

調查氣候變遷：洋流



生複習過溫度、鹽度和密度會影響洋流，全班學生將進一步運用三種不同的模型來調查，包括影音動畫、水箱海洋模擬，以及電腦模擬。學生欣賞簡短的動畫影集，複習大洋輸送帶的洋流運動。動畫內容提醒學生：冰冷、鹽度高的海水是驅動洋流的主要動力。學生也將觀察實驗演示，目睹融化的冰如何衝擊海洋模型，並提出預測。學生掌握了這些證據以後，接著就運用電腦模擬，預測格陵蘭附近海水增溫後，海冰、鹽度和北大西洋深層水（North Atlantic Deep Water）的流動將會如何改變？以下是學生的重要概念：

- 地球大氣的溫度影響了洋流。

學生的附帶學習：

- 冷水的密度高於熱水；鹹水的密度高於淡水。
- 密度較高的物質會沉到密度較小物質的下方。
- 密度較大的水（較冷或較鹹）會下沉，並將下方的水排開；密度較小的水（較熱或較淡）被迫往上方移動。這就是洋流發生的原因之一。
- 海中形成海冰時，其中的鹽分會釋出，因此海冰不含鹽分。這樣一來，周邊的海水就會比較鹹。
- 冰河或海冰融化會造成附近的海水變得較淡，因為有淡水加入海洋。

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

調查氣候變遷：洋流	預計時間
複習洋流運動的原理	10 分鐘
欣賞洋流影集	5 分鐘
利用海洋模型展示洋流	15 分鐘
模擬洋流的變遷	15 分鐘
總計	45 分鐘

你需要準備

全班需要

- | | |
|---|---|
| ☐ 投影設備 * | ☐ 一罐綠色食用色素 |
| ☐ 連結網路的電腦或教學資源光碟 * | ☐ 水 * |
| ☐ 3.7 小節的兩張投影片 | ☐ 冰塊托盤 |
| ☐ 動畫影集大洋輸送帶 | ☐ 一張白紙 * |
| ☐ 電腦模擬大洋輸送帶 /NADW | ☐ 兩個中型燕尾夾 |
| ☐ 科學證據圖表 (3.5 小節) | ☐ 一套量匙 |
| ☐ 一個水箱 | ☐ 兩個有刻度的水壺 (500 毫升) |
| ☐ 兩個紙杯 (八盎司) | ☐ 帶書擋的夾燈，含 72 瓦燈泡 |
| ☐ 兩個圖釘 * | ☐ 溫水 (溫暖自來水或電熱壺或微波爐的加熱水) * |
| ☐ 一個自助餐盤 | ☐ 保溫瓶或小型冰箱 * |
| ☐ 一杯鹽 | ☐ 展示台 (選擇利用) * |
| ☐ 一罐紅色食用色素 | |
| ☐ 一罐藍色食用色素 | |

每位學生需要

- ☐ 調查筆記本：p.4、26、25 (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. 準備藍色和無色冰塊：**在一杯水內加 15 滴藍色食用色素，攪拌均勻後，倒入製冰盤，製作三塊藍色冰；把清水倒入製冰盤的另一邊，製作六塊無色冰。製冰盤放在冰箱一晚，隔天裝入保溫瓶，帶進教室，確保冰塊於上課前保持結冰狀態。
- 2. 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。
- 3. 試放影集：**預先播放影集大洋輸送帶 (1 分 24 秒) (http://www.youtube.com/watch?v=3niR_-Kv4SM)
- 4. 測試大洋輸送帶 / NADW 模擬：**試試幾種不同的溫度設定，確定能順利操作。
- 5. 準備展示用水箱和材料：**(請參考第 327 頁的圖 3-6) 水箱裝滿室溫水，倒入 1/2 杯鹽攪拌，放一旁備用。將兩個紙杯、兩個燕尾夾和兩個圖釘放入碟子。備妥帶書擋的夾燈，測試燈泡。

上課前一分鐘的準備

- 1. 運送冰塊：**以保溫瓶裝冰塊帶進教室，保留藍色冰塊，無色冰塊用於下個步驟。
- 2. 準備洋流需要的冷熱鹽水：**將兩杯水、無色冰塊倒進 500 毫升的水壺，讓水維持低溫，然後加入兩匙鹽攪拌，再加入 16 滴綠色食用色素，讓水變成暗綠色。在另一個 500 毫升水壺倒入兩杯溫水 (觸摸會熱，但不燙手)，加入 1.5 匙鹽攪拌，再加入 20 滴紅色食用色素，讓水變成暗紅色。

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？

複習洋流運動的原理

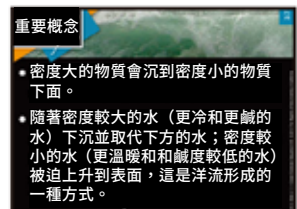
1. 複習地球溫度上升的效應 二氧化碳或其他吸熱的溫室氣體濃度升高時，會引起地球溫度上升，進而造成海冰融化與冰河消融。請幾位志願者簡單談談這方面的學習經驗。

2. 討論融冰對海水的效應 教師告訴學生：海冰和冰河都是淡水組成（不含鹽的水）。然後提問：「**海冰融化後，會對附近的海水有什麼影響？**」（增加了淡水，讓附近海水變得較不鹹），請教師在白板上畫出簡單流程圖，以箭頭顯示因果關係：

大氣二氧化碳濃度增加→
大氣累積的熱能增加→
溫度升高→
海冰（不含鹽分）融化→
附近海水鹽度降低

3. 連結溫度、鹽度與洋流的運動 教師提醒學生：洋流，就是大量海水朝著固定方向流動。然後問學生：「**怎麼樣的動力讓海水流動而形成洋流？**」（依據第一單元的學習，學生會指出：風、地球自轉、太陽不均勻的加熱，還有不一樣密度的水）。如果學生沒有提到這些因素，就由教師補充：不同區域的海洋溫度與鹽度都不一樣，這些因素組合對於全球洋流的形成至關重要。

4. 複習第一單元的重要概念 教師先告訴學生：今天的學習焦點是不同密度的水，會造成洋流的運動。接著播放投影片，大聲朗讀第一單元的兩則重要概念。



5. 輪流發表洋流運動的原理 教師問學生：「**你認為地球兩極附近的海水會如何流動？你為什麼這樣想？**」給學生一分鐘時間和夥伴預測原因，先讓他們不要透露預測內容。

教師注意事項

每日書面反思

氣候變遷如何影響海平面與冰河？這些效應如何影響海水？ 這則提示收錄在調查筆記本第 25 頁。先請學生反思，他們所了解的氣候變遷對於海冰和冰河的效應——讓兩者都產生消融或發生過去前所未有的縮減。然後，請學生預測：氣候變遷如何影響海水？這樣讓他們做好準備在本小節以及下小節，探索淡水流入增加會如何影響洋流。學生可能認為：海冰融化會讓海水鹽度降低，或讓某些海域的海水變冷。

教學原理

第三單元的目標與密度理解 在第一單元裡，整個單元都在探索密度，讓學生了解：密度與分子的運動有關，也與分子間的稠密程度有關。課程中也介紹了密度的差異會讓大氣以及洋流都產生運動。學生充分理解當然很好，但在理解 3.7 與 3.8 小節的密度驅動洋流時，並不一定非要讓他們當下完全掌握密度原理不可。如果教師不曾教過第一單元、學生不曾接觸密度概念，以下的「提供更多經驗」有幾種方式讓學生做好準備迎接本單元。

提供更多經驗

準備：以兩杯石子示範為什麼鹽水的密度較大 教師準備一個模型，輔助解釋為什麼鹽水會沉入淡水下方。首先，教師拿兩個杯子，裝滿石子；石子表示水分子。然後取 3/4 杯的鹽，倒入其中一個杯子，讓學生觀察：鹽巴塞進了石子間的縫隙。教師解釋：鹽水的密度比淡水大，因為同一杯水（或相同體積的水），鹽水的分子比較稠密。起先，只有單純的水分子，現在相同體積的一杯水包含了鹽分子與水分子。也就是說，一杯鹽水和一杯淡水相較，鹽水的質量比較大（物質較多）。

準備：展示第一單元小節並播放線上動畫 教師可能想呈現 1.7 與 1.8 小節的內容，來讓學生分組探索水箱中的洋流運動，以及討論密度驅動的洋流。模型海洋動畫（Model Oceans Animations）呈現九種不同的鹽水與淡水組合，還有各種組合混合的情形。播放每段動畫之前，都請學生先預測狀況。

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？

欣賞洋流影集

1. **介紹影集並設定觀察目標** 教師告訴學生：我們將要欣賞的影集會呈現全球洋流的方向。並把觀察的目標寫在白板上。

注意影集中的重點：

- 洋流沉降的區域在哪裡？
- 洋流上升的區域在哪裡？
- 北太平洋接近格陵蘭附近的洋流有什麼現象？
- 赤道附近海域的洋流有什麼現象？

2. **解釋箭頭與影集的速度** 教師提醒學生：在影集中，表示洋流的白色箭頭下沉，會變成灰色，表示變成了更深層的洋流。接著向學生解釋：一小滴海水繞行世界的旅行，需要花一千年的光陰，因此，我們在影集中看到的是洋流的「快轉」影像。

3. **播放影集大洋輸送帶** 教師先說明：因為影集沒有聲音，請同學邊看邊討論所看到的現象。接著開始播放影集。

4. **學生簡短分享欣賞的內容** 當學生描述影集的內容時，請教師詢問其他同學是否同意或補充。討論焦點請放在步驟 1 所列的四個目標上。如果學生的討論沒有提及目標內容，請指出：北太平洋靠近格陵蘭附近的洋流是沉降的。如果需要，可以再播放一次，並凸顯觀察目標。

5. **複習流經全球的洋流名稱** 請提醒學生：在第一單元所學，繞行全球的洋流稱為「大洋輸送帶」，因為這些洋流的海水是繞著整個地球流動。

6. **預測洋流型態的改變** 教師將學生分成四人一組，並問他們：「讓洋流產生變化的原因是什麼？」給小組幾分鐘時間討論，他們可以運用任何關於洋流的證據，以佐證答覆。然後教師指著「科學證據圖表」，提醒學生：取得證據的途徑包括調查、推理、思考和討論。

7. **小組分享想法** 請幾組學生與全班分享想法，並提醒他們必須提出證據和解釋原因。讓學生討論一些想法後，再告訴他們：老師還有另外關於氣候變遷的證據，有助於回答問題。

教師注意事項

科學註記

關於大洋輸送帶 海洋循環極其複雜，包括全球洋流網絡，即由風、地球不均勻受熱、地球自轉、大陸周圍繞行的水流，以及不同區域不同的鹽度（鹹的程度）與溫度引起的密度差異等組成。洋流運動多由海洋與大氣作用造成的，使得熱能運行全球——較溫暖的空氣與水從赤道移往兩極，較冷的空氣與水則從兩極再流回赤道。即使這樣的系統複雜異常，但我們還是可以追蹤整體形式。簡單來說，海水跟著表面洋流沉降，變成深層洋流，然後再回到海面，也就是科學家所稱的「大洋輸送帶」（有時也稱為「全球海洋輸送帶」）。

教學原理

為什麼要播放洋流動畫 本小節介紹的海域現象甚至比動畫更簡化，所以上課先觀察動畫，能讓學生先將本小節使用的模型與整個海洋更大、更複雜的洋流型態做連結。

提供更多經驗

延伸：討論多種模型運用的重要性 教師介紹三種不同的洋流模型：大洋輸送帶影集動畫、水箱的物理模型、電腦模擬，當作本小節的綱要。然後詢問學生：為什麼科學家調查洋流之類的自然現象，要運用一個以上的模型？（沒有模型是完全精確的；不同模型可以呈現現象的不同面；洋流非常複雜；科學家從多種來源取證據，有助於對自己的想法更有信心）。

延伸：另一片大洋輸送帶線上動畫 為了讓學生更理解表面洋流如何在北大西洋運動，以及北大西洋的洋流如何連接全球海洋，教師可以讓學生另外觀看這片 NASA 動畫（2 分 46 秒），當作是補充教材（mare.lawrencehallofscience.org/oss68）。

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？

利用海洋模型展示洋流

1. **設定展示目標** 教師提醒學生：請注意最近所看的氣候變遷引起氣溫上升，以及引起海冰融化而造成海水鹽度降低的證據。並告訴學生：我們即將目睹相關展示，並提出證據回答「**氣候變遷會影響洋流嗎？**」
2. **複習模型的使用** 教師先簡短複習：科學家經常運用模型，幫助他們預測一個現象如何影響另一現象。然後告訴學生：氣候變遷是否影響如同影集中的洋流呢？現在就運用模型，來協助做預測和回答這個問題。
3. **建置海洋模型** 教師向學生展示裝著室溫鹽水的水箱。如果有展示台，就可以沿著水箱側邊直線方向架設。接著告訴學生：大洋輸送帶位於兩極和赤道之間，這個模型只能代表在影集看到的大洋輸送帶一小部分。然後解釋：影集呈現海面，但是模型會呈現側面，就像置身於海洋中目睹洋流一樣。
 - a. **凜冽、鹽度很高的北大西洋海水** 先把鹽水從有刻度的量杯倒入紙杯，展示冰冷、綠色鹽水，並告訴學生：這就是在影集所見，北大西洋靠近格陵蘭附近凜冽、高鹽度的海水。接著開始進行活動，將一個圖釘刺入接近紙杯口的側面（讓紙杯放入水箱後，圖釘會在水面下幾毫米處）。將水杯放進水箱左邊；圖釘朝向水箱外側，然後以燕尾夾固定在水箱內（請參考第 327 頁圖 3-6）。把綠色鹽水從量杯倒進紙杯、倒滿。詢問學生：「**我把圖釘移除，會發生什麼現象？**」（水從紙杯流出，流向水箱底部）（此時還不要拔開圖釘）。
 - b. **溫暖、鹽度較低的赤道海水** 先將較溫暖、鹽度較低的紅水從量杯倒入紙杯。並告訴學生：紙杯中的水，鹽度比水箱的水低，代表較溫暖、鹽度較低的赤道海水。開始進行活動，將一個圖釘刺入紙杯口附近的側面（讓紙杯放進水箱後，圖釘會在水面下幾毫米處）。將水杯放入水箱右邊；圖釘則朝向水箱外側，然後以燕尾夾固定在水箱內。把紅色水從量杯倒入紙杯、倒滿。詢問學生：「**我把圖釘移除，會發生什麼現象？**」（水從紙杯流出，流向水箱水面）。

教師注意事項

教學建議

學生建置模型海洋 如果時間足夠，讓學生自己建置模型，這樣不但讓他們更有參與感，也是更直接的體驗。每組需要一個水箱，預先裝了室溫鹽水，再準備兩個紙杯、兩個圖釘，以及兩個水壺或容器，用來盛裝很冷、很鹹的綠水和溫暖、不太鹹的紅水，此外，還需要一張白紙，兩塊藍色冰塊。教師先講解建置方式，並先讓學生預測。接著，讓學生自行組裝模型、記錄結果，再與全班分享。

運用展示台（實物投影儀） 教師使用展示台，把海洋模型的影像投放給全班看。影像應該是水平縱向，可以讓學生看到最大範圍的水層變化。在水箱後方放置白紙，更能讓學生看得清楚。



圖 3-6 學生從水箱側邊，看到海洋模型中的流動洋流。冰冷、高鹽度的綠色「北大西洋」海水，早先倒入左邊杯子；溫暖、鹽度較低的「赤道」海水，則倒入冷水杯右邊的另一個杯子，並以燕尾夾固定於水箱邊。兩個杯子都就位後，就可以移除圖釘。爲了營造氣候變遷的場景，再用檯燈（上圖沒有放檯燈）照射水中的海冰（藍色冰塊），讓它融化。

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？

- c. 拔掉兩個紙杯的圖釘** 如果教師能運用展示台，學生坐著就能描述看到的現象，另外，也可以在水箱後面放一張白紙，讓水的顏色更清晰。如果沒展示台，教師也可以將學生集合在水箱周圍，或分組上台觀看（綠色冰冷、高鹽度的水會沉降到水箱底部；紅色、鹽度較低的水則浮上水面，這樣的循環運動稱為對流（convection current））。如果教師請學生上台觀看，就讓他們先待在原處，接著觀看海冰融化的現象。
- 4. 介紹北大西洋深層水** 教師向學生解釋：格陵蘭外的北大西洋海水，溫度低且鹽度高，如同影集呈現的，會沉降到海底，這就是綠色鹽水表現的現象。接著告訴學生：由於這樣的水生成於北大西洋，而且沉降至海底，因此科學家稱之為「北大西洋深層水」。
- 5. 介紹融化的海冰（藍色冰塊）** 教師告訴學生：模型另一個部分呈現了氣候變遷。接著介紹藍色冰塊代表融化的海冰，並強調海冰是不含鹽分的淡水。教師向學生解釋：因為格陵蘭的冰層正在融化，且此處海域是大西洋深層水產生的位置，待會兒將藍色冰塊放在綠色高鹽度的低溫海水附近。
- 6. 提出預測** 請學生預測，藍色冰塊加入後會發生的現象。讓學生分組進行討論，然後和組員一起提出預測。請幾組學生跟全班分享預測，以及他們做預測的證據。
- 7. 加入融化的海冰（藍色冰塊）並描述現象** 在水箱的綠色鹽水杯附近，加入兩三塊藍色冰塊。為了加速融化，在冰塊上方以檯燈加熱。冰塊在一分鐘內就會融化，並在表面形成一層水。然後由教師告訴學生：檯燈就像溫度上升的大氣，讓海冰融化。請讓學生分組近距離檢視模型，直到每位學生都親眼看到——如果距離太遠，會看不清楚表面的水層。接著請學生描述看到的現象。（冰冷的藍色淡水形成水層，覆蓋整個水面，甚至連紅色溫暖、鹽度較低的水也被覆蓋）。
- 8. 討論模型的限制** 教師提醒學生，所有模型都有限制。然後提問：剛剛的模型受到什麼限制？（只呈現部分的海洋；海底不是平的；海洋中有許多不同的水層）。如果沒有人提到風的影響，那麼，教師可以說明：另一個限制就是模型沒有風，因此缺少混合表面海水的效應。

教師注意事項

科學註記

關於赤道的海水 因為地軸是傾斜的，赤道和兩極接受到的陽光量不同。也就是說，白天有陽光的時候，陽光直射赤道（以及赤道南北兩側的區域）。陽光直射表示赤道附近的輻射較強，因此當地海水比其他海域溫暖。相反的，兩極附近海域，有著地表最冰冷的海水，這是因為陽光斜射，因此受光面增大許多，分散了輻射的強度。此外，海面的鹽度也呈區域性分布，中緯度的蒸發作用強、降雨量少，鹽度最高；赤道附近的降雨量很大，沖淡了表面海水。如果熱帶降雨帶的位置移動，該區域表面海水的鹽度也會受到影響。

關於北大西洋深層水 北大西洋深層水（NADW）是高密度且「覆蓋」海底的海水，它緩緩往赤道流動。北大西洋深層水是由性質相近的水集合的水團——溫度、鹽度、密度和含氧量都差不多。因為蒸發作用與靠近北極的關係，這水團的溫度凜冽、鹽度很高、密度很大，且生成於北大西洋，也就是形成於拉布拉多海與格陵蘭海附近。又因為海冰形成之際，鹽分排入海中，使得海水的鹽度更高，而形成高鹽度、低溫且密度極端大的海水，因此向下沉降。這股下沉的水團就是驅動大洋輸送帶的部分動力，這個驅動過程又稱為「溫鹽環流」（thermohaline circulation）；「溫」（thermo）表示溫度，「鹽」（haline）表示鹽度。北大西洋深層水會因為氣溫和降雨的關係，改變形成的速度，而大洋輸送帶的移動速度也會受此影響。其他影響的因素，包括風和地球的自轉。

教學原理

為什麼把冰冷、高鹽度的水放在水箱左側？ 在電腦模擬中，學生會看見類似海洋橫切面的畫面，如同教師創造的海洋模型一樣。根據電腦模擬畫面，格陵蘭在左、赤道在右，為了讓學生習慣畫面的方向，因此呈現模型時也做到一致性。如此一來，把冷水放在學生左側、溫暖且比較不鹹的水放右側，幫助學生在兩者視覺上的轉換更順。

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？

9. 比較模型與真實海洋的差異 如果時間許可，在討論模型與真實差異之前，讓各組學生輪流發表、回答以下問題：「**海冰融化並引起海面鹽度降低，會讓真實的海洋發生什麼樣的變化？（風會把融冰生成的淡水與海面的海水混合）「這對表面海水的鹽度有什麼效應？密度會如何？」（會變得比較不鹹，密度也會變小）**請幾組學生分享想法，然後教師問全班：「**根據觀察模型的結果，你認為這對北大西洋深層水有什麼影響？**」教師聽取學生意見，並讓學生了解：另有一種模型也可以協助觀察海洋的變化。

模擬洋流的變遷

1. 介紹模擬 教師向學生說明：接著要利用電腦模擬，調查氣溫與海水鹽度的變化如何影響著洋流。並向學生強調：模擬終究也是模型，在科學的領域，為了瞭解事物的原理，可以用模型來理解、預測與解釋。

2. 播放模擬畫面 教師引導學生檢視第一張畫面顯示的大洋輸送帶圖表，以及北大西洋深層水形成的特定格陵蘭海域。點擊特定海域的長方形區塊，展開下一張畫面。請學生注意海水「側面視角」（第 331 頁圖 3-7），這時觀看者是由水下向旁邊的視角，觀看北大西洋海盆，如同學生剛剛觀看的海洋模型一樣。

3. 指出模擬的特徵 先讓學生了解：畫面顯示的是格陵蘭附近的目前的狀況，但接下來要調查溫度改變後所發生的變化。請學生把焦點放在以下幾點：

- 在螢幕左上，格陵蘭正在融化的冰層。
- 觀看指標顯示的鹽度。提醒學生：這裡的鹽度表示格陵蘭附近海面的鹽度。
- 觀看指標顯示的溫度。這裡顯示的是格陵蘭附近的氣溫，它目前設定的平均溫度在中間位置，也可以切換改變溫度。
- 箭頭表示洋流方向。請學生**描述箭頭運動的含意**（箭頭表示洋流從冰河位置沉降到海底，然後沿著海底流往赤道），並解釋：這個洋流就是北大西洋深層水（NADW）。

教師注意事項

科學註記

關於格陵蘭冰層 格陵蘭冰層是一龐大的冰體，涵蓋面積廣達六十萬平方哩，占了格陵蘭面積約百分之八十。冰層的厚度大約 1 至 2 哩，名列全球第二大冰體。格陵蘭特別容易受氣候變遷效應的影響，最近幾年，冰層融化現象達到歷史新高。科學家預測：如果全球溫度持續上升，全部冰層將會融化殆盡（需要幾個世紀時間），屆時海平面將上升 7 公尺（23 呎），海洋水循環也會發生改變。

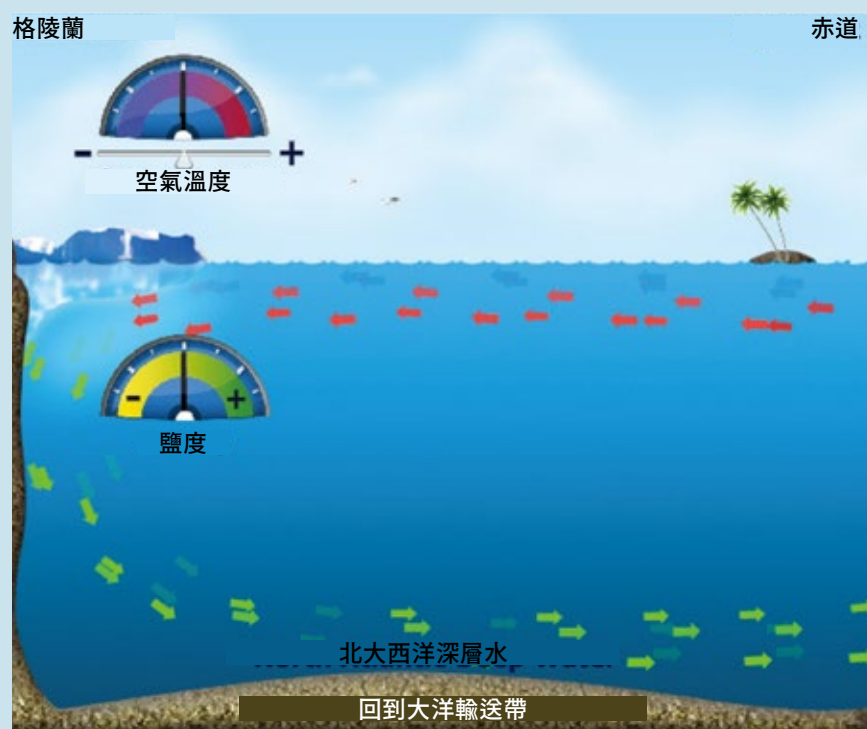


圖 3-7

北大西洋深層水剖面圖。運用電腦模擬，學生學習到溫度降低或升高之際，北大西洋深層水發生的變化。模擬的預設位置反映了現今的平均氣溫與鹽度。

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？

姓名：_____ 日期：_____

改變北大西洋深層水的流動

升高溫度		
會怎麼樣……	預測（圈選一項） 你認為會怎麼樣？	結果
格陵蘭海域的冰層？	增加 降低 不變	
表層海水的鹽度？	增加 降低 不變	
北大西洋深層水的流動？	加速 減緩 不變	

溫度升高的時候，水流為什麼改變？請解釋。

降低溫度		
會怎麼樣……	預測（圈選一項） 你認為會怎麼樣？	結果
格陵蘭海域的冰層？	增加 降低 不變	
表層海水的鹽度？	增加 降低 不變	
北大西洋深層水的流動？	加速 減緩 不變	

溫度降低的時候，水流為什麼改變？請解釋。

調查筆記本，p.26

4. 預測結果 教師發下調查筆記本，請學生翻開第 26 頁「改變北大西洋深層水的流動」。氣溫上升後，冰層、鹽度和洋流的流動會發生什麼變化？請學生兩兩一組，針對這個問題交換意見（這頁的上半部與下半部）。也請學生在圈選處的同一欄，寫下理由。然後告訴學生：最右邊的「結果」欄位會在電腦模擬完成後，填寫完畢。給各組約五分鐘時間完成預測。

5. 提高溫度 請學生注意，並讓一位志願者針對氣溫上升導致的變化，分享預測和理由，然後鼓勵其他學生給予評論，並以證據支持其評論。接著將電腦模擬的溫度切換鍵移到右邊，一次增加一格（要放開滑鼠，才能讓螢幕產生變化）。請志願者描述每個因素（冰層、鹽度和流動箭頭）的變化。完成後，請學生填寫「結果」欄位。（格陵蘭冰層減少使進入海洋的淡水增加，導致鹽度降低；由於海水密度降低，使海水停止沉降，導致北大西洋深層水的流動減緩）。

6. 降低溫度 請另一位志願者針對氣溫下降導致的變化，提出預測。接著重覆上面提高溫度的步驟，但需將溫度切換鍵往左邊移動，一次移動一格。完成後，全班一起討論，並把結果記錄下來。（格陵蘭附近發生降溫，讓冰層不再融化；由於很鹹、很冷的表面海水密度非常大，因此快速下沉，使得北大西洋深層水的流動變快）。

7. 學生寫下洋流改變的理由 為什麼溫度上升或下降，會讓海水流動產生變化？讓學生總結後，記錄在筆記本對應的空白處。

8. 描述科學家對此的解釋 教師告訴學生：科學家為了預測變化，持續蒐集證據，並利用新數據發展更好的模型。氣溫上升將改變大洋輸送帶，研究洋流的科學家對此因果關係相當有把握，但到底影響洋流的層面有多少，科學家則尚未完全確定。請向學生解釋：格陵蘭冰層融化的速度正在增加，科學家也擔心，全球溫度持續上升，將啟動整個冰層消融的機制。

教師注意事項

教學建議

解釋科學家的預測 教師告訴學生：雖然可以操縱電腦中的溫度切換鍵，模擬極高或極低的溫度，但是根據科學家的模型，到了西元 2100 年的全球平均氣溫，將比西元 2000 年升高攝氏 0.5 至 4 度，也就是華氏 0.9 至 7.2 度。因此，北大西洋深層水模擬的最高升溫，實際上應該是攝氏 4 度，因為本模擬是根據全球平均溫度的預測而設計，某些海域的溫度可能高幾度，某些海域則可能低幾度。

科學註記

驅動大洋輸送帶運動的因素 驅動大洋輸送帶的因素很多，包括地球自轉與風。地球不會停止轉動，因此全球洋流縱然會改變，也不會全然停止。

英文學習者

額外練習 英文學習者參與科學活動時，面對的不只是理解科學概念的挑戰，還得面對處理英文單字才能討論活動內容的挑戰。因此，若有額外的練習，對英文學習者而言，無疑是一項利多。可能的話，針對本小節的影集、物理水箱模型和電腦模擬等三個模型，先讓他們做額外的練習，再以小組方式探索這三個模型，這樣一來，教師就能確定所有學生都能掌握模型中所代表的元素，也能增加英文學習者使用詞彙的機會，讓他們可以描述觀察到的現象並提出問題。

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？

調査筆記本，p.4

重要概念

地球大氣的溫度會影響洋流。

334 · 海洋科學序列教材
—G6-G8 進階海洋素養

教師注意事項

提供更多經驗

延伸：線上影集 北極氣候系統（3分50秒）是值得推薦的影音資源，探討北極區的氣候、海洋循環以及海面溫度與颶風生成的關連。
(mare.lawrencehallofscience.org/oss68)

延伸：本小節的反思提示

- 造成海水環流地球的因素是什麼？
- 改變海水環流地球的因素是什麼？
- 如果北大西洋海水（格陵蘭附近海域）的鹽度降低，會造成北大西洋深層水哪些型態的效應？
- 如果北大西洋深層水流動速度變慢，將如何影響大洋輸送帶？

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？