

第一章 緒論

1.1 氣候系統

天氣是指每小時、每天大氣之變化情況；而氣候是指長期天氣統計特性，如氣候之溫度為一段時間天氣之平均值。我們可以知道 1000 年前平均溫度幾度（氣候），但無法知道 1000 年前 1006 年 9 月 21 日天氣如何。同理，我們可以預測未來 100 年平均溫度變化趨勢，但無法預測 2106 年 9 月 21 日天氣如何。你要出國留學或移居到一個新的地區，氣候資料可以提供資訊以決定是否需要裝置冷氣機，但是否要開冷氣則必須仰賴天氣資訊。本課程談的是「氣候」變遷，顧名思義即是探討長期天氣統計特性之變化。

天氣變化或氣候的變異為受到氣候系統各單元間相互作用及外部因素之影響。因為大氣系統的不穩定性及高度非線性之混沌（chaotic）動態特性，很難以精確預測超過一、二週以後之天氣。「蝴蝶效應」即在描述天氣之高度變動性，意指當蝴蝶於某處揮動翅膀，造成氣候系統輕微擾動，則可能在遙遠另一地產生劇烈天氣變動，此亦即為混沌理論（chaos）之特性。因此，當氣候系統受到人為或自然擾動，即可能產生顯著之氣候變遷。

氣候系統內部單元包括大氣、海洋、冰、土地、與生態圈；而外部影響因子包括太陽輻射、地球自轉、地球公轉軌道、大氣組成、海水組成、陸域與地形。氣候由內部單元及外部因素決定，變動其中某一項，均可能造成氣候變遷，只是其發生頻率與影響時間尺度有所不同。發生及延續時間隨因素不同而不同。例如，主要火山爆發之時間間距約為 10 年，而其影響天氣為 1、2 年；地球公轉軌道變動，可能數萬年才有顯著不同，而影響氣候可能亦是延續數萬年。

1992年聯合國158個會員國齊聚巴西里約熱內盧召開地球高峰會，其中一項重要成就為訂定「氣候變遷綱要公約（The United Nations Framework Convention on Climate Change）」，具體探討人類對氣候系統之衝擊與氣候變遷可能帶來之衝擊。在該公約中具體定義氣候系統與氣候變遷為

Climate System :

“the totality of the atmosphere, hydrosphere, biosphere and geosphere and their interactions”



Climate Change :

“a change of climate which is attributed directly or indirectly to human activities that alters the composition of the global atmosphere and which is in addition to natural climate variability observed over comparable time periods .”

根據「氣候變化綱要公約」之定義，其處理之氣候變遷是指人為活動直接或間接改變大氣組成，並在相同分析尺度下造成高於正常之自然變異。人類行為所改變，如溫室氣體增加、森林砍伐、與土地利用變更等；自然因素影響如火山爆發、太陽黑紫、間冰期等。本教材主要在探討如何評估氣候變遷衝擊影響與建立調適策略，因此，主要針對人為造成之氣候變化，並且是指具統計特性之長期氣候變化，而非短期之天氣變動。

大氣

整個地球氣候系統主要由太陽能量輸入，在整個從地表到大氣層外緣，主要吸收太陽輻射者為地表、大氣中臭氧、及大氣外緣之氧分子。大氣因此三個加熱源不同，而導致溫度隨高度有不同變化趨勢不同。臭氧最大濃度分佈於約地表上方 28 公里處，但大氣中主要之加熱約在地表上方 50 公里處，此乃因為臭氧為一非常有效之短波吸收者，上層些許臭氧濃度即能吸收大量其可吸收波段之太陽輻射。大氣層外緣氧分子(O₂)吸收太陽輻射，加熱大氣，在此層原子及分子已經較少，因此吸收少許之輻射能量，即能產生很高之加溫作用。

海洋

海洋包含 70% 地球表面，海洋的流動、高熱容量、和它的生態系統對地球之氣候及其變異性有顯著之影響，包括海面上之風帶動大範圍之海流、提供大氣熱能與水蒸氣、且海洋是一個重要 CO₂ 吸收者。目前在氣候模擬模式中，主要模式均為耦合模式 (Coupling Model)，即包括大氣循環模式 (Atmospheric General Circulation Model, AGCM) 與海洋循環模式 (OGCM)。如未考量海洋之影響將高估氣候變遷 (Why?)。

冰圈

冰的影響包括陸地與海洋的冰與雪，其影響時間尺度可能從季節、100 年、1000 年。如下雪之影響為季節性，海冰與陸冰之影響則較久遠。冰雪之影響主要是其表面之反照率較高，大部分太陽輻射能量均會被反射，而影響地表能量平衡關係。此外，海冰會阻斷海水與大氣間之熱能交換、影響海水鹽分、及海平面。陸冰融化亦會影響



海水鹽分及海平面。海冰回隨海流飄移，具有較高不確定性，因此，General Circulation Model (GCM)模擬未來氣候之不確定性來源中，海冰之考量具有一定之影響。

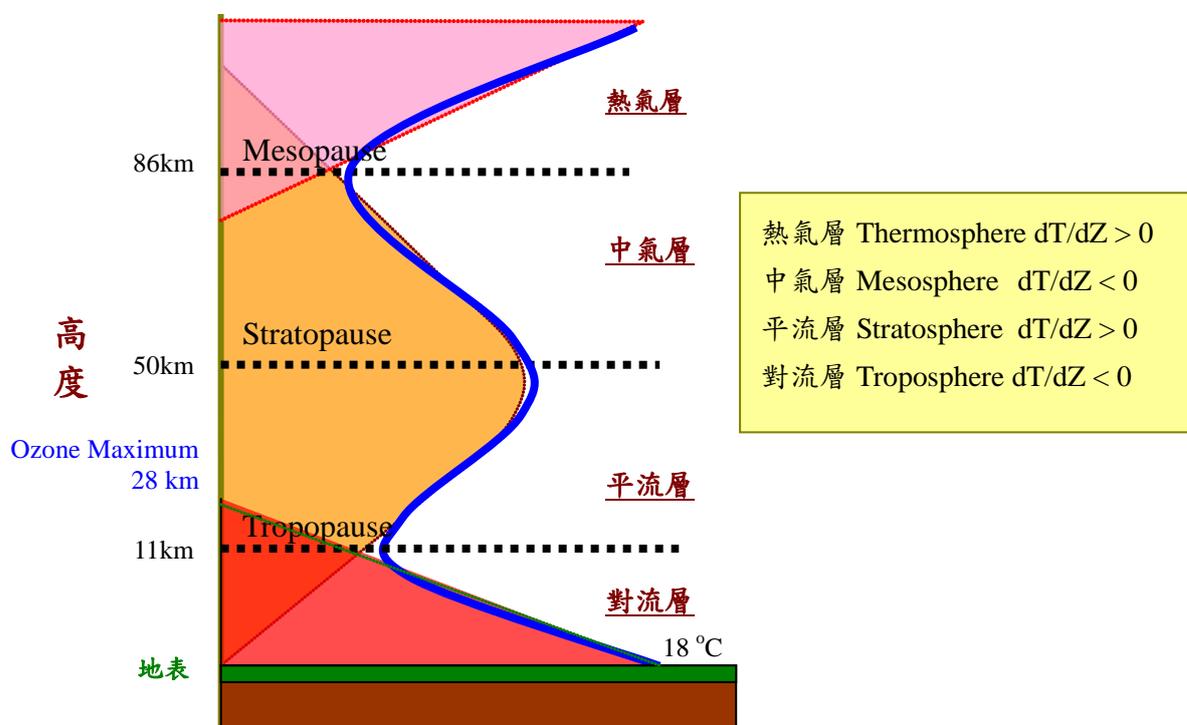


圖 1.1 大氣溫度剖面

陸地生態圈

土地有較低熱容量，因此地表溫度很容易升高；土壤水份改變將影響熱容量，也因而影響潛熱(latent heat due to evapotranspiration)與可感熱(and sensible heat)；植生改變將影響地表反照率(albedo)、地表糙度(roughness)、及逕流與土壤水分，這些會影響邊界層氣候，進一步影響大氣系統。地表及生存於陸地之生態系統對二氧化碳及其它微量氣體(trace gases)均有重要之影響，如森林為 CO₂ 之源(Source)與匯(Sink)，森林砍伐會顯著影響大氣 CO₂。在氣候系統模擬中，地表歷程(land process)是一重要機制，其主管大氣與陸地間水氣與能量之交換。

1.2 大氣組成與輻射能量吸收特性

目前地球大氣主要氣體為氮 (N₂, 78.08%)與氧(O₂, 20.95%)，氧氣為支持動植物生存之重要氣體。大氣中存在一些微量氣體(Trace Gases)，雖然其並不如氧及氮佔那麼大比例，也不像氧氣對動植物那麼直接，然其透過對輻射能量之影響而影響生態圈亦相



當重要。這些微量氣體包括 CO₂、N₂O、CH₄、及 CFCs 等，其體積百分比相對於主要氣體很小(表 1.1)。

表 1.1 主要與微量氣體之體積百分比

主要氣體	體積百分比 (%)	微量氣體	體積百分比 (%)
氮	78.08	水蒸氣	0~4
氧	20.95	二氧化碳	0.035
氫	0.93	甲烷	0.00017
氬	0.0018	氧化亞氮	0.00003
氖	0.0005	臭氧	0.000004
氫	0.00006	CFCs	0.00000001

太陽因為溫度高，其輻射能量高波長較短(為短波輻射)，而地球系統吸收能量後，相對於太陽能量較低，其輻射能量較低波長較長(為長波輻射)，太陽與地球輻射波長分布如圖 1.2。大氣中氣體會同時影響短波輻射與長波輻射，進而影響地球之能量平衡，能量平衡則影響地球之氣候系統。因此，若當大氣組成受到外在因素影響而改變，則氣候系統也會隨之變遷。

不同大氣氣體其對輻射影響不同，其分別有其吸收之波段，如表 1.2 與圖 1.3 所示，主要吸收短波輻射之大氣分子包括

- ◇ 臭氧 (O₃, Ozone)：主平流層要在 (Stratosphere)
- ◇ 氧原子 (O₂, molecular oxygen)
- ◇ 水蒸氣 (H₂O, water vapor)
- ◇ 二氧化碳 (CO₂, Carbon dioxide)

在圖 1.3 中可看到 O₃ 主要吸收之波段在紫外線區域，因此在到達地面輻射能量之波譜中，紫外線大部分能量被吸收 O₃。過去氟氯碳化物 (CFCs) 之大量使用，其釋放氯離子會破壞 O₃，形成臭氧層破洞，因而可能增加紫外線區域輻射能量，進而造成人體危害。CFCs 會釋出氯離子，而其生命週期約 100 年，因此增加 CFCs 濃度對臭氧層之破壞是非常久遠。1987 年蒙特婁公約(the Montreal Protocol)世界各國達成共識，並定下時間表以減少 CFC 的排放。1992 年哥本哈根會議，各國決議協助第三世界國家發展替代用品。近年來由於管制得宜，大氣中 CFC 之濃度以趨於穩定，臭氧層破洞亦觀測到有減小之趨勢。(臭氧層破洞是否導致氣候變遷?)



圖 1.3 中另一有趣之現象為太陽輻射在可見光範圍(0.4 to 0.8 μm)，被大氣吸收相當少，大部分可穿透大氣層到達地表，此部分稱為 Atmosphere Shortwave Window。此部分之輻射能量約佔進入大氣太陽輻射能量之 50%，此部分亦為植物行光合作用主要之輻射能量。圖 1.3 中可看到在長波範圍，有許多主要之長波輻射吸收氣體，包括 H_2O 、 CO_2 、 O_3 、 CH_4 、 N_2O 、 CO 、CFCs。長波輻射為地球吸收能量後再釋放之能量，因為有這些氣體，截取部分由地表向外太空輻射之能量，然後部分能量再輻射回地表，而具有加溫作用。這些氣體讓向下之太陽短波輻射通過，但吸收再輻射地表向上之長波輻射，其作用有如溫室，因此，亦稱之為溫室氣體(Greenhouse Gases, GHGs)。

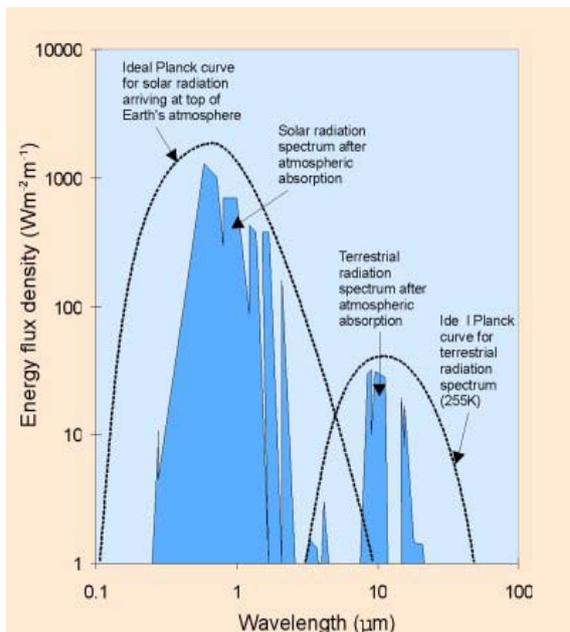


圖 1.2 太陽與地表輻射波長分布圖

表 1.2 大氣氣體與主要輻射吸收波長

Gas	Absorption wavelengths (μm)
N_2	< 0.1
O_2	< 0.245
O_3	0.17-0.35
	0.45-0.75
H_2O	< 0.21
	0.6-0.72
H_2O_2 hydrogen peroxide	< 0.35
NO_2 nitrogen oxide	< 0.6*
N_2O	< 0.24
NO_3 nitrate radical	0.41-0.67
HONO nitrous acid	< 0.4
HNO_3 nitric acid	< 0.33
CH_3Br methyl bromide	< 0.26
CFCl_3 (CFC11)	< 0.23
HCHO formaldehyde	0.25-0.36

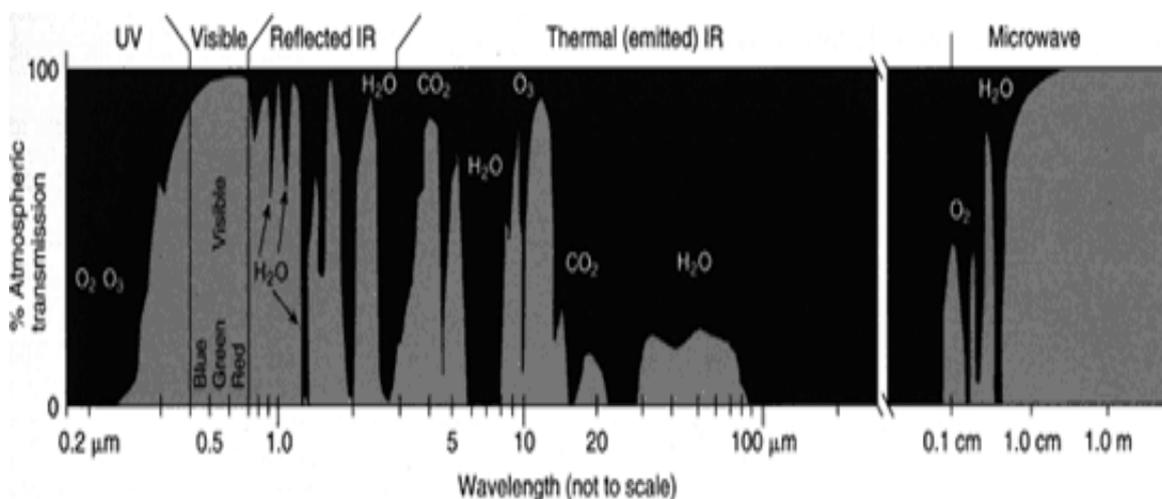


圖 1.3 大氣吸收輻射能量之波譜



1.3 溫室效應

何謂溫室效應？溫室效應即指前述溫室氣體(e.g. CO₂, N₂O, CH₄, CFCs, etc.)在大氣中扮演類似溫室玻璃之功能，即讓太陽短波輻射穿透，卻吸收與再輻射地表長波輻射，而造成加溫之作用。「人類活動造成溫室效應，因而導致全球暖化?!」對嗎?當然不對！上述說明常常見到，然卻是錯誤之說明。溫室效應本來就存在於地球系統，若無溫室效應，則地球在能量平衡計算下，全球平均溫度約僅有-18 °C，然觀測到之平均溫度卻為 14.5 °C，溫室效應已讓地球系統溫度上升 32.5 °C。現今面臨問題是人為活動增加溫室氣體排放，因而加強溫室效應導致全球暖化。

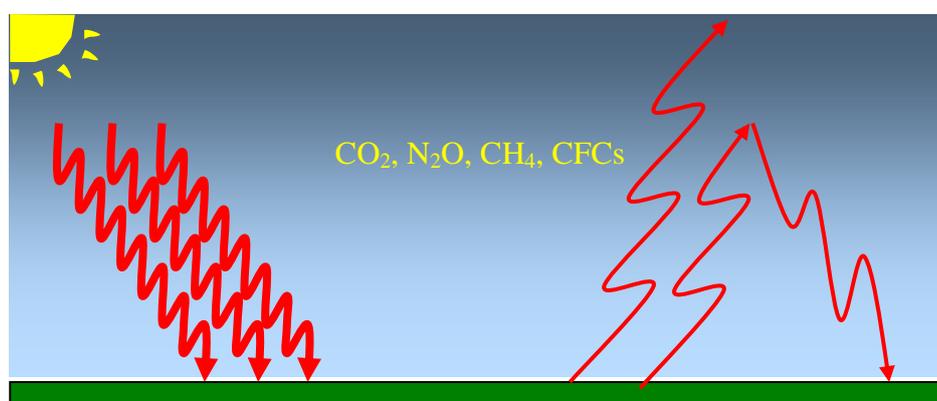


圖 1.4 溫室效應

地球系統吸收70%太陽短波輻射，30%太陽短波輻射則被反射回太空，被吸收70%中，51%被地表吸收，19%被大氣吸收，如圖1.5。大氣與地表吸收能量後會以長波形式輻射能量，地表長波向上輻射，大氣則向上及向地面輻射，此外，地表吸收能量尚會以蒸發散潛熱(Latent Heat)與可感熱(Sensible Heat)向大氣傳送能量，由此，分別在地表與大氣分別形成能量平衡之狀態(如圖1.6)，平衡方程式如下式。

地表

$$\begin{aligned} & \text{吸收太陽輻射}(51) + \text{大氣向下之長波輻射}(96) \\ & = \text{潛熱}(23) + \text{可感熱}(7) + \text{向上長波輻射}(117) \end{aligned}$$

大氣層

$$\begin{aligned} & \text{太陽輻射}(19) + \text{地表向上長波輻射}(111) + \text{潛熱}(23) + \text{可感熱}(7) \\ & = \text{大氣向上長波輻射}(64) + \text{大氣向下長波輻射}(96) \end{aligned}$$



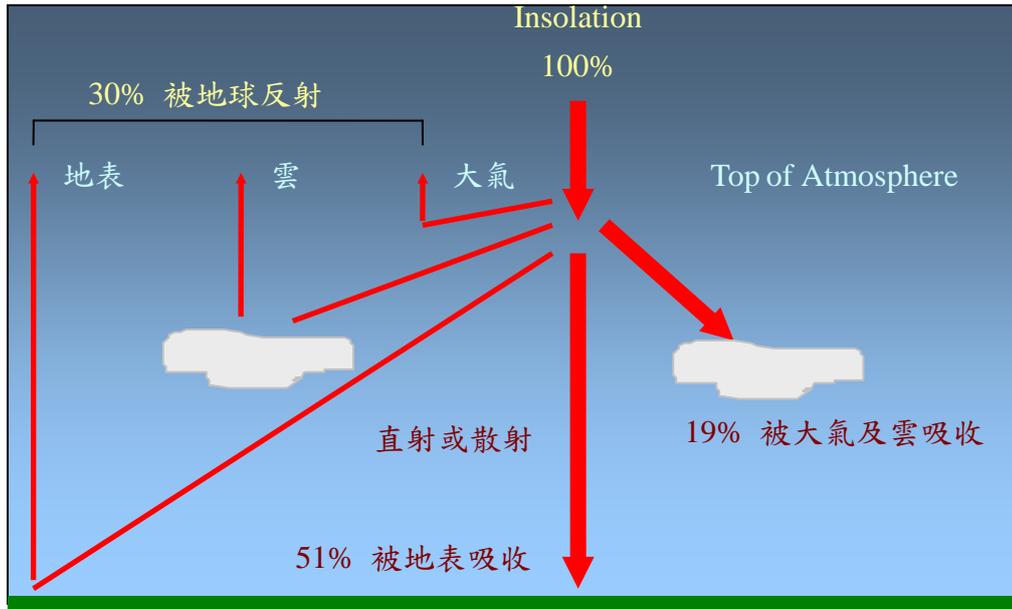


圖 1.5 太陽短波輻射進入大氣系統之分布

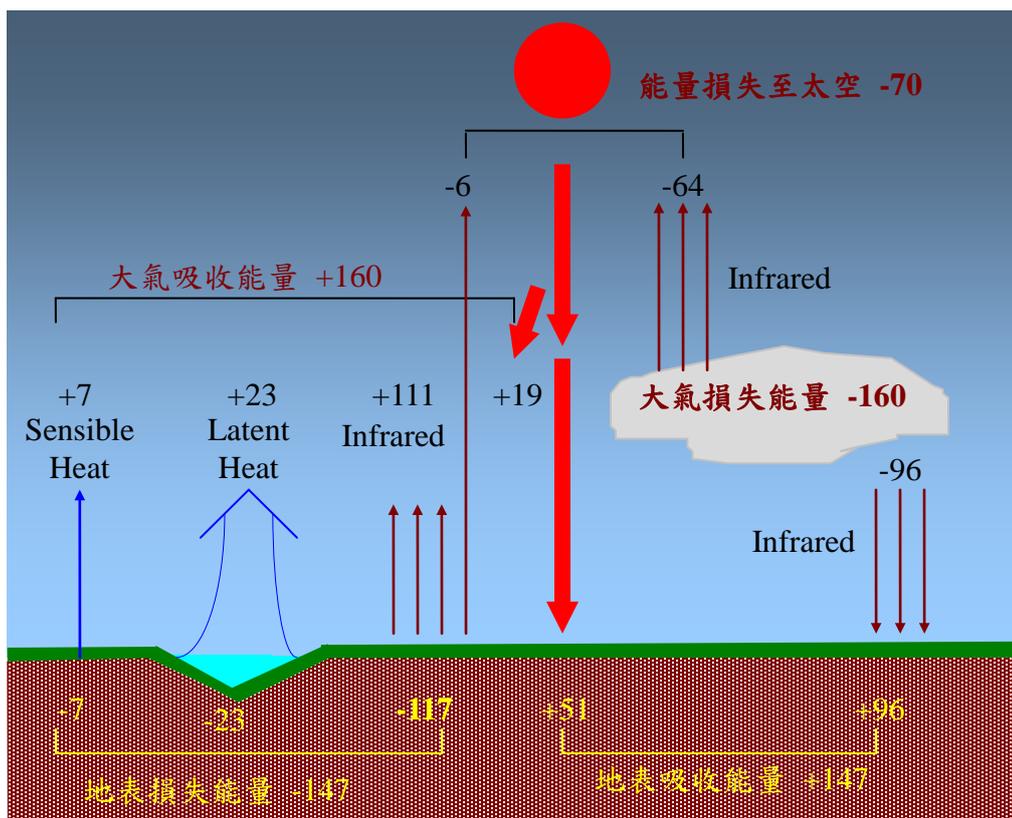


圖 1.6 大氣與地表能量平衡



在上述能量平衡中，潛熱導源於蒸發散量，蒸發散量即土壤水分由液態變成氣態而進入大氣中。因此，以一維分析來看，能量會造成水分藉由蒸發散從地表向大氣傳遞，當然，在水分平衡觀點上，大氣水分亦會透過降水(Precipitation)向下傳遞；而蒸發散為地表吸收能量所引發之結果，當地表吸收能量越強，則蒸發散越大，因而降雨亦越大。因此，可預期的是當加強溫室效應，更多長波輻射能量被保留於大氣系統，則此向上蒸發散與向下降水機制將越加劇烈，即全球降雨可能會增加。

從二維之角度來看能量會造成在大氣中有一永無停止之水循環系統，大量的水因太陽提供之能量而蒸發至大氣之中，而由風將其傳送到不同之地區。因地形、溫度影響而凝結成雨。雨又成為地表逕流或地下水流入河川，而最終於排入海洋完成水循環，如圖 1.7。

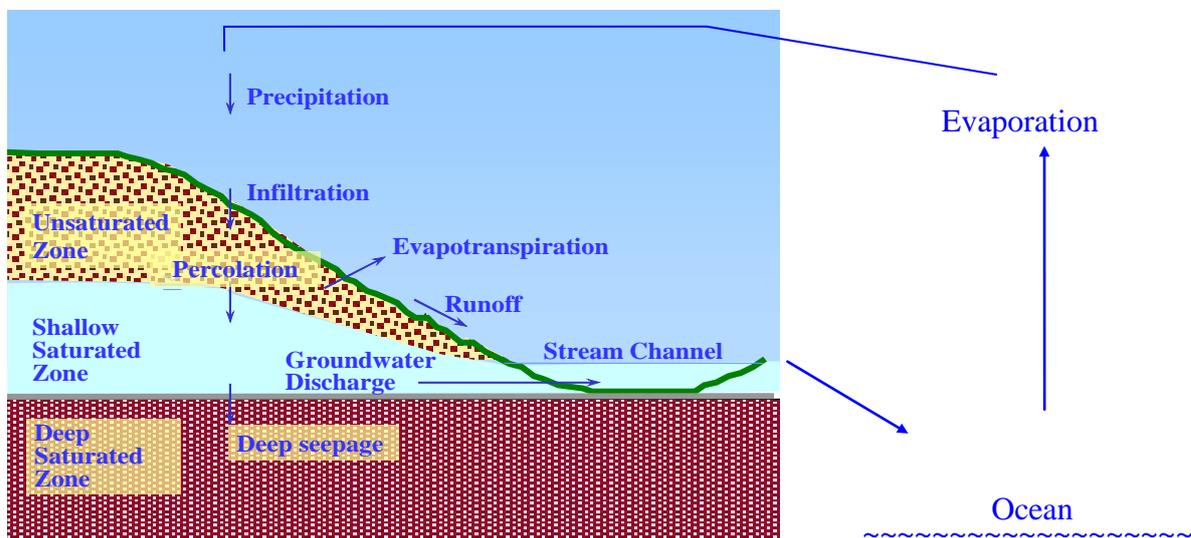


圖 1.7 水循環 (Water Cycle)

大氣系統導源於地球表面能量吸收不均。赤道附近因太陽直射吸收能量較多，往兩極則吸收能量減少，為維持能量平衡，則地球形成大氣系統，並帶動能量之傳輸。圖 1.8 為地球大氣之南北向循環系統，其中包括三個主要之循環核苞：Hardly Cell, Ferrell Cell, 與 Polar Cell。以 Hardly Cell 為例，赤道附近吸收大量輻射能量，則水氣被蒸發以攜帶潛熱，當碰到平流層，則往兩極分散，約在北緯 30° 下降，至地面在往赤道而形成一個循環。大氣上升因溫度降低，易凝結而下雨；相對的，大氣下降，則溫度提升，不易形成降雨。Hardly Cell 在赤道附近有很強之對流，因此常常有降雨，相反在北緯 30° 附近則因大氣向下，而不易下雨(如圖 1.9)。因此，熱帶雨林多分布於赤道，沙漠則多分布於北緯 30° 。當地球吸收能量加強，此循環亦會加強，赤道附近氣流將上升更高，往兩極傳輸可能更遠(會有何影響?)。



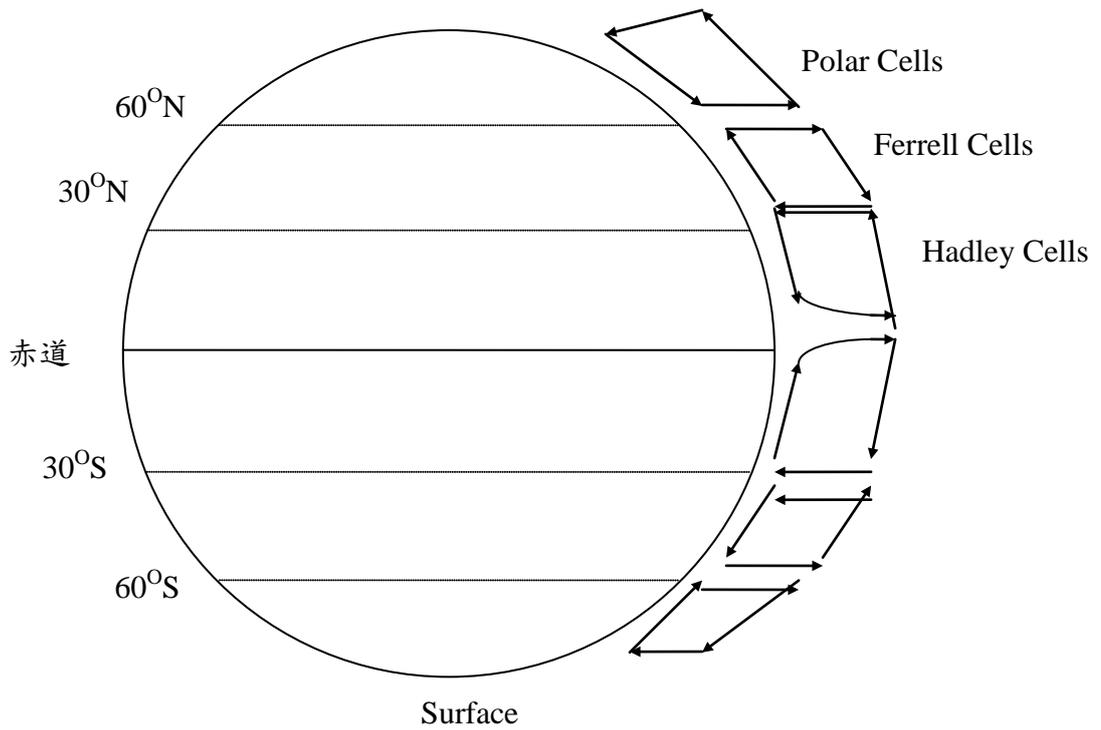


圖 1.8 General Circulation

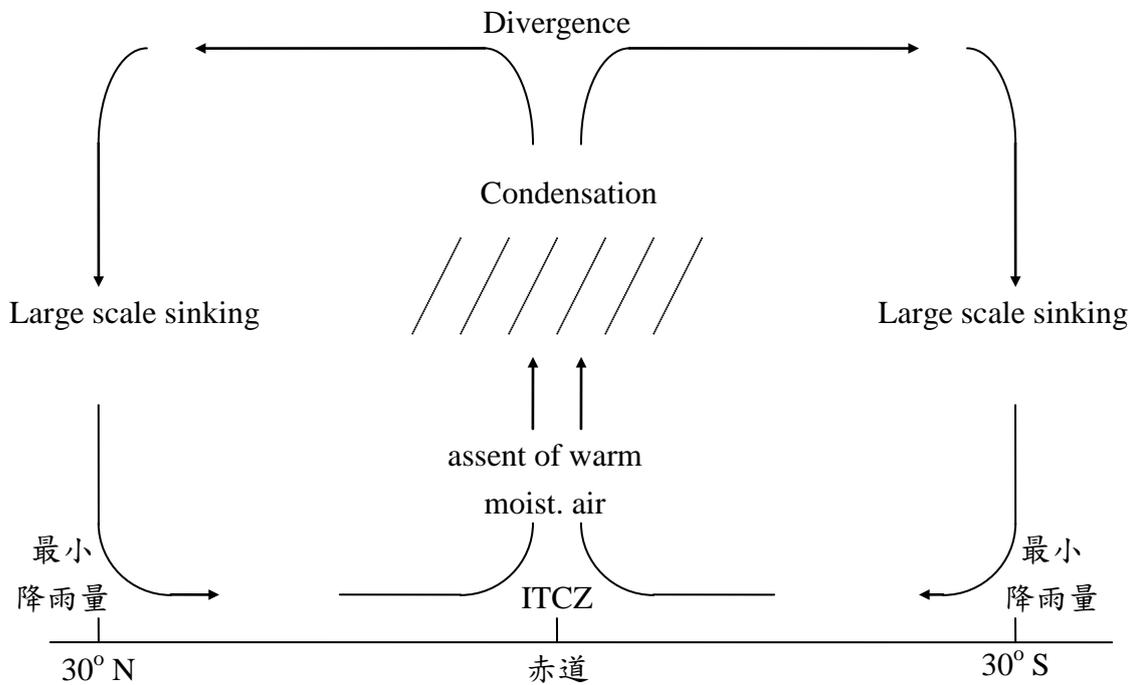


圖 1.9 Hadley Cell 與降雨關係



1.4 全球暖化

在 1.1 節時曾介紹「氣候變化綱要公約」中定義之氣候變遷，是指因人為活動造成大氣組成改變，進而造成氣候變遷。在第 1.2 節中曾說明，大氣氣體會吸收太陽短波輻射與地球長波輻射而影響地球之能量平衡，溫室氣體對長波輻射影響顯著。自工業革命以來，大量溫室氣體被排放進入大氣中，增加大氣溫室氣體濃度，進而加強溫室效應，導致越來越多能量被保留在地球系統，而使溫度上升，此為全球尺度之問題，稱之為全球暖化。

從歷史資料分析可見，地球溫度與溫室氣體之相關性，圖 1.10 顯示過去 16 萬年以前來，溫度與二氧化碳濃度間之關係，從圖上可看出，當溫度高時 CO₂ 濃度就高，當溫度低時 CO₂ 濃度就低，相同正相關性亦可見於其他溫室氣體。圖 1.11 顯示近 200 多年來 CO₂ 與 CH₄ 濃度急速上升，圖 1.12 亦顯示根據針對溫度資料進行分析，以 1961 至 1990 年溫度資料為基準，可明顯看到上升之趨勢。

在 1980 年代，尚有許多科學家對全球暖化提出質疑，認為目前氣候上升，可能是地球目前屬於間冰期(即兩冰河期間)，且是離開冰河期之加溫階段，因此觀察到之溫度上升實為自然變異，而非自然變遷。然進入 1990 年代至今邁入 21 世紀，是不是人為造成氣候變遷之爭辯已逐漸消滅。相關證據顯現人為因素不可排除，且若不趕緊採取因應措施，則自然生態環境保育與人類社會經濟發展岌岌可危。

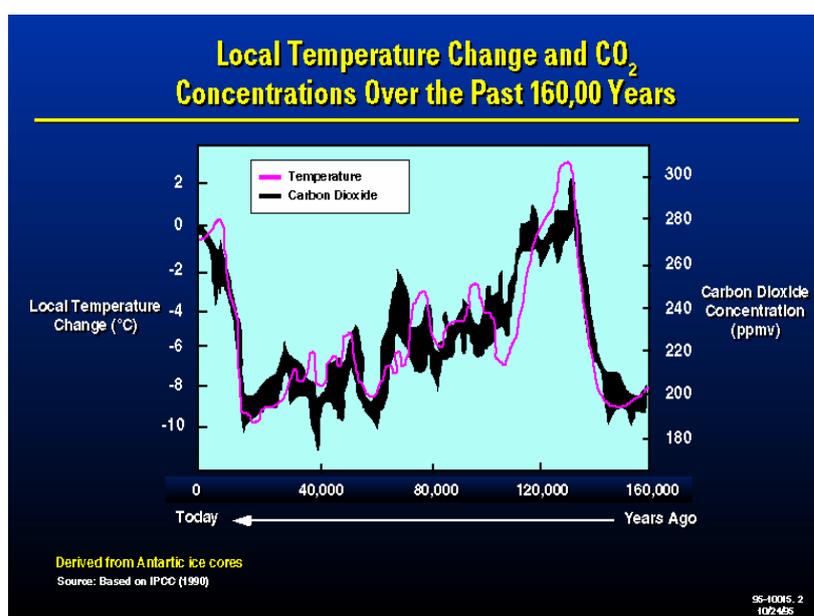


圖 1.10 溫度與 CO₂ 濃度關係 (資料：USEPA)



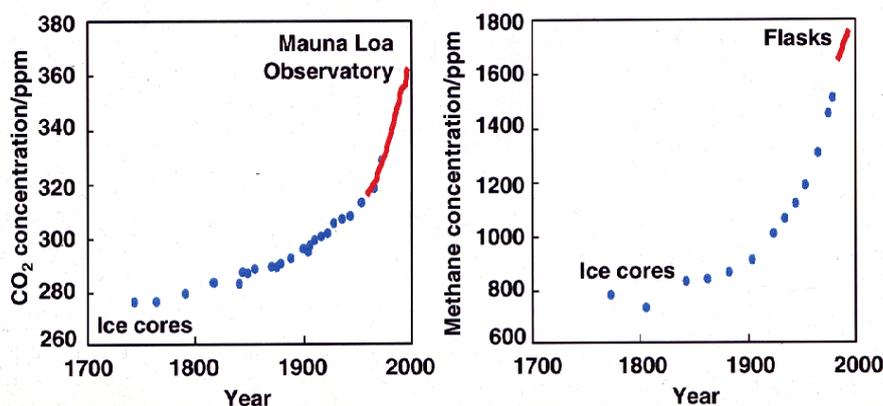


圖 1.11 CO₂ 與 CH₄ 濃度變化趨勢 (資料：IPCC 2001)

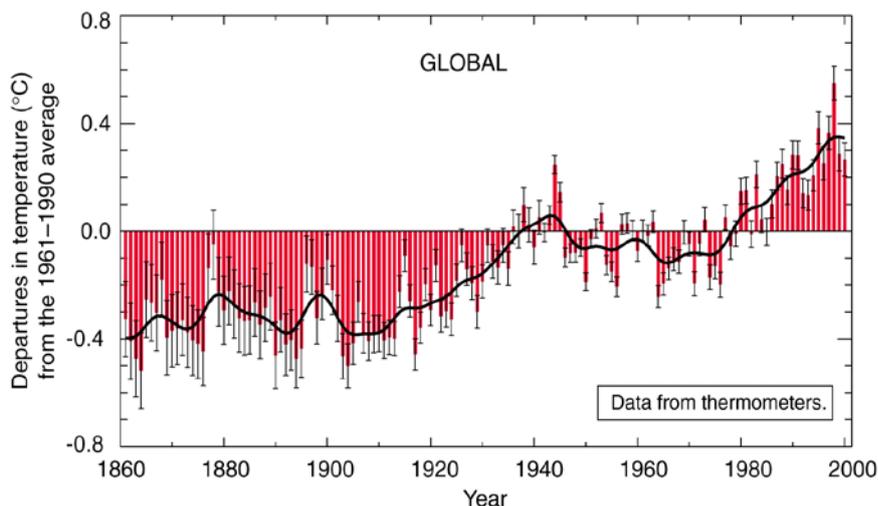


圖 1.12 全球溫度變化趨勢 (資料：IPCC 2001)

1.5 環境生態可能之衝擊

因應氣候變遷可分成兩大工作：減輕(Mitigation)氣候變遷及調適(Adaptation)氣候變遷。減輕氣候變遷主要工作在減少溫室氣體排放，減緩人為對氣候衝擊，1992 里約熱內盧之地球高峰會，初步約制各國 CO₂ 排放回歸 1990 年水準；京都議定書更進一步定下各國削減比例之規範，然在真正實施上仍有許多爭議；2002 於南非舉行之地球高峰會議，歐美國家在石化燃料與再生能源使用比例進行協商，希望達到共識而削減石化能源之使用，以減少 CO₂ 排放。既然國際社會已努力減輕氣候變遷，為什麼要進行衝擊評估與擬定調適策略？可不可能完全不發生人為氣候變遷？



答案是否定的！圖 1.13 為未來可能 CO₂ 排放情境與可能溫度變化，從圖中可看出，最樂觀之排放預設情境為 A1T 與 B1，但注意即使最樂觀之排放情境，在西元 2100 年，大氣 CO₂ 濃度可望維持在 550ppm，約工業革命前 CO₂ 濃度 280ppm 的兩倍；不同情境下預測西元 2100 年溫度上升約為 1.4 到 5.8 °C。未來全球暖化將無法避免，因此，調適策略不可不備，要擬定調適策略，則必須先進行衝擊評估。

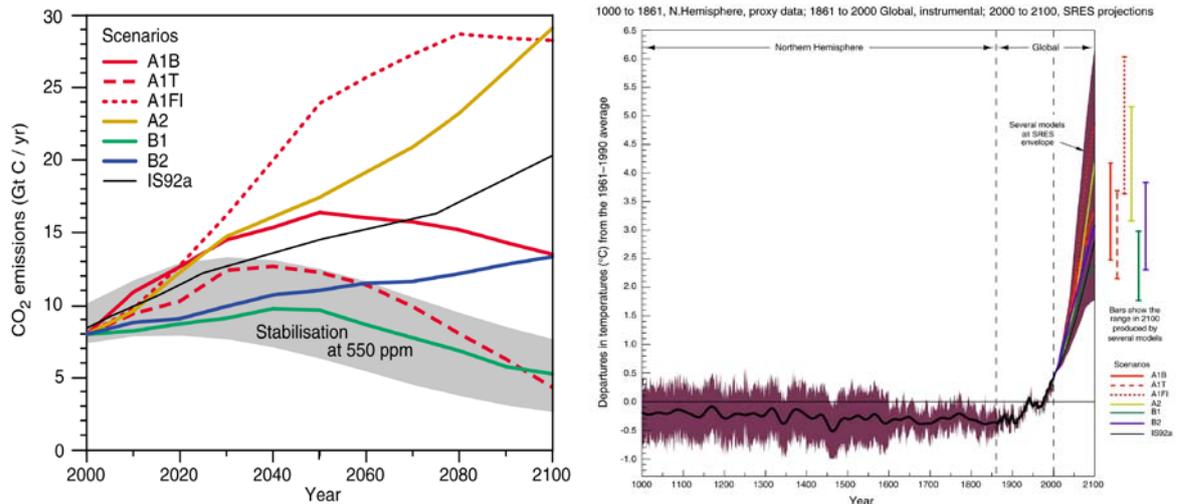


圖 1.13 未來可能 CO₂ 排放情境與溫度變化 (資料：IPCC 2001)

自工業革命以來，因為人類活動，大量增加溫室氣體之排放，因而加強大氣溫室效應。主要溫室氣體包括二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亞氮(N₂O)及氟氯碳化物(CFCs)等，CO₂ 濃度約從工業革命前之 280ppm 增加至目前之 360ppm。加強溫室效應可能造成全球氣候變遷，且因此改變各區域溫度及降雨。一般預測大氣 CO₂ 濃度增加為兩倍時，全球溫度約將上升 1.5 到 4.5 °C，且全球降雨量將增加 (IPCC, 1995)。根據 IPCC (2001) 最新報告，利用 SRES 預設情境考慮世界未來經濟社會發展設置之 35 個預設情境進行模擬，從 1990 年至 2100 年，溫度可能上升 1.4 到 5.8°C，而因人類活動造成之全球暖化平均每 10 年約上升 0.1~0.2°C；而隨著 CO₂ 濃度增加，1990 年代是自 1861 年來最熱之 10 年，且 1998 年為有氣象紀錄以來到 2001 年止最熱之一一年 (IPCC, 2001)。降雨部分，IPCC (2001) 結論說明各地區降雨變化不同，但北半球將有更多強度更強之降雨；熱帶氣旋之平均與尖峰降雨強度將更強化。

氣候改變最直接之影響包括水文、水資源、農業生產與農業需水量、及生態系統等。水文或水資源系統主要分析單元為集水區，集水區水平衡關係中，除了流量流入海洋外，主要輸入與輸出分別為降雨與蒸發散，降雨多寡當然直接與氣候有關，蒸發散則受輻射能量、風速、大氣相對濕度等氣象因子影響，因此水文與氣候這直接相關。不管河川流量、亦或是地下水補注量均會受到氣候變遷之衝擊，流量與地下水補注量改變會進一步影響水資源供水能力；此外，亦可能增加極端高流量頻率，而導致洪水



風險增加，不可不加以注意。農業灌溉需水為滿足作物蒸發散量，蒸發散量與輻射能量、溫度及土壤水分息息相關，此外，作物生長期易受溫度上生而可能縮短 (Tung and Haith, 1998)，進而影響灌溉需水分布與產量。在生態系上亦與氣候息息相關，生物多樣性受到的衝擊非常巨大。就物種層面而言，生物可能消失或改變其分布，且有外來種入侵之問題，而在生態系統上，一個區域內的物種組成會因此而有明顯的改變；森林植群及樹種分布亦可能因為氣候變遷而改變；全球氣候改變，陸域與海域生態系受其影響將不可避免。例如，台灣國寶魚櫻花鉤吻鮭適合水溫為 17°C，然近年來均已發現其棲息地七家灣溪上游觀測資料記錄到高於 17°C，未來全球暖化勢必影響其棲息地。

台灣年平均降雨量 2510 mm，約為世界平均降雨量之 2.6 倍，但每人分配平均降雨量卻只有世界平均的 1/6 弱，而且因為河流短、地勢陡，降雨量大都直接奔流入海。民國 82 年為乾旱年，年降雨量僅約 1640mm，根據資料分析(水資源局, 1996)，約有 46.2% 之降雨量直接流入海中，而 33.3% 為蒸發散損失，使得可利用水量僅佔降雨量之 20.5%。每人分配之可利用水量更形稀少，因此台灣乃屬於水資源貧乏地區。此外，降雨量分佈不均，約 80% 集中於 5-10 月之豐水期，且大部分為颱風暴雨，因此使水資源調配益發困難。

河川流量取決於降雨和蒸發散量，降雨將水帶進集水區，而經由蒸發散帶離此系統。蒸發散量又決定於溫度與太陽輻射等氣候因子，因此河川流量的可利用量受到氣候條件的密切影響。降雨的增加或減少亦會直接影響水資源。國外有關氣候變遷對水資源之衝擊研究均已積極展開。童慶斌等 (1999) 年分析台灣四個集水區，其受氣候變遷之影響為豐枯水期極端化。豐水期流量加強將導致防洪更嚴重之挑戰，枯水期流量減少將增加供水管理之困難。

當河川流量改變，將影響水資源可利用量及防洪體系，若根據目前各流域之管理策略，是否會導致各標的供給量受到影響？民生及農業用水是否足夠？水庫防洪空間是否滿足？防洪計畫採用基準是否需修正？水域生態是否受到衝擊？都必須加以進一步探討。此外，不同之水資源標的之需求亦可能受到氣候變遷影響而改變。例如溫度升高可能導致蒸發散量之增加，因而提高農業用水量。台灣水資源是有限的，如何事先評估環境改變所帶來之影響，並據以擬定因應對策，是促進台灣永續發展不可或缺之重要工作。

河川溫度一直被認為是影響水中生態最重要的因素之一，溫度的變化除影響水中魚類及其他水棲生物的成長、存活率外，魚類的遷徙、繁殖、孵化等活動，甚至魚類的競爭能力、河川的自淨能力、污染傳輸及河川內部的化學反應也都深受河川溫度的影響。其中以魚類的活動最直接也最容易觀察，有些魚類會在特定溫度範圍的水域裡



活動，以櫻花鉤吻鮭為例，其生活水域的水溫介於 9~17°C 之間，到了繁殖、孵化期間更降低至 12 (曾晴賢, 1999)。由於大部分的水生動物對水溫的要求很高，所以河川的水溫在生態的研究中，一直扮演著重要的角色。一般而言，溪流水溫由上游往下游遞增，根據調查報告顯示 (曾晴賢, 1997)，七家灣溪在民國 74 年至 86 年間，其溪流平均溫度之 12 °C 等值線往上游退縮約 1.56 公里，嚴重影響河川生物之棲地分布，因此如何維持穩定的水溫，成了延續魚類生命相當重要的課題。其他影響不甚枚舉，如農業生產、公共衛生 (病媒滋生與傳播)、海水上升導致沿海國土流失及黑面琵鷺棲地之衝擊、森林林相分布之改變及導致生態系物種 (如台灣黑熊等) 衝擊等等，實有賴不同領域研究學者投入。

「氣候變化綱要公約」第 10 次締約國大會 (COP10) 於 2004 年 12 月 6 日至 17 日在阿根廷首都召開。在 COP10 會議期間就氣候變化的調適與減緩，以及政府間活動的組織等問題召開了會間研討會議。在衝擊與調適部分發現長期均溫不再是唯一主要影響因子，而是極端事件如乾旱與暴雨洪災發生之尺度與頻率受到大家的重視，此外，必須觀察氣候變遷所帶來的變化，及其對生態環境與社會經濟所造成之衝擊，並據以擬定相關因應策略。最後尚必須強化自然與人為系統面對氣候變遷之調適能力 (Adaptive Capacity)，以應付未來可能衝擊。調適策略擬定必須考量不同地區與不同面向 (sectors)，必須符合環境與政經發展，因此必須有科學基礎之研究與分析。要建立有效調適策略與強健調適能力就必須要正確瞭解氣候變遷與其可能帶來之衝擊，及有效之工具可評估調適策略。COP10 會後要求 SBSTA (Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice) 提出五年期程計畫之架構內容，其中包含了四大項目：

- Methodologies, data and modeling
- Vulnerability assessments
- Adaptation planning, measures and actions
- Integration into sustainable development

並要求締約國就計畫架構提出意見，秘書處於 2005 年五月底前，總共收到了 13 個國家的報告，包括阿根廷、孟加拉、加拿大、中國、哥倫比亞、盧森堡、紐西蘭、沙烏地阿拉伯、南非、美國、烏茲別克、澳洲以及日本。各國都對未來氣候變遷的衝擊評估、脆弱度評估以及調適策略的研擬提出了相當多的意見，茲就將其中重點整理如表 1.3。



表 1.3 UNFCCC 衝擊、調適、與脆弱度評估研究項目之課題彙整

研究課題	各國建議研究項目彙整
Methodologies, data and modeling	<ol style="list-style-type: none"> 1. 蒐集相關社經資料以進行經濟分析 2. 研發簡易操作且適當之模式，降低不確定性 3. 針對不同目標選定適合 scale (local, regional, global) 4. 進行 paper review，建構氣候變遷資料庫 5. 發展早期預警系統(氣象、水文)，環境監測系統 6. 區域資料共享平台之建立，並確立國際合作模式 7. 重新審視現有資料與模式之完整性與正確性 8. 發展衝擊與脆弱度評估模式 9. 協助發展中國家進行氣候變遷研究與調適策略之落實
Vulnerability assessments	<ol style="list-style-type: none"> 1. 定出適當的生物、環境指標，以評估脆弱度 2. 發展社經面向之脆弱度指標，尤其是食物安全 3. 改善疾病監測系統，強化疾病預防與治療 4. 研發抗災食物與農作物 5. 建立評估社經成本之方法與步驟，強化經濟分析準確性 6. 著重系統調適能力(自我調適、人為調適)之評估 7. 極端氣候事件之資料庫建立與預警工具之研發 8. 資料共享平台與區域性合作模式之建立 9. 跨面向探討系統脆弱度，並進行資料整合
Adaptation planning, measures and actions	<ol style="list-style-type: none"> 1. 檢視現有調適策略，加入成本效益分析 2. 將調適方案依輕重緩急排出次序，供決策者參考 3. 發展適當指標評估是否積極建設或是消極補償 4. 訂定災害危險區，減少人民與財產損失 5. 發展防災預警系統為調適策略之選擇依據 6. 利用文獻回顧了解現有科技與策略之不足，隨時修正調適策略 7. 強化政府調適能力，並健全管理調度機制 8. 推展氣候變遷知識教育，提高相關課題之能見度 9. 去除目前調適策略的限制因子(缺點 or 障礙)
Integration into sustainable development	<ol style="list-style-type: none"> 1. 提出適當工具，整合調適策略與災害管理 2. 量化各調適策略對於未來不同時間點之助益(經濟分析) 3. 研究分析環境永續與減少貧窮之間關係 4. 最大化調適能力，最小化脆弱度 5. 發展未來資源利用之評估工具 6. 區域性環境資源之調查研究，並進行國際交流 7. 資料共享平台與區域性合作模式之建立

(資料來源：童慶斌，2005，國科會報告)



1.6 衝擊評估程序概論

氣候變遷衝擊評估目的在分析當溫室氣體增加後氣候改變之衝擊，評估流程如圖 1.14。目前氣候變遷之模擬主要借重全球環流模式(General Circulation Models, GCMs)，GCM 模式開發各國均不遺餘力，因此，可參考版本相當多。然在氣候變遷對生態環境衝擊評估之應用研究上並不直接執行 GCMs，而是利用大氣科學家已完成 GCM 電腦模擬試驗之成果輸出資料，進而擬定未來可能之氣候變遷預設情境(Scenario)。然 GCMs 為模擬全球尺度之氣候，其解析度與一般生態環境之區域研究相比就顯大，因此在應用 GCM 輸出資料於衝擊影響評估研究前，必須進行降尺度(Downscaling)之工作。

氣候變遷影響絕大多數無法在實地或實驗室進行實驗，唯有靠電腦模式進行模擬試驗分析，且模擬模式以氣象資料為輸入資料。在衝擊影響評估模式與氣候預設情境間，有時時間尺度亦會不同，例如預設情境往往為月時間尺度之資料，而衝擊模式有時需要以日為時間尺度之氣象資料，則此時需要氣象資料合成模式之協助。

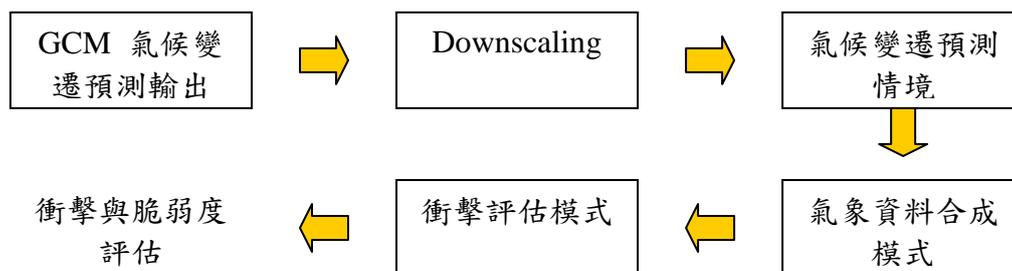


圖 1.14 氣候變遷影響與脆弱度評估流程

永續發展是 21 世紀重要之議程，其目標在生態環境能維持永續性、不退化，並支持經濟社會可持續發展。然氣候變遷卻是永續發展最大之障礙，要消除此阻礙，則必須要有整合性之研究規劃，以及提出系統性之解決方法。孫子兵法謀攻篇提到「知己知彼，百戰不殆」，此外，史記高祖本紀中提到「夫運籌帷幄之中，決勝於千里之外」，雖然這兩句話為古代軍事戰略智慧，但應用於現今作為氣候變遷研究規劃之中心思想卻相當合適。換言之，唯有瞭解自然與人為系統機制、氣候變遷衝擊與系統現有之調適能力，方可清楚瞭解系統未來之脆弱度與應強化之調適能力，如此，方能成功面對未來氣候變遷之挑戰；此外，要成功降低衝擊，則最終必須建立長、短期預警系統，並配合規劃與操作性調適策略，方能決勝於千里之外。

