

# 知識天地

## 淺談「環境磁學」

洪崇勝副研究員 (地球科學研究所)

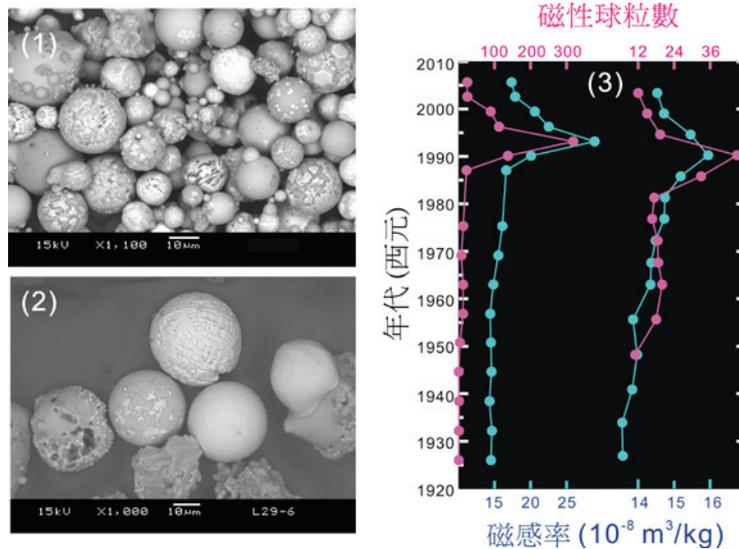
[引言] 你可曾知道在熙來攘往的街道上，我們腳底踩踏的灰塵中暗藏著多少微小的磁性球粒？它們從何而來？你可曾知道葛爾小島之臺灣竟是全球侵蝕率最高的地區？每年之滾滾洪流，把臺灣之泥砂帶到何處？它們與中國大陸河川所輸送之泥砂如何在臺灣海峽中交鋒？希望讀了這篇短文，能讓你有所啓發。

人類自有了科技以來，地球的環境屢遭破壞而被加速地改變。「空氣污染」、「氣候變遷」、「節能減碳」等環境議題成爲二十一世紀喊得震天價響的術語。然一旦吾人鑽入深邃的時光隧道，即能發現地球所遭逢的環境變動，其次數已不知凡幾，規模又較今日實有過之。以最近的地球歷史來看，在距今約一萬兩千年前，一顆比讓恐龍絕跡還小的彗星撞擊在北美陸地，誘發了新仙女木冰期事件，造成古印地安文明及巨型哺乳類的消失與滅絕；往前約八千年，地球有一半以上的面積被廣袤的冰雪覆蓋，全球的海水面下降了一百二十公尺。再往前推至七十八萬年前，人類的老祖先曾經歷了一場南北磁極倒轉的巨變。由此可見，地球的環境並非亙古如常，而是時有變動。只是以前的變動屬較長時間尺度的「天災」，而今再加上了較頻繁的「人禍」而已。

對於地球環境的變動，科學家利用物理、化學、生物的方法來加以偵測，而「環境磁學」就是其中一項。具體的說，「環境磁學」是藉由地球中所含有的微小磁性礦物，分析它們的種類、含量、粒徑，來探究過去或現今地球環境的變遷與地質作用的演化。由於微小的磁性礦物廣佈於地球的岩石、沉積物、水體、甚至大氣中(以上統稱載體)，一旦這些載體發生了變化，也連帶牽動磁性礦物的改變，導致載體的磁學性質跟著變動。就以上述磁極倒轉爲例，那場天旋地轉的巨變是藉由七十八萬年前所形成的岩石，其所含的磁性礦物加以記錄而得，並讓我們得知地球磁極完成一次倒轉歷時約數千年之久，且倒轉時的磁場強度只剩下倒轉前的五分之一。

對臺灣而言，在人文環境上，它是全世界人口密度最高的地區之一，也是全球單位面積能源使用與空氣污染物排放量名列前茅的國家。在自然環境上，受到過去五百萬年以來蓬萊造山運動的影響，造就了三千公尺高的山脈縱貫全島，加諸地震、颱風、洪流頻仍，使它成爲全球侵蝕率居冠的地區，其東、西部河流一年的總輸砂量足可與其他世界級大河相匹敵或超越之。因此，對於臺灣環境惡化與變遷的研究，遂成了當今的顯學。以下的兩個案例，就是利用「磁學」的方法，針對臺灣「人文」與「自然」環境的問題所做的研究簡介。

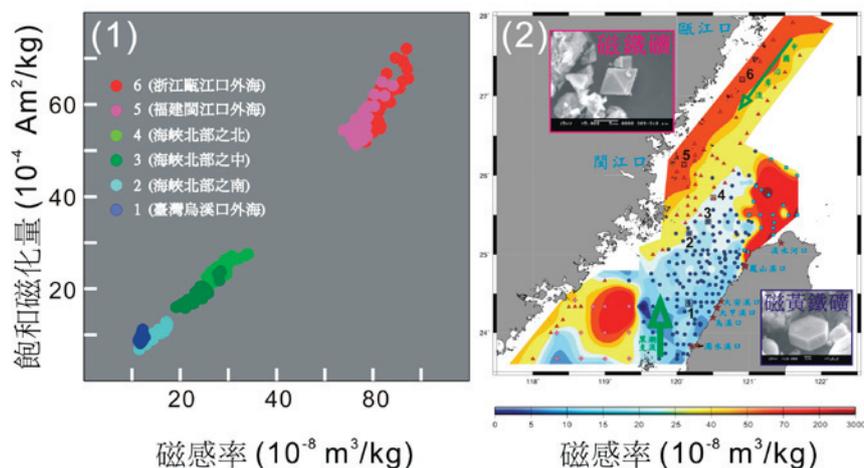
自 1950 年代以來，臺灣之重工業發展主要集中於大高雄地區，舉凡煉油、煉鋼、造船、石化、水泥之工廠紛沓設立，加上大量人口湧入就業，使得該區空氣中的懸浮微粒指數，在乾燥少雨的冬季始終高居全臺之冠。而伴隨著大陸冷高壓東北季風之吹送，這些懸浮微粒被傳輸到臺灣西南外海，終而沉降於海底。由於工廠、交通工具所排放的懸浮微粒含有鐵的成份，具有磁性，因此可以用磁學的方法加以偵測。圖一 (1) 所示，即爲高雄一火力發電廠其排放粉塵中所收集到的大量磁性球粒電子顯微鏡照片，而圖一 (2) 則爲高雄外海沉積物中所找到的磁性球粒。由於人造的磁性球粒沉降於海底，使得現代海洋沉積物的磁學性質起了很大的變化。圖一 (3) 是取自高雄外海兩根沉積物岩芯過去近百年以來所測得之磁感率值與磁性球粒數的紀錄。由圖中可以看出，西元 1925-1955 年期間，磁感率值變化小；1955-1985 年期間，磁感率呈逐步地緩升；1985-2005 年期間，磁感率則顯著地驟增，於 1990-1995 年時期達到巔峰。有趣的是，經由各年代沉積物中磁性球粒計數之結果，可以發現磁感率的變化與磁性球粒數目呈現亦步亦趨的現象。這顯示沉積物中磁感率的高值實乃歸因於空氣污染物—磁性球粒之加入，且在 1990-1995 年期間，空氣污染之程度最爲嚴重。由此觀之，上述臺灣西南外海沉積物磁感率隨年代之變化，正是近百年來高雄都會區工業發展及空氣污染史之見證。



圖一 (1) 大小不一、具各式表面圖案之磁性球粒（電子顯微鏡照片，比例尺為 10 微米。樣本取自高雄一火力發電廠之集塵器）。(2) 位在高雄外海沉積物中所尋獲的磁性球粒，是空氣污染的產物。(3) 高雄外海兩根沉積物岩芯其磁感率值與磁性球粒數隨年代的變化。（磁感率的高低反映沉積物中磁性礦物含量的多寡。磁性球粒含量乃是針對粒徑在 10 微米以上之顆粒計數而得。沉積物的年代則是利用放射性核種鉛-210 及銫-137 加以訂定）。

此外，藉由河川沉積物的磁學性質，吾人可以追蹤臺灣西部河流與中國大陸東南河流所運送的大量泥砂注入臺灣海峽後的傳輸與匯聚。圖二 (1) 所示為取自臺灣海峽六個不同地點的沉積物岩芯所測得的兩種磁學性質：磁感率與飽和磁化量。其性質迥然不同，其中尤以臺灣烏溪口外海之岩芯與大陸甌江、閩江口外海的兩根岩芯差異最大。究其原因乃是臺灣西部的主要河川，如濁水溪、烏溪、大甲溪、大安溪，皆屬高山河流，其源頭及流域位居造山運動而崛起的變質岩區，區內所供應的磁性礦物是以磁黃鐵礦 (pyrrhotite,  $\text{Fe}_7\text{S}_8$ ) 為主。而大陸東南之甌江、閩江，其流域範圍為廣大的火成岩區，所含磁性礦物則為磁鐵礦 (magnetite,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )。由於磁鐵礦在火成岩 (如花崗岩、安山岩、玄武岩) 中相當豐富，且較磁黃鐵礦更易於接受人工磁場之磁化而達於飽和，以致大陸東南河川沉積物之磁感率及飽和磁化量皆遠較臺灣西部高山河流之沉積物為高，這正是造成海峽兩岸鄰近河口的海洋沉積物磁性截然不同的原因。至於其他的三根岩芯，地點分別位於海峽北部之北、中、南三地，其偏南者之磁性近似臺灣源之沉積物，而居北、中者則為臺灣源與大陸源以不同比例之混合。

圖二 (2) 為取自臺灣海峽內 216 個站位海底表層沉積物的磁感率分佈值。圖中清楚顯示源自臺灣西部高山河流 (低磁感率) 與源自大陸東南河川 (高磁感率) 之沉積物其在海峽的分佈。大陸源之沉積物多侷限在東北—西南向中國沿岸流所及的區域，而臺灣源沉積物則受到黑潮支流北移之傳輸，遍及至大部份之海峽範圍。此外，海峽內另有兩個隸屬於高磁感率沉積物的匯聚區域，一個位於臺北淡水河、新竹鳳山溪以北之外海，另一則分佈於澎湖群島之西北隅。該兩地區之磁感率所以呈現高值，前者主要是因基隆河、淡水河流經基隆以及大屯安山岩火山區，而後者則毗鄰澎湖群島之玄武岩，因岩石遭受風化釋出磁鐵礦，經河流運送入海，復經海流及潮汐之淘洗而富集至該場所。



圖二 (1) 取自臺灣海峽六個不同地點的沉積物岩芯其「飽和磁化量」對「磁感率」之作圖。岩芯位置示於右圖 (附加方形外框者)。每一岩芯長 50-60 公分，反映近百年內沉積物之磁學特性。(2) 臺灣海峽 216 個海底表層沉積物之磁感率分佈圖。海峽內沉積物之供應源歸納有四區：臺灣西部河流 (圓形)、中國東南河川 (三角形)、臺灣北部河流 (淡水河、鳳山溪；方形)、澎湖群島 (菱形)。兩個插圖分別為臺灣變質岩內之磁黃鐵礦與大陸花崗岩之磁鐵礦其電子顯微鏡照片。

相較於自然界的三千多種礦物，常見之磁性礦物卻不及十種，可謂屈指可數。磁性礦物的含量在各種岩石、沉積物中，亦非常之低，多在千分之一以下。其種類、含量雖少，卻廣佈於各種載體之中。此外，由於每種磁性礦物各有其特性，因此藉由物理磁學之原理，吾人可以鑑別出載體中磁性礦物之種類、含量與粒徑之變化，進而推求載體所處的環境是否發生了改變。從上述空氣污染物之偵測、沉積物「由源至匯」之地表地質作用，以及所提及之地球磁場倒轉時的性質，皆是依靠微小之磁性礦物而得以獲知地球大環境之變遷。所謂「見微知著」，良有以也。

#### [ 參考文獻 ]

- 扈治安、洪崇勝 (2011) 臺灣海峽沉積物的來龍去脈：多示蹤劑法研究，行政院國家科學委員會 自然科學簡訊 研究成果報導, 23 (1), 4-8.
- Hong C. S., Chih-An Huh, Kuo-Hang Chen, Pin-Ru Huang, Kan-Hsi Hsiung, and Hui-Ling Lin (2009) Air pollution history elucidated from anthropogenic spherules and their magnetic signatures in marine sediments offshore of southwestern Taiwan. *J. Marine Systems* 76, 468-478.
- Hong, C.-S. and A. P. Roberts (2006) Authigenic or detrital origin of pyrrhotite in sediments?: Resolving a paleomagnetic conundrum, *Earth Planet. Sci. Lett.* 241, 750-762.