

# 計算二氧化碳循環

**班** 級運用互動碳循環圖，以更貼近實際的方式來審視儲存庫與碳流動。學生利用碳循環卡，整合目前在本單元所學，建立臨時的「桌上碳循環圖」（Tabletop Carbon Cycle Diagrams）。學生學到不同儲存庫的碳量、碳待在每種儲存庫的平均時間，還有碳在各儲存庫之間的流動量。學生加總不同形式的碳流動（以 10 億為單位計算），並發現證據——證據顯示人類的工業活動破壞了碳循環的平衡。學生的學習將聚焦於以下幾個重要概念：

- 人類工業活動從化石燃料與石灰岩移出碳並讓碳進入大氣，碳進入大氣的速度比自然作用快得多而造成了碳循環的失衡（學生可以形成自己的重要概念，但是也要跟上述內容相當）

學生也學到：

- 大氣的二氧化碳含量增加，歸咎於人類的工業活動
- 在長期的儲存庫之中，碳可能待上幾百萬年；在短期的儲存庫之中，只要幾天或幾年的時間，碳就有可能會進出

計算二氧化碳循環	預計時間
介紹碳循環圖的測量	10 分鐘
利用碳循環卡來建構碳循環圖	20 分鐘
以數學方式調查碳循環	15 分鐘
<b>總計</b>	<b>45 分鐘</b>

## 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

## 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 \*
- 2-8 小節的 3 張投影片
- 電腦模擬：互動碳循環圖
- 影集：打破碳鍵，第三集
- 剪刀或裁紙機 \*
- 影印包

### 每組學生需求

- 1 套碳循環卡（每套 30 張）
- 2 個信封袋
- 裝著 19 張碳流動卡的信封袋（2-7 小節）
- （選擇利用）2 個計算機 \*

### 每個學生需求

- 調查筆記本：p.4, 22-24;（選擇利用）21（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](https://mare.lawrencehallofscience.org/oss68) 或是資源光碟。
2. **播放並檢視影集：**打破碳鍵（4 分鐘 15 秒）。先從資源光碟（紙本版本）找出並先檢視，或者線上搜尋（NPR）。
3. **準備學生學習單：**從影印包找出以下學習單並影印——
  - \_ 箭頭（每兩組 1 套）剪成每套 18 個箭頭
  - \_ 標籤（每四組 1 個）剪成每套 3 個標籤
4. **組織碳循環卡：**確定邊界同色的卡片放在一起，每組發下 30 張卡，但是分成三次發完。首先，小組會收到一個裝著 11 張卡（儲存庫，藍邊）的信封袋，教師連同箭頭與標籤一起發放。接下來發下 16 張卡（碳流動，綠邊；前一小節已經裝入信封，但是各信封都已經移除 3 個黑邊的卡）。最後，發下 3 張卡（碳流動 / 人類工業，黑邊）。
5. **裝信封：**給每組的信封中要有：18 個箭頭、3 個標籤，以及 11 張藍邊的儲存庫碳循環卡。另一個信封則裝進 3 張碳流動 / 人類工業卡（從上小節的信封取出的）。
6. **規劃教室空間：**進行「桌上碳循環圖」活動時，小組需要大約 3 呎見方的平坦空間。教師可決定是否需要調整桌椅位置，讓每組都有足夠的空間操作（請見第 231 頁的圖 2-6）。

## 科學語言

### 科學字彙

吸收  
大氣  
原子  
碳  
碳循環  
二氧化碳 / CO<sub>2</sub>  
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？

### 介紹碳循環圖的測量

1. **播放燃燒的影集，複習上一小節內容** 教師提醒學生：上一小節，他們學到人類工業活動導致的化石燃料燃燒。播放動畫打破碳鍵（4 分鐘 15 秒）。

2. **介紹小節內容** 教師告訴學生：本小節將聚焦於化石燃料的燃燒如何影響碳循環中的碳流動。教師為了達到教學目的，讓學生調查不同儲存庫的碳含量，還有不同碳流動所移動的碳量。

3. **播放「十億噸有多大」投影片** 教師向學生解釋：以十億噸為單位，方便計算地球的碳量。所謂「十億噸」（gigaton），就是 1 噸的十億倍，將近是 1700 萬頭非洲象的總重量。教師告訴學生：今天的活動，所有關於碳的計算，都以十億噸為單位。



4. **以十億噸為單位，估算某些儲存庫的碳含量** 教師播放「互動碳循環圖」，選擇「儲存庫」視窗。請幾位志願者選出幾個儲存庫，讓教師點擊進去。等到進入碳卡視窗，請教師指出該儲存庫以十億噸為單位的數據。教師也指出：有的儲存庫的碳量，就是比其他的多得多。

5. **以十億噸為單位，探索某些碳流動** 選擇「自然碳流動」視窗。請志願者挑選某些流動，讓教師點擊進去。請教師指出彈出式視窗顯示的十億噸資訊，並且解釋：這樣的資訊表示一年內該項碳流動的含碳量。

## 教師注意事項

### 每日書面反思

**既然地球上的碳總量不會改變，為什麼大氣的碳含量卻提高了呢？**

這則提示，收錄於調查筆記本第 21 頁，有助於強調一個重要的概念。學生必須描述：大氣多餘的二氧化碳量，來自化石燃料長期以來的釋放。化石儲存庫的碳含量，因為人類燃燒化石燃料的關係，正逐漸減少中。地球上的碳總量沒有改變，也沒有因為碳的摧毀而消失——來自化石燃料的碳，將會進入到大氣。

### 教學建議

**關於十億噸的大小** 教師為了讓學生明瞭十億噸的規模，可能要用一些比較說明，例如十億噸相當於 1000 座金門大橋，或是 3000 棟帝國大廈，或是 10000 艘航空母艦，或是 100,000 列滿載的貨運火車，或是 10,000,000 頭藍鯨的重量。

### 教學方針

**為什麼把火山加到碳循環圖？** 在許多碳循環圖，火山並不包含在內，這是因為火山對於大氣二氧化碳的增加影響相當有限。我們認為要把火山放進來，是因為有些人誤認為火山是造成大氣二氧化碳提高的主因。把火山放進來、搭配增加大氣二氧化碳的真實數據，有助於破除此一迷思概念。

### 教學註記

**人類呼吸 vs. 化石燃料排放氣體，其實微不足道** 有些學生認為，人口日益增多，呼吸的二氧化碳會造成大氣中二氧化碳濃度變高。其實，人類因為呼吸而排放的二氧化碳量，與其他碳流動相比，可說微不足道。在互動圖裡，我們呼出的二氧化碳，其實歸類於「動物呼吸」方面的碳流動。

## 科學語言

### 科學字彙

吸收  
大氣  
原子  
碳  
碳循環  
二氧化碳 /CO<sub>2</sub>  
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？



調查筆記本第 22 頁



調查筆記本第 23 頁

## 利用碳循環卡來建構碳循環圖

**1. 活動解釋** 教師拿起一套碳循環卡，並且解釋：每組要把這些卡片放在桌上，製作「桌面碳循環圖」，並且告訴學生這些卡表示儲存庫、碳流動以及碳流動 / 人類工業活動，可以從邊界的顏色判讀類別。學生閱讀卡片資訊並且討論卡片擺放位置，學習碳在碳循環各部分所占的分量。

**2. 介紹碳停留時間** 教師告訴學生：「碳原子在儲存庫停留的平均時間，稱為「停留時間」(residence time)。碳在大氣的停留時間，比在海洋短得多。碳原子進入大氣後，在短暫的停留後就會進入另一個儲存庫。相較之下，進入海洋的碳原子，停留的時間就長了許多。」動物的碳停留時間，定義就是：該動物吃下自己身體重量的碳所花的時間。動物藉著排泄或呼吸作用，更換身體老舊細胞，這時就需要替換這些喪失的碳。

**3. 播放「儲存庫卡」投影片 (例子)** 教師向學生解釋儲存庫卡的背面與正面有不同的區塊，讓學生注意到卡片資訊的內容。儲存庫的名稱寫在哪裡、儲存庫的碳含量有多少，還有停留時間，都請教師一一指出來。教師也讓學生注意到投影片上的碳分子。



**4. 解釋調查筆記本** 教師發下調查筆記本，請學生翻到第 22-23 頁「互動碳循環圖」，並向學生解釋：這兩頁描述了如何進行此項活動，同時也有空間讓他們記錄新發現。教師向學生解釋：第一步就是從信封袋取出大氣、海洋以及陸地等 3 個標籤，並把標籤擺放在桌上不同的區塊。教師指出：學生還要從信封袋找到 18 個箭頭，等收到碳流動卡就會派上用場。教師讓學生複習這兩頁的說明與問題，並且提醒學生：每張卡片的背面都有相關的訊息，討論問題時都可以派上用場。

**5. 強調團隊合作的重要** 教師向學生強調：本單元到目前為止，他們已經蒐集到相當多的知識；如果能夠同心協力並且分享觀點，今天的活動將會更有趣、更成功。教師也提醒：關於卡片的去向，請傾聽別人的想法；也要互相詢問證據，以支持想法。有個方式，可以確定每位學生是否分享想法與證據：詢問每位組員，是否同意或不同意碳流動卡的擺放位置，並請他們分享解釋。

## 教師注意事項



圖 2-6 學生進行團隊合作，組員運用 30 張碳循環卡前面與後面的訊息，創造「桌面碳循環圖」

**Atmosphere**  
(800 gigatons)

**Limestone & Other Rocks**  
(40,000,000 gigatons)

Residence Time: 800,000,000 years

**Animals Eating**  
(30 gigatons per year)

Flow

**Human Industry: Combustion of Fossil Fuels**  
(7.6 gigatons per year)

Flow

**Flow**

**Deep Ocean to Surface Ocean**

Carbon can remain in the deep ocean for hundreds of years. However, mixing can bring deep water with carbon back to the surface.

www.carboncyclecards.com  
©2014 The Regents of the University of California  
Carbon Cycle Cards—Ocean Sciences Sequence 2.7-2.8

**Reservoir**

**Plants**

Plants are built of sugars (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) that they make through photosynthesis, using CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O. The sugars are then changed into cellulose and other materials to make different plant structures. Every cell of every plant contains carbon.

www.carboncyclecards.com  
©2014 The Regents of the University of California  
Carbon Cycle Cards—Ocean Sciences Sequence 2.7-2.8

每組先收到 11 張儲存庫卡，接下來再收到 16 張碳流動卡，最後收到 3 張碳流動 / 人類工業活動卡，以建立碳循環模型。

## 科學語言

### 科學字彙

吸收  
大氣  
原子  
碳  
碳循環  
二氧化碳 / CO<sub>2</sub>  
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？

6. **小組安排標籤以及儲存庫卡片** 教師發下裝有標籤以及箭頭的信封袋，還有一套儲存庫卡（藍邊卡片，共 11 張）給各小組。讓小組將儲存庫卡片組織成大氣、海洋與陸地。
7. **小組安排碳流動卡** 小組設置好儲存庫卡，教師發下碳流動卡（綠邊卡片，共 16 張）給各組。請教師到處走動，有必要時給予協助。
8. **小組加上人類工業卡** 小組設置好碳流動卡，發下碳流動 / 人類工業卡（黑邊卡片，共 3 張），並告訴學生把這些卡片加到自己的圖裡面。
9. **學生寫下碳循環的答案** 小組安排好卡片，就可以動筆回答調查筆記本第 23 頁的問題。
10. **小組討論碳循環的趣事** 教師讓全班注意，並且這樣問學生：「關於碳循環，什麼地方讓你覺得有趣或讓你驚訝？」教師收集一些回應，鼓勵其他學生回答。讓學生自由討論，無論討論哪些有趣的面向都可以。如果學生討論並不踴躍，教師可以這樣問學生：「哪個儲存庫有最多以及最少的碳？」（最多：石灰岩以及其他岩石；最少：動物）以及「關於停留時間，你注意到什麼？」（岩石的停留時間最長；生物的停留時間最短）
11. **以模型的觀點討論互動碳循環圖** 教師提醒學生：他們在學習以及探索碳循環的過程中，已經使用過幾個不同的科學模型。這個模型如同先前的模型，在表達自然世界的程度上，優點缺點都有。請一位自願者分享一個缺點與一個優點。（缺點：設置好的碳流動卡，無法判斷是否在自然狀態下可行；無法看到碳原子從這個儲存庫流到另一個儲存庫。優點：讓我們可以實際移動卡片，看清碳流動如何進行；讓我們以整體的角度，觀察碳原子在不同儲存庫之間流動）

## 教師注意事項

### 科學註記

**關於停留時間** 動物會清除細胞、排出廢物、呼吸，以及進行其他生化作用，這些作用都會釋放出先前吃進去的碳。動物爲了維持體型，需要再攝入等量的碳，以補充上述作用喪失的量。動物攝入同樣體重的碳量，所耗費的時間就稱爲「停留時間」（詳見「科學背景」以取得更多訊息）。

### 教學建議

**額外支持：將儲存庫卡以及碳流動卡歸類** 有些學生一次處理這麼多張卡片，可能覺得無法應付。教師可以提供部分儲存庫或碳流動卡片就好，而不是一次拿出全套，藉此降低活動的挑戰。教師在本小節結束之前的活動「以數學方式調查碳循環」，還是有必要提供其餘碳流動卡片。

### 評量

**快速理解篩檢：碳循環卡活動** 教師爲了評估學習成效，可以結合學生討論狀況的觀察，以及審閱他們在調查筆記本「桌面碳循環圖」第 22-23 頁的回應。學生應該已經記錄含有最多量碳的儲存庫（石灰岩以及其他岩石、沉積物以及沉積岩、深海的海水、化石燃料等等）。學生也應當紀錄停留時間最長的儲存庫（石灰岩以及其他岩石），還有停留時間最短的儲存庫（動物）。

### 教學方針

**桌面碳循環圖的優點與缺點** 設計與運用模型，在科學研究方面扮演重要角色。關於特殊模型呈現出自然界發生或無法發生的特定方式，這樣的學習方式能夠提醒學生聚焦於此，展現出相當的助益。

**模型利用** 桌面模型與下一小節的「以數學方式調查碳循環」，特別收錄於本單元。在學生探索並尋找碳循環卡的重要訊息時，這樣的方式可以協助學生建構自己對碳循環的理解。這兩個活動讓學生做好準備，以掌握互動圖呈現的每個碳循環組件。

### 科學語言

#### 科學字彙

吸收  
大氣  
原子  
碳  
碳循環  
二氧化碳 / CO<sub>2</sub>  
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？  
你爲什這樣想？  
你的證據是什麼？  
你同意嗎？爲什麼？  
你不同意嗎？爲什麼？  
我們有多大的把握？  
要怎麼辦，我們才能更有把握？

姓名	日期
<b>以數學方式調查碳循環</b>	
請將這些以 10 億噸為單位的數據，放在調查卡列前面，以便加總以下三大類每年的碳流動量：	
自然進入大氣的碳量：	
海洋到大氣：	_____ 10 億噸 / 每年
動物呼吸：	_____ 10 億噸 / 每年
腐敗分解產生的氣體：	_____ 10 億噸 / 每年
植物呼吸：	_____ 10 億噸 / 每年
化石燃料自然外洩以及分解：	_____ 10 億噸 / 每年
火山爆發：	_____ 10 億噸 / 每年
加總	_____ 10 億噸 / 每年
自然流出大氣的碳量：	
大氣到海洋：	_____ 10 億噸 / 每年
光合作用：	_____ 10 億噸 / 每年
降水：	_____ 10 億噸 / 每年
加總	_____ 10 億噸 / 每年
人類工業：進入大氣的碳量：	
土地利用改變：	_____ 10 億噸 / 每年
化石燃料燃燒：	_____ 10 億噸 / 每年
製造水泥：	_____ 10 億噸 / 每年
加總	_____ 10 億噸 / 每年
自然流出地殼與化石燃料進入大氣：	
火山爆發：	_____ 10 億噸 / 每年
化石燃料自然外洩以及分解：	_____ 10 億噸 / 每年
加總	_____ 10 億噸 / 每年

調查筆記本第 24 頁

## 以數學方式計算碳循環

- 介紹筆記本內容** 教師請學生翻到調查筆記本第 24 頁「以數學方式計算碳循環」，並且跟學生說：「科學家通常運用數學了解碳循環之類的地球系統。」
- 加總進入大氣的自然界碳流動** 教師宣布第一個問題，並請小組通力合作，運用碳流動卡的資料，填滿碳流動的流動數據（也可以全班一起運用互動碳循環圖，找到這些數據）。教師也可以讓每兩位組員持有一台計算機，請他們加總數據。每組中的每對，應該確實檢查，確定大家得到相同的數字。如果數字不一致，就要再計算一次。大部分學生都完成，就可以請一位自願者分享答案。（210.8 十億噸）教師這樣告訴學生：「每年進入大氣的碳量，總量就是這樣，還沒加上人類工業排放的量。」
- 加總離開大氣的自然界碳流動** 教師公布第二個問題，以剛才的方式讓小組解決問題。當大部分的學生都完成，就可以請一位自願者分享答案。（210.1 十億噸）教師這樣告訴學生：「比較進入大氣與離開大氣的碳量，你發現了什麼？」（進入與離開的量，幾乎一樣）教師告訴學生：長久以來，流進大氣與離開大氣的量，是達到平衡狀態的。
- 加總因為人類工業活動而進入大氣的碳流動** 以剛剛的方式讓小組解決問題，並請一位志願者分享答案。（9.4 十億噸）教師這樣告訴學生：「這樣表示，每年都有額外 9.4 十億噸的碳，因為人類使用化石燃料而產生。因為人類工業而額外進入大氣的碳，讓碳循環不再平衡。」
- 加總離開化石燃料的自然界碳流動** 讓小組以同樣的方式處理最後一個問題，並且讓一位志願者分享答案。（0.08 十億噸）教師告訴學生：「請注意，每年人類工業活動從化石燃料與石灰岩移除的碳量，是自然途徑移除的 100 倍（ $0.08 \times 100 = 8$  十億噸）。」最後請學生把所有的卡片裝進信封袋，並且收回信封袋。

## 教師注意事項

### 英文學習者

**調整教師用語** 在本活動裡，教師以口述方式呈現一系列重點摘要。爲了協助英文學習者跟上討論，邀請學生針對加總各種流動所發現的重點，分享摘要。如果許多班上的英文學習者都使用相同母語，請一位志願者以母語呈現摘要。

### 教學建議

**教學的選擇：讓學生從數據推導結論** 本活動受限於時間，當學生以十億爲單位加總不同碳流動之際，教師需要摘錄許多重點。如果教師有時間，讓學生自行推導出結論，是比較理想的做法。教師不要像第 4、5 點步驟那般幫學生做摘錄，不妨這樣提出更開放的問題：「額外的 9.4 十億噸的碳，你認爲最後的去向是什麼？」「從化石燃料、石灰岩以自然方式離開的碳流動，以及因爲人類工業而離開上述儲存庫的碳流動，兩相比較之下，你發現了什麼？」

**教學的選擇：呈現 2-7 小節的投影片** 如果教師認爲學生需要更多奧援，才能在化石燃料燃燒所排放氣體，以及大氣中的二氧化碳含量找到連結，可以播放上一節的投影片 2-7-4「從人類工業產生的化石碳輸出」，然後再播放投影片 2-8-3「基林曲線——大氣中的二氧化碳含量」，呈現整體二氧化碳上升的趨勢。教師將這個趨勢與同時期的「化石碳輸出」比較，並告訴學生：數據是一部分的科學證據，顯示化石燃料的排放廢氣愈多，大氣中的二氧化碳含量也愈高。

### 科學註記

**關於額外 9.4 十億噸碳的去向** 教師向學生解釋：全世界的科學家都在測量碳含量，他們發現額外的碳進入大氣後就停滯了，而其他大部分的碳都會進入土壤與海洋。植物利用光合作用來製造本身的結構，讓大氣的碳進入土壤。後來，分解者分解了植物結構，分解後的物質也進入土壤。土壤的碳愈多，會愈肥沃，因此這不成問題。進入海水表面的碳，將在下一小節調查。進入大氣額外的碳，總是逐年遞增，因此數據容易改變（參考「二氧化碳資訊分析中心資料」最新資料）。

### 科學語言

#### 科學字彙

吸收  
大氣  
原子  
碳  
碳循環  
二氧化碳 /CO<sub>2</sub>  
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？  
你爲什麼這樣想？  
你的證據是什麼？  
你同意嗎？爲什麼？  
你不同意嗎？爲什麼？  
我們有多大的把握？  
要怎麼辦，我們才能更有把握？

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: 生物死後, 體內的碳會怎樣?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

引導問題 5: 人類工業如何影響碳循環中的碳及動呢?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

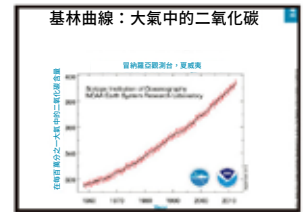
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

調查筆記本第 4 頁

6. **學生寫下重要概念** 請學生翻到調查筆記本第 4 頁「重要概念」, 請他們找到最後一個引導問題 (#5)。每個學生都要針對問題, 用二到三個句子寫下重要概念, 總結本單元的學習內容。鼓勵學生在寫重要概念的時候, 與組員商量討論。

7. **播放投影片「基林曲線：大氣中的二氧化碳」** 教師提醒學生：曲線圖顯示長期間以來, 二氧化碳濃度的變化。教師指出：如果進入大氣中的二氧化碳量, 與移除的量相同的話, 曲線就會變成水平線。



## 教師注意事項

### 提供更多經驗

**強化：分享並修正重要概念** 當學生書寫重要概念之際，請教師來回走動，找出概念不同的三到四位學生。學生寫完後，請這些學生與全班分享概念。教師將不同的概念寫在白板上，總結概念的重點。接下來，讓學生修正重要概念，確定已經涵蓋所有主要的重點。

**強化：多操作互動碳循環圖** 如果教師有辦法取得多部電腦，或有機會使用電腦教室，強烈建議讓全班或兩人一對，進一步探索互動碳循環圖，以提供機會讓學生強化碳循環輸出與輸入的理解。在第三單元，學生還會接觸到類似的互動模擬，這時學生有機會改變儲存庫之間的碳流動，並且觀察整個地球系統的改變結果。

### 延伸：反思小節的提示

- 關於化石燃料儲存庫的碳，改變碳停留時間，對於碳循環造成極大的效應。為什麼會這樣呢？
- 關於化石燃料的碳，其停留時間很長（94,000 年），但是大氣的碳停留時間卻很短（3.6 年）。為什麼會這樣呢？

## 科學語言

### 科學字彙

吸收  
大氣  
原子  
碳  
碳循環  
二氧化碳 /CO<sub>2</sub>  
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？