

二氧化碳和溫度有什麼關係？

運 用電腦模擬，以模擬的「光子槍」(photon gun) 測試大氣中五種氣體，找出哪種是溫室氣體。學生兩兩一組，選擇不同的氣體組成大氣，然後以電腦模擬預測這樣的組合是否會吸收、傳送或反射熱能。最後，討論圖表，並比較二氧化碳濃度與全球平均氣溫。以下是學生的重要概念：

- 二氧化碳是一種能夠留住熱能的氣體。隨著大氣中二氧化碳濃度提升，地球的溫度也隨之升高。
- 根據科學證據，大氣中二氧化碳濃度上升的主因，源自過去兩百年來人類燃燒化石燃料。

學生的附帶學習：

- 陽光抵達地球表面時，許多光都被地表吸收，並以熱能方式離開地表，進入大氣中；有些熱能會逸散到太空中。
- 大氣中會吸收熱能的氣體，例如二氧化碳，它吸收了反射的熱能，讓熱能無法進入太空，使得地球變得越來越溫暖，稱為「溫室效應」。

二氧化碳和溫度有什麼關係？	預計時間
介紹模擬	10 分鐘
測試溫室氣體	10 分鐘
以模擬方式測試大氣	15 分鐘
比較二氧化碳濃度與溫度	10 分鐘
總計	45 分鐘

單元目標

科學內容

- 氣候變遷

科學應用

- 從證據提出解釋
- 解釋並創造圖表

科學本質

- 科學解釋根基於證據
- 在蒐集新的證據方面，科技扮演重要角色

科學語言

- 利用科學字彙
- 參加以證據為基礎的討論

你需要準備

全班需要

- 投影設備 *
- 連結網路的電腦 * 或教學資源光碟
- 3.3 小節的兩張投影片
- 溫室效應 (The Greenhouse Effect) 電腦模擬

每位學生需要

- 調查筆記本：p.3、12 ~ 14、7 (選擇利用每日書面反思)、16 ~ 17

* 本教材包不提供

準備上課

本小節上課前一天的準備工作

- 1. 架設投影設備或視聽設備：**架設完成並進行測試，確保學生上課時能夠看到投影的資料。花幾分鐘檢視需要的教具以及補充資源，請參考 mare.lawrencehallofscience.org/oss68 或資源光碟。
- 2. 預習模擬** 教師先下載並開啟模擬裝置溫室效應。花幾分鐘測試步驟，熟悉螢幕、按鍵以及控制器。程式一旦下載，驅動時就不需要連結網際網路。如果模擬出現運作緩慢的現象，請關掉電腦上其他程式。

科學語言

科學字彙

吸收
大氣
碳循環
二氧化碳 / CO_2
氣候
氣候變遷
洋流
緻密 / 密度
證據
化石燃料
熱能
溫室氣體
模型
生物
海平面

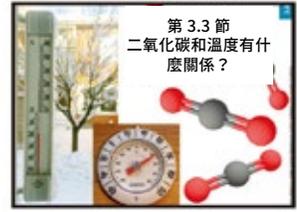
科學論證

你的想法是什麼？
你為什麼這樣想？
你的證據是什麼？
你同意嗎？為什麼？
你不同意嗎？為什麼？
我們有多大的把握？
要怎麼辦，我們才能更有把握？

介紹模擬

1. 播放本小節標題投影片並介紹新的引導問題

題 請一位志願者大聲朗讀引導問題，並告訴學生：本小節以及下一小節，將要探討這個問題。請教師說明：「在前一小節，大家學到大氣二氧化碳的含量在地球整個歷史中一直在改變；西元 1960 年之後，改變速率超過以往一萬年內的變化。」



2. 介紹電腦模擬 教師告訴學生：我們將運用電腦模擬，調查大氣二氧化碳和其他氣體所造成的溫度影響。教師解釋：待會兒的電腦模擬類似電玩，但也是科學模型。在科學領域裡，「模型」用來協助我們了解、預測及解釋現象運作的原理。

3. 將學生導向「玻璃層視窗」(Glass Layers view) 教師點選電腦模擬中的「玻璃層」按鍵，並向學生解釋內容：待會兒會出現一個與地球非常類似的行星，但是缺少大氣層——也就是行星周圍沒有氣體。移動的黃點表示陽光的光子，或是來自太陽的光能；移動的紅點表示紅外線光子，或是熱能。告訴學生：可以把黃點當作「光」，紅點當作「熱」。接著讓學生觀看螢幕一分鐘，觀察「光」與「熱」如何移動。教師可以建議：一次掌握一至兩個點會比較容易，並提醒學生注意螢幕左邊的溫度計。

4. 全班一起分享觀點 請幾位學生分享光、熱以及溫度計的關係。（光從天而降，抵達地面；熱從地面上升，進入天空；溫度計的溫度很低，大約華氏零下 2 度，或攝氏零下 19 度）。

5. 加一層玻璃帷幕 從電腦右邊螢幕上的「選擇」鍵，將「玻璃帷幕數量」(Number of Glass Panes) 從零調到 1。帷幕會從螢幕中間出現，請學生注意光與熱的移動，以及溫度的變化。（光穿透玻璃帷幕，投射到地面；熱從地面上升。有些熱穿透玻璃，有些則反射回地面，這時溫度快速升高）。

教師注意事項

每日書面反思

請描述自西元 1960 年代以來，二氧化碳的濃度如何改變？你認為引起改變的原因是什麼？這則提示出現在調查筆記本第七頁，請學生反思前小節所學到的近期二氧化碳濃度變化——可以對照地球歷史上發生過的大氣變化，了解近期變化的速度有多快。這則提示也讓學生開始思考導致大氣變化的原因，同時激發他們的興趣，並回想前小節提到人類如何促成這樣的變化。

提供更多經驗

準備：科學模型 海洋科學系列的第一單元中，學生使用了幾個科學模型，包括電腦模擬的模型。如果學生不會上過第一單元，或教師認為需要額外介紹，請告訴他們：數據能讓模型盡可能精確，因此人們才能運用模型解釋現象原理或進行實驗。這樣一來，模型在科學領域的應用變得非常有用。如同大部分模型，本模型也是以簡易方式表達現象，也就是說，模型不可能百分之百擬真。分子和光子當然比模擬的點要小得多，而實際現象也和模擬產生的不盡相同。

科學註記

關於光與光子 以科技的術語來看，「光」表示人類肉眼可見、特定波長的電磁波。由於不同波長的光攜帶的能量也不一樣，因此光能也被視為是以包含光子的微小能量行進。在物理學領域，「光」也涵蓋電磁波光譜中不被肉眼所見的波長，稱為「紫外光」和「紅外光」。不過，教師和學生在討論電腦模擬時，則將來自可見波長的光子稱為「光」，不可見波長的光子則稱為「熱」；其實兩者都可以視為光能的形式。

科學語言

科學字彙

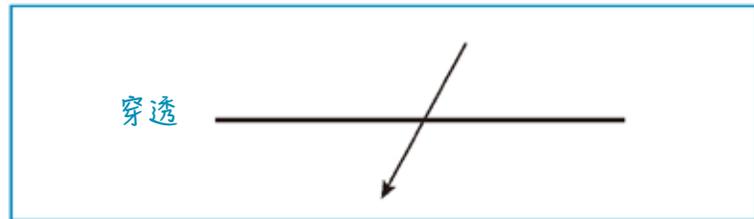
吸收
大氣
碳循環
二氧化碳 / CO_2
氣候
氣候變遷
洋流
緻密 / 密度
證據
化石燃料
熱能
溫室氣體
模型
生物
海平面

科學論證

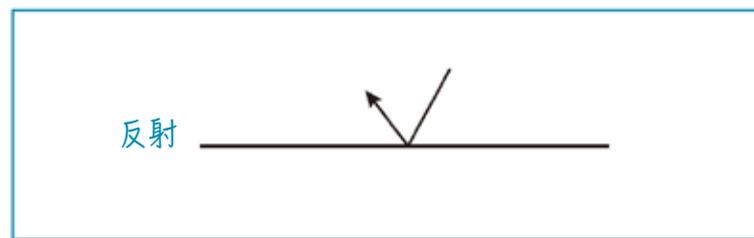
你的想法是什麼？
你為什麼這樣想？
你的證據是什麼？
你同意嗎？為什麼？
你不同意嗎？為什麼？
我們有多大的把握？
要怎麼辦，我們才能更有把握？

6. **畫出光的穿透、反射與吸收** 教師說明：本小節剩下的內容，會使用「穿透」(transmit)、吸收(absorb)與「反射」(reflect)等字眼來描述光與熱的行為。請學生畫出以下圖形並寫下定義：

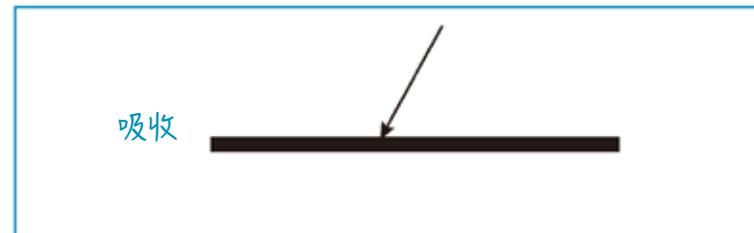
- a. 光子(光或熱)穿過物體，稱為「穿透」。請教師在白板上寫上「穿透」，並在字的旁邊畫出水平線與箭頭，且箭頭穿過水平線，以表達字面意思。



- b. 光子從物體上反彈射出去，稱為「反射」。請教師在白板上寫上「反射」，並在字的旁邊畫出水平線、箭頭與線呈某個角度射出水平線外。



- c. 光子撞擊物體後不再釋出，稱為「吸收」。請教師在白板上寫上「吸收」，並在字的旁邊畫出較粗的水平線和射向它的箭頭，表示箭頭被水平線吸收。



7. **討論玻璃帷幕的效應** 教師提問：「在電腦模擬場景中，你認為溫度為什麼會升高？」(玻璃鎖住了熱空氣，不讓熱能逸散) 請教師展示以下玻璃鎖住熱能的例子：(1) 緊閉門窗的車子，陽光普照時，車內會變得很熱，這是因為車窗讓熱能進入車內；熱能讓車內的表面增溫，但車窗玻璃卻鎖住熱能。(2) 溫室就是利用玻璃鎖住熱能的建築，營造出溫暖的環境，讓植物在其中滋長。

教師注意事項

科學註記

關於模擬 關於溫室效應的物理原理，若想協助六至八年級學生完全理解，並不全然合適。但是，讓他們理解溫室氣體與地球溫度的關聯，以便後續建立氣候變遷的理解，則是合理而重要的。由科羅拉多大學波德分校（University of Colorado at Boulder）PhET™ 設計的電腦模擬，能讓學生藉由操弄多樣的變因，探索這樣的關係；在真實生活中，學生無法如此操控，但是電腦模擬能讓學生瞬間體驗變化所引發的效應。此外，如果教師可以取得多部電腦，就可以讓小組或個人獨立探索模擬。這個電腦模擬能讓學生操控溫室氣體的濃度、調節雲層範圍，創造出含溫室氣體或非溫室氣體的多種大氣。

關於光子的穿透、反射與吸收 物質接觸到太陽發射的光線時，並不是表現單一行為，這點必須注意。舉例來說，大部分讓光線穿透的物質也會反射或吸收部分光線。大氣中有些氣體比其他物質能夠吸收更多熱能，這是因為氣體分子結構的關係。這些熱能會轉換為動能，因此氣體吸收熱能後，運動程度也加大了，這樣的運動由學生操控電腦模擬的「發射熱能」（shoot heat photons），就能顯而易見。同時學生也會發現：熱能接觸氣體分子時，並不會只有一種行為（反射、穿透或吸收都有可能）。

英文學習者

詞彙鷹架 本小節介紹了幾個新詞彙——穿透、反射、吸收、光子、溫室氣體、溫室效應、模型，以及模擬。英文學習者可能需要額外指導，並多練習上述詞彙，讓本小節的學習順利成功。本小節即將開始之初，預先讓他們有心理準備，準備迎接許多新詞彙。教師介紹新詞彙時，請把詞彙羅列於白板。可能的話，請學生討論如何以他們的母語讀出新詞彙或解釋其中概念。教師偶爾必須停下進度、複習新詞彙的含意，引導學生以新詞彙造句（例如：**穿透和吸收的差異是什麼？**），或讓兩個詞彙產生關聯（**溫室氣體與溫室效應有什麼關係？**）（**在新詞彙中，與「光子」相關的詞是哪一個？**）

科學語言

科學字彙

吸收
大氣
碳循環
二氧化碳 / CO_2
氣候
氣候變遷
洋流
緻密 / 密度
證據
化石燃料
熱能
溫室氣體
模型
生物
海平面

科學論證

你的想法是什麼？
你為什麼這樣想？
你的證據是什麼？
你同意嗎？為什麼？
你不同意嗎？為什麼？
我們有多大的把握？
要怎麼辦，我們才能更有把握？

溫室氣體				
溫室氣體 (g)	氣體	發生的反應 (請圈選)		
CH ₄ (甲烷)	高：	穿透	反射	吸收
	低：	穿透	反射	吸收
CO ₂ (二氧化碳)	高：	穿透	反射	吸收
	低：	穿透	反射	吸收
H ₂ O (水蒸氣)	高：	穿透	反射	吸收
	低：	穿透	反射	吸收
O ₃ (臭氧)	高：	穿透	反射	吸收
	低：	穿透	反射	吸收

調查筆記本，P.12

測試溫室氣體

- 介紹溫室氣體與溫室效應** 告訴學生：促使地球溫暖的物質很多，但地球大氣的溫室氣體 扮演了重要角色，這類氣體會防止熱量離開地球。許多溫室氣體加入大氣中並造成溫度上升，我們稱為「溫室效應」。雖然溫室氣體和溫室都會使溫度上升，但是其中的原理卻不相同。
- 介紹調查筆記本紀錄的部分** 請學生翻開調查筆記本第 12 頁「溫室氣體」，並說明：待會兒將運用電腦模擬，找出哪些大氣的氣體是溫室氣體。請學生閱讀筆記本上的指示，並指出要記錄的五種氣體圖表。
- 測試甲烷吸收可見光子（也就是光線）的程度** 在電腦螢幕最上端點選「光子吸收」，測試不同的氣體。教師先作示範，從「大氣氣體」的右邊點選 CH₄（甲烷），再點選「可見光子」（Visible Photon）選項，這時螢幕上的槍會變成黃色。接下來，把控制器（slider）拖曳到右邊（槍裡面），如此增加光子數量，並點擊按鍵，讓光子朝向甲烷分子「射擊」。然後詢問學生：「光子射擊到甲烷分子後，會發生什麼現象？光子會穿透、反射或被吸收？」（穿透）請學生圈選「穿透」選項。
- 測試紅外線光子** 將光子槍改成「紅外線光子」（Infrared Photon），然後朝向甲烷分子射擊。教師提問：「紅外線光子的熱能射擊到甲烷分子後，發生什麼事？」（熱能被困住一會兒，然後被釋放）。教師再提問：「甲烷分子困住熱能後，發生什麼事？」（分子開始蠕動），教師解釋：分子吸收熱能後，就會開始蠕動。請學生圈選「吸收」選項。
- 讓吸熱與溫度上升產生連結** 教師指出：剛剛的現象與玻璃帷幕的實驗有些不同。玻璃帷幕將大部分的熱能反射回地球大氣。接著解釋：如同電腦模擬所見，溫室氣體吸收熱能後，會開始蠕動。一旦溫室氣體分子的運動幅度增大，導致周圍的分子隨之增溫，因為溫室氣體運動幅度變大，會撞擊到其他氣體分子，讓其他氣體分子的運動幅度也變大。這樣一來，有些熱能就反射回地球表面；熱能被困在地球表面，大氣的溫度就會升高。

教師注意事項

科學註記

關於溫室氣體與溫室效應 溫室氣體（二氧化碳、甲烷、一氧化二氮和水蒸氣）占地球大氣成分不到百分之一，不過卻對氣候有深遠的影響。「heat-trapping gases」與「greenhouse gases」都是一樣的氣體，但是科學家習慣採用前者名稱，因為字面上貼近該氣體的性質。當太陽輻射進入大氣層後，有些被大氣反射，但是大約有一半被地球表面吸收，並轉換成熱能，然後以紅外線的方式回到大氣。大部分的紅外線被溫室氣體吸收、再釋出；有些紅外線通過大氣抵達外太空。紅外線保存於地球大氣層內，正是地球氣候適合生物棲息的原因，因為可以讓大氣、地表和海洋維持溫暖。不過，由於人類活動的關係，溫室氣體逐漸增加、累積，使得更多的紅外線被吸收，地球的溫度也就隨之上升。造成地球溫度上升的效應，以水蒸氣作用最強，二氧化碳次之。但是，科學家最擔心的溫室氣體卻是二氧化碳，主要是人類的活動直接讓二氧化碳濃度增加，這點也是兩種氣體相異之處。

密閉的車子或溫室在陽光普照時，溫度會持續上升，這與溫室效應讓地球增溫的原理不同。玻璃讓光能進入兩者內部，內部的表面吸收了光能，使內部表面溫度增加，加熱了內部的空氣（不管是車內或溫室內），玻璃還會阻止熱能逸出，不過玻璃不會將熱能反射回內部表面。

關於分子運動與溫度 所謂溫度，就是某物質分子的運動程度。分子的運動增加，溫度也隨之上升。

教學原理

為什麼不做實驗，以顯示二氧化碳的吸熱作用？ 許多教學網站都用兩個兩公升的空汽水瓶、光源和溫度計，在其中一個瓶內製造二氧化碳。我們發現，這樣的實驗因為某些原因，會得到矛盾的結果，因此並不建議採用。

科學語言

科學字彙

吸收
大氣
碳循環
二氧化碳 / CO_2
氣候
氣候變遷
洋流
緻密 / 密度
證據
化石燃料
熱能
溫室氣體
模型
生物
海平面

科學論證

你的想法是什麼？
你為什麼這樣想？
你的證據是什麼？
你同意嗎？為什麼？
你不同意嗎？為什麼？
我們有多大的把握？
要怎麼辦，我們才能更有把握？



調查筆記本，P.13

6. 用剩餘的分子重複模擬測試 教師以光子射擊其他氣體，並鼓勵學生與夥伴簡單討論他們看到了什麼？然後把結果記錄在筆記本上。（甲烷、二氧化碳和水蒸氣對於光線，都會產生穿透、吸收作用，分子也會蠕動，證明它們都是溫室氣體。氧氣和氮氣會讓光線穿透，但不會吸收光線，因此都不是溫室氣體。）

以模擬方式測試大氣

1. 介紹如何建製大氣 請學生翻開調查筆記本第 13 頁「測試大氣」，並告訴學生：接下來兩兩一組，選擇混合氣體與一些分子來製造大氣。可以選擇一至五類型的氣體，總共可以挑十種分子。然後提醒學生：各組挑選氣體時，心中需要有想法——哪些氣體會困住熱能，哪些不會或介於中間。然後由教師射擊光子，測試這些氣體困住熱能的效果。

2. 各組學生挑選氣體並提出預測 教師在步驟 1 先讓各組學生挑選氣體與分子，並請他們寫下預測，就是製造出來的大氣反應——熱能會穿透大氣、被大氣吸收，或產生反射，也要寫下理由。請向學生強調：寫下「理由」，是本活動最重要的。

3. 測試一組學生的大氣

a. 介紹測試 請先向學生解釋：因為時間不夠，無法測試所有大氣，如果測試的這組大氣與自己組上的大氣組合類似，那就要密切注意。接著，教師示範操作方法：開啟模擬畫面，在「光子吸收」(Photon Absorption) 左邊，點選「紅外線光子」(Infrared Photon)；右邊點選「建製大氣」(Build Atmosphere)。

b. 挑一組學生測試並討論預測 請測試大氣的那組上台，利用每種氣體下方的控制器，設定大氣分子的數量，開始建製大氣。先請該組預測：大部分光子是否出現穿透、反射或吸收現象？並提出理由。教師也詢問其他同學是否同意，並徵詢另類想法或理由。

c. 測試大氣 教師將控制器移到右邊的光子槍進行測試，然後詢問該組同學：這屬於哪種大氣？「大部分熱能出現穿透、反射或吸收嗎？」「為什麼會這樣？」學生應該了解：愈會困住熱能的氣體，就愈會吸收熱能。最後由教師點選「全部重設」(Reset All)。

4. 測試不同組的大氣 再選擇「建製大氣」，測試另一組學生的大氣，並輸入該組的資訊。重複上述步驟，如果時間許可，盡可能讓更多組參與測試。請教師設法測試高濃度溫室氣體與低濃度溫室氣體組合的大氣各一組。

教師注意事項

評量

快速評估理解程度：溫室氣體效應的預測 請教師閱讀學生的調查筆記本第 13 頁「測試大氣」的預測，審視他們針對為什麼大氣的氣體能困住熱能的解釋，以及他們對光能與不同氣體交互作用的描述。學生現階段應該了解：某些氣體分子（二氧化碳、甲烷與水蒸氣）會從光線吸收熱能，並將熱能「困住」於大氣中；有些氣體，例如氧氣和氮氣，只讓熱能穿透，無法「困住」熱能。

提供更多經驗

延伸：地球不同時期的大氣模擬 教師也可以運用溫室效應模擬以取得數據，例如地球歷史中不同時期的二氧化碳 ppm 數據。在螢幕頂端點選「溫室效應」，輸入冰河時期、西元 1750 年代（工業革命之前）與現代的大氣資料。學生會發現：從冰河時期到現代，隨著溫室氣體逐漸累積增加，地球的溫度也隨之上升。

延伸：讓學生探索模擬 教師引導全班在 3.3 小節體驗模擬之後，如果能讓每位或每組學生使用電腦，請讓他們花 15 ~ 45 分鐘單獨操作。請學生根據探索的過程，記錄問題與註記。

教學原理

模擬活動的目標 本模擬的內容豐富，運用並呈現了大量多樣訊息，但本活動的目標則侷限而具體。所有學生應該都能理解：二氧化碳以及其他溫室氣體，造成了地球平均氣溫上升，而這個現象和氣體與陽光之間的交互作用有關。有些學生對於分辨光線的吸收、穿透與反射，可能有更深入的見解，但是本單元不再深入探討，我們也不期待學生根據本活動的內容，就能深入理解光或光子的性質。

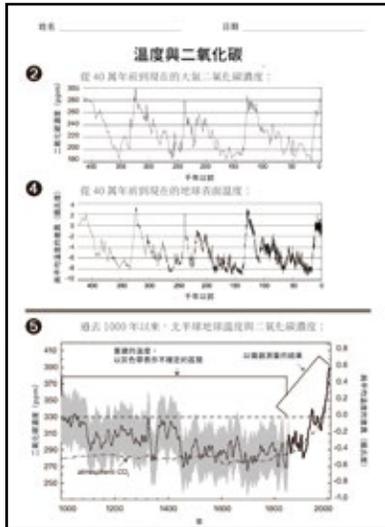
科學語言

科學字彙

吸收
大氣
碳循環
二氧化碳 / CO_2
氣候
氣候變遷
洋流
緻密 / 密度
證據
化石燃料
熱能
溫室氣體
模型
生物
海平面

科學論證

你的想法是什麼？
你為什麼這樣想？
你的證據是什麼？
你同意嗎？為什麼？
你不同意嗎？為什麼？
我們有多大的把握？
要怎麼辦，我們才能更有把握？



調查筆記本，p.14

比較二氧化碳濃度與溫度

- 1. 從電腦模擬的溫室效應開始** 點選「溫室效應」功能，提醒學生：這是模擬地球的星球，同樣也有大氣。請學生特別注意螢幕左邊的溫度計，並向他們解釋：可以調整溫室氣體的数量，看看如何影響該星球的溫度。
- 2. 比較非溫室氣體的效應** 教師提問：「如果地球的大氣中沒有溫室氣體，會如何？」，請學生進行「輪流發表」活動，找一位夥伴一起預測，缺少溫室氣體將發生的效應。教師把控制器從「溫室效應氣體濃度」(Greenhouse Gas Concentration，螢幕右邊)拖曳到「沒有溫室氣體」(None，螢幕左邊)，然後點選螢幕下方的「開始」箭頭。讓學生觀察一陣子，並注意光子和溫度計(大氣無法困住熱能，地球將會結凍)。請向學生強調：溫室氣體對於地球的生命有其必要，同時指出溫度計顯示的低溫。
- 3. 檢視高濃度溫室氣體的效應** 先讓學生快速進行「輪流發表」活動，預測：地球大氣若有大量溫室氣體會如何？然後由教師把控制器從「溫室氣體濃度」(Greenhouse Gas Concentration)拖曳到「大量氣體」(Lots)，並讓學生觀察、討論溫度上升的現象。
- 4. 比較二氧化碳與溫度的圖表** 請學生翻開調查筆記本第 14 頁「溫度與二氧化碳」，指出圖表 2 和圖表 4 都涵蓋了 40,000 年的時間，圖表 2 呈現大氣二氧化碳濃度，圖表 4 則顯示地球平均溫度。學生之前已檢視過圖表 2。教師提問：「比較兩張圖表時，有沒有注意到二氧化碳和溫度的變化，包括小變化和趨勢？」(雖然兩者不完全一樣，但是二氧化碳濃度起伏的形式都與溫度起伏的形式類似)。
- 5. 討論二氧化碳濃度與溫度的關係** 教師提問：「你從今天的活動可以得到什麼證據，證明二氧化碳的濃度和溫度有關？」(圖表顯示：二氧化碳濃度升高，溫度也上升；模擬顯示：溫度上升最快速的區間，也是二氧化碳等溫室氣體濃度最高的區間)。

教師注意事項

科學註記

關於圖表 5 及原始的「曲棍球棒曲線」(Hockey Stick Graph) 圖表 5 地球過去一千年來在北半球的溫度與二氧化碳圖表 (Earh's Temperature and CO₂ over the Past 1,000 Years) , 通常稱為「曲棍球棒曲線」圖。這是因為地球平均溫度從西元 1000 年到 1900 年代初期, 都在平均值以下, 但是之後快速揚升, 整體曲線圖宛如曲棍球球棍。西元 1998 年, 麥可·曼恩 (Michael Mann) 博士與同僚分析了過去一千年來不同的溫度測量, 畫出了這樣的圖形。該圖形出現於聯合國 2001 年「政府間氣候變遷專門委員會」(Panel on Climate Change) 的報告而成為焦點。在當時, 該圖表成為政治爭論的焦點, 許多人也懷疑其正確性。美國國家科學院 (National Academy of Sciences) 於西元 2006 年確認了曼恩博士報告的正確性, 也就是二十世紀全球的溫度上升, 是過去一千年來前所未見的現象。經由國家科學院的建議, 將原來的數據更新後, 以相同的統計方式產生了新版圖表。目前, 一般都認為這份圖表相當精確, 因為許多科學家運用各式各樣的統計方式, 也得到類似結果, 這些結果都已發表於同儕審查的科學期刊。氣候科學家的社群, 已廣泛接受大氣二氧化碳濃度上升與地球溫度上升有關聯的結論了。

關於大氣二氧化碳濃度與全球溫度的關係 大氣二氧化碳濃度上升與全球溫度上升是相關的, 這點在科學家看來無庸置疑, 但是, 其中的機制複雜難懂。很顯然的, 二氧化碳是溫室氣體, 會吸收熱能、將熱能以輻射方式回到地球表面; 因此二氧化碳的濃度與地球溫度變化是有關連性的。但是, 還有其他因素涉入其中, 例如「米蘭科維奇循環」(Milankovitch cycle) 以及「反照效應」(albedo effect) (請參考《科學內容背景》單元)。這些額外的因素, 顯示全球溫度與二氧化碳濃度之間的關係的確有些複雜。舉例來說, 幾千年以來, 二氧化碳濃度確實影響著氣溫, 但是氣溫也會影響二氧化碳的濃度。因此, 科學家都避免提出, 二氧化碳濃度增加導致全球溫度相應升高的說法。教師需要對學生強調的重點是: 科學家如果不考慮人類活動導致二氧化碳濃度升高, 就無法解釋工業革命以來地球溫度升高的原因。

科學語言

科學字彙

吸收
大氣
碳循環
二氧化碳 / CO₂
氣候
氣候變遷
洋流
緻密 / 密度
證據
化石燃料
熱能
溫室氣體
模型
生物
海平面

科學論證

你的想法是什麼?
你為什麼這樣想?
你的證據是什麼?
你同意嗎? 為什麼?
你不同意嗎? 為什麼?
我們有多大的把握?
要怎麼辦, 我們才能更有把握?

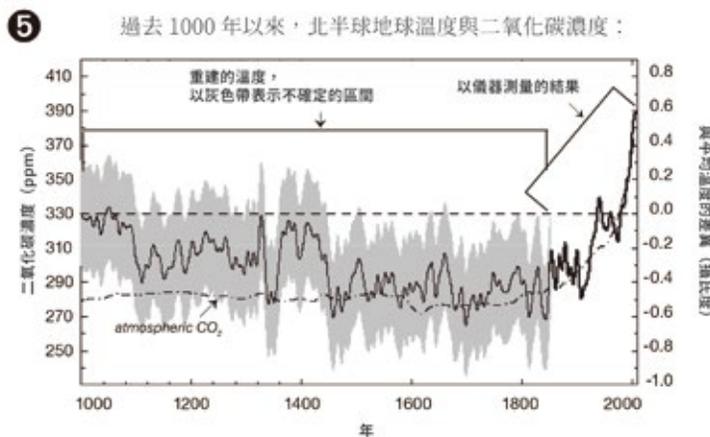


調查筆記本，p.3



(選擇利用)
調查筆記本，pp.16 ~ 17

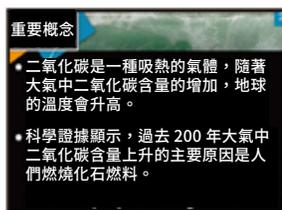
6. 請學生注意圖表 5 讓學生集中注意力，把焦點放在調查筆記本第 14 頁下方的圖表 5。請教師指出該圖表標題所顯示的溫度與二氧化碳。然後向學生解釋，圖表 5 共有三種標線：(1) 科學家根據不同來源估算出溫度，尤其是在溫度計尚未發明以及尚未記錄溫度的年代。從最左邊到西元 1800 年代中期，溫度的黑線周圍有灰色色帶，這表示科學家估算的平均值，溫度可能是灰色色帶內的任何值。(2) 西元 1800 年代中期後，開始用溫度計記錄溫度，以深黑色線表示。(3) 二氧化碳濃度以虛線表示。



7. 凸顯造成最近二氧化碳濃度與溫度上升的人類工業 教師問學生：「圖表上二氧化碳與溫度的曲線類似嗎？」(兩者有些不同，但都呈現上升趨勢)，再告訴學生：二氧化碳濃度與溫度上升，大約從西元 1800 年代工業革命開始，人類燃燒更多化石燃料，二氧化碳濃度與溫度都上升了。

8. 證據：燃燒化石燃料導致二氧化碳濃度上升 教師分享：科學家運用樹木年輪，發掘了大氣二氧化碳來源的證據。由於樹齡可達數百年之久，因此科學家在分析年輪時，發現了強有力的證據：自從工業革命以來，二氧化碳濃度的上升起源於化石燃料的燃燒。

9. 播放投影片；請學生記錄重要概念 教師播放重要概念投影片，並請一位志願者大聲朗讀。然後解釋：科學家也測試其他可能造成二氧化碳濃度上升的原因，但都沒有證據證明。到目前為止的證據顯示：因為人類燃燒化石燃料所引起的二氧化碳濃度增加，是近來氣溫上升的原因。請學生翻開調查筆記本第三頁「重要概念」，在引導問題 #2 下方的欄位寫下重要概念。



教師注意事項

科學註記

人類的角色：燃燒化石燃料與其他工業活動導致大氣二氧化碳增加

（如果學生尚未接觸第二單元，請與學生分享這則資訊）在地球上，碳儲存於許多不同的儲存庫。碳以不同的速率，在各儲存庫間流動。有時碳在某個儲存庫停留很久，只有少部分的碳會透過自然的逸散或其他因素，從儲存庫釋出。化石燃料（原油、天然氣與煤礦）要經過上千萬年的歲月，才能從死亡生物轉變而成，然後繼續在地底下存留 100,000 年之久。人類燃燒化石燃料（例如汽車的汽油、發電廠的煤），會快速將原本儲存於地底的碳，以二氧化碳的形式釋放到大氣中；土地利用方式的改變（例如為了農業或飼養牲畜而砍伐森林），還有水泥製造業，也會將過多的二氧化碳釋放到大氣中。每年總計有 94 億噸的碳，因為人類工業活動而排放到大氣中（請參考《科學內容背景》單元，以取得更多資訊）。

提供更多經驗

延伸：給進階學生的選擇性閱讀 科學家如何知道大氣中日益增加的二氧化碳來自何處？針對此，有些學生可能想知道額外的資訊。找出大氣額外的二氧化碳（Determining the Source of the Atmosphere's Extra CO₂）就針對過去幾十年大氣二氧化碳增加來源，提出了科學證據。學生可以從中發現：科學家能連結人類活動與大氣的二氧化碳，是根據三方面的研究。

延伸：線上影集 全球暖化：二氧化碳與溫室效應（Carbon Dioxide and the Greenhouse Effect, 2 分 26 秒），內容呈現了全球暖化與溫室效應的關聯，是值得推薦的影音資源（marcelawrencehallofscience.org/oss68）。

強化：幫課前想法增加註記 如果時間允許，讓學生翻回調查筆記本第二頁「課前想法」，運用目前所學增添關於氣候變遷的註記；這項活動也可以當作回家作業。

延伸：本小節的反思提示

- 如果人類工業活動產生的二氧化碳以及其他溫室氣體，今天都停止排放，請預測地球的氣溫會如何？
- 如果人類工業活動產生的二氧化碳以及其他溫室氣體濃度，今天突然大幅升高，請預測地球的氣溫會如何？

科學語言

科學字彙

吸收
大氣
碳循環
二氧化碳 / CO₂
氣候
氣候變遷
洋流
緻密 / 密度
證據
化石燃料
熱能
溫室氣體
模型
生物
海平面

科學論證

你的想法是什麼？
你為什麼這樣想？
你的證據是什麼？
你同意嗎？為什麼？
你不同意嗎？為什麼？
我們有多大的把握？
要怎麼辦，我們才能更有把握？