

## 全球暖化議題

文/邱德承

### 溫室氣體與溫室效應

自十八世紀工業革命以來，隨著人類經濟活動發展，消耗的能源越來越多，二氧化碳的排放量也急遽增加。二氧化碳、水氣及甲烷等溫室氣體在地球能量收支平衡上扮演著相當重要的角色，地球接收來自太陽的短波輻射，經地表吸收後，地球又以自身表面的能量向外輻射。由於地表溫度僅 288K，相較於太陽表面溫度的 6000K 低，透過史蒂芬波茲曼定律可知，溫度的 4 次方與輻射波長呈反比的關係，故地表面溫度所釋放出的輻射會明顯比太陽輻射波長來得長，所以科學家將地球向外輻射能量稱為地球長波輻射。地球長波輻射在外逸的過程中，可能會遇到二氧化碳、水氣、甲烷等，而使能量被二度吸收，地球溫度因此不易下降，此即稱為溫室現象。二氧化碳、水氣等這類氣體也被稱為溫室氣體。

溫室氣體的存在，對星球相當重要，若沒有溫室氣體的作用，地球表面平衡平均溫度將只有 255K (約 $-18^{\circ}\text{C}$ )，相當於中緯度高空的溫度。換言之，正因為有溫室氣體的作用，地表溫度才能維持在如今適合生物成長、活動的  $15^{\circ}\text{C}$ 。相對而言，與地球比鄰的金星，其大氣由於富含二氧化碳之溫室氣體，溫室效應十分顯著，使其星球平衡溫度超過 673K (約  $400^{\circ}\text{C}$ )。因此，對於行星而言，溫室氣體過猶不及都不是件好事。

## 溫室效應與全球暖化

地球每日只在有陽光的時間（通常是早上六點到下午六點，約 12 小時）接收到太陽的短波輻射。與此相對，地球長波輻射的散失是全天 24 小時、每分每秒都在進行的。地球長波輻射散失最多的時間通常是從中午到晚上八點左右，並且會持續到隔天早上六點，此時地球吸收的太陽短波輻射量才會與地球長波輻射的散失量相等。因此，溫室效應有賴於溫室氣體對地球長波輻射的二次吸收，因此在屏除太陽短波輻射的作用下，夜晚溫室效應現象較容易觀測到。

觀測資料顯示，現今全球各地白天最高溫的增幅並不大，然而夜間的最高溫度增溫幅度卻十分明顯。以臺北地區為例，1911 年至 2015 年統計分析顯示，白天年平均最高溫從 1911 年  $26.2^{\circ}\text{C}$  至 2015 年則增加到  $27.7^{\circ}\text{C}$ ，共增加  $1.5^{\circ}\text{C}$ 。但夜間年均最低溫卻從 1911 年的  $18.5^{\circ}\text{C}$  至 2015 年增加到  $21.1^{\circ}\text{C}$ ，共增加  $2.6^{\circ}\text{C}$ 。由於夜間溫室效應較為顯著，因此氣候學家推論現今全球氣候變遷的現象，應與大氣中溫室氣體的增加有關。

## 全球氣候變遷的多重因素

全球氣候變遷除了「溫室氣體」的作用外，還需考量許多因素，以下介紹地球反照率、「米蘭科維奇循環」的行星尺度變化兩種因素。反照率是物體表面反射與吸收太陽輻射的比值，冰雪是地表反照率相當高的物質，新雪可達 90% 以上。地表約有 8% 的面積被冰雪覆蓋，這些冰雪全部融化後，將使地球行星反照率大幅下降，進入地表的太陽短波輻射將因而增加約 7.2%，造成地表溫度上升。米蘭科維奇循環則從行星尺度綜合考量「軌道偏心率週期變化」、「地軸傾角週期變化」與「進動週期變化」三個層面。

地球繞行太陽的軌道偏心率發生變化時，將會影響日、地間的距離，並決定吸收太陽能量的多寡，當地球繞行太陽的軌道越接近圓形時，日、地遠近距離年變化不大，地球年溫度差較小，地球也較為溫暖；反之呈略為橢圓時，日、地遠近距離年變化大，地球較為寒冷。（見圖 1）

地球赤道與黃道面呈  $21.5-24.5$  度夾角，此夾角即地軸傾角，角度與黃道法



線和地球自轉軸所構成的夾角相等（見圖 2）。當地軸傾角發生變化，則地球熱帶區域發生改變。地軸傾角愈大，太陽直射地表區域愈廣，熱帶也會變得愈寬，相對地溫帶、寒帶則較窄，地球則較為溫暖；反之，若地軸傾角愈小，熱帶區域變小，地球則較為寒冷。

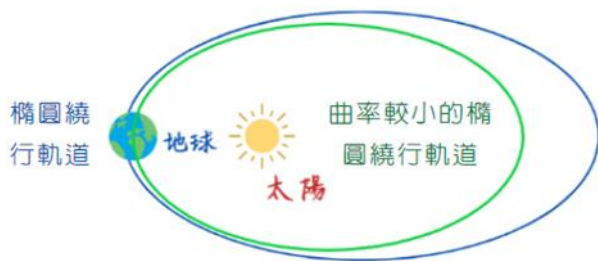


圖 1. 曲率較大公轉軌道與曲率較小公轉軌道之變化。  
地球繞行太陽軌道曲率較小時(綠線)，地球較溫暖。地球繞行太陽軌道曲率較大時(藍線)，地球較寒冷。

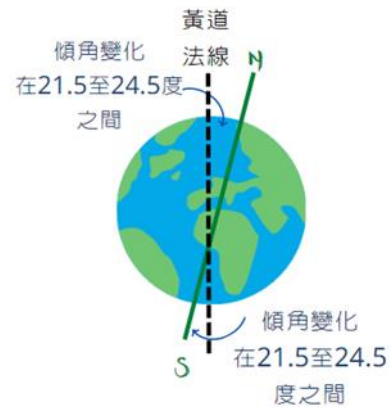


圖 2. 地軸傾角變化。  
地球傾角較大時，地球較溫暖。地球傾角較小時，地球較寒冷。

最後，由於地球南北極自轉速率較赤道緩慢，所引起的自轉速率與公轉速率不一致的情況，此即進動變化，俗稱歲差。而歲差的出現，造成春分點每年向西移動約 50.26 角秒的現象，此現象需約 25785.9 年才能繞行一周。由於北半球陸地較多且比熱低，其融冰量對於地球整體氣候影響比南半球大。因此，當北半球夏至在近日點時，其接收到太陽能量較多，地球融冰較多，故氣候相對較為溫暖（見圖 3-1）；反之，當北半球夏至在遠日點時，其接收到太陽能量較少，北半球可能因而儲存更多冰層，故相對較為寒冷。（見圖 3-2）

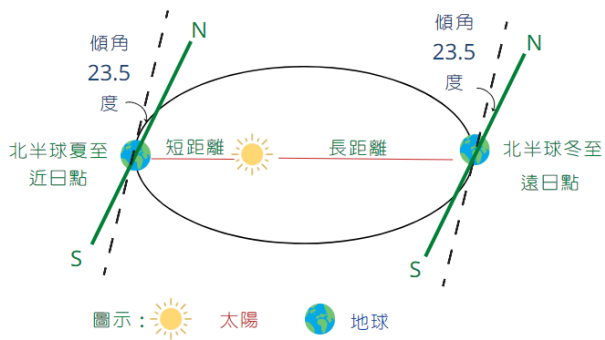


圖 3-1.地球歲差的變化(一)。  
北半球夏至位於近日點，地球較溫暖。

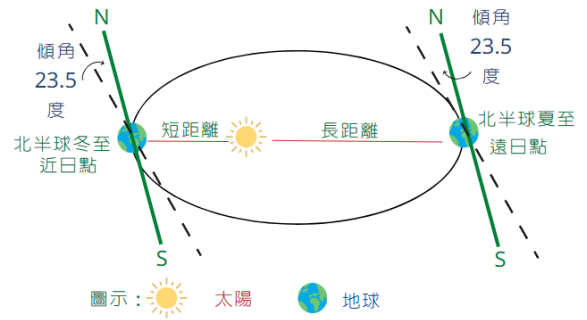


圖 3-2.地球歲差的變化(二)。  
北半球夏至位於遠日點，地球較寒冷。

中華未來學校教育學會

題組一：

2020 年，臺灣迎來相當獨特的天候。當年年均溫偏高、多數地區雨量偏少且日照強烈。中央氣象局的統計資料顯示當年均溫較過去三十年之平均值高出 1.0°C，達到 24.6°C，為臺灣氣象紀錄最暖，全臺 25 個測站測得數據均高於氣候平均值。日照時數僅有宜蘭、蘇澳、臺北、大武及蘭嶼等 5 站為低於氣候平均值，其餘各測站皆高於氣候平均值。

年雨量方面，除了基隆、蘇澳、鞍部、竹子湖及高雄等 5 站多於氣候平均值外，其餘 20 站均少於氣候平均值。降雨日數除竹子湖、花蓮、成功及蘭嶼等 4 站多於氣候平均值，其餘 21 站皆少於氣候平均值。

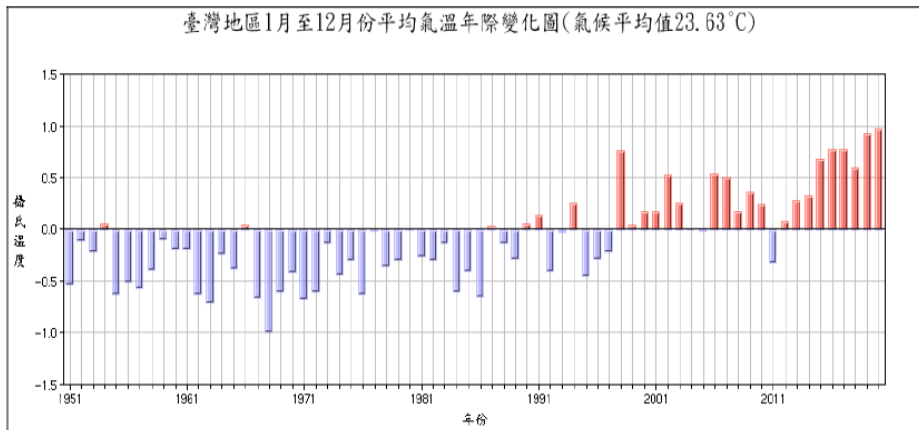


圖 4.1951 年至 2020 年台灣地區年均溫變化圖(平均值為 23.63°C)

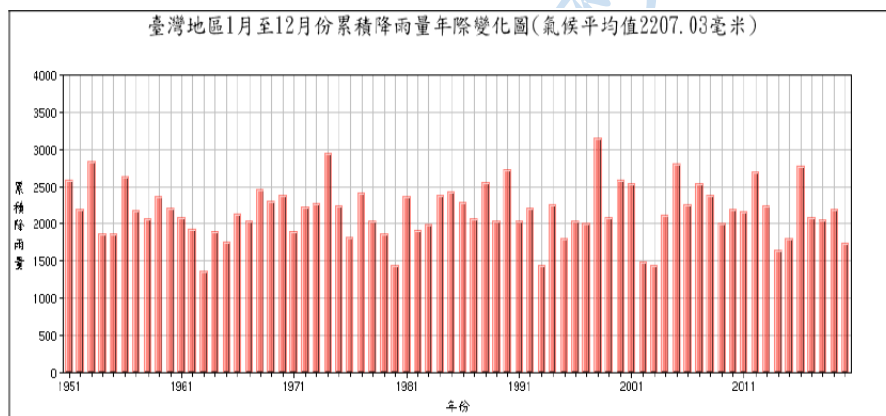


圖 5.1951 年至 2020 年台灣地區年雨量變化圖(平均值為 2207.3mm)

【本文所有統計資料來源於中央氣象局《氣候監測報告》月刊第一百四十二期與第一百四十五期】

請問：

1.根據題文的論述，下列敘述何者正確？

- (A) 1990 年到 2020 年，台灣地區的年均溫逐年攀升。
- (B) 1951~2020 年來台灣地區年均溫與年平均降雨量約呈負相關。
- (C) 2020 年台灣地區年均溫高可能與年日照總時數較多有部分相關。
- (D) 1990 年以前的年均溫多低於平均值，代表 1990 年之後才出現暖化現象。

答：(C)。由文章內容可知 2020 年的年均溫創新高(25 個測站皆高於平均值)，而年日照時數也偏高，可能有相關性，故 (C) 正確。

- (A) 並沒有每一年都上升，故有誤。
- (B) 從兩張圖中可看出兩者沒有明顯相關性。
- (D) 要依整體趨勢來看，因此不能說在 1990 年以前沒有暖化現象。

2.圖為 1880-2020 年全球溫度距平之時間序列圖，圖中紅色/藍色長條分別表示正距平/負距平溫度，5 年滑動平均為黑色實線，圖左上數值分別為百年>近 30 年之上升趨勢值，單位為 $^{\circ}\text{C}/10$ 年。

試比較上圖與台灣地區年均溫變化圖，下列敘述何者正確？

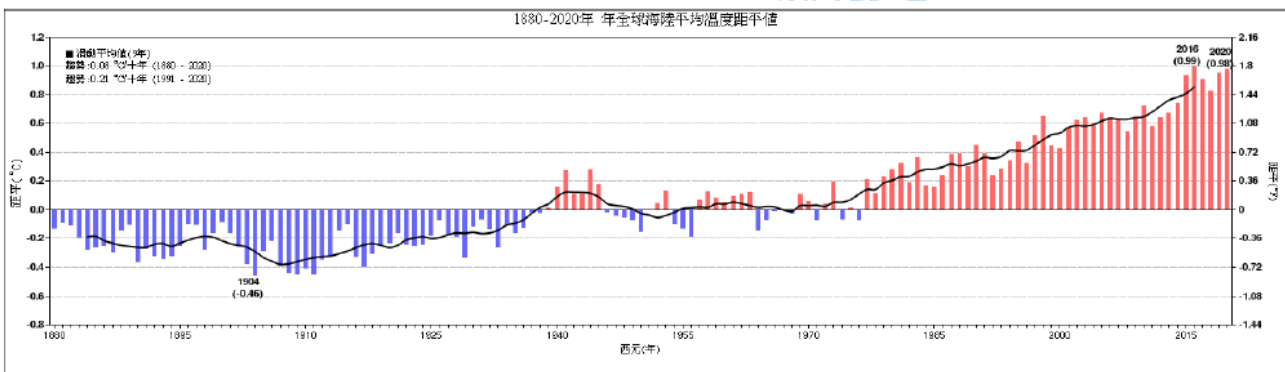


圖 6. 1880-2020 年全球溫度距平時序圖

(註：平均值使用 1901 至 2000 年的 100 年平均  $13.9^{\circ}\text{C}$  做為參考。)

【本文統計資料來源於中央氣象局《全球與臺灣溫度趨勢分析報告》書】

- (A) 全球年均溫升溫較台灣地區明顯。
- (B) 台灣的年均溫皆大於全球年均溫。
- (C) 台灣年均溫低於平均的年份比全球多。
- (D) 台灣年均溫低於平均的年份和全球的相同。

答：(B)。從題幹可知台灣地區用的平均溫度為  $23.6$  度，而全球則是  $13.9$  度，因此可知

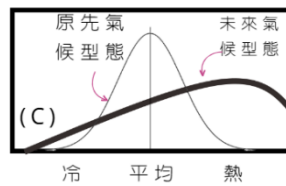
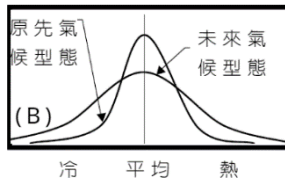
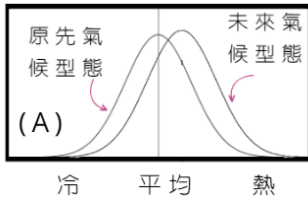
(A) 的敘述不正確；(C) 選項中須注意的是兩張圖橫軸的年份不同，因此應該是全球多於台灣；(D) 沒有完全相同。

難易度：中(50~75%會答對)學習表現：pa-Vc-2

3. 根據題文判斷，現今全球氣候變遷趨勢極有可能為氣候統計學家所提出哪一種模式？並從用 50 字說明未來氣候趨勢？

(試以氣溫為例從平均值、變異數、分布型態論之)

答：



極有可能為哪一種模式	用 50 字說明未來氣候趨勢?									
<input type="checkbox"/> 圖 A										
<input type="checkbox"/> 圖 B										
<input type="checkbox"/> 圖 C										

答：

極有可能為哪一種模式	用 50 字說明判斷原由為何?									
<input checked="" type="checkbox"/> 圖 A	現	今	全	球	氣	候	變	遷	趨	勢
<input type="checkbox"/> 圖 B	朝	向	「	年	均	溫	增	加	，	變
<input type="checkbox"/> 圖 C	異	數	不	變	，	且	極	端	高	溫
	機	率	增	大	，	極	端	低	溫	機
	率	降	低	。	」					

題組二

北回歸線是一條直線，其係因地球傾角 23.5 度，而使太陽直射北界被限於此，因此若攤開臺灣地圖，北回歸線應該會貫通嘉義水上鄉及花蓮瑞穗鄉兩地。

目前臺灣共有五處設置了北回歸線標誌（相關資料如右表），但因為地軸傾角受到日、地、月系統的擾動，會在一個範圍內擺盪而非固定不動，故沒有任何標誌一個剛好位於北回歸線上。現今的地軸傾角為 23.436 度，且有逐漸縮小的趨勢。

代號	地點	經緯度
甲	花蓮瑞穗	23.466 <sup>N</sup> , 121.358 <sup>E</sup>
乙	花蓮豐濱	23.451 <sup>N</sup> , 121.496 <sup>E</sup>
丙	嘉義水上	23.453 <sup>N</sup> , 120.41 <sup>E</sup> 6
丁	嘉義東石	23.448 <sup>N</sup> , 120.136 <sup>E</sup>
戊	澎湖虎井	23.485 <sup>N</sup> , 119.514 <sup>E</sup>

請問：

1.請參考題文中之附表，試將此五個北回歸線地標與現今北回歸線的距離，由近至遠排列。

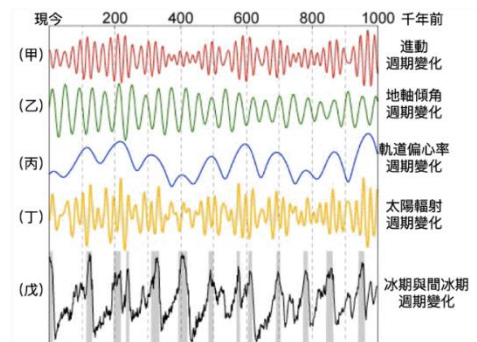
- (A) 甲、乙、丙、丁、戊
- (B) 丁、甲、丙、乙、戊
- (C) 戊、乙、丙、甲、丁
- (D) 丁、乙、丙、甲、戊

答：(D)。

目前北回歸線在 23.436 度，且北回歸線有正在向南移動的趨勢，因此答案選(D)。

2.北回歸線的移動主要是因為黃道與赤道交角變化所產生的結果，且會有一定的週期變化，請從下圖中選出北回歸線的移動是哪一種週期變化？

- (A) 甲，進動週期變化。
- (B) 乙，地軸傾角週期變化。
- (C) 丙，軌道偏心率週期變化。
- (D) 丁，太陽輻射週期變化。



答：(B)。根據圖片與題文，可知週期約為 4.1 萬年。 圖片來源：

[http://www.zo.utexas.edu/courses/THOC/Milankovitch\\_Cycles.html](http://www.zo.utexas.edu/courses/THOC/Milankovitch_Cycles.html)

地軸傾角會影響黃道與赤道的交角，進而使北回歸線的位置改變。

3.已知北回歸線會擺盪到最南點屏東潮州 (22.553<sup>N</sup>, 120.540<sup>E</sup>)，請計算北回歸線從屏東潮州，回到嘉義水上的紀念碑，需要多久 (年)？(取到整數)

(假設經度 1 度之間的距離約為 102 公里，緯度 1 度之間的距離約為 111 公里，北回歸線每年約移動 10 公尺)

答：嘉義水上與屏東潮州緯度相差 23.453-22.553=0.9 度，因此南北距離相差約為 99.9 公里。



99.9 公里 $\times$ 1000 $\div$ 10=9990 年 (A)。

評分規準：

滿分：計算完全正確。

部份給分：計算式子列出，未求出答案。

零分：未答或答錯。

中華未來學校教育學會

