乾旱、豪雨、熱浪等，都直接衝擊著人類跟自然的生態環境，故現今在預測極端降雨事件發生的強度和頻率是一個越來越重要的課題。

目前 IPCC 或是能有更好模擬的海氣交互作用模式 (Atmosphere-ocean general circulation models ; AOGCMs) 中，全球氣候資料多為面積和較低解析度之輸出。面積或低解析度之輸出會限制極端降雨之強度和頻率，導致極端降雨事件無法完整的呈現，在 IPCC 第三次報告中也仔細的評估並提出在較低解析度的模式輸出會使極端降雨事件受到限制。討論極端降雨事件是需要高空間、時間解析度的資料，而現今的大部份的全球模式是無法做到。

本研究目標是將在低解析度模式下討論的極端事件藉由觀測背景中得出空間影響因子放在模式中，使模式能轉換成高解析度下的強度和頻率。首先，將使用 TRMM 資料當作觀測背景計算出空間影響因子，再將此空間影響因子放回 IPCC 模式中還原其資料在高解析度下應呈現的強度和變異度，最後討論在高解析度下 A1B 和 20c3m 的情境模式下之差異和其他不同的氣候指標與空間之關係。

二、研究方法及資料處理

2.1 資料簡介及處理

2.1-1 TRMM 資料簡介及處理

衛星反演資料通常較測站或是雷達廣泛且密集的對全球尺度之降雨做觀測，因此在討論需要高空間、時間解析度的極端事件上有很好的發展潛力。在近幾年，衛星資料的反演和搭載觀測儀器的技術發展足以提供在此議題討論上的發展空間。本研究中使用 Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) 衛星資料，此衛星是由美國和日本共同合作的衛星計劃，從 1997 年 11 月開始工作後主要任務是在觀測熱帶和副

熱帶地區之降雨和反演輻射通量的計算，其搭載降水雷達儀器(Precipitation Radar ; PR) 可不受背景場影響估計出在陸地或海上之降雨。而在 TRMM 資料中有多種不同的反演，本研究使用 3B42 為每三小時降雨資料其水平網格解析度為 0.25x0.25 度，觀測範圍在南北緯 50 度間。此筆資料有幾點缺點為觀測資料之運用只能在南北 50 度內，無法配合 IPCC AR4 模式的全球解析度資料做分析(故將 IPCC AR4 模式都將其切為南北緯 50 度)，另外，衛星運做初期 2000 年以前會有較多網格點資料會沒有觀測值。但 TRMM 資料在 2000 年後資料品質良好且通常極端降雨事件討論範圍通常在熱帶或中低緯度間，再者 TRMM 衛星資料為現今全球水平解析度和資料完整度較好的觀測資料。儘管以上之問題很有可能影響到極端降雨事件的呈現，但在合理的推論下是沒有很明顯的影響，故先假設不會影響到結果。首先，先將 TRMM 資料空間解析度降低內插由 0.25 度到 5 度間，以了解其空間影響因子隨尺度變大的影響，並也將資料內插到所有 IPCC AR4 模式網格解析度上(T63~T106)，則可得到在觀測 TRMM 資料在此解析度下的空間影響因子，之後再將此影響因子乘回 IPCC AR4 模式中，則可得到模式在高解析度下(0.25x0.25)極端降雨事件所應呈現之形勢。

2.1-2 IPCC Model Data

討論極端降雨事件需要使用高時間、空間解析度的模式，故選用 IPCC AR4 模式中網格解析度為 T42 以上之模式，因 T42 以下之解析度太低通常只能捕捉到系統性降雨，而本研究想要探討之極端事件通常是由對流性降雨所造成的極端事件。另外，模式在時間解析度也須有模擬日降雨。而本研究使用 IPCC AR4 模式模擬的兩個時間點，分別為模擬 20 世紀初(20c3m 1961~2000)和 20 世紀末(A1B 2070~2100)分別各為 30 年。但並非所有模式都有模擬相同時間的區間，但本研究為能將所有模式之間做平均以探討其趨勢變化，而將其時間範圍切成所有模式都有模擬的區間，故 20c3m 之時間切為 1981~2000、sresal1b 之時間切為 2081~2100。因能讓不同解析度模式間能在同一個水平解析度基準下比較期趨勢，故先將所有 IPCC AR4 模式內插回 T42 網格解析度。表一為所選用之 IPCC AR4 的模式水平解析度、特性和其出處，這些模式之水平解析度在 T42~T106 間。

2.2 極端氣候指標

2.2-1 年最大降雨(One-year return level)

極端值發生之頻率稱為重現期(return period or return level)，而這重現期通常由幾種極端直理論法推估，最常見的為皮爾森第三類(Pearson type III)、Gumbel

distribution 和一般化極值分配(Generalized Extreme Value distribution ; GVE)，這些極值理論(Extreme Value Theory ; EVT)已被廣泛的研究在推估未來極端值得重現。而本研究使用 GEV 方法來推估重現期，首先使用線性動差方法(L-Moment)計算每一年(1998~2006年)的資料，推估母體的機率分部型態得以提供給 GEV 位置參數(location parameter ; ξ) 和尺度參數(scale parameter ; α)。進而得到一年的極端事件發生頻率重現期。

$$X_T = \begin{cases} \xi - \frac{\alpha}{\kappa} \left[1 - \left\{ -\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right\}^{-\kappa} \right], & \text{if } \kappa \neq 0; \\ \xi - \alpha \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right], & \text{if } \kappa = 0. \end{cases}$$

2.2-2 平均日降雨強度(Simple daily intense index)

平均日降雨強度也是另一個跟極端降雨事件和空間因子有著強烈關係的指標。平均日降雨的定義為總降雨強度除以降雨天數，而降雨日(W)的定義為大於 1mm 就定義為在降雨日(j)。

$$SDII = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W}$$

三、研究結果討論

本研究討論 IPCC AR4 模式討論極端降雨事件時，首先要將其都轉換在同一水平解析度上。很多研究在討論當點轉換成面積或面積轉換回點時的雨量，所會產生的問題。首先，可以先將觀測資料得到的極端降雨事件從高解析度轉換成低解析度，以了解其極端值在空間轉換下的變化情形。

3-1 空間影響因子

我們可由 TRMM 水平網格解析度為 0.25x0.25 度的資料中算出年最大降雨值，而圖 2a 為 1998~2006 算出之年最大降雨值的氣候平均值。圖 2b-e 由圖 1a 內差網格成 0.5x0.5、1x1、2x2、4x4 後得到在不同水平網格解析度上年最大降雨值的變化，此方法為先由 0.25x0.25 度解析度下算出 GEV 參數和年最大降雨，主要目的在比較 1a 由高解析度內插成低解析度過程時經由內差會損失的特性，但由此測試可知當由原解析度轉換成低解析度除非中間損失太多網格點時，內差會損失一些雨量強度外，在大部分的情況下是可以相信內差可以保守其原有特性。而圖 1g-j 法為先由原本 TRMM 資料的 0.25x0.25 度的解析度內插成 0.5x0.5、1x1、2x2、4x4，再由這些已經轉換好解析度的資料中計算出 GEV 參數和年最大降雨值，此方法則可了解到在不同網格水平解析度下得到相對應的年最大降雨值。在空間的平均效應下，可以看到當水

平解析度轉換時年最大降雨值會隨著解析度的降低而減少，由 1g-j 分別為解析度 0.5x0.5、1x1、2x2、4x4 相對應的年最大降雨強度全球平均值為 20.2、17.6、14.5、9.2mm/day。

在圖2為年最大降雨全球資料分佈使用箱型統計方法，水平網格解析度為0.25度到4度間格0.25度，下限為百分之二十五、中間為百分之五十、上限為百分之七十五筆資料，可以看到中位數會隨網格點增加而下降，意即可以想像在減低水平解析度時極端降雨的強度勢必會下降，另外一點則是在上下限的縮減代表著資料的變異度也會隨著解低度降低而減少。在水平網格解析度下降的過程中，不只有降雨強度會減弱而變異數也會隨之減弱，意味著資料的特性會漸漸的流失並且同化，但減弱的速度並非像降雨強度一樣快速的流失。

在1g-k中可知道極端降雨的訊號是會隨著空間的平均效應大而變弱，則我們可定義一個隨空間改變而產生的因子為”空間影響因子”(areal reduction factor; ARFs)。因本研究使用IPCC AR4模式都先轉換成T42解析度，故只計算水平網格解析度0.25度到T42之間的空間影響因子間比例。首先，將TRMM 資料減去以轉換成T42解析度(先做內差轉換成T42解析度在計算P1和GVE)的極端降雨值，則可表示成下面方程式。

$$\Delta R = \frac{R_{0.25} - R_{T42}}{R_{42}}$$

當R大於零時，代表此網格點在轉換成0.25x0.25解析度時需要增強其降雨強度；當R小於零時，則代表此網格點在轉換成0.25x0.25解析度時需要減弱其降雨強度。此影響因子會隨水平解析度變化而有改變，而每格網格點上所計算出的空間影響因子也不盡相同，在全球平均下則可看出大致上的趨勢為空間影響因子會隨水平解析度減小而增強，但在長期為積雲帶或沙漠地區並由強烈對流性降雨所造的極端降雨事件之地區，則可看到空間影響因子在此地區即使水平解析度降低很多卻也沒有很明顯的增強，另外，在由對流性降雨區和積雲帶或沙漠地區的過度帶空間影響因子也有可能呈現負值，因在高、低解析度轉換時這些過度帶大值區在空間平均效應下往往會把極值分散給小值區，故在反應回原解析度時需要減弱。

在氣候指標中除了年最大降雨外平均日降雨強度、雨日等都與水平空間解析度有關，而這些與空間解析度有關的氣候指標也能利用類似的方法，計算出屬於期指標的空間影響因子，計算出的空間影響因子表現的情況也不盡相同，須了解其指標跟水平空間解析度間的關係和指標原有的氣候特性，但可以預想到的是這些氣候指標算出的空間影響因子整體趨勢會隨著空間解析度的降低而增強。

3-2轉解析度

根據Ben Tustison(2001)提出將預報降雨模式所預報出來的資料和觀測相比中間需要處理幾個誤差的過程，分別為觀測誤差、模式誤差、空間誤差總括為這三項，而本研究現階段並沒有處理觀測誤差和模式誤差的部分。在很多研究中提到在各個模式的誤差中，若使用模式系集預報方式可將個別模式不同的誤差互相影響，而更接近於實際觀測情形，故在這裡討論都將IPCC AR4所有模式之平均而不特別討論個別模式之表現。

首先，將上述之年最大降雨之空間影響因子計算出，而由觀測背景得下此空間影響因子，就可知道水平解析度T42和0.25x0.25度間每個網格點上的變化。當IPCC AR4 模式直接內差回0.25x0.25度時，其降雨強度並不能代表當下解析度的強度，故我們將從觀測得到的空間影響因子放在模式網格點上，則就可以得到在水平解析度0.25x0.25下模式應呈現的降雨強度。使用此方法轉換解析度後在大部份的網格點上都有增強的情況，而空間整體的趨勢也有所維持。在原本T42水平網格解析度的全球年最大降雨平均為30mm/day，但透過此方法卻可以提升到50mm/day且網格解析度為原本的10倍之多，在提供討論極端降雨事件是有很大的提升和幫助。另外，我們也了解到在內插回0.25x0.25的強度上，年最大降雨在過去和未來的趨勢是否存在或有所增減。圖3a為原解析度下A1B減去20c3m之年最大降雨，而圖3b為轉換成0.25x0.25解析度下之A1B減去20c3m之年最大降雨，從兩張圖相比較下可看出在大多地區多是為地區年最大降雨強度在未來的趨勢變得更为強烈。也可確定原本在IPCC AR4 之模式下20c3m和A1B情境模擬下，可知其趨勢為年最大降雨是會增加，而此方法之應用下雖會改變年最大降雨之強度但資料的變異程度，但模式整體的偏差趨勢是沒有改變。

四、結論

點和面積轉換間的問題在很多動力氣候模式裡對於討論極端降雨指標。現今大多數的方法都是以面積的平均取代點的值，但這卻不能真正的代表實際網格點上的強度。本研究使用TRMM 資料雖然跟測站資料還是有段差距，但是比起全球模式輸出資料更接近測站資料解析度，所以是用TRMM衛星資料雖不能完全符合點和面積轉換的要求，但卻也能使面積算出來的資料更接近測站資料所因有的強度和變異度，而在此基礎下本研究將使用TRMM資料做為觀測背景資料。本研究想突顯現在討論極端降雨指標時，在低解析度模式輸出資料下是無法完整呈現。因為在解析度轉換時我們將會受到空間平均的影響，使我們的資料無法保持原有的特性。單純的將高解析度轉換成低解析度時，我們會喪失其在原解析度下的強度、變異度等；低解析度轉換成高解析度時，無法還原成在高解

析度下的強度和變異度，故當發現在空間的轉換下會出現一”空間影響因子”。本研究部討論觀測誤差、模式偏差所帶來的影響，故若在轉換解析度時所影響的因素只剩下空間影響因子時，若能了解在解析度換下空間影響因子是如何變化則我們能將其再在解析度時還原成高解析度，使用更少的資源來討論需要高解析度才能完整討論的極端降雨指標的問題。

使用TRMM 1998~2006年資料來計算極端降雨指標的空間影響因子，則可知道在觀測下當空間轉換時地區性的網格點是如何轉換，空間影響在高解析度轉換成低解析度時大多為增強但在少數地區卻是減弱。另外，在不同的極端降雨指標中與空間影響因子間也有著不盡相同的關係存在，就要看此指標和空間影響因子關聯強度的強弱。當我們得到此空間影響因子後，將其放在IPCC AR4 模式輸出資料上，則我們可得到在0.25x0.25下資料原因呈現的強度和變異度，最後再將我們使用的IPCC AR4 15個模式做模式平均，則可以得到一個平均狀態下將解析度提高下的型態。若將模擬未來的A1B情境和模擬過去20c3m情境比較使用此方法前後的差異，此方法會將其資料在0.25x0.25下強度提高。故在大多數地區未來的年最大降雨強度事會增加的，但增加的情況卻不如預期強烈。

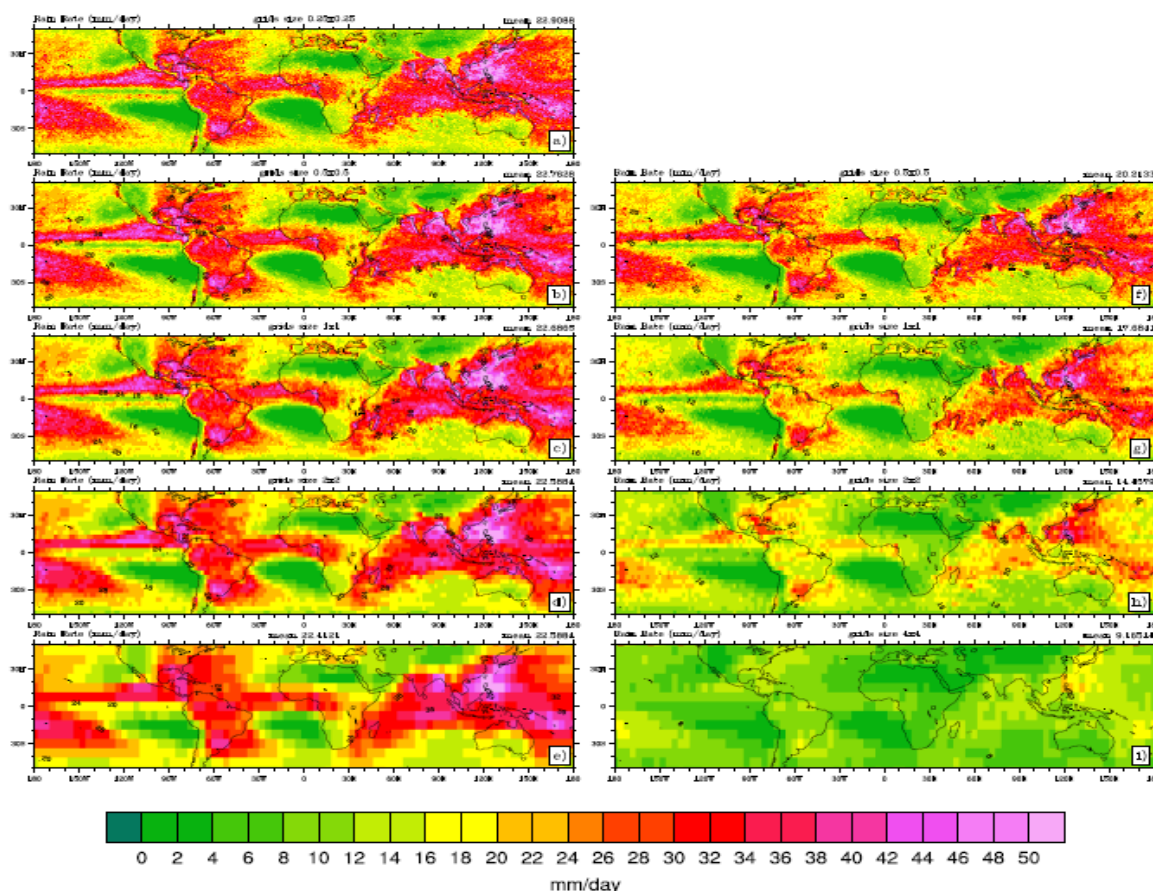
而其它有可能引起爭論的地方在於內差方法使用，但如圖4用了一般較常使用的內差方法，除非內差資料與其原解析度有太多的網個差異時無法維持

其穩定性而造成值將有一段的差距以外，在大部分的情況下期使用的內差方法都能維持其數值的穩定性，但在使用距離類的內差和保守類的內差還是有些差異性。故在選用內差方法時須要考慮其使用方法和目的，在選用不同內差方法時須非常注意和小心。

而在未來若有更高解析度的觀測資料做計算空間影響因子之背景場，或是使用同一模式同一情境下輸出不同的水平網格解析度提供，能更進一步的了解空間影響因子在統計過程中或是動力過程中跟空間轉換的情形。

五、參考文獻

- Chen, C. T., and T. Knutson, 2008: On the verification and comparison of extreme rainfall indices from climate models. *J. Climate*, 21, 1605 - 1621.
- Tustison B, Foufoula-Georgiou E, Harris D. 2003. Scale-recursive estimation for multisensor Quantitative Precipitation Forecast verification: a preliminary assessment. *Journal of Geophysical Research* 108: 11775 - 11784.



圖一 a-e)為先取出極值後平均主要測試在內差方法隨著解析度下所流失的程度，f-i)為先空間平均後再取出極值測試極值隨空間解析度下所流失的程度。

Model	Resolution	Modeling center
BCCR-BCM2.0	128x64	Bjerknes Centre for Climate Research
CCCma CGCM3.1	128x64	Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis
CNRM-CM3	128x64	Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis
CDIRO Mk3.0	192x96	CSIRO Atmospheric Research, Australia
CSIRO-Mk3.5	128x64	
GFDL CM2.0	144x90	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
GFDL CM2.1	144x90	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
IAP FGOALS-g1.0	128x60	LASG/Institute of Atmospheric Physics, China
INGV SXG	320x160	Instituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
MIROC3.2(hires)	320x160	Center for Climate System Research (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Frontier Research Center for Global Change (JAMSTEC), Japan
MIROC3.2(medres)	128x64	
MPI ECHAM5/MPI-OM	192x96	Max-Planck-Institut für Meteorologie, Germany
MRI CGCM2.3.2	128x64	Meteorological Research Institute, Japan
NCAR CCSM3	256x128	National Center for Atmospheric Research
NCAR PCM1	128x64	National Center for Atmospheric Research

http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/model_documentation/ipcc_model_documentation.php.

表 1 為 IPCC AR4 各個模式特性和網格解析度。

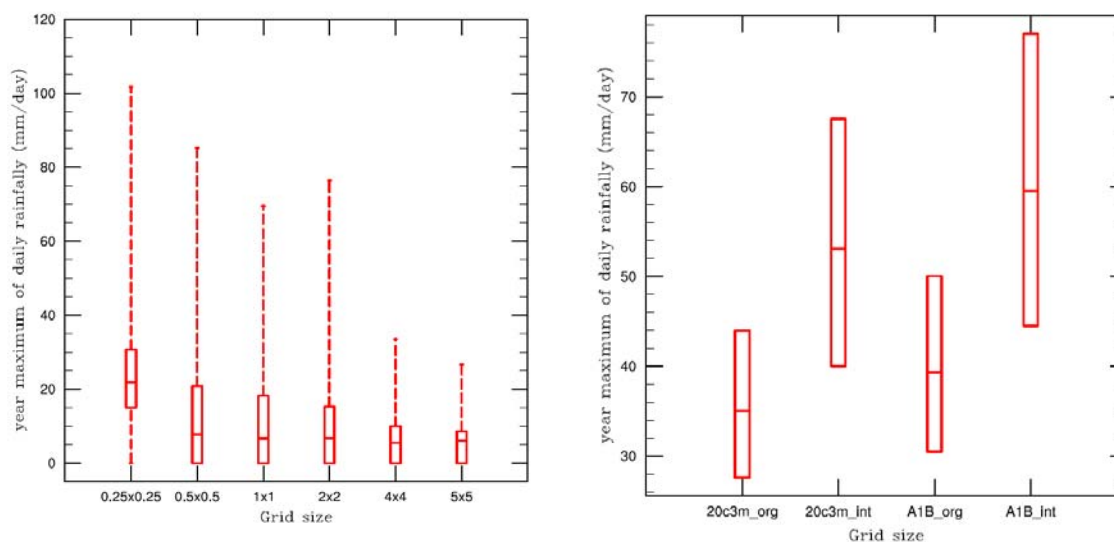


圖2 a)虛線上、下兩端為資料的最大、最小值，空格上下兩端分別為第25位、第75位，而中間為第50位，在不同水平網格解析度下TRMM資料所呈現的分佈。

b)分別為使用本研究方法前後的20c3m和A1B，在資料強度和變異度上的改變。

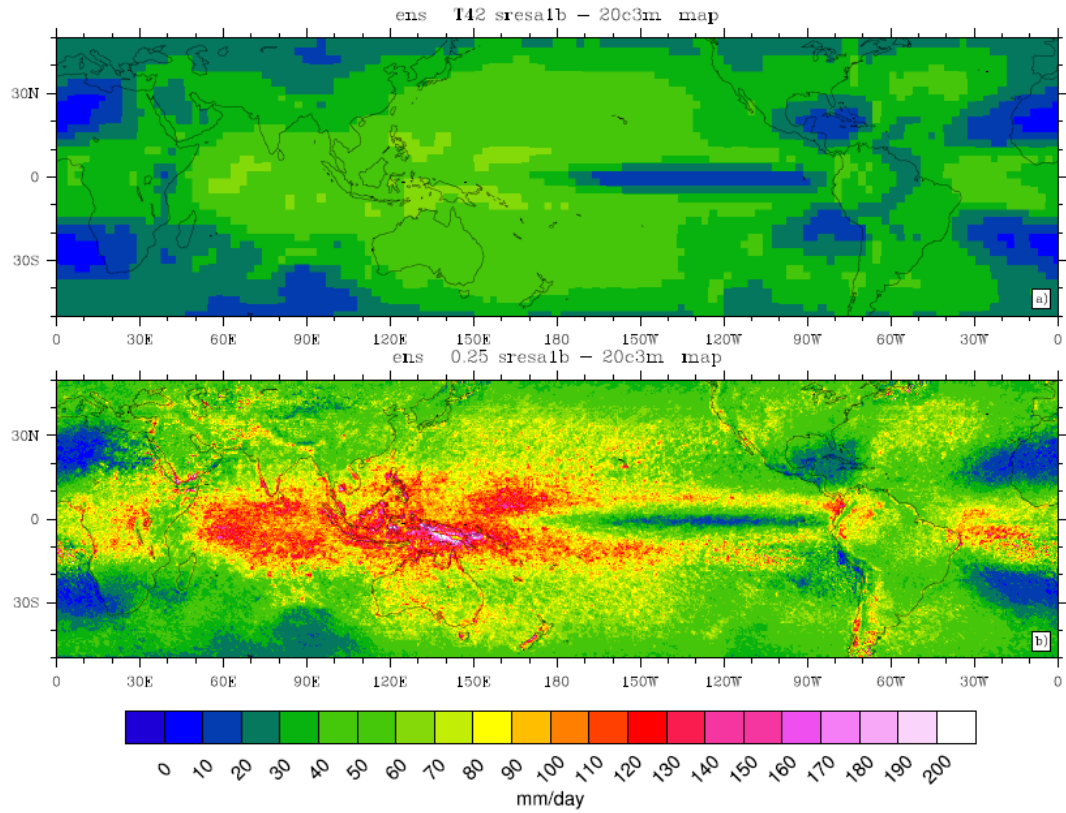


圖3 a)為各模式在原解析度(T42)下所有IPCC AR4 模式的系集平均結果。
 b)為使用本研究方法後，水平網格解析度提升為(0.25X0.25)下模式系集平均的結果。

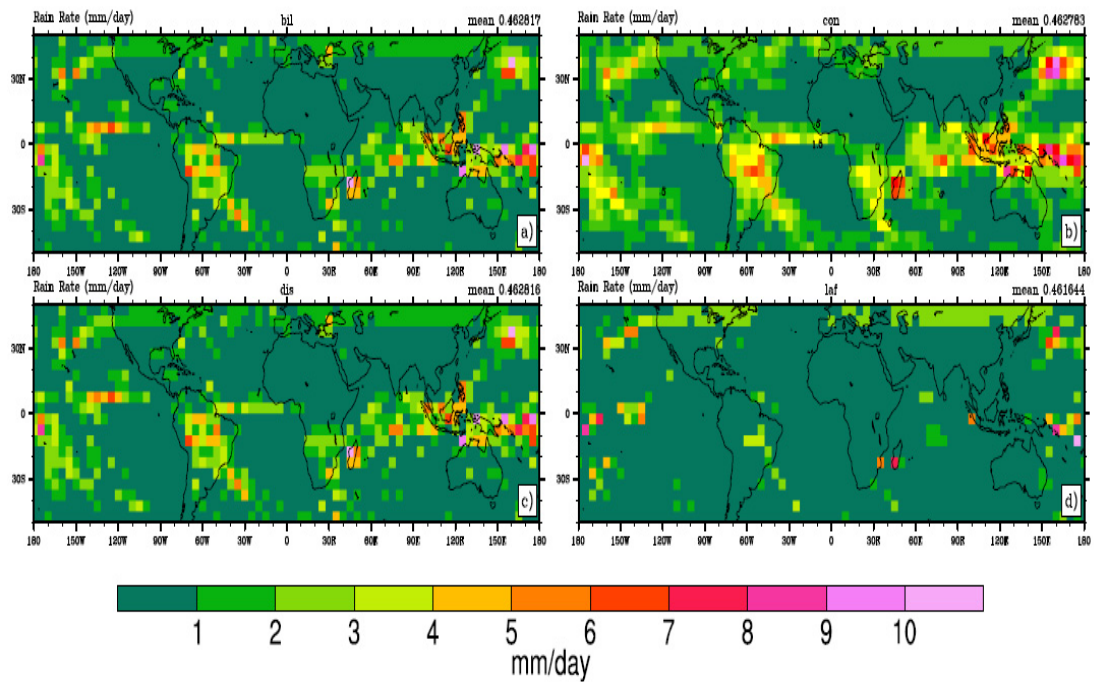


圖4 a)為使用Bilinear 內差方式，b)為使用Conservative 內差方式，c)為使用Distance-weighted average 內差方式，d)為使用Largest area fraction 內差方式。