

# 台灣二〇〇二年國際科學展覽會

科 別：地球與太空科學科

作品名稱：臺灣和東亞地區的氣候變遷

得獎獎項：第一名  
新加坡第廿五屆青年科學節正選代表

學 校：高雄市立五福國民中學

作 者：李聖玫

## 作者簡介



也許是喜歡探究事實的個性吧，我有著打破沙鍋問到底的精神。在課本上讀到了溫室效應的介紹，自然不肯放過，課後和同學展開了一場精采的討論，一個題目的雛形就這樣誕生了。

研究的過程中，印象最深刻的是抽絲剝繭解決問題的樂趣。感謝指導我的老師和同學牽引我走出當初的渾沌，也感謝教授們給我這次出賽的機會。讓我更有信心朝其他科學研究的路邁進。

## 摘要

由人類活動造成的溫室效應，可能導致地球均溫升高，聖嬰現象加劇等現象與災害。本文利用各氣候中心發展出的模式，模擬並推估台灣和東亞地區，未來氣候變遷的情況。我們發現當大氣中二氧化碳濃度增加為現在的 1.9 倍時，台灣地區的年平均溫度將升高 0.85-2.50 °C，而東亞地區將會升高 1.46-4.07°C；在同條件下各模式的平均推估變遷量也顯示，台灣地區每天將增加 0.10 公厘的降水，而東亞地區每天則將增加 0.08 公厘。我們希望這個研究結果可以做為其他相關研究的基礎，使大家能提早因應未來氣候變遷所可能引發的種種變化。

## Abstract

Greenhouse effect, incurred mainly by human activities, may result in lots of phenomenon and damages such as the increasing of the world's average temperature and the aggravation of the "El Nino" effect. In this research, we simulate future meteorological values by employing several simulation modes developed by different climate centers, and predict future climate changes in Taiwan and East Asia area. We found that when the concentration of carbon dioxide exceeds 1.9 times than current value, the estimated range of the increased year-average temperature are 0.85-2.5 °C and 1.46-4.07°C, for Taiwan and East Asia, respectively. Under the same condition, the ensemble mean reveals that the precipitation raises will be 0.1 and 0.08 mm per day, for Taiwan and East Asia, respectively. We hope our work can be the foundation of other related researches, and all these researches together can help for coping with possible damages caused by future climate changes.

# 台灣和東亞地區的氣候變遷

## 壹、研究動機：

近年來報章雜誌不斷報導，由於人類活動造成溫室效應的增強，導致地球平均溫度升高，使南北極冰帽融化，海平面上升，颱風強度增強，聖嬰現象加劇，似乎各地的天氣災害都和它脫不了關係。

到底什麼是溫室效應，而溫室效應又是如何使地球日益暖化？既然地球暖化會造成氣候的異常，若我們能事先評估未來的氣候狀況，及早謀求因應之道，應該就能減少氣候變遷對生態系的衝擊，於是我就針對所處的台灣和東亞地區，分析未來近地面溫度和降水的變遷情況，提供大家因應未來環境變遷的參考。

## 貳、研究目的：

- 一、探討地球氣候變遷的原因
- 二、評估各氣候中心模式模擬台灣和東亞地區現今氣候的能力
- 三、利用各模式模擬資料推估未來台灣和東亞地區的氣候變遷

## 參、理論探討：

### 一、何謂溫室效應？

在大氣中有些含量十分微小，卻會對氣候造成相當程度影響的氣體，這些氣體擅長吸收長波輻射但不喜歡吸收短波輻射，它們會允許約 50% 太陽輻射穿過地球大氣，這些能量會被地表吸收；地表在吸收這些能量後，會放出長波輻射，這些由地表或大氣放出的長波輻射會再被這些氣體攔截，並將之放射出來，使得地表及對流層溫度升高。在夜晚，這些氣體繼續放射長波輻射，地面就不會因為缺乏太陽的加熱而變得太冷，這影響就好像是養花溫室的暖化作用，因此稱這些氣體為「溫室氣體」，它們的影響則稱為「溫室效應」。

溫室氣體包括了最常聽到的二氧化碳（CO<sub>2</sub>）及氧化亞氮（N<sub>2</sub>O）、甲烷（CH<sub>4</sub>）、氟氯碳化物（CFCs）和水氣（H<sub>2</sub>O）等。溫室氣體的存在不但暖化了地表，也使得地球的日夜溫差不致太大，提供了一個適合生物生存的良好環境。

### 二、地球日益暖化的原因

十八世紀工業革命後，工業的進步帶動了經濟繁榮，改善了人類生活，也加速了人口成長。為了繼續追求經濟發展，不得不過度開發地球的天然資源，於是大規模

的砍伐森林，以取得耕地，並大量開採煤、石油和天然氣等化石燃料，以取得能源。這些人類的活動使得大氣中的二氧化碳濃度增加，由工業革命前的 280 ppmv（百萬單位體積分之一）迅速上昇到現在的 353 ppmv，增加率並有逐年增加的趨勢（見圖 1）。

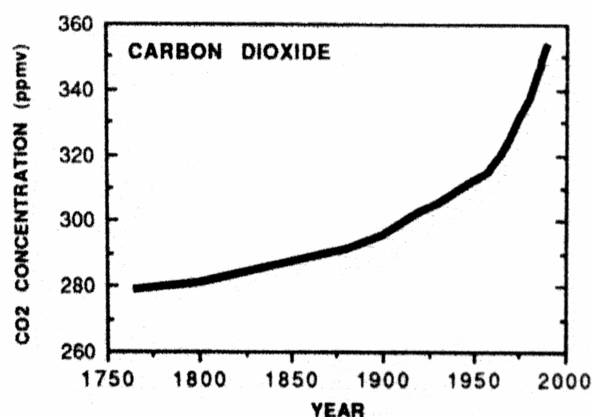


圖 1. 18 世紀至今，大氣中二氧化碳濃度的變化。（來源：IPCC, 1990）

人類活動釋放出了大量的溫室氣體，使溫室效應加強，全球的平均溫度急遽上升，而溫室氣體一旦進入大氣，幾乎無法回收，只有靠自然的過程讓它們逐漸消失，加上它們的生命期長，所以有機會被傳送到世界各地，所以其影響是長久的並且是全球性的，即使人類立刻停止排放所有的人造溫室氣體，從工業革命之後累積下來的溫室氣體仍將繼續影響地球的氣候。

全球平均溫度的上升，會使南北極氣溫增高，導致冰帽融化，海平面上升，許多沿海城市將被淹沒，而氣溫的上升也可能造成全球氣候變遷，導致各地氣候異常，甚至引發動物大遷徙，使得腦炎、狂犬病、登革熱、黃熱病大規模蔓延，生態系統將失去平衡。

此外，人類的經濟活動不但產生溫室氣體，也製造了大量的懸浮微粒，它是一種飄浮在空中的微小顆粒（直徑  $0.001 \sim 10 \mu\text{m}$ ），自然產生的懸浮微粒有火山灰、塵灰和海鹽懸浮微粒，人爲產生的則有工業灰塵、煤煙、硫酸鹽及硝酸鹽懸浮微粒等。由於大顆粒的懸浮微粒受重力很快就會掉落地表，留在大氣中的時間很短，對氣候影響不大，而顆粒太小的懸浮微粒數量雖多，但因表面積小，對氣候的影響也不大，因此，影響氣候最大的懸浮微粒直徑約在  $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$  之間。

懸浮微粒對大氣溫度的直接影響是，懸浮微粒會吸收太陽輻射，使得附近的氣溫升高，但地表所能吸收到的太陽輻射卻也因此減少，使得地表溫度降低。另一方面，許多懸浮微粒具有雲凝結核的特性，可以使水汽在未達到飽和時，就開始凝結

成小水滴，增加小雲滴的數量，使得地球的反照率增加，地表吸收的太陽輻射就會減少，間接的使地表的溫度降低。所以總和來說，懸浮微粒的增加會使地表的溫度降低，和溫室氣體的效應相反，而且懸浮微粒的生命期大約只有一週，能被傳送的距離不長，只能影響污染源附近的區域，和溫室氣體全球性的影響也有顯著的不同。

### 三、模式模擬資料介紹

本研究採用的九個模式模擬資料，是由政府間氣候變遷特別委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)的網站中所取得，IPCC 統整了各國氣候中心所發展出的大氣海洋耦合模式，在各種不同大氣驅動力的作用之下，模擬出長時間大氣狀況的資料。這些模式的名稱、發展該模式的氣候中心和空間解析度分別列於附表 1，而各模式實驗簡稱列於表 1。

表 1. 各模式實驗的簡稱

模式名稱	控制實驗	溫室氣體與硫酸根氣溶膠 變化實驗
CCCma CGCM1	ccci	ccgs
CCSR/NIES CGCM	nici	nigs
CSIRO Coupled GCM	csci	csgs
GFDL Model	gfcf	gfgs
HadCM2	hcci	hcgs
HadCM3	hc3ci	hc3aa
ECHAM4/OPYC3	mpci	mpgs
NCAR CGCM	ncci	ncgs
ECHAM3/LSG	dkci	dkgs

各模式的實驗介紹如下：

#### 1. 控制實驗 (Control Run)：

假設大氣中二氧化碳的濃度保持一定，不受人類活動的影響，來進行數值模擬。

#### 2. 溫室氣體與氣溶膠變化實驗 (Greenhouse Gas plus Sulphate Run)：

假設大氣驅動力隨二氧化碳及其他溫室氣體的增加而增加，來重現因溫室氣體和硫酸根氣溶膠的變化所導致的大氣變化情形。各模式的大氣成分變化假設如附表 2。

附表 2 中的氣體假設 IS92a，可參考下圖 2。IPCC 科學家依據人口、經濟成長率、污染管制、能源價格等因素，假設六種可能的境況，以衝擊程度來分，由最輕微至最嚴重依序為 IS92c、IS92d、IS92b、IS92a、IS92f 和 IS92e，其中只有 IS92c 的二氧化碳排放量有可能下降，其他境況的排放量仍持續增加。

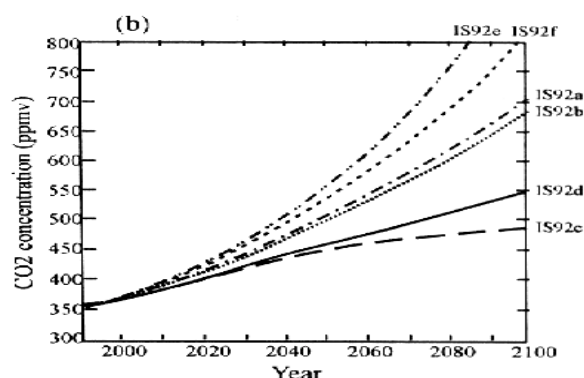


圖 2. 依據 IS92 排放境況推估之二氧化碳排放量。(來源：IPCC, 1995)

#### 肆、研究過程和方法：

##### 一、資料蒐集

##### 1. 觀測資料：

- (1) 全球降雨氣候計畫(Global Precipitation Climatology Project, GPCP) 的降水資料，空間解析度為  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ，資料長度為 1979 -1998 年，為月平均資料。
- (2) 美國國家環境預報中心 (National Centers for Environmental Prediction, NCEP)重分析資料中的全球近地面空氣溫度和降水網格資料，資料的空間解析度約為  $1.875^{\circ} \times 1.9^{\circ}$ ，資料長度為 1960 -1990 年，為月平均資料。

##### 2. 模式模擬資料：

各氣候中心模式模擬資料的取得是下載政府間氣候變遷特別委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)所提供的九個各國氣候中心從過去到未來的氣候模擬與預測資料，為月平均資料。

##### 二、評估各模式模擬台灣和東亞地區現今氣候的能力

探討各模式模擬的台灣和東亞地區現今氣候情況，作為後續模式模擬未來氣候變遷準確度的參考。雖然氣候系統對未來氣候變遷模擬的正確與否，關鍵在於是否可以掌握影響氣候變化的物理機制，而這些機制未必與維持目前氣候狀態的物理機制完全相同，不過若模式能確實掌握現今氣候變化的機制，則對於未來氣候變遷的

掌握，應該也會有較好的表現。

### 1. 定義現今氣候

世界氣象組織 (World Meteorology Organization, WMO) 對氣候的定義，為 30 年的平均狀態，故選取 1961-1990 年來代表現今的氣候狀況。

### 2. 界定東亞地區

依據 IPCC 1995 年報告中對東亞地區的定義，界定東亞地區為東經 70 度到 140 度，北緯 15 度到 60 度，如圖 3。

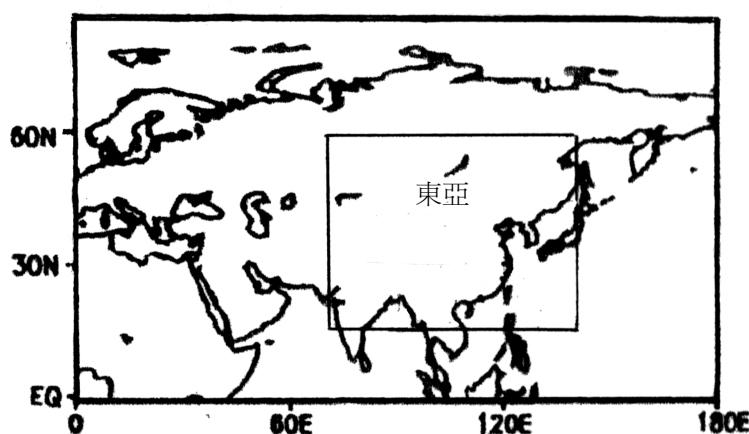


圖 3. 東亞地區的範圍。

### 3. 評估方法

將各模式溫室氣體與硫酸根氣溶膠變化實驗模擬的近地面溫度和降水的資料，分別來和觀測值做比較，比較其氣候值和空間分佈的異同。

#### (1) 氣候值的比較

求出觀測值和模式模擬值在台灣和東亞地區的 30 年區域平均值，並以觀測的氣候值為基準，利用 Excel 求出各模式模擬值和觀測值的差距，以評估模式模擬資料是否有系統性的誤差存在。

#### (2) 空間分佈的比較

利用 Grads 軟體繪出觀測和各模式模擬資料在台灣和東亞地區 30 年的平均空間分佈圖加以比較，並計算觀測和各模式模擬值的空間分佈相關係數。兩者的相關係數越大，代表該模式模擬值的水平梯度分佈狀況越接近觀測值，若該模式模擬的氣候值和觀測氣候值又很接近，表示該模式在模擬東亞地區現代氣候上具有不錯的能力。

上述比較，都包括了年平均、夏季 (6-8 月) 和冬季 (12-2 月) 平均



的比較。此外，因為各模式的空間解析度幾乎都不相同，故在台灣地區的比較上，我們將各模式的網格重整，使其空間解析度皆變為  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ，再選取和台灣地理位置最接近的網格點（ $121.25^{\circ}\text{E}$ ， $23.75^{\circ}\text{N}$ ）來代表台灣地區，以利進行比較。

### 三、各模式對未來氣候變遷的推估

#### 1. 計算控制實驗的平均值和標準差

分別計算各模式控制實驗在台灣和東亞地區的近地面溫度和降水的平均值和標準差。由於控制實驗中並未改變溫室氣體的濃度和大氣驅動力，故可將控制實驗模擬的數值變化情形，視為模式本身的自然變動情況。

#### 2. 定義未來氣候

選定各模式溫室氣體與硫酸根氣溶膠變化實驗中，二氧化碳濃度假設值增為現今濃度（1961-1990 年平均）的 1.9 倍之前後 30 年，來代表未來的氣候。

依據夏威夷的冒納羅亞（Mauna Loa）大氣測站所監測到空氣中的二氧化碳濃度，從 1961-1990 年二氧化碳的平均濃度約為 319ppmv，故 1.9 倍二氧化碳濃度約為 606ppmv。各模式的未來氣候時間，列於附表 3。

#### 3. 推估未來氣候變遷

以各模式溫室氣體與氣溶膠變化實驗模擬的未來氣候減去模擬的現今氣候，來代表推估的氣候變遷，分別從氣候值和空間分佈來探討未來台灣和東亞地區氣候變遷的情況，包括年平均和冬、夏季節平均的比較。

定義未來氣候變遷，選擇減去模式本身模擬的現今氣候，而不是減去實際的現今氣候，這樣做的好處是，若模式本身有系統性的誤差存在，則在相減的過程中，就會將系統性的誤差消去。

### 四、系集模擬平均

在大氣模式比對計畫（Atmospheric Model Intercomparison Project）的相關研究中，曾指出將多個模式的模擬結果加以組合平均後，常常可以將各模式的部分誤差相抵銷，因此往往可以得到比個別模式好的模擬結果，因此本文中，也將把所有模式加以組合平均（ensemble mean），探討這樣的模擬結果在現今氣候模擬上的特徵，是否較單一模式表現優異，以評估利用這種方法來推估未來氣候變遷的可行性。

模式系集模擬平均（ensemble mean）的空間解析度為  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。

## 伍、研究結果與討論

### 一、模式模擬台灣和東亞地區現今氣候的情形

#### 1. 氣候值

近地面氣溫和降水的模擬值和觀測氣候值（附表 4）的距平繪於附圖 1。溫度模擬方面，大部分模式對氣候值的模擬結果都不錯，誤差值多在 +2 到 -2 °C 之間。但 gfgs 在年均溫 and 冬均溫的模擬則有明顯低估的情形，特別是在台灣地區；ncgs 在東亞地區夏均溫的模擬上，有高估的情形，顯示這些模式有系統性的誤差存在。

降水量的模擬方面，因為降水量數值較小，所以改用誤差百分比探討。各模式模擬台灣和東亞地區的結果幾乎都不太理想，大概只有 dkgs 能同時在台灣和東亞地區，有較好的模擬結果，包括年平均和季節平均，而 hc3aa 則是唯一在模擬東亞地區時，誤差百分比在 30% 以內的實驗，可見得對數值本來就不大的降水量，要能讓模擬誤差減小，的確是件不容易的事。而台灣地區因為只有一點，在模擬上也就困難許多。

#### 2. 空間分佈

東亞地區近地面氣溫的空間分佈模擬情形和觀測結果繪於附圖 2（年均溫）、附圖 3（夏均溫）和附圖 4（冬均溫），模擬和觀測值的空間分佈相關係數則列於表 2。

東亞地區降水量的空間分佈模擬情形和觀測結果繪於附圖 5（年降水）、附圖 6（夏季降水）和附圖 7（冬季降水），模擬和觀測值的空間分佈相關係數亦列於表 2。台灣因為只有一點，故未列出相關係數。

溫度模擬和觀測值的空間相關係數大多在 0.9 以上，顯示各個模式對近地面溫度空間分佈的模擬，都有不錯的結果。少數模式因為空間解析度較大，較不能模擬出細節的部分，導致在夏均溫的模擬上，出現了較差的結果。以青康藏高原附近為例，青康藏高原到西伯利亞之間梯度變化很大，若模式解析度不夠就無法模擬細節部分，相關係數自然不高，如 gfgs 和 ncgs，同時這些模式在氣候值的模擬上，表現也較差。

降水量的模擬方面，結果就沒有那麼理想了，只有 hc3aa 的相關係數在 0.8 以上，其餘模式的模擬並不理想，而在氣候值模擬中表現較好的也是 hc3aa，似乎若模式能掌握住空間分佈的情況，則在氣候值的模擬也會較接近觀測值。

表 2.各溫室氣體與氣溶膠變化實驗模擬的溫度、降水量和觀測值（1961-1990 年平均值）之空間相關係數

	ccgs	nigs	csgs	gfgs	hcgs	hc3aa	mpgs	ncgs	dkgs	ensemble mean
年均溫	0.95	0.94	0.98	0.95	0.99	0.99	0.99	0.94	0.96	0.98
夏均溫	0.92	0.76	0.93	0.81	0.97	0.96	0.96	0.76	0.87	0.94
冬均溫	0.95	0.96	0.98	0.95	0.99	0.99	0.99	0.96	0.97	0.99
年降水	0.62	0.75	0.80	0.65	0.72	0.83	0.80	0.58	0.67	0.82
夏降水	0.57	0.76	0.68	0.55	0.72	0.82	0.75	0.53	0.73	0.78
冬降水	0.58	0.71	0.81	0.66	0.82	0.84	0.86	0.73	0.60	0.87

### 3. 系集模擬平均

溫度模擬方面，將各個模式模擬值取平均值，的確能有效減少誤差，使模擬平均值更為接近觀測值，而空間分佈相關係數也都在 0.94 以上。

降水量模擬方面，也能減少模擬氣候值的誤差，誤差百分比雖仍不小，但空間分佈相關係數則至少能達 0.78 以上。可見利用這種將多個模式加以組合的方式，應用在求氣候值上，的確有不錯的效果，有利於未充分瞭解個別模式誤差特性前實際的應用。

## 二、模式模擬推估的未來台灣和東亞地區溫度變遷

### 1. 氣候值

模式模擬推估的台灣和東亞地區的變遷氣候值繪於附圖 8。而變遷值相對於控制實驗的標準差的比例，列於表 3。

表 3.各模式的溫室氣體與硫酸根氣溶膠變化實驗在東亞地區模擬的溫度和降水變遷值相對於控制實驗標準差的比例

實驗	年均溫 /標準差	夏均溫 /標準差	冬均溫 /標準差	年降水 /標準差	夏降水 /標準差	冬降水 /標準差
ccgs	7.4	7.4	4.8	-2.0	-0.7	-1.1
nigs	10.2	8.8	6.7	3.7	2.6	0.9
csgs	11.6	11.8	5.9	1.0	2.4	-0.3
hcgs	5.6	5.0	2.4	-0.8	-0.1	-0.3
hc3aa	16.6	16.9	6.6	2.9	3.4	0.7

#### （1）溫度變遷

所有模式都推估未來的氣候會有增溫的現象。台灣地區年平均增溫幅度從 0.85—2.50℃ 不等，東亞地區為 1.46—4.07℃；夏均溫的變遷幅度，台灣為 0.80—2.02℃，東亞地區為 1.44—3.88℃；冬均溫的變遷範圍，台灣為 0.58—2.87℃，東亞地區為 1.47—5.06℃。

在常態分佈中，90% 的數值，都會集中在 2 個標準差以內，可將二個標準差視為模式本身的自然變動率，故當模式模擬的變遷值大於控制實驗的二個標準差時，變遷值反應出因大氣成分改變造成的變化，而非僅是模式本身的自然變動。所有模式的溫度變遷值都符合這個條件。

前面所討論到，模擬現今溫度表現較差的 gfgs 和 ncgs，因其模擬資料長度較短，未達二氧化碳濃度增為 1.9 倍的時間，故此處看不到它們的模擬情況。

## （2）降水量變遷

夏季降水量的變遷，多數模式推估降水量會增加，而年降水量和冬季降水量的變遷，各模式推估的變遷量正、負值大約各佔一半。前面討論到模擬較好的 hc3aa，推估未來降水量會有增多的情形，除了在台灣地區冬天稍微減少外；模式系集平均的結果和 hc3aa 很相近，但推估值稍小。

模式模擬的變遷值並未全部大於控制實驗的二個標準差，而 hc3aa 模擬的冬季變遷值也未大於二個標準差，可見降水的模擬除了掌握的較不理想外，它所模擬出的變遷值也可能只是模式本身的自然變動。

## 2. 空間分佈

近地面溫度的氣候變遷模擬情形繪於附圖 9（年均溫）、附圖 10（夏均溫）和附圖 11（冬均溫）；降水量的氣候變遷模擬情形，繪於附圖 12（年降水）、附圖 13（夏季降水）和附圖 14（冬季降水）。

### （1）溫度變遷

模式模擬的變遷值，大致有越往北，增暖效應越大的趨勢，這可能是因海冰的反饋效應所造成，而陸地上的增暖效應也較海上的增暖效應來的大。

### （2）降水量變遷

各模式模擬的變遷量差異性很大，而前面討論出模擬結果較好的 hc3aa 和模式系集平均，大致上推估海上地區的降水量有減少的情況，陸地上則是降水量增多的情形，但夏季降水變遷的模擬，則看不出海陸分佈的差異，反倒是在大陸華中、華北地區和部分西伯利亞地區，降水量有減少的情況。

## 總結：

1. 近地面溫度模擬方面，資料長度有到達二氧化碳濃度增為 1.9 倍的模式模擬現今氣溫的結果都不錯，顯示它們都能掌握現今溫度的特徵，而且它們所推估的溫度變遷值，都大於控制實驗模擬值的二倍標準差，故這些變遷值應有一定的可信度，綜合這些模式的模擬結果，我們可以給定一個未來溫度的變遷範圍，即當二氧化碳濃度增為現今的 1.9 倍時，溫度比起現今氣候增暖的程度如下：
  - (1) 年均溫：台灣增暖的幅度為 0.85-2.50℃，東亞地區則為 1.46-4.07℃。
  - (2) 夏均溫：台灣增暖的幅度為 0.80-2.02℃，東亞地區則為 1.44-3.88℃。
  - (3) 冬均溫：台灣增暖的幅度為 0.58-2.87℃，東亞地區則為 1.47-5.06℃。
2. 降水量模擬方面，各個模式的表現並不理想，且模擬出的變遷值也未全部大於控制實驗模擬值的二倍標準差，故模擬出的變遷值可信度是較低的，但模式模擬仍是目前推估未來氣候較可行的方式，畢竟我們不能拿整個地球來做實驗。而採用系集模擬平均可以減低模式模擬的誤差，下面列出系集模擬平均推估的變遷值：
  - (1) 年降水：台灣變遷量為 0.10mm/day，東亞地區為 0.08 mm/day。
  - (2) 夏降水：台灣變遷量為 0.52mm/day，東亞地區為 0.26 mm/day。
  - (3) 冬降水：台灣變遷量為 -0.25mm/day，東亞地區為 0.00 mm/day。

## 陸、結論

- 一、地球大氣中的二氧化碳、水氣和甲烷等氣體會允許約 50% 的太陽輻射（短波輻射）通過，並吸收地球放出的長波輻射，使得大氣保存了適當的輻射能，使地表的溫差不致太大，稱為溫室效應。
- 二、工業革命後，大氣中溫室氣體和懸浮微粒大量增加，溫室氣體使得溫室效應增強，懸浮微粒則使其周圍氣溫升高，並間接使得地表的溫度降低。
- 三、藉由分析 IPCC 網站中提供的九個大氣海洋耦合模式模擬資料，當大氣中二氧化碳濃度增為現在的 1.9 倍時，台灣地區的年平均溫度將升高 0.85-2.50℃，而東亞地區將會升高 1.46-4.07℃；夏季平均溫度的變化則是，台灣可能增暖 0.80-2.02℃，東亞地區則為 1.44-3.88℃；冬季平均溫度的變化為，台灣增暖的幅度 0.58-2.87℃，東亞地區則為 1.47-5.06℃。增溫幅度有越往高緯度越大的趨勢，這可能導因於海冰的反饋效應。
- 四、同樣利用九個模式資料分析，當大氣中二氧化碳濃度增加為現在的 1.9 倍時，系集

模擬平均推估的變遷量顯示，台灣地區全年平均每天將增加 0.10mm 的降水，而東亞地區每天將增加 0.08mm；夏季平均台灣每天增加 0.52mm，東亞地區則為 0.26 mm/day；冬季平均台灣每日減少 0.25mm，東亞地區則無變化。大致上來說，海上地區的降水量有減少的情況，陸地上則是降水量增多的情形。

五、希望藉由本文的研究結果，能提醒大家立即的減少，甚至停止人為溫室氣體的製造，讓地球永續的發展。同時也希望本文的研究結果，能做為其他相關研究的基礎，使大家能提早因應未來氣候變遷所可能引發的種種變化。

## 柒、參考資料

### 一、參考書目：

1. 國中地球科學課本，國立編譯館。
2. 高中基礎地球科學課本，國立台灣師範大學科學教育中心主編，國立編譯館出版。
3. 牛頓雜誌第 196 期，牛頓出版股份有限公司，1999。
4. 魏國彥、許晃雄，全球環境變遷導論，教育部印行，台大全球變遷研究中心執行，1997。
5. Thomas E. Graedel, Paul J. Crutzen 著，陳正平譯，變色的天空－大氣與氣候變遷的故事，遠哲基金會，1998。
6. IPCC, 1996: *Climate Change 1995. The Science of Climate Change*, J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 572pp.

### 二、參考網站

1. 政府間氣候變遷特別委員會（IPCC） [http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/ipcc\\_ddc.html](http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/ipcc_ddc.html)
2. 交通部中央氣象台 <http://www.cwb.gov.tw/>
3. 台灣大氣系氣候動力研究室 <http://hsu.as.ntu.edu.tw/>
4. 美國國家環境預報中心（NCEP） [http://wesley.wwb.noaa.gov/ncep\\_data/](http://wesley.wwb.noaa.gov/ncep_data/)

## 捌、未來展望

本研究主要在探討人類活動所製造的溫室氣體，對近地面溫度和降水量的影響，然而在全球系統中，各種影響環境的因子，經常是互相牽動的，因此未來我們希望能針對

其他氣候因子，繼續研究溫室氣體增加所產生的影響，以期能對氣候變遷有更深入的瞭解。

附表 1.各模式的名稱、發展該模式的氣候中心和空間解析度

模式名稱	氣候中心 (簡稱)	空間解析度 (經度×緯度)
CGCM1	加拿大氣候模擬和分析中心 (CCCma)	約 3.75° ×3.75°
CGCM Coupled Model	日本氣候調查中心/國家環境研究所 (CCSR/NIES)	約 5.6° ×5.6°
CSIRO Coupled GCM	澳洲共和國科學與工業研究組織 (CSIRO)	約 5.6° ×3.2°
GFDL Model	美國地球物理流體力學實驗室 (GFDL)	約 7.5° ×4.5°
HadCM2	英國哈德里氣候預測和研究中心 (HCCPR)	約 3.75° ×2.5°
HadCM3	英國哈德里氣候預測和研究中心 (HCCPR)	約 3.75° ×2.5°
ECHAM4 /OPYC3	德國馬克斯普朗克研究所 (MPI)	約 2.8° ×2.8°
NCAR CGM	美國國家大氣研究中心 (NCAR)	約 7.5° ×4.5°
ECHAM3 /LSG	德國氣候研究中心 (DKRZ)	約 5.6° ×5.6°

附表 2.各溫室氣體與氣溶膠變化實驗的氣體假設

實驗	各實驗使用的氣體假設
ccgs	historic CO <sub>2</sub> and SO <sub>4</sub> 1900-1989 1% compound increase CO <sub>2</sub> 1990-2100 ; IS92a SO <sub>4</sub> 1990-2100
nigs	historic CO <sub>2</sub> and SO <sub>4</sub> 1890-1989 IS92a CO <sub>2</sub> and SO <sub>4</sub> 1990-2099
csgs	historic CO <sub>2</sub> and SO <sub>4</sub> 1881-1989 IS92a CO <sub>2</sub> and SO <sub>4</sub> 1990-2100
gfgs	historic CO <sub>2</sub> and SO <sub>4</sub> 1766-1989 IS92a CO <sub>2</sub> and SO <sub>4</sub> 1990-2049
hcgs	historic CO <sub>2</sub> and SO <sub>4</sub> 1860-1989 1% compound increase CO <sub>2</sub> 1990-2099 ; IS92d SO <sub>4</sub> 1990-2099
mpgs	historic CO <sub>2</sub> and SO <sub>4</sub> 1860-1989 IS92a CO <sub>2</sub> and SO <sub>4</sub> 1990-2049
ncgs	historic CO <sub>2</sub> and SO <sub>4</sub> 1860-1989 IS92a CO <sub>2</sub> and SO <sub>4</sub> 1990-2035
dkgs	historic CO <sub>2</sub> and SO <sub>4</sub> 1880-1985 IS92a CO <sub>2</sub> and SO <sub>4</sub> 1986-2049
hc3aa	historical CO <sub>2</sub> 、SO <sub>4</sub> and O <sub>3</sub> 1860-1989 IS95a CO <sub>2</sub> 、SO <sub>4</sub> and O <sub>3</sub> 1900-2099

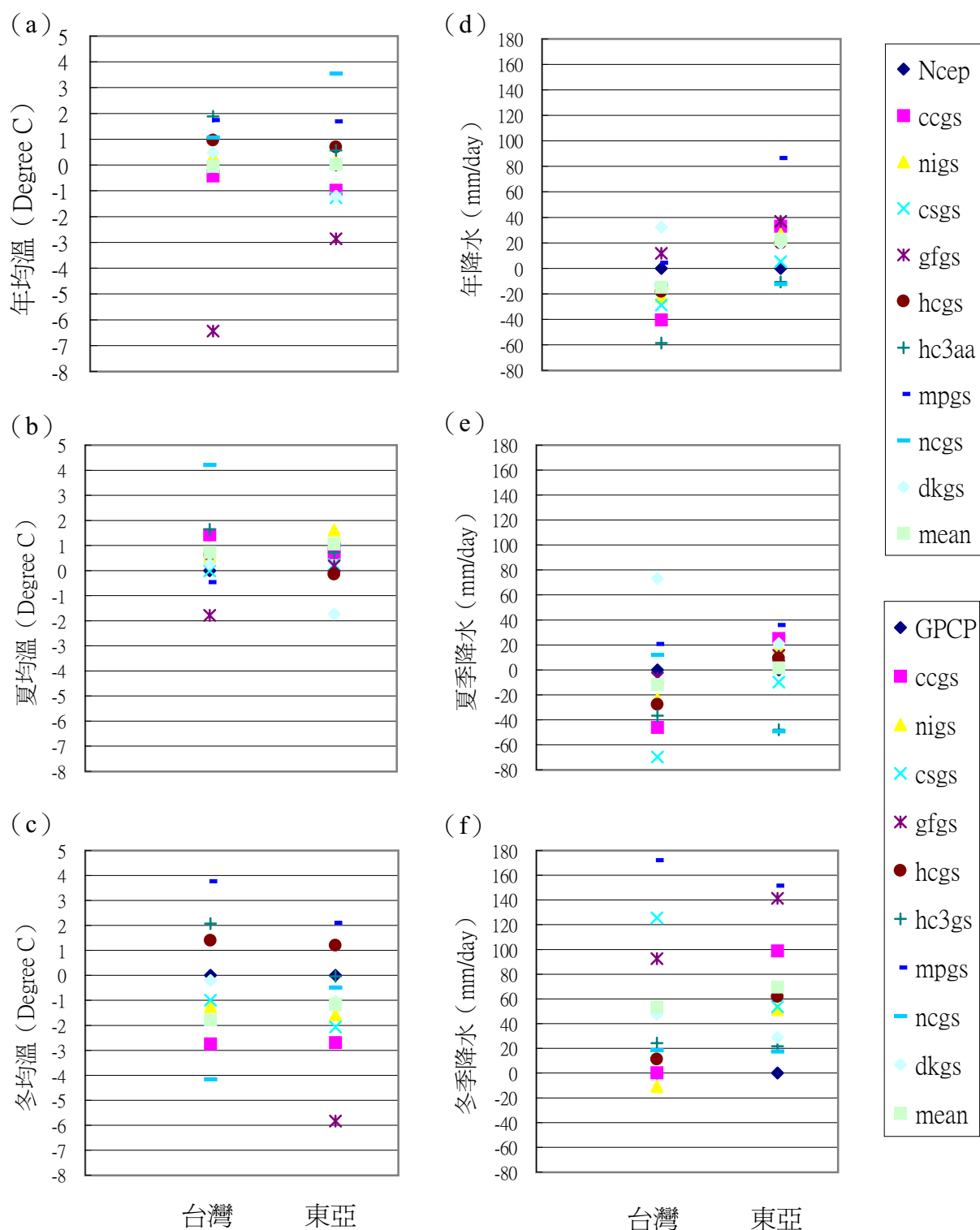


附表 3.各溫室氣體與氣溶膠變化實驗二氧化碳濃度變 1.9 倍的時間

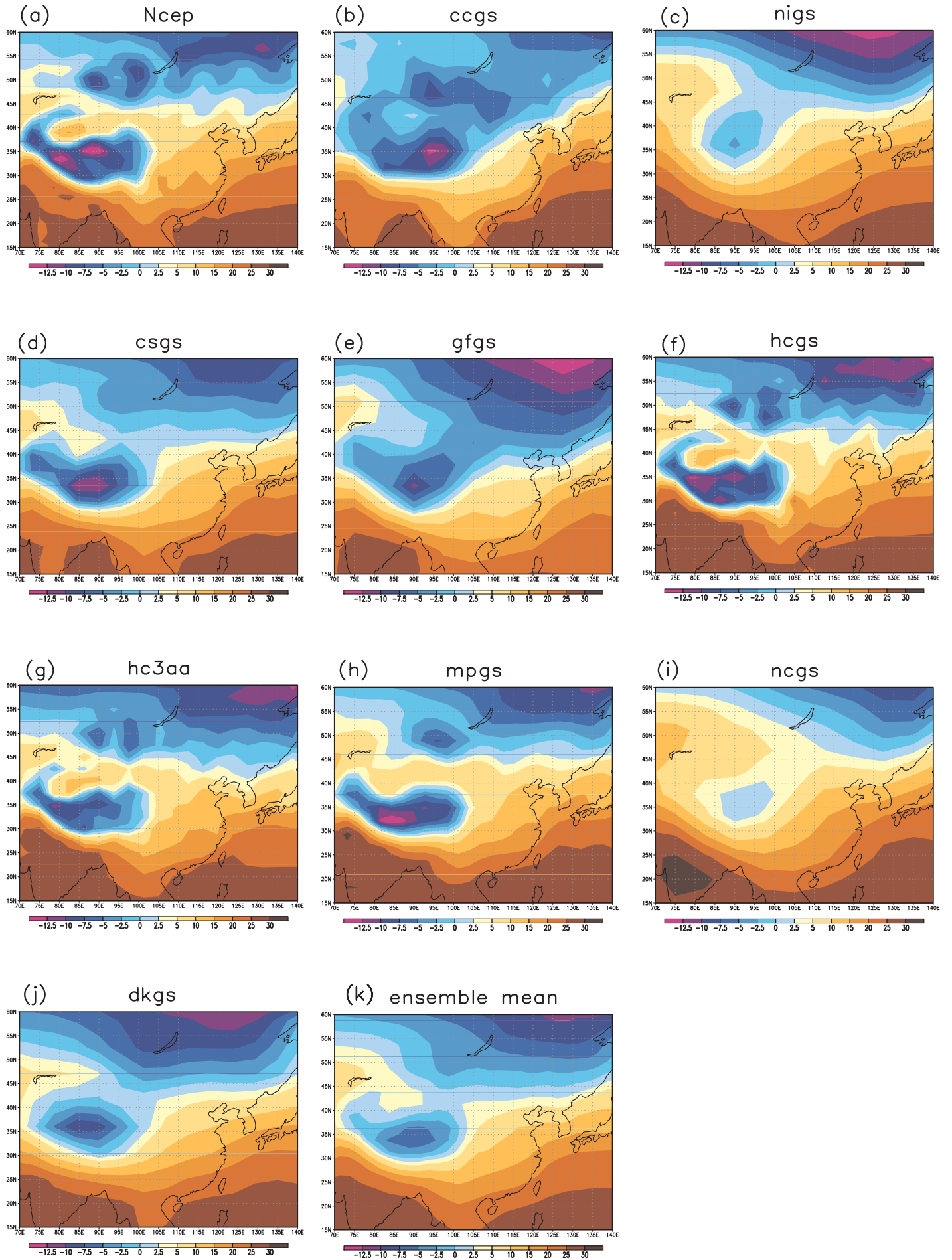
實驗	CO <sub>2</sub> 變 1.9 倍的時間	CO <sub>2</sub> 變 1.9 倍前後 30 年
ccgs	2044	2029-2058
nigs	2085	2070-2099
csgs	2085	2070-2099
gfgs	2085	2070-2099
hcgs	2044	2029-2058
mpgs	2085	2070-2099
ncgs	2085	2070-2099
dkgs	2085	2070-2099
hc3aa	2085	2070-2099

附表 4.1961-1990 年台灣和東亞地區觀測的區域平均氣候值

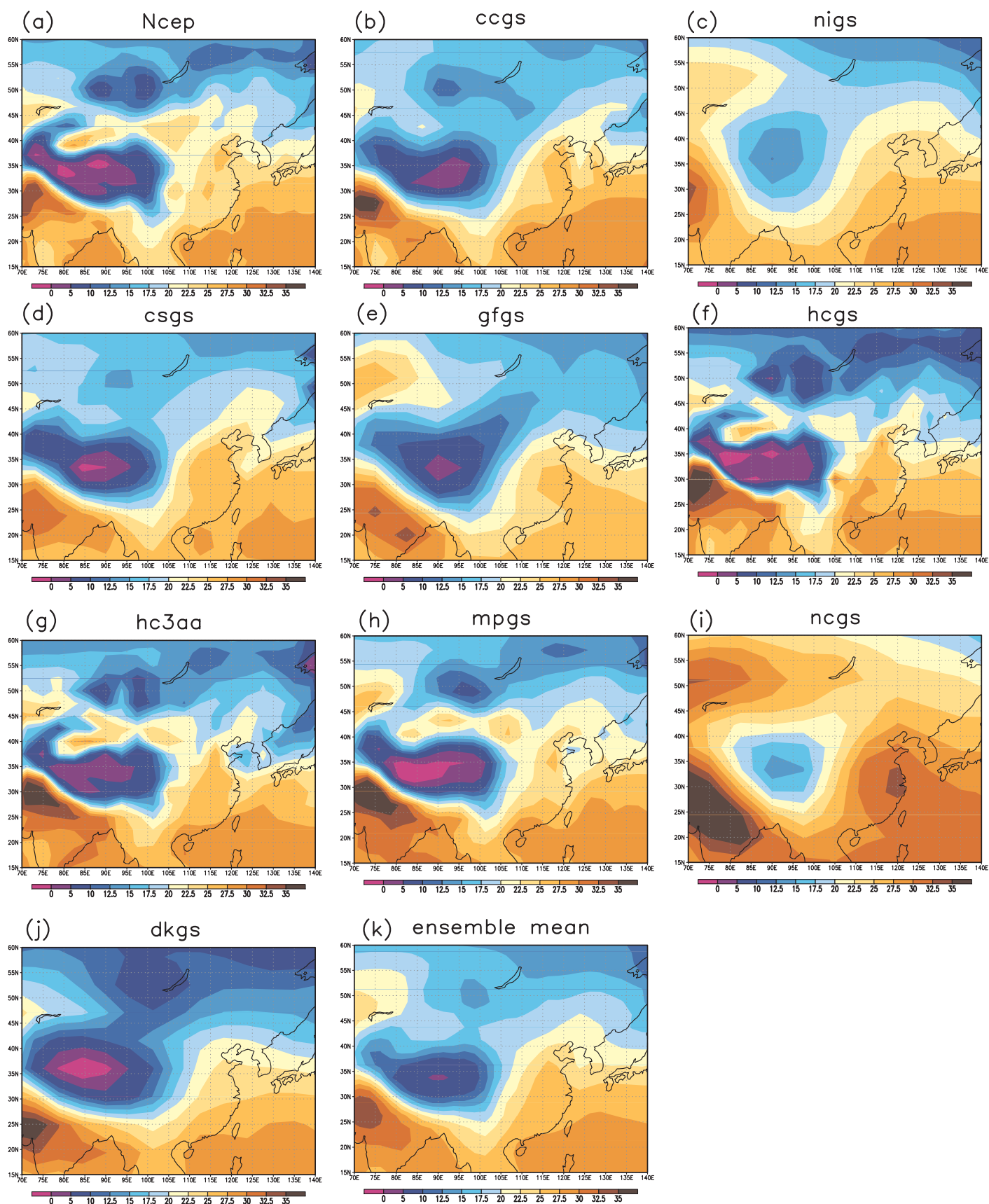
地區	台灣	東亞地區
年均溫 (°C)	22.87	9.66
夏均溫 (°C)	26.89	20.11
冬均溫 (°C)	18.43	-1.36
年降水 (mm/day)	5.70	2.51
夏季降水 (mm/day)	9.22	4.65
冬季降水 (mm/day)	2.69	0.97



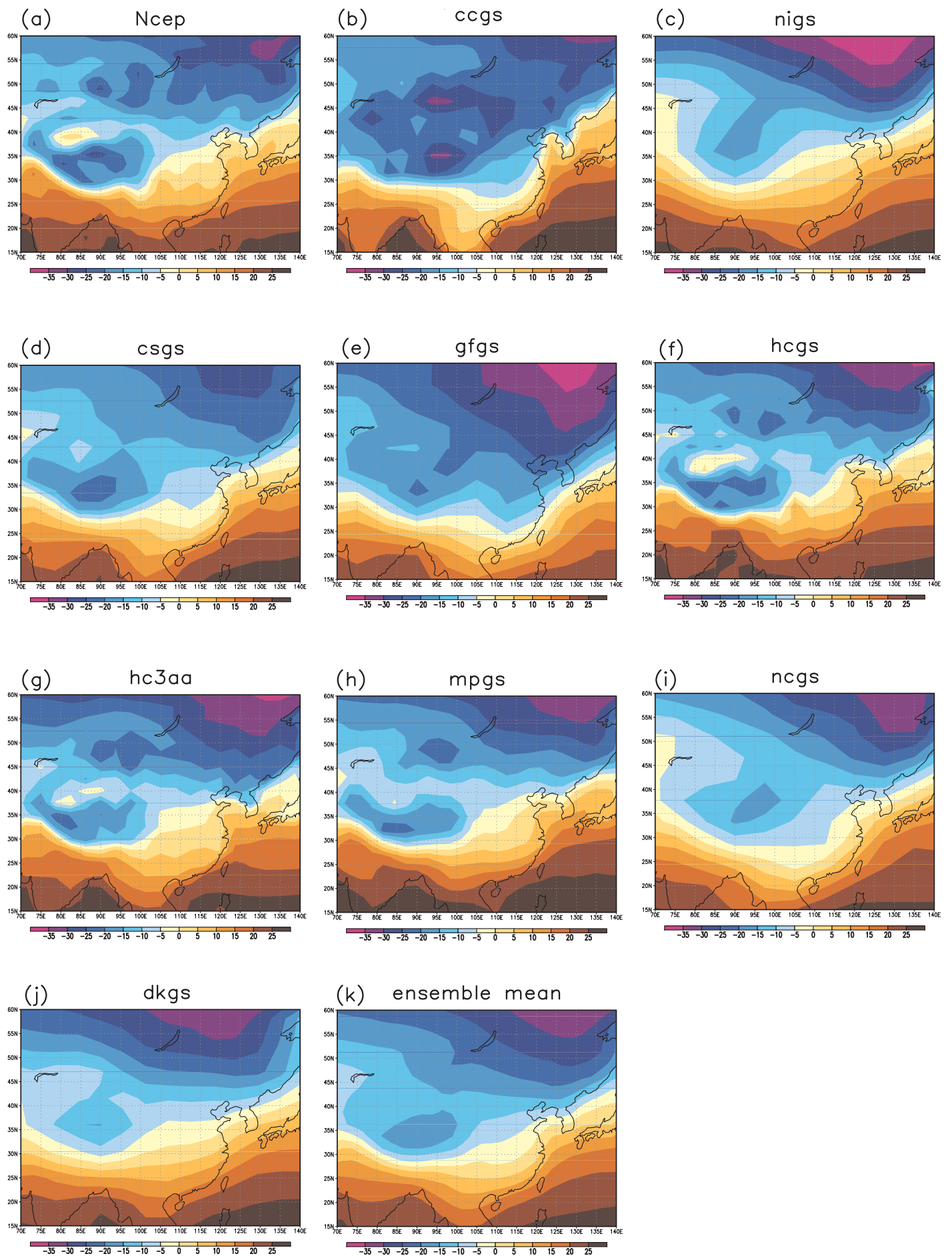
附圖1. 各模式的溫室氣體與硫酸根氣溶膠變化實驗模擬的近地面溫度、降水量和觀測氣候值的距平。(a) - (c) 為各實驗的年均溫、夏均溫和冬均溫的距平；(d) - (f) 為各實驗的年降水量、夏季降水量和冬季降水量的誤差百分比。



附圖2. 各模式溫室氣體與氣溶膠變化實驗模擬的年均溫 and 觀測值的空間分佈 (1961-1990年平均)。單位： $^{\circ}\text{C}$ 。

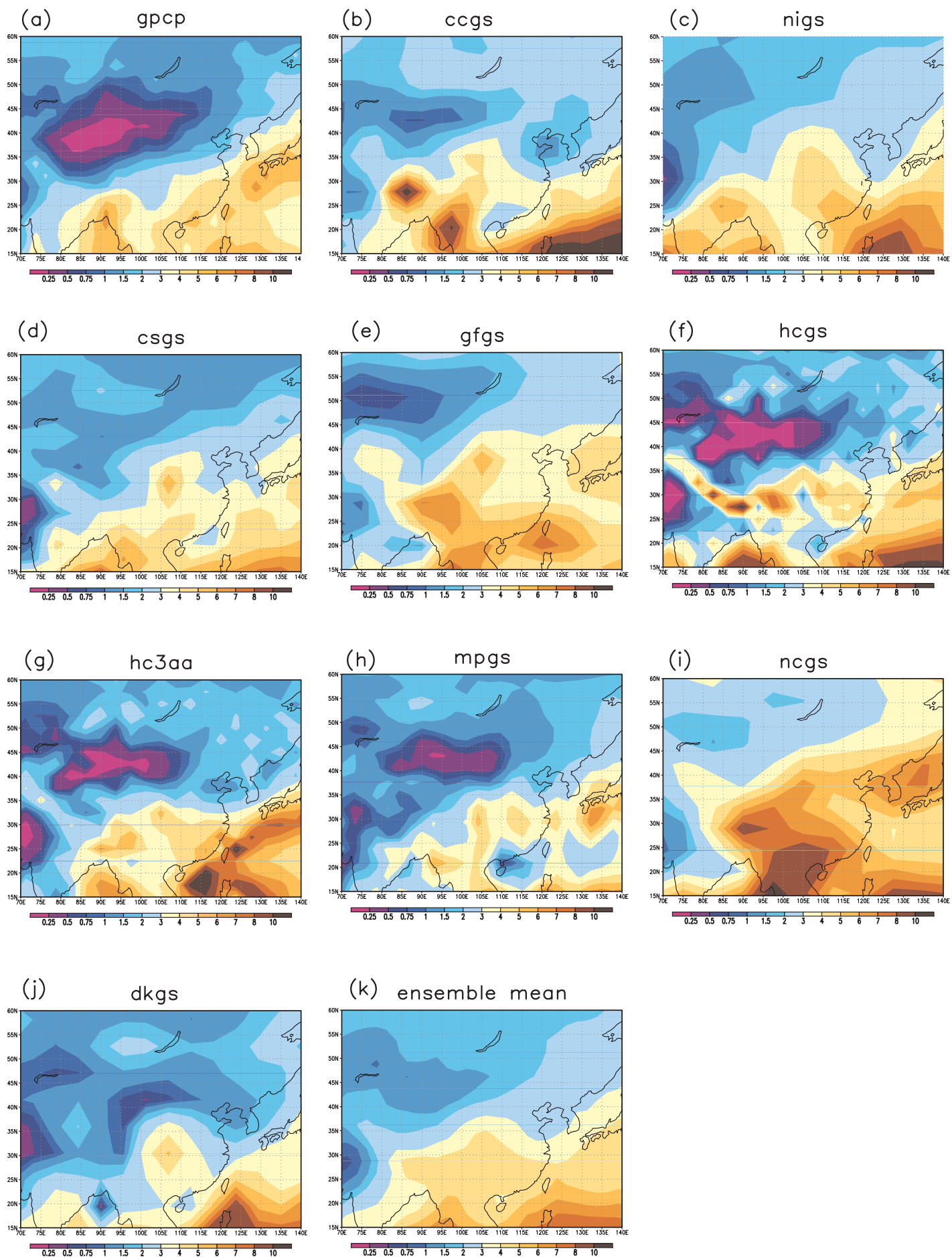


附圖3. 各模式溫室氣體與氣溶膠變化實驗模擬的夏均溫 and 觀測值的空間分佈 (1961-1990年平均)。單位： $^{\circ}\text{C}$ 。

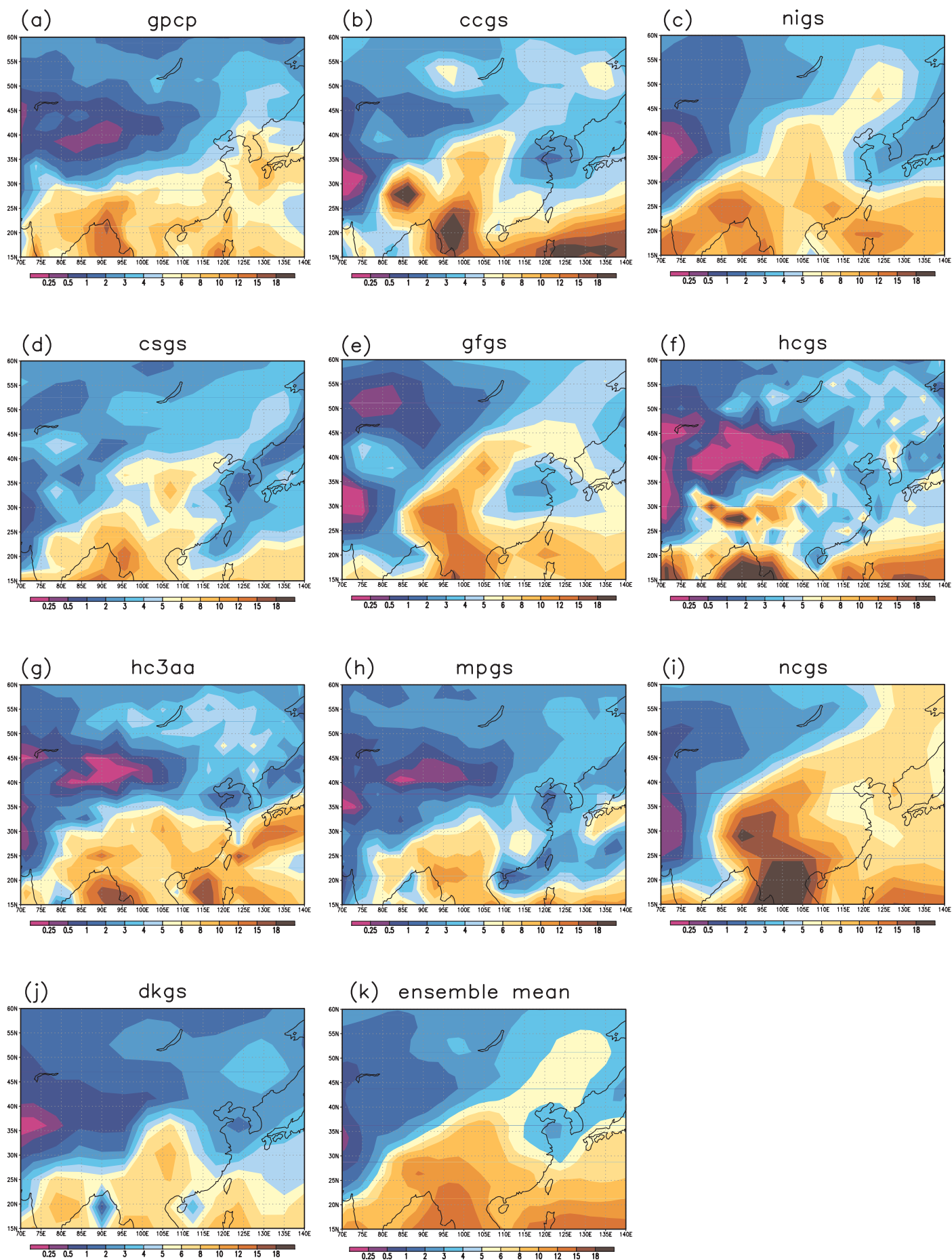


附圖4. 各模式溫室氣體與氣溶膠變化實驗模擬的冬均溫和觀測值的空間分佈 (1961-1990年平均)。單位： $^{\circ}\text{C}$ 。

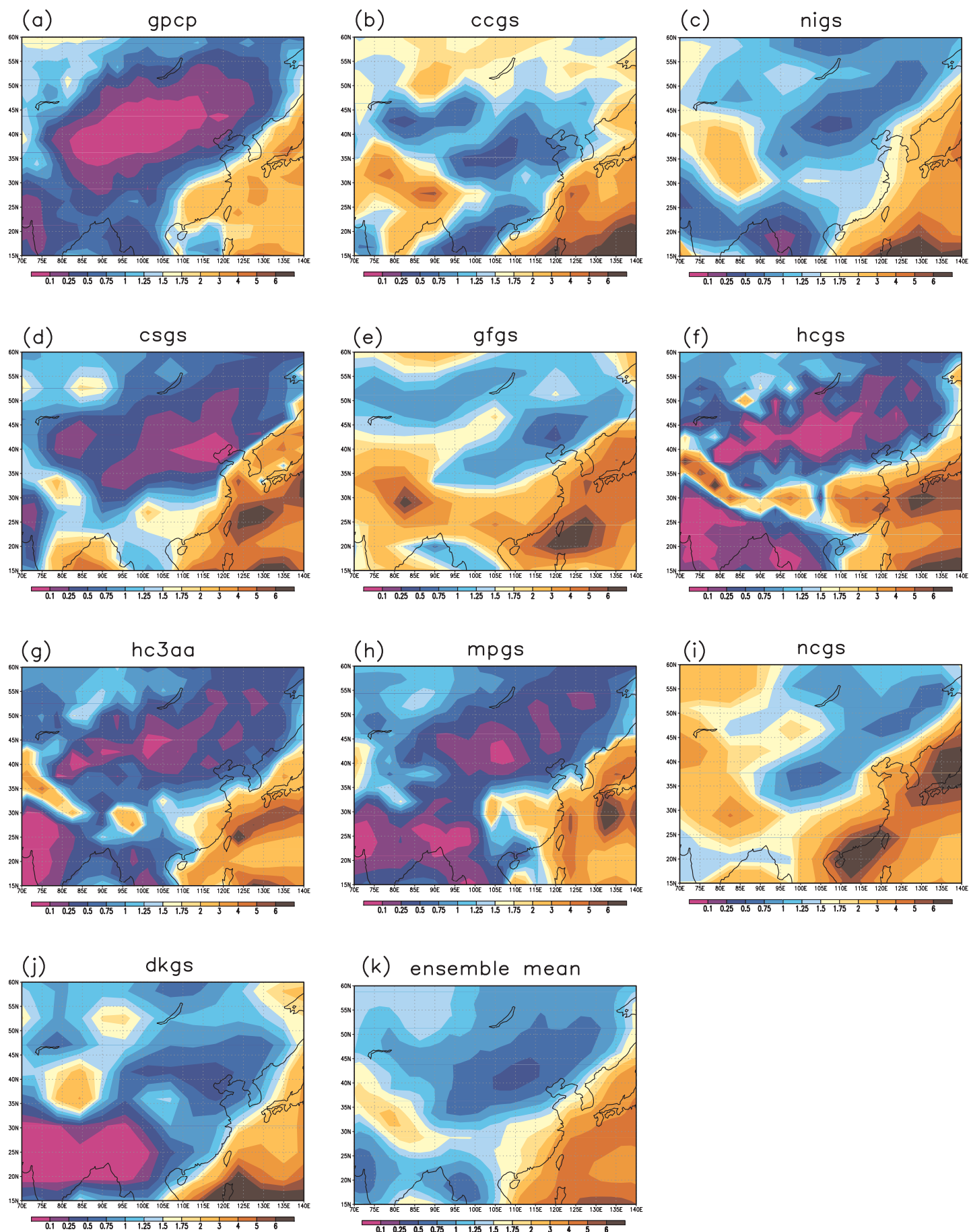




附圖5. 各模式溫室氣體與氣溶膠變化實驗模擬的年降水量和觀測值的空間分佈 (1961-1990年平均)。單位：mm/day。

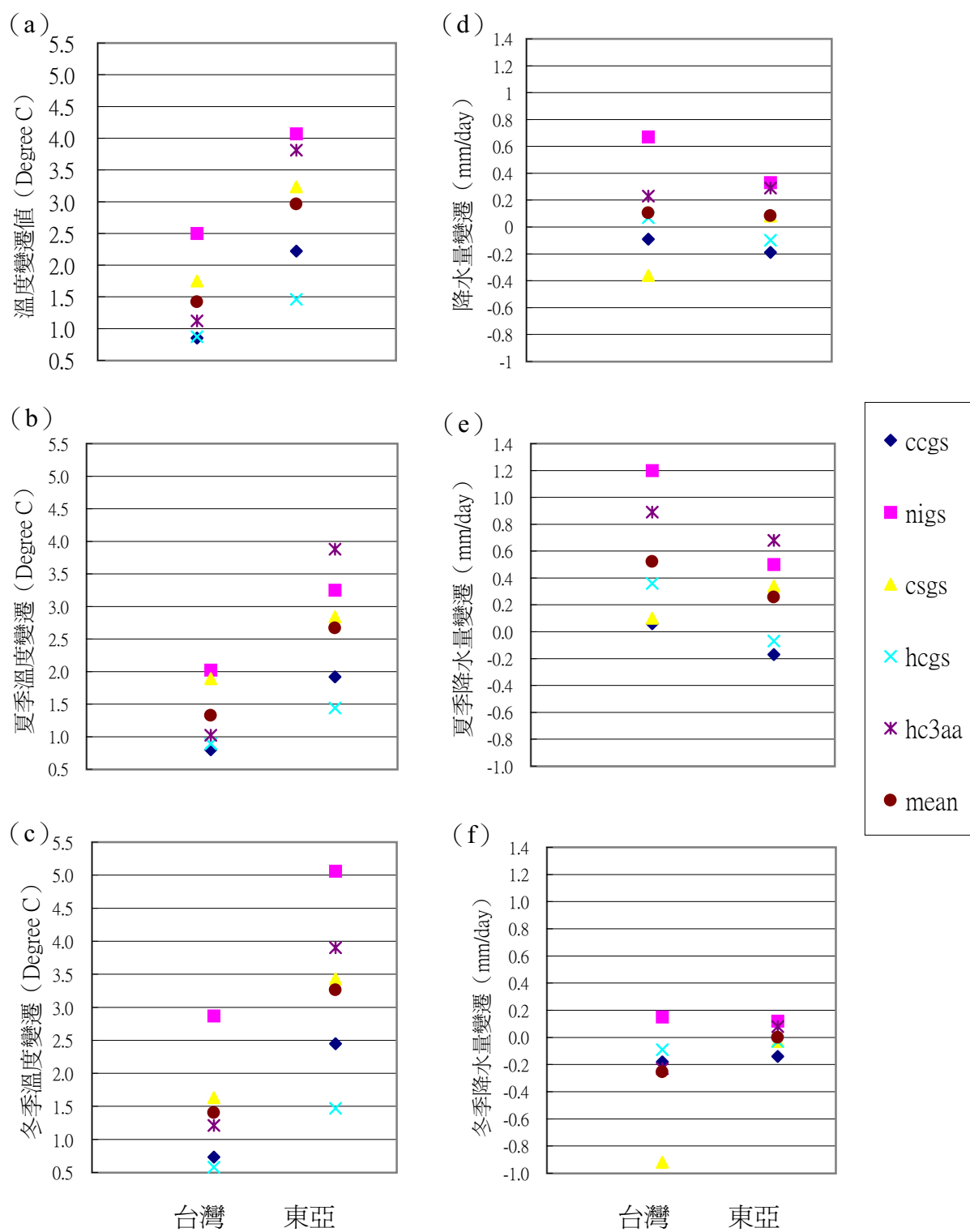


附圖6. 各模式溫室氣體與氣溶膠變化實驗模擬的夏季降水量和觀測值的空間分佈(1961-1990年平均)。單位：mm/day。

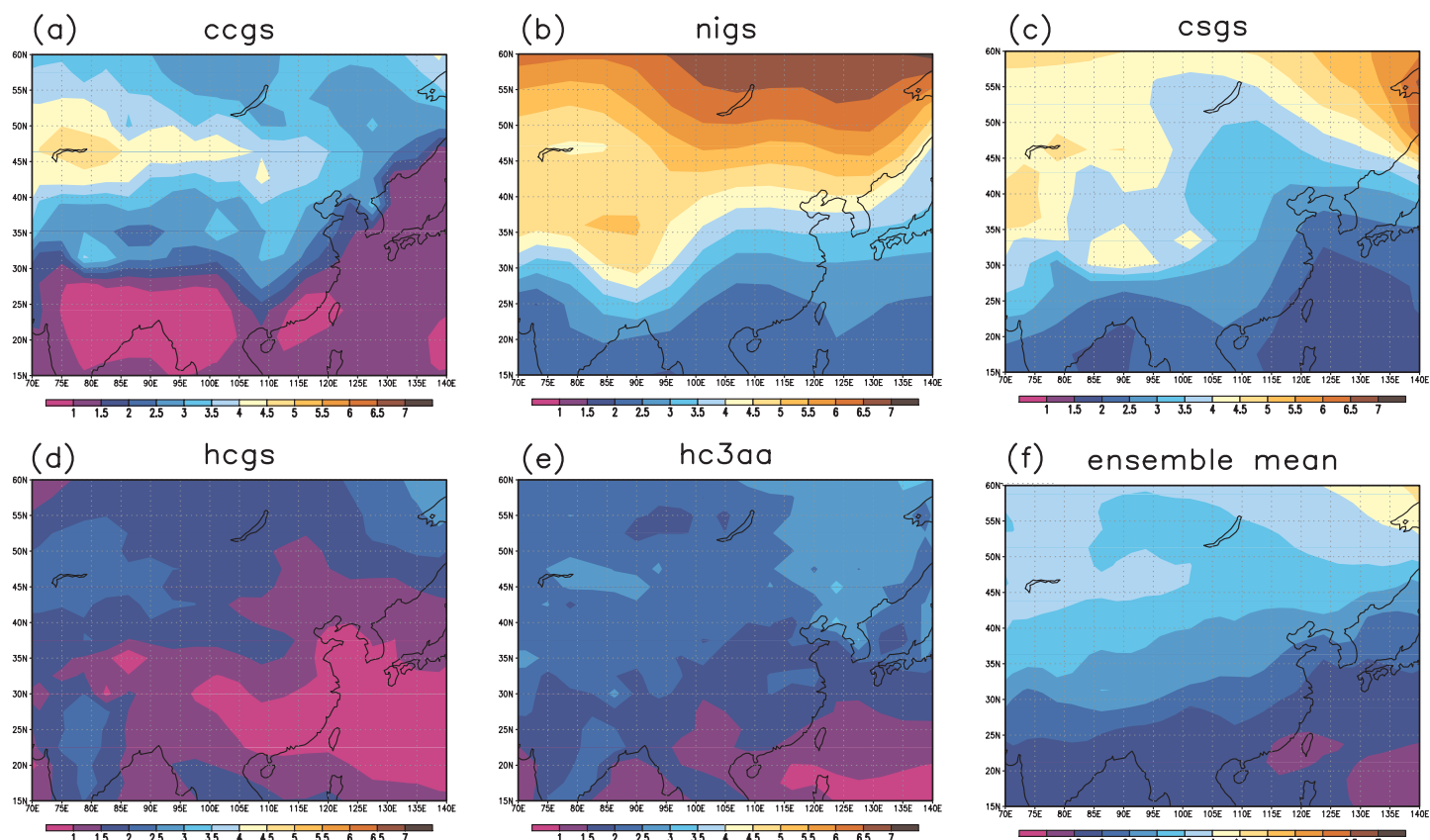


附圖7. 各模式溫室氣體與氣溶膠變化實驗模擬的冬季降水量和觀測值的空間分佈(1961-1990年平均)。單位：mm/day。

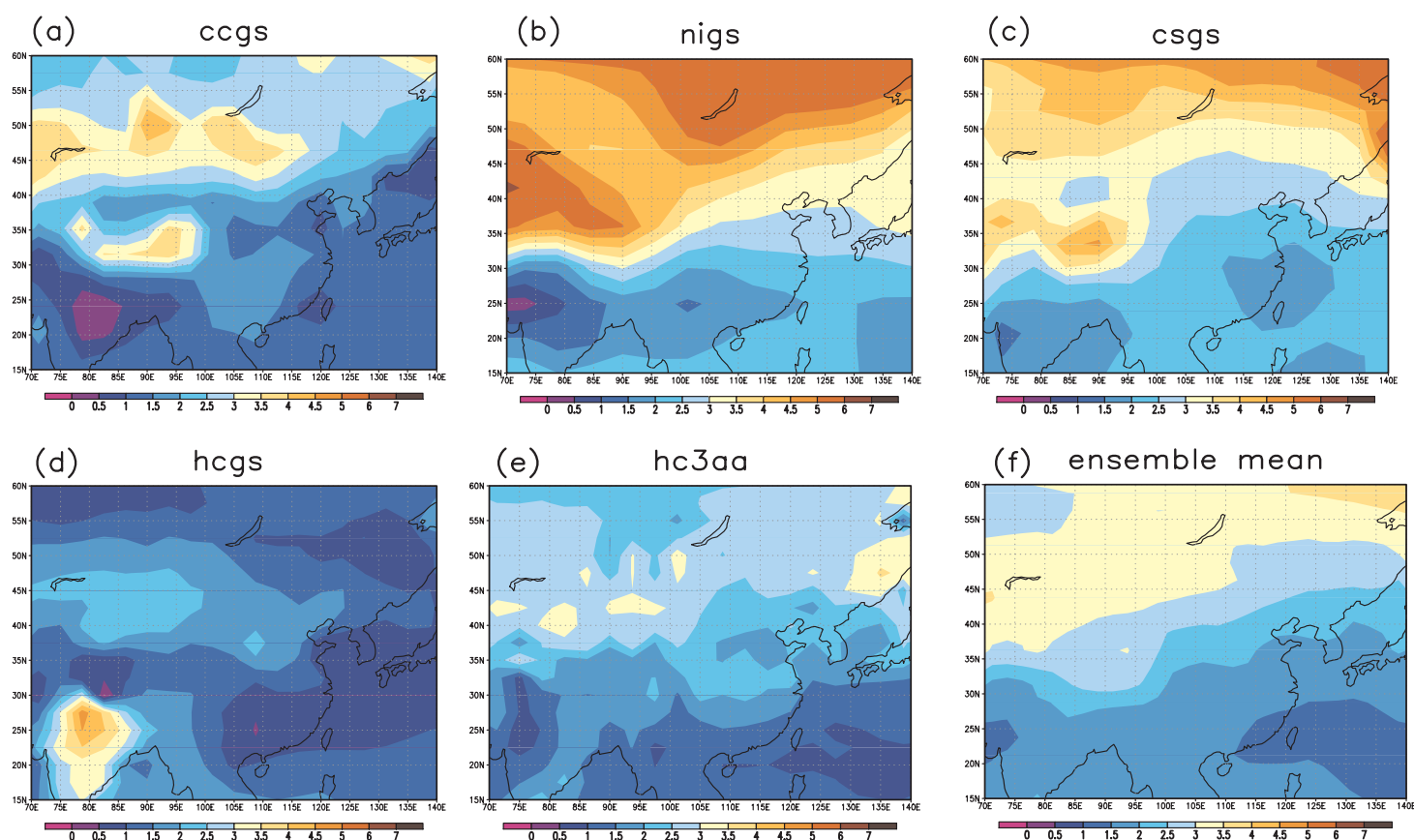




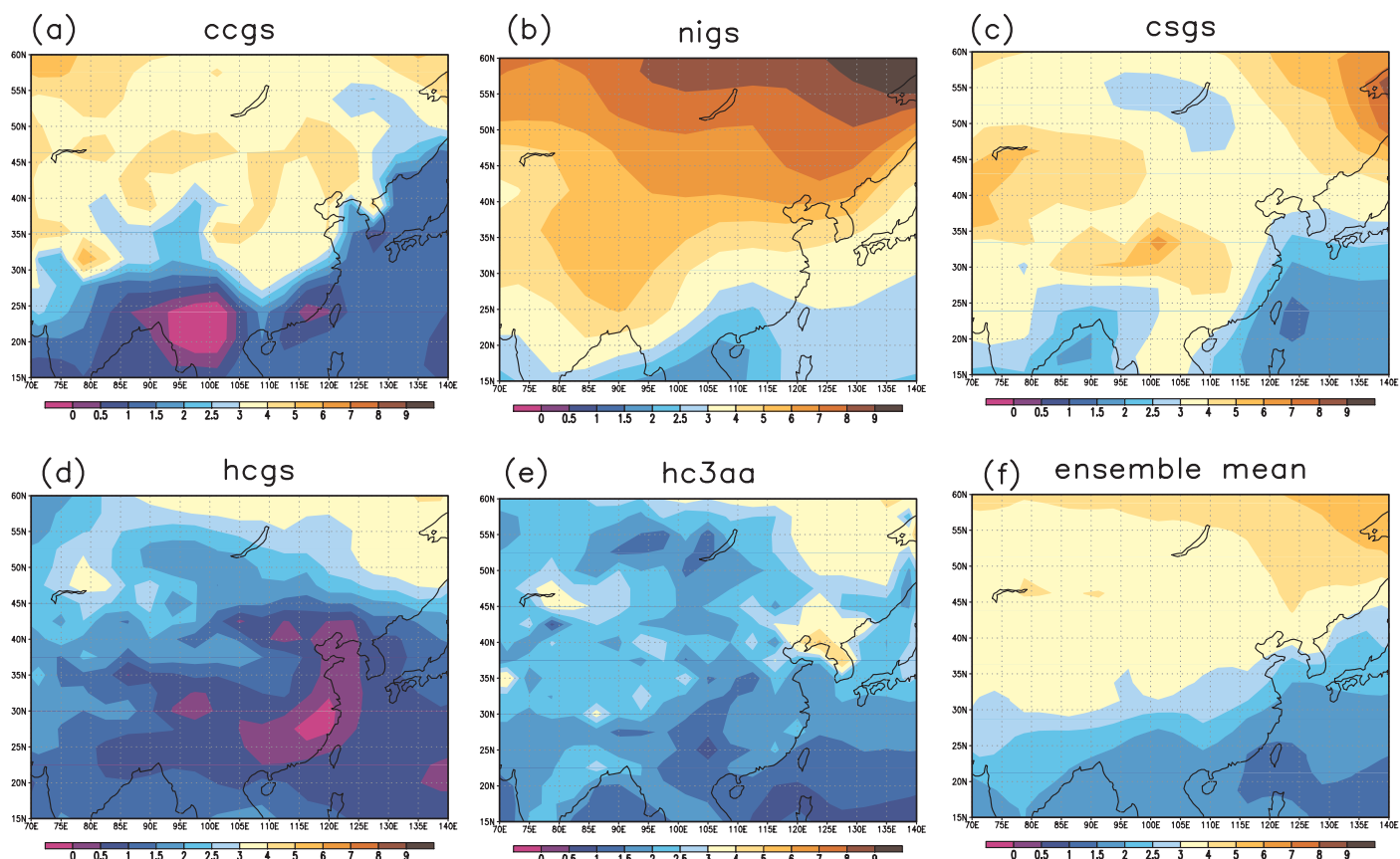
附圖8. 各模式的溫室氣體與硫酸根氣溶膠變化實驗模擬的近地面溫度和降水量未來的變遷情況 (a) - (c) 為各實驗的年均溫、夏均溫和冬均溫的變遷值；(d) - (f) 為各實驗的年降水量、夏季降水量和冬季降水量的變遷值。



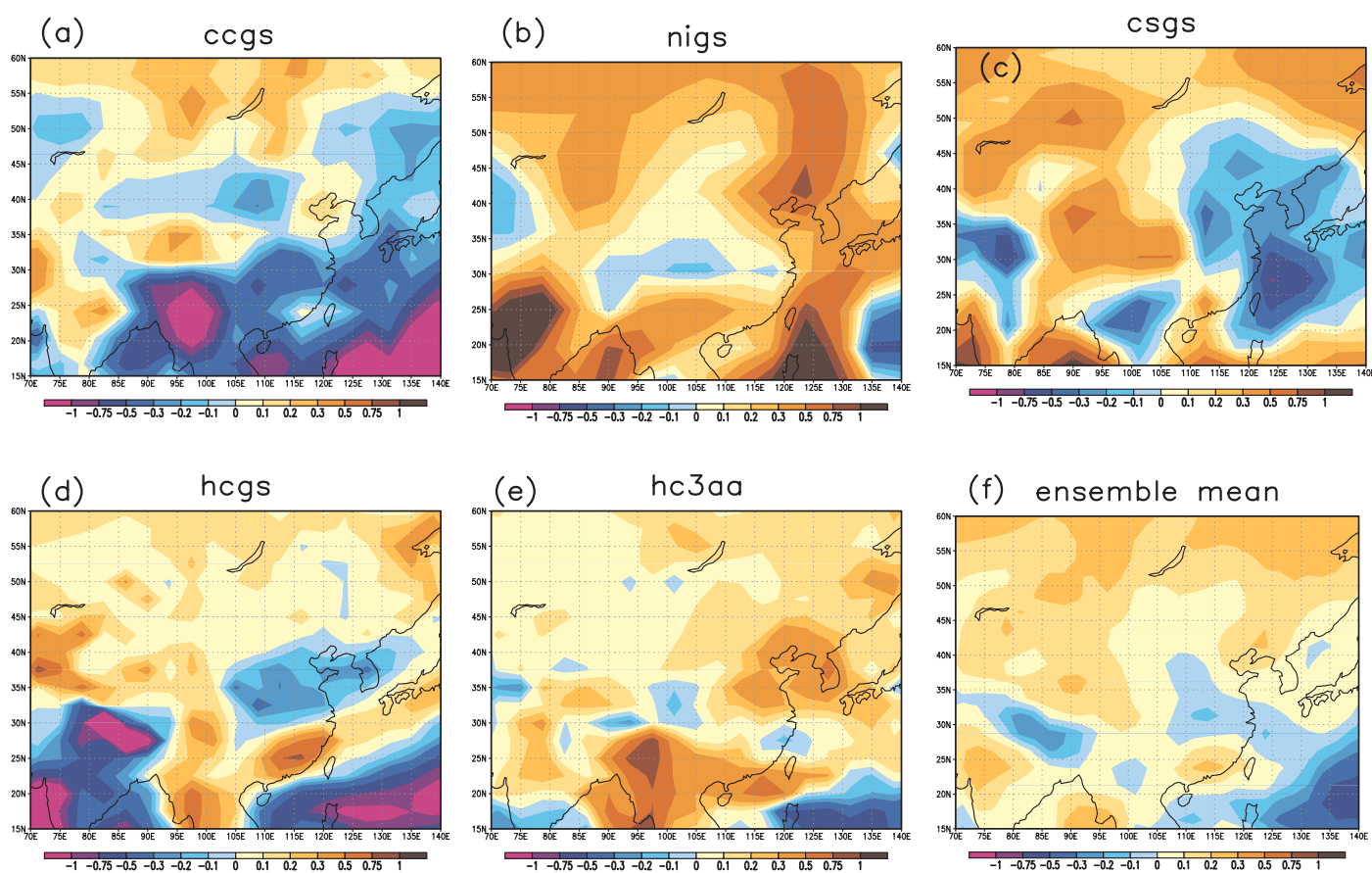
附圖9. 各模式溫室氣體與氣溶膠變化實驗推估的未來年均溫變遷值的空間分佈圖 (1.9-1 CO<sub>2</sub>)。單位：℃。



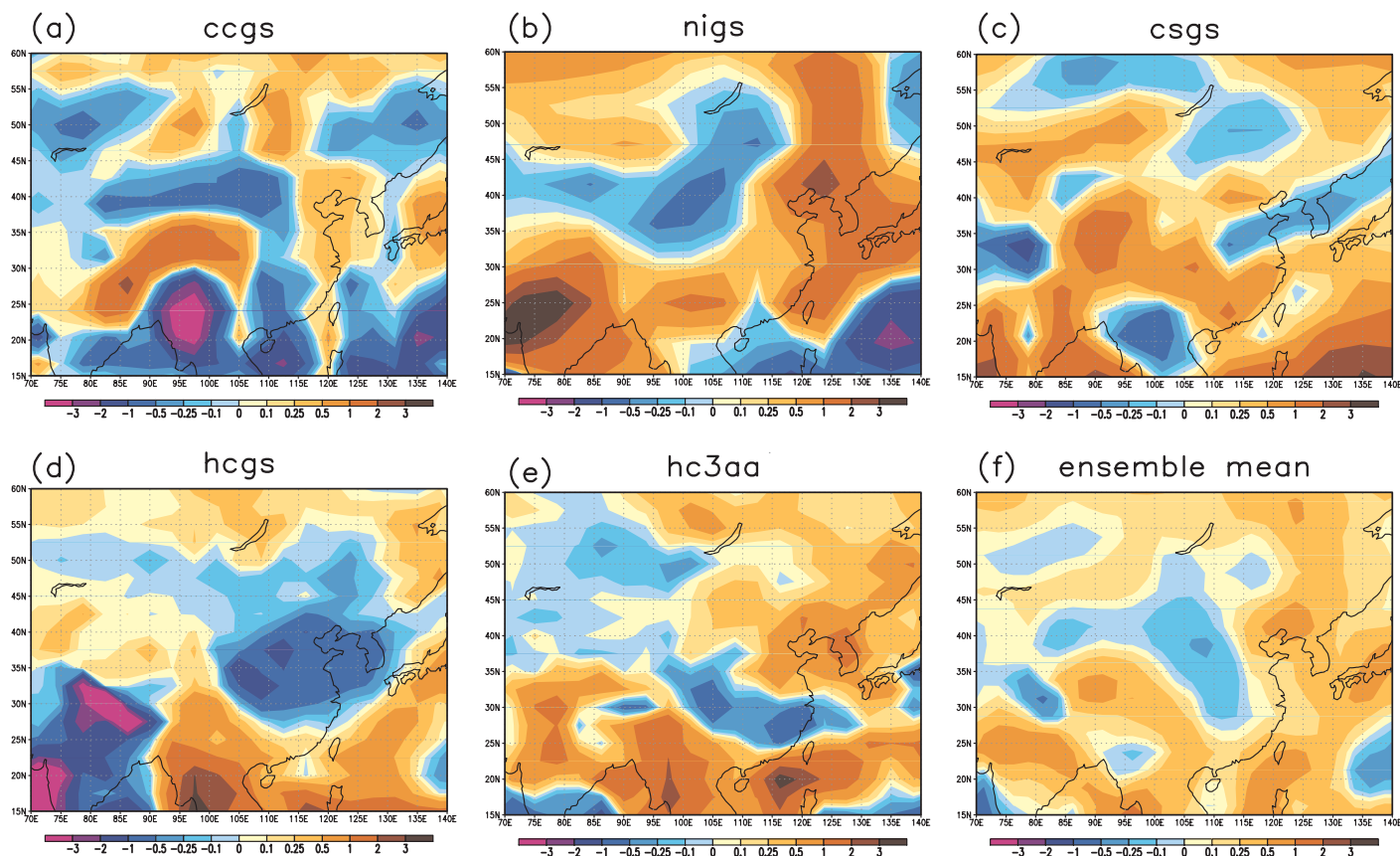
附圖10. 各模式溫室氣體與氣溶膠變化實驗推估的未來夏季溫度變遷值的空間分佈圖 (1.9-1 CO<sub>2</sub>)。單位：℃。



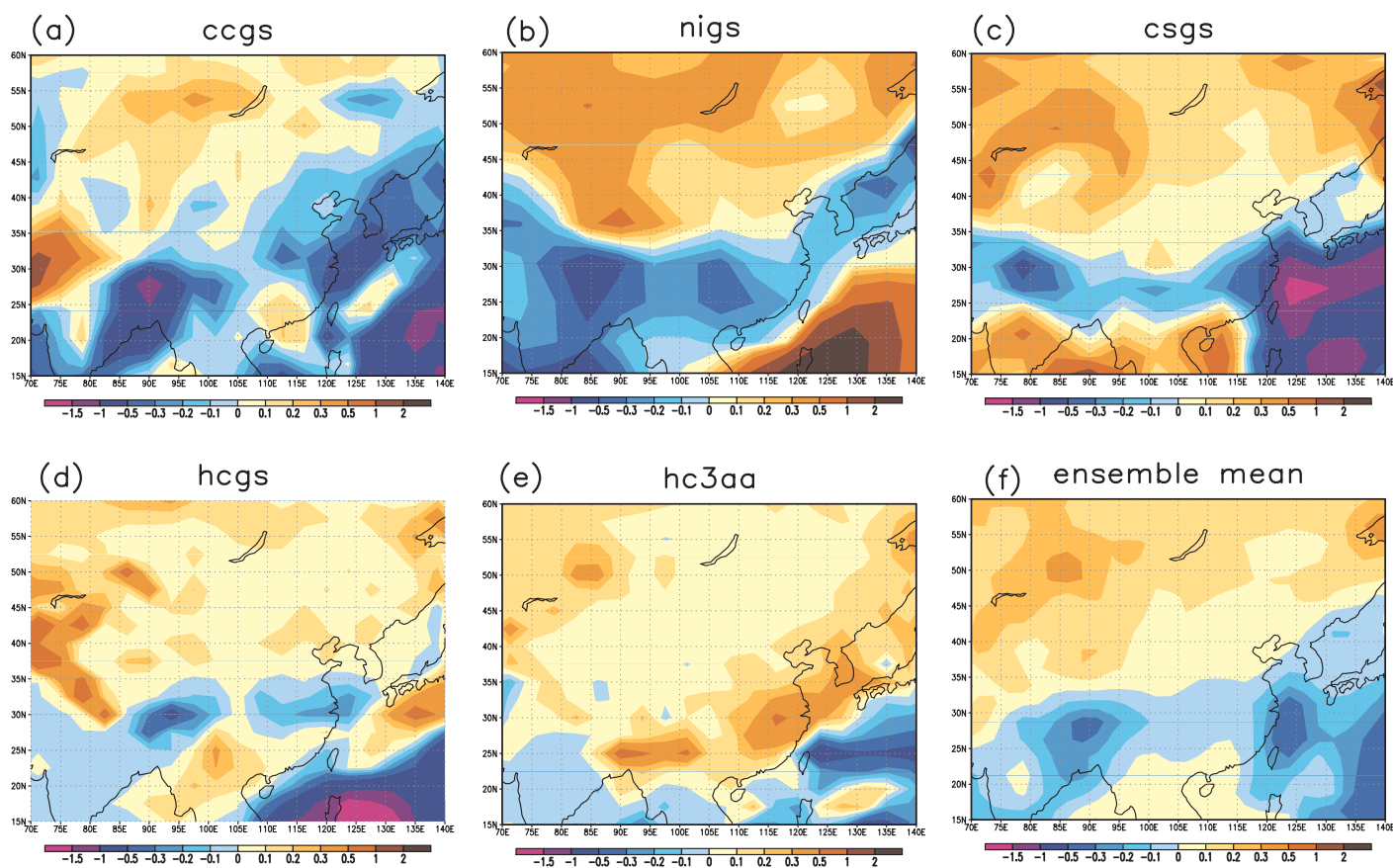
附圖11. 各模式溫室氣體與氣溶膠變化實驗推估的未來冬季溫度變遷值的空間分佈圖 (1.9-1 CO<sub>2</sub>)。單位：℃。



附圖12. 各模式溫室氣體與氣溶膠變化實驗推估的未來年降水量變遷值的空間分佈圖 (1.9-1 Co<sub>2</sub>)。單位：mm/day。



附圖13. 各模式溫室氣體與氣溶膠變化實驗推估的未來夏季降水的變遷值的空間分佈圖 (1.9-1 CO<sub>2</sub>)。單位：mm/day。



附圖14. 各模式溫室氣體與氣溶膠變化實驗推估的未來冬季降水的變遷值的空間分佈圖 (1.9-1 CO<sub>2</sub>)。單位：mm/day。

## 評 語

本作品利用下載之不同模式比較不同換式所預測台灣與東亞地區之氣溫、降雨等資料與 El Nino 現象之關係。作者分析不同模式之數據而推斷何種模式較為準確。此外，對 CO<sub>2</sub> 之排放，如不加以控制未來 20 年對地球海平面之增高將具有決定性之影響，並可能造成極大之生態 災難，作者具有分析數據之能力表達清楚。