

第七場 『奈米科學與工程運用之媒介—

多尺度力學』(2007年4月8日)

國立高雄應用科技大學機械工程系 陳伽達 紀錄整理

主持人：國立中山大學 機械與機電工程學系(所) 邱源成 主任



熱愛科學知識的朋友大家早，非常榮幸能夠代表科工館，歡迎林教授來為我們在這一小時半的時間講解有關於今天的主題『奈米科學與工程運用之媒介—多尺度力學』，這方面內容是介紹混沌、碎形幾何…等相關問題，在這演講中有許多專有名詞比較難理解，相信在林教授詳細剖析之下，對目前奈米科技方面的專有名詞能夠更加了解。

林教授在成功大學畢業後，到美國哥倫比亞大學就讀碩士跟博士，從民國七十五年返台至成功大學機械系任教，歷任副教授升至教授後已經有十六年時間，是一位相當資深的教授。林教授的專長在於奈米科技、奈米磨潤、超精密加工及高溫氧化…等相當多的領域，到現在為止發表過國際知名期刊也將近一百篇，在這領域裡是個名符其實稱為大師級的人物，而且林教授在科學研究方面榮獲三次傑出獎，也是國科會內的特約研究員，林教授所做的一切事情受到國家的肯定，當然還有對其他社會服務方面相當熱心；以教育部來說，擔任過學術審查委員，也就是如果大專院校的老師要升等，他有權利審查大專的老師；在國科會方面也是學問的召集人及各種研究計畫的審查委員，所以說明了人的偉大能夠主導國家科技的發展。

感謝大家抽空來聆聽演講，如果大家有問題能夠多多發問，也能趁機會互相交流學到一些東西，在現在就歡迎我的好朋友林仁輝教授來為我們演講。

主講人：國立成功大學 奈米科技暨微系統工程研究所/機械工程學系

林仁輝 所長/講座教授



郭東義教務長、各位老師、來賓，大家好！剛剛主持人把我描述像神一樣，其實邱教授也是真正大師級的人物，他做事非常認真，邱教授是我敬佩的學術學者。有許多東西對我來講感覺自己很渺小，我並不是那麼多偉大，今天來將為各位報告是我的榮幸，在演講中有一些新的名詞涉及專業的東西，但我認為不要從專業的眼光來看，我希望能用簡單的角度來思考大自然的現象，如果大自

然的現象能把它應用到科技裡面，那就會產生一些效應存在，其實對象並不侷限在科學方面，也能應用在社會或人文方面，一樣有這種現象出現。孔子說過一句話：「舉一反三」，你如何把簡單的道理理解後應用在自己領域內，你會發覺大自然很複雜的現象是非常有趣且多元化，所以如何在複雜的裡面找到一個序，而這序能夠給他定量的時候，你會發覺複雜的現象會非常多元及多變化，這社會就是非常多元及多變化的社會。

今天我要演講就是奈米科學與工程運用之媒介，這媒介並不是只能用在力學，我只是把它應用在力學上面，其他領域方面也是能夠有相同道理。首先從奈米科技說起，一般奈米科技是以物理的觀點來建立，也就是利用量子力學來建構的奈米科技，是從原子與分子慢慢地建構出來，所以他的行為來講，原子與原子都是個別獨立的單位，但是在工程方面你看到的任何結構或物體，它裡面所含有的原子跟分子是遠遠地像天文數字(10^9 至 10^{20} 次方)那麼大的數量，各位在觀察水滴的構造時，假使利用水滴(H_2O)來計算它的分子，它所含有的分子可能是上百億的數目。而在奈米部份是利用少數的原子行為，物理學家把它建立非常完整，奈米科技有什麼好處是能夠看到原子最原始的行為，這原始的行為讓我們將來能夠控制原子跟分子上面有一個準則，我們的精密度就能大大提升，包含材料、機械、光、電…等精密度都是如此，你了解的理論就能夠控制它，但是問題是他建構模型是用少數原子來建立，而我們工程上來講它原子的數目多的你會嚇一跳，原子的數目可能有 10^{40-50} 次方，於是我要應用到工程方面的時候，雖然能夠提昇我們精密度，但是我們要如何提升？如何從少數原子的行為推論到多數原子的行為？

基本上，少數原子的行為至多數原子的行為並不是呈現線性行為，也就是他少數原子的行為不是直接乘以他的倍數或體積，於是我們找到從少數的量推導至多數量的狀況下，到底有沒有模型來計算？或許你會想利用電腦來幫我們運算，我跟各位提到過，奈米科技你在原子級計算就很耗時間，那你要用電腦來運算大量原子或分子的行為，我們答案絕對不可能成功，例如：我們普通的電腦能夠計算的分子數量，百萬級原子就要用平行電腦；千萬個原子就要用大量的平行超級電腦計算，如果你有幾十億或幾百億的原子，那你如何利用電腦來計算？我們的答案這條絕對是一條死路，所以很重要就是能夠找到一條路，把少數原子的行為透過所謂的媒介應用到工程上面。

中國有句成語「見微知著」，以我們現在來說，「微」大約是 10^{-10}m 至 10^{-9}m ，而一顆原子的大小大約 10^{-10}m ；工程運用的精度等級較差的時候大約 10^{-5}m ，現在比較高的精度大約至 10^{-7}m ，從這我們觀察出「微」跟「著」之間就有間隙的空間，「微」跟「著」尺度上的差異(最小除以最大)，最小也有 10^{-5}m 除以最大 10^{-10}m 就有長度尺寸上差異，因為顆粒是利用體積來計算，你就必須要再立方 $(10^{-5}\text{m}/10^{-10}\text{m})^3$ ，你會發覺工程的尺度跟奈米的尺度就相差 10^{-15} 次方，而 10^{-15} 次方的原子假使要計算你會發覺，我們投胎好幾輩子都很難去計算出來，而且還是利用大型電腦來計算，事實上是不可行的，或許我們可以將「微」跟「著」的行為透過數學模型才再建構他的媒介，得到微觀的行為後，透過媒介運用在巨觀工程上的行為，這樣我們就能夠利用了。

所以「微」是奈米級(Nano scale)的尺度，「著」是微米級(Micro scale) 10^{-6}m 次方尺度，在這我必須也說明，因為我是利用「見微知著」這句成語，「微」在這現代表示奈米，而「著」在這等級已經相當顯眼，表示微米級精度。那我們在計算時候，微米大多是利用分子動力學來計算，例如我們實驗室來計算三十幾萬顆原子就要算很久，即使是非常小的點，它所含有的質量遠遠地比幾十萬大的多，在這情況你完全利用分子動力學來計算，你會發現非常的困難且幾乎不可能達成。以工程上來計算的方式，譬如：有限元素法、有限差分法及各式的數值分析…等都能夠利用，但是很要命的事情，這些方法在建構時，它是利用連體的概念。這有趣的地方，當物體在看小的時候，它的行為不是連續性的，就是屬於奈米級的行為；那把它視為較大的時候，就會變為連體的行為，所以在這情況下是有差距的，那我們很希望就是在微觀時候能夠知道它微小的行為，然後去控制它，這樣我就能得到我想要的精密度。於是想利用微觀方式應用在巨觀，而巨觀的有限元素法、有限差分法是無法預測分子與分子之間的行為，所以各有好處，它能解決很大的物體，但是非常精確地局部性物體它沒辦法預測，它是以微觀來看能夠觀察到微觀行為，結果它卻無法真實地反應出工程上的行為。在這情況之下，我們介入一個介觀(Meso scale)，就是建立一個模型把「微」跟「著」串接起來，這種串接工作就像是在兩座山之間的河谷搭建一座橋梁，這座橋在這裡就是稱為「介觀」。

介觀就是利用多尺度的概念，利用多尺度模型及碎形模型來放大，多尺度模型是第一度放大；碎形模型第二度放大，就是利用很多尺度透過幾度的放大方式，把「微」跟「著」連結起來。在多尺度模型等一下我會秀出結果，但是這比較低 CADD，目前現在加州柏克萊大學、美國西芬大學、清華大學及成功大學都有在做這研究，另外碎形模型是第二尺度放大，這兩種尺度我們要如何連結起來。

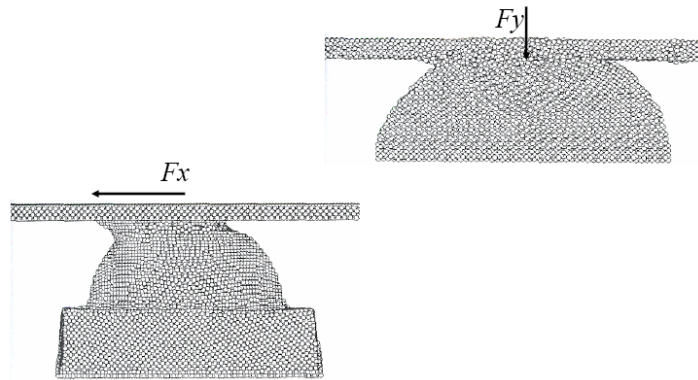
首先，多尺度模型也就是介觀的多尺度力學，它的目的提供一個很好的工具，把原子級的一些行為跟很大尺度的結構行為把它連結，也提供了建構的橋樑工具，在理論計算通常是以奈米在運算，分子或原子在交互作用是利用理論來建構，但是建構的數量非常少；但是以實驗來講，反應出來的數量是很大數目的原子行為，於是你要理論跟實驗做應證，證明你理論是對的，就必須利用到多尺度力學，所以它提供很好的橋樑將兩種連結一起。

這部份有很多奈米科技問我說：「奈米技術是不是做的東西很小？」不是，奈米科技在我們任何機械、電機、材料…等都應用的上。各位想到都是材料會不會只用到幾顆原子而已？不會，但是你會希望原子能夠少到原子能夠控制它的運動、物理或化學性質，它的行為就跟巨大的數量不太一樣，所以國內來講，很需要提升機械、電機的精密度，這樣的提升就必須了解奈米尺度的行為，然後利用多尺度力學把它推論到工程上，因為在工程上設計的時候，我需要的不是定性而是定量，這量是非常的小，但是準確度一定要高，這樣就有辦法做成定量，這樣多尺度的概念就開始被注意到，原子級的尺度現在被用於分子動力學來模擬，主要是模擬原子之間的交互作用力，這作用力通常是利用未知函數來描述，不同材料就使用不同的未知函數來計算，在這些計算的數量一千萬顆就算很多，這就是原子級的模型。

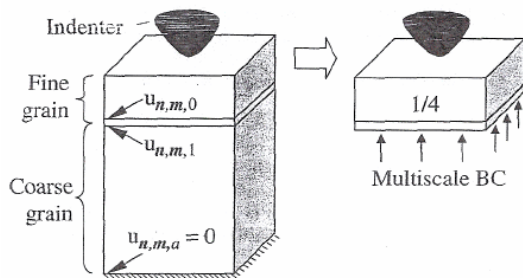
但是他有一定的限制，用原子級的模型分子動力學的行為時候，我們馬上面臨很大的問題，第一是長度的尺度，長度尺度我跟說明過，一個結構(例如：1m)就含有許多原子，即使電腦計算技術夠快，因為數量太大這計算是很困難；第二是時間的尺度，我們在計算大量的數據的時候，在理論值會出現收斂，假使不收斂就會發散，這值發散就無法獲得數據。而數據在收斂時候每一段的時間，每次間隔只能算到 10^{-14} 秒，假使你要算一秒的行為，那可能就要好幾時代才能算出來，從這我們能觀察出，它在計算時，時間步階與數量計算上都受到極大限制，這就是分子動力學觀察微觀尺度很有辦法，它用在大量的尺度上面就無法施展。所以現在奈米到現在還沒有科技，原因很簡單，假使你想奈米直接應用在科技上，它所轉換的時間到底需要花費多少，也許台灣人比較心急，一下子想用奈米來製造產品，事實上奈米很多的行為還無法轉換到工程上的定量，無法定量就無法控制它，這是很實際的問題。

接下來是我的實驗室所做的實驗，這平板下有一個粗糙峰，我們將它放大後，之前看起來平坦的表面，但是原子力顯微鏡下觀察後，到處高低不平的鋒面，而平板和粗糙峰接觸後，我們要觀察接觸間發生什麼行為，在不同溼度、靜電荷、溫度之下，接觸的行為就完全不一樣，於是就利用分子動力學去計算，包括平板及粗糙峰兩個使用三十多萬原子來計算，即使這粗糙峰表面像鏡子一樣光滑的表面，它的粗糙峰在我們原子力顯微鏡下去劃分，遠遠比三十多萬顆原子還要多，所以我能夠觀察這些微觀現象，但是這現象與我實際在用的時候卻用不上去，其實這些數量是在非常少之下所反應出來，當你體積變大時，不能直接乘以的數量的比，因為它不成線性而是非線性關係，非線性的值到底多少？這就是分子動力學他在計算的時候所出現的問題，所以在多尺度上我們要如何變化？我們在局部關鍵的地方，我就用原子或分子，但是遠離的地方就用連體的概念(有限元素、有限差分法)，因為有限元素、有限差分法的網格，它裡面所含的原子數量就很大，而我遠離點就用比較大的網格將它們連體在一起，在比較小或關鍵的地方就利用原子來計算。又產生一些問題，一個原子跟一個網格之間的接觸就差 10^{-8} ~ 10^{-9} 次方，這情況之下，你如何將

那麼大的元素結合起來，這就是我們要探討的第一次多尺度力學建立的工作，把原子與網格建出一座橋樑。



為，所以我們就採取少量東西，用一個橋樑把它包括進來，像是兩翼薄膜的硬度，楊氏模數…等很多其他性質，利用壓子來壓它，表面可能是薄膜或者是塊材，我在壓的附近用原子的階段，遠離的地方就用比較粗糙的有限元素法來計算，就分成原子級跟有限元素兩個層面，而中間要如何銜接過去？大家想一下這問題：水在達到0度時候會不會結冰？我們發現並不會全部結冰，有些地方有水，有些則是結冰，液態的水跟固態的冰之間就是一個過渡期；同理，原子與其它大的原子要如何建立過渡期？形式上來說，我們必須做一個動作，在這階段就設計很多的數學，這就是我們所謂第一度尺度的放大，當你的過渡期建構完以後，我在計算原子的數量就少很多，大部分都用有限元素法，現在軟體都有將它們結合在一起，工程上的問題就可以解決，這時候你的精密度就能受到控制，這就是我們所謂第一度尺度的放大。



第二度放大就是我們的碎形幾何，Benoit B. Mandelbrot 是碎形的創始人後來逃難到美國，成為美國中央科學院的院士，他思考到一個問題利用數學方式來描述碎形幾何，他的基本概念就是自然界有許多複雜的現象，就好像你下班後滿街都是車子，人也走車子也走，但是發覺人在走與車的時候並不撞在一起，在亂中卻有個序，而這序用在很多地方，例如：流體在發生擾流、如果你帶著家人走這海岸線，你會發現事實上海岸線是曲曲折折、我們的天氣：雲每一個瞬間都在變化、還有在第四台播放的股市，每一個股和當天的股都是操作的變化，這些變化還有全球物價都是不規則的變化，這不規則現象有沒有辦法從亂中找到一個序，他就是研究這問題，剛開始就是從股市這邊來的，以美國股市來講，股票是跟他的利率和貨幣發行量有直接的關係，所以他想利用碎形的概念，了解所謂的亂裡找到一個序，能不能表示出來，答案當然是可以，所以他就是做這工作，在華盛頓的一個研究所思考一個問題，可不可是用來做股票價格的操作，而他得到的結論是你能夠看很多的市場股市，

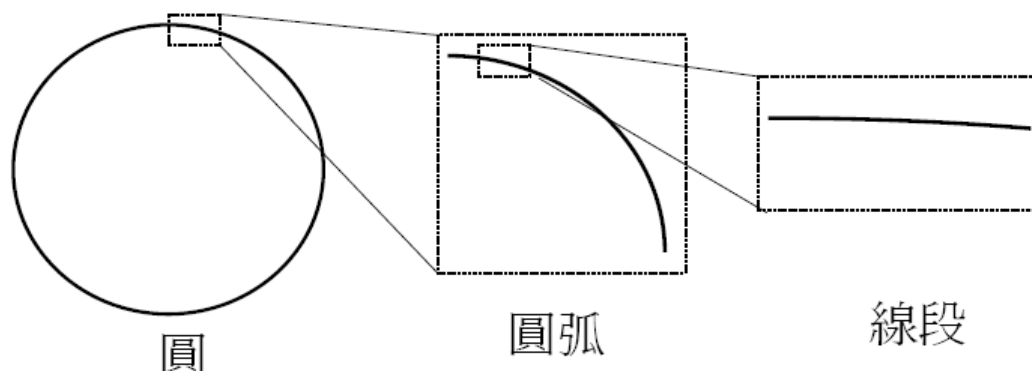
你會發覺整個股票市場或每一個股都有一個自相似，每隔一個間隔或週期就會有一個行為跑出來，在世界任何國家，當然在台灣有人為操作比較困難發現這規律，但以股票正常的過家，股票在亂裡面會顯現出它的序，就從它的曲線來看會有所謂的自相似，自相似如果你找到了亂中有的序，就有數學裡的值，這值就能夠讓你去預測，所以 Mandelbrot 就說自然界有這自相似的行為所造成，自相似可以描繪自然界圖形的有效辦法，樹葉、動物為什麼長的都不太一樣，是如何長出來的？各位能夠發現，你可以把樹的成長過程用一個數學來描述，結果數學描述的方法跟用照相機照出來的相片幾乎很像，所以亂中找到一個序，可以用在各式各樣的問題上面。

碎形(Fractal)具有破碎和不規則的含義，也許大自然很多東西或許很亂，看到石頭等各式的景觀，都是由很亂的幾何形狀所構成，我們有沒有能夠用數學來描述它？是有的，像具有碎形的大自然現象是海岸線、樹枝及樹葉、山脈、星系分佈、雲朵、高分子聚合物、肺部支氣管、地表土壤滲水結構、加工後的表面粗糙度、股票市場都是很亂的結構，是否找到一個序出來，那我們能夠數學來描述複雜現象？在過去來說你會搖頭的說：「不可能」，但事實上我們發現碎形幾何能夠提供給你方法來處理，而且更重要的他能夠預測(我看各位眼睛都亮了)，我們把股票運用上去，我能夠推測這股票，當時投資人的心態，來做這投機的工作，這情況來講越亂的東西，反應當時的動態行為，我們統計學沒有這樣功能，統計是你當時收集的資料，根據資料來做的運算，但是碎形不是，他除了做統計功能還能有預測功能，為什麼能預測？

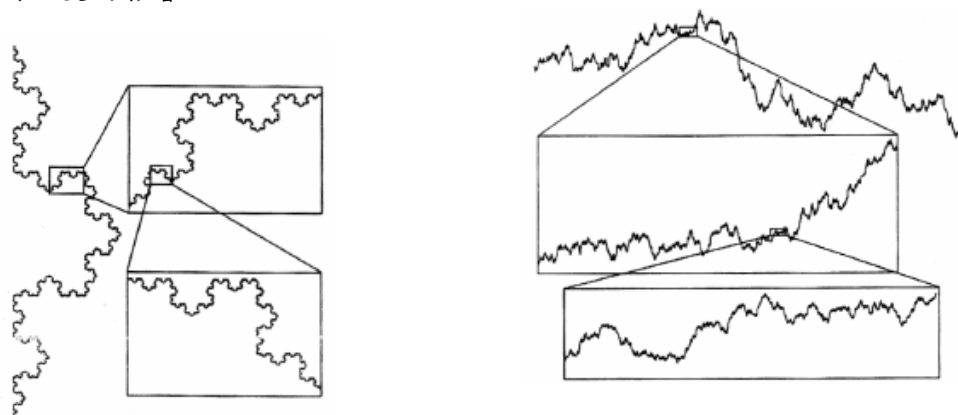
碎形幾何是由複雜的圖案構成的圖案，一個複雜對象看起來很像雜亂無章，其實他有一個自相似，等一下你就會發現很有趣。自相似當我們看問題的時候，是跟尺度無任何關聯，例如：我們沿海岸線在走的時候，你會發現海岸彎彎曲曲地，當你到一百公尺來看海岸線，海岸線跟地面看到的海岸線是不一樣的，如果你在提升到五百公尺來看，他的長度跟你地面量的長度又不一樣，證明你用不同的尺度看同樣物體的時候，它的周長是不會一樣大的，但是你會發覺在不同尺度看的所謂的長度是不一樣，但是有一個參變數是不會改變的，這不會變的參變數就因為我們大自然有的自相似的概念，這是很奇怪的，上天造物亂中有一個自相似，這自相似用數學來描述的時候，我就會找到碎形幾何的維數(1 維、2 維及 3 維)，我們現在說的碎形維數並不是整數。

什麼是無標度性或自相似性？一個圖像經過放大或縮小，它具有形態、複雜程度、不規則性等「統計」意義上不發生變化的特性，這些就是所謂的自相似。你在不同組織下你會發覺某一變數不變，大尺度跟小尺度得到的參變數都一樣的值，那你就要高興，我們能夠從小的物質預測到大，從大預測到小，就是靠參變數當作媒介，這就是跟尺度無關的效應為無標度性。一個對象的局部與整體在形狀、結構或功能等方面成比例縮小，例如；5 個原子的行為跟 50 億原子的行為當然不會一樣，在轉換你不能直接用體積來轉換，他並非成線性，不能你體積放大 50 倍，行為就放大 50 倍，而要放大就是剛探討的是大家共用的無標度參變數是什麼，將它找出來就能利用關係來推論，我們看過去的碎形幾何跟一般的規則幾何，一般的規則幾何就是

是有一定的特徵尺度，不同的特徵尺度會顯現不同的特徵圖案。



如圖中圓的圖形，但是我們看局部的圖形是一個圓弧，而在從圓弧看局部圖形發現是一條線，這就是各位熟悉的幾何概念，這種幾何概念很麻煩，不同尺度在看東西時候，在大尺度判斷是個圓，而在小尺度看到的卻是條線，事實上這線也是圓的一部份，所以變成你用這概念去思考的話，你會發覺不同尺度的值會得到不一樣，時事上我們學到的幾何就是用這概念在建構，這就會讓你誤導在不同尺度下思考不對的問題，你看比較大的東西，可能只是一小部份其中放大圖，你就會被他誤導，就是受到尺度的影響。

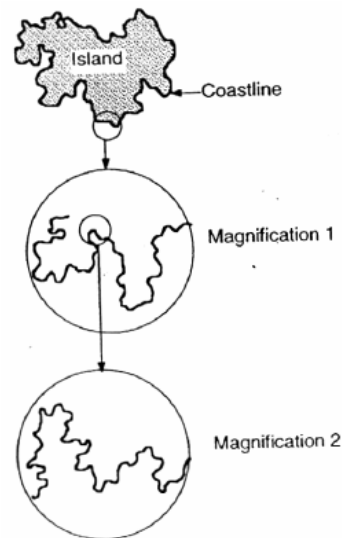


以碎形來講，它不會有這行為，所以我就能夠做這預測，接下來如圖來看碎形幾何，我將碎面局部的放大，雖然這形狀與最初碎面不太一樣，但是兩邊所統計的量有某些參變值是相同的，再做一次局部放大後，你就發覺形狀就是不一樣但是這些數量的統計值與最初的參變數完全一樣；上圖中像是我們粗糙度或是我們的海岸線，我們將它放大後，這行為與統計上的數量跟他祖先的圖是一樣，有血緣關係也就是它的相同，之後再局部底放大到原子階段，原子與原子的效果就不在重複，所以我們有這樣的效果的話，就是自相似行為，這告訴我們說：祖先→爸爸→兒子他們之間的血緣有某一個值是相同，假使你得到兒子的行為的話，你就能推論到祖先的行為；同樣道理，祖先的行為也能推論兒子的行為。以我們眼光來看，你從小尺度的東西能夠推到大尺度東西；大尺度行為同樣也能推小到尺度的行為，這就是我們所謂的多尺度概念。很重要的它有一個自變數就有一個參變數，而參變數在不同尺度下接近定值，在大自然很亂的地方就有這現象，就是那個值不一樣。這無標度性及自相似性給了大自然一個定量，我們科技之所以無法進展，而我們有高學歷的

人非常多，但是我們的科技為什麼沒有往上斜率爬升？原因很簡單，就是我們教育上中的定量並不精準，在定量上或許覺得在 10^{-10} 次方你就覺得很精準，但是未來的話就能夠看出來，像我們身體上有電荷，你生病與不生病時候，身體上的電荷與溫度的變化，你能夠測量出來但是測量的值並不準確，我們有沒有辦法在發燒得時候，不同狀況產生的發燒，它的溫度有一定的量，但是你用普通溫度去量，無法測量的出來，主要是電流誤差太大，如果你能夠定出模圖，不同的病大約產生在哪個範圍，能夠定出這模圖出來，將來我們測量到溫度就能判定出發燒是來自那個病症，這是有可能的行為，所以在定量上面都把它定在 $10^{-9} \sim 10^{-12}$ 次方，因為我們身體有靜電荷，靜電荷到底多少必需定訂出來，所以碎形幾何就能做這定量。

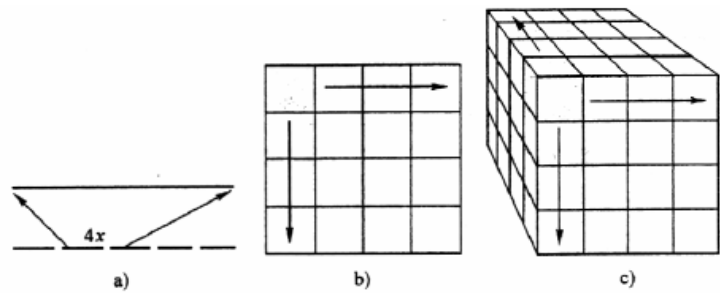
Falconer認為碎形幾何就像是定義生命一樣，我們講生命就是要用數學模型將它定出來，你會覺得很為難無法去了解，但是生命確實有思考性及特質存在，我們是如何判斷這人有沒有鼻子，假使鼻子、眼睛完全都一樣，你要怎麼觀察出來，就是因為它有一種特性，這種特性最重要的是我能不能夠量化，如果不能量化就無法使用，所以碎形幾何提供我們量化的準則，碎形幾何由於它的精細度能夠不斷地縮小，而縮小後卻有一個參變數幾乎不變的值。不管局部或整體來看，無法利用簡單的幾何語言來描述，本身的結構在小尺度上有某種自相似形式，不管你從大變小；從小變大，它有種變動的道理，主要是某一種參變數已經定下來。一般我們幾何維數就是所謂的拓撲維數如：0維就是點；1維就是線；2維就是面，但是我們的分形維數來講，它的分形不是整數，在其中情況下它的迭代的方式從原始的形狀，並且變化多端例如：風車、青蛙及各式各樣的樹葉…等，這意味的如果將來應用在生醫上面，我們夠製造人的細胞，我覺得這是有可能的想法，把它延伸道理及最基本的元素是什麼，如果演變的道理我抓到的話，其實人是可以創造細胞，將來假使有損壞的地方我能夠修補，只要你原則抓到的話，所以這就是它能夠產生各式各樣的圖案。

接下來我們來看這張圖中的海島，我將海島這地方放大以後，就是一個彎彎曲曲的圖，這圖的統計數量與原來的統計數量，某一種參變數是一樣的值，之後再一次將島嶼放大，圖形還是彎彎曲曲，它統計的數量也是跟它爸爸、爺爺等祖先一樣，所謂的自相似在大自然裡面都有出現，但是我們要找到它們共有的不變的參變數，這就是碎形能夠處理這樣子的功能。



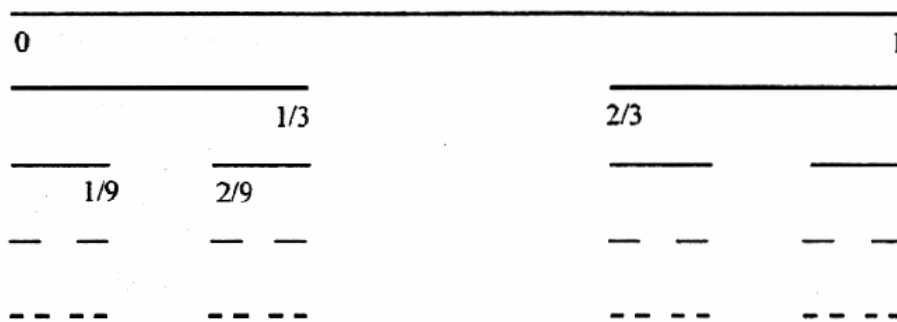
各位所學到的幾何學一般都是歐式幾何，點就是0維；線就是1維；面就是2維，在我們來看的話，線是由點構成的，但是在我們歐式幾何裡面，我們點是沒有尺寸，但是線是有尺寸，那由點構成的線需要多少個點，並不是無限多這根本沒有答案，線明明是由點構成，顯然歐式幾何在描述大自然的現象有問題存在；相同道理，線在歐式幾何是沒有寬度的，大家知道面是由很多的線構成，但是在歐式幾何告訴我們線是沒有寬度，一樣也產生一些問題，這顯示大自然的現象並不是按照歐式幾何的概念在處理，顯然我們還有碎形幾何的概念來說明，才能描述這個現象。

碎形的維數，點在碎形幾何內有不同的形狀且有大小，與歐式幾何是不同的概念；線是有它的寬度而且它的寬度是隨著密度及幾何形狀改變；面構成體積，我們的石頭並不是圓形，假使你拿一顆石頭

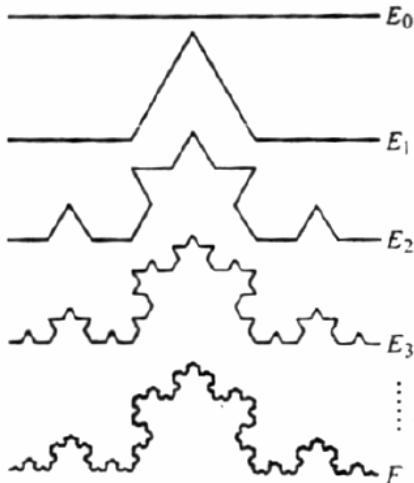
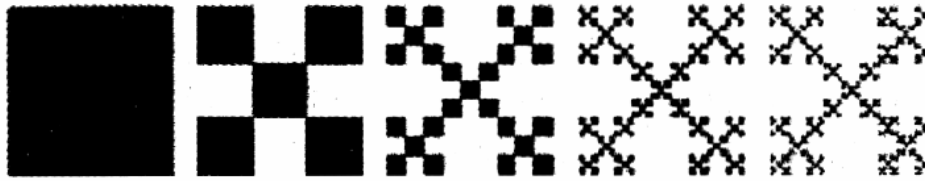


用數學來描述(可能你會抓頭)，但是用數學描述很多大小不同形狀石頭行為，所以我們能夠用碎形幾何來告訴我們有這樣的可能性，這就是碎形幾何對於點、線、面來講，點的維數是大於零的分數；線的維數是大於1的分數；同理，面的維數是大於2的分數，這有趣的地方，假使維數不是一個整數的時候，就是利用碎形幾何所造出來的行為就千變萬化，大自然就是千變萬化才有進步，只是亂裡面如何找到序，數學的概念讓大家都傷腦筋，越多元的東西你的變化越多，大自然就越豐富，這是一定的道理，假使人都長的一樣的話，我相信是沒有人類；同樣道理，植物都長的一模一樣是無法在地球上生存，所以多元你要如何用圖形去描述，所以能夠發覺如果你描述的圖案是普通的歐式幾何圖案，是能夠描述靜態行為，假使是利用碎形幾何模型，你的圖案是可以千變萬化，我們大自然現象就是複雜整體與局部行為的相關性，必須能夠去建立出來。

碎形的維數並不是一個整數，這條線如果你用數學描述，我想一般初中或高中同學都能夠描述出來，但是我將線分成三段移除中間部分，剩下兩段要用數學描述的話，你就會覺得很困難了；同樣地，在將中間部份的線段在移除，這樣重複下去的話，每一條線段一樣長且距離不一樣，要用傳統的幾何數學是無法描述出來。但是對於我們的碎形是可以描述出來，也許你不太了解，其實有很多情況，你覺得不可能的東西，這是一個很大的貢獻力，只是你還沒有深入了解，這讓我著迷了40年，讓我無時無刻都在想這些問題。



維數的定義，如圖Box fractal, $D = 1.4649$ 這方塊維數都是定值，我們從原來的方塊將角落部分挖掉，這又形成另一種方塊，之後再將角落部分挖掉，這圖形如果利用普通的數學來描述，那你一定可以拿到諾貝爾獎，但是沒有幾位能夠描述，這樣的過程用碎形來描述是有數學的公式，它能夠一直的延伸下去，你觀察這圖案往裡面凹，你也可以往上面長，這樣變成你在挖，上面部分在擋出去，這圖案可以千變萬化，所以它能夠應用在很亂的圖形上面。

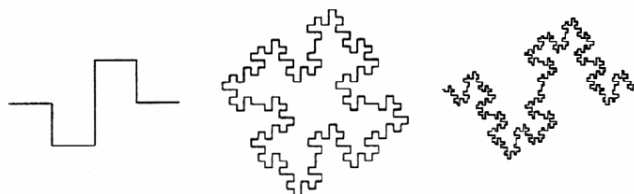


Koch curve, $D = 1.2618$ 圖內的線將它分成三段中間凸出來，從一段線變成四段線，之後每一段又成下面這圖的行為，重複的分成三段中間凸出一直延伸下去，這凸出部份也能將它凹進去，這形狀就變成倒影，亂七八糟的形狀就會出現，有許多的繡花要去變化的話，你只要找到他的維數去變化控制它，電腦就會幫你去尋找，很多的花紋就會跑出來，碎形從這過程至另種過程，它所有的維數都是一種定值，而且都不是常數。

Sierpinski carpet, $D = 1.8928$ 的圖形將它挖空，下一張在分成八個小方塊，之後再挖空，這種圖案是可以利用數學來描述它，這情況以後不需要利用手去秀，你只要電腦設定這定值，它自動就會將圖形秀出來，你挖不同地方他就能一直做下去；同樣如圖也是一樣，Mengersponge, $D = 2.2768$ 的海綿，也是做類似這樣的工作。

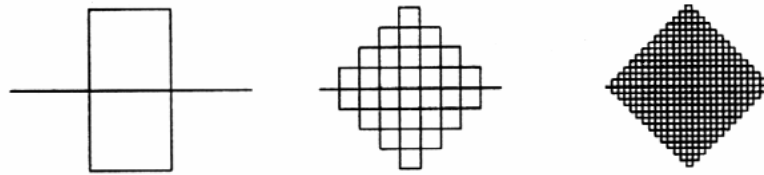


這種字符串替換模擬法，我們在利用碎形延伸這些圖形時，涉及到兩項定律就是替換定律與字符替換規則，例如： $X = F+F+F+F$ ，這F是表示長度，而加號表示往左或減號則往右，所以圖形能夠這樣來表示。現在繼續延伸下去再給他替換的規則 $F_0 = F+F-F+F-F+F$ ，加號或減號代表向右轉或向左轉，當然也能代表偏移的角度，那這樣的圖形就能用簡單的符號表示，再透過延伸的替換規則，這些簡單符號就能表示圖形，描述幾代之後你會發現，這些圖形都能用替換定律與字符替換規則來描述，這就



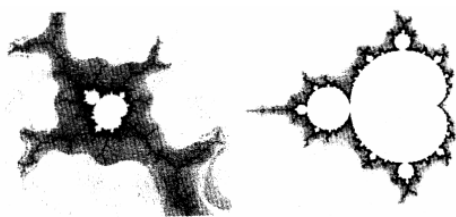
是碎形的數學函數，假使用普通數學描述難度是很高。

以下圖例就是設定不同的替換定律與字符替換規則給出相關的初值參數，這些圖案像是照相出來的樹的樹葉形狀，其實不是，這是從很簡單的圖案延伸下去；甚至有人將兩隻老虎，一張是照相，另一個是利用碎形計算出來放置在一起，假使我不告訴你那張是碎形計算出來，你絕對很難去判斷出來那張是照相，那張是碎形幾何計算出來，這給我們一個暗示，將來你要複製很多東西就有機會，只要你抓到複製的某一個機官分裂的道理，就是我所說的替換規則，那你很有機會將這些東西複製出來，這些都是從很簡單的圖案描繪出來。



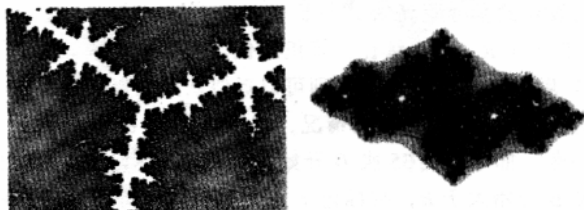
第二種方法就是利用迭代法，如圖假使有一條線在加個方塊，在每一個線段在形成下一段圖案，這樣重複下去就會像磁袖一樣，這方格要用數學描述是不可能，必須要用到碎形幾何的迭代法來表示，只要你告訴我迭代的道理，我就能造出各式各樣的圖案出來；另外一種是隨機迭代法，譬如：我們在座標系裡面我把第 $n+1$ 迭代，利用線性關係

$(x_{n+1}=a x_n+b y_n+e, y_{n+1}=c x_n+d y_n+f)$ 能夠劃出各式的圖形，如圖就是羊蕨類及樹幹，這不是照相完全是由簡單的數學做出碎形迭代，造成這些圖形，各位想到用在自己的領域會是什麼情況，這不是指針對力學而已，我是專研機械才把它用在力學上面。

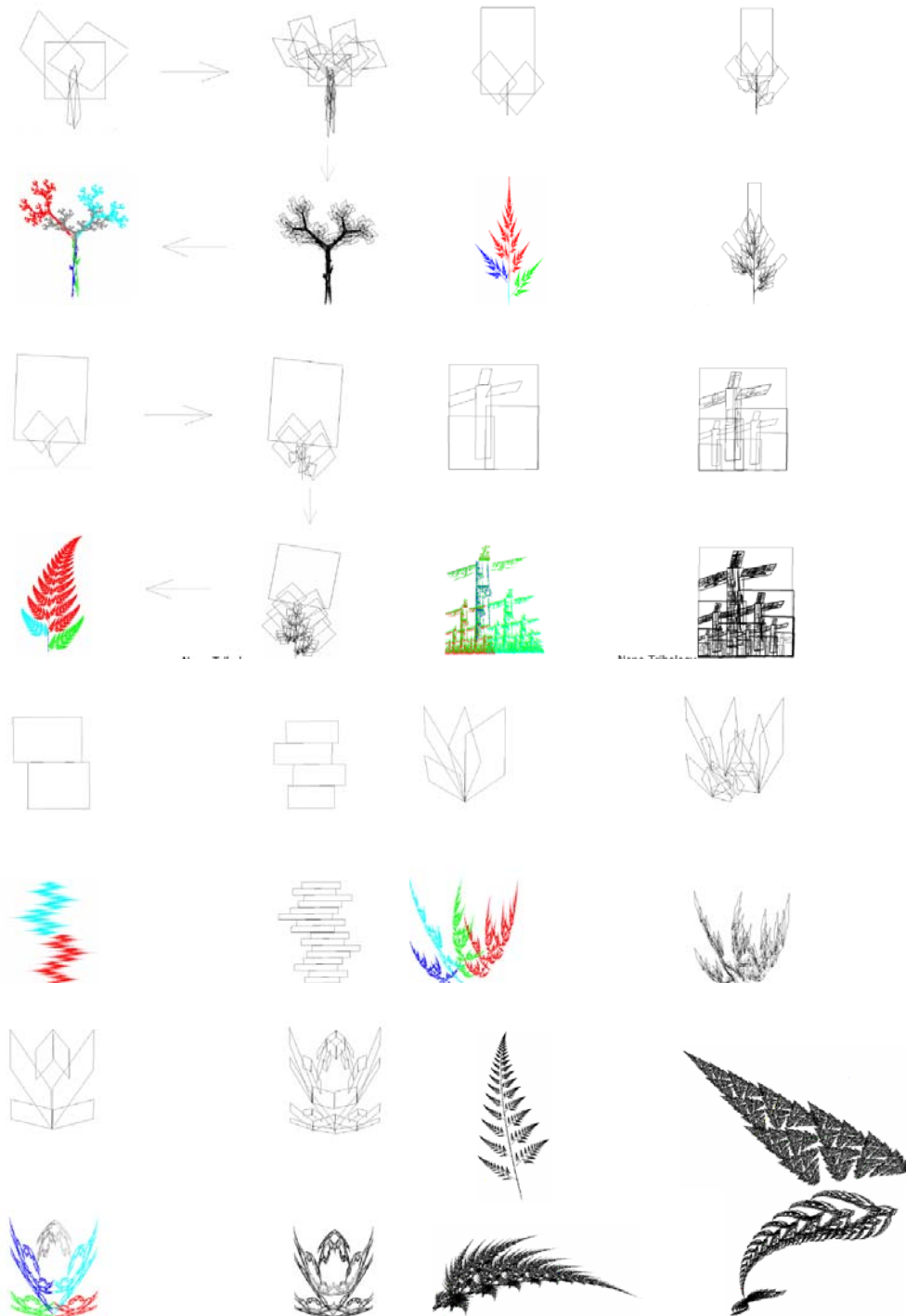


Mandelbrot是用集合的概念，做出如圖就像一個細胞，另一張就很像神經，這給我們很大的啟示，將來有沒有可能應用在生醫上或其他各式的領域，但是你要找到你研究問題裡面的演化的定律，所以這是目前來講很有趣的領域。如圖，這不是樹葉是將一個東西利用輻射

狀產生一個樹幹，樹幹上面在長出枝幹分叉出去，就像我們電解銅的時候，他的發樣就是這樣形狀；當然一樣能夠模擬雪花的样子，對於碎形來講就是小意思，如圖所示(碎形樹、羊齒葉、風車、水波、稻穗、青蛙…等)：這些並不是一步按階段下來，而是有經過一段時間的運算才跳至下一張，有些不太像主要是給予的參數不太正確，也有些像中興大學教授將斑馬很小的紋路演變到大隻的紋路，還有老虎的斑紋或

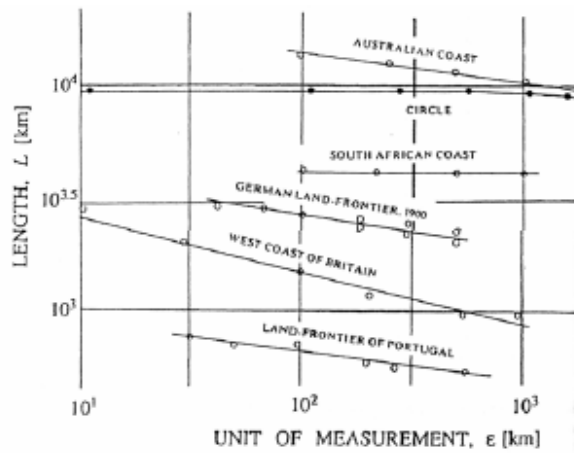


豹的斑紋都可以數學方式來處理，但是需要有這概念運用。



刺繡的圖紋也是用碎形來計算，這些都不是照相的圖案。

1967, Mandelbrot是碎形幾何的始祖，他提出英國海岸線有多長？我們海岸線在不同的高空或到地面看同樣的物體時候，他的大小是不一樣的，於是他測量一些數據，如圖所示這是海岸線的尺度，另一是你測量的尺度，你在高空所看到的圖形可能代表幾百公里，在地面上同樣是一英吋的圖，就是實際的一英吋的圖形，他所表示海岸線的長度與量測的尺度是有關係，於是他測量一些地方，如：葡萄牙、英國、德國、南非、澳



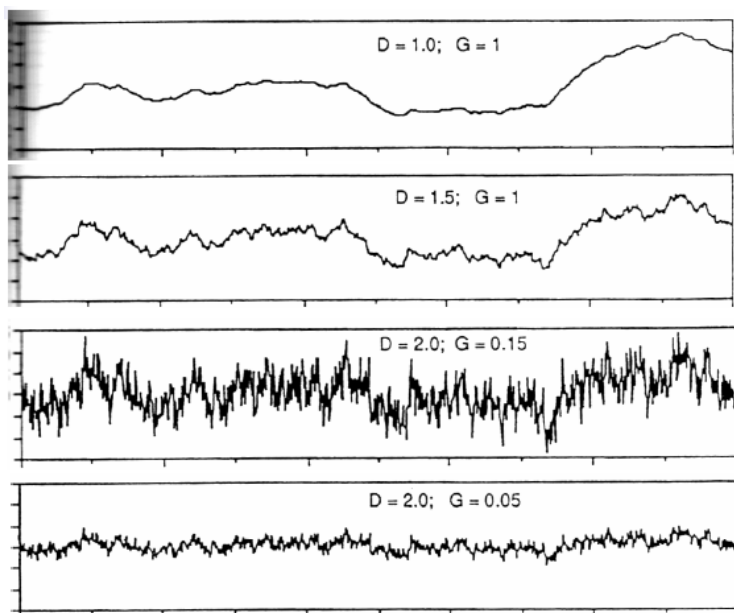
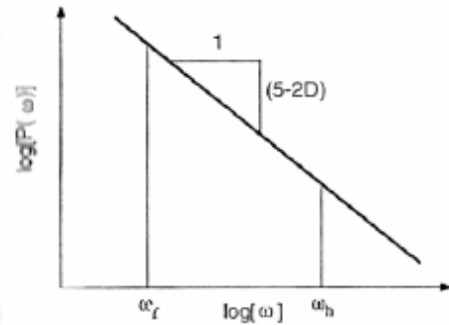
大利亞，發現用不同高度去觀察時，(底下表示尺度)真正海岸線的長度是不會一樣，但是有趣的事，這些島嶼也是彎彎曲曲且很亂的峇折，將它長度標出來(這些都是實驗數據)都是一條斜線，而這直線是數據所有的點，享有共同的斜率，也就是斜率對數據來講是一種定值，在亂裡面大家共有的一個值就是這條斜率。如果將它用在原子上面，我的小原子的行為推到工程上；同樣工程的行為反推原子的行為。因為在這地方，假使我們要打一顆飛彈，你告訴我飛彈傾斜角是多少，我鐵定能夠打到那目標，所以變成你要找到這定值，這值從他是線性行為來看，在不同尺度之下，所有數據都是成定值。就是亂中有序的序已經被用數學所定量的關係，你也能舉例表面粗糙度等各式的問題，都有類似這樣的效果，你讀到的物理量的那值，那定值就是我們的碎形維度，所以海岸線長度跟他的 $\ln L(\epsilon) = \ln F + (1-D) \ln \epsilon$ ，你在高空一英吋代表多少，而在地空一英吋代表多少，這是他不同的尺度，這個D就是碎形維度，在同樣一組數據上面，這就是碎形維度的定值，很多的行為都滿足這行為。不同問題你要找的極值是什麼東西？如圖，DL：海岸線的長度 ϵ ：測量尺度 D：碎形維度，上式的對數運算： $\ln L(\epsilon) = \ln F + (1-D) \ln \epsilon$ ，縱座標是長度，橫座標是解析度，(1-D)就是他的斜率，這斜率得到你就求出 ϵ 來，我們很亂的東西就是找到這D值。

那我們大自然有那些是碎形：河流的碎形有支流，從高空畫下來就像樹根一樣，他會有序的延伸下去，這就是他的自然維數，台地也是一樣；物理學中的碎形：電磁輻射波、振動波及我們坐飛機碰到的擾流，擾流的變動的行為也是碎形；化學中的高分子，他的長度不一樣且材料的特性也會不一樣，這也是能用碎形來描述，你很強的鏈結受到力量下去的時候，他的行為不變，有很多行為是沒有提到的，這行為將來能夠運用在你的科技上面，所以我們透過模型以後，這看起來很複雜的行為，變成能夠定量而且能夠去使用它，那我們生命科學的病毒、細胞還有基因是螺旋型，現在能夠用很簡單的形狀透過基因的基本道理，將基因特性顯現出來，所以生命科學、植物、訊號上面如圖像壓縮處理，我剛跟各位說過將來的話，我們在儲存資料不壓縮，你在大的容量一下子訊號馬上無法處理，所以透過訊號的處理，你只要把最原始構成的元素及不變的定值，那你可以把它儲存在很小的容量，帶到別的地方後在恢復在原來大小，像是圖像壓縮、訊號壓縮在我們光電領域變的很有用；機械科學中的碎形：表面形貌，機械振動；社會科學中碎形：股市波動，匯率走勢；

藝術與造形設計的碎形：碎形繪圖，雕塑，音樂…等，像雜亂的聲音經過碎形後會很優雅的聲音，其實他對象並不是只有社會科學，在人文科學一樣能夠把它應用。

現在我把它應用在表面形貌，像鏡子那麼平的鏡面，你用原子力顯微鏡劃過去，表面是高高低低，我們將高度為 Z 的方向能夠用數學描述，有很大的特性，你給他一個面的時候，你有兩個描述粗糙度的參變數， D 是做我們的碎形維數，極值是跟高度有關的參變數，你發覺一個面會有兩個定值，如果隨便給你亂七八糟的面要用普通數學來描述是不可能的事情，但是能夠用碎形的結構函數來描述很亂的行為，假使那表面改變的話，我還能夠用這數學函數描述嗎？這是一個碎形幾何的結構函數，事實上它畫出來的面跟實際的面不會一樣，但在統計上面的量，你真實的面跟用碎形幾何畫出來的面，只要你 D 與 D 的維數是正確，則統計的行為是會相同，所以碎形能夠建立很複雜的結構，這是我們高度的積分函數，這是由傅立葉轉換高度積分函數，由位置改成平移，你會發覺這關係式會得到一條線，以工程上來講，要得到一條線性行為是很難達到，在我很長做實驗最珍貴的事，什麼在亂裡面能夠得到線性行為，因為線性有什麼好處，你得到的點後就能預測下一點，同樣得到這點就能夠預測下一點，線性就是有這辦法，但是我們目前來說，這線性在大自然來講就是要用碎形來描述，像很多精密定位跟磨擦有很大關係，你從這階段走到下階段會有磨擦，你只要知道如何變化要怎麼去定位它，因為摩擦係數會影響定位的行為，你需要他有沒有線性行為就知道下一步會移動到哪裡，就能夠控制它精確位置，奈米定位就是變的有可能，所以線性行為是一件很寶貴的事情，那在粗糙度方面就能得到斜率，這斜率 $(5-2D)$ 就是他的碎形維度，碎形維度如果得到高度的， D 跟 G 得到接觸面積與接觸力量通通能知道，我們鏡子跟鏡子在接合時，接觸面積跟接觸的量有多少？如果兩個面有很平的話，你看到的接觸面就是看到的面積，我們答案不是

的，大部分的面在接合時候，真實的看到的面百分之十不到接觸，在光學、電及半導體熱傳的問題，因為我們光、電能量的傳遞是靠接觸的量及大小，假使你無法決定的話，認為接觸面積是整塊面積是錯的，所以接觸數量跟接觸面積的產業用很多，但是你要如何去確定這些量，所以我們就是利用碎形的幾何來得到接觸數量跟接觸面積。



各位圖這D跟G這面看起來高高低低叫做波形，但是波形內還有小小的振盪，而下面波形與上面很像，但是在局部地方有小振盪，這是我們面測量出的結果像這樣波形D值是一樣，但是差在振盪的密度比較多，而另一個的振盪波形比較寬，所以D值就比較小，如果D值就比較大的時候，而波形的小振盪波形比較多，反過來看這兩張圖，D值一樣但是振幅上面比較大，這兩張圖差在碎形維數一樣但高度的參變數不一樣，如果這兩面在做加工或傳動的時候，這行為會不會一樣，事實上它們是差距太多，所以我們要測量一個面，抓到所需的參變數再利用碎形，就能夠得到設計所需的參變數，這些都是在我們研究裡面能夠得到的現象，所以我應用在機械上面，你也可以把它應用在其他地方。

最後做個總結，在第一度多尺度力學，利用分子動力學加上網格及有限元素法，這都是連體力學概念做連結，再做第一度力學的擴大，這是多尺度力學的放大，這時能夠算到粗糙峰的接觸面積、黏著力及摩擦力都能夠計算出來，但是我們面上並不是只有一個粗糙峰，而是很多地粗糙峰大小形狀都不一樣。

第二次就利用碎形的方式，把第一度粗糙峰的行為利用碎形幾何將它擴到工程上，這時你需要工程上的所有力量或參變數(面積、力、摩擦力及接觸點的數量)，我們在做這實驗時，實驗跟理論結果都非常的吻合，那麼亂的東西用理論去預測的結果與實際測量結果是一樣，所以我跟各位報告主要是說，我們在奈米的尺度到工程的尺度要如何用合情合理的科學概念加上數學的式子串聯起來，因為你在做實驗或理論的時候，絕對無法用單一方法把奈米到工程的行為把它連結在一起，你必須要透過多尺度力學的媒介把它用上來，當然這只是用在力學，你可以其他領域層面上，最後感謝各位的聆聽。

主持人補充：國立中山大學 機械與機電工程學系(所) 邱源成 主任

非常感謝林教授將那麼深奧的問題能夠用簡潔的方式告訴大家，讓我也受益良多，我也從另一個角度思考，奈米科技的基本單元大約是 10^{-9} 次方微小階段，在工程上的應用就看起來比較巨大一點，這情況之下就將物體放大或縮小，不同尺度來講，一般是1mm來測量物體，而現在已經縮小到奈米來觀察物體，這整個力學的行為就完全不太一樣，而碎形至現在我才了解到，碎形在科技上已經出現一段時間，經過林教授講解後感同身受，讓我一直思考個觀念，因為物體成長是一個規則性，從以前就思考人為什麼長成這樣？樹為什麼長成這樣？始終是個疑惑，但經過林教授講解後，發現大自然是有這規則性，我想今天來聽這演講受益良多的感觸。

Q&A 互相交流

問：剛剛提到多尺度的力學初步的公式已經出來，現在站在工程上的觀點來看，大概還要多少才有實際面的應用產品？

答：在大學教授像中山大學、成功大學都是屬於研究型大學，所以在指導研究生或大學生的時候，很著重一些概念的創新，所以在應用的層面給產業界或科技的大學來做進一步的推廣，所以這部份目前是用在表面加工，還有例如：每顆粉塵的顆粒並不是圓的，這樣對我們很多的行為上面會造成什麼影響？所以我只能回答現

在只能用在熟知的領域，開創那些模型出來，至於如何去應用被受限於整個科技大學的目標，所以現在應用在微接觸、光電微接觸及很多的奈米加工…等。只要是兩面接觸都能夠應用，我這理論必須要你自己推廣到你想要的領域裡，我在這只是做一種像拋磚引玉的方式讓大家了解。

問：剛剛提到碎形幾何由小推到大；由大推至小之間的媒介，而在機械領域有機械振動、表面形態等，這讓我想到一點，機械振動的噪音以頻率來分析有低頻及高頻，像電子訊號的濾波或噪音的濾波，高頻就像汽車金屬的振動；低頻可能是塑膠製零件，它們來源共同都是以引擎造成的，以表面形態就有剛才看到的高頻及低頻，那同樣能用濾波轉換手法，高頻就類似磨床小沙粒磨動；低頻就像車刀來加工物件，那在物理意義是否類似？只是巨觀與微觀的差異？他能是否與刀具加工有相同共同性？

答：一般會利用濾波的東西，是你樣拿到要的東西再做濾波，而你不要的東西並不代表是廢物，其實它有用的東西或沒用東西是交雜在一起，統計的東西就是統計完後篩選你需要的東西，所以他是一個死的東西，如果你不要的東西也把它當成好東西處理，那好與壞之間的交流關係就會抓到，只要能夠抓到的話就能夠做預測，我們所有的精度，為什麼無法控制？因為它走的路徑不是線性，所以它下一步將無法知道，碎形就是把亂的東西做處理，之後就會觀察出變動性，你所說的高頻或低頻，因為我們已知高頻是如何發生，如果你那到的數據不知道是什麼造成的，這時你就要從低頻至高頻整個行為建立關係，碎形是有機會達成串連的工作。像第四台稱為老師放馬後砲，你為什麼不投資下去，那他為何不投資，因為他也不知道下一步會走向哪裡，我們感覺你將它利用在股票系統做碎形分析，從投資到賣出去至買入的整個過程的心態，就能反映在碎形幾何裡面。在之前所講fractal看巨觀行為與微觀是有規則性，規則有了就能預測，這些人會發生什麼心態反應，這是心理學加上數學來預測，第四台都重複的說明要你去投資，自己卻不敢去投資。我之前有跟台中經濟的董事長，有玩股票也對台中經濟做分析賺很錢，我問他經濟學有沒有道理？他說有，但是絕大部分是沒有唸通，你唸通後是要怎麼樣運用，相同道理，碎形這道理沒有唸通，想要去運用它是很困難，只要能夠弄通整個動態行為就能預測，因為它們的關連性會反應在預測裡面。

問：現在全球暖化，奈米科技對環境改造有沒有什麼方法可以改善？

答：我無法什麼東西都懂，其實那暖化的效應有很多，現在使用的能源絕大部分是沒有效率，其實以地球有自我修復的效果，你所產生的二氧化碳就是造成暖化的最大因素，現在問題是你產生二氧化碳的速率跟化解二氧化碳的速度，像大自然的植物也會分解二氧化碳，這兩個速度不成比例，假使人類使用太多能源，最關鍵因素是從減少能源的消耗及有效率使用能源的方面著手。能源的效率能夠提升，那二氧化碳的排放量一定會減少，像是汽車的引擎的效率40%就算很高了，發電廠也是30~40%的使用量，等於是有50%的效率浪費，這部分可能要從奈米科技來著手。

電池在使用的時，真正在發光或發熱的能量在儲存占的百分比很少，你使用電池都會發熱，就是電池從陰極至陽極的流動，電子一直在跟其他原子做摩擦，所以電池才會覺得發熱，所以我們能夠造出一些材料，這材料是定位的，要從很複雜的

地方穿越過去，必須花很多時間及體力才能過去，如果將它從新排列留下一個通道，那時間跟精力都能省下很多。那我們要如何排列這些原子，因為原子在大自然內都是亂七八糟，所以我們給一個訊號，其實只要一個電子就能把它帶過去，但是你用的材料不是，而是大數量的電子走過去，走到一半就會被消耗，到最後勉強有幾個把訊號帶過去，那你要將很多電子推到往前走的時候，你需要的能源就浪費掉，原本只要一個傳輸訊號就好，你卻派很多去傳遞訊息，那你就騎20匹馬或車子來運輸，所以用這樣比例來看，奈米要減少能源只有從材料的控制能力開始，如果能夠將材料分子或原子做排列，你儲存能量或輸送能量的效率就會大大提升。以日光燈來講，我要的是光線不是要熱，可是熱可能佔的比例比光線還要多，這很多地方就要靠奈米，奈米就是要怎樣控制那些東西，讓材料能夠重新的定位或安排，這部份涉及很多物理跟化學，所以你不管走那條路，到最根本的東西還是要靠物理跟化學，因為無法掌握，而要跟奈米時代接合困難就很高，這時代不是靠經驗或年紀可以買的東西，所以基礎要打好，這是我做二十年的感受。

問：今天所談到從微觀到巨觀，之後又提到碎形的概念，而碎形是由沒有秩序組織成有秩序，那你要如何從無序有向有序，那現在研究碎形領域是不是有人在往這方面走？做到什麼樣的地步？

答：其實我們大自然就是無序，無序才會顯的多元，有多元社會人文、知識才會很豐富，所以我們只能說我們習慣的無序的生態，但是不是為什麼我們看到人卻不會相撞，就像那麼多的星球就是有辦法走的好好，不會互相相撞。所以我們是太習慣這樣的環境，並不會引發問題，而那問題我們改變或應用他的話，那會產生什麼效果，這是過去我在培養學生時，你看似很簡單的東西，其實它涵蓋的道理很的複雜，所以像國外在發表論文時候，後面都會寫一句成語，那成語看起來像詩一樣，我想應該是在做研究過程中，從複雜找到的簡單，那簡單就是人可以運行的道理，有這道理就能控制它，我們困難是你無法控制少量東西，碎形可能只是其中的方法，你要如何去控制這量並且運用。

像我們IC產業，線與線之間的大小已經達到 10^{-8}m ，那你要做這產品的機器，這機器想到達到產品的 10^{-8}m 的精密度，那機器就要達到 10^{-9}m ，也是你的運動要控制在 10^{-9}m ，但是你用原子力顯微鏡來劃你的運動，外面隨著時間看似一條線，但是你看局部地方，就像蛙跳一樣，跳一下就動一下，這現象就只達到 10^{-7}m ，比你的 10^{-9}m 還要差的多，那要做奈米控制的線寬就有關係，所以科技發展到那階段，但是我們的技術還無法達到，人還是要面對這樣的問題，為什麼會像蛙跳，我們看出來是直線，但是事實卻是跳一下就動一下，我們稱為黏又滑動，你要做奈米控制也不是說馬上能夠控制。

問：剛林教授說：「你認為沒有問題的問題，那就是亂中有序」；也就是我們看我們社會，每到選舉看起來很亂，事實上你整體或局部看是沒有順序，大自然本來就是這樣，所以我們在科技研究就要了解大自然規則，那你就會有很多創新的東西。

答：有一件事很有趣，假使你將頭髮從根部剪掉，頭髮長出來不會亂跑，如果你能夠了解頭髮是怎麼長出來，就有機會改善禿頭。就是你不知道頭髮是如何長？但是他絕對不會亂長，會長的跟樹枝一樣，還有一塊肉挖掉以後，長回去並不會長

出一個包或是像樹枝一樣的組織，顯然大自然在運行的時候有一定道理，信教就會認為這是上帝的旨意，但我認為科學的東西有他的道理存在，慢慢地被發覺，你就很難預測以後5~10年的科技發展，所以奈米科技是很重要的一項。

問：林教授剛有提到能源消耗問題，那能源消耗是由大量電子通過，那可以用單電子晶體來解決嗎？

答：我想有些東西像單晶體，其實大自然創造許多東西，譬如：單晶體有很多，但是你在使用Si單晶體的成本方面和來源就是問題，利用Si單晶體就是他是地表結構，但是他是最好的結構嗎？並不是，所以就有一些半導體，有些利用Si單晶體是比較好，你涉及到大自然的資源，其實在使用Si單晶體來做產品，對我們的環境污染是很嚴重的，我覺得要創造大自然的東西來減少污染，以目前來講成本跟資源都是有限，最好還是減少使用量，這是在時間上能夠趕的上。在報紙中，它們在預測2050年台北會淹沒掉，因為台北是盆地，紐約新聞報導大約在15年就會淹了四分之一，這就是氣候暖化效應，就是你產生二氧化碳的量跟化解二氧化碳的量是不成比例，在沒有更好的方法解決問題，最好的方法就是少用，少用就是你開創材料來減少消耗的能量，因為我們現在使用能源的效率是太差了。

問：因為現在太陽能電池主要問題是轉換不高，就是表面奈米化增加接觸面積？

答：現在就是在開發這樣的東西，當光線過來接觸的表面時候，大部分都反射掉，那要製造一個表面讓反射的光線減少，這時就涉及到這表面的排列，這影響光線進來會不會跑掉，那就要如何去控制它，因為光線波長 10^{-7}m ，那你的表面讓它不會產生干涉或繞射的現象，只要你的粗糙度低於光線的波長還要小，就不會產生這樣現象，否則光線射入再大的面積也是沒用，所以太陽能要用好大的面積，因為大部分光線都會跑掉根本沒有吸收到，所以你要如何控制他的面，能夠吸收多的光線，假使你能夠抓到50%的光線，那使用太陽能就很有意義。

在奈米中心做評鑑時候，遇到鄭天佐院士，他專長是物理方面的領域，奈米科技是很偉大，但是他的危害性是更大，像很多的氣體把它變更小，氣體變到幾個原子的時候，那氣體就變得活性很大，當吸入到肺裡面會找伴，你要用很大的工夫去去除掉，那難度就很高。所以你看石頭並不會導電，但是你將它磨到幾個原子的石頭，他就會導電，分子在很少數量的時候，他的行為跟一般大尺度行為完全不一樣，所以他也有危害性，像我們除塵室，當灰塵沾上去死都不下來，所以東西越小就有危害性，所以奈米的科技也有這問題，現在做的奈米標章的產品價錢就猛漲，話說回來，對我們的衝擊是很大，到目前為止，全世界還無法歸納他會造成的影響，所以鄭天佐院士嚴重警告，不要看到好的一面就過度渲染，產生的後遺症會很大，像塑膠很好用，但是造成的環境是很嚴重，所以控制這層面也很重要，奈米科技的確會改變人類，也會造成污染等其他效應，人就是要追求，當然是要解決問題，你追求新的東西就要解決這些問題，這是奈米科技最大的挑戰。