

# 在那波瀾壯闊的古海洋，一粒沙—矽藻與古環境

One Sand in the Majestic Paleo-Ocean - Diatom and Paleo-Environment

汪良奇 國立中正大學地球與環境科學系

Wang, Liang-Chi Department of Earth and Environmental Sciences, National Chung Cheng University

矽藻，具有矽質殼壁的單細胞藻類，是水域環境重要的初級生產者。矽藻的英文 diatom 字源為希臘文「diatomos」，意指「一分為二」，這便是形容每個矽藻皆由兩個矽質殼片所組成。矽藻孢子隨風而飛，隨洋流傳送，充斥在地球生物圈各個潮濕有光的角落。在海裡、湖裡、河裡、冰裡、潮濕的土壤或植物表面。由於體型極為嬌小被稱為微藻，肉眼無法觀察，必須藉由顯微鏡才能見到它們的蹤跡。地球生態系統內20-25%的有機碳固定是由矽藻進行合作用所完成，換句話矽藻在調控大氣溫室氣體濃度與減緩溫室效應中十分重要。作為初級生產者，矽藻也是海水與淡水微生物與節肢動物幼蟲的食物。死亡後的矽藻大量沈積，將生物圈大量的矽元素與碳元素固定沉降到岩石圈，對於全球生地化元素循環扮演著重要角色。

除了在生態上重要的地位外，在日常生活中也見得到這些小生物的製品。常見的矽藻土製品，便是由百萬年前矽藻殼壁所堆積的沈積岩中所開採出來。由於矽藻殼壁體型小孔室多的特性，矽藻土常被用在室內塗料或製成腳踏墊，以調節室內濕度或將腳上的水滴快速吸乾。另外，矽藻殼壁上的孔洞對一些小昆蟲來說就像尖銳的礁石一般。因此在園藝上，也會將矽藻土用水稀釋後噴灑在植物葉片當作對抗害蟲的防護罩。當昆蟲爬過噴灑矽藻土的葉片時，就像是海軍陸戰隊兩棲偵搜大隊結訓時要爬過由咕啞石鋪成的「天堂路」一般，會被刺的蟲血淋漓，並被吸乾蟲血而亡

## 沉積物的矽藻

對於古環境研究者來說，矽藻是研究古海洋與古湖沼狀態的利器。然而在運用矽藻殘留殼體進行古

環境重建時，必須先釐清多少比例的死亡矽藻殼壁能沈降保存在自然環境與怎樣的環境適合矽藻殼壁的保存。由於矽藻殼壁由比重約為1.9-2.5的蛋白石所組成，在自然水體中會不斷下沉。活的矽藻會分泌油滴來調整體細胞密度產生浮力。當矽藻死亡後失去調節浮力的能力，殼壁便一往無回的向水底沈降。一般來說體型較大的矽藻沈降較快，以直徑約30微米的海洋矽藻輻射圓篩藻 (*Coscinodiscus radiatus*) 為例，其沈降速率為每天5-6公尺。

矽藻殼壁在沈降過程中，由於大部分水體屬於矽不飽和狀況，在沉降到水底前矽藻殼壁會不斷溶解。因此矽質殼壁較薄的矽藻較難在沉積物中保存。高鹼性或高於50度以上的水體，也會加速矽藻殼壁的侵蝕溶解。矽藻藻華產生大量殼壁同時間快速沈降、與其他有機物混合形成膠結物，抑或形成矽化厚壁休眠孢子(如角毛藻屬, *Chaetoceros*)可減少或抵銷矽藻殼壁溶解的現象。受到沈積過程侵蝕溶解的影響，最終能保存在海洋沉積物內的矽藻類類群，大約僅包含現生1-5%的現生矽藻類類群。儘管有這些埋藏學的問題，矽藻在生物地層學研究依然是非常有用且重要。

## 古環境的指標

在生態學上，每種生物都有最適合的生存範圍，矽藻也不例外。一般來說，矽藻對於水溫、鹽度、營養狀態十分敏感，因此運用特定矽藻類群的變化，便能定性反應過去水質的狀態。因此若是在溫帶或是寒帶水域，發現暖水域的矽藻，可能代表表水溫變暖或是溫暖的洋流通過，使得原本分佈在熱帶水域的矽藻能保存在溫帶或寒帶的水域。部份矽藻能生存在海冰裡，在海洋沈積物內發現他們的蹤



圖1 形狀大小各異的矽藻

跡，則可作為海冰存在的證據。這些例子都是提供古環境變遷紀錄的重要佐證。

除了定性的證據外，沉積物的矽藻資料也能藉由轉換函數的方式，變成量化的古海溫、古鹽度等水質參數。該量化技術主要是將世界各地海洋表層沉積物內保存的矽藻類群資料與現生水質參數進行對比。在有足夠的表層沉積物矽藻類群資料與當地表水的水質參數資料下，沉積物內不同深度(年代)的矽藻類群組成，便能各自對應到現今不同空間位置的表層沉積物，進而得知定量的水質參數。簡單的說，在日本海沉積物某深度的矽藻類群組成與現今南海表層沉積物矽藻組成類似，顯

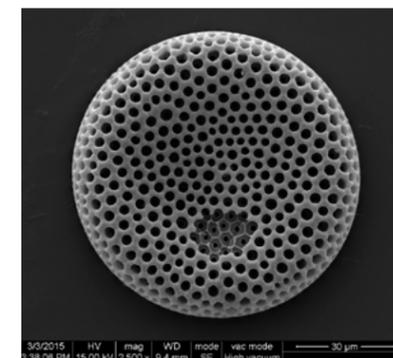


圖2 鄂霍次克海沉積物內所保存的具緣圓篩藻 (*Coscinodiscus marginatus*) 殼壁被部份溶解後，露出內部結構

示當時日本海的表層水質狀態可能與現今南海觀測表水水質狀態相似。矽藻類群資料轉換為定量環境參數後，便能進行更廣泛的環境對比與氣候模擬。

## 結緣古海洋

筆者與古海洋研究緣起於參加「國際海洋古全球變遷研究」(IMAGES)計畫中2001年航次。該航次主要目的便是鑽取北太平洋區域的海洋沉積物，進行古海洋環境重建工作。當時筆者搭乘法國研究船「瑪麗杜凡號」(Marion Dufresne)自澳洲出發向北通過赤道，最後到鄂霍次克海後停靠日本。經過長達兩個月的海上工作，臺灣研究團隊在南海、沖繩海槽、



圖3 法國研究船「瑪麗杜凡號」

日本海與鄂霍次克海鑽取到許多珍貴的岩心。由於瑪麗杜凡號為南極補給船，僅在南極冰封時(北半球夏季)開放給全球研究學者申請進行岩心探鑽工作，也因此每個航次的時程安排相當緊湊，每個人都是24小時輪班工作。在進行岩心探鑽前都會運用聲納進行海地地形與沉積物密度的探測，在將長達60米的鋼製活塞岩心下放到海床表面，並啟動機關讓其墜下，以重力擠壓鋼管使其鑽取連續的沉積物。完成鑽取後，在將活塞岩心拉上船，這整個流程大約需要一天。當岩心拉出水面時，是全船最緊張的時刻，失敗的探鑽會讓整個航次延遲，甚至不得不取消原先規劃的站位。接下來的內容便是當時鑽取自鄂霍次克海中央岩心內的矽藻化石的研究成果。

### 鄂霍次克海的海冰變化

鄂霍次克海有季節性海冰分佈，因此海底沉積物的矽藻組成主要與過去海冰狀況有關。簡單的說在沉積物裡面海冰矽藻(sea-ice diatoms)含量高時，代表當時海表面被海冰覆蓋，而開放海矽藻(open ocean diatoms)數量多時，則反應當時表水溫較高沒有海冰的存在。目前鄂霍次克海屬於季節性海冰狀況，由於矽藻在海冰邊緣會有生產力提高的狀況，因此當沉積物中以生產力矽藻(productivity diatoms)為主時，顯示當時水域狀況與今日相同為季節性海冰狀況。基於鄂霍次克海沉積物內矽藻組



圖4 2001年航次各國研究人員於甲板合照

成的變化，大致可推測50萬年來鄂霍次克海海冰的變化狀態。

再繼續談下去前，要稍微介紹海洋沉積物如何進行年代重建。一般在近5萬年以來的紀錄，我們可以利用放射性碳十四來進行定年。然而海洋沉積物通常沈積速率慢，5萬年可能只有上部1公尺的沈積，對於長達40-50公尺的海洋岩心，勢必要配合其他的定年方式，如利用海洋底棲有孔蟲氧同位素變化、古地磁翻轉事件，或超微化石鈣板藻生物地層定年等方法。通常上述方法都會搭配組合使用，以得到可信賴的深度-年代模式。

第四紀是指近260萬年以來的時期，其最大特色便是週期性的冰期與間冰期變化。由於海洋底棲有孔蟲殼體內的氧同位素會受兩極冰帽體積影響而變動，因此可藉此作為海洋岩心判斷冰期-間冰期



圖5 探鑽失敗的結果，整根鋼管彎曲

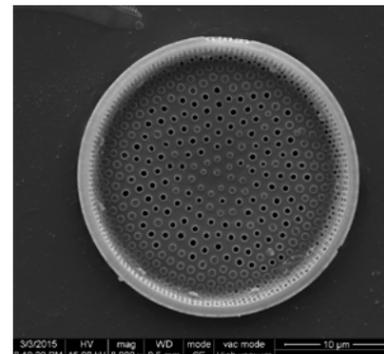


圖6 鄂霍次克海沉積物內海冰矽藻南極海鏈藻(Thalassiosira antarctica)的內殼面

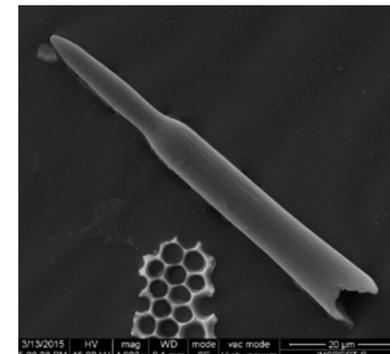


圖7 鄂霍次克海沉積物內開放海矽藻鈍棘根管藻冬季變種(Rhizosolenia hebetate forma hiemalis)

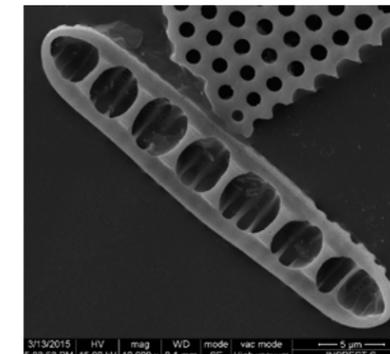


圖8 鄂霍次克海沉積物內生產力矽藻賽米新齒藻(Neodenticula seminae)的內殼面

交界的指標。以海洋底棲有孔蟲氧同位素變化所劃分出來的冷暖期稱為海洋氧同位素時期(Marine Isotope Stage, MIS)。其中的溫暖期，也就是間冰期以奇數表示，冰期則以偶數表示。舉例來說，1萬年來的全新世屬於間冰期階段，稱為海洋氧同位素第1階時期。

根據鄂霍次克海矽藻類群組成，在海洋氧同位素第9、5、1階時期同時有季節性海冰與開放海狀態存在，可能與現今狀態類似。在海洋氧同位素第7、3階時期則僅有開放海狀態，顯示表水溫較高，無海冰形成。在冰期的海洋氧同位素第6、4、2階時期則是永久海冰覆蓋，但在海洋氧同位素第8階時期可能特別溫暖，屬於無海冰覆蓋狀態。將海冰組成變化與其他地球內部與外部營力與比較，溫室氣體與軌道力所驅動的日曬變化為影響鄂霍次克海海冰狀況的主因。當大氣二氧化碳濃度高於260 ppm時，鄂霍次克海會處於無海冰覆蓋的狀態。

### 結語

浩瀚的海洋充滿著無數的祕密，而要了解海洋的未來，要從他的過去的歷史著手。海洋中不起眼的矽藻，死亡後如同一粒沙般，埋藏在深深的大海裡。然而這些矽藻所孕藏著古代氣候變遷的祕密，也許是解析地球所有生物未來永續存在的重要關鍵。而這些海底秘辛，正等著未來的研究學者持續挖掘與探究。

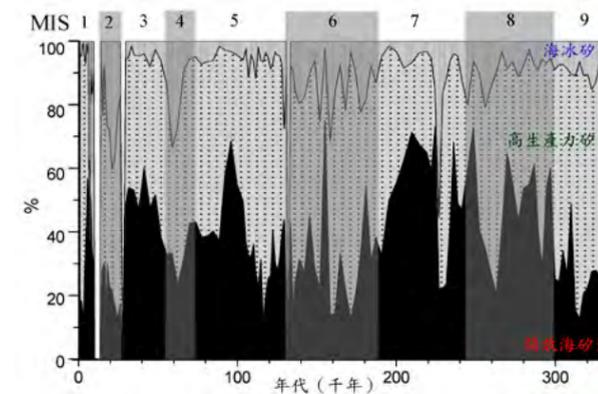


圖9 鄂霍次克海32萬年來三種類群矽藻的變化。開放海矽藻代表無海冰覆蓋，高生產力矽藻代表季節性海冰，海冰矽藻代表終年海冰覆蓋。

### 矽藻 Diatom

- Kingdom Chromista 原藻界
- Phylum Ochrophyta 褐藻門
- Class Bacillariophyceae 矽藻綱
- Order Corethrales 圓篩藻目
- Family Corethraceae 圓篩藻科
- Genus Corethron 毛藻屬
- Corethron criophilum* 小環毛藻

### 參考文獻

- Lo L, Belt ST, Lattaud J, et al. 2018 Precession and atmospheric CO2 modulated variability of sea ice in the central Okhotsk Sea since 130,000 years ago. *Earth and Planetary Science Letters* 488: 36-45. DOI: 10.1016/j.epsl.2018.02.005.
- Miklasz KA and Denny MW 2010 Diatom sinkings speeds: Improved predictions and insight from a modified Stokes' law. *Limnology and Oceanography* 55 6: 2513-2525. DOI: 10.4319/lo.2010.55.6.2513.
- Wang WL and Wang LC 2008 Reconstruction of oceanographic changes based on the diatom records of the central Okhotsk Sea over the last 500000 Years. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences* 19: 403-411.