

認識脆弱度(vulnerability)的意義

◎林業試驗所森林經營組·謝漢欽(mickey@tfri.gov.tw)、潘巍中

在全球變遷與永續發展的熱門課題下，為評估氣候變遷、以及各類廣域尺度的災害引起的人類危害程度，以系統科學為出發之脆弱度進行量化評估，早已成為關注的焦點，過往各學科領域依其自身定義進行研究，難以達成共識。因此本文基於通用系統理論，以文獻回顧方式，深入淺出地介紹這個詞的學術意義，加以澄清，期望不同領域間進行溝通時可以取得較一致性的內涵，供學術研究上的參酌。

定義擾動、衝擊、壓力及危害

Turner 2003年提出危害(hazard)或稱之為衝擊，將其定義為系統運作時超出系統參數正常變動範圍的應力(pressure)的高波峰值，例如一颶風通常發生在於系統外部。另外壓力(stress)是指一個持續或緩慢增加的應力，例如土壤退化，通常尚可維持在系統變數的正常範圍內。但壓力經常於系統內部產生，其壓力源常存在於系統之中。因而本文將擾動定義成與系統本身以及與誘導系統產生巨大轉移、具有潛在互動之快速外在或緩慢內在的過程。

擾動(perturbation)通常被假定為存在於系統的外部，不管是社會還是生態系統的存續，都需要與外在環境持續交換物質、能源與資訊。這些過程可能會改變系統周圍的環境，引發個別系統功能或結構的修改，例如地震對附近人口的影響、或致病菌於個人周圍環境的傳播。另外也有來自於內部變遷的結果，例如內戰對一國家的衝擊、基因疾病引起的個人病徵；或者來自於外在和內在程

序之交互作用，譬如在一國之中因長久的乾旱與導致內部的衝突等。

Young於2005年對環境和資源對於一個機構的影響進行論述，指出壓力的來源可以來自內部及外部或者兩者。有學者明確說明系統的危害來自於外部和內部的擾動，也指出來自系統內部擾動的存在事實。另外是否視為外部或內部環境，則取決於被定義的系統尺度而定，例如對地震、颶風、或是全球經濟危機，很明顯屬於全球的尺度；但對於一個社會—生態系統(social-ecological system；SES)則視為內部擾動，相對一些如村落的小系統，則明顯是個外部擾動。

系統的變遷或轉移

變遷(change)在此是指系統遭受了傷害或損害，然而Gallopin 2003年在脆弱度概念的系統分析基礎上提出了一個不同的解釋，說明脆弱度並不總是負面呈現。例如將一個特定的社群從長期貧困或壓迫政權中解放，可導致變遷往有利的方向變遷。例如一個機構的危機如何演變為利於改革的良機，即便是一個危險的事件也可能是轉機，變為具建設性的結果。

另一個關於變遷或轉移(transformation)的概念，本文是指其深度與規模。如果一系統受到很難被歸屬為轉移或是損害，其影響僅處於一些短暫不足道的變化就很難被稱為一個脆弱的系統；然而系統的變化範圍可以包含從某些系統行為變數的變異狀態到系統結構的根本變遷。此外應注意的是，脆弱度與韌性的主要差異在於脆弱度是指系統維持本身結構

的能力，相對地韌性則指一個動態系統從非結構性變化中進行恢復的能力。然而實務上脆弱度難以調查整個系統，要決定一個變遷屬於行為上或結構上並不是一個簡單的事。

甚麼是脆弱度？

Adger等於2006年指出脆弱度觀念為多個不同領域研究所普遍採用的研究方法，雖然依照不同研究領域，可專門應用於研究生態系、自然系統、社會子系統、或生物物理子系統，以及彼此間相互影響的狀況。其中相互配對的SES特別令人矚目。而本文所稱的SES定義乃是Gallopín等2001年指出是永續發展研究的系統分析的單元，當作一個社會的或人類次系統及生態或生物物理的次系統兩者互相交互影響。從地方社區涉及本身周邊的環境到由全部人類到人類圈(anthroposphere)與生態圈(ecosphere)所組成的全球系統尺度。兩個子系統雖然可以分別獨立進行研究，但應視為不可分割的系統，應一併考慮進行研究。

他回顧了社會與自然科學脆弱度方法的演變，總結了其最常被概念化的4個主要組成要素，這些要素包括暴露於擾動或外在壓力下、對於擾動的敏感性(sensitivity)、以及系統的適應能力(capacity of adapt)。脆弱度通常視為某特定衝擊加諸於系統的擾動，一個系統對特定干擾呈現出脆弱現象，但這並不代表對其他系統亦是如此。有兩個被廣為接受的觀點是：1.擾動對系統造成影響具有多尺度特質；2.事實上大多數SES通常會暴露於多個會互相影響的擾動下。另外脆弱度也被視為對於危害的易致災程度，或是系統面對擾動時變遷或轉移的潛勢，而並不在乎系統面對擾

動時產出後果，其與韌性(resilience)及適應能力之間有相當的關聯且較易於量化操作。

敏感性

Adger 2006年定義敏感性為系統在不用受到長期傷害或其他明顯的狀態變遷下能吸收衝擊的程度。有學者認為敏感性不能與暴露分開來談，並指出敏感性是系統對外部擾動所產生回應的程度，包括了系統抗拒變遷、並在壓力被移除後能恢復到先前狀態的能力，而這些元素通常與韌性或處理能力產生關連。另外IPCC於2001年針對氣候變遷，指出敏感性是系統被氣候事件引起的刺激所產生影響的程度，姑且不論其影響是有益或有害。

另有學者指出敏感性是系統受多個外在或內在干擾所修改或影響的程度，能夠以經歷干擾後的變化量單位來量測。但一般情況只能在特選之單一因子下，導出系統是否對此干擾具有敏感性。敏感性則是SES的固有屬性，其與反應能力(capacity of response)應有明顯區分，實際上系統的轉移可能較小，因而可依照系統的反應能力大小出現不同結果。所以敏感性是一個系統的必要屬性，在擾動之前就已存在於系統內。

反應能力

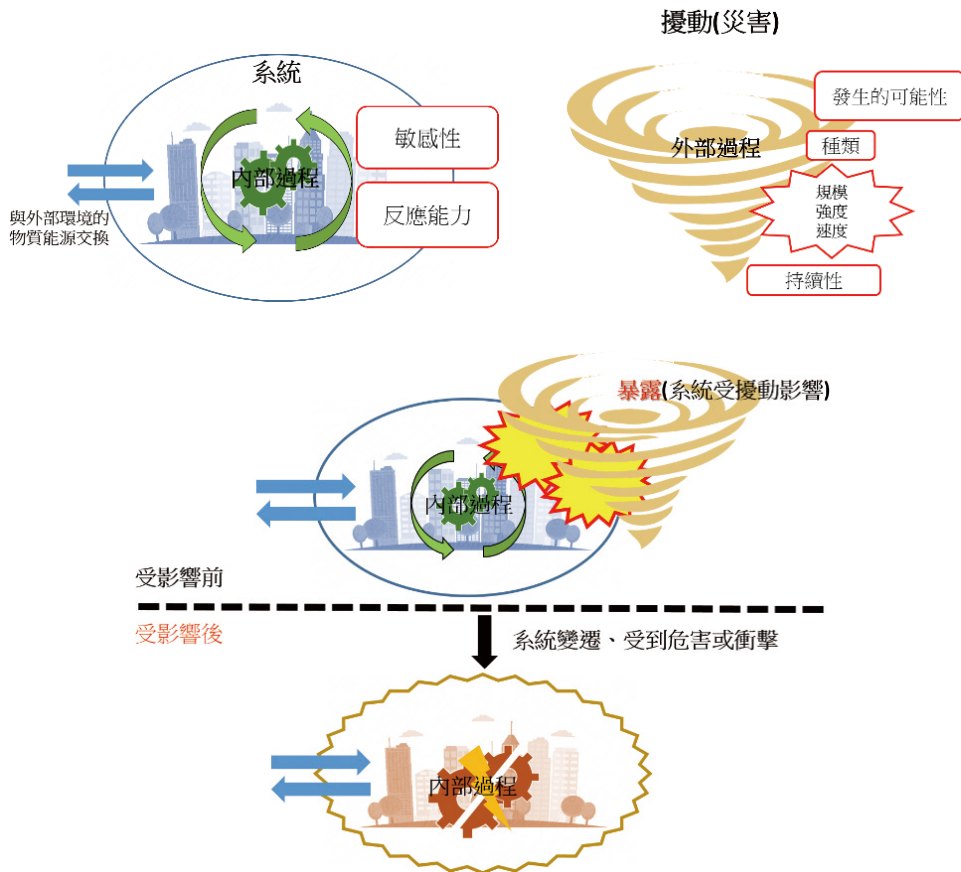
IPCC 2006年將系統的處理能力(coping capacity)、反應能力、及適應能力(adaptive capacity)視為同義。但有學者將適應性能力區分為處理及反應的能力兩者，將適應稱之為系統在反應後結構的重組。有學者將處理能力稱為較短暫或是系統剛好能夠維持的能力；而將適應能力使用於較長期的應對能

力，以及更有持續性的調整能力。總結本文的反應能力是指系統面對干擾能調整、減輕潛在自身的損害、以及能適時掌握機會、並處理變遷後果之能力，而反應能力也是在擾動之前就已存在於系統內的重要屬性。

暴露

暴露是指系統與擾動接觸後，由擾動的深度、規模與持續時間所制約。在估算中被視

為構成脆弱度的重要元素；然而Bohle 2001年對暴露定義為脆弱度系統的外部屬性，系統對擾動的處理能力則屬於內部屬性。暴露與敏感性和反應能力不同，視為接近系統與擾動相互關聯性的屬性。研究指出暴露非為脆弱度的屬性，只將脆弱度當作系統敏感性、反應能力，以及轉移的函數。有關擾動屬性與系統暴露於擾動的關聯如下圖所示。



系統面對擾動時的暴露及敏感性、相互演變的關係。當時間由上往下移，左上圖系統以橢圓形圖案表示，用雙向箭頭代表系統與外在環境的物質和能量交換，而內部的齒輪表示系統內正常運行的過程。脆弱度屬性以方框標示，係指系統本身的敏感性和反應能力。右上圖表達自系統外部的擾動及其屬性。下圖由上圖兩者相互重疊接觸，表示系統暴露於擾動過程的影響；且系統的衝擊或變遷，由下方變形的齒輪代表受擾動後系統內部過程的狀態。(修改引用自Gallopín,2003)。(潘巍中 製圖提供)

另有看法指出系統可能對當前的擾動呈現非常脆弱，在無暴露於擾動下，系統將能繼續保持下去。就如一免疫系統較差的人，無論其是否暴露於易傳染媒介下，他對於疾病感染是脆弱的。因此暴露可歸為脆弱度的一個性質，當一個系統並未暴露於擾動下，被定義為不是脆弱的；然而一個擁有低免疫力的人若長期處於無菌環境下，其對感染性疾病則談不上是脆弱的。

是否選擇暴露當作脆弱度的一個屬性，將會形成兩種不同的結果，如將脆弱度視為系統與擾動和環境關係中的一部分，例如運用脆弱度的相關指數或地圖特徵等資料，作情境分析時則需要考慮到全部可能組合的情境。而當分析多個可替代的氣候情境時，系統暴露的分布變化將隨著不同情境設定而改變。

如果暴露是不包含在脆弱度內，儘管脆弱度當作系統暴露於擾動之下，此時雖然脆弱度經常與系統在過去歷史所經歷過的擾動有所連結，仍可視為獨立於擾動的一個系統內屬性。如果不同系統的脆弱度可以依其敏感性與反應能力的特徵，則其對特定擾動的暴露程度將可以單獨決定；因而系統變遷後的產出或損害，也可以透過上述兩者的組成來量測。以氣候變遷為例，則僅需要標示脆弱度分布的地圖，也可使用不同的氣候模式或預設之情境建立可替代的暴露地圖。以上兩種情形顯有差別，但皆有將暴露的定義通用化的可能。

實務的例子

敏感性、反應能力、以及暴露的實務的差異說明如下：就敏感性而言，針對受害對

象進行說明：例如洪水對一個社群的影響，不堅固的房屋受到洪水衝擊的影響會更敏感。一個區域族群中屬於幼兒與老人族群受傳染性疾病擴散，被感染的機會，相較於其他年齡層將更為嚴重，具有較高的敏感性。就暴露而言係針對外力，就如破舊的房屋往往位於最容易受到洪水影響的區域。就擾動而言，係指洪水最後一次受到衝擊的強度、規模和持續性。就反應能力大小而言；擁有最多資源的家庭會有更多的能力修復洪水的災害。當整個系統中接觸到病原體的機會視為一個較為平均的暴露型態時，中高收入族群通常可獲得更好的醫療服務和藥物，因而具有較高的反應能力。☢

(參考文獻請洽作者)