

氣候變遷的解決方案：Part1

全 班複習氣候變遷的原因與結果之後，運用電腦模擬的改變流動（Change the Flow），加以觀察與預測碳循環改變所產生的可能效應。將學生分組挑戰，試著分享減緩或停止氣候變遷和舒緩效應的方法（有些學生的想法也許創意十足）。學生分享完後，將進一步了解科學家和工程師提出的解決案例。以下是學生的重要概念：

- 科學家與工程師正攜手合作，減緩或阻止氣候變遷，並降低氣候變遷的效應。

學生的附帶學習：

- 科學家與工程師發揮創意解決問題。這樣的思考模式，對於解決問題極為珍貴。

氣候變遷的解決方案：Part1	預計時間
複習氣候變遷的因果	5 分鐘
模擬碳循環的變化	15 分鐘
腦力激盪找出解決方案	15 分鐘
審視科學家和工程師的解決方案	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
- 3.10 小節的十張投影片
- 一張壁報紙
- 麥克筆
- 紙膠帶
- 互動式碳循環圖表模擬
- 改變流動模擬

每組學生需要

- 一至兩張白色影印紙 *

每位學生需要

- 調查筆記本：p.3 ~ 5；34（選擇利用，每日書面反思）

* 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. 熟悉模擬操作：**請教師先行探索電腦模擬，確保在全班面前自在操作。
- 3. 繪製圖表：**利用壁報紙和麥克筆，繪製以下圖表。
_ 在教室內找個位置張貼繪製的圖表「氣候變遷解決方案」（請參考第 356 頁圖 3-10），接下來兩小節都用得到。

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？

複習氣候變遷的因果

1. **播放本小節標題投影片** 教師請學生回顧、複習先前所調查的氣候變遷效應，並向學生說明：接下來要著重在人們如何減緩或停止氣候變遷，並想出對策面對已發生的氣候變遷效應。



2. **回顧重要概念** 教師告訴學生：為了想出解決方案，回顧氣候變遷的原因是必要的。教師發下調查筆記本，讓學生翻開第三至五頁「重要概念」。請學生在討論下列問題時，參考先前的註記：
 - 氣候變遷是地球歷史中的新事件嗎？（不是；地球的氣候變遷已經發生多起）
 - 為什麼需要關切目前的氣候變遷？（科學家的證據顯示，西元 1960 年之後與過去相較，氣候暖化許多）
 - 二氧化碳為什麼與氣候變遷有關係？（二氧化碳是一種溫室氣體；大氣中的溫室氣體愈多，溫度會節節上升）
3. **凸顯三種解決方案** 教師告訴學生：全班要聚焦於三種主要類型的氣候變遷解決方案——(1) 降低排放至大氣的二氧化碳排放量；(2) 回收已經排放於大氣的二氧化碳；(3) 降低氣候變遷效應。

模擬碳循環的變化

1. **播放並討論** 互動式碳循環圖表 播放「所有碳流動」模擬畫面，並說明：在地球上，碳從一個地方流動到另一個地方，稱為碳循環。然後提醒學生：儲存庫上的數字（不是箭頭上的數字），顯示儲存庫通常的碳含量。接著教師將以下三個問題寫在白板上，讓學生分組討論。約過五分鐘後，重新集中學生的注意力，讓幾位志願者分享討論結果，並配合學生將螢幕切換到適當的模擬畫面。
 - 二氧化碳藉由哪些途徑進入大氣？（動物和植物釋放二氧化碳到大氣，這是呼吸作用的一部分；動物和植物死亡後分解，也會釋放出二氧化碳；二氧化碳從海洋釋放到陸地；人類燃燒化石燃料）請切換到「碳進入大氣」模擬畫面。
 - 二氧化碳藉由哪些途徑移出大氣？（植物攝入二氧化碳，進行光合作用；二氧化碳被海水吸收）請切換到「碳移出大氣」模擬畫面。
 - 二氧化碳儲存於哪些場所（碳儲存庫）？（石灰岩及其他岩石；沉積物及沉積岩；海洋深層水；化石燃料等）請切換到「儲存庫」模擬畫面。

教師注意事項

每日書面反思

改變地球氣候變遷的因素中，人類該負哪些責任？ 這則提示收錄在調查筆記本第 34 頁，請讓學生連結氣候變遷與人類的責任。直到目前為止，關於二氧化碳及其對氣候變遷帶來的效應，學生已經學得相當多了，另外在 3.3 和 3.6 小節中，針對人類與氣候變遷的關係，也略有所聞。如果學生已經學過第二單元，那麼他們對該主題已所學甚多，特別是燃燒燃料的部分。這則提示是要讓學生反思人類對氣候變遷該負的責任，同時讓他們了解：要解決這個問題，需要許多資訊。這樣就能幫助學生做好準備來審視碳循環圖表，並在進行本小節的過程中腦力激盪。

提供更多經驗

準備：讓學生探索互動式碳循環圖表 如果學生尚未接觸第二單元，或還沒上過碳循環課程，教師可能需要多花點時間，幫助他們做好準備迎接本小節或後續兩個小節。在本小節開始前，需運用額外時間讓學生操作**互動式碳循環圖表**，以理解碳如何進入大氣、如何移出大氣，以及長久以來碳如何儲存於儲存庫。請讓學生理解：如果少了人類的活動，有關大氣中的碳輸入總量與移除總量，其方程式兩邊是平衡的。接著指出：由於人類的工業活動和土地利用，導致碳的輸入量大於移除量，這就是讓方程式失衡的原因。最後提醒學生，3.3 小節提到：即使是少量額外碳含量進入大氣，也會引起氣溫上升。

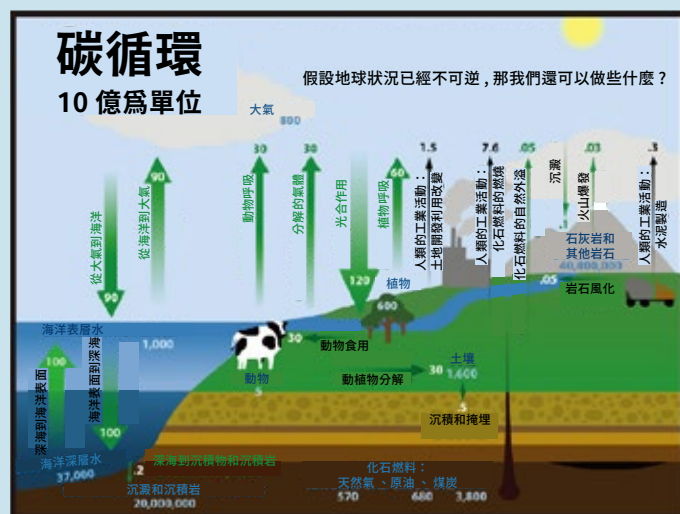


圖 3-8 互動式碳循環圖表的「所有碳流動」模擬畫面

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？

2. 介紹改變流動模擬 教師展示五種場景，並向學生說明：碳儲存庫以及碳流動因為某種變遷而增減。這樣的模擬可以引導他們提出預測。

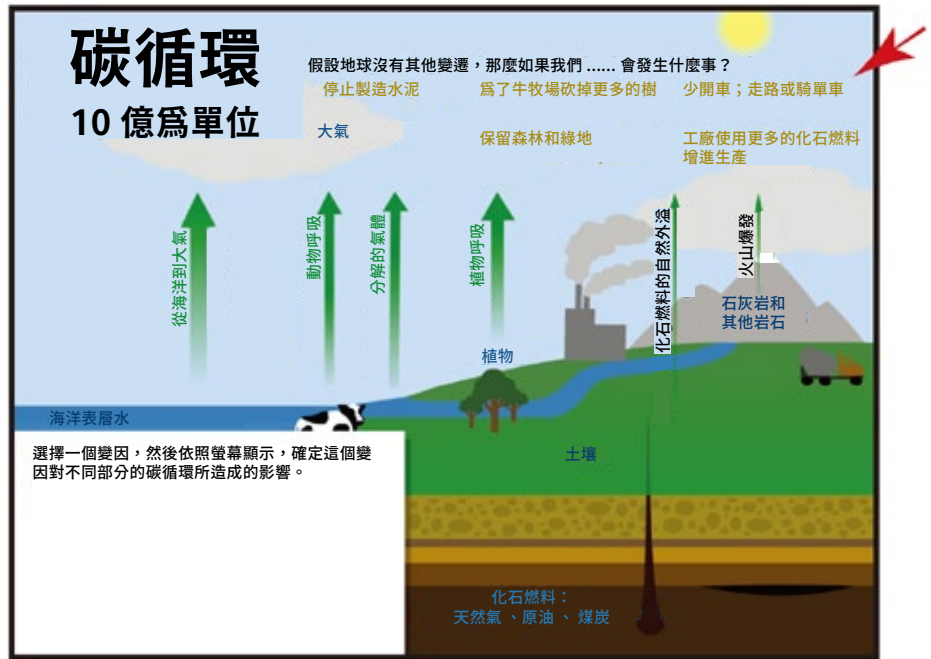


圖 3-9 在改變流動模擬畫面中，螢幕的箭頭指向五種不同的場景；點選每個場景，個別的提示將出現於左下角白色框內。

3. 點選「停止製造水泥」畫面並提出預測 點選「停止製造水泥」模擬畫面，然後透過提示提出預測——首先針對某些碳流動，接著針對某些碳儲存庫，請學生提出預測並佐以證據。學生對該場景的預測可能出現不同想法，例如大氣中的二氧化碳含量會降低、維持不變或增加，但增加速度較過去慢。鼓勵學生禮貌地提出不同意見，並解釋證據與推理。

4. 討論第二級效應 教師問學生：「如果大氣中二氧化碳含量低於目前狀況，其他的碳流動或儲存庫會有什麼效應？」（從大氣到海洋的二氧化碳流動會降低。）請教師傾聽幾個回答，如有必要，再詢問學生：「大氣的二氧化碳含量降低，如何影響海洋的二氧化碳？」

5. 替其他場景提出預測 讓學生從模擬場景中，確認能夠降低大氣二氧化碳含量的場景。也就是從「保育森林與增加綠地；減少開車時間；步行或騎單車」模擬場景中挑選一個，並根據模擬的提示，提出預測。

教師注意事項

教學建議

讓學生獨立探索改變流動模擬 如果教師可以替每組學生取得電腦，就能讓學生有更多時間探索更多場景，並根據碳流動與儲存庫改變狀況，提出預測，再比較自己與科學家的預測內容。教師也可以讓學生選擇一種場景，寫下預測，並針對科學家的預測，寫下問題與評論。

科學註記

關於碳流動和儲存庫的預測 預測碳循環流動的改變將會相當複雜，例如全班探索的改變流動模擬，特別是考慮二級效應的時候。另一種複雜因素是，不同碳流動與儲存庫的碳含量是變動的——人們持續增加二氧化碳進入大氣的含量。你可能認為，停止水泥的生產會大量減少大氣中的二氧化碳，因為這樣比其他做法，更能降低大氣中二氧化碳的含量。另一方面，你也可能堅信，就算停止所有水泥製品，由於燃燒更多化石燃料，大氣中的二氧化碳仍舊會升高。

提供更多經驗

延伸：線上視覺化氣候模型 NOAA 的全球科學探索家（Global Science Investigator），可以協助學生理解科學家如何運用整個地球的相關數據，提出氣候變遷的預測。將「商業場景」（Business）當作「一般場景」（Usual）（碳排放量增多），並與「生態友善」氣候場景（Ecological Friendly）做比較（IPCC 場景呈現碳排放量降低）。

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？

腦力激盪找出解決方案

- 1. 介紹腦力激盪活動** 教師告訴學生：待會兒將以腦力激盪方式，找出氣候變遷的解決方案。然後向學生解釋：進行腦力激盪活動時，發揮創意或甚至舉出沒有把握的想法，都可以接受。
- 2. 展示圖表** 向學生展示先前製作的「氣候變遷解決方案」圖表，大聲說出兩項挑戰，並告訴他們：挑戰這兩項或其中之一，想出可能的解決方案。

氣候變遷解決方案	
人類如何降低大氣中的大量溫室氣體？	人類如何減少氣候變遷引起的效應？

圖 3-10 圖表上留出足夠空間，用來記錄每組 10 分鐘腦力激盪後，一兩位學生的想法。

- 3. 解釋方案** 教師讓學生了解，他們所提的解決方案可能是科學家或工程師才能發掘的偉大想法，也可能是尋常人就能獨立完成或與家人、學校合作的點子。
- 4. 分組並發下紙張** 請每組挑選一位組員當記錄者，記錄者必須先在組上的學習單寫下「氣候變遷解決方案」，也必須參與小組討論，並記錄組上腦力激盪得到的想法。然後教師告訴各組：十五分鐘後，各組須與全班分享想法。
- 5. 教師巡迴查看並提出問題** 學生進行活動時，請教師查看各組的討論狀況，並適時提出：「這樣的想法如何讓地球停止升溫？這樣的想法解決了哪項氣候變遷的效應？」
- 6. 簡單發表** 大約過了十分鐘後（請預留發表時間），請教師集中學生的注意力，然後讓各組派出一名志願者，分享組上一兩個最滿意的想法。教師以摘要的方式，將學生的解決方案記錄於「氣候變遷解決方案」圖表。在學生分享想法時，也請他們解釋：組上的想法如何呼應氣候變遷的原因或其效應。並鼓勵台下學生禮貌地對台上各組的想法，提出質疑。這樣做可以讓各組的解決方案與氣候變遷的連結更穩固。

教師注意事項

英文學習者

提升學生的參與 以小組方式討論，對英文學習者相當有利。由於同儕以英文作為科學語言，英文學習者便能在較不正式場合發言，而不是在全班前面發表，還可以請同儕協助釐清概念。如果認為英文學習者本來就無法完全融入小組討論，是相當不智的想法。教師須事先向學生說清楚：如果有個組員很少發言，其他組員應該詢問該組員的想法並確定是否掌握任務，其他組員有責任鼓勵該組員參與討論。教師也可以指定每個組員的特定角色，以提升整組的參與。就這個活動而言，教師可以指定組員的角色，例如記錄者、研究者（查詢調查筆記本相關資訊）、推動者（確定成員都分享意見），以及提問者（必要時負責提出問題：在全班分享活動時，要求其他組解釋想法）。

提供更多經驗

強化：寫下解決方案難以執行的部分及其優點 教師可以讓學生更深入地思索本小節舉出的解決方案，例如讓學生寫下全班列出的解決方案，藉此強化本小節所討論的解決方案。這則提示在調查筆記本 3.11 第 35 頁「每日書面反思」。不過，教師若能提供多一些時間和支持，讓學生進行書寫，而不只是一般例行活動，那麼學生的收穫會更多。首先讓學生寫下解決方案的預期優點，並鼓勵他們運用關鍵詞彙，像「二氧化碳」或「大氣」等。接下來，讓學生寫下解決方案可能遇到的執行困難或缺點，例如「會不會讓其他人損失錢財或浪費時間？」「哪些人會反對？」

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？

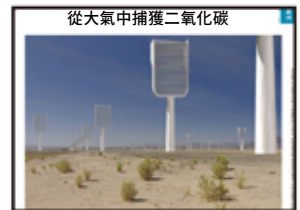
審視科學家和工程師的解決方案

1. **分享其他有創意的想法** 教師告訴學生：科學家和工程師也想出開創性十足的解決方案。教師接著解釋：想法隨時都在改變，不過以下所列都是科學家實際產出的想法。前面四種想法是與預防釋放、獲取大氣中的二氧化碳有關；後面兩種想法則呼應了氣候變遷的某些效應（海冰消融以及海平面上升）。請教師播放以下六張投影片並解釋：

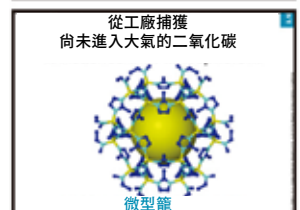
a. **以岩石儲存碳** 二氧化碳若來自化石燃料的燃燒，就有可能將其捕獲並與礦物結合，最後當作岩石儲放。歐洲一群科學家正在探索這樣的研究，可能有助於以非常穩定的方式讓碳儲存很久。



b. **從大氣中捕獲二氧化碳** 科學家也發展科技，讓架設於高塔的板子，吸收過往的二氧化碳。



c. **從工廠捕獲尚未進入大氣前的二氧化碳** 由於工廠會製造二氧化碳，巴西的科學家已經發明吸收二氧化碳的技術，以免讓二氧化碳進入大氣。科學家利用微小的陶瓷小球，作為捕捉二氧化碳的「籠子」。



d. **減少牛隻排放體內氣體** 阿根廷研究者驚訝地發現，一頭牛每天產生的甲烷高達 800 ~ 1000 公升。科學家正研究飼料新配方，希望改進牛隻的消化功能，減少甲烷這種溫室氣體的排放。科學家發現：讓牛隻進食三葉草或紫花苜蓿以取代穀類，牛隻的甲烷排放量可降低 25%。



教師注意事項

教學原理

針對本小節投影片上的解決方案不需要探索太深 本小節強調的解決方案大多需要科技發展的配合，目前超出科學家的能力。不過這些工程方面的解決方案，仍有助於引導學生思索出創新方案，以回應預防溫室氣體釋放、獲取和儲存的可能機制。下一小節，學生將調查更多實際的氣候變遷解決方案，他們可以輕鬆參與其中。

科學註記

關於氣候變遷解決方案的科學研究 科學家針對氣候變遷，努力想出許多不同的解決方案。有些方案運用減緩以及調適策略，包括在岩石中儲存碳、從大氣中截取二氧化碳，或從工廠捕獲尚未進入大氣的二氧化碳、降低牛隻排放的甲烷、將屋頂漆成白色、打造船屋。這些策略並無法減緩所有的氣候變遷效應，然而卻是降低未來氣候變遷、協助人類適應氣候變遷效應的第一步。

教學建議

每張投影片都要進行輪流發表 若時間允許的話，請讓學生兩兩一組，在播放每張投影片之後，讓他們討論解決方案、彼此對話，討論方案可能的優點和缺點，或難以執行之處。在最後一張投影片討論完後，教師可以請各組討論六個解決方案當中，哪個效果最好。

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？

教師注意事項

提供更多經驗

延伸：學生研究並利用科技，提出氣候變遷的解決方案 教師可以針對本小節以科技為基礎的解決方案，讓學生進行更深入的研究。讓他們搜尋目前關於創新和發展中的科技或方法，也就是「碳捕獲與儲存」（carbon capture and storage, CCP）以及「碳捕獲與利用」（carbon capture and utilization, CCU）。

延伸：從學生創造氣候變遷解決方案影集取得靈感 播放一系列八集以學生為中心的影集，內容關於學生面對氣候變遷的種種，請參考 <http://youngvoiceonclimatechange.com>。

延伸：線上影集 太陽能油漆彩繪屋頂（Solar Paint Your Roof, 3 分 1 秒）以及捕捉碳（Capturing Carbon, 5 分鐘 25 秒）是兩部值得推薦的影音資源，可以讓孩子更進一步審視氣候變遷解決方案的可能發展。（請參考 mare.lawrencehallofscience.org/oss68）

延伸：本小節的反思提示

- 你想不想成為科學家或工程師？為什麼？
- 你認為在降低大氣溫室氣體方面，什麼樣的解決方案成效最好？
- 你已經了解氣候變遷了，那麼要如何努力才能營造適合居住的地球呢？

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？