

野外地質調查的理論與實務

羅 偉

國立台北科技大學資源工程研究所

地質學是自然科學的一門，是研究地球這個人類所居住的星球，自生成以來，組成物質的成分與結構之變化的科學。由於地質學主要是由現在所觀察得到的自然現象去推論現在地球中岩石的組成與結構，並用逆推(*Retrodiction*)的推論來解釋過去發生在地球之中的各種變化。因此野外觀察與記錄為地質學研究的最基本工作。藉由野外地質現象的觀察與記錄，一方面可以了解一地區的地質狀態，包括出露岩層的岩石種類、岩層的排列方式乃至岩體的幾何形狀與接觸關係，另一方面也可以驗證地質理論或演化模式的合理性；所以各地質學訓練課程無不強調野外工作能力之重要性，並與書籍資料的研讀相輔相成。而在野外觀察時所用的方法與所依據的原則與理論，均為野外地質學研究的範疇。所以野外地質學可以說是一門既重視方法論又強調邏輯推理的學科。

本次報告的野外地質調查的理論與實務，將以”要到野外觀察之前的心理準備”以及”如何在野外進行地質觀察？”兩部份與大家分享野外地質調查工作的樂趣與心得。詳細資料可參閱附錄之資料。

附錄一

野外地質觀察(一)

(在野外觀察岩石的組成與結構的步驟)

(節錄自台大地質科學系楊昭男教授未發表之文章)

要到野外觀察之前的心理準備

A.)反省地質學的研究目的：地質學的研究目的主要是

(1)在時間上，是要從現在推論過去

從現在這個時間點上，某一個地點的岩石，推論出這個地點上岩石的組成與結構變化的歷史，然後由一些各佔據一個地點的岩石串連出佔據一度空間的線的岩石的歷史，然後依此類推，由線而二度空間的面，由面而三度空間的立體，推論出整個地球過去的歷史。

從現在的你在這個地點所觀察的這塊岩石的組成與結構狀態，運用現在的你所知道的地質理論，推論過去到現在這塊岩石所經歷過的組成與結構狀態變化的歷史過程。再由這個地點為起點，運用地質學理論進而擴大為線，再擴大為面、為立體，循序而進，最終的目的在將地球上各個地點所推論出來的片段歷史，串連出整個地球的歷史。

(2)空間上，從現在推論現在

從現在一個地點的岩石狀態推論現在三度空間立體的岩石狀態，以偏概全。從一個地點的岩石，在現在這個時間點，所呈現的組成與結構，運用地質學理論去推論出現在這個地點周圍岩石的組成與結構，由點而串連成線，由線而串連成面，由面而串連成立體，再由此推論整個地球現在的組成與結構。

從現在的你，在這個地點，所觀察得出來的這塊岩石的組成與結構狀態，運用現在的你所知道的地質理論，推論出這個地點周圍地區的岩石的組成與結構的狀態。

現在的你就是現在的你，既不是過去的你，也不是將來的你。現在的你馬上就要變成過去的你，現在的你也要馬上就要變成將來的你。過去的你不知道可以從石頭看出地球的歷史，現在的你從石頭看出一點點地球的歷史，將來的你也許可以看出別人沒看出來的地球歷史，或指出別人所看出來的歷史其實是錯誤的！

“你”是什麼？“我”是什麼？“他”是什麼？“你”是現在的你，也是過去的你，更是將來的你，這只是不同時間的“你”，“你”是一個一直在變化的“你”

現在，你是存在的；過去，你是不存在的；將來，你也是不會存在的！

現在，這塊石頭是存在的；過去，這塊石頭是不存在的；將來，這塊石頭也是不會存在的！你、我、他，都是有生命的，石頭也一樣，是有生命的！

總而言之，地質學研究的主要目的，即是在地球上“現在”這個時間點，利用從世界各個地點所觀察到的岩石上，所解讀出來的組成與結構變化歷史，整編出地球生成以來到現在為止，整個地球組成與結構變化的歷史。

B.)確定、了解此次野外觀察的目標(*aim*)

製作區域性的地質圖？(要從現在推論現在？)

特定的地質專業問題？(要從現在推論過去？)

構造地質	岩石學	礦物學	地層學
古生物學	礦床學	工程地質學	

(1)思考目標的本質及達到此目標的方法與理論基礎

觀察的目的是要達成目標,解決心中的問題,因此要時時思考：

為什麼會有這個問題？

(2)要用什麼方法、什麼理論解決這個問題？

反覆復習解讀岩石中記錄其地質作用歷史過程的密碼的地質學基本原理(*principle*)

地質學家的基本信念(*belief*)，是相信(*believe*)人類現在以肉眼所看到的岩石，是以密碼(*code*)的方式記錄著岩石本身組成與結構變化的歷史過程，只等著地質學家去加以解碼(*decoding*)，以人類的語言表示出來，讓大家了解他的滄桑史。

地質學家：不但了解地質學基本原理及地質作用，而且會活用地質學基本原理及地質作用去解讀岩石滄桑史的人。

地質學最基本的原理：*The Present is the key to the Past.*

現在，在地球中正在進行著的，改變地球的組成與結構的地質作用，在過去，也是一樣地在改變地球的組成與結構。

均變主義與真實主義(*Uniformitarianism and Actualism*)

這個原理在德文稱為 *Aktualismus* (英文為 *Actualism*)，在英語國家則稱為均變主義(*Uniformitarianism*)。這個原理的前提，認為地質作用與原因在時間上是均勻的(*temporal uniformity*)；這個原理的大概形式大致可以下面的三段話較為準確地表的

示出來：

- (1)自然的物理定律與化學定律是不受時代的限制，是永遠有效成立的。
- (2)在地球球體上面及球體內部依照自然的定律造成改變的地質力，其過去的性質是跟現在的性質是一樣的，在未來其性質也是不會改變的。(作用力是均勻的)
- (3)在過去，在現在，在未來，不但地質力的性質是一樣的，而且就地質力的能量或所作的功而言，地質力的量也是一樣的。(能量是均勻的)

在這三段話中，第一段話從有地質學存在以來，就沒有什麼爭論，因為這個原理不僅是地球科學的原理，他本身就是傳承自自然的物理與化學定律，而地球科學是運用自然的定律去解釋自然的現象。但是就第二段及第三段話而言，對均變原理(*the principle of uniformity*)的認定則有各種不同的說法。

嚴格地說，均變主義(*Uniformitarianism*)是假設前面所講的三段話都是有效成立的(*validity*)。這種嚴格的原理是 *James Hutton* 的指導理想，由於他的這種想法是把地質學的方法運用在現在在地球上可以觀察到的現象，而被尊稱為現代地質學之創始人。從現在可以觀察得到的事件一定可以不被時間限制地推論現在、過去及未來造成各種地質作用的定律。由這種原理的幫助，逆推及預測的工作得以進行，因為不僅僅是定律，即使是各種原始狀態的質與量，在過去、在現在、在將來都是同樣的。*Hutton* 第一篇文章(1785)的副標題：*An investigation of the laws observable in the composition, dissolution, and restauration of land upon the globe*。在他所提出的原理中，*Hutton* 排除掉地球科學中時間的真正過程。對 *Hutton* 而言，沒有演化，最重要的是，沒有開始，沒有結束；任何事都是永遠的現在；在石頭中，他發現“沒有一個開始的入口，沒有一個結束的希望”。嚴格的古今合一原理所創造的是一個非歷史性(*ahistoric*)的地球科學，一個純粹以物理及化學為師的科學。

這種均變的原理很顯然地有兩個好處。由於將自己限制在地球上各個不同地區所能觀察得到的事件上，以及限制自己從得到的觀察中歸納出規律，研究者可以在實證上得到好處，就是在解釋現象及用逆推式推理去揭開地球過去的歷史時，不需要考慮未能觀察到的作用及不尋常的能量所引起的不確定因素。同樣地，未來也可以經由現在的外插而加以預測。一個非歷史性的地質學比歷史性的地質學更可以與物理學及化學配合得較為順暢，而且可以實現所期望的褒獎，雖然這只是自然定律基本科學的一種應用而已。

構成 *Hutton* 的古今合一原理的主張，所依據的只是是當時一點點的觀察，認為現在陸地與海洋、山脈、岩石及礦物的分布都是由力及作用產生的，而這些力與作用雖然很緩慢，但在現在仍然在運作著。這些作用有些是在地球的表面發生，

像岩石與山脈被水及風化作用所破壞，在海洋中沈積泥、沙，有些作用則是發生在看不到的地底下，像推積在海床上的沈積物受到地熱而固結。在 *Hutton* 以後的年代，同意這種原理的研究者在地質發現非常迅速累積的情況下，所面對的工作是要把這個一般性原理變成特別的原理，也就是說，在解釋個別的現象時，要使這個原理能以假說的形式去解釋、去應用。但這樣作的結果，卻是發現不限制這個原理的方向是行不通的。直到現在，這種限制仍然影響著這個原理的發展。

Charles Lyell 是嚴格定義的均變主義最為堅強的擁護者。他的著作“地質學原理”在 1830 到 1874 年間出了 12 版，在許多國家造成很大的影響。這本著作的副標題是“從現在在運作的原因，利用推理去解釋地球表面從前的改變的一種嘗試”，這個副標題申明了古今合一原理的綱領。在這個綱領的精神中，*Lyell* 反對地球是以一定的速度在冷卻的假說，而且進一步在第二版到最後版中，反對生命從低等到高等的演化，世界性的氣候變化，山脈的災變型隆起的說法。他相信地球內部的溫度在地質的過去是一直保持一定的溫度；他承認生物界中是有變化產生：老的死去，新形的取而代之，但是他相信並沒有足夠的證據證明有連續性或有方向性的演化。

真實主義(*actualism*)的原理是均變主義的一種修正。這個原理是在 19 世紀初首先是由 *K. E. A. von Hoff* 加以推動，而為許多德國的地質學家所支持。這個原理的基礎只是上述三段話中的(1)及(2)，承認地質力的種類自古至今並未改變，但是強度(及能量)則有所改變或可能有所改變。*von Hoff* 相信過去的火山活動所留下的一些痕跡只能以一個假說來解釋，就是過去火山的能量要比現在的大得多，過去火山事件發的頻率要比現在的頻繁得多，而整個地球的火山活動是隨著時間而減少。依據均勻原理的理論，像花崗岩這類的火成岩是一直都在形成，而且現在也在形成當中，但 *von Hoff* 則是相信在山脈核心的花崗岩是在古代非常大量的岩漿生成、固化時形成的。

由均變主義與真實主義原理的推論，產生一個必然的結果，那就是具有規範性的循環原理(*principle of cycles*)(所謂的循環就是按一定規律重複發生的一連串事象)，這種原理即使在 *Hutton* 的著作中也可找到。由經驗獲得的知識告訴我們，地球的表面一直持續地遭受到破壞性的改變，因此表面的結構被平面化，性質上的差異回歸均勻：山脈被降低；河流攜帶卵石、沙子、泥土到盆地、海洋、湖泊內，將這些盆地、海洋、湖泊填滿一些“原始的”(primary)岩石與礦物經過風化作用所產生的均勻、礦物稀少的沈積物。要維持均變主義與真實主義所需要的持續性，只有在破壞能夠時時刻刻被建設所補償才行。因此循環的作用必須要被假設，在世

界各地無窮無盡一再地重複循環的作用。從降低的山脈與陸地沈積在海洋中的物資，新的陸地與山脈必須從這些物資建設起來；從這些均勻的沈積物，又再產生性質不同的各種“原始的”(primary)岩石。為了要使均變主義或真實主義的原理與我們恆量變化(constant change)的經驗相符合，則下沈必須與隆起交替，地球表面的平面化必須與地底下的分異作用(differentiation)交替。在任何一個循環內，自始至終，有一定向的順序。但是，因為這種循環持續地一再重複作用是一種典型的作用，因此實際的時間又整個地被抹消掉，而保留了永恆的現在(perpetual present)，一個均變主義、非歷史性地球科學真實的事物狀態(real referent ; referent: state of affairs)。這種非歷史性均變主義的目標是要在這種一再循環的作用中找出在這種水準上永遠地(timelessly)有效的定律。

在老的以及最現代的地球科學中，很多的假說與學說都同意這種循環的原理，例如循環性的山脈建造理論，山脈是由厚層的沈積岩岩層建造出來的，而這些沈積岩是破壞老山脈後，沈積在既深又窄的海洋盆地(geosyncline)中形成的。由 H. Stille 所提出的理論，認為世界性的山脈建造相是一而再、再而三地以同樣的方式有節奏地發生；或者在化學元素循環中，認為化學元素是在大氣圈、水圈及岩石圈間旅遊。

均變的規範原理，尤其是真實主義的方式，深刻地影響到地球科學的發展，即使到今日，也仍然被當作是地球科學研究最為重要的基礎。對一個現象要加以解釋時，真實主義的原理限制了可以接納的假說的數目。這樣是有利於解決問題，雖然實際上研究者這樣反而難於解釋不尋常或不平常的現象。遇到這種情況，常常就單純地求助於非真實(non-realistic)的假說。即使如此，地質學家有一種不成文的規定，時常把這種要以很重大的理由撤退到非真實假說的企圖，戲謔地當作小說中結開問題的神力。

真實主義的解釋、假說、以及學說的基礎是各個學門從現行的狀況及作用所研發出來的，包括土壤科學、地形學、水文學、湖沼學(limnology)、海洋學、沈積學、火山學以及將各種重要的真實地質知識結合在一起的普通地質學。這些學門的重要性不僅是反映其在研究及教學上實用的價值，而且還反映出真實主義是地球科學一個基本規範原理的意義。

很早，教條主義的均變論就受到很猛烈的攻擊。礦物學家 William Whewell 就指控 Lyell 任意將我們現在生存的這個時期當作其他時期的標準。他不否認均勻論的實用價值，確拒絕 Lyell 本體論上的解釋，認為某種驟然而來的大災害及突然而劇烈的變動雖然沒有被記錄在人類的歷史上，但卻不能排除在過去曾經發生過的

可能。

自從 19 世紀開始以來，事實上，在架構特別的假說及一般的理論時，地球科學家就一再地不理會均變論與真實論的原理。他們也是以自然的定律在時間上是不變的為前提，但卻容許過去的地質力與今日的地質力在種類與強度上可以有所不同的說法。地球科學的理論自從發展以來，一方面在非歷史性的真實主義論與均變論之間，以及另一方面在歷史性的非真實主義論與非均變論之間，論證上就處於一種緊張的狀態。

在真實主義與均變主義的理論中，地球的過去是一個永遠沒完沒了的現在(*the Earth' past is a perpetual present*)。他們的目的是要從過去存活過來的物體(岩石，礦物，化石及結構)中，排除掉不屬於本質的外表，揭露出這些物體中的“現在”，以及從這些物體重建“過去的現在”。對服膺真實主義或均變主義的人，過去一些孤立的事件與狀況確切而言是不相關的，因為對他們而言，過去發生的或存在的任何事情在現在也是一樣地發生，一樣地存在。

在非真實主義與非均變主義的理論中，地球的過去不是永遠沒完沒了的現在，而是“別的時間”與“本質上與現在不同的事件”的歷史。在定律是同樣地影響現在、過去與未來的情況下，研究的主要課題所關切的是事件、狀況、時期以及這些事件、狀況及時期在時間上的順序單一的本質(*singular nature*)。是這種類型的理論，將地球科學與物理學、化學分得更開，也使得地球科學成為一種類似人類歷史學的歷史性科學。地球科學較有興趣的是地球歷史上所出現的特定事件及新奇的狀態(*specific events and novelties*)，而不是一般性的定律(*general laws*)。

非真實主義及非均變主義這種歷史的特性表現在地質時間結構的兩個概念上。依照第一個概念，災變在時間(歷史)上是一再地發生。這種的災變是短期的、突然的及很少發生的，而其效應的強烈與安靜而緩慢地持續進行的事件是大不相同的。這些災變因為很稀罕，而人類所能觀察的時間又是如此地短，因此從來不會被人類觀察到。依照另一個概念，我們所了解的事件是地球以及整個太空歷史中，在時間及空間上大大小小的物體場一種定向的發展。災變理論(*catastrophism*)與發展理論(*decelopment*)是非真實主義與非均變主義的兩個極端，而在這兩個極端之間存在有各種程度不同的中間理論，就如同在主要是非真實主義與非均變主義的理論中常出現真實主義與均變主義的一些要素。

災變理論

在此，我們將各種理論與各種研究架構通通放在災變理論的名義下，只要這些理論與架構包括了兩個元素：

- (1)反對將全部的事件與任何一種嚴格的真實主義理論掛鉤；
- (2)認為在地球表面上，造成動物群與植物群重大的改變，不只是緩慢、真實的因素，還有災變的、稀有的事件。

自從 19 世紀初以來，各種不同的災變理論具有一些共同的特徵。一種的災變理論是非均變的，是假設存在有一些現在沒有出現在今日地球上的地質力；另一種的災變理論是只有非真實主義的，是假設地質力是聚合性的加強。從過去到現在，這兩種災變理論都受到地質學家巨大的反抗，一種對恐怖的奇蹟(*horror miraculi*)而生的反抗，因為看來災變理論要“奇蹟”般地突破自然的正常過程。地質學家害怕承認有這種事件的存在，否則他們就必須放棄真實主義或均變主義所給予的保障，因為他們所使用的是以實證的事實為基礎的真實主義或均變主義的方法學。因此，他們反抗這種無窮無盡缺乏足夠實證基礎的臆測所帶來的危險。況且，災變理論對於過去的事件所創造出來的模式不是今日對自然的觀察所能求證的。這些災變理論的合理性(*plausibility*)，也就是說，證明這些理論終究就是可能的，必須依靠別的事情，像從自然的觀察以外插法加以推測，做小規模的模型實驗，或者做符合自然一般定律的思考實驗(*thought experiments*)或計算。像各種的理論一樣，災變理論的證實必須從這些理論所獲得的推論經過實證的確定，而且這些理論要被接受，必須要能克服只因為是進步的理論而在起初所引起的反抗，也就是說，這些理論能夠領導新事物狀態的發現。

George Cuvier 的論文“*Discours sur les Revolutions de la du Globe*”，是災變理論一個早期的例子。在巴黎周圍第三紀的沈積物中，Curier 發現這些層層重疊的岩層裡，岩石成份的改變有重複的現象。在研究這些岩層裡的化石後，他發現地層交界之處，岩層的成份的突然改變，其動物化石群也必然有突然的改變。像這樣，岩層中的化石內涵以及岩石的成份隨著地層的轉變，而突然改變的現象，在其他地區也依樣可以觀察得到。Curier 相信，這種現象只有一種理論可以解釋，那就是這種現象是由一些一再發生的洪水所造成的，而造成洪水的力量是今日所無法想像的。這些洪水消滅了原來生命的形式，並創造出新的環境，在這新環境中，產生新的生命形式及不同的岩石。

L. Elie de Beaumont 對山脈的建造提出其災變理論時，也跟著 Curier 使用“演化”這個名詞。在地球的歷史過程中，地球的大小以及熱能逐漸的減小，導致世界的主要山脈時時以災變的方式抬升。在造山的演化過程中，是這些時間短暫的災

變劇烈地改變了地球的面貌，而在這些災變之間則是時間很長的平靜時期。就像現在的地震證明造山的原因，正如 *Beaumont* 所說的，只是“睡著了”(asleep)，並不是完全地死掉。

Curier 與 *Beaumont* 都是以其觀察到的不連續現象作為其災變理論的基礎。他們相信這種不連續的現象是不能以地球歷史中連續而穩定的作用可以解釋得通的。*Curier* 所觀察的不連續現象是，隨著地層的轉變，岩石以及古生物的種類也跟著轉變；*Beaumont* 所觀察的不連續現象是，岩層從原始的形成環境中，以倒立、褶皺、扭曲的方式，被抬升在山脈上。他們都將這種以空間的方式所表現的不連續解釋為時間上的不連續，一種只在瞬間爆發而其他時間卻長期在睡覺的能量。

較為近代的災變理論是衝擊學說(*impact theory*)。這個學說曾經受到嚴厲的反對，因為這種理論特別顯著地違背了真實主義與均變主義的原理。何況，對於一些不能以外在的原因(經由在地球表面活動的地質因素)造成的地球表面構造，一般是將其原因訴諸於地球內部的能量與動力。這個基本的規則，雖然是如此地微妙而沒被說明得很清楚，但仍然可以稱為內在原因的規範原理(*regulative principle of endogeneous causes*)。事實上，這個原理已經被衝擊學說違背的事實，一直以來都在妨礙著承認衝擊學說是可以應用到個別構造的解釋。(尚未譯完)

演化主義的原理

發展性的原理，尤其是目的導向的，也就是目的論，相當於演化主義的規範原理。在方法論上，這個原理需要被當作前提，對於一些事件所要尋找的是以將來的目的為基礎的解釋(*a fronte explanation*)，而不是以因果關係為基礎的解釋。在時間上連綿不斷、數目無限發生的事件裡，所要尋找的是這些狀況與事件是如何互相關連的。這樣所牽涉的必然不單單是確立各個可以用因果定律加以解釋的因果關係，而是要從因為對進化發展概念的界定所引起其他任何事情的困惑中，發現一些可以區別得出來的長期作用。進化的發展是一些以連續性或不連續性的變化為基礎所發生的作用過程，具有某一定的方向或傾向的特徵，因此可以區分開始的階段，結束的階段，以及很多的中間階段。一個進化的階段是不可逆的，因為每一個階段都具體表示一個唯一的情況，而在進化的過程裡，這個唯一情況是不會再次地發生的。在性質上，每個情況都是新的，而接著每個情況都會影響從這個情況產生出來的新情況。像這樣一個個過程的聯合，明確地表示是一個發展的定律(*developmental law*)。

由於均變主義與真實主義的勝利，以地質的過去的歷史本質當作研究題目的重要性因而消失之前，與地球有關的各種學說與假說的目的，不用證明就很清楚地表明，是要從岩石的記錄，重建一個朝著一定的方向發展的地球歷史。在 17 及 18 世紀早期的假說中，進化主義的規範原理是特別地顯著。依照 *Descartes* 與 *Leibniz* 的理論，熔融的地球形成的地殼最初是全部被古海洋所淹蓋。隨著時間的過去，海水逐漸地退卻，而浮出大陸與島嶼。在 18 世紀，人們開始對沈積岩特別仔細地觀察，希望以這些實證的事實當作證據，解釋唯一種大致是穩定的發展，而認為這種發展的方向與不可逆性主要是受到海水面穩定地下降的控制。*J. L. Leclerc de Buffon* 就將過去歷史的一部份分成七個時期的陸地進化。開始時，全部被古海洋所淹蓋，然後在這七個時期，海水面以穩定的速度下降，而同時地球內部的熱能也是以穩定的速度在減少，一種最終必然冷死的發展。

早期依據進化主義原理的傳統地質理論是 *Abraham Gottlob Werner* 所建立而由他的學生加以傳播的系統。在著名的火成論與水成論的爭論中，這個系統與均變主義者與真實主義者起了衝突，但直到 19 世紀終究還是具有相當的影響力。從他在 *Saxony* 的岩石所觀察到的層理，*Werner* 辨認出連續形成的地層，認為這些地層岩石成份的改變是反映海水倒退所引起的狀況變化。與均變主義及真實主義的非歷史性概念同時存在但排斥這種概念，跟從進化主義的學說一直在推行著，而把地球科學當作歷史科學運用的趨勢從 19 世紀到現在仍然相當地活躍。古生物學上這種進化的理論也許可以在這裡加以引述。在 19 世紀早期，*J. B. de Lamarck* 與 *E. G. Saint-Hilaire* 所建立的假說，認為現在生物連續的進化與其(生命無關的)環境中(相對應)的進化是相連的，而且是生物進化的原因。這個假說受到 *Cuvier* 激烈的攻擊。這種生物進化的假說以及排斥均變主義的生物學者及地質學者所認為種是不能改變的信念，只有在 *Darwin* 以他所提出的自然選擇學說，很有智慧地整合均變主義與進化主義的規範原理之後才產生。*Darwin* 放棄種是不能改變的教條，一種既不能證明為真也不能證明為偽的教條。但是，他是均以均變主義的機制來解釋進化是如何產生的，也就是說，是一種在今日運作，在過去、在未來也是一樣地運作的機制。開始的起點是由每個繁殖者共有的經驗所提供，因此很多的種自然地產生可以遺傳的突變。因此人類的繁殖者可以由細緻的選擇生產新的品種。依照 *Darwin* 的學說，進化的動力在過去是，在現在也是自然的選擇(*natural selection*)，選擇一些在某些時間及空間的狀況一直在改變的環境中，有相當大的程度仍然可以生存及生殖的突變體(*mutant*)。這種一直在運作的自然選擇產生了進化。並不是

所有的古生物學者都接受這種“進化是自然選擇”的解釋，因為一直到現在都有人在嘗試以目的論的假說來說明進化中所具有的方向性，而 *Darwin* 的理論中進化是沒有方向性的。

以目的論的觀點來探討地質的問題，19 世紀時，*Elie de Beaumont* 所提出的造山理論是一個很好的例子。*Beaumont* 認為地球持續地冷卻、收縮是造成山脈的建造偶而突然發作的原因。他早在 1830 年即提出這個理論來攻擊 *Lyell* 的均變主義。這種冷卻理論，不論是 *Beaumont* 的或後期的形式，都是一種的進化理論，好幾位作者也一直將其當作這種理論來描述。到 1960 年代被板塊學說取代以前，這種理論，尤其是後期的，都表現得相當的成功。在當時，前後超過 100 年的時期，這種理論一直都保持為地質學理論沒有爭議的基礎，尤其是有關造山的理論。這種理論當時之所以能維持，不但是因為當時沒有其他的機制可用來解釋地殼運動，而且也是因為地質學家不想放棄進化主義的原則，以及與此相隨的，一個統一的地球歷史的概念。

Beaumont 的理論也是一個理論同時都符合進化主義與災變主義原則的一個例子。進化的發生隨著時間可以是連續的，也可以是不連續的，但是個別不連續的事件或災難必須跟隨運動的進化軌跡，以 *Beaumont* 的理論為例，地球的地殼是一直在累進地繼續收縮(*progressive contraction*)。

自從上一個世紀中期以來，在地球科學中，不光只是在古生物學中，發展與進化這兩個名詞的使用越來越頻繁。今日，人們常說：土壤與地形的發展或進化，個別山脈的發展或進化，某種地殼構造的進化或發展，整個山脈、火成活動、海洋與大氣、整個地球、月球、太陽星系的進化等等。

從這些名詞的使用以及進化論的學說與假說數目都在增加情況下，可以推論出進化主義的規範原則給予地球科學研究在解決問題時很重大的好處。這些好處的事實，在於可以使用這些原則來檢討以及全盤了解狀況與事件在時代上的順序，以及運用這些原則建立現象學上的定律，而在面對繁雜的因果關係時，不必要去做瑣碎的解釋。

規範原則與整體地球科學的論理辯證法(*dialectics*)

在各種的地球科學中，建立各種理論的規範原則，最重要的無疑是均變主義、真實主義、災變主義與進化主義。在討論這些原則是如何地引導理論的概念時，我們大多採用過去的例子，因為對這些現在討論的原則，較老的理論所透露的比

現在我們這個時代的理論，是更為清楚，更為開放。這並不是因為這些原則在現代的理論中已經沒有力了或不重要了。均變主義與真實主義，災變主義，以及進化主義的概念仍然繼續在決定理論與研究的方式與方法，只是方法較以前有所不同而已。

在科學的歷史是貫穿時間(*diachronic*)的情況下，地質科學是當今的一種研究活動；自然科學是同時間(*synchronic*)的研究活動的情況下，地球科學在自然科學中的地位仍然不清楚，為了要發現地球科學在這貫穿時間的科學歷史中所具有的一種特色，以及進一步從此種特色對地球科學在同時間的自然科學中的地位，得到正確的看法，我們將更精確地鑑別地球科學現在的與以前的研究方法的差異。

我們一直強調，將一個孤立的原則當作一個主要的角色，在解決研究的問題上，有相當的便利。但一個作者在採用一個先前指定的原則所作的決心，是有各種不同的原因，而這個決心對現在的我們常常是很奇怪的。對作為理論模式與方法發展基礎的原理，一般是把它當作這個世界“真正”(true)與“實在”(real)的述語。在實用(功能)(*function*)上，像這樣的原理是規範性的(*regulative*)，但是在意圖(*intention*)上，則是本體論的(*ontological*)(想要了解存在的本質)。這些原理讓均勻的地質世界觀得以建立，每一個原理保證研究的方法與主題在個別的學門以及整體的地球科學中是可以世界通用的。因此，對 *Lyell* 及全部的均變主意者而言，地質的宇宙(*geologic universe*)是一個緊緊結合在一起的整體(*cohesive whole*)，因為地質力的活動是固定的、不變的。*Beaumont* 將地球的歷史描述成一個均勻地冷卻的作用，以山脈建造的災難發洩其熱能。對 *Curier* 而言，進化的概念並不只是方便予解釋的假說，解釋地層的界限兩側生物群突然的改變。他的世界影像是一連串的災變，有如人類歷史中戰爭的摧殘或強力的壓迫所帶來的震撼。*Lamarck* 則是從化石中看出現在生物在固定地改變的記錄。對他而言，過去的生命全部是由外形進化的實體所組成。

本體論上所了解的原理所主張的絕對效力一定會造成互相矛盾的理論。以真實主義為基礎的理論及以進化主義為基礎的含歷史性質的理論之間的矛盾尤其是特別地明顯。敵對理論的擁護者之間的辯論時常發生堅持己見的衝突。像擁護具有歷史性水成學說的 *Werner* 學派與跟隨 *Hutton* 與 *Playfair* 擁護不具歷史性的火成學說者之間的衝突，*Curier* 反駁 *Lamarck* 與 *Geoffroy Saint-Hilaire* 的辯論；或 *Lyell* 駁斥 *Beaumont* 的觀點。這些以及其他的爭論都是起源於二律相悖(*antinomy*)，因此只要兩個團體各自堅持自己的原理與世界觀，這種爭論是無法解決的。

在歷史上發展出來的規範原理，今日的地球科學全部接收這些原理所遺傳下來的特質，但是由任何一個原理完全主控的情況已經被多元化的原理所取代。我們一直在強調著，真實主義對許多學門的研究有多重要。只是，讓地球科學能夠與所謂的確實的科學緊密地相連的真實主義，已經不再是地球科學建立假說與學說唯一的指導原理。對於一些無法用嚴格的均變主義或真實主義的觀點加以解釋的現象，改用其他的理論加以解釋的情形越來越多。

沒有了“*the present is the key to the past*”這個原理，地質學就成了失去立足基礎的科學！

附錄二

野外地質觀察(二)

(在野外觀察岩石的組成與結構的步驟)

(節錄自台大地質科學系楊昭男教授未發表之文章)

如何在野外進行地質觀察？

一、尋找有岩石裸露出來的露頭。(海邊、河邊、路邊)

露頭(*outcrop*)與轉石(*float*)有什麼不同？各有什麼意義？

二、觀察這個露頭的岩石長的是什麼樣子。

A.遠望這個露頭的岩石長的是什麼樣子：

- 1.注意觀察露頭的岩石是否有層次分明的排列：有層次分明排列的稱為這些岩石具有層狀構造(*layering structure*)，層次不易分明的稱為塊狀(*massive*)。
- 2.對有層狀構造的岩石：觀察層狀構造是水平的或傾斜的；觀察層狀構造有否彎曲的現象(褶皺)；觀察層狀構造有否錯開的現象(斷層)。

B.靠近露頭，仔細觀察這個露頭是由一種或多種岩石所組成。

1.岩石種類的三大類：沈積岩、火成岩、變質岩。

分類依據是什麼？各有什麼特徵？

2.沈積岩、火成岩、變質岩三大類的再分類。

分類依據是什麼？各有什麼意義？

C.觀察每一種岩石內部肉眼可見的細部結構。

- 1.觀察組成沈積岩的顆粒的大小、形狀、礦物種類及顆粒排列的狀況所顯示出來的沈積構造。
- 2.觀察組成火成岩的礦物種類、大小、形狀及礦物顆粒排列的狀況所顯示的流動構造(*flow structure*)。
- 3.觀察組成變質岩的礦物種類、大小、形狀及礦物顆粒排列的狀況所顯示

的葉理與線理構造(*planar and linear structure* , 即 *foliation and lineation*)。

D.這些種類的岩石是怎樣排列的？

1.不同岩石種類之間是怎麼樣的接觸關係。

整合接觸、不整合接觸、斷層接觸、侵入接觸。

沈積岩與沈積岩之間：整合、不整合、斷層

沈積岩與火成岩之間：侵入、覆蓋、斷層、不整合

沈積岩與變質岩之間：整合、不整合、斷層

火成岩與火成岩之間：局部性不整合、侵入

火成岩與變質岩之間：侵入、覆蓋

變質岩與變質岩之間：都有可能...

變質沈積岩與變質沈積岩之間

變質沈積岩與變質火成岩之間

變質火成岩與變質火成岩之間

一次變質的沈積岩與多次變質的變質岩之間

一次變質的火成岩與多次變質的變質岩之間

E.觀察露頭中的地質構造：

1.面狀構造：層理構造(層理)(*layering structure*)、沈積層理(*stratification*)、變質葉理(*foliation*)、斷層、褶皺...

2.線狀構造：礦物線理、小褶皺軸線線理

F.以傾斜儀測量層理面、斷層面、斷層磨光面(*slickenside*)、斷層摩擦線(*slicken line*)、褶皺軸面、褶皺軸線的位態(*attitude*)。

面的位態：走向與傾斜(*strike and dip*)。

線的位態：方位與傾伏(*bearing and plunge*)。

G.以文字記錄、照相攝影、素描說明、各式圖表或其它方式將以上之觀察記錄下來。

三、從這個露頭上所收集的資料，嘗試做一個臨時性的假說(*working hypothesis*)，推論這個露頭附近地區的岩石可能的組成與結構。再在附近尋找露頭，驗證你

的假說是否正確。

附錄三

做個探索未知的探險家！

羅 偉

國立台北科技大學資源工程研究所

這是一篇寫給地質學相關科系的同學們，標題是：『做個探索未知的探險家』！

既與同學們互勉，也是我自己長久以來的目標。有人說：西方文明其實就是一部人類掠奪史。由十九世紀至二十世紀初，歐洲的殖民主義與帝國主義向外擴張的情形來看，確實也是如此。在這其間，西方世界有不少的探險家，在世界各地蒐尋珍奇。姑且不論此一行為是否侵害了其他民族的文化遺產，卻也因此造就了幾個世界級著名的博物館，如英國倫敦的大英博物館(*the British Museum*)、美國紐約的自然史博物館(*the Natural History Museum*)以及華盛頓的史密森博物館等(*the Smithsonian Institution*)，對人類瞭解自然提供了不少素材。如瑞典的斯文·海定(*Sven Hedin*)、英國的奧里爾·斯坦因(*Aurel Stein*)曾多次進出塔里木大戈壁，尋訪失落的古城。達爾文(*Charles Darwin*)乘坐小獵犬號航行數萬公里，完成生物學的發現之旅。珍古德(*Jane Goodall*)在非洲岡貝觀察黑猩猩達三十年之久。甚至遠至十五世紀的義大利航海家哥倫布(*Christopher Columbus*)之發現新大陸等。

由於文化思想的差異，或是中國近百年來的爭戰內鬥，少有如此執著於某一特定目標，冒險犯難的人或事。即至今日，四、五十年來安定的生活蘊育出臺灣的

「小龍奇蹟」。膚淺的消費主義與物質化的價值觀已深植在新人類與新新人類的心靈之中。文藝復興以來追尋自我的個人主義，早已蛻變成傲慢自大的自我主義。島國居民雖有條件，也有能力去發掘自然與精神的資源，但卻如中年發福的「彼得潘」，早就失去了理想與純真。雖然也有幾個甘冒危險攀登百岳或喜馬拉雅、半夜三更上玉山觀測海爾鮑普慧星、身著迷彩藏身樹叢偷睽水鳥的人，但更多的是在股票市場追逐財富、在聲色犬馬之處尋求慰藉。

其實臺灣是美麗的，百年來不論西方世界或日本人，在初次踏勘臺灣時多歡呼讚嘆。臺灣豐富的光熱與雨水，使得處處充滿生機。也處處存在驚喜；只是若少了那份探險的心，可能遇而不識，視而不見。

所謂探險，簡而言之就是探索未知。臺灣是一個島國，我們的祖先，無一不是漂洋過海而來的。像蒲公英、棋盤腳樹的種子一樣，隨著風、隨著海流，被帶到這片土地落地生根，經多年的適應與生長，或遍地開花，或茁長成林。按理說我們的血液中，應具備著祖先的海洋性格，開闊豪邁、冒險犯難。可是從我們的社會，我們的學校，卻看不出這些特質。有人說大學是一個社會的良心，是保存理想的地方；一個大學生正值人生的起步階段，此時若只考慮畢業後的就業問題，一味迎合潮流，沒有自己的志向與目標，又怎能期待有所突破創新呢。

或許我們應以做個探求未知的探險家為目標。當然，這並不是要大家去冒險犯難，而是希望你我能以自己的興趣為主，專心一意。美國總統老羅斯福曾說過：「不

畏死，方知有生之價值；生與死，原本就是同樣的冒險」。探險家受人尊敬的不是他們不畏死亡的行為，而是他們執著理想，達成目標的精神。一八九五年，年輕的瑞典探險家斯文·海定帶著四個維吾爾族及八隻駱駝，進入中國新疆的塔里木盆地的大戈壁(西方人稱之為塔克拉馬干沙漠，意為有進無出)，最後只有海定一人生還的完成計劃，並有無數考古學上的發現。達爾文更以一個年方二十二歲，先天就會暈船，課業成績總在及格邊緣打轉的平庸大學生，竟然能以五年的時間，航行數萬公里，採得無數珍奇標本，記錄許多奇聞異事，而逐漸蘊釀成生物學的經典「演化論」。臺灣的劉其偉，以其六十的年紀，由電機工程師轉而學習藝術，再鑽入文化人類學，並以七、八十歲的高齡遠赴婆羅洲與大洋洲等蠻荒地區探險。

這些探險家的事蹟豐富了人類的歷史，他們的成就也累積而成人類的文明。或許我們不需要立下如此的大志向，但是在任何領域中都會有那麼一片天、一片地。

喜愛蝴蝶的，為什麼不自己觀察記錄臺灣或世界某區域的蝴蝶？也許有一天你能出本蝴蝶圖鑑。喜歡登山的，為什麼不將臺灣百岳爬完呢？或許你終將登上你心目中的那座高山。對電腦沉迷的，為什麼不以虛擬實境化身進入晶片世界探險？
搞不好會有什麼驚人的發現。

至於對地質有興趣的，盤古開天闢地的故事都等著你去閱讀呢！做個探索未

知，執著理想的探險家吧。