

的 San Andreas 斷層，土耳其的 North Andreas 斷層每隔數百年即產生大地震；在 Navade 的 Dixie 斷層在某些斷層的區段上，每隔數千至數萬年即產生大地震，但部份斷層則高度活躍但只產生小地震，因此對斷層僅區分為活動與不活動斷層是過於簡單化，且通常是沒有用的。近年來強調的是“活動度”，利用這個參數去達到定量評估的目的。在這種情況下，“全新世”斷層這個名詞常被用在特定時間內於最為活動的斷層。

最近幾年，因為法律上目的，對於活動斷層有許多不同的定義，例如美國原子能委員會定義一可能活動斷層"active fault"在 35000 年曾發生地表破裂的斷層。針對特殊區域像加州即立法禁止建築物建於斷層附近，而他們的活斷層指的是在全新世(10000 年內)曾發生地表破裂的斷層，這些定義或基於法律上的需求，但我們將因法律上需求定義的活斷層與地質上真實的活動性混淆。

證據顯示斷層原來為一些小破裂，通過接續的地震或應變階段而後逐漸加長傳遞。在紐西蘭的 Alpine fault 並不是在一些巨大的歷史地震就活動整個斷層，相反的它被認為是由一些小破裂開始經過很長的地質時間中連結加長成現在 1000 公里的大斷層。這種逐漸增長的現象事實上已被觀察到，在 1968 年南加州的 Borrego 地震與全新世破裂的 Coyote Creek 斷層有關，但在這個斷層的北緣，新的破裂切穿原先未曾破裂的第三紀地層數百英尺，將原先破裂向北延伸更長。

2-3 地震災害評估

也許有一天，於斷層破裂之前的幾個小時或幾天，可由物理先兆的理解對短期的地震有所預測，或許在地震災害的遷移上能扮演一個重要角色，但現今在世界上沒有一個地方能發佈可靠的常規性短期預測做依靠。更進一步的說，即使短期預測最後終能

成功，它仍沒能解決長期計畫的問題，而這些是決定當預期的地震來襲時，結構是否安全的依據。用另一方面類比，即使對一個颶風能做最精確的預測，但若對事件來襲前不能作好有效的準備與預防，災害一樣發生。

類似的情況透過對地震機制的物理干預，像是在一個可預期的時間內誘發一個大地震，或將以累積的應變透過一連串小地震釋放以避免大地震，這一直是令人感到有興趣的長期計畫，但目前仍無法作為實際上地震轉移的技術。

雖然我們仍無法依靠短期預測來預防地震的發生，但我們必須有所認知，初期地震災害評估是對於短期預測的一項努力(嘗試預測在近幾年是否有地震的來襲)。即使如此，任何預測的科學仍涉及許多的未知及缺點。在某種程度上，地震災害的評估類似於長期地震的預測。雖然有公眾的期望及相當少數冒充內行的廣告，但至今仍然沒有一個像食譜般，我們可以完全信任的地震災害評估方法，因此，地震災害評估是一個重要且正在進行的研究領域。

地震災害評估大部分僅持古老的地質格言：均變說，也就是：現在是過去的鑰匙。但對我們的狀況而言則是：過去是未來的鑰匙。也可說是：過去發生的地震過程會以同樣的方式在近期或未來發生。就我們而言，我們將歷史分為歷史時期及史前時期。由地震發生的歷史記錄加上地震儀的記錄，共同構成一個對同一個區域在近期或未來可能發生地震的有用知識課題。明顯的，當歷史記錄及地震儀記錄的資料越多，將更有助於地震災害的評估。史前的地質記錄對於地震災害的評估亦是非常重要的，因為它們跨越的時間較長，因此會有更多有意義的統計資料去對未來做預測。

由所有的統計來看世界上最大的地震災害，都因直接由地震

所導致的地搖 (ground shaking)，最大的顯示為由於地搖時造成的結構損壞。另一方面次級作用像由地搖導致的山崩相較之下比因地震產生的地搖導致更多生命及財產的損失。在中國北部在 1920 年的地震(M=8.7)因地搖引發山崩導致超過 100,000 人死亡。1970 年秘魯的地震(M=7.9)引發巨大的岩屑滑動僅僅在一個城市就造成超過 15,000 人死亡。許多在隱沒帶發生的地震所引發的海嘯所導致的災害遠大於由地震產生的地搖所造成的損害。

事實上地震災害的評估涉及許多不同的領域，但本文將著重於地質相關方面。在此先區分兩個名詞，地震災害(seismic hazard)與地震危險(seismic risk)，hazard 指的是物理現象本身，像地搖、斷層位移及液化等其潛伏著危險。而 risk 是指由於災害(hazard)導致生命或財產損失的可能性。若無生命財產的損失不管地震多大皆沒有危險。像在紐西蘭南部於 1989 發生規模 8.3 的地震，但沒有造成任何損失。相反的在 Agadir, Morocco 於 1960 發生的地震，雖規模僅有 5.5 但卻造成超過 12,000 人死亡。

雖然，地質及地物學家對災害(hazard)是主要貢獻，但另一方面工程師、政府官員也關心 risk 的評估及如何減緩 risk，對災害(hazard)不無貢獻，但顯然的，risk 的評估不能缺少 hazard 的評估，因此團隊的合作對整個社會的發展是必需的。

2-3-1 災害評估的產生

地震災害評估有許多不同的形式，因此導致有許多不同形式的產品。舉例而言，一個高度活動的斷層圖或歷史地震圖就是一種簡單的災害評估結果。結合這些圖及其他參數就可產生災害分區圖，這種圖可描述不同程度的災害。特別的研究常針對一些單獨局部的災害像液化、地震導致的山崩或海嘯等。而以機率形式的災害圖也是一種常見的形式，像地震發生機率圖，超過幾級以上地搖的機率圖等。最廣泛及完全的評估常是針對某些危險結構像大壩、核電廠等，這主要是因民眾有較高興趣且其建築標準也

被要求甚高。對單一工廠即用上千萬經費在進行地震災害的評估，但許多的爭議仍時常發生。特別對大壩與核電廠的地震災害評估，主要是因不確定性仍大。很重要的一點，即使地震災害評估有許多種方式，但常被誤解認為建立一個真實的災害區分圖是每一個災害評估計畫的最終目的。

2-3-2 機率 VS 決定的方法

一個地震災害評估常被認為是決定論的，尤其當論及一個特別的地震或某種程度以上地搖時常被以另一種單獨的參數被使用者考慮時，像規模、位置及最大地表加速度。它通常不特別傾向於是否這些事件也許是“可靠”，使用可靠(credible)這個字提供一些餘地在不需要使用絕對“最差狀況(worse case)”，這種最差狀況指的是物理上可能發生的最差狀況。甚麼是“可靠”甚麼是“最差狀況”常是主觀的判斷就像甚麼是美一樣。

在機率的評估中，另一方面來說數值的機率常被用於在某些特殊時間內，像一個工程的使用年限內，地震的發生機率及其影響程度。對於甚麼是“最差狀況”事件並沒有人嘗試去定義，而僅注重不同規模地震或其影響的機率有多少。這些評估中我們必須知道不僅僅對我們輸入的個別參數中充滿了未知像斷層位移速率，地震規模，而是自然本身充滿了隨機性，這種本身的隨機性給我們一個例子即使我們完全知道一個地震的規模地震距離，並不是所有相同規模的地震皆在相同距離內引發相同的搖動。

針對一個“最差狀況”一個假設性決定論的評估，也許像對一個規模 7.4 的地震發生在向北延伸垂直的走向滑移斷層，將對距離此地震有 15 公里的區域，造成 0.4g 的最大加速度。一個假設性的機率評估將可產生一連串輸出結果，有兩種層次的結果常被提出(1)在未來 30 年的建築結構中，將有 50%的機率其最大加速度超過 0.3g，(2)同樣時間有 5%機率超過 0.6g。這些機率並不需要由單一斷層所決定，反而是包括一些鄰近斷層及不同的參數

有助於決定機率。更進一步的說超過某個 g 值以上的機率也許並不受控於任何一個斷層的一個大地震反而是受控於近 30 年來大量小的事件。

一個機率的評估將從所有相關的地震資料中展示所有的災害或危險性。而決定性的評估通常限於單獨斷層的判斷較傾向於表現“最大可靠度”或“最差狀況”的地震而沒有定量陳述其可能性。因此對一個決定性分析，對一個特別位置的最大地表加速度是與非常局部但相對不活動的斷層因為它很低的滑動速率因此對整體災害或危險的評估機率上也許僅有很小的貢獻。

一個假設性的災害評估通常留給使用者選擇多大災害或危險性必須被考慮，這種選擇典型上是依靠保守期望的程度。一般而言，針對像核電廠之類的重要建築會選擇更多不確定性的地震，相對的對一個垃圾掩埋廠則要求較少。因此這種可接受的危險的觀念在機率災害評估上變得非常重要。

那對一個計畫而言到底是怎樣形式的地震才需要被考慮呢？對一個核電廠而言，人們也許希望其活動週期在 10000 年左右（即每年機率為 10^{-4} ），當活動週期大於此時，在設計電廠時亟需考慮活斷層效應。而對一個垃圾掩埋廠而言，人們考慮的活動週期也許僅有 100 年（即每年機率為 10^{-2} ），這種差異只因即使發生災害，垃圾掩埋廠所導致的影響較小。雖然我們在設計這些較危險性建築時能考慮到可能發生的最大地震災害，但這是一個不切實際的想法，舉例而言，當隕石撞擊地球時，可能產生巨大的災害，且過去每隔數百萬年即發生一次，這種撞擊的災害絕對是可能的，但我們在設計電廠時卻不會考慮此因素，即使實際上它可能遭受此災害。

這種可接受危險性的觀念也許與下面這個問題近似“到底多安全才算安全？”在這裡很重要的一點是這基本上不僅是技術

問題而是一個社會問題，許多科學家及工程師爭辯說不應該僅由他們來回答這個問題而沒有廣泛的社會參與責任的可接受度。

這種決定性災害的評估方法的好處是並不需要顯示與時間有關的參數像斷層活動率或滑動速率等。有一個對它有利的爭辯是這種速率的資料通常是沒有用的特別是那些相對之下較少被研究的區域，因此在此情況下地震或地質學家在針對一個特別的計畫時，決定地震規模有多大或地搖多大程度必須被考慮到時是站在至高無上的角色去做這種判斷。許多的使用者與客戶指出一個地質技術的團隊相較使用者或客戶（地質學家、地震學家及土木工程師）是有較好的條件去判斷甚麼是比較上較適合的標準或執照標準。另一個常被提到或默認的好處是政府政策或危險工廠的老闆他們不想單獨面對這種到底甚麼是適當的可接受性危險這種非常困難甚至政治上有爭議的決定。同時他們有時似乎希望鼓勵人民無知的相信危險幾乎等於零。

另一方面將災害評估加入時間的架構，大部分的機率分析可做有系統的細部分析，再做決定的每一步都可追蹤且回復，不確定性可以很清楚的被確定量化。也許有些個別的判斷者對決定性評估及機率性評估皆持批判的態度，但至少機率分析很清楚的告訴你這些判斷是如何產生的。有時會使用一種稱之為“專家系統”（expert judgment）利用由專家組成的團隊的意見放入一個系統中並將其公式化，同時數學家則做非常細緻的機率分析，這種分析也許會複雜到讓一些非數學家的使用者感到寧可將整個過程更公開明朗化，而不是將一些真實的危險隱藏在重要的假設且將整個的邏輯混淆在似乎是一個數學之霧中。毋庸置疑的機率分析的意圖應被明確其相對性，但有些危險必須被認識到即做出努力克服他們必須將整個過程對於最後使用者變得可以理解。

有時會迷失於決定性分析及機率性分析的爭辯中，但事實上此兩種技術最終皆依賴提供資料輸入時的良好判斷。由一個較有

智慧者所作的簡單的決定性分析也許較那些較不具智慧的專家所組成的軍團所蒐集的意見加上世界上最好的數學家所作的判斷更具真實性。就像 Reiter(1990)所說：科普勒是對的，當他提出地球繞太陽旋轉時，即使其他所有的人都不贊成。以下是 Reiter 對專家系統所作簡要的評斷：

地震災害評估的目的是要對一個實際的問題提供一個實際可行的答案。社會並沒有足夠充裕的時間去等待發現事實真正的答案。在這樣的限制下，毫無選擇地去建立一個必須小心翼翼使用的專家系統，其結果是依靠這些專家及分析的結果，並不能確定他們是用科普勒的眼光看這件事，反而僅是依靠一些庸俗意見，並指望這些分析即使證據都很明確，但仍有其限制之事實。

2-3-3 決定性評估:定義最大地震

決定性災害評估的核心從地球科學家的角度而言即是決定最大地震規模或在後續分析中所需要的地震規模。有時不只一個地震必須被注意；例如像主震震源附近的中度事件，每一個事件都有他工程上的意義。在遠離主震區域，其地表最大加速度愈來愈小。但在一個土壤場址或岸邊，當地搖愈久時則須十分注意。決定性分析方法最好說明的例子即是“最大可靠性地震”的觀念其意義就是在一個區域或一條斷層在現今的構造體系下可能發生的最大地震。對一個地質學家而言很容易明瞭現今構造體系並不容易定義，因此毋庸置疑在面對甚麼是最大可靠性地震時會有許多的爭議，特別是針對公眾注意的危險廠址。

2-3-4 地震資料的使用

Cornell(1968)的古典式地震災害分析主要強調地震資料特別是由儀器所觀測的資料。Gutenberg 及 Richters(1954)已經指出站在世界的角度而言，地震規模與頻率有系統性的關係，簡而言之，大一級地震規模的頻率與次一級地震規模的頻率大約相差十倍，

因此 Gutenberg-Rich 的地震再現關係可由下面這個式子表示

$$\text{Log}N=a-bM$$

N 是在一給定規模(M)下的地震數量

a 與 b 為常數代表地震活動程度小到大事件的比例

N 通常被正交化(normalized)對於一些單位面積或時間(像每年每 1000km²)，而 b 通常被轉化成大約為 1.0。再現週期曲線在最初常引起許多的注意，因為它似乎可以允許外插到較大的地震規模，若這個曲線真的是一條直線那麼我們就可做下列計算，利用幾年內從地震規模 3-6 的地震去描繪出它們的關係，然後外插到地震規模 8，我們就可以估計其再發生的頻率。

甚麼能導致更量化？甚麼能更簡化呢？事實上有許多的陷阱在解釋再發生曲線，有兩個明顯的問題存在(1)這個關係顯示，更大的地震會以較小的頻率形式發生，但實際上它有切斷點，即超過 9.5 級的地震不會發生，不幸的是地震資料本身對這個切斷點在何處發生並沒有提供任何訊息，但對於地震評估而言，較大的地震確是我們所關心的對象。(2)對頻率較低的較大地震做外插時的假設是基於這些資料在統計上代表了一個較長的週期，若存在極大的短暫的地震空隙，則將顯示這個假設是存在極大的問題。除非資料中至少包括兩個最大的地震事件，否則我們怎麼知道統計是有意義的。這點是極其重要的因為若有足夠的資料建立直線的關係，那它就保證了大事件再發生的週期。

另一方面，若資料來源夠長，覆蓋範圍夠大，一個在發生週期曲線也許有其真正預測的價值。但這種分析對大區域而言較為有用，但對於局部區域則並不實用。

一個典型基於再現週期所作的機率災害分析步驟如下，第一步，確定個別區域及地震斷層線源，第二步，基於已有的地震記

錄做出再發生曲線，並給出一個可能發生的最大地震，第三步顯示衰減曲線及相關的不確定性，而後利用計算的最大加速度，此加速度為規模與距離的函數，第四步針對特定區域及特定時間內，將第二及第三步的結果利用數學將其結合給出一條曲線能顯示出在某一個特定時間內，超過給定的最大加速度的機率。很重要的一點必須指出，這種分析不像決定性分析，任何小於最大地震規模的地震皆對災害評估產生影響。特別對較小的加速度而言。另外一點必須要注意的是，僅有在地質資料的輸入是明確給出其範圍及斷層線源，否則沒有資料能顯示斷層活躍的程度，除非從地震資料推論。這種評估最終產物是最大水平加速度在 50 年內，有 90% 的機率不會超過此值。這樣的分析主要作為區域性地震分區圖的基礎，這種圖也常被結合進區域建築法規中，圖是這種圖的另一種例子。由於這種形式的圖主要依靠歷史地震，因此較高地震災害區常隨著時間及再版時愈來愈寬，因為地震總發生在原先不期望發生的區域。另一種也是從再發生曲線所推演出的地震災害圖但加上地質資料，雖然這種技術潛在上有著能分析個別地震構造區的能力，但它與其他方法一樣，都是假定相對較短的記錄能代表長期的趨勢。

2-3-5 地質資料的使用

機率災害分析的主要目的在於決定一個特定區域的某一特定斷層在兩個較大地震間的平均再發生間隔，這種結果當然可以被直接使用於推論在最近的未來再發生相同事件的機率，特別是當我們知道上一次類似事件發生的時間。然而從地質的野外觀察很難有很多史前地震被證實及定年而足夠精確到被提供一個有效的平均長週期再發生間隔，而歷史地震的記錄也不足夠長到做這種決定，特別是對一個人們關心的較大事件之災害分析。但不同的是，地質學家提供的是一個斷層的長期滑動速率，滑動速率的計算是以有足夠的時間間隔去包含幾個特性地震。

理想上斷層滑動速率透過簡單的代數關係可被轉化成再發生間隔(Time interval of reoccurrence, TR)；

$$TR=D/V$$

TR 是平均再發生間隔

D 是每個事件平均滑移量

V 是長期的滑動速率

然而有幾個重要的假設存在這個看起來很直接的關係中。而這些假設都有爭議，(1)它假設特性斷層的模式，即有類似大小的最大規模地震。(2)它假設D可被從特性斷層規模中得到，一個適當的規模被歸因於這些事件，且它假設斷層規模與斷層位移之間是一種單值關係；(3)它假設所有的地表滑移皆是特性斷層的表現，且沒有較小滑移；(4)它假設彈性回跳的基本教義，地震假設會週期性發生當應變規模達到時。

2-3-6 警告性的結論

地震災害的評估基本上是一種預測的科學，即預測未來地震發生的可能性及影響。任何這種嘗試都充滿了使用模式中包含大量的不確定性的危險，甚至這些不確定性也許遠超過我們過去所認知的，溯源回彈性回跳理論建立的時間，這種破裂模式的建立是基於應變會系統性累積，應變的釋放與時間有關且會在地震發生時突然釋放這種簡單的概念，但最近對大地震詳細研究顯示，利用新一代的地震儀最近已經證實破裂過程的複雜性遠超過我們曾面對的，每一個地震都與其他地震的差異性也遠超過我們的想像。特別是每個斷層的摩擦阻力的物理性質仍然充滿了未知，也許一些混沌(Chaos)理論的概念更適合於簡單的與時間有關模型。且即是破裂的物理過程我們完全了解了，斷層在地下的地質複雜性，特別是逆斷層區域也遠超過我們想像的。

但這些並不意味我們現在的災害評估是沒有意義的，而是建議我們對評估結果的信心不要過度計算。就像地震災害分區圖會隨著大地震的發生愈來愈大，地震複雜性愈來愈增加時也提醒我們也許對存在模式的信心也過度估計了，這個警告式的結論是我們必須對災害評估結果更保守，特別是那些發生危險時會造成重大傷亡的危險結構的評估，當然增進地震災害評估的量化及其真實性與可用性仍然充滿了挑戰。

2-4 遠距教學

2-4-1 建構主義學習理論

Simons (1993) 指出建構的學習具有六個核心的特徵：(1) 主動的；(2) 建構的；(3) 累積的；(4) 目標導向的；(5) 對話的；(6) 省思的。而 Kintsch (1993) 指出在建構主義的觀點中，教學設計應該尋求新的方法，以鼓勵和支持學習者自己去嘗試新知識的解釋、重新建構和使用。因此，在建構主義的理論架構下，進行教學設計時應該特別注意四點：

建立適合發展合作關係的學習環境，使學習找出透過同儕間的討論而得到知識的真正意義。

設計出符合學習者真實世界範例與問題的學習任務。

設計可適用於各種內容學習工具，以便教師發展教學內容。

設計學習訊息，且必須具彈性，能適應學習者的需求。

2-4-2 遠距合作學習環境

遠距學習中有三種重要的互動型式：1. 學習者和教學內容的互動、2. 學習者和教學教材的互動、3. 學習者之間的互動。傳統的電腦輔助學習通常只能顧及第一種互動，如果一個遠距教學環境只能做到在遠端取得教材，就仍然侷限於此種形式。以電腦網路