

行星風系與海洋表面洋流

在 本小節，學生將學到行星風系 (global winds) 驅動著海洋表面洋流。本小節的開頭，先複習密度的差異如何引起深層洋流和風；以及流動的空氣和水流，如何在全球散布熱能。接下來，學生利用模型，以吸管和水槽，了解風如何創造海洋表面洋流。灑在水面的胡椒顆粒，讓水的流動看起來變得明顯。本小節的最後，學生利用洋流圖，解決航海的挑戰。學生的學習，聚焦於以下重要概念：

- 水循環、風以及洋流，在全球散布熱能，讓地球的溫度變得更平均。
- 風是驅動海洋表面洋流的主要因素。風讓海水流動起來，但是陸塊、地球自轉以及摩擦力，讓洋流從赤道流向極區。

學生也學到：

- 環流 (gyres) 是巨大的海流，繞著海盆的周界流動。
- 貿易風是盛行的表面風，沿著赤道吹向西方。

單元目標

科學內容

- 海洋就是熱能儲存庫
- 密度以及洋流以及空氣的運動
- 水循環

科學應用

- 從證據提出解釋
- 利用模型

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

行星風系與海洋表面洋流	預計時間
介紹風力驅動的海洋表面洋流	5 分鐘
探索並且模型化風力驅動的表面洋流	15 分鐘
更多風力驅動的表面洋流的秘密	10 分鐘
運用洋流解決航海挑戰	15 分鐘
總計	45 分鐘

你要準備以下項目

全班需要

- 投影設備 *
- 連結網路的電腦或教學資源光碟 *
- 1-11 小節的五張投影片
- 《行星風系》動畫，或者投影片 1.8.5
- (選擇利用) 文件提示機 *
- 測量湯匙組的 1/4 湯匙
- 水 *
- 影印包
- 10 套航海挑戰

每組學生需要

- 1 個自助餐餐盤
- 1 張空白畫圖紙 *
- 1 套色鉛筆
- 1 個 1.5 加侖水箱 (裝滿水)
- 1/4 湯匙中等顆粒胡椒
- 1 盎司塑膠杯
- 4 根吸管 (有包裝的)
- 1 張海洋表面洋流圖學生學習單

每個學生需要

- 調查筆記本：p.5-8；43-45；(選擇利用) p.42
- (選擇利用) 影印包：航海挑戰的解答 #1-10；航海奧秘 #1；航海奧秘 #2；航海奧秘解釋

* 不包含於教材

準備上課了

本小節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. **準備盤子：**每組需要的器材，請放在盤子上——
 - __ 1 個水箱，水平面離頂端約 1 吋
 - __ 1/4 匙黑胡椒顆粒，放在 1 盎司塑膠杯中
 - __ 4 根有包裝的吸管
 - __ 1 張空白圖畫紙
3. **(選擇利用) 預習動畫：**播放動畫《行星風系》(<http://kingfish.coastal.edu/marine/Animations/Hadley/hadley.html>)
4. **安排各站並影印資料：**從影印包中，根據學生人數，影印航海挑戰 1 張或多張。總共有 10 個挑戰，如果學生 3 個人一組，30 個學生就有足夠的站可以操作。如果教師偏好兩兩一組，每個挑戰就需要影印兩張，一半的學生用 1 套，另一半學生用另 1 套。
 - __ 航海挑戰 1-10 (每個挑戰影印 1 張或多張)
 - __ 海洋表面洋流圖 (每組 1 張)
5. **決定回家作業內容：**課堂上沒有足夠時間，讓學生逛完所有的站並解決所有的挑戰。決定一下：是否以回家作業方式，讓學生完成更多的挑戰，這就需要影印更多資料。影印包裡有各個挑戰的路徑圖，學生可以當作回家閱讀素材。航海奧秘 (請見第 127 頁) 是另一種回家作業的選擇，或者讓課堂上提早完成的學生運用。

科學語言

科學字彙

吸收
大氣
氣候
凝結／凝結作用
海流
密度
蒸發／蒸發作用
證據
熱能
熱能儲存庫
物質
模型
分子
降水
水循環
水蒸氣

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？

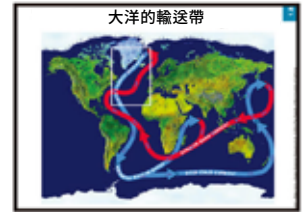


調查筆記本第 7 頁

介紹風力驅動的海洋表面洋流

1. 學生進教室後，播放《行星風系》動畫並讓他們討論。學生進入教室，鼓勵他們討論看到的現象並預測待會將探索的內容。

2. 播放動畫或投影片《大洋輸送帶》提醒學生：他們先前學到，密度的差異會造成大規模、全球性的洋流，在世界的海洋到處流動。播放《大洋輸送帶》動畫，或 1-8 小節的投影片 1.8.5，提醒學生想起這個全球性的洋流。問問學生：關於大洋輸送帶，他們還想起什麼。（這些洋流都由密度差異驅動；密度的差異，因為溫度與鹽度的改變造成；冰冷、密度大的海水，沿著海底運動）向學生強調：大洋輸送帶是全球性的洋流，這些洋流連結了大氣以及深層的海水循環系統，把氧氣與養分、熱能運送到全球各地。



3. 表面洋流由風造成 請跟學生說：「深層的洋流由密度差異所驅動，但是在海洋表面，大部份的洋流是因為風吹動海水而造成。」

4. 複習風的成因 發下調查筆記本並讓學生翻到第 5-8 頁「重要概念」。讓學生回顧他們的重要概念，並且根據風的成因，確定一個或多個概念。讓學生分享想法。

5. 播放投影片；學生記錄重要概念 播放投影片，讓學生閱讀重要概念。請學生翻到筆記本 5-8 頁「重要概念」，決定重要概念可以解釋哪個引導問題。（引導問題 5）讓學生抄錄這個重要概念，把概念抄在引導問題下方的欄位。告訴學生：這個想法連結整個單元的許多調查活動。讓學生知道：本小節的活動，將協助他們理解更多風吹動表面洋流的原因，這樣的現象讓熱能在地球分布得更均勻。



教師注意事項

每日書面反思

海洋表面洋流的成因是什麼？你認為呢？怎樣的力量會移動海面的海水呢？ 這個提示，出現在調查筆記本第 42 頁，鼓勵學生思索：表面洋流與深層洋流可能不同。

科學註記

關於洋流的不同成因 洋流的定義，就是持續且有方向性的水團。洋流是海水的循環系統，有水平與垂直之別，動力來源包括重力、風以及不同水域的密度差異。洋流的方向受到幾個自然因素的左右：(1) 地球自轉產生的柯氏力，讓北半球的洋流朝順時針旋轉、南半球的洋流朝逆時針方向旋轉；(2) 風力吹拂海面產生的摩擦力；(3) 因為不同鹽度與溫度產生的密度差異。

關於三種洋流 洋流包括：風吹表面洋流（短期、50-100 公尺深、小空間尺度）；海洋性環流或洋流系統（稍長期、500-2000 公尺深、半球或海盆尺度），以及大洋輸送帶（長期／1000 年循環一次、表面到深海平原、空間尺度廣及全球）。

提供更多經驗

強化：討論《行星風系》動畫 學生進入教室後，投放影片（可能先前播放過）。這次播放，按下中緯度按鈕，請學生分享觀察結果。如果學生沒有發言，指出貿易風以及風向。告訴學生：貿易風驅動了表面洋流，洋流沿著赤道向西邊運動。也請指出，動畫上的 Hs 與 Ls：「H」表示高氣壓（也表示密度較高）、「L」表示低氣壓（也表示密度較低）。請學生注意：空氣從密度較大的區域（H），往密度較小的區域（L）流動；此外，沿著赤道的區域也有雲層產生。

科學語言

科學字彙

吸收
大氣
氣候
凝結／凝結作用
海流
密度
蒸發／蒸發作用
證據
熱能
熱能儲存庫
物質
模型
分子
降水
水循環
水蒸氣

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 43 頁

探索並且模型化風力驅動的表面洋流

1. 介紹模型 告訴學生：他們將有機會，探索風力如何驅動表面洋流。教師把裝了教具的盤子發給小組，告訴他們這些教具要用來當作模型，模擬真實海洋的現象並讓他們探索：水箱的水代表海水，水箱的側邊表示陸塊，吸管則用來製造風，以穩定且持續的方式吹拂廣闊的海面。這樣的風，稱為「盛行風」(prevailing winds)。胡椒顆粒，則幫助學生追蹤洋流。

2. 播放投影片與海盆圖 向學生展示海盆圖，並且告訴他們：先前的模型海洋，其實代表太平洋、大西洋，以及其他海盆，並且指出各大陸塊如何圍著海盆。讓學生曉得，待會的活動焦點就是海盆。



3. 公佈活動指引 請其中一組，把胡椒顆粒灑在水面上，這樣方便觀察水流的動向。接下來，學生輪流小心地把吸管擺成將近水平，用風吹過「海洋」。提醒他們：這是在模擬盛行風，因此要持續地吹，而不是吹吹停停。告訴學生，以下有兩個挑戰：(1) 盡可能發現，風、陸塊以及表面洋流的關聯；(2) 盡可能發現洋流的形態，愈多愈好。



4. 介紹筆記本的內容 請學生翻到第 43 頁「模型海洋中的表面洋流」，並指出四塊空白處，讓每個組員表達洋流型態。同組的四名同學，要設法畫出各異的形態。向學生解釋：他們可以把吸管放在水箱的不同區域，模擬出不同的盛行風方向。

5. 學生運用模型並且記錄洋流形式 給學生幾分鐘時間探索模型，並且記錄結果。請教師在各組遊走，傾聽學生的發現並且提醒他們畫出水面上形成的洋流類型。

6. 分享觀察結果 請志願者分享他們觀察到的類型，並且解釋類型生成的原因。請確定學生提到以下類型：吹向水箱中央的風，創造出兩股循環的洋流，轉動方向不同；朝著一側吹拂，則製造出一股大型循環洋流。

教師注意事項

教學方針

第一單元的主要目標 海洋科學系列第一單元主要目標之一，是讓學生了解海洋、風的複雜交互作用，先了解區域性的作用，然後推展到更大的尺度。在 1-9 和 1-10 小節，學習焦點是空氣與水的互動，還有蒸發、凝結、貿易風等自然作用如何調節溫度。學生在本小節，學到風是表面洋流的驅動力量，而陸塊與地球自轉則主導洋流的主要型態。行星風系型態的完整起因，則超出本單元的範圍了。

教學建議

指定操作模型的順序 根據學生的成熟程度以及在組內分享的技巧，隨機指定學生「吹風」的順序（從 1 到 4）。教師也可以發出時間訊號，確保活動的時間都相同。

成功操作模型的秘訣 教師可能想示範正確的吹風方式，以確保模型海洋可以產出正確的洋流類型。請向學生強調：吸管保持和水面水平，持續穩定吹風，避免大口吹氣，朝向固定方向吹 30 秒以上。

更多表面洋流 前頁的圖，展現學生以另種方式探索洋流，也就是運用較淺的盤。教師也可以放置障礙物以模擬島嶼和大陸，以發展出更複雜的風吹洋流類型。

科學註記

關於洋流的命名 海洋學家參考洋流的流向而命名，例如從北流到南的洋流，就稱為「南流」（south current），如此可以協助水手曉得洋流會把船隻帶往何處。同樣的，風的命名也相去不遠。氣象學家利用風的起源地吹向，替風命名。「風從哪裡來」透露著許多訊息：舉例來說，「北風」（north wind）就是帶著凜冽的空氣從北方吹來。

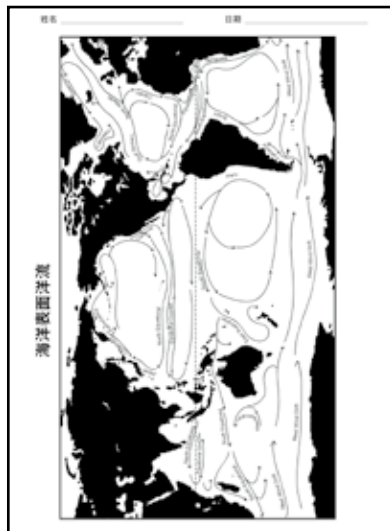
科學語言

科學字彙

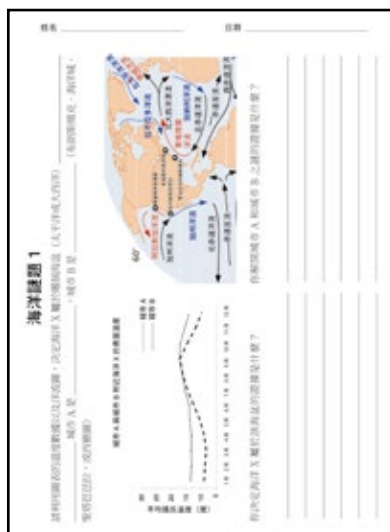
吸收
大氣
氣候
凝結／凝結作用
海流
密度
蒸發／蒸發作用
證據
熱能
熱能儲存庫
物質
模型
分子
降水
水循環
水蒸氣

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

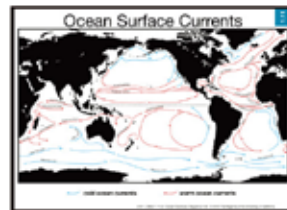


(選擇利用) 學生學習單，1/3

更多風力驅動的表面洋流的秘密

1. 比較海洋表面洋流圖與模型的海流類型 告訴學生：科學家比較從模型得到的結果與從自然界蒐集到的資料。請和學生分享，他們現在的活動，與科學家的活動無異。發給每組一張「海洋表面洋流圖」，指導學生指出模型洋流類型與洋流圖相似之處。給學生幾分鐘時間探索洋流圖，並且比較在模型海洋發掘的類型。

2. 播放投影片—海洋表面洋流；學生分享觀看心得 幾分鐘過後，播放海洋表面洋流投影片，並且請學生分享他們在洋流圖看到的洋流類型。如果學生沒有發言，請指出暖流以紅色表示、冷流以藍色表示。此外，也指出大型循環洋流，位於赤道兩側。告訴學生：這樣大型的洋流，稱為環流。問問學生：他們用怎樣的方式，在模型海洋中製造了類似洋流。（穩定吹拂水箱中央）



3. 討論環流 運用以下提示，引導全班討論環流：

- 在北半球與南半球，環流流動的方向是？（北半球以順時針方向轉動、南半球以逆時針方向轉動）。
- 盛行風的吹向是什麼？才能在真實海洋表面推著海水讓這樣的洋流運動？（沿著赤道向西邊吹拂）。
- 陸塊如何影響洋流？（洋流遇到陸塊，會轉往兩極移動：朝向北極或南極區域）。
- 盛行風沿著赤道吹向西邊，如果沒有大陸阻攔，洋流的形態會變成如何？（有可能大型洋流會朝西方繞著地球運動）。

教師注意事項

科學註記

關於表面洋流的方向 太陽不均勻的加熱，驅動地球的風。風驅動表面海水（50-100 公尺深），而產生的洋流方向，因為摩擦力的關係（艾克曼運輸，Ekman transport）和地球自轉（柯氏力）而與風的吹向呈某種角度。在北半球，這樣的效應產生順時針的螺旋洋流。

關於柯氏力以及地球自轉 柯氏力因為地球自轉而來。北半球的主要洋流以順時針方向轉動、南半球的主要洋流以逆時針方向轉動，柯氏力是其中一個因素。這樣的洋流系統稱為「環流」。柯氏力首次被記載，是在十九世紀初期。當時已知：北半球的物體以直線方向運動，人們在地球上卻觀察到物體以曲線運動，這是因為底下的地球在自轉。北半球的運動，會朝向右邊（如果觀看者面對物體的運動方向看去）；南半球的運動，則偏向左邊。這樣的效應也見於大氣，讓高壓系統周圍的氣流，在北半球以順時針方向繞著中心轉動、在南半球以逆時針方向轉動。（在本單元，學生不需要知道柯氏力；他們只需要了解洋流的運動模式可以預測即可。）

提供更多經驗

延伸：海洋謎題 這個選擇性實施的活動（影印包中有三張學習單），提供兩個謎題，與幾個地點的海水溫度有關。這些謎題，與學生在 1-4 小節解決的謎題有關係，不過這次提供的是水溫圖，而不是氣溫圖。教師可以把本活動當成回家作業，或者利用額外時間在課堂進行，也可以當成進度超前學生的進階活動。本活動展示的是：低緯度與風吹洋流如何影響水溫，以及海水溫度如何影響氣候。注意表面洋流的流向，就可以找出解謎的線索。兩個海盆，可以用大西洋與太平洋顯著的溫度差異來區別。北美洲海岸的太平洋海盆，海水寒冷許多，部份原因是因為洋流來自北方；大西洋岸的海水就溫暖許多，這是因為溫暖的墨西哥灣流來自南方。每個海盆沿岸比較寒冷的城市，都位於較高的緯度。（海盆 X 是太平洋，A 是加州的聖塔芭芭拉、B 是華盛頓州的西雅圖；海盆 Y 是大西洋，C 是喬治亞州的布倫瑞克、D 是馬里蘭州的大洋城）

科學語言

科學字彙

吸收
大氣
氣候
凝結／凝結作用
海流
密度
蒸發／蒸發作用
證據
熱能
熱能儲存庫
物質
模型
分子
降水
水循環
水蒸氣

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？

教師注意事項

科學註記

貿易風與降水 貿易風，是全球熱帶地區盛行的表面風，在北半球吹向西南、在南半球吹向西北。太平洋地區的尋常歲月，貿易風穩定吹拂太平洋，因為摩擦力的關係，沿著赤道把海水帶往西邊（請參考以下的艾克曼運輸）。在南美洲沿岸，表面洋流沿著赤道把海水帶往印尼以及亞洲。海水通過赤道而增溫，抵達太平洋彼岸時，溫度已經很高。溫暖的海水讓空氣的溫度也增高，空氣增溫後密度變小，便開始上升、再上升；空氣在高空冷卻後，裡頭的水蒸氣凝結，最後降雨。因為這樣的天氣類型，印尼和澳洲西部通常多雨，而南美洲通常乾燥。

艾克曼運輸與摩擦力 風吹拂海面，因為摩擦力牽引海面，讓表層海水動起來。如果地球不會自轉，風與海面的摩擦力會讓表層薄薄的水沿著風向移動。表層海水會牽引底下的水層，但是底下海水移動的速率比上層慢。不過，地球會轉動，因為風力關係而驅動的表層海水，會因此有方向的轉折；在北半球，被風吹動的淺層海水，運動的方向會轉到風向的右邊，在南半球，則轉到風向的左邊。海流方向持續因為深度而轉向，下層的水轉向到上層水的右邊。海水轉向的整體效應，在很深的海域，會與原本風向呈 45 度。這樣因為風、表面海水與地球自轉等交互作用而生的海水運輸，稱為「艾克曼運輸」（Ekman Transport）。

提供更多經驗

延伸：線上影集《墨西哥灣流》（1 分鐘 51 秒）以及縮時影片《周遭的海洋》（3 分鐘 2 秒），是兩齣值得推薦的影集，可以強化本小節的重要概念。（mare.lawrencehallofscience.org/oss68）

強化：課前想法／修正後想法 如果時間許可，讓學生重讀調查筆記本第 3 頁「課前想法」，並且在本頁的下方，加註水循環、海洋表面洋流等概念。

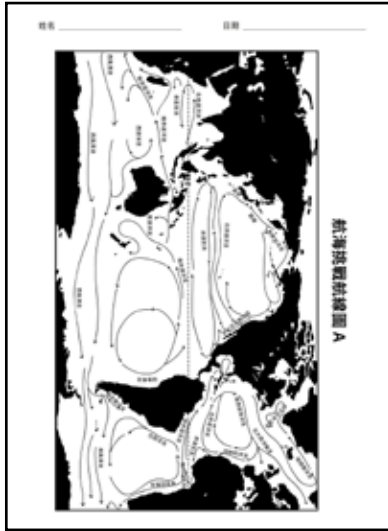
科學語言

科學字彙

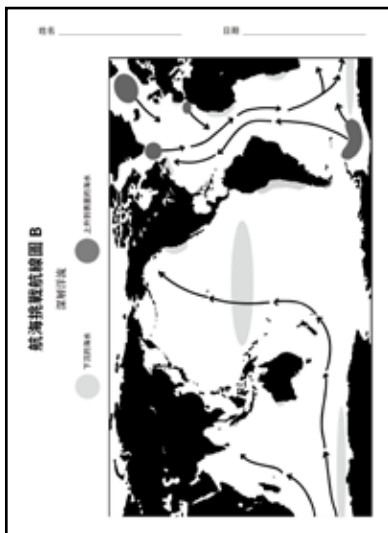
吸收
大氣
氣候
凝結／凝結作用
海流
密度
蒸發／蒸發作用
證據
熱能
熱能儲存庫
物質
模型
分子
降水
水循環
水蒸氣

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 44 頁



調查筆記本第 45 頁

運用洋流解決航海挑戰

- 1. 簡述活動內容** 告訴學生：他們將運用洋流的知識，發現海上航行的最佳航線。學生需要表面風吹洋流以及密度差異引起的深層洋流的訊息。
- 2. 介紹挑戰** 向學生解釋：教室內設置好 10 項不同的航海挑戰。接下來的 10 分鐘，學生以小組形式，以自己的步調嘗試解決挑戰。要解決所有的挑戰，並沒有足夠時間。向學生解釋：他們挑選的航線，不一定是真實情境的選擇，但是因為學生運用手頭的海流圖找到證據並取得合理的解答，這無傷大雅。



(圖 1-14) 學生在教室內 10 個站轉移，每站都有不同的航海挑戰。每個挑戰，都根據海流圖解決，也會提供解決挑戰的學習單

- 3. 介紹筆記本內容活動指示** 請學生翻到筆記本第 44-45 頁「航海挑戰航線圖」，教師指出：第 44 頁的航線圖 A，顯示表面洋流，而航線圖 B 則標明深層洋流。告訴學生：每個航海挑戰都會提供一點訊息和指示，他們藉此可以找到合用的航線圖以記錄解決方案。學生利用不同顏色的筆，區隔不同的航海挑戰，顯示小組預測的航線。
- 4. 學生解決挑戰** 教師先指定各組第一站，以確定教室空間均勻運用。讓學生以自己的步調完成並且轉到下一站。
- 5. 小節總結** 讓學生回到座位，問問學生：「整體來說，關於洋流，你從航海挑戰學到什麼？」（洋流在整個地球表面運動；許多洋流運行很長的距離；洋流把海盆連在一起。）

教師注意事項

提供更多經驗

準備：科學證據圖表 如果學生需要檢視證據類型以支持解釋，利用 1-2 小節的圖表。學生解釋航海挑戰的解決方案時，問問學生每個證據的實例。

科學證據

證據是一種線索，可以解答問題或解釋某種現象。

證據來自——

- 我們的觀察
- 他人的觀察
- 推理、思考、討論

科學解釋要根據證據。

延伸：航海挑戰與分享的額外時間 如果時間許可，教師可以花更多時間探索挑戰。這樣一來，確保更多學生投入探索更多類型的洋流。教師也可以用回家作業方式，讓學生完成額外的挑戰；如果是這樣，教師就要多影印挑戰的學習單。學生完成挑戰後，教師可以分派挑戰給各組，利用文件提示機播放各組的解決方案，並且針對航線提出支持的證據。

延伸：揭露真正的航海路徑 大部份的挑戰都根據真實的歷史案例；更多的訊息、揭示實際解決航線的學習單，收錄於影印包。如果還有時間，在學生探索完挑戰後，讓學生了解事實；也可以把這些資料當成回家閱讀作業。

延伸：本小節的反思提示

- 表面洋流和深層洋流，相同之處有哪些？相異之處有哪些？
- 海洋和大氣的交互作用有哪些方式？請舉出三種。

科學語言

科學字彙

吸收
大氣
氣候
凝結／凝結作用
海流
密度
蒸發／蒸發作用
證據
熱能
熱能儲存庫
物質
模型
分子
降水
水循環
水蒸氣

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？