

海水結冰時的鹽度變化 海冰是什麼味道？

鄭悅海* 羅珮華**

*臺北市立明德國民中學

**國立臺灣師範大學 科學教育中心

前言

當你看鐵達尼這部影片時，除了被影片中的愛情故事吸引外，你可曾留意片中的另一位要角——冰山。這浮在海上的冰山如果能爬上去該是多麼令人興奮，如果除了爬上去還外加咬它一口，那可真是帥呆了！

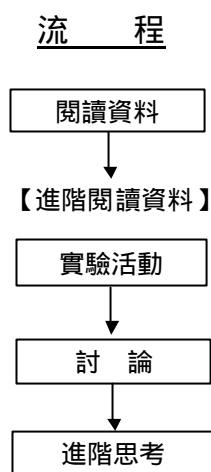
但是能見到冰山的地方多半緯度都相當高，想想那兒的溫度只有零下 20°C ，不禁讓人覺得冷起來呢！在這個學習單元中，我們將以小小的實驗代替到那寒冷又危險的地方來探討冰山。現在我們一起來想像，冰山是鹹的或是淡的？海水會不會有那麼一天也像高緯度的湖水一樣會結冰？其實大自然中的海水結冰過程是很複雜的，有很多因素會影響這個過程，不是我們在實驗室中可以完全

模擬的。但反過來想，這時候如果能夠用所學過的一些科學知識，和簡單的實驗來推論與了解這個複雜的現象，是一件多麼令人快意的事情啊！

本活動將讓你先對海水及海上的浮冰有些初步的了解，如此在實驗的過程中也可以使你對結冰過程有較具體的想像。本模組著重活動過程，以培養學生細心觀察、理論分析與演繹的科學能力，並且讓學生過去有關溫度、溶解度等知識與實際生活結合。



流程



內容

- (1) 海水的鹽度
- (2) 海上的浮冰從那兒來？
- (3) 海水的結冰方式

海水的鹽度，最大密度及結冰點的關係。

海冰是什麼味道？

實驗結果探討。

如何改善實驗結果？

海水結冰時的鹽度變化 海冰是什麼味道？

閱讀資料

(1)海水的鹽度

海水中含有許多微量物質，這些物質包括由河流帶來的，海底火山釋放出來的，洋流帶來的，雨水帶來的，以及海中各種物質溶解或分解產生的等，因此各地海水成分也會有些不同。雖然海水是一種相當複雜的溶液，溶質成份也不是完全固定的，但是含量較多的成分也都保持在一定的比例範圍，大體上而言溶質中氯離子約佔 55%；硫酸離子約佔 7.7%；鈉離子約佔 30.6%；鎂離子約佔 3.7%；其餘離子約佔 3%，海水的化合物其中除了水分子外就以氯化鈉(NaCl)最具代表。

當我們敘述海水中的物質時，一般均以海水中溶質的總量來表示，我們稱之為海水鹽度，也就是每公升海水中鹽類的總重量。大洋中鹽度一般介於 33‰ 與 37‰ 之間，我們常用平均值 35‰ 來表示海洋的鹽度，也就是平均每公升的海水中會有 35 公克的鹽類。在本活動中的模擬海水鹽度只添加食鹽(NaCl)替代所有的鹽類。

(2)海上的浮冰從那兒來？

海上的浮冰主要來源有二：(一)由降雪積壓而成覆蓋在大陸上厚重的冰層，這些厚冰由於覆蓋在大陸上像頂帽子，故得冰帽之名，若是凸出於陸地的邊緣則稱為冰棚，若在大陸邊緣的冰棚或冰帽一旦斷裂，將成為漂在海上的浮冰，也就是常見所謂的冰山。一般冰山露出水面的部分，僅為全部質量的

八分之一，當然它吃水的深淺也隨著冰山的外形與組成而變，有時深到 5 倍於水上的高度，也因此遠遠看到冰山時不覺得嚇人，但被它碰撞到卻會發生嚴重破壞。(二)另外一種就是由海水結冰而成的海冰。

在本教材實驗中主要討論的就是海冰，海水一旦結冰了將會變成鹹或變淡？等一下請從實驗中找出答案，另外聰明的你也請想想冰山是鹹的還是淡的？

(3)海水的結冰方式

身處亞熱帶的我們沒什麼機會看到海水或湖水結冰，但從影片中或是書報雜誌還是可以看到許多海水或湖泊或河流結冰情形，例如著名的哈爾濱冰雕就是利用松花江河水所結成的冰雕刻而成的。不知道你有沒有注意過河流和湖泊的結冰常是全面的，而海面上的冰則常是一塊一塊的，為什麼呢？我們知道這其中最大差別就是潮汐與水的鹹淡了，而鹹淡也就是水中所含鹽類的量不同所致。本次主題不討論潮汐的因素，只從鹽度的因素來看其對海水結冰產生的影響。



圖(一)北冰洋的浮冰
水在結冰的過程中是產生冰晶，會自動

將雜質排除在冰晶之外，因此海水凍結時產生的是冰晶是淡水冰。但是由於結冰過程往往很快，會使一些鹽分以“鹽泡”的方式保存在冰晶之間，冰晶外壁也會附著一些被排出的鹽分，所以真的品嚐海冰時，會有一點點鹹味，卻沒有海水那麼鹹。冰晶間的鹽泡的濃度高而且比重大，會因為重力而沿著冰晶的間隙下墜，因此上層海冰的鹹味會比下層海冰淡。

你是不是已經知道海冰表面
百孔千瘡是如何形成的了！

海水的鹽度大約 35‰，淡水河流與湖泊的鹽度大約是 0.1‰ 至 0.2‰（也就是 100~200ppm），而鹽度會直接影響到它們結冰方式。由於海水鹽度大，會使冰點下降，所以海水溫度需要下降至零下二度左右才可能產生海水結冰。同時海水結冰時密度會改變而造成對流循環作用（詳細請看進階閱讀資料），海冰密度較大會下沉，下沈後遇到下層較高溫度的海水，又會使得海冰融化，除非連下面海水也保持極低溫狀態，才可以產生海水結冰。海冰的形成過程受洋流、波浪、風暴和潮汐的影響很大，同時也是一個伴隨著鹽度不斷變化的過程，只有像以北極圈為中心的北冰洋天氣嚴寒，終年雪飄且冰山林立，海面上才能終年有的海冰存在。

想一想

* 如果你航行在冰山林立的海上地區，船上正缺水，你要如何找可以飲用的水？

* 我們缺水時為什麼不去搬幾個冰山回來？

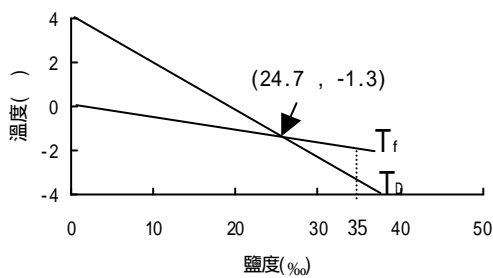


進階閱讀資料

水是一種特殊的液體，在 4℃ 時密度最大。溫度在 4℃ 以上，液態水遵守一般熱脹冷縮的規律。4℃ 以下，原來水中呈線形分布的縮合分子中，出現一種像冰晶結構一樣的分佈，叫做“假冰晶體”，降低了水的密度，這就是為什麼純水在 4℃ 時密度最大，低於 4℃ 密度又要減小的秘密。至於鹽水呢？

我們可以藉由水的鹽度、冰點與最大密度之間的關係圖來瞭解三者複雜的關係。圖(二)的 T_f 是指出在不同鹽度下的結冰溫度 (Temperature of Freezing point) 變化情形， T_D 是指出在不同鹽度下使水體密度達到最大的溫度 (Temperature of max density,)。當海水的鹽度大於 24.7‰ 時，最大密度的溫度 (T_D) 會在冰點 (T_f) 之下，鹽度為 24.7‰ 時其最大密度之溫度 (T_D) 則與冰點 (T_f) 同為 -1.3°C 。而海水鹽度大約 35‰，從圖(二)看出此時冰點 (T_f) 位置高於最大密度的溫度 (T_D)，也就是在 35‰ 鹽度下 $T_f > T_D$ ，它

海水結冰時的鹽度變化 海冰是什麼味道？



T_D ：使海水密度達到最大的溫度（密度愈大 T_D 值愈小）

T_f ：使海水結冰的溫度（密度愈大 T_f 值愈小）

圖(二) 海水鹽度與最大密度、冰點之關係示意圖。

它代表的意義有：

1. 未結冰海水愈冷愈重（記住：溫度愈接近 T_D ，密度愈大）。
2. 一旦海冰形成，若海水溫度大於 T_D 時，愈冷愈重。所以表面海冰必須較下層溫暖才不會有對流現象，一旦海水表面溫度較低就會出現對流。
3. 海水溫度小於 T_D 時，愈冷愈輕，此時愈表面的海水溫度必須冷，海底溫度必須是接近 T_D 方能穩定不出現對流現象。

也由於對流循環作用使得海水不易出現冰層，最初只有表面出現細長的結晶冰，除非在緯度極高的地方由於持續的低溫，即使是海水的對流循環作用仍然無法使它融化，也就是當下層的海水也降到 T_D ，此時對流作用停止，將出現厚層的冰，這會兒可不用擔心如履薄冰了，也由於對流循環作用，所以很難有一大片完整的冰。反觀湖水的結冰狀態就大不相同了，由於鹽度僅 100~200ppm (0.1‰~0.2‰) 由圖(二)可知 $T_D > T_f$ ，當湖面溫度降低時會先達到 T_D ；也就是說當湖水表

面的溫度低於 T_D 時，未結冰較重的水將下沉，愈深處的水愈重且較暖，一直降溫到表面溫度達到 T_f 時，表面將結冰，但湖內的水溫都將高於湖面而不會結冰，而較冷的冰在表面成了極佳的絕冷層這裏的湖水沒有對流現象，所以湖水的冰較易形成一般也較薄。有時甚至還可透過冰層看到湖中游泳的魚呢！

綜合以上你會發現海水要結冰，困難重重，困難之一是由於海水鹽度大，所以冰點降到很多，結冰不易。困難之二，溫度低到冰點仍然無法順利結冰，由於會有對流循環作用，結冰的海冰會因密度變大而下沉，下沉時又因溫度上升而化冰。困難三，要達到如此低溫且連續真不容易呀！

實驗活動

海冰是什麼味道？

我們設計了一個小小實驗來探討海水結冰的情形，它可以把理化課本所學到的冷劑概念派上用場喔！

這個實驗你可以在家操作，或也可以由老師指導全班一同操作，至於所用器材亦可靈活的變化。理想的冷劑溫度可以低到零下 22 度，在我們實驗室也許無法達到如此低溫，但鹽加冰製成的冷劑(冰與鹽的重量比為 3:1)仍然有使海水結冰的冷度。基本上需一個保溫效果極佳的容器來裝冷劑，以營造一個低溫的環境。至於模擬海水的溶液則以鹽度 35‰ 食鹽水代替，而盛裝模擬海水的容器在學校可以利用燒杯或金屬製的容器，玻璃

燒杯冷卻速度較慢，比較耗費時間，但因為結冰速度慢，冰的純化效果較好，金屬製的容器則可以節省不少的時間。因為用玻璃或金屬容器裝模擬海水所需的時間有些不同，所以在看操作步驟時，請注意；若是你更改了容器，操作時間與器材用量請看情況修正。

如果在家中進行這項試驗，可以利用悶燒鍋來代替器材中的保麗龍盒，利用鋼杯或鐵製便當盒等來盛裝模擬海水。

《器材》

- 保麗龍盒 2 個(夠容納 250ml 燒杯與冷劑)
- 燒杯 250ml 3 個
- 燒杯 1000ml 1 個
- 食鹽 約 250 克
- 冰塊(冰屑) 約 1-2 公斤
- 量筒(50ml) 3 個
- 天平 1 個
- 玻棒 1 支
- 槌子 1 支(冰若結成大塊時可幫忙敲碎)
- 保鮮膜 少許

《步驟》

1. 取 250ml 燒杯內盛 10.5 公克食鹽並加水加至 250 毫升，使成鹽度 35‰ 的模擬海水，並取出 50ml 鹽水放在另一量筒中標上甲以備用，留下 200ml 鹽水在燒杯內，並在燒杯上標示 A 且覆蓋上保鮮膜。(鹽度 35‰ 的模擬海水定義為每 100ml 的鹽水需有 3.5 克的鹽)
2. 另取 250ml 燒杯內盛 200ml 的清水使成

模擬湖水，並在燒杯上標示 B 且覆蓋上保鮮膜。

3. 取 1000ml 燒杯內裝 600 公克的冰塊及 200 公克的食鹽使其混合均勻作為冷劑(此步驟亦可由老師大量準備以供同學使用)。【若在家中使用悶燒鍋進行實驗，視鍋的大小，增加配製冷劑的量】
4. 將步驟 1 中裝有模擬海水的燒杯 A 置入保麗龍盒內，並在燒杯外圍以冷劑填充。並為保麗龍盒加蓋。
5. 將步驟 2 中裝有模擬湖水的燒杯 B，置入保麗龍盒內，並在燒杯外圍以冷劑填充，並為保麗龍盒加蓋。
6. 靜置 1 小時後，打開保麗龍蓋，取下燒杯的保鮮膜，觀察燒杯 A 和 B 中的結冰狀態，並比較有無不同之處。其中有一個燒杯完全結冰，請將此燒杯取出，靜置在室溫下，觀察並記錄冰融化的狀況及時間。
7. 將另一個完全未結冰的燒杯再覆上保鮮膜，更換或補充適量的冷劑後，蓋上保麗龍蓋。再靜置 2 小時後，觀察模擬溶液是否已結冰，若結冰部分超過 1/3，則可進行下一步驟(若未超過 1/3 請再加蓋靜置半小時後觀察，直到結冰部分超過 1/3)。* 注意不要完全結冰。
8. 將未結冰的部分倒入另一空燒杯中，並標示 A1，結冰的部分仍在燒杯 A 中，待冰塊完全融化後，並記錄大約需要多少時間。
9. 從燒杯 A 及燒杯 A1 中分別取出 50ml 的溶液分別倒入兩量筒中並標上乙及丙。
10. 利用天平比較量筒甲、乙、丙三者的重量。
11. 以手指分別沾取微量溶液，比較量筒甲、乙、丙三者味道是否相同？

海水結冰時的鹽度變化 海冰是什麼味道？

《實驗記錄》

- A. 步驟 1.2 中是否有容器或容量的改變修正？請記錄。
- B. 步驟 3 中是否有容器或容量的改變修正？請記錄。
- C. 步驟 4-5 中是否有容器或容量的改變修正？請記錄。
- D. 步驟 6，經過 1 小時，模擬_____（海水或湖水）在極低溫狀態下已完全結冰，模擬_____（海水或湖水）則完全未見結冰。前者的冰在室溫下大約需要_____時_____分可以完全融化。
- E. 步驟 7，經過了 3 小時，原本未結冰的模擬溶液是否結冰超過 1/3？（勾選其一，繼續作答）
- 是，結冰量已經超過 1/3
- 否，結冰量未超過 1/3。總共花費_____時_____分才夠 1/3 的結冰量。
- F. 步驟 8 已結冰的部分在室溫下大約需_____時_____分才完全融化。
- G 紀錄量筒甲、乙、丙的溶液重量為何？
- 甲：_____克 乙：_____克
- 丙：_____克
- 三者重量大小依序為何？
- _____ > _____ > _____
- H. 量筒甲、乙、丙的溶液味道比較，鹹淡關係為何？
- _____ > _____ > _____

討論

1. 和同學比較看看，是用玻璃器皿裝鹽水效果好？還是金屬器皿較好？為什麼？
2. 模擬海水或模擬湖水那一結冰較快？為什麼？又那一個冰融化的速度較快？你覺得為什麼？
3. 從步驟 10 中量筒甲、乙、丙的溶液重量及步驟 11 比較味道，你是否可以指出兩者的關聯並加以解釋？

結論：

從本實驗結果可以知道什麼？

答：

做出的結果是否如預期的？如果不是，你覺得那是為什麼？



進階思考

為什麼不直接
把鹽水放到冰
箱？

不知實驗是否順利？

？

冷劑老是攪和不均勻
是嗎？

如果那裏改變一
下，效果有什麼
不同呢？

本實驗中鹽水結冰時，理論上冰的鹽度會變淡，同樣海水結冰時也將比原來海水淡許多，因為水要成為冰這種礦物時，內部的氫(H)原子和氧(O)原子都必須規則的排列以結晶，而海水中的鹽類對冰而言就是雜質要將他排除，如果排列的速度愈慢，也就結晶愈慢時，冰的純度就很高。換言之，冷卻的速度愈慢，結冰速度慢，冰將愈純，在極區，局部融化海冰上的小水坑的水就是他們飲用水。

也許你做的實驗結果不夠理想，但別氣餒，那正是告訴你如何突破的那正是告訴你如何突破的提示。記住，冷卻的速度愈慢，效果愈好。

你一定有一大堆的想法

心動不如馬上行
動，試試看呀！

我的改善實驗方法或設計：

致謝：

本模組教材為國立台灣師範大學科學教育中心八十九年度國中數學及自然科學生活化實驗設計學習模組的研究開發與推廣計畫成果之一，感謝國立台灣師範大學科學教育中心促成這個教材的產生與提供協助，同時感謝參與計畫的盧昭如老師和林素玉老師對

海水結冰時的鹽度變化 海冰是什麼味道？

本教材提供寶貴意見。