

調查海中的碳

到 目前為止，學生們接觸到簡短的碳流動介紹，本小節將介紹海中運用碳的生物。植物性浮游植物和海藻，都利用碳來行光合作用；有殼動物則利用碳來建造外殼。在這裡學生需執行兩個動手操作任務，以回答教師引導的問題「**碳如何進入海洋**」：首先調查暴風雨攪動海水與空氣，會發生怎樣的現象；其次海面風平浪靜的時候，海水是否能夠吸收二氧化碳。學生完成動手操作之後，又可以在碳循環圖上增添豐富程度了。本節學生將聚焦於以下幾個重要的概念：

- 海洋從大氣吸收鉅量的二氧化碳
- 許多海洋生物需要碳來行光合作用或製造外殼，這些生物從溶解於海水的二氧化碳取得碳

學生也將學習到——

- 行光合作用的海洋生物，包括植物性浮游生物與海藻
- 當暴風雨來襲，海水與空氣充分混合，海水吸收二氧化碳的速度更快；但是少了暴風雨，海水同樣可以吸收二氧化碳
- 海洋生物的呼吸作用，會把二氧化碳釋放到海裡
- 地球不同區域的碳流動，共同形成大系統，稱為碳流動
- 每個科學模型都有正確之處，也有不正確之處

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

調查海中的碳	預計時間
複習陸地和空氣的碳流動	5 分鐘
介紹海洋生物如何利用碳	10 分鐘
調查碳流動：從空氣到水	15 分鐘
評析調查活動並增加碳循環圖的內容	15 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 7 張投影片
- ☐ 蒸餾水和測試過的水 * (請見下方)
- ☐ 兩瓶溴瑞香草藍 (BTB)
- ☐ (選擇利用) 幾顆螺殼

每組學生需求

- ☐ 1 個自助餐餐盤
- ☐ 1 個可以扭緊蓋子的水瓶
- ☐ 1 個塑膠杯 (9 盎司)
- ☐ 1 個自黏式塑膠袋 (8"x10")
- ☐ 1 根吸管
- ☐ 1 張白色便條紙 *

每個學生需求

- ☐ 碳循環圖 (2-4 小節)
- ☐ 調查筆記本: pp. 3-4, 17; (選擇利用) p.16 (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。播放並檢視影集：一切都是碳 (3 分鐘 20 秒)。先從資源光碟找出並檢視，或者線上搜尋 (NPR) 影集。
2. **取得貝殼標本：**如果有辦法取得多樣的貝殼，就能提供絕佳機會，讓學生親手操作並且近距離觀察。收藏貝殼的人很多，他們也很願意分享。取得 1-2 個螺殼，會吸引學生專注並具備展示效果。在此呼籲教師利用現有的貝殼收藏，不要另外從商店或網路購買；很多時候，貝殼的取得都是犧牲生命和棲息地換來的。
3. **測試自來水：**在選用測試過的水之前，先測試自來水。滴幾滴 BTB 並檢視變色狀況，決定自來水樣本是否為中性。如果自來水是中性，應該呈現深藍色。如果顯現綠色，就要另外找水了。有些瓶裝水或自來水，的確讓 BTB 變色，這時蒸餾水就是建議的選項，以避免不必要的變因。
4. **杯子與水瓶裝滿水：**請準備 1 個杯子和 1 個水瓶給各組——
 - _ 蒸餾水倒進杯子，約 1/3 滿，加 30 滴 BTB，或者加到蒸餾水變成深藍色
 - _ 蒸餾水倒進水瓶，約 1/3 滿，加 30 滴 BTB，或者加到蒸餾水變成深藍色；瓶子加蓋
5. **準備盆子：**每組一個盆子，放進以下器材給各組——
 - _ 1 個加蓋的水瓶
 - _ 1 個加水的杯子
 - _ 1 個自黏式塑膠袋
 - _ 1 個有包裝的吸管
 - _ 1 張便條紙

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？

複習陸地和空氣的碳流動

1. **播放小節標題投影片** 學生進入教室，鼓勵他們想想今天要探索的內容。



2. **複習地球上的碳流動** 發下學生的碳循環圖。教師提醒學生：儲存碳的場所，就是碳儲存庫。先前學生畫箭頭，表示碳從某個儲存庫流動到另一個儲存庫。請教師這樣問學生：「**碳的儲存庫有哪些？舉出幾個例子**」，並傾聽學生的回應。如有必要，教師也可以問問以下特定的問題——

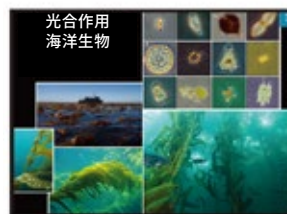
- **碳如何從動物移動到大氣？**（動物呼吸二氧化碳，或者因為呼吸作用釋放出甲烷氣體）
- **碳如何從大氣移動到植物？**（植物因為光合作用吸收大氣的二氧化碳。大部分的植物體組成，都是來自二氧化碳中的碳原子）
- **碳如何從植物移動到動物？**（植物含有碳，動物攝食植物，碳因此移動到動物。動物身體大部分的組成，來自牠們吃下的有機碳）

介紹海洋生物如何利用碳

1. **介紹海洋生物** 請教師向學生這樣說：「我們已經討論過地球生物的碳流動——植物從空氣得到碳，動物釋放二氧化碳到空氣。現在，我們要調查海洋生物的碳流動；生物周圍是水，不是空氣。」

2. **播放投影片；描述海洋中行光合作用的生物**

請教師這樣告訴學生：陸地植物會行光合作用，海洋生物也會——事實上，地球大部分的光合作用，發生在海洋。也請教師指出投影片的例子：植物性浮游生物（右上方 12 個方格）是微小的生物，海藻（下方的海帶）則可以長到非常巨大。教師提醒學生：就像陸地植物一樣，這些光合作用的生物需要攝取二氧化碳；就像陸地植物一樣，海中光合作用的生物大部分身體的組成，也來自二氧化碳。



教師注意事項

每日書面反思

為什麼大氣中的二氧化碳濃度，春夏較低、秋冬較高？如何以證據支持論點呢？ 這則提示收錄於調查筆記本第 16 頁，讓學生了解在春天發生的樹葉成長，以及光合作用消耗二氧化碳、減少大氣二氧化碳。從兩者中間想出連結。

教學建議

提供更多複習時間 教師根據學生的經驗，可以多花點時間在「複習陸地和空氣的碳流動」這個小節。舉例來說，也可以讓學生解釋自己畫的碳循環圖給夥伴聽。

科學註記

關於植物性浮游生物 是能行光合作用、隨著洋流移動的生物。大部分的植物性浮游生物都很細小，不用顯微鏡看不到。有些是細菌，有些是原生生物（protist），大部分是單細胞、類似植物的生物，它們負責製造大氣中大部分的氧氣。植物性浮游生物與陸地植物一樣，都需要陽光進行光合作用；不過植物性浮游生物缺少根、莖、葉、花、種子，或是其他適應陸地生活的器官。植物性浮游生物的種類多樣，這些生物彼此間的演化方式不同，也與陸地植物不同。

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？

3. 播放投影片並展示貝殼；描述有殼生物

教師傳下貝殼（如果教師有準備），讓學生觀察。播放投影片並告訴學生：「許多海洋生物都有外殼，以保護殼內柔軟的身體。外殼就是包覆身體的外骨骼，例如蛤蜊和螺都有殼。許多這樣的海洋生物，利用碳酸鈣來建造外殼。」教師在白板上寫下“CaCO₃”並且圈出代表碳的“C”。教師指出：這些生物必須從環境裡吸收碳，以建造外殼。



4. 總結海洋生物對二氧化碳的需求

請教師這樣說：「海洋生物被海水而非空氣包圍，為了行光合作用以及建造外殼，而從周圍的水吸取二氧化碳。」

5. 介紹新的引導問題；播放投影片

教師問學生：「如果這些生物從水（H₂O）取得二氧化碳，那麼二氧化碳如何進入水中呢？這些生物需要的二氧化碳從哪來的？」播放投影片並請一位志願者大聲朗讀新的引導問題。教師告訴學生：待會全班都要調查這個問題。



6. 輪流發表

教師讓學生彼此兩兩成對，針對二氧化碳如何進入海洋來討論。（海洋動物呼出二氧化碳；從空氣進入海洋）邀請幾位志願者，與全班分享觀點。教師問學生：「確定嗎？」「怎麼樣可以更加確定呢？」

7. 如何調查的想法

教師問問學生：如果科學家接手問題，該如何測試剛剛提出的想法。志願者分享問題的時候，教師可以問其他學生：「你為什麼會這樣想呢？」「如何測量？」萬一沒有學生提出清晰的觀點，或是提出的想法不可行，教師也不必擔心。

調查碳流動：從空氣到水

1. 介紹兩個可以用模型調查的問題

教師告訴學生：待會要調查兩個問題——(1) 大氣中的二氧化碳，可否因為暴風雨攪動海水的關係而進入海面？(2) 大氣中的二氧化碳，就算海面風平浪靜、缺少攪動效果，也可以進入海面嗎？同時教師也告訴學生，待會要用容器當成模型海洋。

2. 複習二氧化碳與 BTB

待會的調查，將採用學生呼出的二氧化碳，並以 BTB 當指示劑，一如先前小節。教師提醒學生：起初 BTB 是深藍色，加入二氧化碳後變成黃色。

教師注意事項

科學註記

關於海洋有殼生物 許多海洋生物，例如珊瑚、牡蠣、蛤蜊、藤壺、海膽與有些重要的浮游生物，利用溶解於海水中的鈣離子 (Ca^{2+}) 與碳酸根離子 (CO_3^{2-})，結合兩種離子構成碳酸鈣 (CaCO_3) 的骨骼或外殼。鈣是地殼裡豐富的元素，許多岩石裡都可以發現，例如石灰岩或大理石。鈣容易溶解於水，也是海水的重要成分。許多生物都需要鈣，以構成骨架、外殼、骨頭、牙齒，甚至眼睛的晶體。

關於海洋中的二氧化碳 事實上，海中生物從三個管道取得光合作用與外殼需要的二氧化碳：(1) 從大氣溶解到海洋的二氧化碳；(2) 海洋生物透過呼吸作用排出的二氧化碳，以及 (3) 深海的二氧化碳，因為湧升流被帶往陽光可以穿透的海面，類似植物的生物就可以加以利用。

教學方針

為什麼要激發如何調查的想法 在起初的簡短討論中，學生大概無法產出可行的調查方法。但是學生經歷過這樣的討論，有助於理解後續調查的目的。

引導問題提到「碳」，而非提到「二氧化碳」的理由 雖然本小節的重點是「二氧化碳」的吸收，在引導問題上還是提到進入海洋的「碳」。後續小節，學生將探索碳進入海洋的其他方式，例如分解作用或人類的工業活動。在這裡引導問題的用字方式，有助於讓學生聚焦於碳的移動，而不會限定任何形式的碳。

科學語言

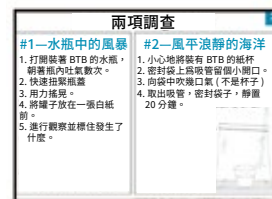
科學字彙

吸收
大氣
原子
碳
碳循環
二氧化碳 / CO_2
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？

3. 播放「兩項調查」投影片 教師取一個盆子，利用裡頭的器材，講解待會進行的調查活動。請教師描述投影片上的敘述：



- **調查 #1——水瓶中的風暴** 打開裝著 BTB 的水瓶，朝著瓶內吐氣數次，然後快速扭緊瓶蓋。搖晃瓶子數次，將瓶子放在白色便條紙前面，好方便觀察
- **調查 #2——風平浪靜的海洋** 小心地將裝有 BTB 的紙杯，裝進自黏式塑膠袋，然後將袋子放在盆子上平坦的地方。盡量將袋子密封，留下一個吸管可以伸進的小洞。拆掉吸管的包裝，將吸管插進小洞內，盡量捏緊小洞與吸管交界處。含著吸管大吹幾口氣，但千萬不要把吸管伸進 BTB 溶液吹氣。吹完氣以後，立刻拔出吸管並且將塑膠袋密封起來。讓塑膠袋靜置 20 分鐘。

4. **複習科學中的模型** 教師提醒學生：在科學研究的過程裡，模型的功用就是協助科學家理解、預測或解釋現象的原理。模型可以象徵原理的某部分，而非全部。這兩個調查就利用模型來代替海洋，教師問學生：代替海洋的兩個模型，在調查兩個問題的過程中，哪些方面是精確的？哪些不是精確的？（精確的部分：模型示範了不同情境下，二氧化碳是否有不同的表現；另一個模型，提供證據證明在缺少攪動或混合的狀況下，二氧化碳是否會被水吸收。不精確的部分：兩個模型都比海洋小太多了；海洋不可能隨時都被外力搖晃；海洋與塑膠袋不同，不是密閉的空間）

5. **讓小組規畫任務分工** 學生 4 個人一組，讓他們計畫兩個任務的分工。教師讓投影片一直播放，學生可以隨時參考步驟並決定分工狀況；教師也需確保每個組員在小組中都有分派到任務。

6. **小組取得器材並開始調查** 小組決定好分工任務，就開始執行調查了。請教師來回走動，鼓勵學生先預測結果並且提出理由，然後針對結果提出證據並加以解釋。教師可以這樣問：「搖晃水瓶後，發生了什麼？這表示什麼？」（水瓶立刻變色，從藍變成黃，表示呼出的二氧化碳氣體已經進入水中）「水杯中靜止不動的水，發生了怎樣的改變？你為什麼這樣想呢？」（水沒有改變顏色；二氧化碳沒有進入水中，至少目前沒有）

7. **收回器材** 請小組在盆子上以自黏性便利貼或紙張貼上標記，並且請一位組員把盆子拿到講桌或櫃子上，如此較為方便觀察，也不會讓學生分心。注意塑膠袋內的變化；BTB 應該會因為溶解於水中的二氧化碳而變黃色，要等大約 20 分鐘。

教師注意事項

英文學習者

鼓勵參與 小組活動對英文學習者大有助益。他們可以在較為輕鬆的情境下發言。在全班面前發言的風險畢竟較高，他們也可以請同儕幫忙澄清概念。另一方面，英文學習者有一個風險，就是無法完全參與。小組開始調查前，教師需要整組解釋：每位組員都有責任，因此要確定每個人都了解任務、參與調查，並且討論結果。小組活動的時候，請教師來回走動，如果有必要，示範讓所有成員參與的方法。

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？

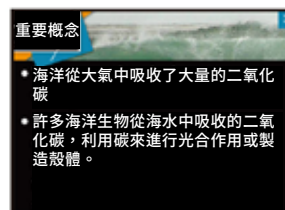
要怎麼辦，我們才能更有把握？

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?	

調查筆記本第 4 頁

評析調查活動並增加碳循環圖的內容

- 1. 評析「水瓶中的風暴」調查** 教師複習調查活動要回答的問題：「大氣中的二氧化碳，是否因為暴風雨攪動海水的關係，因此進入海面？」請幾位志願者分享觀察結果，並請他們提出證據解釋現象。（是的，水立刻改變顏色，可見水與空氣劇烈攪動的時候，二氧化碳立刻被水吸收）
- 2. 介紹「吸收」的涵義** 教師把「吸收」（absorb）寫在白板上，告訴學生：「吸收」就是「收進去」（take in）的意思。教師可以舉出海棉吸收水，或者沙發吸收煎魚散發的腥味；海洋則從大氣吸收二氧化碳。
- 3. 呼吸也會把二氧化碳加入海水** 教師強調這個現象，好比陸地生物把二氧化碳加到大氣中一樣，海洋生物的呼吸作用也會把二氧化碳加到海水裡。不過透過這個管道進入海水的量，遠低於海水從大氣吸收到的量。
- 4. 播放投影片；學生紀錄重要概念** 教師播放重要概念投影片，讓學生大聲讀出。發下調查筆記本，請學生翻到第 4 頁「重要概念」，讓他們把第一條重要概念抄寫在引導問題 #3 下方的欄位。接下來，請學生瀏覽引導問題 #1 到 #3，讓他們決定第二條重要概念要寫在哪個問題下方。（第 3 頁的引導問題 #2 最恰當）請幾位志願者分享觀點與理由，讓他們抄寫重要概念。



教師注意事項

提供更多經驗

強化：證實呼吸會把二氧化碳加入海水 學生可能也會想到：海洋動物呼吸的時候，會把二氧化碳加到海水裡。全班（或各組）可以重複 2-2 小節的活動，檢驗這個想法。請一名學生含著吸管（吸管上方開個安全出口），吸管伸入裝 BTB 溶液的杯子吹氣（另一種方法，請學生吹汽球，再把汽球的氣轉移到 BTB 溶液裡）。在這樣的實驗中學生將看到：呼出的氣讓 BTB 變色，可見已經把二氧化碳加到溶液裡了。

強化：蘇打水展示 如果學生還是無法理解二氧化碳可以溶解於水，請教師帶幾瓶蘇打水進教室。讓學生注意：打開一瓶蘇打水後，觀察它冒泡的樣子。教師向學生解釋：瓶子裡利用高壓灌入高濃度的二氧化碳，比海水中的二氧化碳的濃度多許多，因此海水不會冒泡。教師也可以把 BTB 加到蘇打水，偵測溶解的二氧化碳。（BTB 從藍色變成綠色）

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？

姓名 _____ 日期 _____

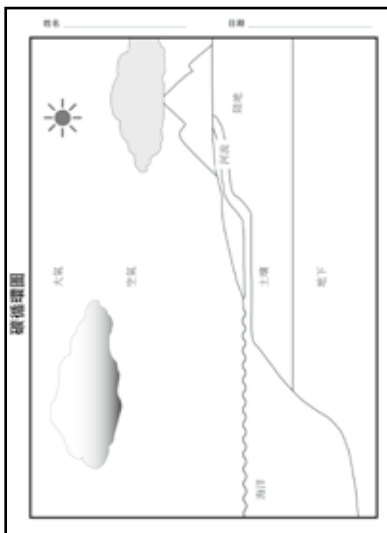
定義碳循環

簡單的定义：
碳在地球不同區域的整個流動系統，稱為碳循環。

更完整的定义：
生物透過 _____ 的過程吸入二氧化碳之類的碳來源，並透過 _____ 以下過程將碳歸還於環境。

(a) _____ + (b) _____
(c) _____ + (d) _____
以及 _____
(e) _____ + 這就是碳循環。

調查筆記本第 17 頁



學生學習單

5. 介紹碳循環 教師告訴學生：地球上不同區域的碳流動系統，就是碳循環。請注意：碳循環是複雜的，並非單純的循環。學生將會在自己的碳循環圖加上更多箭頭，展現他們學到海中碳循環的種種。

6. 播放「定義碳循環」投影片 教師播放投影片並且指出：第一個定義是解釋碳循環的通則。然後告訴學生：第二個定義，舉出更多碳循環的流動。教師向學生解釋：他們在往後單元將學到額外的碳流動，就可以補完第二個定義。教師大聲讀出第二個定義，並請志願者針對空格提出建議。請教師接受任何回應，避免給予評論。發下調查筆記本，請學生翻到第 17 頁「定義碳循環」，讓學生抄寫第二個定義，以「呼吸作用」填入第一個空格。讓學生了解：他們將持續學習不同方式的碳流動，並且還會翻回這頁完成剩下的空格。

碳循環定義：

✓ 簡單的定义：
碳在地球不同區域的整個流動系統，稱為碳循環。

✓ 更完整的定义：
生物透過 _____ 的過程吸入二氧化碳之類的碳來源，並透過 _____ 以下過程將碳歸還於環境。

(a) _____ + (b) _____
(c) _____ + (d) _____
以及 _____
(e) _____ + 這就是碳循環。

7. 學生增加碳循環圖的內容 教師發下學生的碳循環圖，讓他們畫下海洋生物吸收二氧化碳的圖像，並標示箭頭，顯示碳進入到海洋。

8. 評析「風平浪靜的海洋」調查活動 讓學生拾回注意力，注意「風平浪靜的海洋」調查，結果瓶子變顏色了。複習「大氣中的二氧化碳，就算海面風平浪靜、缺少攪動效果，也可以進入海面嗎？」這是該項調查的問題。請幾位志願者報告觀察結果，並解釋結果。（是的，就算水與空氣沒受到攪動，二氧化碳看起來也會被水吸收，不過被水吸收的速度會慢很多）

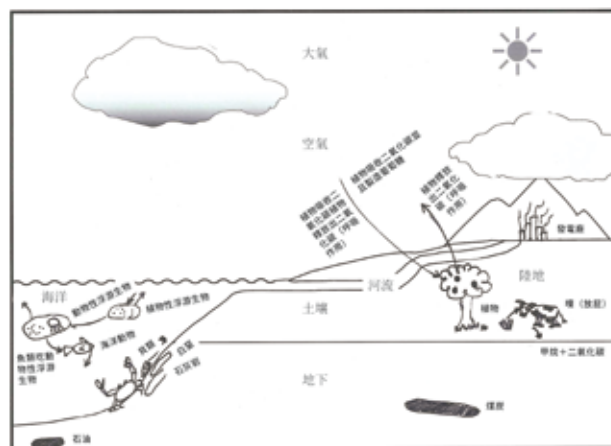


圖 2-4 影印包收錄的碳循環圖範例（教師參考資料），展示預期的進展

教師注意事項

教學建議

顏色有了改變，立刻評析「風平浪靜的海洋」調查活動 學生尚未增加碳循環圖之前，BTB 在「風平浪靜的海洋」瓶子已經變色，請立刻評析，不要等到小節即將結束的最後。不過因為顏色改變需要時間，因此需要額外時間讓學生有機會增加碳循環圖的內容。

回顧水循環 如果學生接觸過海洋科學系列第一單元或其他水循環活動，教師可提醒學生注意：水循環與碳循環有相似之處，因為兩者都顯示地球上特定物質流經不同儲存庫的過程。兩者還有一處相同：都不會依照循序單一的方式流動，流動的方式都很複雜。

提供更多經驗

強化：解釋重要概念 如果教師覺得學生在增加海洋碳循環箭頭之前，需要額外的機會反思與討論，就請他們與夥伴討論重要概念。教師指導他們輪流解釋大氣與海洋儲存庫之間的碳流動，包括大氣二氧化碳被海水吸收，以及海洋生物的光合作用與製造外殼。

延伸：線上影集 海底森林（3 分鐘 13 秒）是值得推薦的影音資源，細述巨大昆布類似植物的構造，並展現昆布林群聚的多樣生物（mare.lawrencehallofscience.org/oss68）。

延伸：本小節反思提示

- 光合作用如何影響大氣二氧化碳的濃度？一年當中不同時節的濃度都不一樣嗎？
- 到目前為止，關於碳循環的課程，你認為哪裡最有趣？盡量詳細說明。

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？