

由冰期說的建立 談到地球科學的研究方法

黃朝恩

一、前言

科學的進步是理論的建立和實驗的證明所促成的。科學家透過正確的科學方法獲致無數資料，歸納成寶貴的理論系統，再由實驗方法加以印證，使後人治學時，得有放諸四海皆準的學說可以依循。所以今日的科學發展尤其重視實驗，「拿出證據來」已成為今日科學研究的金科玉律。

地球科學同樣也是一門實驗科學，然而它具有開放性和區域性兩大特性，故與物理和化學不同，爲了使其理論獲得實際具體的證明，地球科學家必須不斷作實地的野外考察。唯有這樣，才能蒐集到證據的來源，以歸納出理論系統；也才能採集到衆多的標本，供給實驗室作材料。因此地球科學之有別於其他學科，在於其察看大自然的獨特方法及地球科學家們研究時之獨特態度。

下面我們看看一個地球科學家如何找出科學上的理論。

二、學說之建立

從事科學研究的工作者，除了要有豐富的基礎知識外，更必須具備下列態度：對大自然充滿著好奇心；有敏銳的觀察力；有解決問題的慾望；有找出答案的信心；既虛心且細心；並且要有考量答案的耐性。

假設有一個具備上述條件的聰明人，他住在一個位在谷口上的城鎮，然而和一般鎮民不同的是，他對戶外的事物滿懷興趣，隨時隨地對大自然的一切細心觀察。他深信自然界充滿著奇趣和奧秘，是個似知而實不知的世界，許多景物乍看或似平平無奇，但只要深入探究，即會發現從一草一木，一山一谷，到天上繁星，都蘊含著無限天機。有一次，在這位先生沿河谷漫步的當兒，

偶然讓他看到了一處橫跨河谷的低嶺，其上雜草叢生，這列山脊已爲河流所切斷，並於河流的兩岸露出了底岩物質。在好奇心的驅使下，他當然不會錯過探索的機會，就像個偵探似的，他開始仔細端詳著露頭的特色，然而不看猶可，一看他有點迷惑。原來這道嶺脊的組成物質盡是些巨礫、小礫、沙泥以及黏土的混合物，粗的細的攪在一起，雜亂無章，而且不成層次。隨後他撿起幾個礫石察看，又發現礫石上都有一兩個平滑面，面上帶有明顯的擦痕，似乎曾經在一些粗糙的地面上擦磨過。

——他起初的反應是：這些疏鬆物質既然堆在河流兩岸，照理應該和河流的營力有密切的關係，可是隨即他便推翻這個假設，因爲山脊並不沿河發育，反而和河谷成直角關係；況且，山脊的組成物質爲各種大小不等的碎屑，根本不像河中洲所看到的砂礫——具有大小相近的特性；再加上礫石表面擦痕遍布，也和河中挾帶的礫石截然不同。那麼，這列山脊看來不像由侵蝕而殘留下來（果真如此，它的組成物質理應是堅硬的底岩，而非疏鬆的碎屑物），也不像由河流堆積而成。然則，它如何會橫臥在這個河谷中間？關於這點，我們這位好學的朋友一時百思不解。

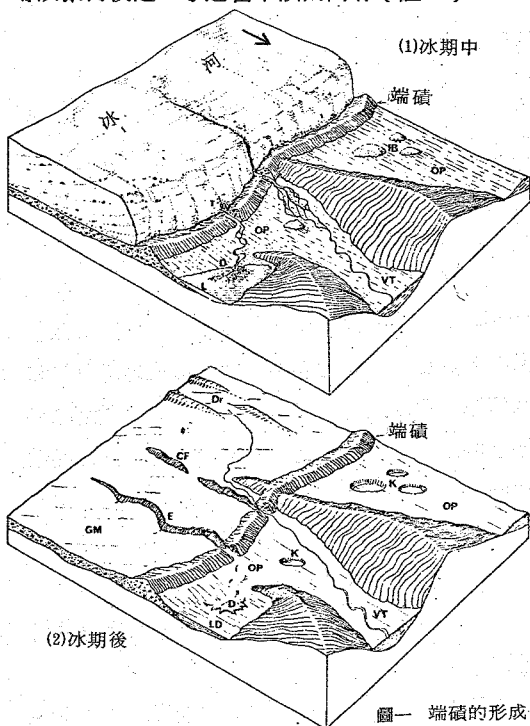
此時，另一引起他興趣的現象是：在這些碎屑中竟然出現好些龐大如象的巨礫，有的更夾雜在黏土中。關於這些巨礫，有三點必須加以解釋的：(1)體積過於龐大，不可能由河水搬運而來；(2)同樣遍布著擦痕和平滑面；(3)岩質與此地的底岩並不一致。

雖然這位先生不能立即說明這一切現象的由來，不過起碼他憑著直覺感到巨礫和黏土的伴生有點不太尋常。他不斷思考：這兩種極端的物質究竟是由同一種營力運來，還是由兩種不同的營

力運來？在沒有更多的證據之前，他不敢確定自己的想法。

隔了一段時期，我們的主角藉著一個機會，抽空來到了上游山地的冰河區遊覽，可是他並沒有像其他人只顧遊玩蹣跚，他只想到要解開心中的疑團。終於在努力的尋找後，他找到了家鄉那條河流的源頭，原來它是一條谷冰河的前端受暖融化而成的。更奇怪的是，在此冰河末端的位置，也出現了一列和他前些時所看到過的山脊十分相似的地形，裏面也同樣混雜了黏土、巨礫；而且兩列山脊之組成物質、岩性甚為相近，也和這片山地觀光區的岩性一致。由四周的環境分析，這冰河末端所橫列的小山脊顯然就是冰河所挾帶下來的堆積物所組成的，另一方面，他數週前在家鄉看過的小山脊中的黏土砂礫物質，全發源於這片山地。

突然他頓悟了，並且知道家鄉附近的山脊，事實上是由眼前同一條冰河所造成的，只不過當日的冰河前端伸展得更下方，以後再因氣候因素導致冰河後退，才遺留下該列山脊（註一）。



圖一 端碛的形成

對這位具有科學精神的朋友而言，這是個引人入勝而且合乎邏輯的推斷，不過他還有一些疑竇一時未能解開，不知道是否能支持他的理念。例如：這裏冰河前端山脊中的礫石，是否也有如下游的山脊一樣，具有擦磨過的痕跡？不消數分鐘，他挖了幾個礫石出來觀察，果然一模一樣。又如：在這個冰河區，還有沒有其他現象具有同樣擦磨過的痕跡？結果在他仔細的野外考察途中，又發現冰河下方若干地區的露岩，都有磨得平滑及擦痕遍布的證據。他推想，這一定是威力驚人的冰河挾帶著石塊沿谷流下時所造成的。無疑，冰河曾經一度往下游擴伸，帶有擦痕的磨蝕岩面正代表冰河的侵襲歷史。至於冰河為何往下游擴伸，那一定是因為當時的氣溫比今日為低。

回家後，這位先生又想起許多地方上有關冰河曾經往下擴伸的傳聞。綜合種種線索，他在家鄉一帶再作深入考察，又發現了許多地點的露頭岩面確有著磨蝕過的痕跡。這些核對，再加上和其他好學的人士們之熱烈討論，使他確定了冰河曾經一度有不同的範圍，而且只要此一河谷如此，同一山區附近的河谷也應如此，甚至更遠的地區也會因為氣溫的低降而有相對應的殘遺地形。

雖然上述的過程似乎帶有想像色彩，但當年瑞士的確曾經有一位青年作過如是想法，他的名字是溫涅茲（A. Venetz），他在 1821 年宣稱阿爾卑斯山區的冰河曾經遠比今日的範圍為大。這個理念後來被較知名的同鄉地質學者阿蓋錫斯（L. Agassiz）所廣續，並推衍為「冰期說」，影響地球科學思潮至深且遠。從這個故事，我們不難想到一個科學家為了澄清一個現象，為了建立一項理論，他必須要鍥而不捨地，靠著正確的科學方法和科學態度來達成。

三、科學方法

下面再以溫涅茲建立冰期說的過程為例，簡單分析一個地球科學家應該採取那些科學方法，完成他的科學研究工作。從該一實例可以看到，

（註一） 這種山脊地形學上叫做端碛（terminal moraine），其形成經過可參考圖一。

理解的過程以細心**觀察**(observation)為開端，觀察的對象包括小山脊、孤立的外來巨礫及這些地形與河流的關係。由這些觀察所得，有人或許會猜測山脊和巨礫和河流有關，這個步驟稱為**假說**的建立(hypothesis)。然而此一假說隨即被推翻，因為在對山脊作詳盡的**分析**(analysis)後，顯示出它不但為河流所切穿，而且組成物質中有的龐大如象，不像河流所能搬動得走；此外，礫石中出現平滑面及擦痕，顯然與河流的堆積物不同；再者，巨礫的岩性也和該區底岩的岩性有異，更加強了上述假說的不合情理。

表面看來，山脊和巨礫兩者雖然是兩回事，但都應由同一營力產生。透過**綜合思考**(synthesis)，我們不期然會採用科學上最古老也最有效的方法——**分類**(classification)。那就是說，將不同性質的事物歸類成不同組別，只要有相似的地方就可視為同類。於是，山脊和巨礫儘管不是相同的事物，却由於受同一營力影響而產生，可以歸為一類。

接著，人們會花許多時間進行想像、假設或猜測，試著找出解釋此一事物由來的方法，並證實自己的想法是否正確。譬如，他可能會想像這些物質是否由風力帶至，或隨海浪搬來，然後再尋找證據支持或推翻這些可能性。其實，普通經驗已足以告訴他風力不可能帶動那麼大的岩塊；若再細心在碎屑物中探索，必然也找不到支持海成理論的證據。

大自然雖然無意直接給予人類各種答案，但發生過的往事却無意中留下各種蛛絲馬跡，讓有科學細胞的人們好去追溯。在上例中，主角終於在偶然的機會裏發現了上游山區冰河前端處居然有相似的**因果關係**(causal connection)，同樣的山脊和同樣的巨礫再度出現在另一個地點。這種關連帶來了另一項假說：下游河谷中的山脊和巨礫可能是由古冰河向下擴伸時所遺留的。

這個新成立的假說儘管看來證據確鑿，可也不是意味著無需進一步的**求證**(verification)，必須深入作各種**檢驗**(test)，並且不斷修改內涵

，以期使它臻於完美，能夠說明一切存在的現象為止，方可謂建立出一個理論。

另一方面，其他觀察者也會注意到別的地方也有同性質的現象，此時，有些人以某種方法解釋，另些以其他方法解釋，故需以**歸納法**推斷(inductive infer)其是否能以上一假說作圓滿之詮釋。由於其他地區其他人仕不斷的考察、印證、檢驗和應用，終能說明上一假說是否能解釋一切有關現象，如果能夠，假說即可改稱為學說(theory)。學者接納後，隨可利用此一學說**演譯應用**(deductive use)於其他地區的類似現象，減輕了不少研究工作。

其實，上述各種科學方法並非科學家的專利品。敏銳的觀察力、豐富的想像力和審慎的判斷力同樣也是歷史學家、經濟學家、作家、畫家、偵探以至於每個人在日常生活中的得力助手。或許，科學概念之與其餘學科的概念有所差別，大概在於其必須不斷靠檢驗印證，並且還和其他解釋相一致才能達成。

四、地球科學研究的特色

地球科學與其他科學有幾點顯著不同的地方，首先是比例的問題，地球科學現象不是龐大無比(如宇宙、地球內部、海洋、山脈等)，就是錯綜複雜(如土壤沖蝕、水循環、天氣變化等)，要不然就是歷時甚久(如古生物的演化、大陸的漂移等)，因此地球科學家絕不可能將這些現象帶入實驗室來洞悉其中玄虛，這是地球科學和物理學、化學最明顯的差異。於是大多數地球科學上的觀察均需靠實地考察，而且要在野外獲致精確的測量、紀錄、攝影及標本採集，作為研究時之證據。由這些收集得的資料，才可應用於實驗工作，再利用精密的地圖計測、客觀的統計分析、精美的圖示方法和通順的文字，表達出完整的科學概念。

其次，傳統的地球科學似乎較諸理化重視定性分析、不易將數學分析應用在地球科學的現象上，此實由於地球現象受到衆多變因的影響，而

且構造複雜，體積龐大，以致測定或統計時不易獲得精確的結果。不過，今天由於控制變因下的模型實驗日益可靠，而且電算機的發展一日千里，可大量儲存及處理地學家所收集的繁瑣數據，計量的地球科學研究也快速在開拓中。唯有以準確的數值作後盾，才能把握地球現象的真相，徹底了解其產生過程及來龍去脈，進而對其將來的動態作可靠的預報，提供決策者豐富的參考資料，俾能增進人類的福祉。

最後一點，地球科學的歸納推論型式也有別於理化，後者可以稱為集中型（concentrative type），換言之，物理和化學學者可以靠著少數幾個實驗和一些抽樣於局部地點的證據，就可以寫出一個定律，這是由於人類早就確定了物理和化學現象的均一性和普存性；另一方面，地球科學的概念却屬於分布型（distributive type），因此要確立冰期說之前，還須收集了散布於全球各地千千萬萬個證據，而且這些證據都必須要支持該理論才行，絕不能有所掛漏。

五、結語

由上所述，可知科學是一種探究大自然現象的方法，藉此可用定律說明自然界一切行為活動的型式——包括物質有何結構、能量如何做功、其間之關係又如何，並且怎樣隨時間演變等。各種科學之間，界線本來並不明確，常有重疊現象。地球科學的研究對象為地球環境中的物質和能量，以及其所形成的一切現象，並且向時間和空間兩大方向推衍，時間上要明瞭地球的歷史、空間上要了解地球在宇宙中的位置。

科學家最典型的研究方法為觀察、比較、分類、測量、綜合、分析、實驗，並靠歸納法達成假說，以期充分說明所見之現象。此一假說若能不斷考量，應用於四海而皆準，則成為學說，並可演繹至其他現象。

由於許多地學現象過於龐大複雜，不能帶進實驗室，地球科學主要仍靠實地調查，又由於所處理的問題變數太多，傳統上以定性為主流，但如今電算機的大幅應用已促使地球科學的計量研究十分樂觀，未來的地球科學的前途將會愈趨光明，給人類帶來更大的福祉。

參考文獻

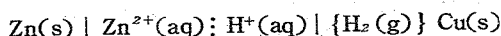
1. 林朝榮（1970）國中地球科學教育的必要，科學教育第15卷第一期，第1～5頁。
2. Mears, B. (1970) The Nature of Geology: Contemporary Readings, New York, Van Nostrand Reinhold. 248 pp.
3. Matthews, W.H. (1971) Invitation to Geology: The Earth through Time, New York: Natural History Press, 148 pp.
4. Bates, R.L. et al. (1973) Geology, D.C. Heath and Company, 541 pp.
5. Press, F. and R. Siever (1974) Earth, W.H. Freeman and Company, 945 pp.
6. 石再添、黃朝恩、張瑞津（1977）美英日三國主要地球科學課程的比較研究，科學教育第八期第54～62頁；第九期第35～40頁。
〔作者現職：國立臺灣師範大學科學教育中心地球科學組助理研究員〕

（上接 48 頁，科學實驗室）

5. 直接比較不同濃度之銅或銀與反應速率之關係，如圖二、表三所示，由圖可示，銅、銀之摩爾數增加時，反應之速率也增加。若以濃度對時間之倒數作圖，可得圖三所示之結果，其結果為直線。這證明反應速率與所加銅之濃度成正比。

6. 若鋅粒與銅片之催化劑一起作用，則大部分之氫氣泡來自銅片只有少數來自鋅。可能之反

應可以電池之通式表示之。



十二、本實驗活動一班二十五組學生所需材料費：約需 500 元。

（本實驗由國立臺灣師範大學化學系講師黃寶鈿提供）