

第三章 氣候變遷預設情境與應用

氣候變遷衝擊評估在探討未來氣候對生態環境與人類接濟社會之衝擊，由於並無未來氣象紀錄資料，且未來氣象資料不可預測，因此，必須建立未來氣候可能之情境，才能進一步探討氣候改變之衝擊。

3.1 氣候變遷預設情境

氣候變遷衝擊影響評估之研究最重要在氣候預設情境之設立。一般氣候變遷預設情境可分成下列四大類(1)大氣環流模式預測；(2)時間類比；(3)空間類比；及(4)假設。其中只有第一項透過大氣環流模式預測方能真正以物理性評估大氣溫室氣體增加導致全球暖化之特性。氣候變遷會影響季節間溫度差異改變，甚至日夜溫差之變化，此類變異特性只能以大氣模式分析方能符合其物理性。

近年來全球大氣環流模式 (General Circulation Models, GCMs) 在空間解析度 (spatial resolution) 上已有顯著改善，但對小區域 (如台灣地區流域) 氣候預測仍有改善空間。因此，目前在氣候變遷衝擊評估之研究，GCMs對氣候預測值多只應用於設定氣候變遷預設情境，並常需要再配合氣象資料合成模式產生氣象資料，進行蒙地卡羅模擬 (Monte Carlo Simulation)。研究流程可見圖3.1，由大氣環流模式 **透過降尺度 (downscaling) 過程設定預設情境**，輸入氣象資料合成模式產生評估模式所需要之氣象資料，最後由評估模式分析得知衝擊影響。本章主要即在探討如何應用氣候變遷預測資料於環境生態之衝擊，先說明氣候變遷預設情境，然後再進一步探討如何應用於影響評估。

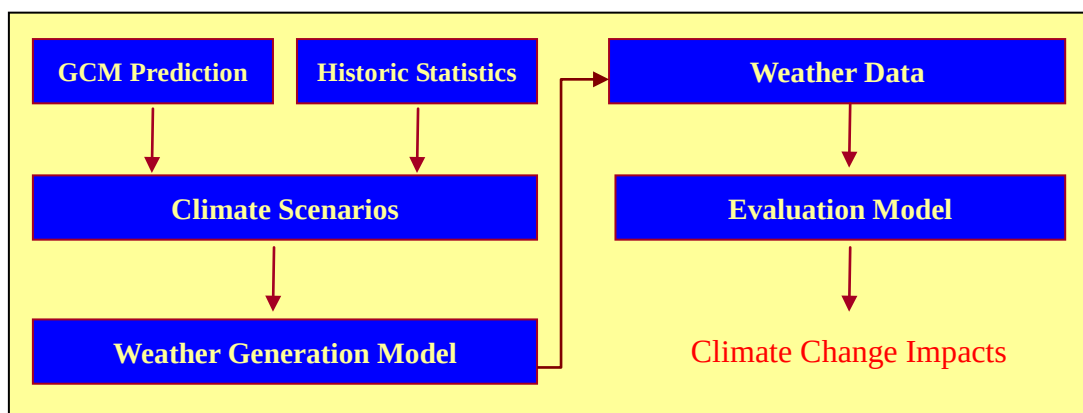


圖3.1 氣候變遷影響評估流程



因為一般全球尺度大氣環流模式之解析度不夠，並不能合理的預測短時間及小區域之氣候，但在水文及農業衝擊等評估之研究，往往均需要日時間尺度及集水區空間尺度之氣象資料，因此必須進行尺度調整。建立氣候變遷預設情境降尺度方式包括

1. 簡單降尺度：

直接將氣候模式預測改變量加至觀測資料或利用氣候模式預測改變量修正氣象合成模式參數，再合成資料

2. 統計降尺度：

首先利用流域歷史氣象資料與大區域氣候型態建立統計關係，然後以GCM模擬大區域之氣候型態來進行降尺度

3. 動力降尺度：

動力降尺度乃利用大尺度GCM模式之輸出資料為邊界條件，並驅動區域氣候動力模式模擬較細網格之模擬分析

第一種方法中，其空間降尺度方法為假設研究區域氣候變遷等同於 GCM 最鄰近網格點之預測，在時間之降尺度上，利用氣候變遷預測之月平均特性之改變，以直接修正歷史氣象序列。

$$T'_{t,m} = T_{t,m} + \Delta T_m \quad \forall t \in m \text{ \& } m = 1 \text{ to } 12 \quad (3.1)$$

$$P'_{t,m} = P_{t,m} \times RP_m \quad \forall t \in m \text{ \& } m = 1 \text{ to } 12 \quad (3.2)$$

其中 $T'_{t,m}$ 與 $P'_{t,m}$ 為修正後第 m 月第 t 天之溫度與降雨； $T_{t,m}$ 與 $P_{t,m}$ 為歷史紀錄第 m 月第 t 天之溫度與降雨； ΔT_m 與 RP_m 為 GCM 模式預測鄰近觀測氣象站網格點第 m 月，在 $2\times\text{CO}_2$ 與 $1\times\text{CO}_2$ 之溫度差值與降雨比值（*Note: GCM 模式提供為不同大氣條件下之氣候預測，而非直接預測氣候變化*）。亦可利用 GCM 預測之月平均特性之改變量，以修正歷史氣象資料之統計特性，如方程式(3.3)與(3.4)

$$\mu'_{Tm} = \mu_{Tm} + \Delta T_m \quad m = 1 \text{ to } 12 \quad (3.3)$$

$$\mu'_{Pm} = \mu_{Pm} \times RP_m \quad m = 1 \text{ to } 12 \quad (3.4)$$

其中 μ'_{Tm} 與 μ'_{Pm} 為修正後第 m 月之月平均溫度與下雨天平均降雨量； μ_{Tm} 與 μ_{Pm} 為原歷史第 m 月之月平均溫度與下雨天平均降雨量。修正後之統計特性再透過序率模式合成氣象資料序列。

第二種方法為先建立小尺度區域與大尺度氣候間之統計關係，然後藉由此關係轉換GCM模式所預測大範圍之氣候變遷，如方程式(3.5)與(3.6)



$$\mu'_{Tm} = \mu_{Tm} + \text{Trans}(\Delta T_m) \quad m = 1 \text{ to } 12 \quad (3.5)$$

$$\mu'_{Pm} = \mu_{Pm} \times \text{Trans}(RP_m) \quad m = 1 \text{ to } 12 \quad (3.6)$$

其中 $\text{Trans}(\cdot)$ 為轉換函數。方法一與二之差異為第三種方法並不直接修正溫度與降雨之參數，而必須透過較大尺度與區域氣象之關係進行轉換，常用方式為綜觀尺度氣象分析，即氣候型態分類等，後續章節將再詳加討論。

第三種方法則利用全球環流模式之結果為邊界條件，再利用區域模式進行降尺度之研究。台灣大學大氣系吳明進教授利用屬於全球環流模式Global Spectral Model (GSM)_CCM3之分析結果為邊界，然後利用區域模式Regional Spectral Model (RSM)，並考量台灣地形因素後，進行降尺度之研究。如圖3.2分別為不同解析度之網格。

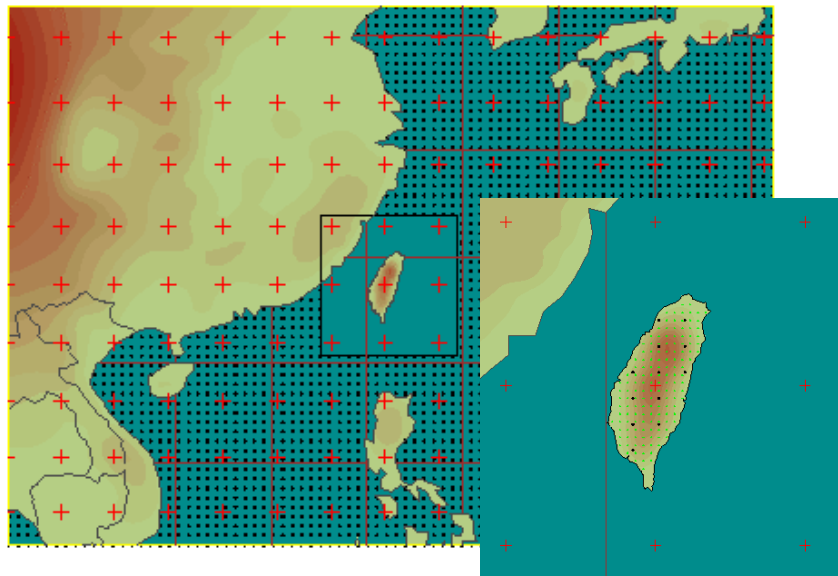


圖 3.2 不同 RSM 解析度網格（台大吳明進教授提供）

GCMs 模擬之 CO_2 變化之情境包括平衡與漸變兩類，漸變情境目前一般採用 IPCC 最新制定的 SRES 預設情境。平衡試驗情境包括 GCMs 之輸出資料以及 RSM 輸出資料，然而兩者之基準並不一樣，將於之後章節做說明。本章介紹之 GCMs 平衡試驗情境來源為美國 Country Studies Program，模式資料包括加拿大的 CCCM、美國 GFDL、美國 GISS 三個模式，另台灣大學大氣科學系吳明進教授之 RSM 平衡試驗依解析度不同分為 RSM0、RSM1、RSM2 三個模式等，分別介紹如下。

3.1.1 平衡試驗預設情境

平衡試驗(Equilibrium Experiments)輸出資料指的是利用 GCMs 設定起始大氣條件，先跑出目前穩定氣候狀態，再改變氣候參數，如 $2\times\text{CO}_2$ 條件，重新計算求得此 $2\times$



CO₂ 條件的氣候狀態，而兩個氣候狀態之氣候改變量即為被利用做為氣候變遷預設情境的變化量。所謂的 2xCO₂ 條件指的是以工業革命之 CO₂(280ppm)量為標準，達到兩倍的二氧化碳(560ppm)量時氣候條件。所以，利用此 GCMs 之氣候變遷預設情境進行評估，所能代表的是大氣條件達到二倍二氧化碳的氣候變化情境，並不能說明與代表時間上的變化。

Country Studies Program Dataset

GCMs 平衡試驗之 CCCM、GFDL、GISS 三個模式鄰近台灣之輸出結果表列如後。其情境資料乃由 US Country Studies Program(簡稱 USCSP)所建立，USCSP 乃聯合國氣候變遷組織會議所指定做為協助氣候變遷研究所設立，其情境亦為 IPCC 第二次報告與第三次報告中所採用。此資料可由 SCD'S DATA SUPPORT SECTION (http://dss.ucar.edu/pub/country_studies/) 獲得其輸出資料。依模式的不同，輸出尺度也不同，而鄰近於氣象站的輸出點也不同。如表 3.1 所示，為台灣各氣象站所對應 GCMs 中三個模式鄰近之輸出點。而表 3.2~3.4 則分別為 CCCM、GFDL、GISS 三個模式於不同輸出點之情境。

表 3.1 各氣象站對應各 GCMs 輸出之格點

模式名稱	經度	緯度	氣象站名稱
CCCM CGCM1	120.0	24.1	鞍部、竹子湖、淡水、基隆、台北、新竹、宜蘭、台中、梧棲、花蓮、日月潭、澎湖、阿里山、嘉義、玉山、東吉島、成功、台南、台東、高雄、大武、蘇澳
	123.8	24.1	彭佳嶼
	120.0	20.4	蘭嶼、恆春
GFDL	120.0	25.7	彭佳嶼、鞍部、竹子湖、淡水、基隆、台北、新竹、宜蘭
	123.8	25.7	蘇澳
	120.0	23.5	台中、梧棲、花蓮、日月潭、澎湖、阿里山、嘉義、玉山、東吉島、成功、台南、台東、高雄
	123.8	21.2	大武、蘭嶼、恆春
GISS	120.0	27.4	彭佳嶼、鞍部、竹子湖、淡水、基隆、台北、新竹、宜蘭、蘇澳、台中、梧棲、花蓮、日月潭、澎湖、阿里山、嘉義、玉山
	120.0	19.6	東吉島、成功、台南、台東、高雄、大武、蘭嶼、恆春
HADCM3	120.0	25.0	鞍部、竹子湖、淡水、基隆、台北、新竹、宜蘭、蘇澳、台中、梧棲、花蓮、日月潭
	120.0	22.5	澎湖、阿里山、嘉義、玉山、東吉島、成功、台南、台東、高雄、蘭嶼、大武、恆春
	123.8	25.0	彭佳嶼
CSIRO-Mk2	123.8	23.9	鞍部、竹子湖、淡水、基隆、台北、新竹、宜蘭、蘇澳、花蓮、玉山、成功、台東
	118.1	23.9	台中、梧棲、日月潭、澎湖、阿里山、嘉義、東吉島、台南、高雄、大武
	123.8	27.1	彭佳嶼
	123.8	20.7	蘭嶼
	118.1	20.7	恆春



表 3.2 CCCM 格點情境

位置	經度 120.0 緯度 24.1		經度 123.8 緯度 24.1		經度 120.4 緯度 20.4	
月份	降雨比值	溫度差	降雨比值	溫度差	降雨比值	溫度差
1	0.81	2.71	0.96	2.43	0.94	2.32
2	1.05	3.66	0.89	2.32	1.21	2.19
3	0.67	4.73	0.6	2.52	0.86	2.07
4	1.11	4.16	0.94	3.07	0.96	2.5
5	1.13	4.21	1.12	2.94	1.02	2.49
6	1.39	2.52	1.19	2.97	1.55	2.3
7	1	2.09	1.24	2.69	1.15	2.15
8	1.19	1.75	1.13	2.32	0.96	2.14
9	1.4	2.62	1.15	2.44	1.66	2.24
10	1.01	2.45	1.07	2.74	1	2.41
11	0.86	2.39	1.22	2.33	0.5	2.21
12	0.66	3.42	0.66	2.34	0.84	2.35
平均	1.02	3.06	1.01	2.59	1.05	2.28

註：差值為 $2\times\text{CO}_2-1\times\text{CO}_2$ ($^{\circ}\text{C}$)，比值為 $2\times\text{CO}_2/1\times\text{CO}_2$ 。

表 3.3 GFDL 格點情境

位置	經度 120.0 緯度 25.7		經度 123.8 緯度 25.7		經度 120.0 緯度 23.5		經度 123.8 緯度 21.2	
月份	降雨比值	溫度差	降雨比值	溫度差	降雨比值	溫度差	降雨比值	溫度差
1	1.05	4.25	1.02	3.9	1.06	3.94	1.15	3.6
2	0.94	3.42	1.01	3.30	0.99	2.82	1.14	2.52
3	0.79	5.02	1.00	4.16	1.02	4.14	1.2	3.5
4	1.07	3.84	0.98	3.30	0.92	3.02	0.73	2.64
5	0.94	2.40	1.06	2.75	1.08	2.28	1.35	2.6
6	1.13	3.01	0.90	2.95	0.95	2.67	0.77	2.48
7	0.96	2.46	0.72	2.44	0.93	2.20	0.99	2.28
8	0.91	2.60	1.18	2.57	1.32	2.12	1.62	2.1
9	1.17	3.00	1.2	2.79	1.12	3.02	1.49	2.76
10	1.52	2.58	1.55	3.10	1.53	2.78	1.38	2.68
11	0.78	3.24	0.93	3.21	0.73	2.77	0.78	2.47
12	1.11	3.69	1.28	4.6	1.1	3.55	1.17	3.43
平均	1.03	3.29	1.07	3.26	1.06	2.94	1.15	2.76

註：差值為 $2\times\text{CO}_2-1\times\text{CO}_2$ ($^{\circ}\text{C}$)，比值為 $2\times\text{CO}_2/1\times\text{CO}_2$ 。



表 3.4 GISS 格點情境

位置	經度 120.0 緯度 27.4		經度 120.0 緯度 19.6	
月份	降雨比值	溫度差	降雨比值	溫度差
1	1.13	2.74	0.58	2.29
2	0.68	2.59	0.76	2.43
3	1.03	3.31	0.69	2.96
4	1.33	3.75	1.12	3.55
5	0.91	3.58	0.74	2.68
6	1.51	4.69	0.88	2.64
7	1.3	4.52	0.5	2.28
8	1.23	4.18	0.81	3.23
9	1.3	3.52	1.06	3.62
10	0.98	2.92	1.11	3.43
11	1.15	3.72	1.54	3.46
12	0.94	2.42	0.68	2.28
平均	1.12	3.50	0.87	2.90

註：差值為 $2\times\text{CO}_2-1\times\text{CO}_2$ ($^{\circ}\text{C}$)，比值為 $2\times\text{CO}_2/1\times\text{CO}_2$ 。

RSM 預設情境

RSM 的平衡試驗主要乃利用 NCAR-CCM3 大尺度氣候模式聯絡 RSM 區域模式進行模擬，不過其基準不同於 GCMs 的平衡試驗。RSM 的平衡試驗之一倍二氧化碳是指 355ppm，而兩倍二氧化碳 $2\times\text{CO}_2$ 指的是 710ppm。RSM 模式採用多重巢狀網格，共有三種不同解析度之模式，分別為 RSM0、RSM1 及 RSM2。RSM0 為最大的區域範圍模式，解析度 $280\text{ km}\times 280\text{ km}$ 。RSM0 可視為 CCM3 解析度之區域模擬，用以探討不同模式物理之影響。RSM1 解析度 $50\text{ km}\times 50\text{ km}$ ，以台灣為中心涵蓋大陸東南。RSM2 解析度 $15\text{ km}\times 15\text{ km}$ 。目前所列出的情境乃 RSM-96V 版之區域模式結果，主要乃模擬全球變遷在乾季 (DJF, 12 月~2 月) 以及濕季 (JJA, 6 月~8 月) 的影響。由於只有乾濕兩季的輸出資料，並無每月的資料，所以於預設情境之使用上乃以乾季資料代表 11 月~4 月資料，濕季代表 5 月~10 月資料。而 RSM 於台灣各氣象站之預設情境分別如表 3.5~3.7 所示。



表 3.5 RSM0 之預設情境

乾季降雨比值	濕季降雨比值	乾季溫度差值	濕季溫度差值	備註
1.23	1.25	2.37	1.12	因為在台灣只有一點，所以所有氣象站皆以此資料為依據

註：乾季為 11 月至隔年 4 月，濕季為 5 月至 10 月，差值為 $2\times\text{CO}_2-1\times\text{CO}_2$ ($^{\circ}\text{C}$)，比值為 $2\times\text{CO}_2/1\times\text{CO}_2$ 。

表 3.6 RSM1 之預設情境

編號	緯度	經度	乾季降雨比值	濕季降雨比值	乾季溫度差值	濕季溫度差值	鄰近氣象站
Rsm1_01	22.6	120.51	1.27	1.33	2.44	1.19	高雄、大武、恆春、蘭嶼
Rsm1_02	23.05	120.51	1.19	1.05	2.5	1.28	台南、東吉島
Rsm1_03	23.05	121	1.07	1.25	2.38	1.22	台東、成功
Rsm1_04	23.5	120.51	1.11	0.96	2.54	1.4	澎湖、嘉義
Rsm1_05	23.5	121	0.95	0.89	2.38	1.37	玉山、阿里山
Rsm1_06	23.95	120.51	1.03	1.10	2.51	1.5	梧棲、台中
Rsm1_07	23.95	121	0.97	0.85	2.36	1.45	日月潭
Rsm1_08	23.95	121.49	1.12	0.91	2.28	1.47	花蓮
Rsm1_11	24.84	121	1.21	1.39	2.31	1.43	新竹
Rsm1_12	24.84	121.49	1.27	1.15	2.33	1.43	宜蘭、淡水、台北、鞍部、竹子湖、基隆、彭佳嶼

註：乾季為 11 月至隔年 4 月，濕季為 5 月至 10 月，差值為 $2\times\text{CO}_2-1\times\text{CO}_2$ ($^{\circ}\text{C}$)，比值為 $2\times\text{CO}_2/1\times\text{CO}_2$ 。

表 3.7 氣象站鄰近 RSM2 格點列表及 $2\times\text{CO}_2$ 與 $1\times\text{CO}_2$ 之降雨比值、溫度差值

編號	緯度	精度	乾季降雨比值	濕季降雨比值	乾季溫度差值	濕季溫度差值	鄰近氣象站
Rsm2_01	22.28	120.71	1.04	1.27	2.37	1.5	恆春
Rsm2_04	22.42	120.85	1.07	1.12	2.34	1.49	蘭嶼、大武
Rsm2_05	22.55	120.41	1.31	0.99	2.97	1.45	高雄
Rsm2_21	22.82	121.15	1.28	1.40	2.33	1.46	台東
Rsm2_29	23.09	120.12	1.26	1.14	2.63	1.46	東吉島
Rsm2_30	23.09	120.26	1.23	1.21	3.04	1.37	台南
Rsm2_37	23.09	121.29	1.38	1.19	2.31	1.5	成功
Rsm2_55	23.5	120.41	1.15	1.37	3.38	1.36	嘉義
Rsm2_58	23.5	120.85	1.58	0.95	2.48	1.59	阿里山
Rsm2_59	23.5	121	1.57	0.89	2.45	1.54	玉山



Rsm2_63	23.63	120.26	0.94	0.98	2.99	1.52	澎湖
Rsm2_84	23.9	120.85	1.31	1.01	3.1	1.65	日月潭
Rsm2_95	24.04	121.44	1.57	1.16	2.64	1.48	花蓮
Rsm2_96	24.17	120.56	0.99	1.10	3.39	1.65	梧棲
Rsm2_97	24.17	120.71	0.94	1.13	3.72	1.54	台中
Rsm2_126	24.57	121.74	1.38	1.46	2.54	1.5	蘇澳
Rsm2_132	24.71	121.74	1.36	1.37	2.53	1.52	宜蘭
Rsm2_133	24.84	121	1.14	1.24	2.78	1.57	新竹
Rsm2_141	24.98	121.44	1.29	1.06	2.45	1.53	台北
Rsm2_144	24.98	121.88	1.21	1.31	2.45	1.54	彭佳嶼
Rsm2_145	25.11	121.44	1.18	0.99	2.39	1.56	淡水
Rsm2_146	25.11	121.59	1.19	1.23	2.4	1.51	鞍部、竹子湖、基隆

註：乾季為 11 月至隔年 4 月，濕季為 5 月至 10 月，差值為 $2\times\text{CO}_2-1\times\text{CO}_2$ ($^{\circ}\text{C}$)，比值為 $2\times\text{CO}_2/1\times\text{CO}_2$ 。

3.1.2 漸變預設情境

不同於平衡試驗情境，漸變預設情境屬於溫室氣體排放情境，亦即預測未來可能之經濟、人口、工業與環境的發展趨勢，提出可能溫室氣體排放的趨勢，然後再以 GCMs 預測對應之氣候變化。1992 年 IPCC 提出 IS92 情境時，並未著重於溫室氣體排放的驅動力及造成驅動力的原因，以及同時考慮到能源的使用與提供、發展程度不同之國家的差異及硫化合物氣體的排放。也因此 1992 年決定將來開始制定此排放情境特別報告 (Special Report on Emissions Scenarios, 簡稱 SRES)，而於 2000 年完成此報告之制定，並訂立四類情節 (Storyline) 來闡述未來不同的發展可能導致的溫室氣體排放情境。

SRES 考慮到未來可能致力於經濟發展，或是朝永續利用的目標等不同程度的可能情形，以及考慮全球性或是區域性不同發展帶來的影響。分成了 A1、A2、B1、B2 四個情節，說明如下：

A1：代表快速的經濟成長，全球人口在 21 世紀中時期達到尖峰，之後便開始下降。並且擁有有效的科技技術。主要的主題在於實際人口的減少、地區的聚合、建築物的容積、教育的增進與社會的影響。而 A1 共分為三個群組分別為：

A1F1：化石燃料使用的增加(指煤、石油、天然氣等)。

A1T：增加非化石燃料的來源使用。

A1B：所有能源平衡使用。



- A2 : 描述一個非常多變異性組成的世界。主要主題在於各國自力更生，與維持地方發展，而全球人口不斷地增加。經濟成長主要為區域性成長，而每人經濟成長率及技術的改進較其他情節破碎且緩慢。
- B1 : 如同 A1 情節，全球人口在 21 世紀中時期達到尖峰，之後開始下降，但經濟結構卻朝向一個服務與資訊的經濟結構。能源使用減少，並引用較乾淨且有效率之技術。注重經濟、社會與環境的永續性，卻不考慮額外的起始氣候條件。
- B2 : 主要描述地方性經濟、社會與環境永續性的結果。全球人口持續增加，卻比 A2 情節慢。經濟發展中等，而科技的改變比 B1，A1 較緩且更多相異性。而情節主要也以社會平等與環境的保護為目標，且發展為區域性發展。

綜合以上說明，SRES 情節其實可由圖 3.3 來簡單說明，四個情節主要差異在於經濟發展或致力於環境維護以及區域性發展或全球性發展等不同程度而分成的四個情節。SRES 將未來發展分成四個情節之後，每個情節包含數個協調的情境以及 1~4 個具不確定性的情境，組成了共 40 個情境的資料，提供研究者與各國決策者使用。四個情節的排放情形可由圖 3.4 看出。顯示出不同的經濟、人口、環境發展將導致不同的排放情形，也因此未來的發展與調適策略將影響排放程度，而排放程度亦影響未來發展與調適策略。

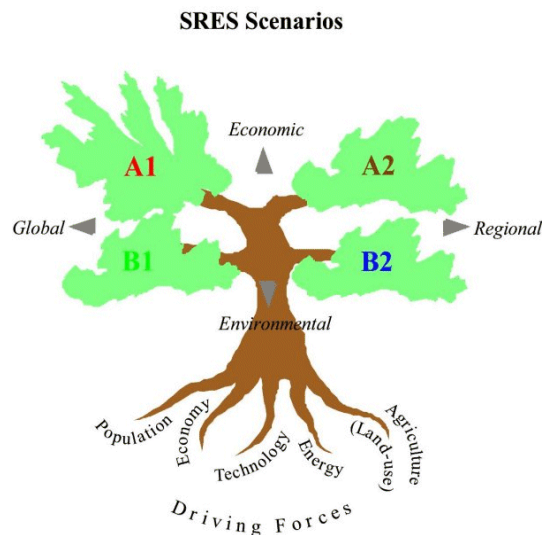


圖 3.3 SRES 四個情節之不同。主要乃依經濟發展或致力於環境維護以及區域性發展或全球性發展等不同程度而分成的四個情節。如 A1 為致力於經濟發展，且全球改變較一致。(摘自 IPCC Special Report on Emissions Scenarios, Fig4-1.1)



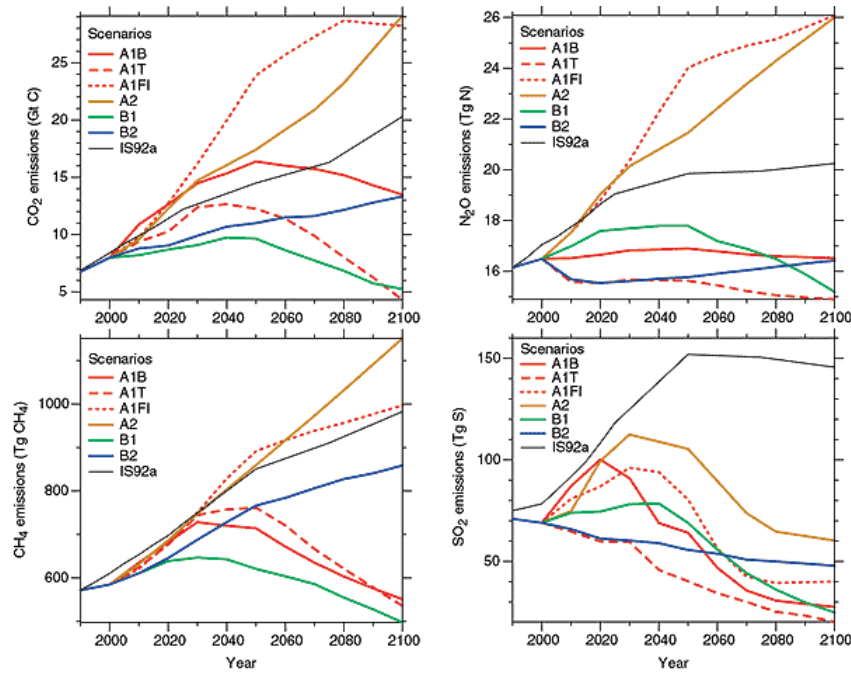


圖 3.4 各種 SRES 情境與 IS92 情境之不同溫室氣體排放情境(IPCC, 2001)

依據 IPCC 第三次報告，目前依照 SRES 排放情境所模擬出來的情境以 A2 與 B2 情節為主。所有大氣環流模式之輸出資料均可由 IPCC Data Distribution Center(IPCC DDC)(http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/asres/sres_home.html) 獲得。目前共提供六個模式輸出資料，本文之 SRES 情境擬採用多數人使用之 CCCma 之 CGCM2 模式、HCCPR 之 HADCM3 模式及 CSIRO 之 CSIRO-Mk2 模式之輸出資料。此三種模式均為 GCMs 中之大氣環流模式(AGCM)與海洋環流模式(OGCM)偶合之模式(AOGCMs)。由於 AOGCMs 模擬出之月平均氣候資料較具不確定性，因此 IPCC 建議將此資料以三十年為週期做平均，來代表未來之氣候變遷情形。以 IPCC DDC 所提供之方法為例，其 Base-line 是以 1961-1990 資料為現況資料，以 2010-2039 年資料進行平均，代表 2025 年氣候變遷資料，可做為短期氣候變遷預設情境；2040-2069 年資料進行平均，代表 2055 年氣候變遷資料，可做為中期氣候變遷預設情境；2070-2099 年資料進行平均，代表 2085 年氣候變遷資料，可做為長期氣候變遷預設情境。SRES 預設情境資料則分別列表如下，表 3.8~3.13 為 SRES-A2 預設情境，表 3.14~3.19 為 SRES-B2 預設情境。各模式輸出點所對應台灣各氣象站可參照表 3.1。



表 3.8 CGCM2 模式輸出之 SRES-A2 短期、中期、長期預設情境(雨量差值)

	經度 120.0, 緯度 24.1			經度 123.8, 緯度 24.1		
月份	短期	中期	長期	短期	中期	長期
1	0.05	0.09	0.34	-0.39	-0.54	-0.08
2	0.01	-0.29	0.28	-0.99	-1	-0.42
3	-0.07	-0.31	0.28	-0.22	-0.55	-0.09
4	-0.23	-0.11	0.2	-0.45	-0.29	0.12
5	0.24	-0.08	-0.08	0	-0.55	-0.34
6	1.79	0.87	3.12	0.69	0.96	4.32
7	3.85	3.23	6.32	4.51	1.25	6.48
8	-0.46	-0.26	3.24	-1.91	-0.1	0.71
9	2.43	3.18	4.46	0.15	1.22	1.06
10	-0.06	1.42	0.73	-1.27	0.29	0.15
11	-0.26	0.6	0.29	-0.64	0.02	-0.55
12	-0.25	-0.39	0.09	-0.91	-1.28	-0.2
平均	0.59	0.66	1.61	-0.12	-0.05	0.93

表 3.9 CGCM2 模式輸出之 SRES-A2 短期、中期、長期預設情境(氣溫差值)

	經度 120.0, 緯度 24.1			經度 123.8, 緯度 24.1		
月份	短期	中期	長期	短期	中期	長期
1	1.08	2.86	4.14	0.31	1.62	2.83
2	1.44	2.7	3.29	1.16	2.38	3.32
3	0.43	1.72	2.36	0.85	2.03	2.71
4	0.32	1.83	2.27	0.96	1.6	2.44
5	1.34	2.02	2.43	1.2	1.93	2.4
6	0.11	1.25	1.68	0.64	1.83	2.19
7	-1.78	-1.18	-0.99	-0.95	-0.28	-0.19
8	-0.42	0.21	0.87	-0.25	0.32	1.06
9	0.54	1.32	2.17	0.49	1.1	2.23
10	1.03	2.45	3.62	0.5	1.94	2.94
11	1.65	1.82	2.89	0.85	1.11	1.98
12	1.01	1.59	3.3	0.36	0.7	2.83
平均	0.56	1.55	2.34	0.51	1.36	2.23



表 3.10 HADCM3 模式輸出之 SRES-A2 短期、中期、長期預設情境(雨量差值)

	經度 120.0, 緯度 25.0			經度 120.0, 緯度 22.5		
月份	短期	中期	長期	短期	中期	長期
1	0.06	0.09	0.03	-0.05	-0.01	0.03
2	0.06	0.12	-0.06	0	0.1	-0.02
3	0.02	0.03	0.02	0.04	0.05	0.04
4	0.02	0.02	0.02	0.04	0	0.02
5	0.06	0.03	0.06	0.08	0.05	0.11
6	0.56	-0.14	0.3	0.93	-0.25	-0.19
7	0.75	0.48	0.84	1.14	1.26	2.27
8	0.03	-0.27	0.17	1.11	0.71	2.03
9	-0.1	0.45	0.6	0.21	0.51	1.62
10	0.32	0.19	0.06	0.18	0.21	0.26
11	-0.01	0.02	0.05	0.01	0.08	0.09
12	0.13	-0.06	0	0.02	-0.12	-0.07
平均	0.16	0.08	0.17	0.31	0.22	0.52

表 3.11 HADCM3 模式輸出之 SRES-A2 短期、中期、長期預設情境(氣溫差值)

	經度 120.0, 緯度 25.0			經度 120.0, 緯度 22.5		
月份	短期	中期	長期	短期	中期	長期
1	1.62	3.41	5.15	1.52	3.1	5.01
2	0.56	2.46	3.96	0.87	2.53	4.3
3	1.07	2.43	4.24	1.09	2.47	4.44
4	1.54	2.76	4.69	1.53	2.74	4.73
5	1.64	2.93	4.8	1.48	2.79	4.59
6	0.69	2.72	4.26	0.86	2.77	4.14
7	0.17	1.67	2.72	0.14	1.34	2.42
8	0.51	1.89	3.23	0.53	1.63	2.38
9	0.8	2.42	4.73	0.76	2.28	4.11
10	1.21	3.44	5.65	1.02	3.2	5.35
11	1.49	2.84	4.48	1.53	2.98	4.62
12	1.19	3.27	4.23	1.03	3.2	4.36
平均	1.04	2.69	4.35	1.03	2.59	4.20



表 3.12 CSIRO-Mk2 模式輸出之 SRES-A2 短期、中期、長期預設情境(雨量差值)

	經度 120.0, 緯度 24.1			經度 123.8, 緯度 24.1		
月份	短期	中期	長期	短期	中期	長期
1	-0.14	-0.72	-0.69	-0.26	-0.25	-0.34
2	-0.11	-0.33	-0.38	-0.09	-0.14	-0.16
3	-0.21	-0.28	-0.39	-0.14	-0.15	-0.38
4	-0.2	-0.13	-0.13	-0.19	-0.22	-0.2
5	-0.02	0.01	0.14	-0.03	-0.04	0.15
6	0.18	0.05	0.22	0.17	0.14	0.36
7	-0.03	0	-0.04	-0.02	0.12	0.05
8	0	0	0	-0.01	0.07	0.16
9	0.01	0.06	0.03	0.02	0.06	0.04
10	-0.15	-0.16	0.09	-0.09	-0.08	0.05
11	-0.03	-0.09	0.08	-0.02	0.06	0.11
12	0.03	-0.4	-0.42	-0.13	-0.18	-0.06
平均	-0.06	-0.17	-0.12	-0.07	-0.05	-0.02

表 3.13 CSIRO-Mk2 模式輸出之 SRES-A2 短期、中期、長期預設情境(氣溫差值)

	經度 120.0, 緯度 24.1			經度 123.8, 緯度 24.1		
月份	短期	中期	長期	短期	中期	長期
1	1.02	1.84	3.28	0.81	1.78	3.17
2	1.1	1.95	3.42	0.9	1.87	3.25
3	1.07	2.12	3.5	0.92	2.04	3.36
4	1.16	2.17	3.67	1.09	2.18	3.62
5	1.15	2.19	3.6	1	2.05	3.45
6	1.08	2.13	3.5	0.94	1.94	3.29
7	1.09	2.14	3.48	1	2.01	3.37
8	1.07	2.05	3.47	0.93	1.91	3.36
9	1.04	1.91	3.48	0.84	1.71	3.26
10	0.98	1.99	3.61	0.77	1.83	3.45
11	0.96	1.98	3.59	0.86	1.92	3.58
12	0.98	1.84	3.3	0.84	1.76	3.27
平均	1.06	2.03	3.49	0.91	1.92	3.37



表 3.14 CGCM2 模式輸出之 SRES-B2 短期、中期、長期預設情境(雨量差值)

月份	經度 120.0, 緯度 24.1			經度 123.8, 緯度 24.1		
	短期	中期	長期	短期	中期	長期
1	0.06	0.21	0.3	-0.39	0.09	0.06
2	-0.18	0.04	-0.05	-1.11	-0.97	-0.85
3	-0.01	-0.07	-0.07	-0.04	0.09	-0.33
4	-0.25	0.29	0.14	-0.38	-0.2	-0.37
5	0.62	0.61	0.21	-0.13	0.47	-0.34
6	0.69	1.49	1.99	0.26	0.96	1.61
7	0.66	3.58	3.46	1.8	1.78	3.75
8	-0.66	-0.39	0.4	-2.29	-0.9	-1.11
9	3.27	1.85	3.38	2.17	1.65	0.78
10	0.62	1.41	1.53	-0.05	0.52	-0.02
11	0.44	1.03	0.33	0.89	0.27	-0.1
12	-0.2	0.55	-0.14	-0.99	0.23	-0.69
平均	0.42	0.88	0.96	-0.02	0.33	0.20

表 3.15 CGCM2 模式輸出之 SRES-B2 短期、中期、長期預設情境(氣溫差值)

月份	經度 120.0, 緯度 24.1			經度 123.8, 緯度 24.1		
	短期	中期	長期	短期	中期	長期
1	1.79	2.49	3.14	0.95	1.46	2.02
2	1.71	2.05	2.57	1.58	2.01	2.51
3	1	0.64	1.55	1.43	1.33	1.95
4	0.74	0.35	1.24	0.77	0.95	1.68
5	0.52	0.84	1.78	0.55	0.84	1.89
6	0.61	0.12	0.7	1.64	0.92	1.92
7	-0.42	-1.09	-1	0.52	-0.17	-0.09
8	-0.2	0.13	0.34	-0.02	0.23	0.48
9	0.74	1.04	1.5	0.63	0.95	1.42
10	1.42	2.41	2.8	1	1.88	2.09
11	1.56	2.13	1.98	1.07	1.31	1.25
12	1.3	1.83	2.07	0.41	1.37	1.49
平均	0.90	1.08	1.56	0.88	1.09	1.55



表 3.16 HADCM3 模式輸出之 SRES-B2 短期、中期、長期預設情境(雨量差值)

	經度 120.0, 緯度 25.0			經度 120.0, 緯度 22.5		
月份	短期	中期	長期	短期	中期	長期
1	0.21	-0.03	0.09	0.07	-0.08	0.11
2	0.05	-0.11	0.11	-0.07	-0.14	0.05
3	0.04	0.04	0.02	0.02	0.09	0.05
4	0.02	0	0.02	0.02	0	0.01
5	0.04	0.07	0.05	0.06	0.05	0.04
6	-0.41	0.5	0.01	-0.88	0.38	0.37
7	0.81	1.48	0.9	1.81	2.55	1.3
8	0.21	0.05	0.51	0.62	0.82	2.07
9	0.48	0.09	0.73	0.83	0.71	1.07
10	-0.07	0.07	0.14	-0.09	0.35	0.18
11	-0.01	0.06	-0.11	0.04	0.09	-0.11
12	0.09	-0.03	0.01	0.08	-0.11	-0.11
平均	0.12	0.18	0.21	0.21	0.39	0.42

表 3.17 HADCM3 模式輸出之 SRES-B2 短期、中期、長期預設情境(氣溫差值)

	經度 120.0, 緯度 25.0			經度 120.0, 緯度 22.5		
月份	短期	中期	長期	短期	中期	長期
1	1.11	3.12	3.45	1.01	2.64	3.54
2	1.09	2.2	3.14	1.42	2.45	3.44
3	1.22	2.02	2.81	1.28	2.16	2.91
4	0.97	2.5	3.45	0.99	2.5	3.45
5	1.24	2.09	3.18	1.3	2.17	3.4
6	1.44	1.68	2.94	1.8	1.78	2.61
7	-0.28	0.01	1.78	-0.63	-0.33	1.43
8	0.7	1.5	2.43	0.67	1.21	1.8
9	0.97	2.14	3	0.89	1.89	2.74
10	1.57	2.42	4.21	1.14	2.24	4.05
11	1.42	2.17	3.47	1.77	2.22	3.92
12	1.08	2.33	3.29	1.32	1.85	3.51
平均	1.04	2.02	3.10	1.08	1.90	3.07



表 3.18 CSIRO-Mk2 模式輸出之 SRES-B2 短期、中期、長期預設情境(雨量差值)

	經度 120.0, 緯度 24.1			經度 123.8, 緯度 24.1		
月份	短期	中期	長期	短期	中期	長期
1	-0.24	-0.49	-0.57	-0.28	-0.3	-0.28
2	-0.2	-0.21	-0.37	-0.01	-0.05	-0.18
3	-0.33	-0.23	-0.44	-0.1	-0.25	-0.26
4	-0.15	-0.21	-0.22	-0.18	-0.11	-0.28
5	-0.03	-0.03	-0.01	-0.06	-0.02	-0.02
6	0.26	-0.01	0.02	0.43	0.22	0.09
7	-0.04	-0.04	-0.03	-0.02	0	0
8	0	0.04	0.01	0.07	0.1	0.18
9	0.01	0.04	0.01	0.03	0.07	0.03
10	0.01	0.13	-0.03	0.04	0.05	0.06
11	-0.02	0.49	0.11	0.09	0.22	0.04
12	-0.3	-0.08	-0.21	0	-0.05	0.09
平均	-0.09	-0.05	-0.14	0.00	-0.01	-0.04

表 3.19 CSIRO-Mk2 模式輸出之 SRES-B2 短期、中期、長期預設情境(氣溫差值)

	經度 120.0, 緯度 24.1			經度 123.8, 緯度 24.1		
月份	短期	中期	長期	短期	中期	長期
1	1.26	1.92	2.54	1.17	1.87	2.5
2	1.33	1.86	2.66	1.26	1.92	2.57
3	1.41	1.9	2.7	1.31	1.94	2.58
4	1.51	2.11	2.88	1.42	2.13	2.77
5	1.42	2.12	2.87	1.27	1.97	2.63
6	1.39	1.99	2.81	1.2	1.76	2.52
7	1.43	2.06	2.79	1.32	1.86	2.64
8	1.41	2.05	2.77	1.26	1.84	2.6
9	1.34	2.01	2.67	1.15	1.74	2.46
10	1.3	2.04	2.63	1.2	1.79	2.49
11	1.31	2.03	2.72	1.28	1.89	2.68
12	1.25	1.92	2.54	1.17	1.83	2.57
平均	1.36	2.00	2.72	1.25	1.88	2.58



3.2 GCM 模式預測資料分析

圖 3.5(a)~3.5(c)為台北、台中、及台南降雨及溫度觀測與 GCM 氣候預測值月平均特性之比較。從圖中可看到溫度預測趨勢與觀測值相相近，降雨則有較大之差異。表 3.5 為相關係數分析，CSIRO 與 GFDL 之降雨預測結果均與觀測呈現負相關，因此依分析結果下結論十宜小心。

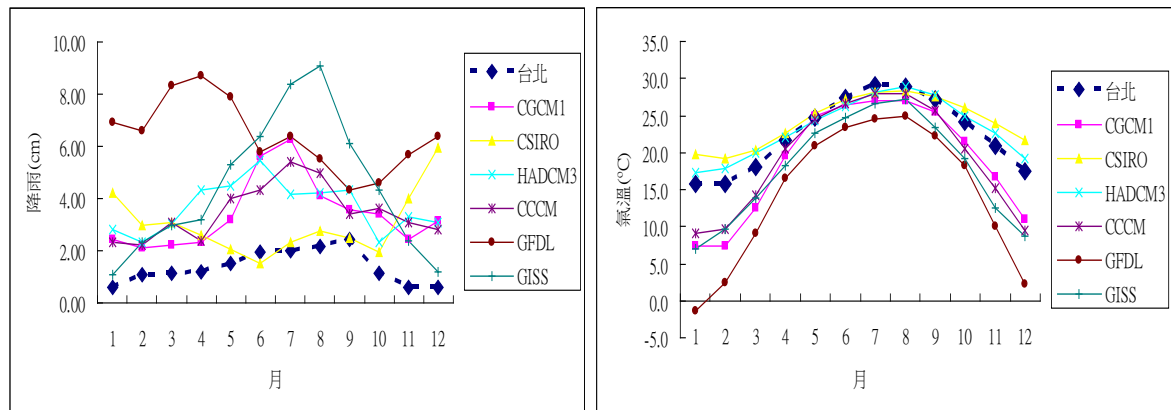


圖 3.5(a) 台北氣象站觀測資料與預設情境比較

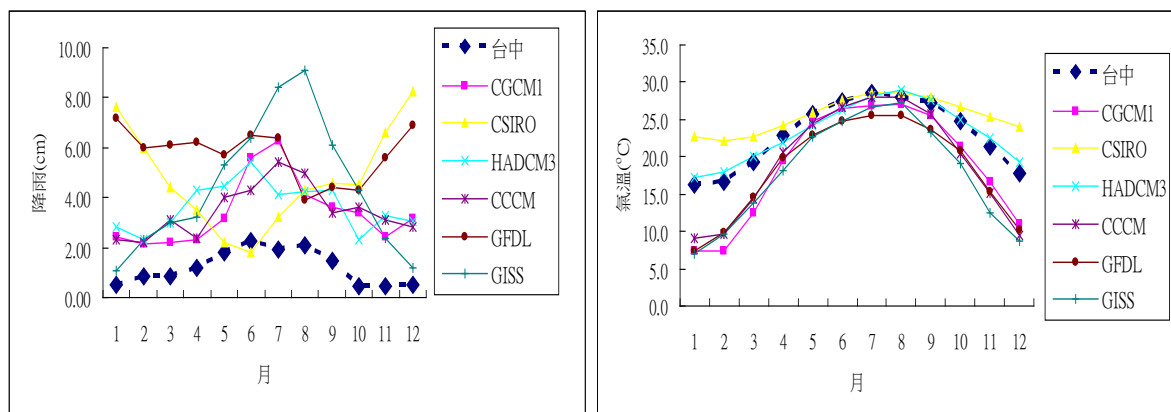


圖 3.5(b) 台中氣象站觀測資料與預設情境比較

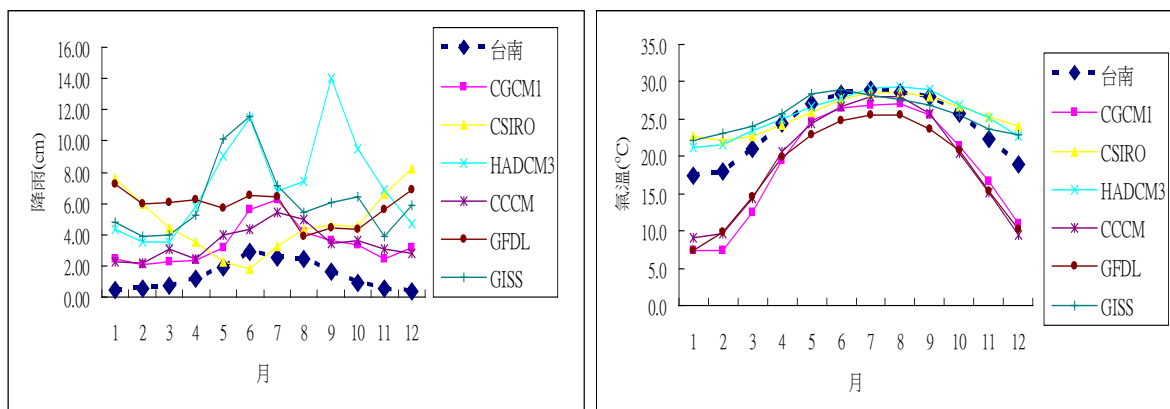


圖 3.5(c) 台南氣象站觀測資料與預設情境比較



表 3.20 氣象站觀測值與 GCM 鄰近網格點預測現況降雨及溫度月平均特性相關係數

	SRES			Country Study Program		
	CGCM1	CSIRO	HADCM3	CCCM	GFDL	GISS
台北						
雨量	0.68	-0.68	0.69	0.72	-0.36	0.91
氣溫	0.98	0.98	0.99	0.98	0.97	0.97
台中						
雨量	0.74	-0.80	0.86	0.76	-0.21	0.87
氣溫	1.00	0.95	0.98	0.99	0.99	0.98
台南						
雨量	0.85	-0.81	0.59	0.86	-0.26	0.72
氣溫	1.00	0.93	0.98	0.99	1.00	0.95
台東						
雨量	0.80	-0.57	0.69	0.84	-0.60	0.39
氣溫	0.99	0.97	0.99	0.99	0.99	0.94

3.3 氣象資料合成模式

前面說明降尺度之方法包括利用氣候模式預測改變量修正氣象合成模式參數，再合成資料、利用集水區氣象與大區域氣候型態關係來進行資料轉換。本節首先利用簡易序率氣象資料合成模式說明上述第一類降尺度方法之應用。

3.3.1 序率氣象資料合成模式

利用各情境所提供之預測值修正溫度與降雨量月平均資料，將修正後未來的溫度及降雨量資料代入氣象資料合成模式中，可模擬得未來氣候之各模式預測之日溫度與日降雨量資料。並利用目前的氣候資料帶入氣象資料合成模式，可模擬得現況之合成氣候資料，利用以上現況之合成氣象資料與氣候變遷預設情境合成氣象資料，便可分別進行現況與氣候變遷影響評估之模擬。

許多評估模式需要日氣象資料當做輸入值，然在氣候變遷研究上，容易取得的預測資料為月之統計特性，較少日資料可直接利用，因此必須根據月資料及合成模式以產生氣象資料。本研究採用之溫度及降雨合成模式如(Tung and Haith, 1995)，簡單說明如下：

日溫度模擬模式

未來氣候條件下日溫度之模擬，由月平均溫度，透過一階馬可夫鏈做模擬(Pickering et al, 1988；Tung, 1995)，其方程式如下：

$$T_i = \mu_{Tm} + \rho(T_{i-1} - \mu_{Tm}) + v_i \sigma_T \sqrt{1 - \rho^2} \quad (3.7)$$



方程式中 T_i 為第 i 天的溫度， μ_T 為對應該月平均溫度， ρ 為該月份 T_i 與 T_{i-1} 之一階系列相關係數 (First order serial correlation coefficient)。 v_i 屬於 $N(0,1)$ (Normal sampling deviate)， σ_T 為歷史資料對應該月份之標準偏差。假設每月的第一天溫度以該月的月平均溫度代替；於是便可經由歷史溫度資料模擬出未來新的日溫度資料了。

日降水量模擬模式

日降雨量之模擬，可分為降雨事件和降雨發生時之降雨量。降雨事件之模擬以歷史資料為演算依據，統計各月中第 $I-1$ 日降雨時，第 I 日降雨的機率，表示為 $P(W|W)$ ；各月中第 $I-1$ 日不降雨時，第 I 日降雨的機率，表示為 $P(W|D)$ 。當每月第一天，模擬產生 $(0,1)$ 間之亂數 RN ，當 RN 小於或等於該月降雨機率 $P(W)$ 時，表示此日為降雨日；每月除第一日外，其餘日則利用前一日的降雨情形判定為降雨日或非降雨日，依照 $P(W|W)$ 或 $P(W|D)$ 的歷史資料平均值，若亂數 RN 小於或等於 $P(W|W)$ 或 $P(W|D)$ 時，判定該日為降雨日。其第 I 天降雨事件判別式如下：

若第 $I-1$ 天降雨量 > 0 且 $RN \leq P(W|W)$ ，則第 I 天會降雨；否則，則第 I 天不會降雨

若第 $I-1$ 天降雨量 $= 0$ 且 $RN \leq P(W|D)$ ，則第 I 天會降雨；否則，則第 I 天不會降雨

降雨量值之模擬，根據洪念民 (1997) 可知由指數分佈 (Exponential distribution) 可模擬出理想的氣候資料。指數分佈方程式如下：

$$P = \mu_p(I) \times [-\ln(1 - RN)] \quad (3.8)$$

上列方程式中 P 為日降雨量 (cm)， $\mu_p(I)$ 為對應第 I 月份雨天之平均降雨量 (cm)， RN 為介於 $(0, 1)$ 間的隨機亂數。

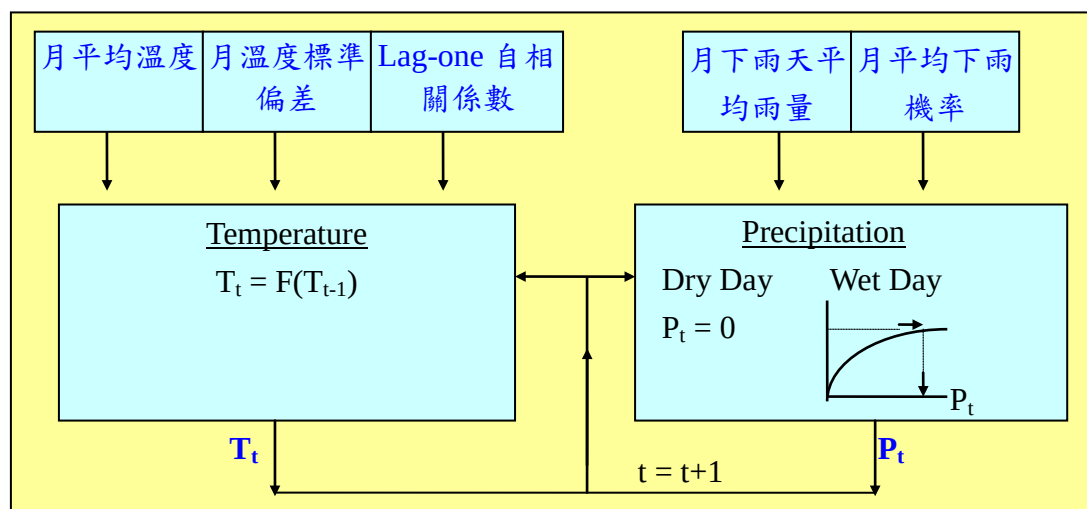


圖 3.6 簡易序率氣象合成模式



3.4 統計降尺度分析

