

# 目錄

## 目錄

摘要 .....	1
壹、 研究動機 .....	1
貳、 研究目的 .....	3
參、 研究設備 .....	3
肆、 研究方法 .....	3
伍、 結論 .....	23
陸、 研究限制與建議方向 .....	24
柒、 參考資料與補充 .....	25

## 摘要

我們在地震演練的過程中發現，桌椅的排列會影響走道的大小更會影響學生的移動造成逃生的風險增高，因此我們調查校內各教室的排列，除了實際測量外，我們還利用數學的「碎形」概念，嘗試建立模型，來計算判斷，希望可以提供給學校作為教室布置與逃生的參考。

## 壹、研究動機

今天一早坐在教室中閱讀時，廣播突然響起奇怪的聲音，還在發呆的我們，聽到老師大喊：「有地震！趕快蹲下」，瞬間全班響起吱吱聲，蹲下並拿起頭套套在頭上，保護頭部避免被重物擊傷的動作後，接著老師便喊說：「往操場移動」，於是一群同學一窩蜂就往接近操場的教室的門口推擠移動，到了操場才知道，原來今天是九月二十一日，全國舉行 921 地震的災難演習。站在操場中間，心想如果這真的是地震，那要怎樣才能去確保我們的逃生路線，達到老師講的避免推擠與迅速集合，便是我們這次研究的問題。

### 文獻探討

#### 地理環境及地震狀況概述

台灣因為處在環太平洋地震帶，所以地震發生的次數相當頻繁，並且伴隨著強烈的地震發生。地震引起損害最大者是 1999 年 9 月 21 日 1 時 47 分，南投集集大地震，震央在日月潭西方 9 公里，即北緯 23.9 度，東經 120.8 度，由車籠埔斷層所引發，造成長約 100 公里之地表破裂帶，除了水平變位最大 7 公尺，垂直最大變位達 4 公尺外，更帶來重大災害。總計死亡 2,456 人，傷 10,718 人，另外房屋全毀 53,661 棟，毀損 53,024 棟[1]。依據中央氣象局自 2001~2015 年，15 年的觀測資料顯示，臺灣地區平均每年約發生 26,686 次地震，其中約有 965 次為有感地震[2]。地震發生次數最多的一年是在 1999 年，主要是受到 921 地震之影響，該年共計發生了 49,919 次地震，其中有感地震達 3,228 次之多。目前台灣有三大地震帶分別是西部地震帶、東部地震帶與東北地震帶。

西部地震帶：泛指整個臺灣西部地區，大致與島軸平行。主要係因為板塊碰撞前緣的斷層作用引發地震活動，由於斷層構造多侷限在地殼部分，因此震源深度相對較淺（約 10 餘公里）。由於西部地區人口稠密，工商建設集中，因此遇有大地震發生時，都會造成較嚴

重的災情。

東部地震帶：此地震帶之地震係直接肇因於菲律賓板塊與歐亞板塊碰撞所造成，地震活動頻率最高。此一地震帶南端幾與菲律賓地震帶相接，並沿臺灣本島平行方向向北延伸經台東、成功、花蓮到宜蘭，而與環太平洋地震帶延伸至西太平洋海底者相連。本地震帶南端與花蓮以北區域因板塊隱沒作用，震源深度可達到 300 公里左右。

東北部地震帶：此帶係受沖繩海槽擴張作用影響，自蘭陽溪上游附近經宜蘭向東北延伸到琉球群島，屬淺層震源活動地帶，並伴隨有地熱與火山活動現象（龜山島附近）。

在 921 地震之後，教育部依行政院規劃配合「國家防災日」於 101 年 9 月 21 日 9 時 21 分推動「全國學生地震演習」，以「抗震保安，感動 123」（一分鐘內所有參與者完成地震避難掩護動作；200 萬以上學生一起動員參與；蹲下、掩護、穩住 3 個要領）為主軸，規劃辦理全國各級學校（含幼兒、幼稚園）地震避難掩護演練研習活動，而且每年實施 1 次[3]。針對地震避難掩護演練流程及應作為事項進行示範說明，並融入地震防災相關專業課程，再由各級學校研擬校園師生地震避難掩護演練計畫，進而辦理推演、預演及正式演練等相關工作。藉模擬實作強化各級學校校園師生災害防救、自救救人與應變能力，養成學生在地震發生時有正確的本能反應，如何在地震發生時保護自己，以做好全面防震準備，有效減低災損，維護校園及師生安全。

## 小結

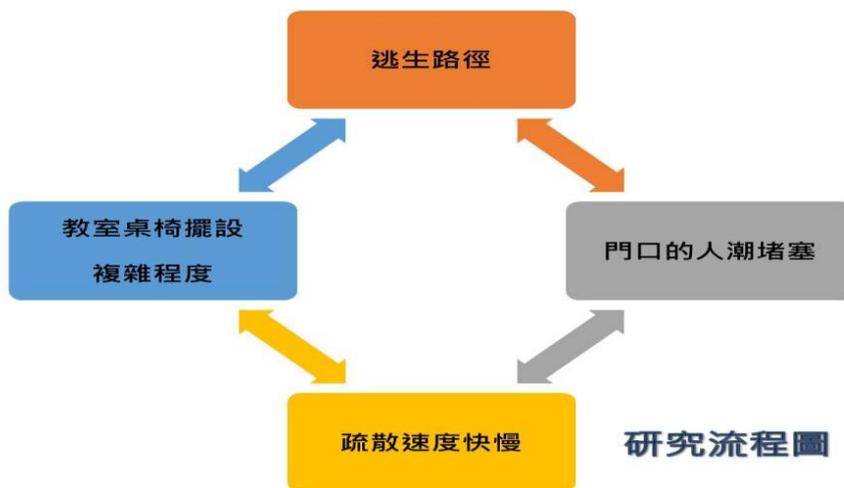
嘉義身處在西部地震帶之中，一直都是地震史上有名的城市，從 1998 年 7 月 17 日瑞里大地震(6.2 級)之後便出現 1999 年 921 集集大地震(7.3 級)與 1022 嘉義地震(6.4 級)[4]。至今 20 年，雖然有地震不斷發生，但是未有大地震發生，因此對於在嘉義的我們更須時時保持警覺，因此當地震災害發生後，如何能有效進行避難疏散，縮短避難時間減少災害傷亡，並藉由實際演練驗證逃生路線將避難時間縮短，則是本研究之主要課題。

## 貳、研究目的

在我們與老師分享的避難的過程之中，我們很明顯可以發現教室桌椅的排列會阻礙逃生之外，更發現學生的避難過程，有時會在門口堵塞與推擠，造成疏散速度的減慢。因此我們就過程中面臨到的問題去測量與改善，問題與概念如下：

一、桌椅擺設的複雜程度

二、門口人潮的堵塞

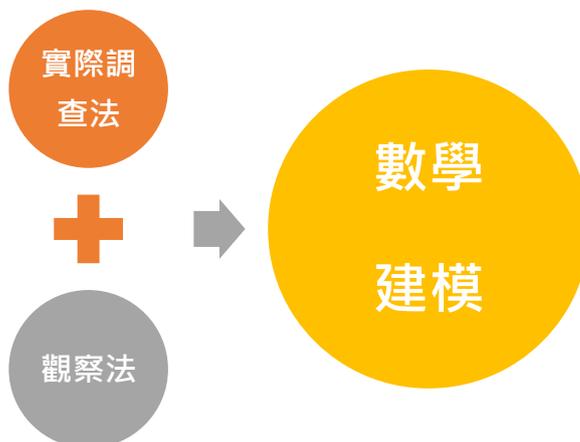


## 參、研究設備

碼表、捲尺、攝影機(照相機)

## 肆、研究方法

針對上面兩個問題，我們利用實際調查法與觀察法先蒐集數據並分析之後，再利用數學建立一個演算方法作為改善。

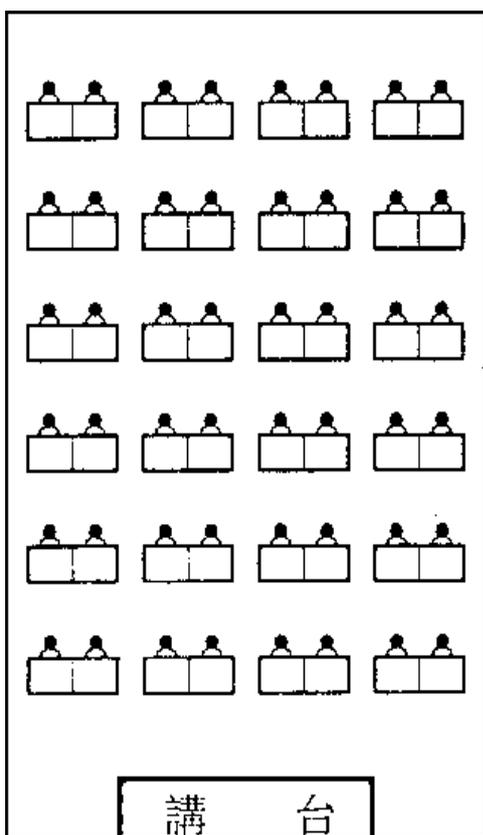


## 實際調查法：避難時間測量與計算

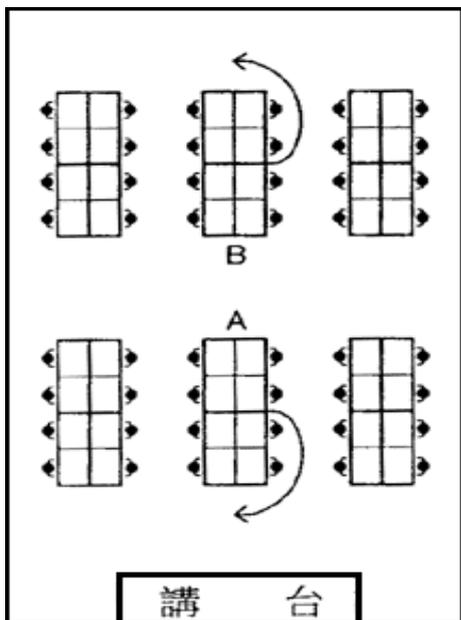
### 班級桌椅擺設

我們調查校內所有班級之後，發現每個年級的教室擺設都會根據老師上課的情形作不同的擺設但是仍然可以分為下面幾種：

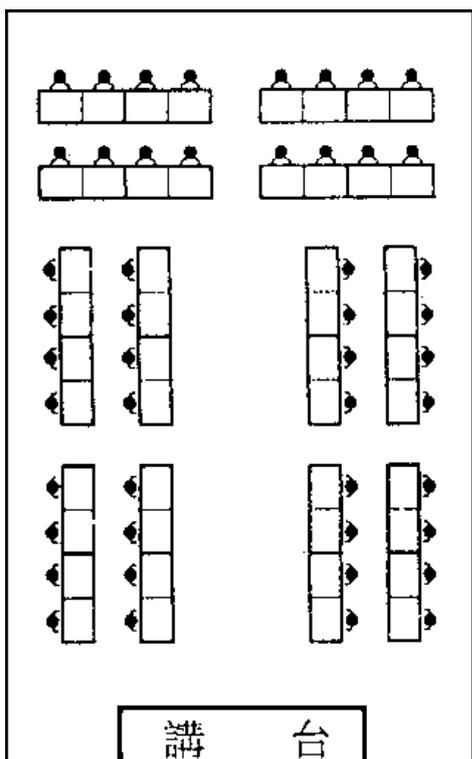
下圖是校內最多擺設的方式，其中又分為單排與雙排合併。



其次是自然教室的模式，桌子跟桌子相互併攏，就像是自然教室的大實驗桌一樣。



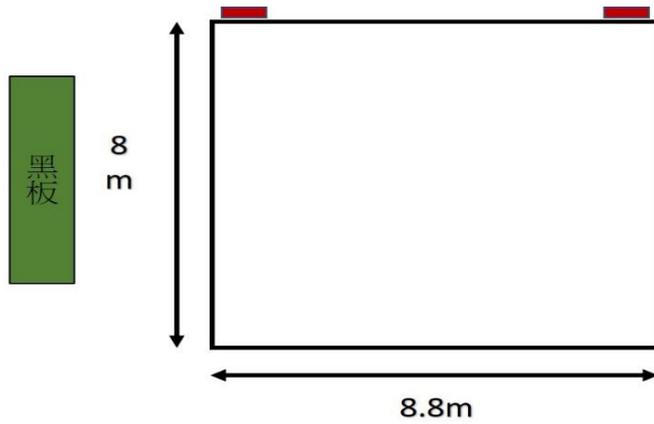
再來是下圖這種形式，讓我們感覺好像是演講舞台的感覺。



### 數據蒐集：

#### 1. 避難逃生的建築物(教室)面積

實施避難逃生演練建築物為嘉義市林森國小同馨大樓，為地上5層樓建築物，除1樓與2樓部分為辦公室外，餘4層樓皆為普通教室與科任教室可容納人數約為565人。每間教室的長為8.8公尺，寬為8公尺，為雙走廊，由於後走廊屬於儲藏區域，未與樓梯連接，不屬於逃生路線，所以研究中並未將後走廊畫出，另外門口寬度為90公分，每間有3個出入口，但其中一個門口屬於後走廊，因此下圖示意並未將門口畫出[圖1]。



教室平面尺寸圖 圖 1



後走廊實況

## 2. 教室人數部分

低年級(1-2 年級)，目前每班人數為 25 員

中年級(3-4 年級)，目前每班人數為 22-23 員

高年級(5-6 年級)，目前每班人數為 23-24 員

隨著學期開始或結束，人數會有變動，轉至他校就讀學或是轉入就讀。

	一	二	三	四	五	六	總計
人數	99	85	86	91	85	119	565
班級	4	4	4	4	4	5	25

研究測量整理

## 3. 教室桌椅尺寸部分

根據我們的測量，不管是低年級、中年級或是高年級桌子的尺寸皆為 60×40 公分(長寬比)，各年級差異的部分就是桌椅的高度，年級越高桌椅的高度會有所不同。不過桌椅的高度並不是我們這次研究的主要因素之一，在測量之中有發現的部分是各年級坐進椅子的距離(以最舒適容易進出的距離量測)而有所不同。

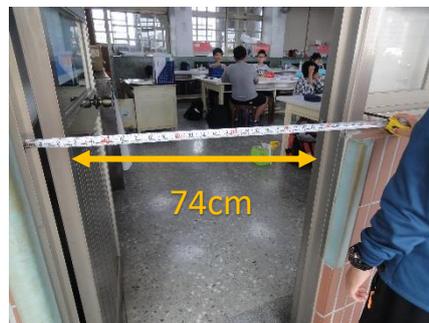
年級/cm	低(1-2)	中(3-4)	高(5-6)
桌面長寬	60×40	60×40	60×40
椅面深度	30	32	36
桌子高度	60	65	74
實際乘坐長	76-80	80-83	85-90

研究測量整理



### 1. 教室的門口寬度

經由我們測量各教室的門口皆為 90 公分，門口的內徑寬度則為 80 公分，但是大部分的門口的門片還是會阻礙出入口的寬度，因此我們重新測量實際的出入口寬度為 74 公分，並以此作為研究基準。



### 2. 學生的肩膀寬度

在紀錄的過程之中，我們發現會同學在往門口的避難的過程中，會產生部分推擠，在與老師討論之後，我們量取門口寬度對照低、中、高 3 個年級的男女肩膀整理成下表。

年級/cm	低(1-2)	中(3-4)	高(5-6)
男	27-29	32-36	33-40
女	20-23	26-28	31-33

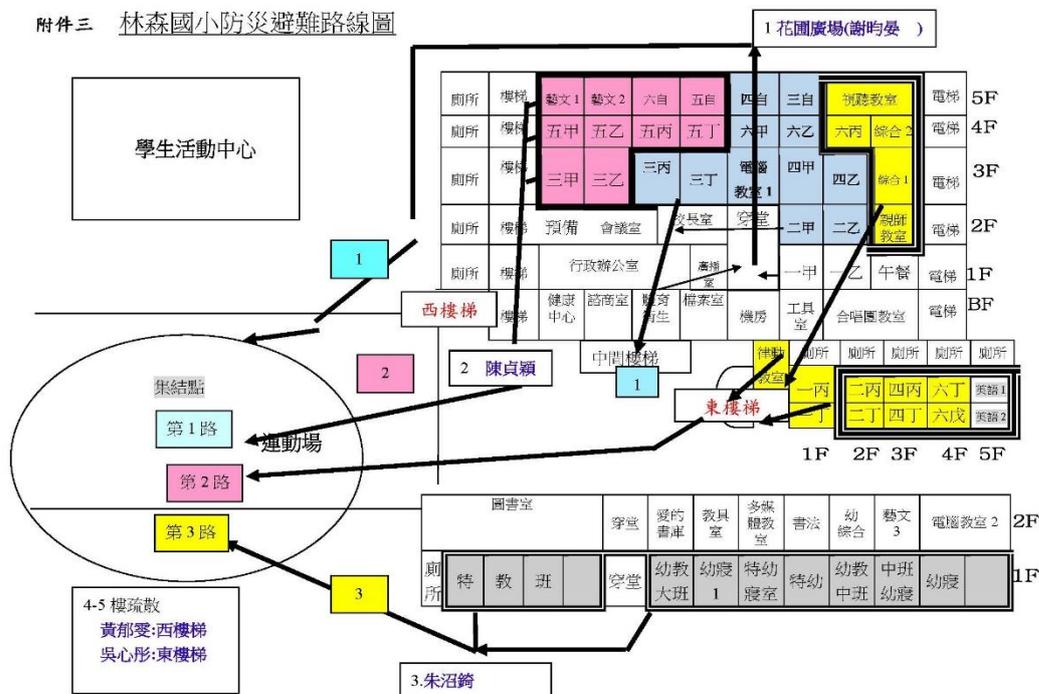
研究測量整理



## 觀察法

我們利用相機錄影並討論學校演練的過程，雖然最後都是在空曠的操場集合。我們透過影片觀察發現：每次演練的避難路線雖然類似，但是各班集合與使用逃生梯的順序並不一定，因此在與老師討論之後，我們決定去找學務處的老師了解學校地震避難的路線並確認，討論之中發現：其實學校並無法規定疏散順序，原因是每個班級離開教室的時間會根據真實災難情況而有所不同，因此學校才會時刻提醒我們牢記依循的避難的原則。所以當災難來臨時，需先「趴下、掩護、穩住」之後，人員也要利用手上物品保護頭部，避免移動中被掉落物擊中受傷並快步方式往門口疏散至走廊，感謝老師給我們防災避難路線圖讓我們可以更了解逃生路線的討論。

附件三 林森國小防災避難路線圖



[圖 2]

## 演練討論

每次避難演練，雖然都順利但就整體演練狀況及量測仍有部分須檢討空間：

1. 演練的心理狀態，演練中無法模擬實際災害發生推擠、恐慌之狀態而且演練學生常漫不經心、應付心態進行。
2. 演練規模龐大，為了更接近災害發生疏散實況，我們希望可以有多人來加以量測各班疏散過程，但是我們只有3人，須考量演練進行之人物力支援衡量。
3. 本研究是實際人員演練測量，因為牽涉全校避難，所以人員較多，考量現況，難以進行多次演練或不定時演練，增加數據精準及演練逼真程度。

## 小結

根據上圖與檢討，我們發現各班疏散與下樓的順序確實很難確認，但是以實際情況判斷應該最接近樓梯的班級，下樓的機會會愈高，但是在幾次觀察之後發現5個樓層疏散至操場的過程不容易去蒐集與歸類，所以在與老師討論之後，我們決定以地震來臨中，廣播所播放的音樂停止後，開始計時至全員往門口疏散至走廊後，這段時間作為測量依據。

## 碎形的發想

對於各班級桌椅的排列，我們是用相機記錄，但是在與老師的討論過程之中，我們常需要在回收紙上繪製測量的教室大小、桌椅走道的距離，討論如何計算規劃最佳的逃生路徑，過程中突然有人開玩笑的說，我們畫的平面圖好像是相同圖案堆疊或是分散，因為這個無心話語，激起老師發想，進入碎形的世界，於是老師便讓我們上網去查詢與了解「碎形」這個奇特的名詞。

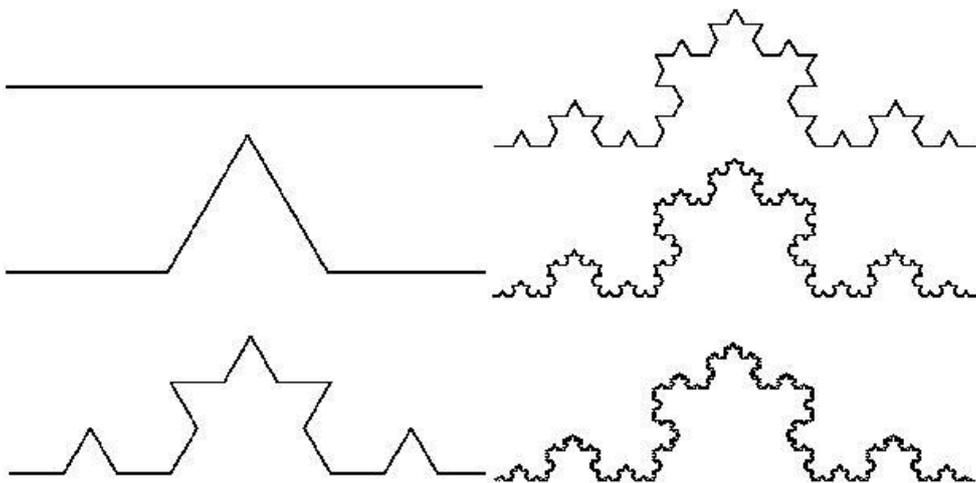
## 碎形的意義

碎形理論(Fractal)為一門新興的幾何學理論，對於自然界的現象如：雲朵、流水、樹木...等，發現只要具備自我相似性及維數非整數的特徵，便可應用於此理論。

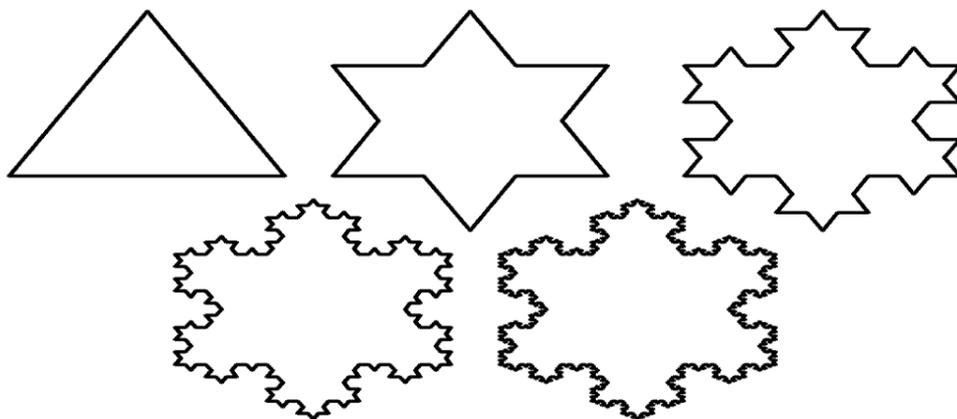
碎形具有尺度無關性：自相似性對於「同一個」碎形結構，以不同大小的量尺來量度「可觀察的區域」，碎形會具有一致的碎形維度。例如，如果我們不同程度地放大或縮小，

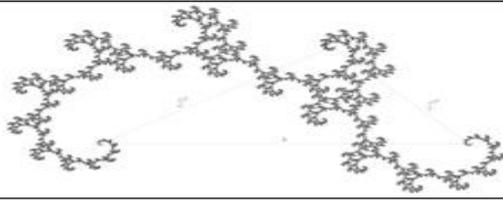
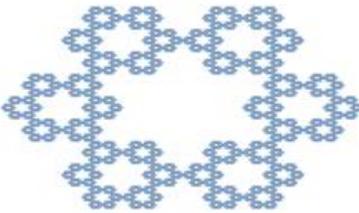
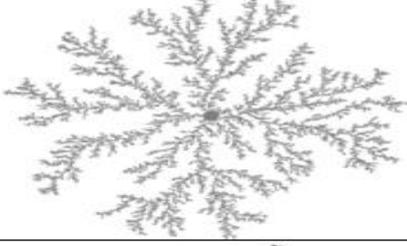
我們會發現圖形的複雜度，或摺疊程度，或粗糙程度並未因此而改變。

碎形具有自我模仿性：對於「同一個」碎形結構，自我模仿就是尺度一層一層縮小的結構重複性，它們不僅在越來越小的尺度裡重複細節，而且是以某種固定的方式將細節縮小尺寸，造成某種循環重現的複雜現象。例如，樹的形狀是一種碎形結構，結構本身具有自我相似性，或自我複製的能力。



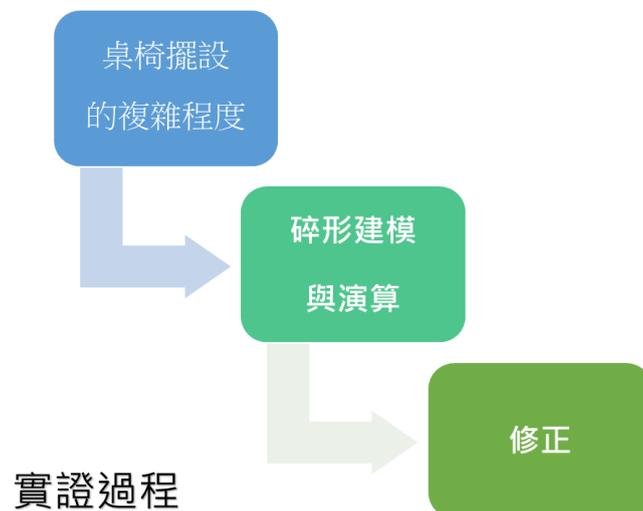
碎形代表有限區域的無限結構：卡區的雪花曲線，是一條無限長，而結構不斷重複的線段，被限制在最初三角形的正圓區域內。例如，原本是一固定線段，最後變成一系列數量無窮，但總長度卻歸為零的點集合。



維度	圖案	名稱/來源
1.25		英國海岸線 CC BY-SA 3.0 作者：Nk
1.618		龍型碎形 維度是黃金比例 CC BY-SA 3.0 作者：Prokofiev
1.6309		雪花 CC 0
1.7		樹 CC3.0
2		圓型碎形 公共領域

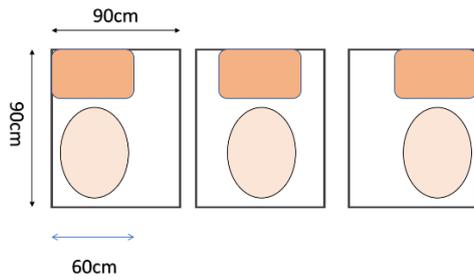
[碎形總表 圖 3]

### 模式發想與計算過程

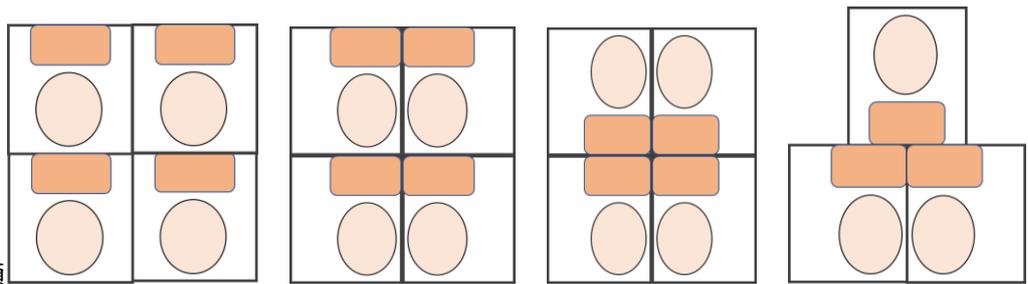


## 碎形的運用

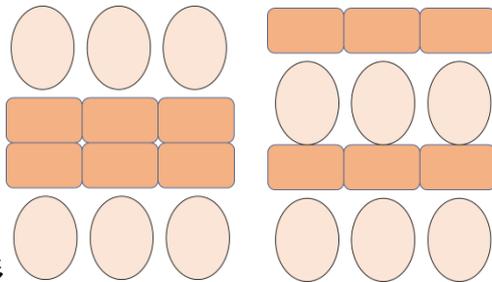
我們與老師的討論之中，因為有同學看著平面圖說了一句玩笑話，便開啟我們的天馬行空，我們嘗試利用俯視圖的觀點來說明我們的想法。下圖是桌椅的示意概念圖，每一組桌椅排列從下圖可知道具有自我相似的特性，而且即使圖形變為4組比例(長度變為2倍)仍具有相似的特性，因此我們嘗試每組椅桌椅為單位，畫成等距離的正方形，來計算教室內的桌椅擺放位置。



單位劃定

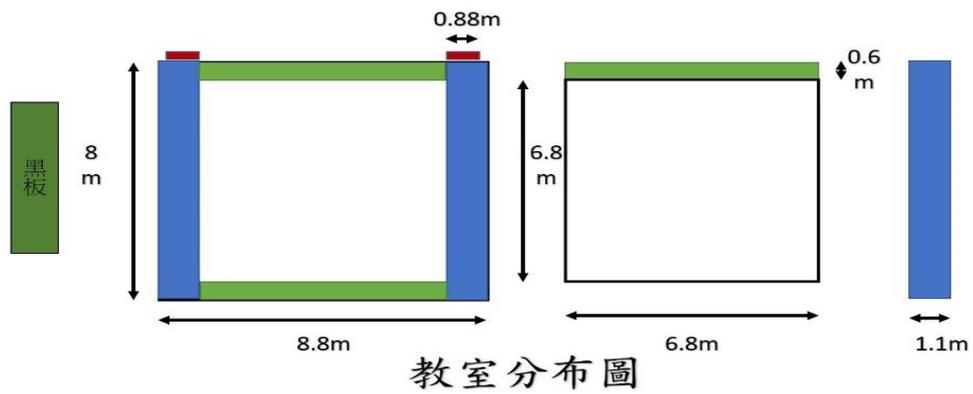


圖形排列歸類



特殊情形

在測量教室之後，我們在跟老師討論的過程中發現，我們將教室空間歸類於3種類型[圖4]。首先是紅色部分，接近黑板的部分，稱為前門；反之為後門。再來是藍色部分，接近黑板部分，大多擺置講桌與電腦桌；另一邊則為餐車、學生置物櫃與老師辦公桌。綠色部分，為水泥置物櫃，屬於原有建築。最後是白色部分，為學生桌椅的擺設區，也是我們研究的主要部分。



[圖 4]

紅色部分：教室前門與後門。

藍色部分：黑板部分，多是擺設講台、講桌與電腦；後門部分，擺設餐車與老師的辦公桌。

綠色部分：屬於建築物一部分，為水泥做的學生置物櫃。

白色部分：學生課桌椅的布置區域。

## 數學公式的建立

$$(1) \text{Min } FD = \frac{\log(C)}{\log(d)}$$

$$(2) \text{St.} \left[ \frac{D_l}{m} \right] = l_m \left[ \frac{D_w}{m} \right] = w_m ; l_m \times w_m \geq x_m$$

(3) 集合元素個數  $\geq N$

(4)  $m \geq k + s$

(5)  $x_m \in (a_1, a_2, \dots, a_N) \forall a_i$

符號說明

FD：碎形維度(Fractal Dimension)

C：教室空間桌椅所佔據的方格數

d：教室空間中將水平與垂直方向，各分成 d 等分

$D_l$ ：教室桌椅擺放區域的長邊

$D_w$ ：教室桌椅擺放區域的寬邊

m：切割的正方形的最大邊長

n：教室班級實際的座位人數

K：桌椅的長與寬的最大尺寸，以公尺為基本單位。

S：走道的距離，以公尺為基本單位。

$(i, j)$ ：賦予總切割格數座標的意義，在 m 是固定的情形下，一個

方形教室空間能切割的方格總數是可以決定的。而每個切割的方格內僅可擺設一組桌椅 (長=0.9m，寬=0.6m)。其中 i 所代表的是由最右上方算起的第 i 行，而 j 為第 j 列。

$x_m : x_m = \left\{ (i, j) \mid \begin{array}{l} \forall (i = 1, 2, \dots, l_m) \\ j = 1, 2, \dots, w_m \end{array} \right\}$ ，指方形教室內所有方格所組成的集合； $l_m$  代表長度

可分配的格數， $w_m$  代表寬度可分配的格數。

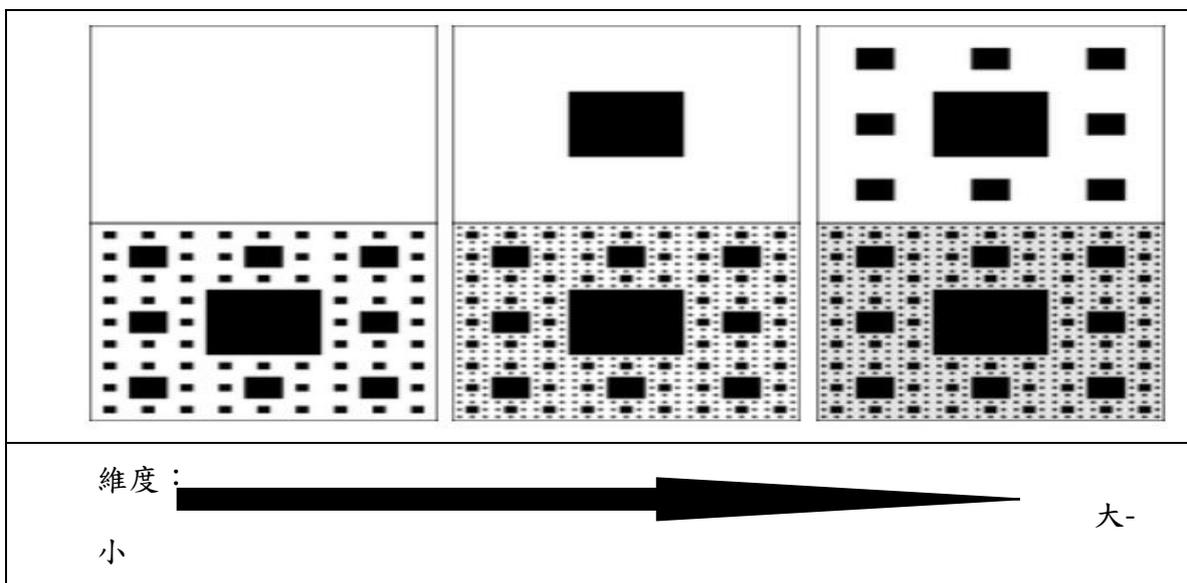
$x_m \in (a_1, a_2, \dots, a_N) \forall a_i$ ：以 m 為兩相鄰的座椅佈置距離下，由

N 個可佈置位置方格所組成之一組座標位置。

[ ]：取整數，意思是切割的格子皆以整數為單位，並沒有 1.5 格，須以 1 格或是 2 格計算。

在上面的數學符號中，我們將數學模式的建立過程，以順序編號逐項說明：

在式(1)部分，是指在固定的教室空間內，與固定的人數下，我們如何擺置桌椅，讓教室內的桌椅佈置的碎形維度最小化。根據維基百科碎形中提到本華曼德博(1975)首次提出「碎形(fractal)」這個用語，含有「破壞」、「破碎」的意思，並將分型的概念從理論中的碎形維數拓展到自然界中的幾何圖形[1]。所以：當維度越大，便代表：圖形越複雜，越密集；維度越小代表：圖形越單純，分散(圖 5)，因此取最小化的意義，說明固定空間之中，桌椅佈置的離散，越分散，符合我們在遇到地震時的逃生路徑是越大越好。



謝爾賓斯基地毯 [圖 5]

式(2)部分，表現的是，以  $m$  為兩相鄰桌椅之距離下的展示空間，其潛在之佈置位置數目是以教室實際空間的大小測量； $\left[\frac{D_l}{m}\right] = l_m$  代表的是矩形教室的水平方向所切割的方割總數(稱之為：位)，而  $\left[\frac{D_w}{m}\right] = w_m$  則為垂直方向所切割的方格總數(稱為：排)，因此可知矩形教室內潛在可以被佈置桌椅數(最大)為  $l_m \times w_m \geq x_m$ ，該值應大於或等於實際人數座椅可擺置位置，也避免碎形能在有限空間內無限結構的循環，不符合實際現況。

式(3)部分， $N$  表示班級人員數，也代表桌椅的擺設數量，說明切割的方格總數量應該大於或等於班級的桌椅，如果切割的方格數量不能擺下實際的桌椅數量這樣便不符合現實情況的要求。

式(4)部分，說明每一個切割的網格，邊長的長度  $m$  將會比  $k+s$  大，也就是說，每一個可以擺設之網格至少要能夠容納得下，一組桌子+椅子+人之大小，符合實際狀況的考量，也可以根據低、中、高年級桌椅的不同，做不同的調整與規劃。

式(5)部分，將切割教室的網格中，以黑板擺設的位置作為基準，接近黑板的門口(前門)給予座標的意義。例如：

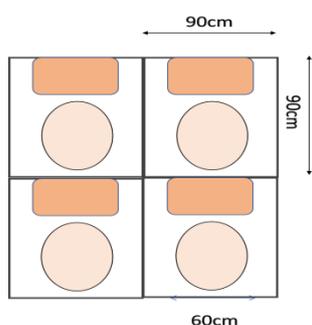
	前門					後門
黑板	1,1	2,1	3,1	4,1	5,1	6,1
	1,2					
	1,3					
	1,4					
	1,5					
	1,6					6,6

(1,1)稱為第一排第一位，(2,1)稱為第一排第二位，所以上圖的方法(位,排)，這樣編排。

### 實例應用

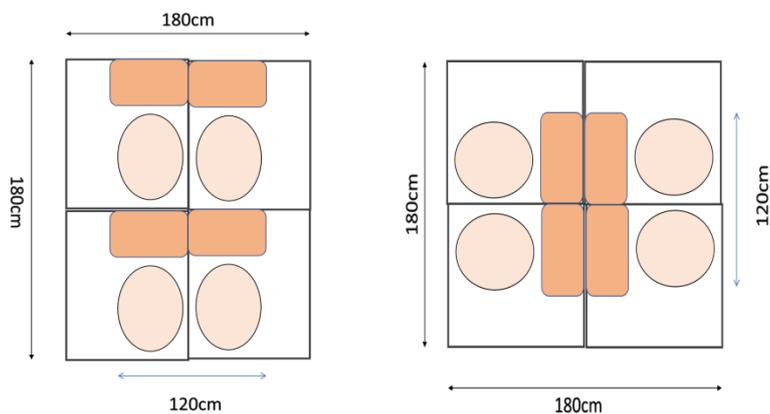
在我們調查低、中、高三個年級歸類之後依照桌椅排列的變化分別應用數學模式加以計算與討論

在調查中發現大多數老師使用的桌椅排列為：單排/行與並排/行



### 單排

我們以 6 年級的桌椅坐人的長度最長為 90 公分計算，發現教室可以劃分為  $7 \times 7$  的網格，班級人數為 24 人，可以看作為 24 個相同圖形，因此算出的碎形維度是 1.63，並不符合實際情形，考量到 6 年級的肩寬最大是 40 公分，因此我們須將方格尺寸調整為  $90+10(S)=100$  公分，因此教室可以化為  $6 \times 6$  的網格，維度是 1.77，另外我們發現維度相同下，其方格邊長最大的距離為 1.1 公尺，代表走道最大可以到 50 公分。

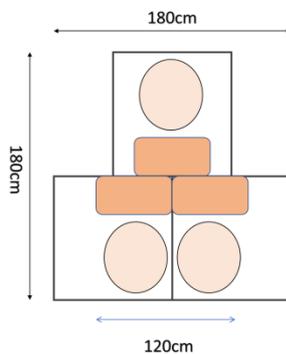


### 並排

對於並排的部分，我們用 4 組桌椅畫為一個圖形去計算，所以教室可以劃分為  $3 \times 3$  的網格，班級人數為 24 個，可看出為 6 組圖形，因此算出的碎形維度是 1.63，而在維度相同下，其方格邊長最大的距離為 2.2 公尺，即當 6 組圖形並排叢聚時逃生走道最大仍可以到 100 公分。

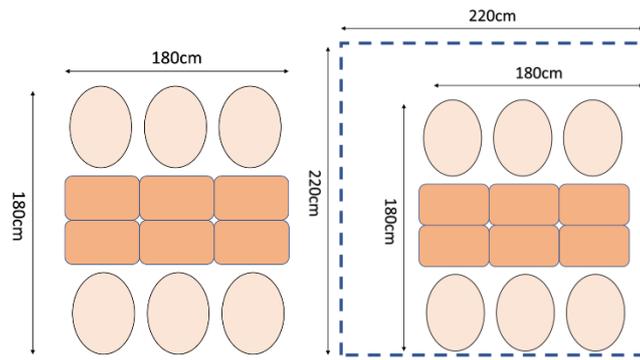
### 特殊

#### 1. 三角形排法



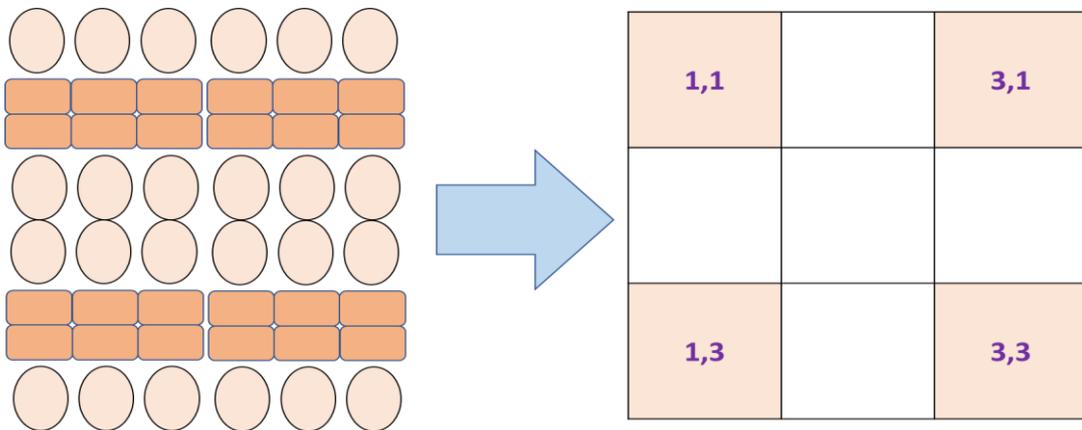
這學期開學我們發現在中年級有老師以 3 組桌椅為 1 個單位，將教室分為桌椅 7 個單位，這讓我們覺得很特殊，也思考我們的數學是否可以計算如此複雜的排列，於是在與老師討論之後，我們用一樣以 4 組桌椅的方格畫為一個圖形去計算，所以教室可以劃分為  $3 \times 3$  的網格，班級人數為 21 個，可看出為 7 組圖形，因此算出的碎形維度是 1.77，而在維度相同下，其方格邊長最大的距離為 2.2 公尺，代表下方兩桌座位走道可以到 100 公分，而上方單組座位的走道寬大於 100 公分。

## 2. 實驗桌形



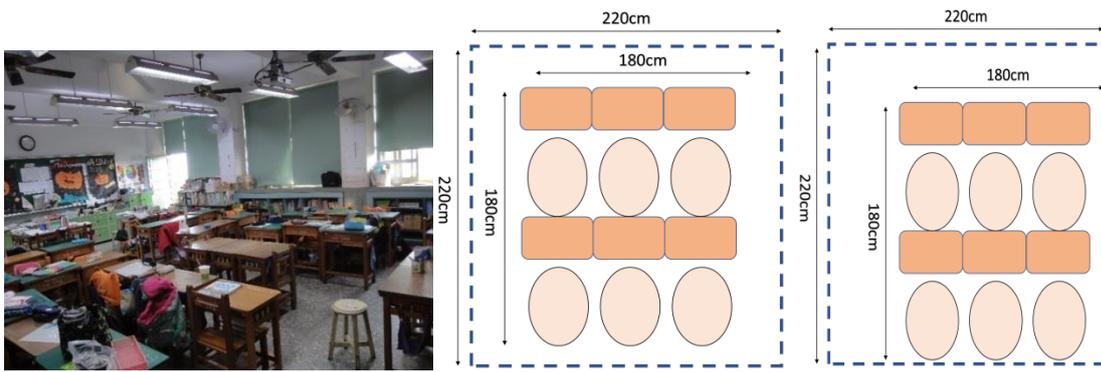
六年級老師的教室

我們用 6 組桌椅畫為一個圖形去計算，所以方格邊長為 1.8 公尺，因此教室可以劃分為  $3 \times 3$  的網格，班級人數為 24 個，可看出為 4 組圖形，但此種劃分的方格並未考量到走道空間，尤其是中間座位的同學需往後才能逃生避難。雖然我們算出碎形維度是 1.26，是本研究最佳的維度值，但方格邊長最大的距離為 2.2 公尺，免強達到 40 公分的走道寬度(上圖右)，也符合高年級肩膀寬度最大距離，但是如果 4 組圖形群聚時(下圖)，這樣便違反逃生的原則，因此我們與老師討論是否須修正數學模式。

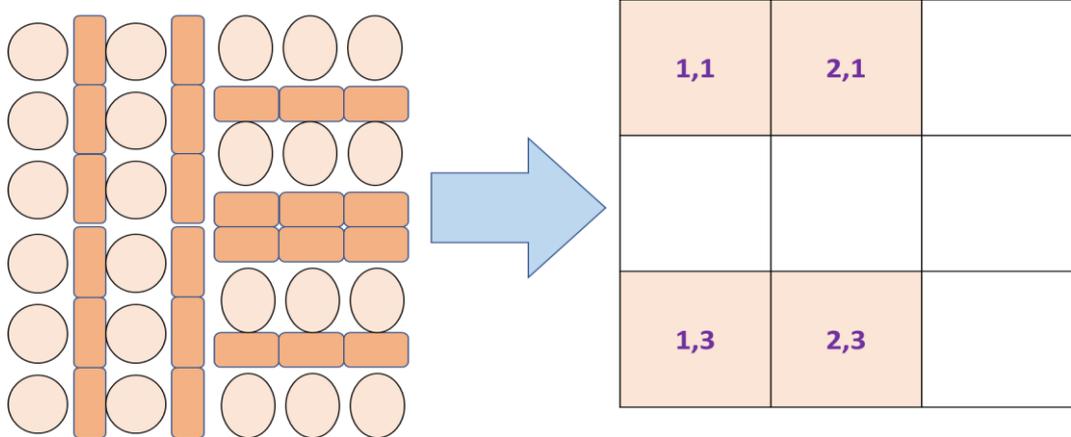


討論過後，維度值與逃生走道並無違背，正因為維度小，所以可以分散布置，如上圖右說明：只要將 4 組圖形布置在(1,1)、(1,3)、(3,1)、(3,3)因此逃生路線反而寬廣。

### 3. 會議桌形

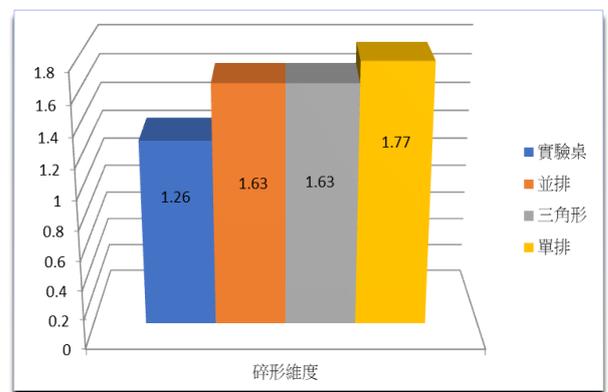


上圖是高年級另一位老師所使用的組合，雖然跟實驗桌形的計算結果相同，維度也是 1.26 最佳值，但是布置上採用叢聚方式(1,1)、(1,3)、(2,1)、(2,3)，對於桌形中間的同學在移動上有很大的阻礙與困難，位於會議桌形兩側的同學在逃生路徑上也會有所限制。



#### 小結

我們嘗試以數學量化的角度來研究教室空間中的桌椅擺置，單純利用碎形的概念將各種桌椅擺設化為圖形與座標，追求空間離散的最小值，換言之就是追求其逃生走道的最大寬度。研究中所有的碎形的計算，都經由微軟 Excel 軟體中的函數取  $\log$  (對數) 工具



來計算，研究過程中最有趣的地方是如何將教室桌椅擺設的平面圖歸為同一種圖形計算，根據我們所計算的結果，我們學校維度最高為實驗桌形 1.26，其次是並排桌形 1.63，最後是我們熟悉單排桌形 1.77，供學校老師作參考。

## 門口人潮的堵塞

對於門口人潮堵塞與推擠，我們用下圖來表示，與老師的討論過程中，了解到「流量」的概念，就是以門口的有效寬度在每秒可流出的人數就等於離開出口人員數目的最大值，若超過將會在門口造成停滯現象。因此我們將每秒可流出的人數以下列數學做表達。

## 數學公式的建立

$$\text{Max } TP = [Ew/Sw]$$

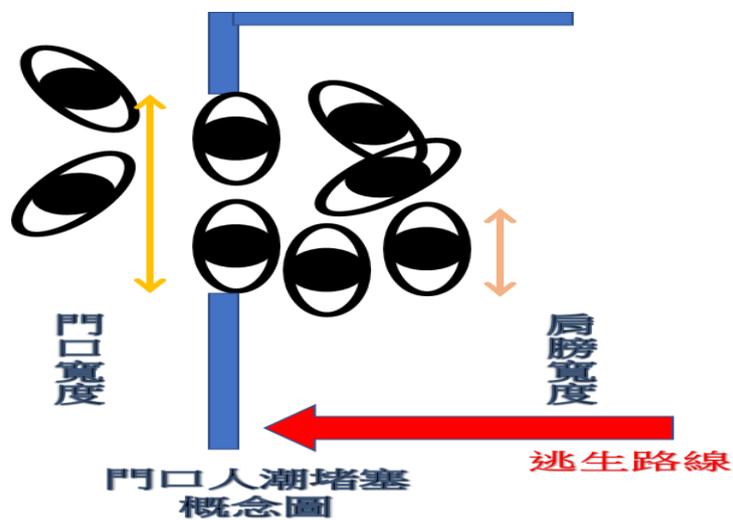
符號說明

$TP$ ：人口流量 (Transport people)

$Ew$ ：門口寬度 (Export width)

$Sw$ ：肩膀寬度 (Shoulder width)

[ ]：取整數，以整數為單位，並沒有 1.5 人，須以 1 人計算。

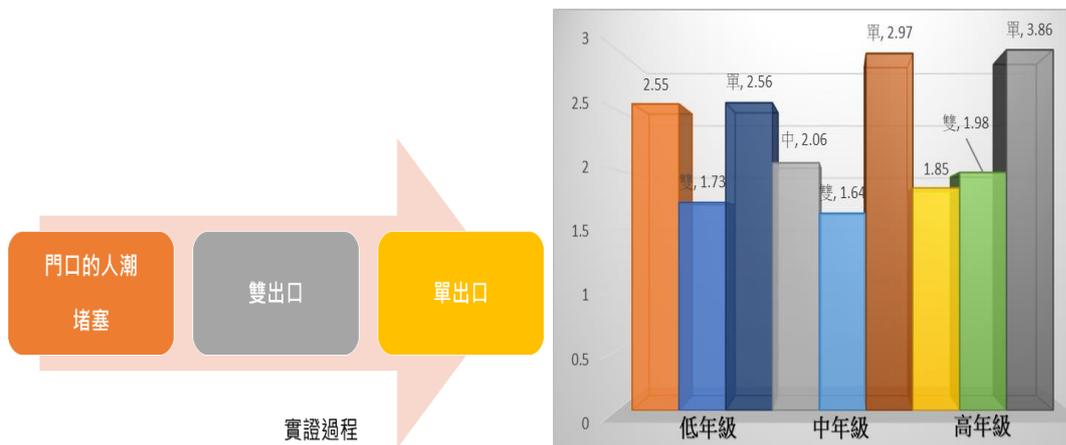


[圖 6]

年級/cm	低(1-2)	中(3-4)	高(5-6)
門口寬度 (Ew)	74	74	74
男 (Sw)	27-29	32-36	33-40
女 (Sw)	20-23	26-28	31-33
每秒可通過人數(Tp)			
男	2.55 (2 人/秒)	2.06 (2 人/秒)	1.85 (1 人/秒)
女	3.22 (3 人/秒)	2.64 (2 人/秒)	2.24 (2 人/秒)

我們以測量的數據計算，用肩寬最大寬度為基準做計算，結果如上：低年級與中年級只要同一時間(秒)不要超過 2 人便不會有堆擠塞車的現象產生，高年級則由於體格比較接近成人，同一時間男生只能通過 1 人，女生最多 2 人，超過就可能在門口處發生堵塞推擠也符合我們觀察到避難演練中發生推擠的情況。

### 實例應用



根據上圖，我們從低、中、高年級中隨機抽測 1 個班級，其中班級桌椅排列須一致，分別觀察雙門口逃生與單門口指定逃生有無推擠情形。

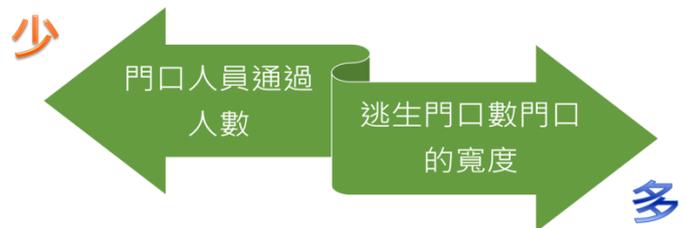
年級/cm	低	中	高
門口寬度 (Ew)	74	74	74
雙門口	5.78	6.4	6.06
單門口	7.98	7.07	6.21
人數	20	21	24
每秒可通過人數(Tp)			
雙門口	1.73 (1 人/秒)	1.64 (1 人/秒)	1.98 (1 人/秒)
單門口	2.56 (2 人/秒)	2.97 (2 人/秒)	3.86 (3 人/秒)

上表可知逃生口越多，逃生速度越快，根據公式計算只要門口大於或等於 2 人以上就容易出現堵塞的情形，以雙出口來看，各年級都小於 2 人，因此鮮少出現堵塞的情況，但是高年級方面只要超過一人就容易堵塞，雖然實際情形不嚴重但是仍有出現輕微堵塞情形；而單一出口做比較發現，各年級都有超過 2 人，皆有發生堵塞情形，高年級堵塞的情形更為明顯，符合實際情形。

### 小結

根據我們計算與實際測驗的情形，我們討論出幾個重要的原則：

1. 逃生的出口數越多越好。
2. 門口的寬度越大越容易逃生，但是在門口的寬度有限制時，我們須注意在同一時間內集合在門口的人數須遵守秩序不奔跑，才能迅速離開



災難現場，這與老師平常跟我們提醒「蹲下、掩護、穩住」的三原則是相符合。

3. 在雙門口逃生的測試當中，我們發現越往樓梯口的出口，相對上比另外一個門口的人數要來的多，所以離逃生口越近，人群越聚集，顯示大家平時訓練有素。

## 伍、 結論

我們遵循學校災害防救計畫，分別以門口人潮的堵塞與教室桌椅擺設的複雜程度 2 種模式，選擇演練建築物及年級，實際進行疏散避難演練，量測學生震災演練避難時間，並與碎片數學公式來計算避難時間相互驗證比較分析，各研究結果整理如下：

### 一、 門口人潮的堵塞情況

1. 我們進行各種不同擺設的教室內進行測量，根據所測得的數據，得知年級越高，越容易發生堵塞的情形，因為高年級的身材條件，比較高大這點是實際相符，但是另外我們有發現到低年級，尤其是一年級也容易發生推擠現象。
2. 單一逃生口與雙逃生口：在量測的時間之中，發現各種桌椅排列的教室都是單一門口的時間大於雙逃生口；但是我們發現即使是雙逃生口越接近樓梯的出口比較容易有輕微的堵塞現象。

### 二、 桌椅擺設的複雜程度

1. 我們全面調查校園裡的教室後歸類成單排、並排，比較特殊的是三角形，實驗桌形與會議桌形。另外我們觀察中發現低年級幾乎都使用單排桌形，中年級多使用並桌與單排，其中一班是三角桌形而高年級則是比較複雜除了前面的單、並排外還出現實驗桌與會議桌形。
2. 根據數學模型的演算，我們認為高年級中的實驗桌形逃生效果最好維度是 1.26，之後是並排(維度 1.63)與單排(維度 1.77)，維度的數值越小代表在教室空間就越分散。

## 陸、研究限制與建議方向

### 研究限制

1. **逃生出口數多寡(2個)**，如果實際情況可以允許逃生的出口是越多越好。
2. **出口的寬廣**(外框 90 公分/內徑 80 公分，扣掉門片轉折處實際為 74 公分)，經由我們測量，逃生出口如果允許是越多越好，寬度是越大越好，這樣可以避免大量人潮，擠在同一出口造成推擠現象。
3. **逃生路徑的界定**，因為每次各個班級在演練時下樓梯的順序都不一定，所以我們是量測在教室中完成蹲下後，原地起身到通過門口走廊為主，並沒有測量到操場集合時間。
4. **其餘障礙物**，我們研究主要以桌椅排列後的走道寬度為主，忽略在排列範圍外的障礙物，例如：盆栽，壞掉的桌椅，學生的書包亂丟，老師的辦公桌與講台...等。
5. **演練狀況較難量測的部分**，是災難發生時人員當下之心理狀況，我們發現疏散演練廣播時，部分學生進行疏散通常較漫不經心，造成量測所得時間準確程度降低。
6. **演練難以多次或隨機演練**，學校規模的演練，需要學期前排定與事先通知，而且教室內的桌椅在學期中常會變換不同的擺置。因此我們雖然以錄影重播討論，但是修正後的方法，難以立即再次演練。

### 建議方向

我們的研究嘗試用碎形概念建立桌椅排列與分散的依據，目的是在追求逃生路徑的最大化，並作為老師在考量逃生路線下的擺置桌椅依據。但是在與多位老師訪談的過程中發現，老師會隨時根據課程的需求變化桌椅的擺置，來提升上課品質與增進課程的深度。因此要如何讓老師在兼顧上課教學與避難逃生中取得平衡可以做為未來考量的一個因素，另外在演練中我們有發現到人員逃生避難方向經常是熟悉的出口或是樓梯而且多數的人都會追隨人群疏散的特性，所以有些老師在過程中有下達指示的班級，測得的秒數也愈快。簡言之受災者的心理情況，這是我們在建立模型時沒想到的部分，如果可以量化，會讓數學模型更貼近現實災難模擬，提供避難更真實的建議。

## 柒、參考資料與補充

1. [http://www.921emt.edu.tw/content/education/education03\\_01.aspx?sid=72&TypeID=6](http://www.921emt.edu.tw/content/education/education03_01.aspx?sid=72&TypeID=6) 國立自然科學博物館 921 地震園區--學習資源網  
2
2. <http://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/planning/seismological.htm> 中央氣象局地震專欄
3. 國家防災日各級學校及幼兒園地震避難掩護演練實施計畫，教育部，2012
4. <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%87%BA%E7%81%A3%E5%9C%B0%E9%9C%87%E5%88%97%E8%A1%A8> 維基百科/地震列表
5. <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%88%86%E5%BD%A2> 維基百科

### 圖表

1. 教室平面尺寸圖
2. 林森國小防災避難圖
3. 碎形總表
4. 教室分布圖
5. 謝爾賓斯基地毯
6. 門口人潮堵塞圖