

探索被冰封的生態系 — 在麥克馬多乾河谷 (McMurdo Dry Valleys) 長期生態研究 (LTER) 樣區極端環境下的生命^(註)

原著：Fountain, A. G., D. Poransinka, M. Tranter, and C. Forman. 2003. Exploring an Ecosystem Entombed in Ice. Life in extreme environments at Mcmurdo Dry Valleys LTER. The Network Newsletter. Vol 16, No 1. p3 and p16.

翻譯：嚴中佑 楊正澤 譯 (國立中興大學昆蟲學系)

地球表面約有 25% 是常年冰凍(frozen)的，這冰凍的環境一直被認為是沒有生命的地方，最近的研究顯示，在這微棲所中竟充滿著各式各樣的生命。冰面塵坑 (cryoconite hole, "cryo" 在字面上是 "冰"，而 "conite" 則是 "微塵")，在麥克馬多乾河谷的冰河形成，並為極端環境下逐漸增多的生物清單提供另一項獨特的例證。

近期在微棲所的研究上顯示，冰面塵坑的功能對極地荒漠 (polar desert) 的重要性遠比我們所想像的更為重要。

冰面塵坑是從冰河表面小區塊內的沈澱物聚集發育而成。隨著塵坑的增長，細微沈澱物 (fine sediment)、微生物 (microorganism) 以及有機物質 (organic matter) 集聚，創造了一個寒帶生物 (cold-weather critters) 所適存的理想環境。

開放式的冰面塵坑普遍存在高山地區的冰河表面，這些塵坑裡經出現的生物相 (biota) 包括緩步類 (tardigradism)、輪蟲 (rotifers)、原生動物 (protozoans)、橈腳類 (copepods)、昆蟲幼蟲以及藍綠藻 (cyanobacteria) 等微小動物 (microfauna)。和開放塵坑相反的，在麥克馬多乾河谷的冰面塵坑則有一層厚達 30cm 的冰蓋 (ice lid) 覆在上面封住冰面塵坑。這層冰蓋將塵坑與外界的空氣及其相鄰的冰河表面隔絕或為封閉塵坑。塵坑內融溶水的氯化物含量分析，與周圍冰層的分析結果，以數值比較結果推論塵坑中的融溶水通常與外界空氣隔絕一年以上。因此，溶解物與時堆積，大氣中的 N_2 、 O_2 以及 CO_2 等氣體從塵坑內的氣泡中釋放 (scavenge)，造成其化學成分與周圍冰層明顯的差異。其內部生物的光合作用 (photosynthesis) 以及異營性活動 (heterotrophic activity) 改變了冰面塵坑內最初的地質化學 (geochemistry) 特性。從麥克馬多乾河谷的冰面塵坑內鑑定出含有藻類 (algae)、藍綠藻 (cyanobacteria)；和開放式塵坑一樣，封閉的塵坑中也分離出輪蟲和緩步類，估計冰面塵坑內的細菌豐度可以比美當地湖泊。

冰面塵坑占本研究的冰河面積 7% 左右，塵坑直徑範圍從 1cm 到數公尺不等，平均約 38cm。冰蓋的厚度約為 14cm，覆蓋在 14cm 的水柱 (water column) 之上。冰面塵坑大部分時間是冰封的固體狀態，只有夏天的少數幾個月太陽輻射會融化沈澱物周圍的冰層，並使得密封的微環境 (microcosm) 內之生物活化。

旬年期的溫暖化事件 (decadal warming event) 將冰面塵坑淹沒，此時將有許多融溶的水充斥在冰河表面。此沖洗事件 (flushing events) 將塵坑內的物質運送到溪谷 (stream valley) 然後流到湖中，由此提供有機碳 (organic carbon) 和其他養分給貧養 (oligotrophic) 的下遊水域生態系 (aquatic ecosystem)。養分則由塵土以及其他化學循環回到冰面塵坑內。這個回饋環 (feedback loop) 連接了所有在河谷生態系中的主要成分，並涵蓋土壤、溪流、湖泊以及冰河之間獨特的化學物質交換。

本研究已經發現被冰蓋與外界空氣隔絕已有十年的洞穴，並相信從融化的冰中會釋放出對生化反應重要的氣體以及某些養分，其他養分可經由溶解有機及無機碎屑而獲得。光和作用只發生在夏季，利用新的或循環而來的養分造成酸鹼值 (pH) = 11，O₂ 飽和度 (O₂-saturation) 為 160% 且 CO₂ 氣體分壓 (pCO₂) 為 10-7 大氣壓的環境。比起冰河融化水，這些融溶水的化學性質 (chemistry) 更接近於非洲蘇打湖 (Africa soda lakes) 的水。

冰面塵坑在一個看似鬆散的網絡系統下，卻能讓養分、生物相組成以及沈澱物三者間循環再利用，在極地荒漠生態系的功能上扮演重要的角色。冰面塵坑經由生物作用所形成的部分可提供融化的條件，這是在整個乾河谷生態系中非常重要的關鍵。這個工作已經分成許多不同的尺度 (scale) 在進行。本研究群正在探索這個提供南極生命所需的冰原極地 (ice extremes)，同時也對於全球冰河化理論 (global-glaciation theory) 已有更多的瞭解。冰面塵坑可能是地球在雪球世界 (snowball earth) 時期類似微生物避難所 (refuge) 的現存環境。甚至於，這一部份的研究也為更進一步探索其他被冰雪所覆蓋的星球及衛星，例如火星 (Mars) 及歐羅巴 (Europa，木星第二衛星)，建立了一個基礎。

相關參考文獻：

- Gibbon, P. W. 1979. Cryoconite holes on Sermikaysak, West Greenland. *Journal of Glaciology*, 22, 177-181.
- Muller, D. R., W. F. Vincent, W. H. Pollard and C. H. Fritsen. 2001. Glacial cryoconite ecosystems: a bipolar comparison of algal communities and habitats. *Nova Hedwingia*, 123, 171-195.
- Wharton Jr., R. A., C. P. McKay, G. M. Simmons, Jr. and B. C. Parker. 1985. Cryoconite holes on glaciers. *Bioscience*, 35, 499-503.

註：本文已徵得原著作者 Dr. A. G. Fountain 等人同意翻譯發表。

中文翻譯名詞及資料來源：(按照英文字母開頭排列)

cryoconite hole, 冰面塵坑-中央氣象局圖書館氣象名詞查詢

-http://photino.cwb.gov.tw/rdcweb/lib/h/h_000590.htm

Dry Valey, 乾河谷-sciscape.org 科景

-http://www.sciscape.org/news_detail.php?news_id=906

McMurdo, 麥克馬多-國家地理雜誌中文網

-<http://www.nationalgeographic.com/tw/ngm/feature/0112/story2.htm>

oligotrophic, 貧養的-環保署環境詞彙參考系統

-http://stin.ev.ncu.edu.tw/edr/term_list_query1-2.asp

snowball earth, 雪球世界-sciscape.org 科景

-http://www.sciscape.org/news_detail.php?news_id=9564