

調查燃燒與碳循環

在 上一小節，學生學到碳如何流進化石燃料與石灰岩等儲存庫，本小節則調查碳如何流出這些儲存庫。教師請小組檢視碳卡，找出把碳移出化石燃料以及石灰岩的流動各兩條碳鍊。全班把焦點放在「人類活動：化石燃料的燃燒」產生的碳流動的其中一條。教師點燃蠟燭，示範在燃燒的過程中，化石燃料的碳如何轉變成空氣中的二氧化碳。接下來，全班將探索兩個碳循環模型，焦點仍然放在化石燃料的燃燒：第一個是電腦模型「互動碳循環圖」，另一個則需要骰子、有顏色的迴紋針，讓學生藉著許多儲存庫追蹤碳的蹤跡。學生操作模型，一次體驗自然狀態下碳從化石燃料流出；另一次則體驗人類燃燒化石燃料的過程。圖表則顯示最近幾十年來，人類燃燒化石燃料的量劇烈增加。在這裡學生的學習聚焦在以下幾個重要概念中：

- 碳在各種儲存庫流動，但是整個地球上的碳總量不變
- 人類的工業活動從化石燃料與石灰岩移出碳，並且讓碳進入大氣

學生還學到：

- 化石燃料以及其他物質，因為燃燒的過程產生二氧化碳
- 透過自然的過程，少量的碳會從化石燃料以及石灰岩之類的碳儲存庫移出
- 單一的碳原子，可能從許多種儲存庫進出
- 每個科學模型，在某些狀況是正確的，但在某些狀況下則不然

單元目標

科學內容

- 碳循環

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

調查燃燒與碳循環	預計時間
利用化石燃料以及石灰岩儲存庫追蹤碳流動	15 分鐘
示範燃燒	5 分鐘
探索互動碳循環圖	5 分鐘
探索迴紋針碳循環模型	20 分鐘
總計	45 分鐘

你要準備以下項目

全班需求

- 投影設備 *
- 連結網路的電腦或教學資源光碟
- 2-5 小節的 5 張投影片
- 電腦模擬：互動碳循環圖
- 1 根蠟燭
- 火柴 *
- 1 個派盤
- 紙巾 *
- 影印包

每組學生需求

- 19 張「碳循環卡」(Carbon Cycle Cards set, 完整一套共有 30 張)
- 1 個信封袋
- 1 個骰子
- 50 個有顏色的迴紋針 (每種顏色 10 個)
- 5 個自黏式塑膠袋
- 1 個迴紋針碳循環模型 #1 學習單
- 1 個迴紋針碳循環模型 #2 學習單

每個學生需求

- 調查筆記本：p.2-4; 17 (選擇利用) ; p.20(每日書面反思)
- * 不包含於教材

準備上課

上課前一天的準備工作

1. **架設好投影設備或視聽設備：**架設完成並且進行測試，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 或是資源光碟。
2. **預習互動碳循環圖：**教師先探索電腦模型，熟悉不同場景以及視窗畫面。
3. **準備碳流動卡：**利用顏色分開卡片 (16 張綠色、11 張藍色以及 3 張黑色)；每組學生則需要 19 張卡片 (綠色與黑色)，把這 19 張預先裝入信封。
4. **準備自黏式塑膠袋與有顏色迴紋針：**每組需要 10 個各色的迴紋針，並把迴紋針裝入小塑膠袋，每種顏色各自分裝。
5. **準備學生學習單：**從影印包找到下列學習單——
 - _ 迴紋針碳循環模型 #1 (每組 1 張)
 - _ 迴紋針碳循環模型 #2 (每組 1 張)

科學語言

科學字彙

吸收
大氣
原子
碳
碳循環
二氧化碳 / CO₂
碳流動
碳儲存庫
燃燒
分解 / 分解作用
證據
化石燃料
物質
模型
分子
生物體
光合作用
呼吸

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？

利用化石燃料以及石灰岩儲存庫追蹤碳流動

1. **蒐集學生作業** 教師蒐集學生的碳循環圖，並且告訴他們：本單元最後的寫作活動，會發回運用。
2. **播放投影片並介紹互動碳循環圖** 教師播放互動模擬的「儲存庫」視窗。教師告訴學生：「**電腦模擬和你的碳循環圖很像，你可以點擊畫面，得到更多訊息。**」教師向學生說明，本小節以及後續小節都會用到這個模擬。



3. **探索互動碳循環圖的化石燃料以及石灰岩儲存庫** 請教師提醒學生：他們已經了解碳如何進入煤、原油以及石灰岩等儲存庫。請學生點擊「化石燃料儲存庫」，並請他們大聲讀出其中的資訊；然後也用同樣的方式打開「石灰岩儲存庫」。
4. **請學生回答碳從儲存庫流出的方式** 教師可以這樣問學生：「**上個小節，你學到碳如何流入煤、原油以及石灰岩等儲存庫。你認為碳是如何流出這些儲存庫的呢？**」然後告訴學生，接下來就要開始調查這個問題。
5. **介紹碳流動卡以及碳從 4 種儲存庫流出的方式** 教師拿出 19 張碳流動卡，告訴學生：各組的任務，就是檢視這 19 張卡片，找出 4 張描述碳流出化石燃料以及石灰岩資料庫的卡片。教師告訴學生：他們也要注意其他卡片——有些描述他們已經學到的碳流動，有些則描述其他的碳流動。
6. **小組發掘碳流出化石燃料以及石灰岩的卡片** 教師發下碳流動卡給每組 4 人的小組，讓他們從中篩選 2 張碳流出化石燃料儲存庫的卡片，（自然逸散與化石燃料的分解；人類工業——燃燒化石燃料）以及 2 張碳流出石灰岩儲存庫的卡片。（火山爆發；人類工業——製造水泥）

教師注意事項

每日書面省思

為什麼有些生物會腐敗、有些則變成化石燃料或石灰岩？它們的差別是什麼？ 這則提示收錄於調查筆記本第 20 頁，請讓學生回頭參考先前所學。學生們現在應該可以解釋這是因為生物死亡後被層層掩埋，且環境缺少分解者，經歷高溫與高壓，在這樣的條件下持續億萬年，而有機會變成化石燃料。

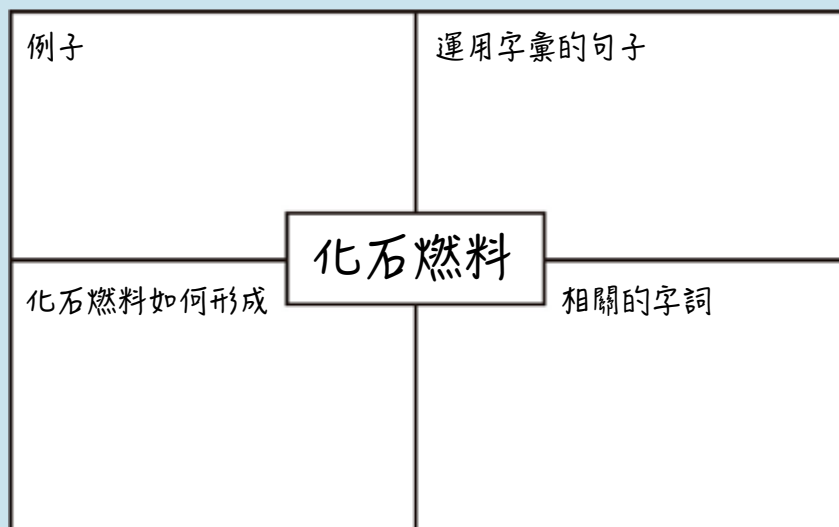
教學方針

篩選碳流動卡的原因 篩選碳流動卡，並挑出離開化石燃料以及石灰岩的碳流動，對學習是有幫助的，可分為兩方面說明。首先，學生審視每張卡片的內容，因此有機會複習先前所學；此外，各組藉此發掘碳流出儲存庫的卡片，也為這個活動帶來探索的意味。

學生將在下一小節運用「十億噸」的訊息 學生可能注意到，碳流動卡述敘了幾次「十億噸」（gigatons）這個名詞，它是 2-8 小節的焦點。在這個階段，教師可以告訴學生：這個名詞有助於區辨哪個碳流動較大、哪個較小。

英文學習者

字彙框架 複雜的科學詞彙，往往是英文學習者的挑戰。在本小節以及下一小節，教師可以在小節開始之前，協助英文學習者複習「化石燃料」，讓他們順利學習字彙。讓學生幫老師完成以下的詞彙圖，並把詞彙圖貼在牆上：



科學語言

科學字彙

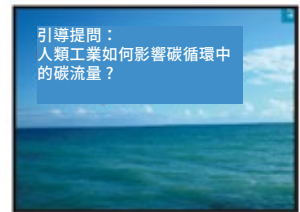
吸收
大氣
原子
碳
碳循環
二氧化碳 / CO₂
碳流動
碳儲存庫
燃燒
分解 / 分解作用
證據
化石燃料
物質
模型
分子
生物體
光合作用
呼吸

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？

7. **每個組員都要唸卡片的内容給組員聽** 請全班注意，當大部分組別找出正確的 4 張卡片，令組內每個人都分配到 1 張卡後，其他剩下的 15 張卡先擺一邊，每位組員開始輪流大聲讀出卡片背後的說明給小組聽，然後才回收卡片。

8. **播放新的引導問題投影片** 教師對學生說：「大部分流出儲存庫的碳，流出的原因是因為人類」，並播放新的引導問題投影片，然後請一位學生大聲讀出。



示範燃燒

1. **介紹蠟燭這種化石燃料** 教師告訴學生：現在全班的焦點要放在化石燃料的燃燒，因為這是碳從化石燃料流出的最大因素。教師手持蠟燭，說明蠟燭的成分是來自原油的石蠟。因為石蠟燃燒的關係，才會讓燈蕊的火焰持續燃燒。

2. **點燃蠟燭並且搜集煙灰** 教師把蠟燭放在學生可以看到的安全位置，然後點燃蠟燭。一段時間後，把鋁製派盤放在火焰中幾秒鐘時間。教師移開派盤，讓學生看到造成盤面燻黑的煙灰。教師用指頭或紙巾採集煙灰，讓全班看到黑色的指頭或紙巾。

3. **輪流發表** 教師問問學生：「石蠟以及燈蕊的碳，到哪裡去了」，然後讓學生與夥伴討論一會。大約 1 分鐘過後，請幾位學生分享觀點。教師接著問學生：「你的想法是什麼？」「為什麼？」「你的證據是什麼？」教師向學生解釋：燃料（大部分是石蠟）因為燃燒的關係，其中的碳轉變成氣體——包括二氧化碳，並釋放出熱能。黑色的煙灰和煙，大部分是燃燒剩下、沒有轉變成氣體的固態碳。最後教師吹熄蠟燭結束發表時間。

教師注意事項

教學建議

學生執行蠟燭調查 如果教師認為應該讓學生兩兩成對、親自操作蠟燭調查，而不是教師示範，就需要額外給各組準備教材，例如蠟燭、火柴和派盤。教師照樣提出問題，請學生說明蠟燭的碳在燃燒的過程到哪去了，並且激勵學生尋找資料。如果教師這樣安排，就必須訂下嚴格的安全守則，例如：蠟燭點燃後不准碰觸蠟燭或火焰，還有桌面必須完全清空。另外，蠟燭燃燒時派盤要離火焰頂端 1 呎以上，並且全班要規矩坐在位子上。

科學註記

關於燃燒 化石燃料燃燒，其中的氫分子和空氣中的氧氣產生反應。二氧化碳是反應產物的其中之一，燃燒過程中逸散到大氣。燃燒過程中，蠟燭的碳立刻流到地球的大氣。化石燃料燃燒後，這樣的碳流動速度非常快速，比流到任何儲存庫都快，因此會累積大氣中的碳含量。

提供更多經驗

延伸：回溯燃燒用掉的碳 教師引領全班做簡短的腦力激盪，讓學生列出人類燃燒的物質（木頭、紙張、打火機用油、煤炭、火爐的天然氣等等），並告訴學生：引擎也必需燃燒燃料才能運轉，因此人類燃燒的物質又多了幾樣（汽油、柴油），教師向學生解釋，這些物質都含有碳。接著請全班挑出以上物質的其中一項，向前推移兩個或三個步驟，推測碳的來源。舉例來說，來自樹的木頭，透過光合作用從空氣中的二氧化碳取得碳。接下來，請各組成員挑選其他物質，依照相似的方法往前推論。在這裡教師可以設計簡單表格，讓學生以書面方式記錄討論的過程。

科學語言

科學字彙

吸收
大氣
原子
碳
碳循環
二氧化碳 /CO₂
碳流動
碳儲存庫
燃燒
分解 / 分解作用
證據
化石燃料
物質
模型
分子
生物體
光合作用
呼吸

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？

探索互動碳循環圖

- 1. 複習科學模型** 教師提醒學生：在科學領域中模型用來協助理解、預測或解釋原理。某些方面，模型就像真實的狀況，某些方面卻不是。全班一起運用電腦探索碳循環圖，這樣的圖形可說是碳循環的模型，可以用不同的碳循環模型來執行另一個活動。
- 2. 探索互動圖中的自然碳循環** 播放互動圖中的「大氣的自然碳流動」，並請幾位學生發表評論，說說看到模型的哪些現象。請教師點擊「火山爆發」流動，並指出這個訊息與碳流動卡顯示的訊息一樣，只是多了碳原子移動的動畫。
- 3. 探索互動圖中的工業碳循環** 教師播放「人類工業流動」互動圖，並邀請幾位學生評論，然後點擊「化石燃料燃燒流動」互動圖。
- 4. 討論模型的效用** 教師播放「所有流動都會進入大氣」互動圖並問問學生：「**模型可以顯現碳循環的哪些效果呢？**」（有許多儲存庫；碳原子透過許多方式，從一處儲存庫移動到另一處）教師指出模型顯現的數字並解釋：模型會呈現碳流動與儲存庫的規模，顯示哪個較大或較小。在下一小節，學生將探索這樣的數字。
- 5. 討論模型的弱點** 教師問學生：「**模型無法顯現碳循環的哪些效果？**」（只呈現兩種生物；缺少海洋生物；碳循環似乎只發生在地球的小角落，而不是整個地球都發生）然後請教師指出：碳原子藉由鏈狀形式在儲存庫之間流動，然而就算運用模型，也不可能追蹤各別碳原子的去向。

教師注意事項

科學註記

關於互動碳循環圖 因為我們無法找到全面性的碳循環圖，也找不到正確性高、對應身心發展且適合達成教學目的以供各年級運用的教材，因此找了一群科學家與海洋教育者共同設計開發教材。我們也希望圖形有互動的功用，讓碳流動可以是獨立也可以是複合的，如此可以看出源自大氣不同的輸出或輸入。互動版的碳流動與儲存庫資訊，與本單元學生使用的碳流動卡上的資訊相同。互動碳循環圖是 Brian Yan 所設計，由羅格斯大學的 Carrie Ferraro 以及 Kristin Hunter-Tompson，還有加州大學柏克萊分校的 Robert Rhew 共同指導。

教學建議

調整上課步調：快速介紹碳循環圖 除非教師有額外時間，請快速介紹並立刻進入互動碳循環圖。請確定有足夠時間，讓後續的迴紋針碳循環模型可以順利進行。在第三單元，學生還有機會探索互動碳循環圖。這個段落的討論，是讓學生先行熟悉工具，並且協助他們強化科學模型某方面正確、某方面不正確的概念。

提供更多經驗

強化：學生探索碳循環圖 如有教師能夠讓每對學生都有電腦，且時間也足夠，就可以讓他們自行操作互動碳循環圖。教師先讓學生自由探索互動圖幾分鐘，然後拋出焦點問題。教師提出的問題，可能多過學生可以回答的題數，並允許學生挑選可以調查或寫出報告的題目。教師可以提出的問題包括——

- 哪個儲存庫擁有最多的流入量？你的理由是什麼？
- 你認為不同區域的海洋，有不同的碳流動嗎？你的理由是什麼？
- 哪兩個儲存庫之間，有最大量的碳流動？你的理由是什麼？
- 你認為碳循環圖還可以加入哪個最重要的項目，讓碳循環圖更正確呢？

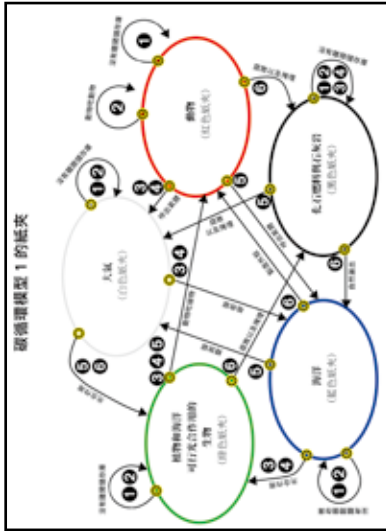
科學語言

科學字彙

吸收
大氣
原子
碳
碳循環
二氧化碳 /CO₂
碳流動
碳儲存庫
燃燒
分解 / 分解作用
證據
化石燃料
物質
模型
分子
生物體
光合作用
呼吸

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？

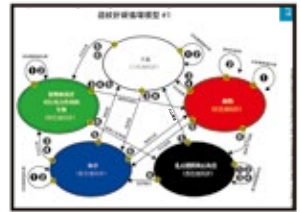


學生學習單

探索迴紋針碳循環模型

1. 介紹迴紋針碳循環模型 教師告訴學生：待會將使用碳循環的另一種模型。碳原子在流經許多儲存庫的過程，都可以利用模型追蹤。

2. 示範模型 教師運用文件提示機，投射迴紋針碳循環模型 #1 學習單，示範模型的運作方式。如果沒有文件提示機，也可以播放標題相同的投影片，並且在影像上描繪出迴紋針圖案，而不需用到真的迴紋針。

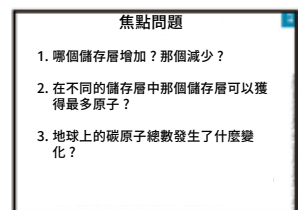


a. 不同的儲存庫與碳原子：教師指出，模型共有 5 個儲存庫，分別以橢圓形表示，儲存庫之間的箭頭則表示碳流動。儲存庫內的碳原子，則以不同顏色的迴紋針表示，每種顏色有 10 個迴紋針。所有的迴紋針表示同樣的碳原子，不同顏色則表示碳原子所在的儲存庫不同，可以讓方便學生記住。

b. 設置模型：教師示範將迴紋針放進學習單上橢圓形儲存庫的方式。學習單上有說明，顯示哪種顏色代表哪個儲存庫。

c. 示範模型運作方式：請教師這樣說：「從海洋儲存庫開始，請一位組員擲骰子。骰子上的數字，將告訴你要從哪個儲存庫移走碳原子。」教師示範投擲骰子、找出顯示的數字，搭配離開海洋儲存庫的箭頭。教師依照說明移動迴紋針，但請注意：有些時候碳原子不會真正離開儲存庫。然後請教師這樣對學生說：「每位組員輪流操作海洋儲存庫，並以順時鐘方向操作下一個儲存庫。持續操作直到所有儲存庫都操作過為止。」

3. 播放投影片；介紹焦點問題 教師大聲讀出焦點問題，並且告訴學生：觀察模型出現的現象時，要把內容放在心裡。小組活動的時候投影片持續播放。



4. 小組設置模型並開始操作 教師發給每組 1 張「迴紋針碳循環模型 #1 學習單」、5 個裝不同顏色迴紋針的小袋子，另外還有 1 個骰子。讓小組設置好模型後就開始操作。此時教師來回走動，確定學生以正確方式操作模型。萬一有組別操作錯誤，不需要讓他們重新來過；告訴他們以正確方式操作即可。

教師注意事項

教學方針

設計迴紋針模型的理由 本活動的目的，是協助學生以系統方式看待碳如何在地球各處移動。學生應該明瞭：就算某處儲存庫的碳變多或變少，地球的碳總量是不會改變的。不同顏色的迴紋針，也讓學生觀察到碳原子可以在不同儲存庫間流動穿梭。這個活動充滿機會與改變等元素，每位學生都會投入其中。

教學建議

管理模型材料 教師要向學生強調：雖然操作模型時用到骰子，但不表示活動是遊戲，而是象徵科學模型。投擲骰子的時候要快速且安靜，骰子才不會從桌面掉到地上。小組的組員要輪流操作，不但要安靜操作，也要確定所有組員都參與其中。

提供更多經驗

準備：探索模型學習單 學生參與本活動的過程中，如能花些時間熟悉「迴紋針碳循環模型 #1」各儲存庫的碳流動，將有利於學習效果。以下是幾個建議的問題——

- 光合作用中，表示二氧化碳移動的箭頭在哪裡？
- 離開海洋的碳流動，有多少種呢？
- 輪到大氣儲存庫，如果骰子數字是 4，該把碳原子移動到哪呢？
- 哪個儲存庫的碳原子，最有可能待在原地不動？從模型要如何判斷？

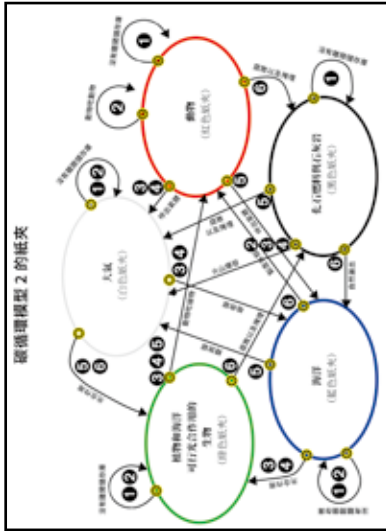
科學語言

科學字彙

吸收
大氣
原子
碳
碳循環
二氧化碳 /CO₂
碳流動
碳儲存庫
燃燒
分解 / 分解作用
證據
化石燃料
物質
模型
分子
生物體
光合作用
呼吸

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？



學生學習單

姓名 _____ 日期 _____

重要概念 (接上頁)

引導問題 3: 碳如何進入海洋?

引導問題 4: 生物死亡後, 體內的碳會怎樣?

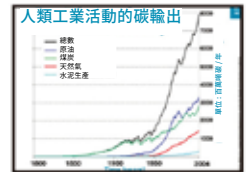
引導問題 5: 人類工業活動對影響碳循環中的碳流動呢?

調查筆記本第 4 頁

5. **全班一起討論焦點問題** 小組操作模型約 5 分鐘, 請學生把材料放一邊。請志願者分享焦點問題, 教師可以這樣問學生:

- 「哪個儲存庫的碳增加了?」「哪個儲存庫的碳減少了?」「你的證據是什麼?」
- 「哪個儲存庫從其他儲存庫得到最多碳原子?」「其他人同意或不同意?為什麼?」
- 「地球上的碳總量, 會改變還是不會改變?」(就算有的儲存庫增加、有的減少, 地球碳總量依舊維持原狀)

6. **播放投影片; 討論化石燃料的用量增加問題** 教師告訴學生: 右邊的圖表相當複雜, 顯示過去兩百年來, 不同種類化石燃料燃燒量增加的狀況。請幾位學生描述他們注意到的重點。(人類每年的化石燃料用量, 正持續增加中。在 1800 年代, 人類主要燃燒煤炭; 自從 1950 年代, 所有化石燃料的用量快速增加)

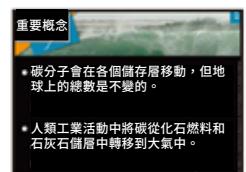


7. **小組以化石燃料流動, 操作模型 #2** 教師對學生說: 「我們將運用迴紋針模型, 調查化石燃料燃燒量的增加, 如何影響碳循環。」發給每組 1 張「迴紋針碳循環模型 #2」學習單之後, 教師指出: 新的模型學習單, 有一條從化石燃料儲存庫流出的燃燒流動。請學生設置好模型然後開始操作。

8. **討論結果** 邀請幾位志願者分享模型 #2 的結果。(越來越多原本儲存於化石燃料的碳, 最後可能進入大氣)

9. **指出模型的長處以及短處** 請教師這樣跟學生說: 「這個模型與電腦模型一樣, 有些方面呈現得很好, 有些則不然。若要追蹤碳原子如何在系統中移動, 這個模型很不錯。另一方面, 模型成線的流動以及儲存庫太少了, 也無法呈現出有些流動或儲存庫比其他的要大上許多。」然後請學生依照顏色整理迴紋針, 然後放進小袋子。教師回收器材。

10. **播放投影片; 學生記錄重要概念** 教師播放重要概念投影片, 請學生讀出來。請學生翻到筆記本 3-4 頁「重要概念」, 並把第一條重要概念抄寫在引導問題 #1 的下方、第二條抄寫在引導問題 #5 的下方。



11. **學生增加碳循環的定義內容** 教師讓學生翻到筆記本第 17 頁「定義碳循環」, 加入最新學到的碳流動(燃燒), 讓定義變得更完整。最後請一位志願者大聲讀出完整的定義。

教師注意事項

科學註記

全球化石燃料排放圖 投影片 2.7.3 的圖表，顯示自西元 1751 至 2008 年以來，燃燒化石燃料、水泥建築業等等造成的排放。這項資料來自田納西州 Oak Ridge National Laboratory 二氧化碳資料分析中心的 Tom Boden、Gregg Marland 以及 Bob Andres。

提供更多經驗

強化：書面方式回應焦點問題 教師讓每個學生針對每條焦點問題，寫下簡短的答案。這樣有助於讓他們反思模型以及模型的內容，並增加參與小組討論的責任感。

強化：替課前想法增加註記 讓學生翻到筆記本第 2 頁「課前想法」，重新閱讀在本單元開始時寫下的內容，回想自此以後學習的效果。接下來，讓學生在空白處寫下幾點註記。

延伸：小節反思提示

- 地球上哪個碳儲存庫，蘊藏的碳含量可能增加？哪個可能正在減少？為什麼？
- 為什麼全世界的化石燃料燃燒量會上升？

科學語言

科學字彙

吸收
大氣
原子
碳
碳循環
二氧化碳 /CO₂
碳流動
碳儲存庫
燃燒
分解 / 分解作用
證據
化石燃料
物質
模型
分子
生物體
光合作用
呼吸

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？