

# 中華民國第 53 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 地球科學科

佳作

030505

「水砂共舞」－探討坡地土壤沖刷之特性

學校名稱：高雄市立阿蓮國民中學

作者：  國二 沈宗逸  國二 丁應章  國二 蘇子傑	指導老師：  曹 鎮  邱聘修
---	-----------------------------

關鍵詞：土壤沖刷、植生、人工智慧

# 「水砂共舞」－探討坡地土壤沖刷之特性

## 摘要

本報告研究坡地土壤之沖刷特性，使用縮小版的水槽進行沖刷實驗，分別嘗試各種因素如坡度、水量、流速、土砂、植生的組合所造成之沖刷量，找出其沖刷規則，並歸納各因素的重要性與交互關係。

再將主要因素套用模糊理論，依照實驗的沖刷規則等比例放大，即可推估曾文水庫各子集水區的土壤沖刷量，與莫拉克颱風發生之實際沖刷量進行比較，誤差多集中於 30% 以內，有不錯的精確度，值得未來做更進一步的研究與討論。

## 一、前言

台灣由於地理環境特殊，山高坡陡，水流湍急，加上經常發生颱風豪雨，常常引發大規模的土石沖刷或坍方，輕則造成河道壅塞、河床坡度改變，重則造成水庫淤積或掩埋下游村落...等相關後續問題，造成生命財產的嚴重損失，因此土壤沖刷量的推算，將有助於水庫或河川管理當局，作為水資源規劃的重要參考資料。

有關坡地土壤沖刷的現象相當複雜，且受到甚多因素的交互影響，因此不容易正確的估算沖刷量，通常必須配合降雨量、地形坡度、地質條件、植物生長情況、崩坍面積、衛星資料等，並配合數學計算加以推估。

## 二、研究動機

最近新聞上常提到許多水庫因為淤積泥砂，造成蓄水量下降，加上今年的春雨量不足，許多地區開始要分階段限水，甚至提到不久的未來，水可能和汽油一樣貴，讓我們好奇為什麼水庫裝不了水，而是裝滿了泥沙呢？

正好資優班課程有機會上圖書館去找資料，我們想要找到水流搬運泥沙的方法，但是書籍資料上的計算方法卻不一致，網路上的說法是誤差可能將近 100% ，而且需要經過複雜的計算，得到的結果卻還不一定正確，這樣的結論讓我們感到有點失望，卻也更加引起了我們的好奇心。

因為學校一直以來都鼓勵資優班同學進行科展研究，加上學長姐曾經研究過人工智慧，而且都在全國科展有相當優秀的成績，因此我們想要藉由科展的機會，找出一個簡單又準確的方法，來推估坡地土壤的沖刷量。

### 三、研究目的

- 1.由縮小坡地實驗找出影響沖刷量的代表因素
- 2.探討不同因素間的交互作用關係
- 3.探討不同因素對沖刷量之影響
- 4.以人工智慧推估沖刷量的多寡
- 5.與實際沖刷量進行對比與驗證

### 四、研究設備器材

- 1.實驗水槽 100×30cm(沖刷部分-長度 70cm ×寬度 30cm)
- 2.土砂(現場採樣)
- 3.植物(現場採樣)
- 4.Power 自動水平水準儀
- 5.複式顯微鏡
- 6.保力龍屑
- 7.碼表
- 8.直尺
- 9.數位像機
10. 中央氣象局氣象資料
11. 曾文水庫集水區影像資料
12. 曾文水庫集水區防砂壩資料(經濟部水利署南區水資源局提供)
13. 電腦設備：Intel Pentium IV 電腦
14. 應用軟體：Microsoft Excel Microsoft Word

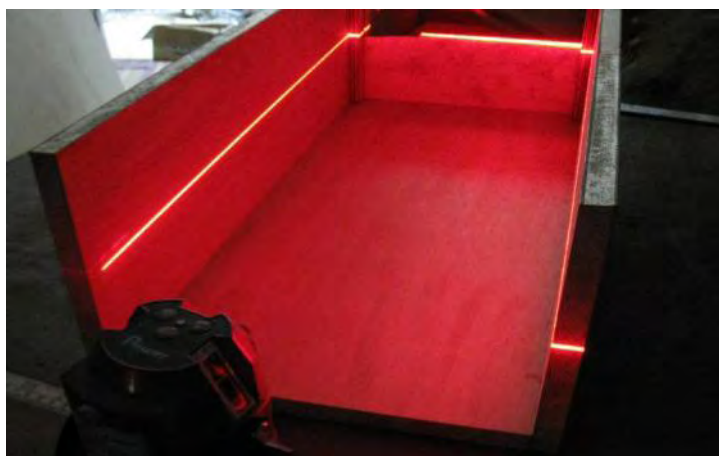
### 五、研究方法

1. 為模擬坡地的土壤沖刷，本報告設計長度 100cm ×寬度 30cm 之木製實驗水槽(沖刷部分-長度 70cm ×寬度 30cm)，進行後續之坡地沖刷模擬實驗。

2. 為確保水槽內的土砂鋪設平整，以及正確調整水槽坡度，每次進行實驗前，都要使用 Power 自動水平水準儀校正，才進行後續的實驗，如下圖所示。



Power 自動水平水準儀



3. 由於我們的研究區域選定曾文水庫集水區，因此為了更進一步瞭解現場情況，以及實驗模擬之正確性，我們前往位於曾文水庫集水區的大埔鄉，進行土砂以及植物的採樣，採樣地點為情人公園，情人公園位於曾文水庫最上游，園區內仍然保有相當多的原始植被，我們在距離水庫約 30 公尺，坡度大約 20 度的地區採樣，共採集 2 種植被；另外我們也在更上游，距離水庫約 400 公尺，坡度約 50 度之裸露地，採集到黃色砂土（顯微鏡分析平均粒徑約 0.05mm），並且在下方乾溪河道中採集到黑色砂土（顯微鏡分析平均粒徑約 0.3mm）。



情人公園一隅



植被 1 採樣過程



植被 2 採樣過程

4. 另外我們在採樣過程中也發現，在山坡地上有較大型的植物和其他蕨類雜草等混生的樹林，雖然我們很想把它們也採樣回來，可是由於樹木實在太大，連人要進去都很困難，所以只能作罷。



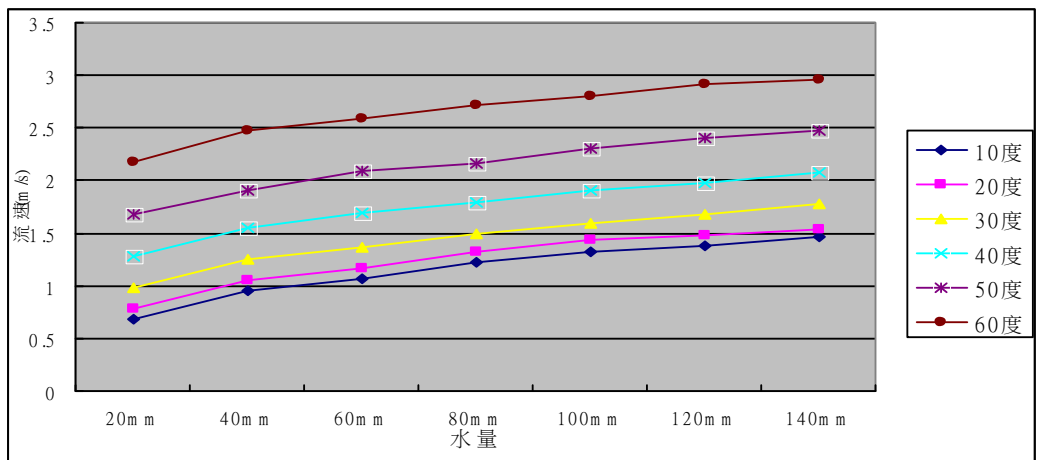
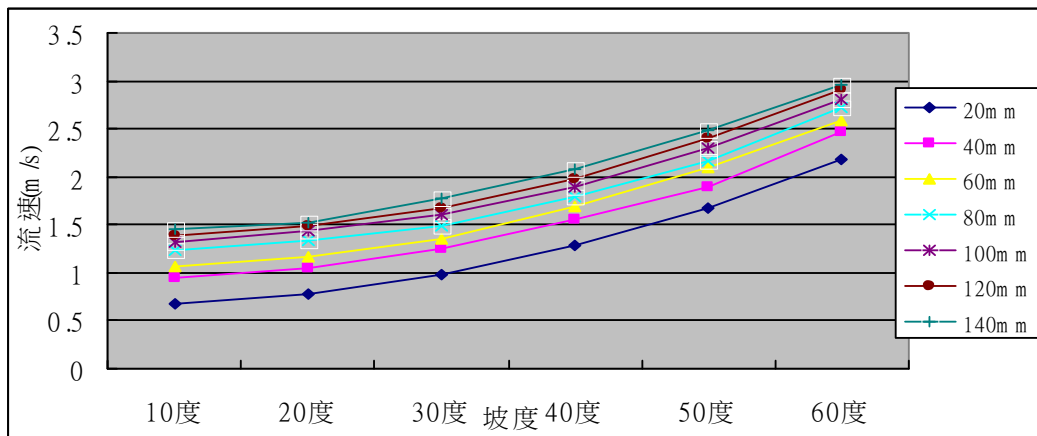
混生林的植被情況

5. 在採樣的過程中我們發現一個大問題，就是在大自然中存在著超大與極小尺寸混合的情況，像植物小從一株雜草到一顆大樹，都生長在一起，要作實驗完全的模擬簡直是不可能的事！！而山坡上除了細小的土砂外，也有比人還大的巨石也同時存在。

我們只好將能搬回實驗室的部分小心帶走，避免額外的震動，而其他無法作實驗的部分，例如大石頭與大樹，只好藉由數學的方法加以延伸放大，而這也正是資優班上課時，老師補充到有關人工智慧與自我學習的功用，我們想

到如果能夠不用把大樹搬走，還是可以計算出混生林的土壤沖刷量，那不真是太神奇了！！

6. 因此我們決定了後面的研究步驟，先用現場的土砂進行沖刷實驗，找出影響沖刷量大小的重要因數，然後再作實驗探討各因數的交互作用，最後利用人工智慧進行轉換與學習，即可模擬出可能的沖刷量，最後再與防砂壩的實際淤積量進行學習比對，即可自我修正得到最適合的模擬程式。
7. 首先我們做實驗找出流速與坡度及水量的關係，我們分別嘗試 10 度、20 度、30 度、40 度、50 度、60 度的坡度，配合水位 20mm、40mm、60mm、80mm、100mm、120mm、140mm 的情況，在實驗水槽中產生流速，我們在水中丟入保利龍屑，並且用像機計時連拍，將距離除以保利龍屑通過時間，即可換算出流速，如下圖所示。



水量\坡度	10度	20度	30度	40度	50度	60度
20mm	0.68	0.78	0.98	1.28	1.68	2.18
40mm	0.95	1.05	1.25	1.55	1.9	2.47
60mm	1.06	1.16	1.36	1.69	2.09	2.59
80mm	1.23	1.33	1.49	1.79	2.16	2.72
100mm	1.32	1.44	1.6	1.9	2.3	2.8
120mm	1.38	1.48	1.68	1.98	2.4	2.91
140mm	1.46	1.53	1.78	2.08	2.48	2.96

◎小結：我們可以發現水流的流速與坡度成正比例關係，與水位也成正比例關係，但是水位的影響程度較小，而坡度對流速的影響程度則較大。

8. 接下來我們再加入土壤沖刷的因數，我們將採樣回來的黃色砂土與黑色砂土平鋪在水槽中，厚度 10 公分，分別嘗試 10 度、20 度、30 度、40 度、50 度、60 度的坡度，配合水位 20mm、40mm、60mm、80mm、100mm、120mm、140mm 的情況，進行沖刷實驗。



鋪設水槽泥沙

◎小結：我們發現水流因為受到砂土的阻力，流速明顯比上一組實驗降低，而此時要量到它的流速也有一定的困難，因為水流會受到泥沙影響而翻滾，導致保利龍屑經常會被卡住，更不用說是在有植被的情況下，流速的測量將變得毫無意義，而且我們目的是想要得到土壤沖刷量，因此我們將後續實驗重點集中於土壤沖刷量。

我們維持固定坡度與水位，持續沖刷土壤 20 秒鐘，然後在出水口下方收集流出的砂土，靜置一天後再量取被沖刷出來的砂土體積，再除以沖刷區面積 ( $0.21\text{m}^2$ )，就可以得到單位面積的土壤沖刷量，為求慎重起見，每一組實驗我們都重複 3 次，再把 3 次的沖刷量加以平均。



黑色砂土沖刷情況



靜置一天後量土砂體積

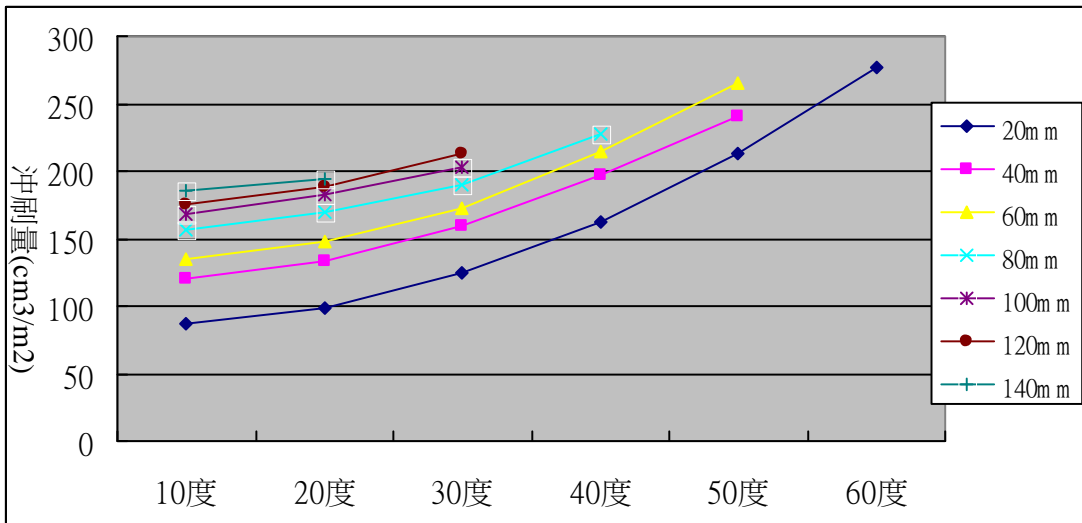
另外在實驗中發現，當到達某一個坡度與水量的情況下，土砂將會在 20 秒以內大量崩落，我們認為這代表已經超過實驗水槽的極限，也就是說水流的沖刷能力遠大於 10 公分土壤的摩擦力；如果是在野外代表將會有大量的表層土壤流失，而這個點也就是後續人工智慧學習時，模糊隸屬函數等於 1 的輸入點。



黃色砂土沖刷情況



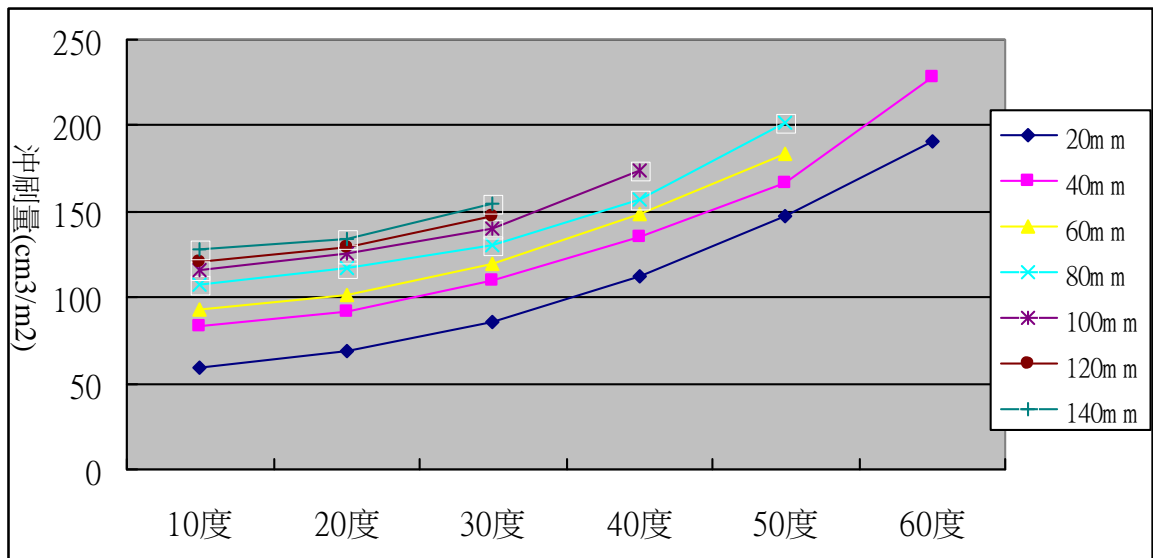
黃色砂土大量崩落





水量\坡度	10度	20度	30度	40度	50度	60度
20mm	86.36	100.06	126.46	162.56	213.36	277.86
40mm	120.65	131.35	157.75	198.85	244.3	
60mm	133.66	146.32	173.72	213.33	263.43	
80mm	155.61	169.81	189.23	230.31		
100mm	168.64	183.88	203.2			
120mm	174.26	189.86	213.36			
140mm	185.42	194.31				

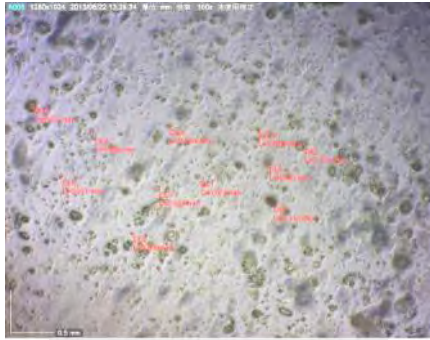
黃色砂土(粒徑 0.05mm)沖刷量( $\text{cm}^3/\text{m}^2$ )



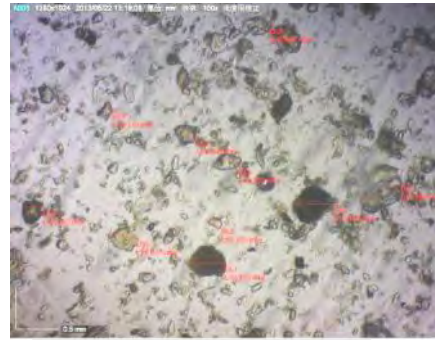
水量\坡度	10度	20度	30度	40度	50度	60度
20mm	59.59	68.35	85.88	112.17	147.22	191.03
40mm	83.25	92.01	109.54	135.83	166.50	228.11
60mm	92.89	101.65	119.18	148.09	183.15	
80mm	107.78	116.55	130.57	156.86	201.18	
100mm	115.67	126.19	140.21	174.11		
120mm	120.93	129.69	147.22			
140mm	127.94	134.07	154.35			

黑色砂土(粒徑 0.3mm)沖刷量( $\text{cm}^3/\text{m}^2$ )

◎ 小結：由不同坡度和水量的組合可以發現，粒徑較大的黑色砂土比較不容易被沖刷，要發生大量崩落的條件也較高，而且黑色砂土粒徑為黃色砂土的 6 倍，而土砂沖刷量約只有黃色的 70%，這樣的規則將可以用來推估顆粒更大的土砂沖刷量。

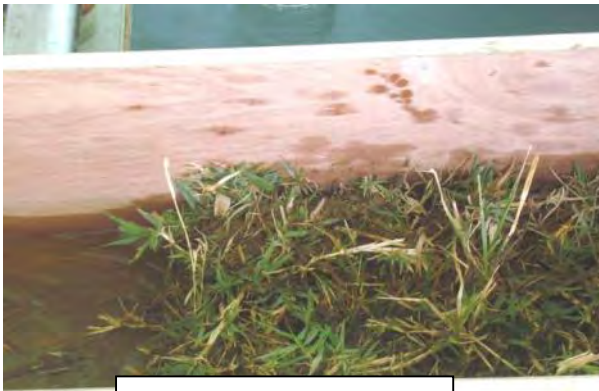


黃色砂土顯微照片



黑色砂土顯微照片

9. 我們再加入植被的因數，我們將採樣回來的植被 1 與植被 2 平鋪在水槽中，厚度 10 公分，分別嘗試 10 度、20 度、30 度、40 度、50 度、60 度的坡度，配合水位 20mm、40mm、60mm、80mm、100mm、120mm、140mm 的情況，進行沖刷實驗。。



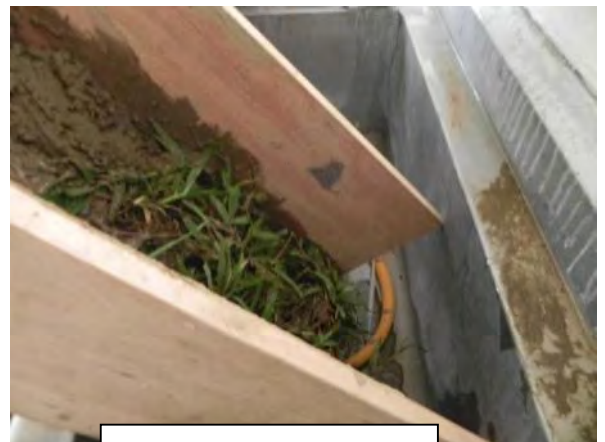
植被 1 沖刷情況



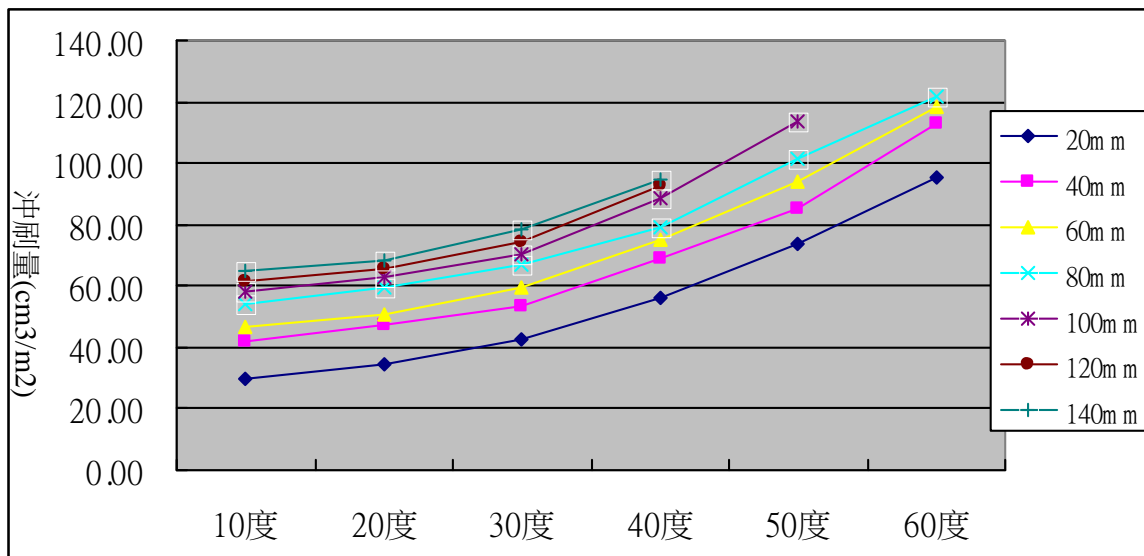
植被 1 大量崩落



植被 2 沖刷情況



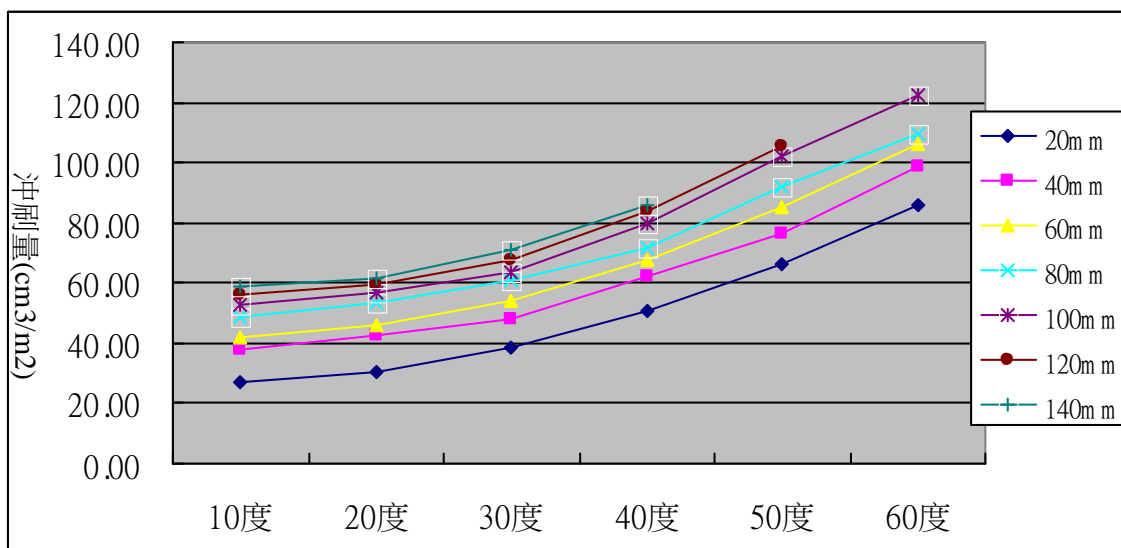
植被 2 大量崩落



植被 1 冲刷量(cm³/m²)

水量坡度	10 度	20 度	30 度	40 度	50 度	60 度
20mm	28.19	34.18	42.94	56.08	73.61	95.52
40mm	39.66	47.10	53.26	69.13	85.26	113.06
60mm	44.50	50.83	59.59	75.36	93.77	120.15
80mm	53.89	59.63	67.28	79.28	101.28	127.54
100mm	56.69	63.09	70.10	88.75	113.56	
120mm	60.30	65.77	74.16	92.36		
140mm	61.73	68.36	78.69	94.56		

植被 1 冲刷量(cm³/m²)



植被 2 冲刷量(cm³/m²)

水量\坡度	10度	20度	30度	40度	50度	60度
20mm	26.81	30.76	38.64	50.47	66.25	85.97
40mm	37.68	42.39	47.93	62.22	76.73	98.75
60mm	41.85	45.74	53.89	67.82	84.93	106.34
80mm	48.90	53.67	60.98	71.75	91.85	109.89
100mm	52.88	56.88	63.89	80.12	102.20	122.25
120mm	55.87	59.45	67.44	83.72	105.43	
140mm	58.68	61.78	71.28	85.80		

植被 2 沖刷量( $\text{cm}^3/\text{m}^2$ )

◎小結：經由實驗結果比對，我們發現有植被覆蓋保護的土壤，其沖刷量大幅下降為裸露地的一半，而且發生大量崩落的時間延後，且發生時需要的水量和坡度都增加；我們可以歸納出裸露地約在坡度大於 40 度、或者水流量大於 80mm 時，會出現大量崩落的情形；而有植被處則要坡度大於 50 度、或者水流量大於 120mm 時，才會出現大量崩落的情形。另外，植被 2 由於根部長得較密集且葉片面積較大，相較於植被 1 的沖刷量又減少了 10%。



植被 2 根部剖面



植被 1 根部剖面

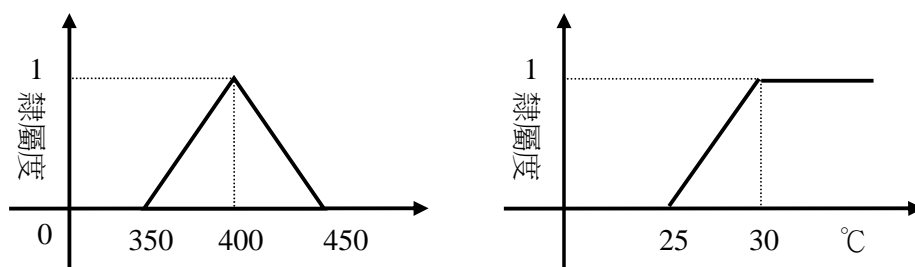
10. 經由一系列的沖刷實驗，我們歸納出影響沖刷量的主要因數有坡度、土質、水量、植被等，但是在實際情況下坡面上的水流量較難測量，因此我們可以使用降雨量取代，雖然兩者數字不見得完全相同，可是卻一定有正相關的關係，而這也是我們決定採用人工智慧與模糊理論的原因，基本上只要兩者存在有某種關係，就可以用這種方法去進行模擬。
11. 我們發現大自然的沖刷現象是相當複雜的，而且受到許多因素的交互作用影響，很難用實驗室的簡化理想狀態來模擬，因此我們只能找出影響較大的主要因數，其他影響較小的只好加以省略，再利用模糊理論找出大致的規律，搭配權重集決定各個因數所占的比重，即可推估出可能的沖刷量。
12. 本報告採用容易取得的平均坡度、土質、降雨量、植被情形、以及集水區面積等五個因數，做為土壤沖刷量的主要影響因數，並配合實驗的數據，建立各因數的隸屬函數，再將各因數轉換為模糊值(0~1)。
13. 配合實驗的數據，分析各因數的權重(相對重要性)。
14. 本報告採用曾文水庫集水區內設置的多座防砂壩，以埔仔寮溪實際調查之淤積量，配合 Excel 程式，進行人工智慧的學習階段；經過反覆測試，調整隸屬函數、權重至最佳分配，以模擬自然界之規律。
15. 當學習完成後，以民國 98 年莫拉克颱風之實際降雨量，輸入我們設計的人工智慧程式中，使它推算出各個子集水區的土砂沖刷量，再與實際值作比較驗證。

## 六、人工智慧簡介

人工智慧 (Artificial Intelligence 或簡稱 AI) 有時也稱作機器智慧，是指由人工製造出來的系統所表現出來的智慧，通常人工智慧是指透過普通電腦以運算方式實現的智慧，進而能夠執行判斷、決策與分析等的工作。人工智慧的基本計算原理是利用模糊方法，將數據資料轉換為 0~1 的模糊數值，再輸入電腦進行運算，以下簡單介紹模糊理論。

模糊理論主要之用意是將主觀性及不確定性之事物經過隸屬度的表達，將不明確之事物轉換為可運算的數字，對於「不精確」、「含糊」或「資訊不充足」的

問題特別具有效力，亦可將人類的「概估」觀念轉換為數學方式表示。模糊集合可用 0~1 之間隸屬度函數表示之，當隸屬度為 1 時，表示其模糊預測與目標之間完全符合；當隸屬度為 0 時，表示這個模糊預測不屬於這個目標，下圖左表示接近 400 的隸屬函數，圖右表示天氣炎熱的隸屬函數。



## 七、運算過程說明

### 1. 建立因素集 U：

因素集是由影響評判對象的各因數所組成的集合，各因數通常都具有某種程度的模糊性，例如觀測的誤差，本報告選擇對土壤沖刷量影響較大的平均坡度、平均粒徑、降雨量、植被情形、以及集水區面積等五個因數為因素集，做為推估土壤沖刷量的的主要影響因數。

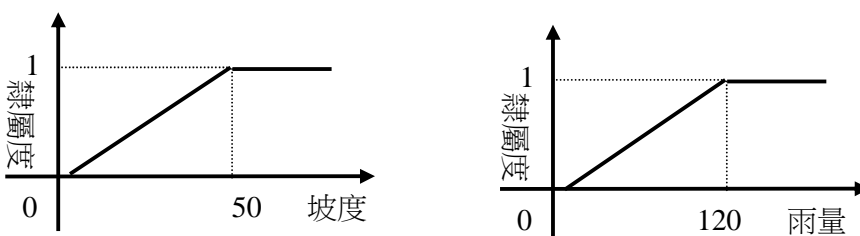
即 因素集  $U = [\text{平均坡度、平均粒徑、降雨量、植被情形、集水區面積}]$

### 2. 建立隸屬函數：

隸屬函數可將因素集的因數轉換為 0~1 間的隸屬度，經過我們的實驗驗證，裸露地約在坡度大於 40 度、或者水流量大於 80mm 時，會出現大量崩落的情形；而有植被處則要坡度大於 50 度、或者水流量大於 120mm 時，才會出現大量崩落的情形。

因此，就坡度這個單一因素而言，超過 50 度以上，不論表面有沒有植物，都可能有大量的沖刷發生，也就是說 50 度是一個轉折點，因此可將它的隸屬度定為 1。同樣的道理，降雨量大於 120mm 時，也可以將它的隸屬度定為 1。

另外，為簡化計算過程，本報告五項因數的隸屬函數都採用直線型，如下圖所示。



### 3. 建立權重集 $W$ :

各因素集因數對於結果有著不一樣的影響力，為表示各因數對土壤沖刷量不同程度的影響，因此須對每一因數按其影響力給予不同的權重，且各權重總和為 1。

即 權重集  $W = [$ 平均坡度權重、平均粒徑權重、降雨量權重、植被情形權重、集水區面積權重  $]$

### 4. 建立評價集 :

每個因素集因數均對降雨量有影響，本報告評價集將土壤沖刷量分為五級，即低度、中低度、中度、中高度、高度五級。

### 5. 模糊綜合評判 :

單獨從一個因素進行評判，以確定評判對象對評價集的隸屬度，稱為單因素模糊評判。如對因素集第  $i$  個因數  $X_i$  進行評判，其對評價集的隸屬度為  $r_{ij}$ 。

評判結果可表示為  $\tilde{R}_i = (r_{i1}, r_{i2}, r_{i3}, r_{i4}, r_{i5})$

同理可將評價集的五個因數的隸屬度組成一個模糊矩陣為

$$\tilde{R} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} & r_{35} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} & r_{45} \\ r_{51} & r_{52} & r_{53} & r_{54} & r_{55} \end{pmatrix}$$

綜合考慮所有因素之影響做出評判結果，稱為模糊綜合評判。可用每列元素之和來反應所有因素的綜合影響，但這種做法並未考慮各因素的重要程度。如果對  $r_{ij}$  施以相對的權重  $W_i$ ，則能合理反應所有因素的綜合影響，那麼綜合評判可表示為

$$\tilde{B} = \tilde{W} \circ \tilde{R}$$

$$\text{即 } \tilde{B} = (w_1 \ w_2 \ w_3 \ w_4 \ w_5) \circ \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} & r_{35} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} & r_{45} \\ r_{51} & r_{52} & r_{53} & r_{54} & r_{55} \end{pmatrix} = (b_1 \ b_2 \ b_3 \ b_4 \ b_5)$$

其中  $\tilde{B} = \tilde{W} \circ \tilde{R}$  的運演算法由模糊矩陣合成運算方式計算。

最後再將  $(b_1, b_2, b_3, b_4, b_5)$  分別乘以其對應評價級的降雨量後相加，

就得到模擬之降雨量，此一步驟通常稱為解模糊化。

## 6. 權重決定方法：

由實驗數據及圖表歸納後，我們發現坡度變化對於土壤沖刷量的影響最直接，因此坡度的權重最大，其次是降雨量與植被等因素，因此我們設定權重的大小順序為：坡度 > 降雨量 > 植被 > 平均粒徑 > 集水區面積。

## 7. 人工智慧判別：

本報告目前採用基本人工智慧，就是利用電腦自動反覆調整隸屬函數與評價集，將推估沖刷量與實際淤積量間的誤差減到最小，此過程類似人類的學習方式，可以藉由不斷的錯誤修正得到正確的結果，模擬出自然界土壤沖刷的基本規則，再以此規則作為未來颱風豪雨時，推估土壤可能沖刷量的依據。

## 八、模糊運算範例

以曾文水庫子集水區的埔仔寮溪為例，集水區面積 1411 公頃，平均坡度 25.4，土壤屬於崩積土，平均粒徑 30.08mm，地層砂頁岩互層，莫拉克期間累積雨量 1900mm，植被為林地與草生地，由上述資料可得到因素集

$$U = [\text{平均坡度}, \text{平均粒徑}, \text{累積雨量}, \text{植被情形}, \text{集水區面積}] \\ = [25.4, 30.08, 1900, \text{林地與草生地}, 1411]$$

由於各氣象因數之單位不同，其數字大小也有相當差異，故透過隸屬函數將其轉為 0~1 隸屬度，以統一數值大小並方便電腦計算。

我們藉由前面實驗所得到之數值與經驗，坡度超過 50 度以上，不論表面有沒有植物，都可能會有大量的沖刷發生，也就是說 50 度是一個轉折點，因此可將它的隸屬度定為 1，因此可以得到隸屬函數如下圖，而將平均坡度 25.4 代入下圖，可得到坡度隸屬度為 0.5。

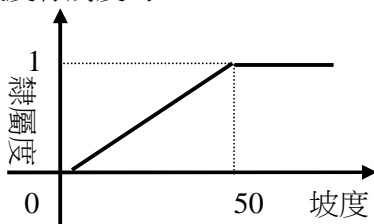


圖 1 坡度之隸屬函數

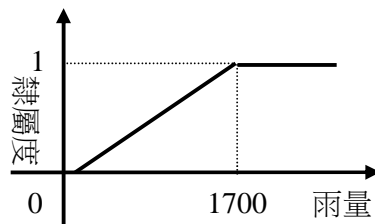
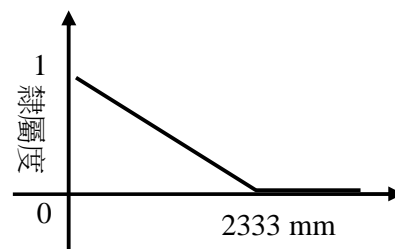


圖 2 修正後之雨量隸屬函數



另外，我們由實驗結果發現水量超過 120mm 就會大量沖刷，但是這是在我們的實驗室縮小模型得到的結果，在現場由於有較大型的土石以及大型植被保護，因此雨量應該要等比例放大，故隸屬函數可修正為圖 2，與莫拉克颱風期間的實際情況相同，超過累積雨量 1700mm 就會發生大規模崩坍，而我們接著將累積雨量 1900mm 代入圖 2，可得到雨量隸屬度為 1。

我們實驗發現黑色砂土粒徑為黃色砂土的 6 倍，而土砂沖刷量約只有黃色的 70%，也就是說就土砂顆粒大小而言，每增大 6 倍，沖刷量就減少原來的 30%，如果大小增加  $6^5$  倍，那麼輸砂量將減少到原來的 10% 左右，可將他視為零。



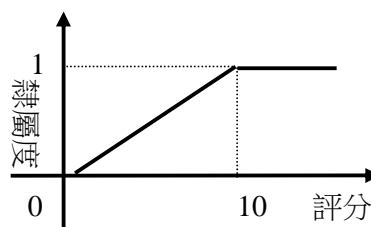
因為  $0.05\text{mm} \times 6^6 = 2332.8\text{mm} = 233\text{cm}$ ，超過此大小之顆粒幾乎不能搬走，輸砂量隸屬度為 0，如右圖所示。將 30.08 代入，可得到平均粒徑隸屬度為 0.98。

而有關植被的實驗中，我們發現有植被覆蓋保護的土壤，其沖刷量大幅下降為裸露地的一半，而且根部長得越密集且葉片面積較大，可以讓沖刷量又減少，但是像大樹之類的植物我們很難去分辨它根的密度有多大，因此我們參考網路資料，採用評分表決定隸屬度。

由於我們實驗中草地沖刷量為裸露地的一半，因此將裸露地評為 10 分，而草生地則是它的一半給 5 分；另外以我們現場採樣看到的，果園、農墾地因為有人挖過又除過草，有很多裸露的部分，因此我們決定給它 8 分；而樹林因為有大樹很深的根部保護，應當只會有很少的沖刷，因此我們決定給它 2 分。

我們資料中的植被是林地與草生地各半，因此評分為 3.5 分，再經過隸屬函數轉換可得到隸屬度為 0.35

土地利用狀態	評分
裸露地	10
果園、農墾地	8
草生地	5
林地	2



將五個因數各自經過隸屬函數轉換後，分別得到隸屬度為 0.5，0.98，1，0.35，1

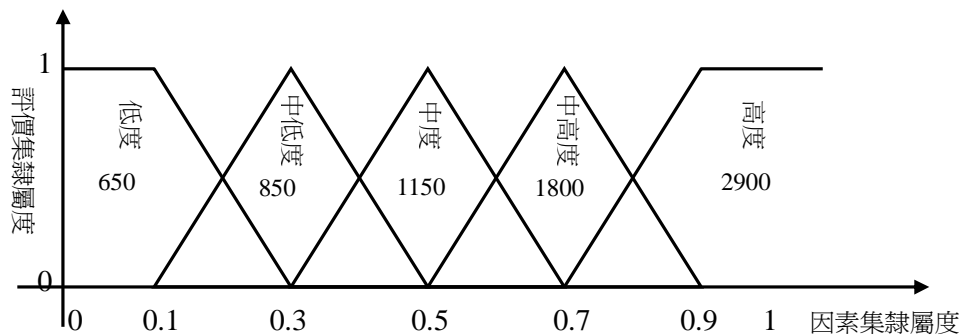
由實驗數據及圖表歸納後，我們設定權重的大小順序為：坡度 > 降雨量 > 植被 > 平均粒徑 > 集水區面積。為避免過度主觀的判斷，我們可以藉由實驗結果分

析判斷，得到五個因數的權重分配，即權重集  $W = [0.40, 0.10, 0.25, 0.19, 0.06]$

另外，我們由實驗結果發現單位面積的土壤沖刷量遠低於實際發生的量，其原因是我們受限於水槽的大小，沙土厚度只有 10 公分，而且沖刷時間只有 20 秒，這與大自然連日降雨的情況並不相符，但是我們認為沖刷的物理規則還是相同，因此我們可以把它等比例放大。

例如在植被 2 的沖刷實驗中，最高沖刷量 122.25 與最低沖刷量 26.81 相差約 4.5 倍，而在植被 1 的實驗結果也接近 4.5 倍，因此我們將這個規則等比例放大，套用到曾文水庫集水區的實際案例中。

再建立評價集的隸屬函數，為了方便計算，將沖刷量分為五級，即低度、中低度、中度、中高度、高度五級，搭配實際沖刷量的數字，決定低度沖刷量訂為 650 立方公尺/公頃，中低度為 850 立方公尺/公頃，中度為 1150 立方公尺/公頃，中高度為 1800 立方公尺/公頃，高度 2900 立方公尺/公頃，其中高度 2900 與低度 650 的比例依然保持 4.5 倍，其圖形如下圖所示。



將平均坡度的隸屬度 0.5 代入上圖，得到對中度沖刷量佔 1，其餘四級均為零，故  $\tilde{R}_{\text{平均坡度}} = (r_{11}, r_{12}, r_{13}, r_{14}, r_{15}) = (0, 0, 1, 0, 0)$ ，

同樣方法將另外四個因子代入，得到：

$$\begin{aligned} \tilde{R}_{\text{平均粒徑}} &= (0, 0, 0, 0, 1), & \tilde{R}_{\text{累積雨量}} &= (0, 0, 0, 0, 1), \\ \tilde{R}_{\text{植被情形}} &= (0, 0.75, 0.25, 0, 0), & \tilde{R}_{\text{集水區面積}} &= (0, 0, 0, 0, 1), \end{aligned}$$

再將評價集的五個因數的隸屬度組成一個模糊矩陣為：

$$\tilde{R} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0.75 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

模糊綜合評判可表示為： $\tilde{B} = \tilde{W} \circ \tilde{R}$

$$= (0.40 \ 0.10 \ 0.25 \ 0.19 \ 0.06) \circ \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0.75 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$= (0 \ 0.1425 \ 0.4475 \ 0 \ 0.41)$$

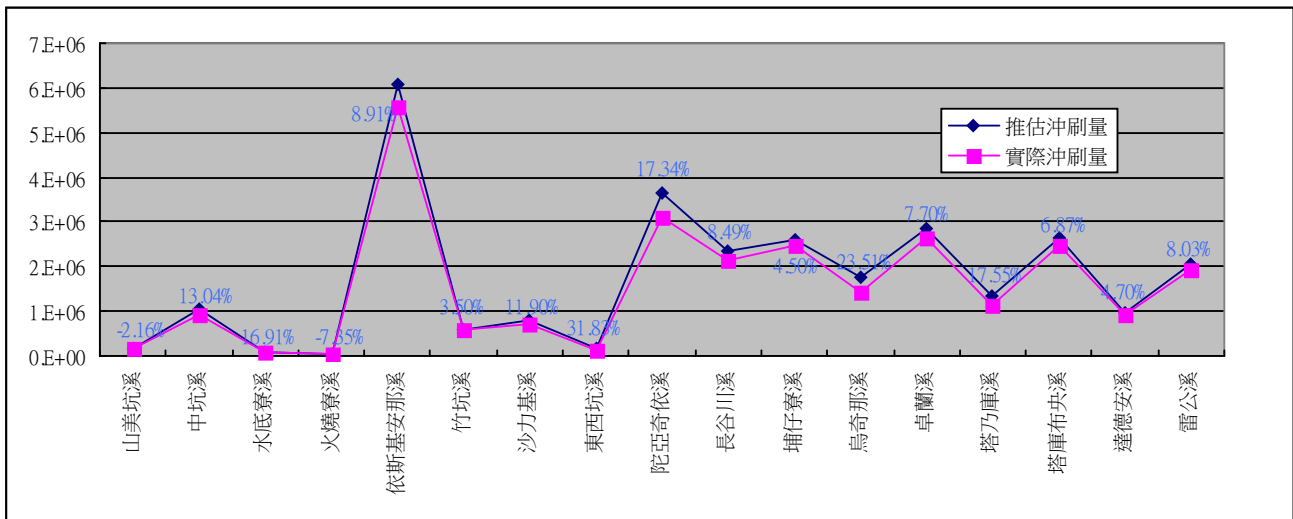
將這五個值乘以對應沖刷量後相加，可得到我們的推估沖刷量。

推估降雨量 =  $0 \times 650 + 0.1425 \times 850 + 0.4475 \times 1150 + 0 \times 1800 + 0.41 \times 2900 = 1841.1$   
立方公尺/公頃，再乘以 1411 公頃，得到總土砂沖刷量為 **2597747 m<sup>3</sup>**

莫拉克颱風造成的實際淤積量為 **2486000m<sup>3</sup>**，兩者相差 **111747m<sup>3</sup>**，相當於 **4.5%** 的誤差，與將近 100% 的誤差比較，我們的模擬還算蠻準確的。

我們將每個子集水區都進行相同的推估計算，得到下頁的圖表，一般而言，誤差都集中在多在 30% 以內。

流域	山美坑溪	中坑溪	水底寮溪	火燒寮溪	依斯基安那溪	竹坑溪	沙力基溪	東西坑溪
推估沖刷量	150672	1043320	98205.95	50033.34	6071458	607533.8	785566.7	177970.5
實際沖刷量	154000	923000	84000	54000	5575000	587000	702000	135000
誤差	-2.16%	13.04%	16.91%	-7.35%	8.91%	3.50%	11.90%	31.83%
陀亞奇依溪	長谷川溪	埔仔寮溪	烏奇那溪	卓蘭溪	塔乃庫溪	塔庫布央溪	達德安溪	雷公溪
3645873	2339039	2597747	1748966	2848701	1350630	2656771	982097.6	2061285
3107000	2156000	2486000	1416000	2645000	1149000	2486000	938000	1908000
17.34%	8.49%	4.50%	23.51%	7.70%	17.55%	6.87%	4.70%	8.03%



## 九、結果與討論

1. 我們發現沖刷量與坡度有高度相關，通常坡度越陡，水流流速越快，也越不容易生長保護土壤的大樹，因此越陡的山坡沖刷量也越大。
2. 我們發現子集水區面積越小的，推估的沖刷量愈接近，反之則誤差愈大，可能是因為面積越大，降雨量越不會是均勻的，而集水區內包含的植物和植被種類越複雜，坡度變化也越大，很難用一個平均坡度來完整表示。
3. 在採樣的過程中雖然已經盡量小心，但還是不可避免的會去讓草皮鬆動，因此我們做實驗推得的公式，計算出來的沖刷量大致都有偏高的傾向，我們懷疑是採樣誤差造成的。
4. 我們採樣時礙於設備，只能採取較表層的土壤，忽略了深層土壤的質地和構造可能不同，也因此造成的部分的誤差。

- 5.我們做實驗時為了遷就縮小版模型土砂量較少的缺點，於只有是連續沖刷 20 秒；但是一般颱風的連續降雨可能持續好多天，期間降雨量可能大大小小變化，這也是誤差的來源之一，也證明了地球科學實驗的困難性。
- 6.可能是本報告將坡度等因數的隸屬函數簡化為直線型，可能導致高沖刷量時的推估的誤差變大。
- 7.整體而言，我們推估的沖刷量誤差多在 30% 以內，與相關資料的前人研究比較，有不錯的精確度，可是還是有少數誤差較大的現象，顯示還有其他的條件可以再列入討論。

## 十、結論與建議

- 1.本報告利用人工智慧方法，同學合作編寫完成 Excel 小程式，運用平均坡度，平均粒徑，累積雨量，植被情形，集水區面積等五個因數，進行莫拉克颱風降雨量的推估，結果顯示在正常情況下，均有不錯的準確度。
- 2.一般而言，坡地土壤沖刷的現象相當複雜，受到相當多因素的影響，其中除了土壤本身的構造外，還受到植被的種類，還有降雨的強度變化等因素影響，因此如果可以将實驗設置更加完善，並配合地形圖及航拍圖將植被種類加以細分，並且不排除野外調查，相信應當能得到更加精確的結果。
- 3.本報告目前採用五個沖刷因數進行推估，隸屬函數採用直線型，未來希望能增加因數的數量，並且使用不同形式隸屬函數，希望能提高推估的準確度。
- 4.我們利用簡單的人工智慧方法，配合平均坡度，平均粒徑，累積雨量，植被情形，集水區面積等五個因數，推估的土壤沖刷量有一定的準確度，顯示人工智慧可以用來解決較複雜的問題，如果能配合更多資料，相信能對沖刷量的預估、河道與水庫的淤積進行提早防範，對於水資源的調配，作出一定的貢獻。

## 十一、參考文獻

- 【1】第 45 屆全國科展優良作品：霧裏看「發」－模糊方法對蒸發量的探討。
- 【2】第 46 屆全國科展優良作品：「Mr.AI 與 颱客」－簡易人工智慧對颱風降雨量的估算。
- 【3】第 49 屆全國科展優良作品：「滾蛟龍的反噬」－模糊方法對土石流發生之探討。
- 【4】曾文水庫集水區保育治理工程泥沙減量成效評估，經濟部水利署南區水資源局。
- 【5】陳秋份、林慶偉、陳禮仁（1999），「土石流危險溪流危險度評估方法之研究」，第二屆土石流研討會論文集，153~163頁。
- 【6】許琦(1989)，「模糊理論在山崩潛感性分析之應用」，第三屆大地工程學術研討會，23~33頁。
- 【7】張石角(1987)，「山坡地潛在危險之預測及其在環境影響評估之應用」，中華水土保持學報，18卷2期，41~48頁。
- 【8】曾憲雄、黃國禎（2000）「人工智慧與專家系統」，旗標圖書股份公司。
- 【9】關頌廉（2001），「應用模糊數學」，科技圖書股份公司。

## 【評語】 030505

1. 能考慮多項影響土壤沖刷的因素。
2. 能以模式推估更廣泛變因所造成的影響。