



特定水土保持區應用探討 崩塌活躍性與時空熱區技術探討

計畫主持人：吳俊鎡 副教授

執行單位：逢甲大學水利工程與資源保育學系

111年1月25日



報告大綱

- 以特定水土保持區相關法規論述啟動其他劃設法規
- 研究區域曾文水庫集水區介紹
- 崩塌演化相關分析
- 以水保法16-2及16-3劃設特定水保局可行性

□本報告內容取自

□吳俊鎡(2021)，**以災害時空分佈熱區討論劃設特定水土保持區可行性**，行政院水土保持局110年度創新研究報告(SWCB-110-025)。

□Wu, C.-H. **Evaluating the Landslide Stability and Vegetation Recovery: Case Studies in the Tsengwen Reservoir Watershed in Taiwan**. WATER 2021, 13, 3479. (IF=3.103)



特定水土保持區相關法規 論述啟動其他劃設法規

劃設特定水保區相關法規及要求



水土保持法第3-5條：「特定水土保持區：係指經中央或直轄市主管機關劃定**亟需加強實施水土保持之處理與維護**之地區。」

第十六條 下列地區，應劃定為特定水土保持區：

- 一、水庫集水區。
- 二、主要河川集水區須特別保護者。
- 三、海岸、湖泊沿岸、水道兩岸須特別保護者。
- 四、沙丘地、沙灘等風蝕嚴重者。
- 五、山坡地坡度陡峭，具危害公共安全之虞者。
- 六、其他對水土保持有嚴重影響者。

前項特定水土保持區，應由中央或直轄市主管機關設置或指定管理機關管理之。

表 1-1-1 由 103 年至 110 年劃設為特定水土保持區統計資料

年份	總數	水庫集水區	崩塌	土石流
103	72	2	24	46
104	74	2	24	47
105	71	2	23	46
106	68	2	24	42
107	66	2	24	40
108	65	2	24	39
109	62	2	23	37
110	54	2	16	36

目前依據法規所劃定的特定水保區僅有三種，**尚未被啟動的法規共有四款。**

以水庫集水區為單位劃設特定水保區的困境

民國89年5月25日：經濟部水利處提議將白河及烏山頭水庫集水區劃為特定水土保持區。

因為影響範圍過大，**中央與地方單位無法真正執行**。歷屆縣市首長、地方政府跟當地民眾**都持反對**。



環保團體基於台灣在**近年土砂災害頻繁**，更應積極以法令保育台灣山坡地，因此也要求中央主管機關應該基於水土保持法第16條第1款，**將若干水庫集水區都劃設為特定水土保持區**



特定水土保持區近年相關研究

梁昇(2002)提出：(開發行為限制)

依據山坡地保育利用條例利用其土地從事種林、農作與果園，應不列入開發行為。

連惠邦等(2016)提出：(法條修正)

- 1.以**水庫集水區**為**劃設單元**，會列入太多不具有「亟需實施水土保持處理與維護」條件的地區。
- 2.建議修法：水保法第19條第1款為：「水庫集水區**須特別保護者**」

黃奉琦(2020)提出：(分級管理)

- 1.水庫集水區進行分級，包含水庫蓄水區、水庫保護帶及水庫集水區。
- 2.**保護帶以下**之土地應禁止一切開發行為。**保護帶以上**之水庫集水區，則評估**地區脆弱度**(土砂災害危害、地區產值)，並成為**管理分級基礎**。

王珮茹(2020)提出：(分級管理)

集水區區分為**水庫蓄水範圍**、**水庫上游集水區**及**水庫下游河道**，各區治理規劃方式分級。

特定水土保持區近年相關研究

台南市政府(過往隸屬於台南縣政府區域)是白河跟烏山頭水庫的地方政府。歷年表達意見都集中在三點：

1. 朝向土地既有**合法使用**、**安全穩定**及**整體區域計畫考量**
2. 劃定特定水土保持區而禁止開發，**影響地主權益甚鉅**
3. **不具災害疑慮地區**回歸一般山坡地管制，促進地區觀光發展及土地合理利用減少民怨。

結論：以全水庫集水區劃設方式難以得到地方政府支持。

89年5月25日行政院農業委員會劃定公告白河、烏山頭水庫集水區等2座特定水土保持區，依水土保持法第19條第2項：「經劃定為特定水土保持區之各類地區，區內禁止任何開發行為」，卻因劃定特定水土保持區而禁止開發，影響地主權益甚鉅，目前白河水庫集水區特定水土保持區由經濟部水利署辦理長期水土保持計畫及通盤檢討後，將無需特別保護地區劃出特定水土保持區；烏山頭水庫特定水土保持區由本府擬定「烏山頭水庫集水區特定水土保持區長期水土保持計畫」予中央主管機關(行政院農業委員會)辦理審查作業中。

關子嶺地區已於70年核定公告關子嶺特定區計畫，並已劃定住宅區、商業區、遊樂設施區、旅館區等分區，卻因行政院農委會89年劃定公告白河、烏山頭水庫集水區特定水土保持區後遭限制開發，經本府向行政院農業委員會反映後，105年2月24日行政院農業委員會函示於特定水土保持區內申請建築法第4條或第7條之建築物或雜項工作物，倘於既有合法建築物之建築面積內，依建築法申請建築執照，非屬水土保持法第8條第1項第5款「開發建築用地」，開放既有合法之建物所申請之建築面積得重新申請建築執照。另行政院農業委員會於108年5月8日訂定有關水土保持法第19條第2項「不涉及一定規模以上之地貌改變」規定，並發布「特定水土保持區一定規模以上之地貌改變認定辦法」。



標語：#特保區
讓土庫變金庫！劉米山力促白河水庫快解編
105-07

水保法16-1條近年想做過的改變

第十六條 下列地區，應劃定為特定水土保持區：

- 一、水庫集水區。**需特別保護者**
- 二、主要河川集水區**須特別保護者**。
- 三、海岸、湖泊沿岸、水道兩岸**須特別保護者**。
- 四、沙丘地、沙灘等風蝕嚴重者。
- 五、山坡地坡度陡峭，具危害公共安全之虞者。
- 六、其他對水土保持有嚴重影響者。

前項特定水土保持區，應由中央或直轄市主管機關設置或指定管理機關管理之。

**2014-2015年提
議加註部分文字**

連惠邦等(2016)：將水庫集水區全部劃定為特定水土保持區，因涵蓋部分非土石災害區域，不符合特定水土保持區**亟需實施水土保持處理與維護**之原則。

但修法未過，環團也群起反對。

評論

朱淑娟專欄：八成水庫集水區解禁 水保局準備關門嗎？

朱淑娟 + 追蹤 2014-10-28 05:16 9104 人氣 簡 分享 0 LINE f ...

由此可見，維持水庫供水穩定就相對重要，而維持水庫穩定供水只有兩個辦法：一是做好水庫集水區保育、二是花大錢做工程。每次風災之後，政府就編列大筆預算做水庫清淤、水庫排砂，但保育不做在前頭，工程效果其實相當有限。



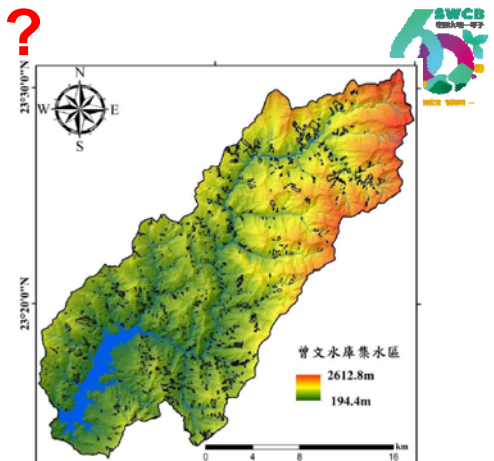
是否有其他解套方式？

即便是超過200年頻率年的莫拉克颱風引發大量崩塌，也**沒有一個水庫集水區能夠達到全集水區都大量崩塌的案例**。

「針對集水區內**該保育的地方進行保育治理**」的概念是正確，或許可以考慮引用**更適當法條**。

不以「**水庫集水區**」(水保法16-1)為出發點，或許能跳脫相關團體的爭議。

水庫集水區的保育主因在於**庫容**，又以**沖蝕、崩塌、土石流災害**所產生的**土砂淤積影響庫容**為主。是否有其他法條可以做到相同效果，但卻不用全集水區劃入？



崩塌率3.2%水庫集水區歷年最高。

第十六條 下列地區，應劃定為特定水土保持區：

- 一、水庫集水區。
- 二、主要河川集水區須特別保護者。
- 三、海岸、湖泊沿岸、水道兩岸須特別保護者。
- 四、沙丘地、沙灘等風蝕嚴重者。
- 五、山坡地坡度陡峭，具危害公共安全之虞者。
- 六、其他對水土保持有嚴重影響者。

前項特定水土保持區，應由中央或直轄市主管機關設置或指定管理機關管理之。

實務上是否欠缺如此的劃設方式？

目前已有的劃設單位為**水庫集水區(面)**、**崩塌(點)**、**土石流(點)**等三種

一場超過200年頻率年的2009年莫拉克颱風，我們應該檢視**災害分佈樣態**，找尋是否有符合法規需求的劃設方式，而達到特保區的積極保育目的。

群聚崩塌是應該考量的災害分佈類型，可能形成的單位是**子集水區(16-2主要河川集水區)**或**河段(16-3海岸、湖泊沿岸、水道兩岸)**

群聚崩塌代表巨量土砂產出時，河川流量無法消化這些土砂量，就會引發後續的河川變遷及大量河岸崩塌。



河川無法負荷大量土砂，就會引發河川型態改變跟大量河岸崩塌

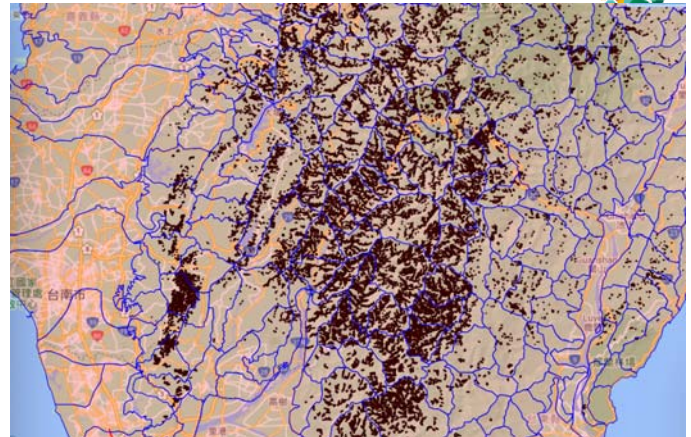


土砂災害有其分佈特性

根據2009年莫拉克颱風誘發土砂災害分析，**土砂災害**有其分佈特性，可根據**降雨、地質、水系、土砂淤積**等條件，而可分為**區狀**及**線狀**群聚分佈。**極少有全水庫集水區**遍佈土砂災害群聚的現象。

區狀群聚分佈：通常與區域地質破碎及降雨集中有關，**區內大小崩塌遍佈**，此類災害所產生的土砂量會淤積在區內，引發後續**更長遠的崩塌演化**。

線狀群聚分佈：通常位於**水系兩旁**，大量河岸崩塌形成群聚分佈，此類災害會直接提供進入河川土砂量，對於庫容淤積有其關鍵。

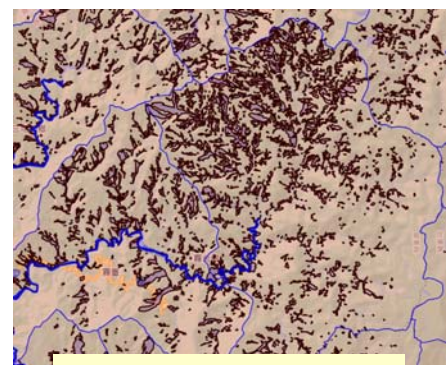


區狀及線狀劃設單位法源基礎跟目的

區狀劃設法源跟目的

水土保持法**16-2**：「主要河川上游之**集水區**須特別保護者」(引入**839集水區**)

水土保持法**19-2**：「二、主要河川集水區：以保護水土資源，**防治沖蝕、崩塌，防止洪水災害**，維護自然生態環境為重點。」

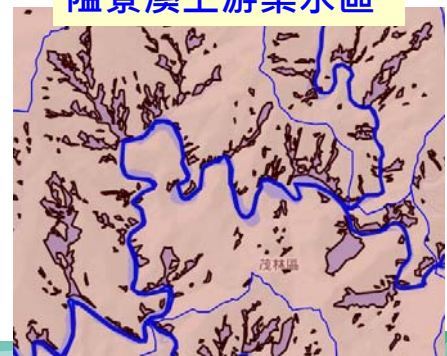


隘寮溪上游集水區

線狀劃設法源跟目的

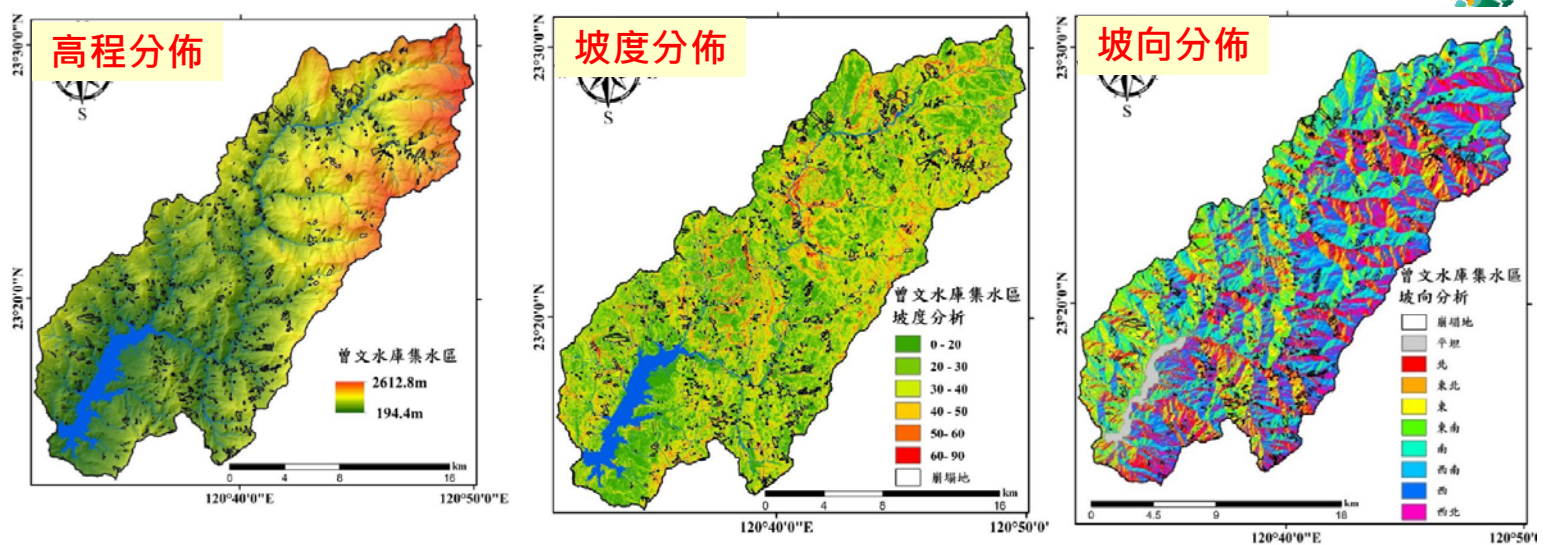
水土保持法**16-3**：「海岸、湖泊沿岸、水道兩岸須特別保護者。」

水土保持法**19-3**：「三、海岸、湖泊沿岸、**水道兩岸**：以防止**崩塌、侵蝕**、維護自然生態環境、**保護鄰近土地**為重點。」



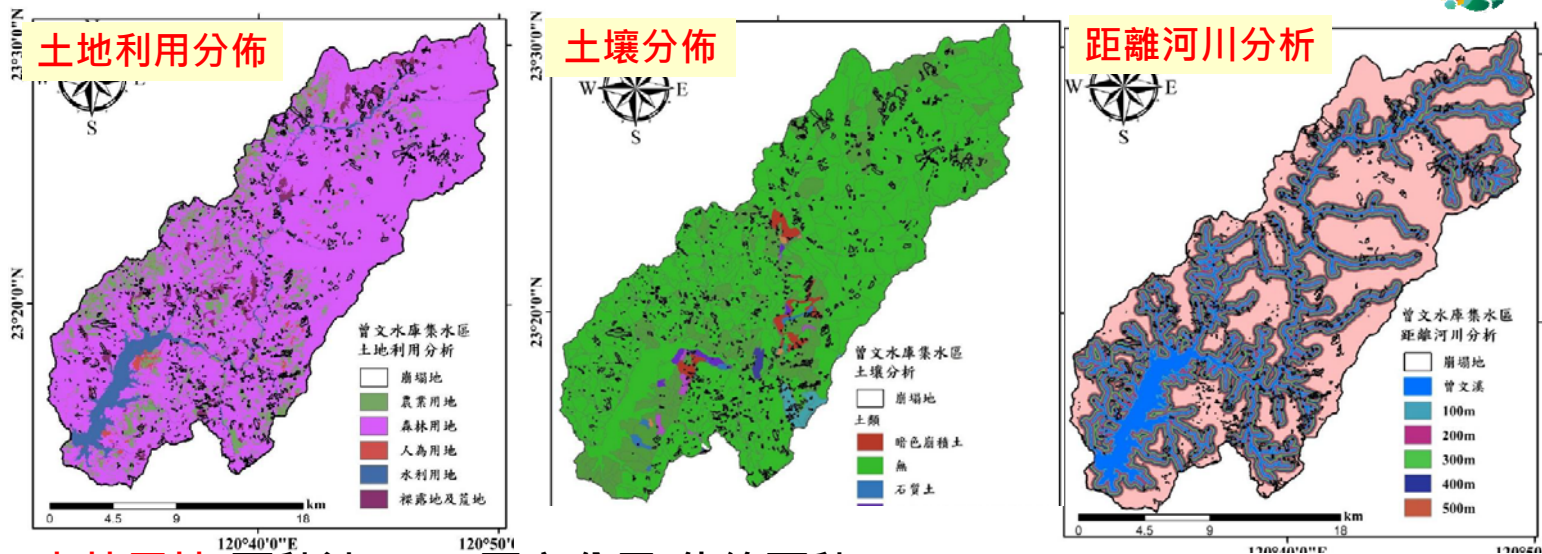
曾文水庫集水區介紹

曾文水庫集水區基本資料介紹



曾文水庫集水區總面積482.3平方公里，**平均高程958.8公尺**，**平均坡度29.2度**，坡向分布均勻，若扣除平坦坡向，則其餘各坡向占總面積約介於**9.5%(東北)至16%(西)**之間。

曾文水庫集水區基本資料介紹



森林用地(面積達388.6平方公里)佔總面積80.6%。

無資料土壤佔81.6%。黃灰色崩積土崩塌率約為3.6%。

距離河川100m以內佔18.3%，但本區崩塌率卻為3.2%。



曾文水庫集水區歷年降雨與崩塌演化關係

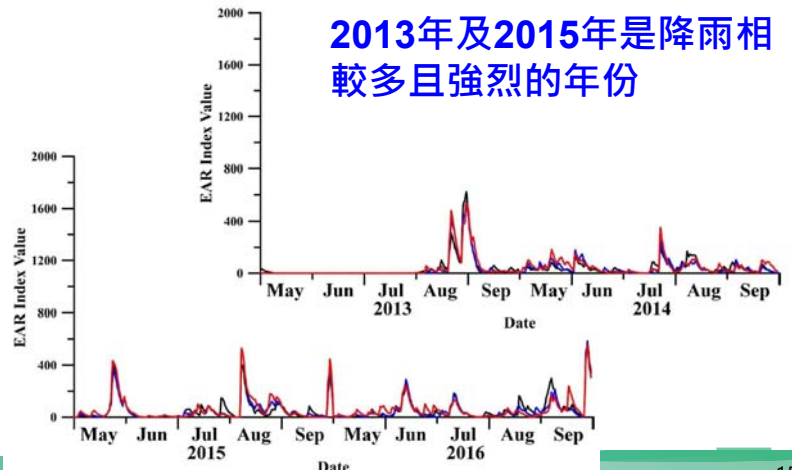
最高降雨頻率年在2001至2008年間為20年，在2010年至2017年為10年

在2010年至2017年集水區內誘發崩塌的面積跟個數都大於2001至2008年，這代表在莫拉克颱風後，曾文水庫集水區降雨誘發崩塌門檻值降低。

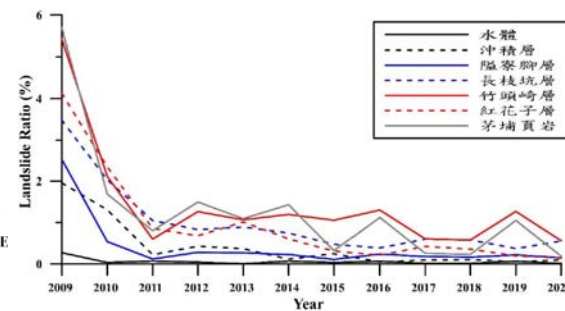
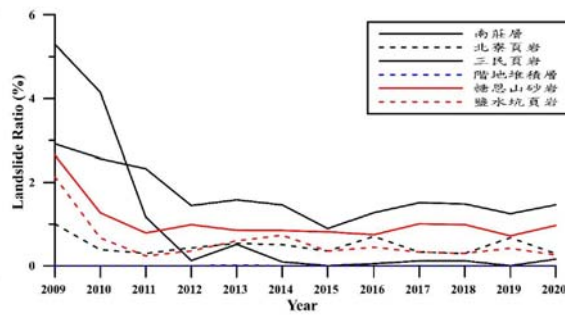
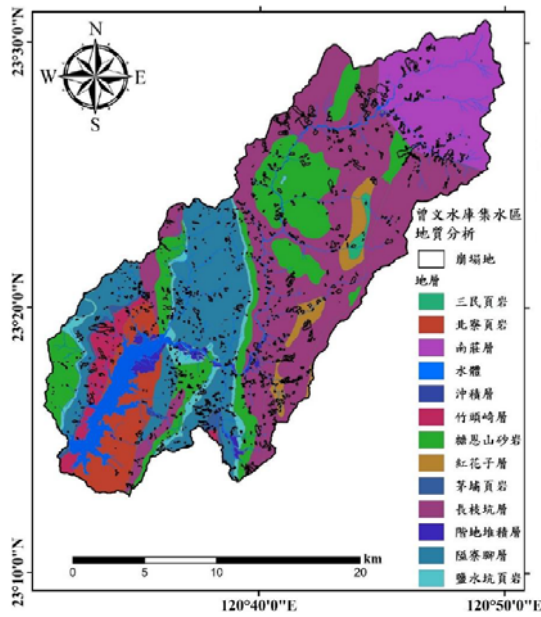
以分上中下游而言，上游集水區在2010年至2017年仍屬降雨較強烈的地區

表 3-1-13 集水區上中下游發生有效降雨指標達 300 以上日數統計

年份	上游	中游	下游	年份	上游	中游	下游
2009	8	7	7	2016	4	4	4
2010	2	1	1	2017	6	3	0
2011	1	1	0	2018	3	6	6
2012	5	6	2	2019	4	4	0
2013	10	10	7	2020	1	0	0
2014	1	0	0	累計	53	48	33
2015	8	6	6	平均	4.4	4.0	2.8



曾文水庫集水區地質分佈與崩塌演化關係



崩塌最難以復育的位置以位於集水區中上游且有水系通過的地層為主，因此包含南莊層、長枝坑層、糖恩山砂岩及隘寮腳層都具有此特性

竹頭崎層則位於水庫鄰近但具有大量野溪蝕溝分佈，因此也成為較難以復育的地層

崩塌分佈跟水系分佈有明顯相關性

智慧、效率、國際

16

曾文水庫集水區地震次數與崩塌演化關係

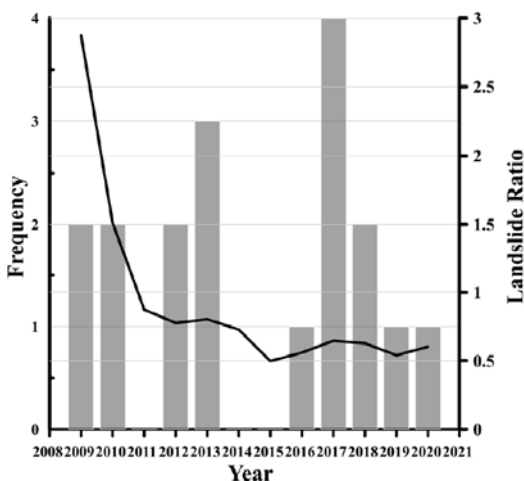


表 3-3-2 曾文水庫集水區各年份發生規模 4 以上之地震統計紀錄

年份	2009	2010	2011	2012	2013	2014
筆數	2	2	0	2	3	0
年份	2015	2016	2017	2018	2019	2020
筆數	0	1	4	2	1	1

搜尋測站：壩頂站、壩底站及大埔國小站

搜尋方式：以集水區中心點為圓心，半徑20公里(50公里、100公里)以內曾發生過地震規模大或等於4(5、6)

確認方式：測站需有地震規模 ≥ 4 的紀錄

2009年後的地震次數並無明顯增多，以2013年及2017年較多。以年崩塌率與地震規模 ≥ 4 的次數分佈而言，地震與年崩塌率的相關性較小。2013年可認定是2009年後降雨與地震較強烈的一年。

地震發生跟2009年後崩塌演化，看起來沒有明顯關係。

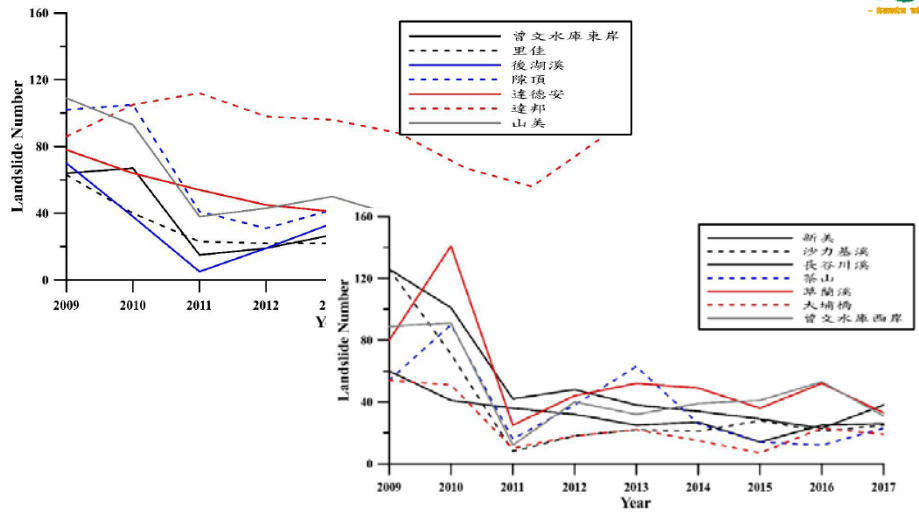
17

曾文水庫集水區近年崩塌數據分佈關係



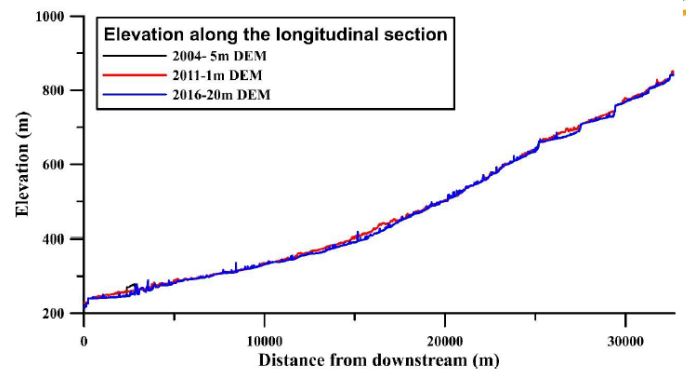
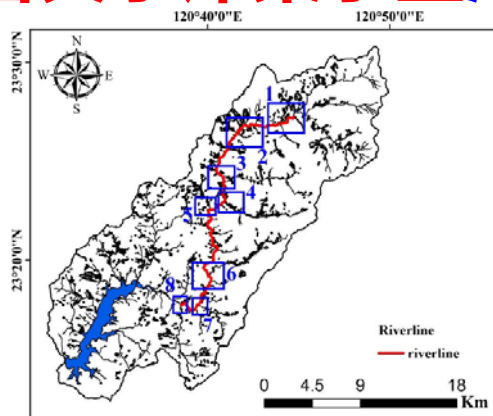
年份	崩塌個數	大規模崩塌個數	崩塌面積(km ²)	崩塌率(%)
2009	1161	22	13.9	2.87
2010	1098	12	7.3	1.51
2011	437	5	4.2	0.87
2012	515	2	3.8	0.78
2013	566	2	3.9	0.80
2014	466	4	3.5	0.73
2015	347	1	2.4	0.50
2016	410	2	2.7	0.56
2017	431	3	3.1	0.65
2018	373	3	3.0	0.64
2019	331	2	2.6	0.55
2020	298	3	2.9	0.61
平均	536.1	5.1	4.4	0.9

備註：灰色年份代表該年份崩塌率有上升。



以集水區尺度而言，崩塌個數跟崩塌率都逐漸下降。但若以子集水區尺度，則位於上游子集水區(達邦、長谷川溪、達德安)在2009年後，崩塌個數出現震盪現象，震盪最劇烈的是達邦與長谷川溪兩個子集水區。

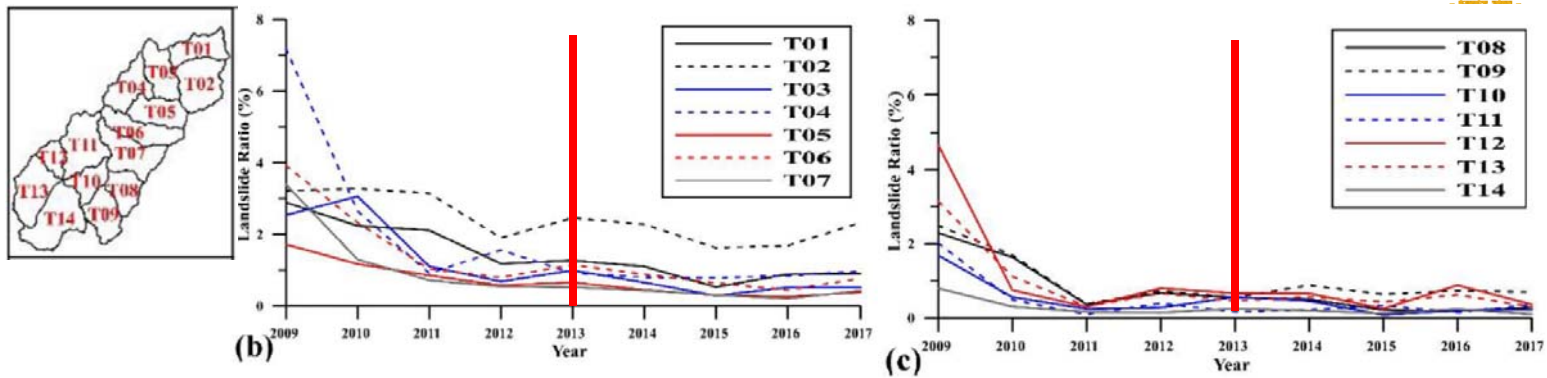
曾文水庫集水區河川縱剖面高程分佈關係



以集水區尺度而言，河川縱剖面呈現上游淤積下游刷深的現象。至2016年為止，仍有大量土砂淤積在上游，淤積越多的河段代表越有河川變遷及河岸崩塌越多的趨勢。達邦與長谷川溪子集水區匯流口跟下游河段最明顯。

子集水區	達德安	隙頂	山美
河段長度(km)	5.36	9.01	3.73
2004 VS 2011	4.93	3.74	10.62
2011 VS 2016	-4.43	-2.95	-10.08
2004 VS 2016	0.50	0.80	0.54
子集水區	新美	茶山	草蘭溪
河段長度(km)	8.46	3.82	2.26
2004 VS 2011	3.60	1.55	6.80
2011 VS 2016	-3.22	-4.09	-6.41
2004 VS 2016	0.39	-2.54	0.39

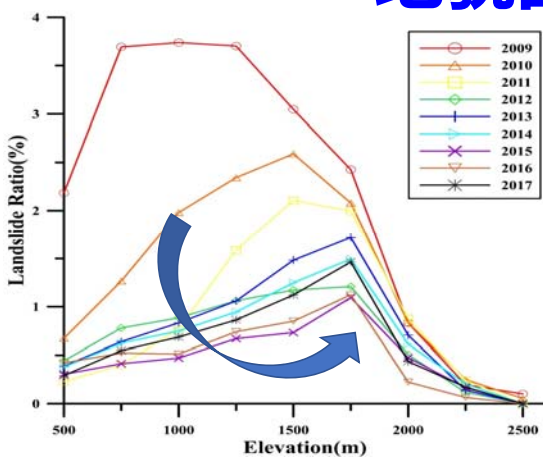
曾文水庫集水區各子集水區歷年崩塌率分布



以子集水區為單位，可見從2009年莫拉克颱風誘發嚴重崩塌發生後，在2010年至2013年是比較明顯的震盪期，大約到2013年之後，崩塌率的分布會較為平緩。

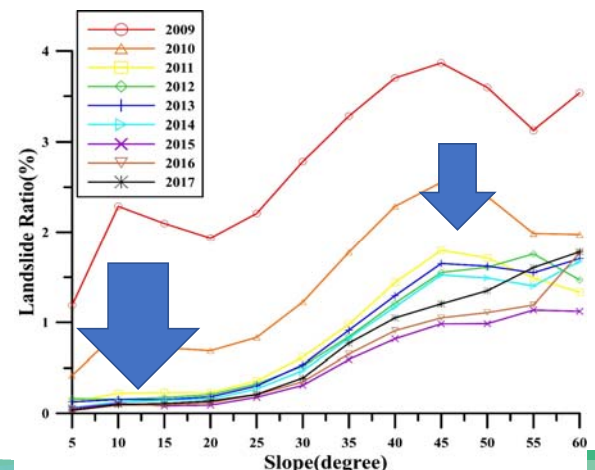
上游集水區(T01至T05)的震盪較明顯，中下游的震盪較不明顯。T02(達邦)的震盪最為明顯且維持時間最久。

地貌因子與崩塌演化關係



單以2009年莫拉克颱風後歷年崩塌分布而言，原本最高崩塌率位於500至1500m區域，但長久下來，卻逐漸轉換成1500至2000m區域是最難復育的地區。

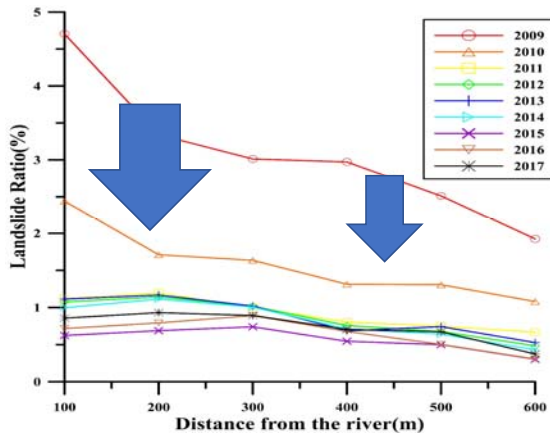
同樣以2009年莫拉克颱風後崩塌演化為例，原高崩塌率位於坡度 $<10^\circ$ (可能跟崩塌判釋圖層包含河川有關) 及坡度大於 40° 以上區域，但長久下來，卻逐漸聚集於坡度大於 40° 以上區域。



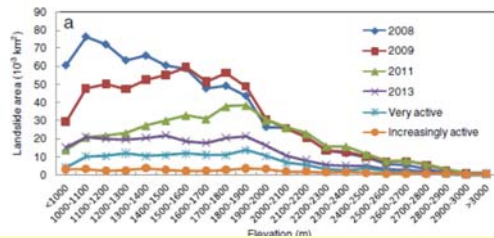
地貌因子與崩塌演化關係

在2009年莫拉克颱風事件後，與河川不同距離的分界區域之崩塌率都 $>1.0\%$ ，但長久下來，仍以距離河川300m以內區域的崩塌率仍 $>1.0\%$ 。為什麼河川鄰近區域難以復育？或許主因來自於河川型態變遷。

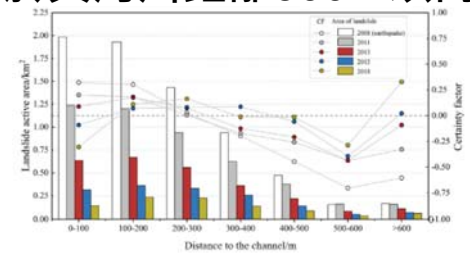
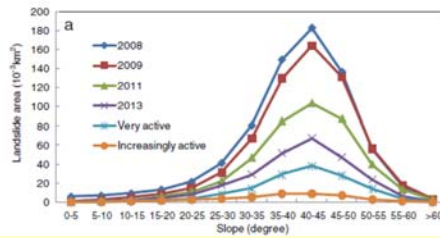
與大地震誘發崩塌特性相似



聚集於1500至2000m區域 聚集於40至60度區域 聚集於與河川距離300m以內



取自Yang et al.(2017)



取自Chen et al.(2020)



崩塌演化相關分析

崩塌演化相關研究



國際上不少研究都在談崩塌演化，且大概都集中在一些大地震誘發崩塌的後續演化說明。

2005年Kashimir地震(巴基斯坦)

2008年Wenchuan地震(中國)

2015年Gorkha地震(尼泊爾)

為什麼要討論崩塌演化？

當事件發生的當下，治理焦點的確該在一些緊急區域，但當時間一拉長，治理焦點應該聚焦在大量土砂匯入的河川上。

當土砂匯入量已經超過河川可負荷量時，河川兩岸會產生大量河岸崩塌(崩塌震盪現象)，此時就要思考是否啟動特定水保區來協助集水區崩塌復育。



A decadal evolution of landslides and debris flows after the Wenchuan earthquake

Congrong Li, Ming Wang*, Kai Liu



Spatial and temporal evolution of co-seismic landslides after the 2005 Kashmir earthquake

Muhammad Shafique*



JGR Earth Surface

RESEARCH ARTICLE
10.1029/2020JF005803

Key Points:

- Both the number and area of mapped landslides remain significantly higher than co-seismic levels >3.5 years after the earthquake
- Locations with persistent post-earthquake landslides are clustered while newly activated spatially dispersed landsliding has also developed
- Disturbance is observed post-quake

Evolution of Coseismic and Post-seismic Landsliding After the 2015 M_w 7.8 Gorkha Earthquake, Nepal

Mark E. Kinney¹, Nick J. Rosser¹, Tom R. Robinson², Alexander L. Densmore³, Ram Shrestha⁴, Dammar Singh Pujara⁵, Katie J. Owen⁶, Jack G. Williams⁷, and Zuzanna M. Swirad^{1,4}

¹Department of Geography, Institute of Hazard, Risk, and Resilience, Durham University, Durham, UK; ²School of Geography, Science, and Politics, Newcastle University, Newcastle-Upon-Tyne, UK; ³National Society for Earthquake Technology Nepal, Kathmandu, Nepal; ⁴Department of Geography and Environmental Sciences, Northumbria University, Newcastle-Upon-Tyne, UK; ⁵Wills Towers Watson, Ipswich, UK; ⁶Scripta Institution of Oceanography, University of California San Diego, La Jolla, CA, USA

集水區發生大量崩塌後續演化近年相關研究



台灣極端降雨案例：旗山溪在2009年莫拉克發生大量崩塌，2014年崩塌位置與2009年崩塌位置有53.4%重複(歷經五年還是難以復育)，且在2009年後續5年上游集水區是最難以復育且極易再度誘發崩塌的地區。

巴基斯坦極端地震案例(Kashimir地震)

Kashimir地震誘發崩塌復育速率有分階段，2006-2010年(震盪期，5年)崩塌面積恢復速率約為0.32km²/年，但在2011年後(穩定復育)升高至0.99km²/年。

在震盪期內，新崩塌跟原崩塌擴大發生區域集中在發生地震的斷層鄰近、具有高破碎度的地層區、水系分佈區、河川源頭區及大崩塌區域。

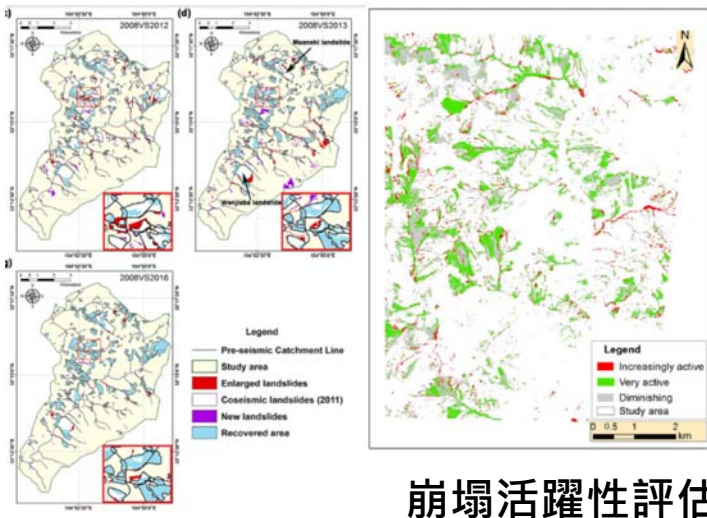
中國極端地震案例(汶川地震)

2008年汶川地震，2009-2011年(震盪期，3年)崩塌面積恢復速率約為0.41km²/年，但2012年後(穩定復育)升高至0.96km²/年。

在震盪期內，新崩塌跟原崩塌擴大發生在深蝕溝區、土石流源頭及大崩塌源頭區

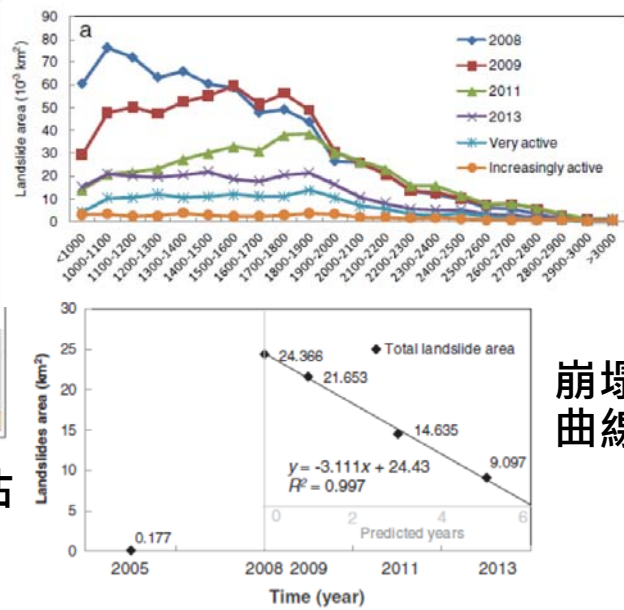
震盪期中的新崩塌跟原崩塌擴大就是特定水土保持區應該進場的時間跟地點。

崩塌演化都討論些什麼?(僅列舉本研究相關)



崩塌活躍性評估

新舊崩塌地
比對分析

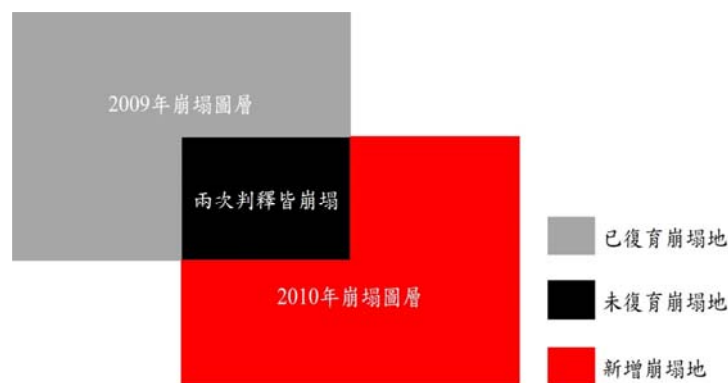


各年度崩塌與地貌因子關係

崩塌面積縮減曲線

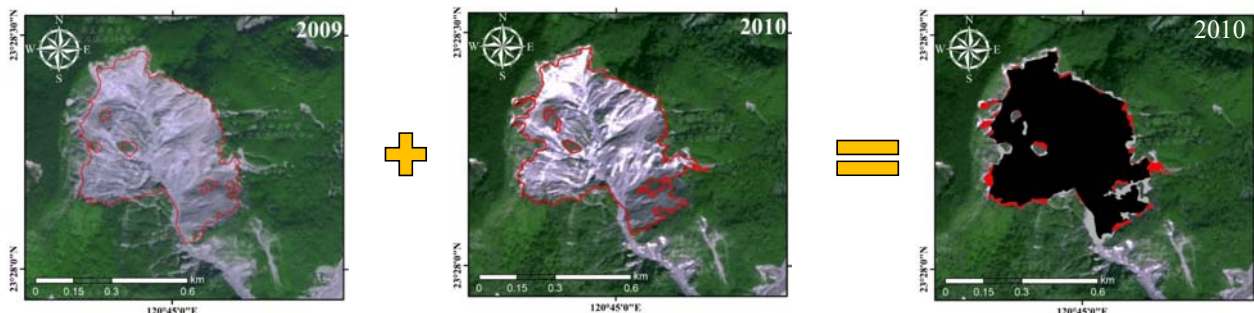
Fig. 4. Decline of the total landslide area in the Yingxiu region.

曾文水庫集水區已復育、尚未復育及新崩塌



將歷年崩塌地與2009年崩塌地進行套疊，區分出已復育崩塌地、未復育崩塌地及新增崩塌地，並評估各年度三類崩塌地面積之變化。

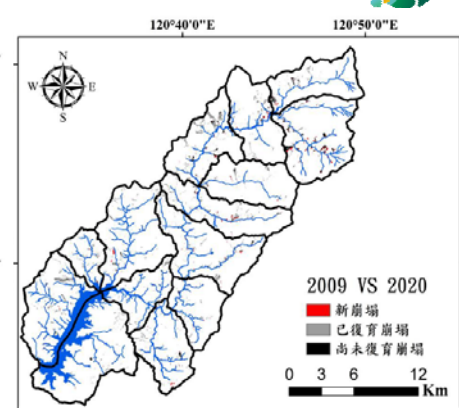
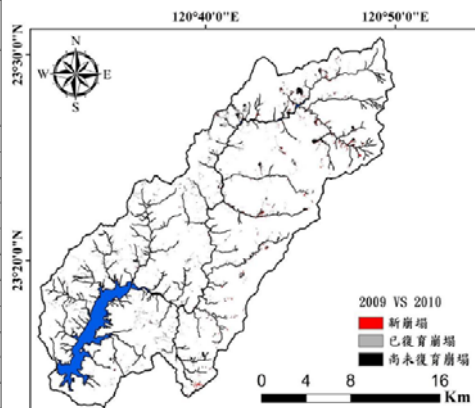
找出難以復育之崩塌區域，以及新崩塌地出現區域，推估其出現原因



曾文水庫集水區已復育、尚未復育及新崩塌



年份	已復育		未復育		新崩塌	
	面積 (km ²)	百分比 (%)	面積 (km ²)	百分比 (%)	面積 (km ²)	百分比 (%)
2010	8.9	64.0	5.0	36.0	2.3	16.6
2011	11.1	80.2	2.8	19.8	1.5	10.5
2012	11.3	81.3	2.6	18.7	1.2	8.4
2013	11.4	81.9	2.5	18.1	1.4	9.8
2014	11.6	83.5	2.3	16.5	1.2	8.8
2015	12.3	88.6	1.6	11.4	0.8	5.9
2016	12.1	87.2	1.8	12.8	0.9	6.6
2017	12.2	87.5	1.7	12.5	1.4	10.0
2018	12.21	87.9	1.69	12.1	1.34	9.6
2019	12.16	87.5	1.74	12.5	0.87	6.2
2020	12.26	88.2	1.64	11.8	1.28	9.2



發生嚴重崩塌的集水區即便在長年復育情況下，復育仍有上限，並無法達到完全復育。新崩塌維持在10%至15%之間，新崩塌發生位置與原因是值得注意。台灣案例的新或擴大崩塌可能都落在匯流口鄰近、蝕溝鄰近跟大崩塌周圍區域。

颱風後	1-2 年	3-5 年	5-7 年
已復育	64%至 80%	85%	87.2%至 88.6%
新崩塌	10.5%至 16.6%	10.0%以下	5.9%至 10.0%

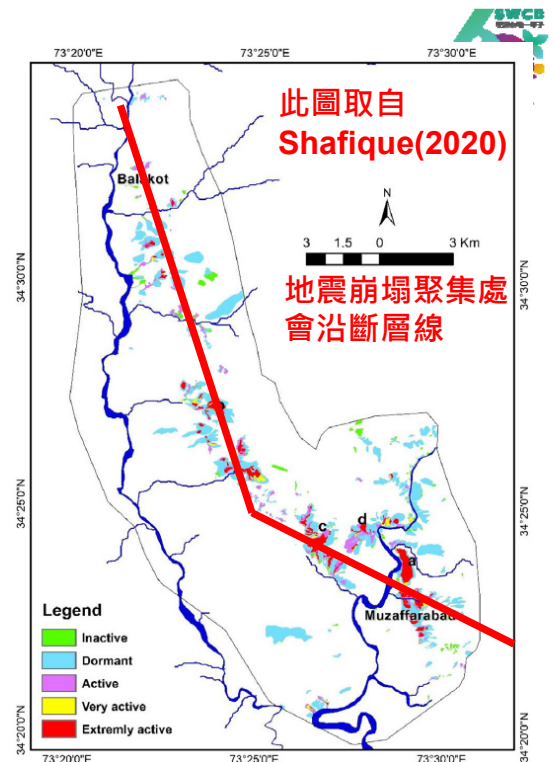
崩塌活躍性評估

崩塌活躍性被用來檢視崩塌在崩塌復育的困難度。相關文獻曾以一個經歷強烈地震或豪雨所誘發的崩塌事件，以多期崩塌目錄方式來判斷該地區在數年後崩塌是否以區於緩和，集水區是否趨於穩定。

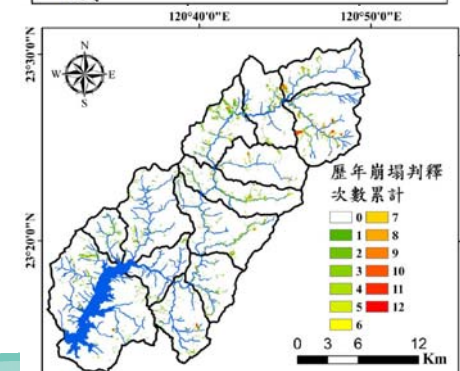
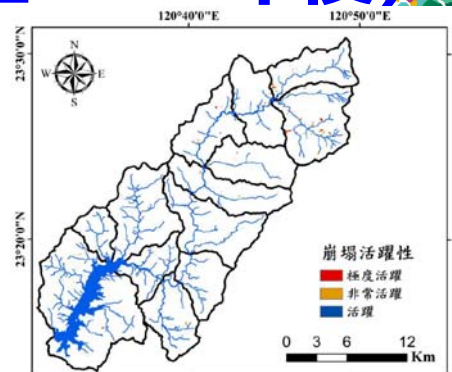
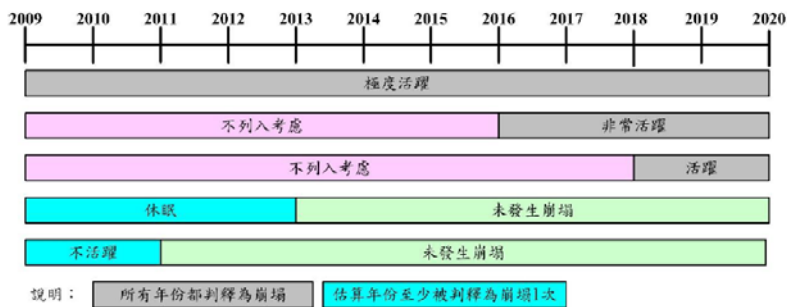
	2010	2014	2016	2018
Extremely active	Y	Y	Y	Y
Very active	X	Y	Y	Y
Active	X	X	Y	Y
Dormant	Y	Y	N	N
Inactive	Y	N	N	N

此表取自Shafique(2020)

以目前評估年份為起點，回算崩塌維持多久的時間，定義其崩塌活躍性。



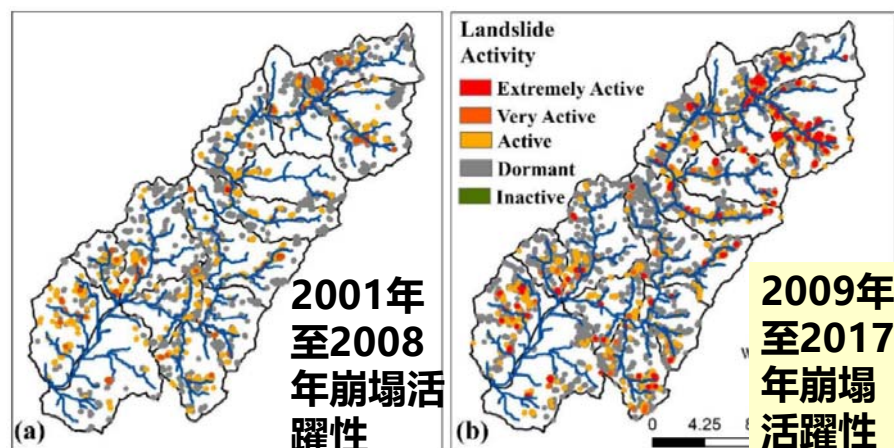
本研究崩塌活躍性評估(僅考量2009年後)



全集水區約有**52.6公頃**屬於**極度活躍崩塌地**，其中又有**40.2公頃**位於**上游集水區(達邦、長谷川溪跟隙頂)**，**上游集水區所匯集流量無法有效消化土砂產量**是上游集水區極度崩塌地偏多的主因

較接近庫區的子集水區有較多休眠及不活躍崩塌的分佈，尤其在曾文水庫西岸、曾文水庫東岸、草蘭溪等子集水區內

長期崩塌活躍性評估(考量2001及2009年事件)



考量時間：2001年至2017年

考量事件：2001年Nari颱風與2009年Morakot颱風

使用材料：2001年至2017年年度崩塌圖層資料

兩場颱風事件降雨強度跟分布不盡相同，卻更可以顯示崩塌難以復育區位。

活躍等級以上的崩塌地幾乎都沿水系分布，隱含河川兩岸的崩塌是最難以復育或最容易重新誘發。

上游集水區具有明顯的活躍崩塌分布，上游集水區又剛好是崩塌個數或面積最多的區域，也是匯集流量最少的集水區。

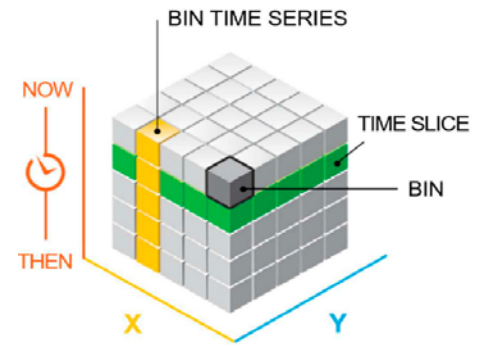
崩塌時空熱區分析說明

時空分析方式(Spatial Temporal Analysis)

主要分析某種現象的群聚特性，過往被使用在病毒傳播、空氣污染、犯罪、交通事故、公共衛生等議題上。

相較於單一時間的空間分析，**多重時間的空間分析**可瞭解特定現象從過往到現在的空間分佈與趨勢，更有助於掌握災害未來可能發生地點、原因及規模。

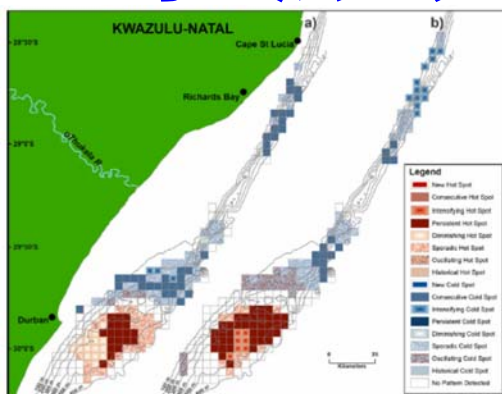
崩塌時空相關性案例：一個邊坡產生崩塌後，崩塌土砂進入河川，河川土砂淤積導致河川型態改變，也導致鄰近下游邊坡也發生河岸崩塌，但發生時間不一定會在當年，而是在後幾年，端視土砂運移情況。



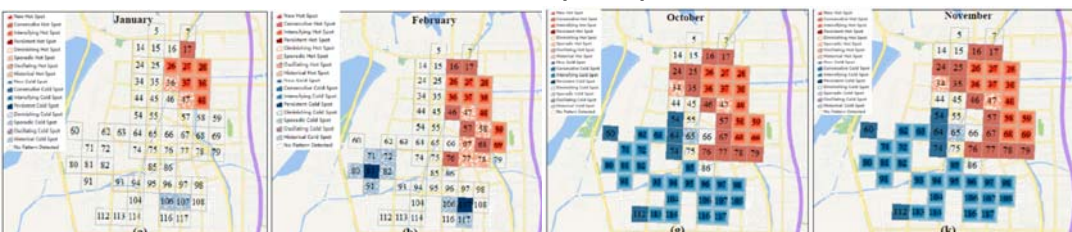
時空群聚分析方式，將群聚現象區分為17種樣態，包含**新熱(冷)區**、**連續熱(冷)區**、**加劇熱(冷)區**、**長久熱(冷)區**、**遞減熱(冷)區**、**零星熱(冷)區**、**震盪熱(冷)區**、**歷史熱(冷)區**、無感應

時空熱區分析應用於其他研究領域案例

應用於漁業捕撈的熱區轉換研究。Everett et al.(2021)



應用於印尼Covid-19 Virus傳播熱區與路徑研究。Purwanto et al.(2021)



應用於好發交通事故路口的原因探索

Cheng et al. (2018)

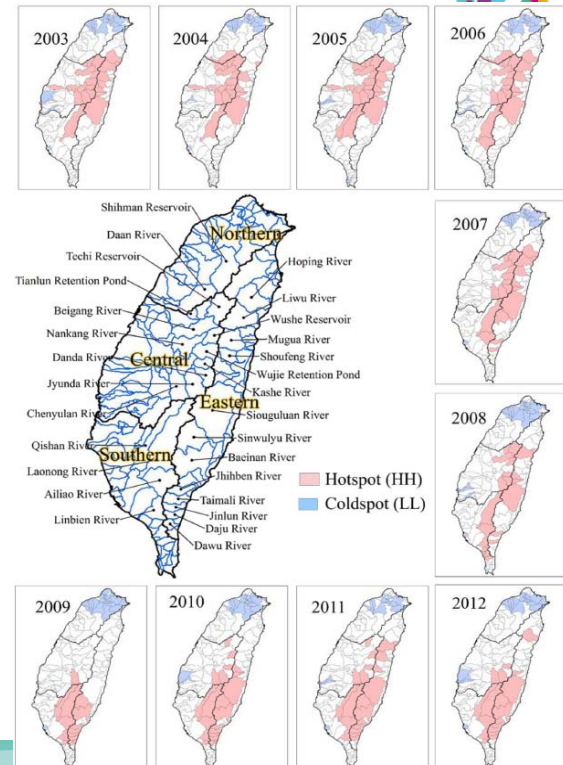
熱區與時空熱區的相關應用

Lin et al.(2017)以2003至2012年的台灣年度崩塌圖層，評估區域性的崩塌空間相似性，並繪製全台灣河川集水區尺度的熱區分佈圖。該研究指出在**2009年後**，台灣崩塌的熱區更加集中在南台灣。

使用時空熱區分析技術在崩塌演化的主要原因：
能否找出不同年份誘發崩塌的原因或路徑？

病毒傳播可能是跟人群移動有關，因此路徑就是人群移動的趨勢。但是否能找出極端降雨事件後幾年的崩塌發生傳播路徑跟河川相關？

能否藉由此分析技術來說明崩塌復育的難易度與特性？



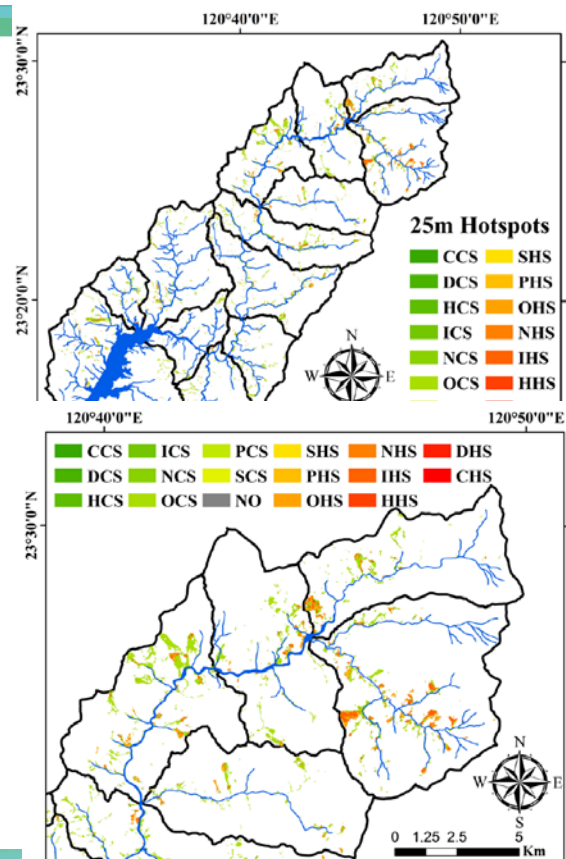
崩塌時空熱區分析

崩塌熱區主要分佈在集水區中上游子集水區內，**達邦、隙頂及山美等子集水區是前三多**。

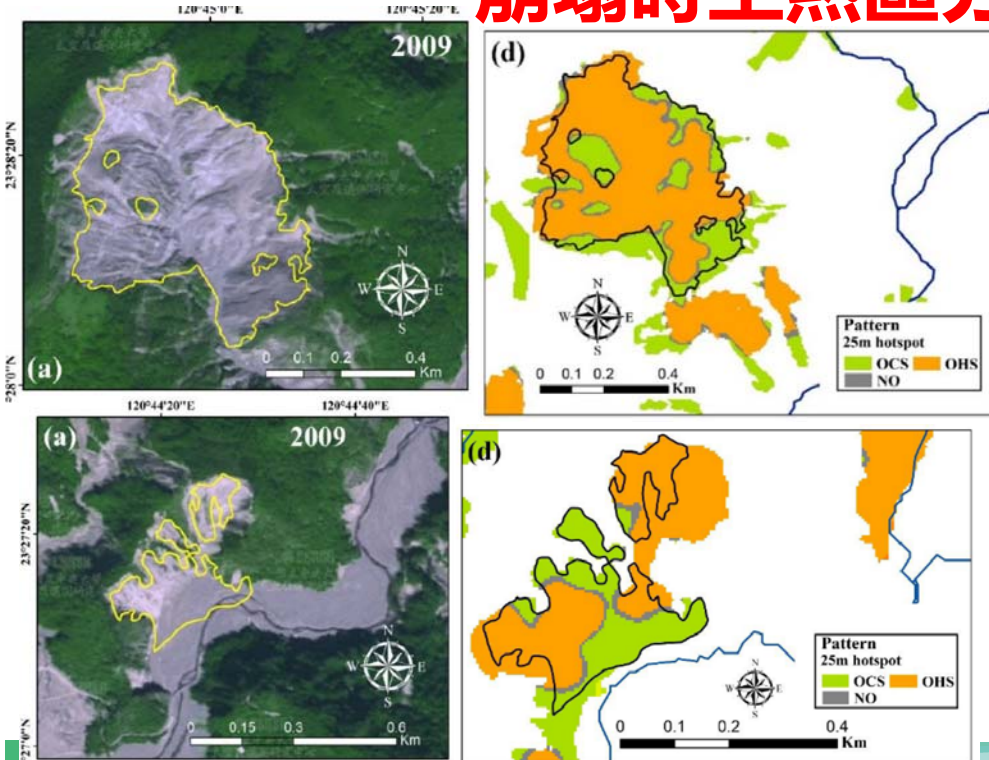
震盪熱區、長久熱區及加劇熱區是主要的三種熱區種類。

震盪崩塌熱冷區的意義為「該區域頻繁出現冷熱區交替」，初期崩塌熱區出現跟**2009年莫拉克**相關，但**2009年之後的崩塌熱區出現則跟地表逕流匯集所產生的蝕溝與洪水流量在土砂淤積河川中造成河岸崩塌相關**。

集水區熱冷區面積比值平均為**0.32**，子集水區比值超過平均值**0.32**的有三個，包含**達邦、長谷川溪及草蘭溪**。



崩塌時空熱區分析



大規模崩塌及河岸崩塌案例鄰近的時空熱區分布：區域內的時空熱區都屬於震盪(oscillating)特性，且原邊界區域容易外擴。

大規模崩塌區域若沿區內蝕溝分布區域，都是屬於崩塌熱區。

位於具有大量土砂產出的子集水區(達邦與長谷川)匯流口鄰近河段是河岸崩塌延續最久時間的位置。



以水保法16-2及16-3劃設特定水保局可行性

水保法16-2條劃設特定水保區可行性

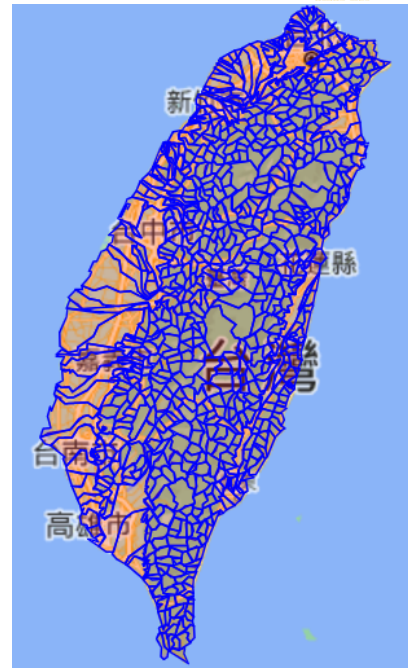
第16-2條：**主要河川集水區**須特別保護者。前述三個名詞都尚無法規正式定義。

主要河川建議視為24條中央管及跨縣市河川。

河川集水區建議以**839子集水區**為主，劃設單元可為一個或多個**839子集水區**。

須特別保護者則定義為災害面積過大或過於集中，導致採用一般工程提報方式並無法在短時間內降低災害影響者。建議採**崩塌率超過3.0%**，相較一般土砂評估採用1.0%為嚴重災害門檻，**3.0%**的確有更集中之意

前期研究的確有發現在旗山溪集水區、荖濃溪集水區及隘寮溪集水區，**崩塌率超過3.0%**的確在後續崩塌復育過程較緩慢且易發新崩塌跡象。



水保法16-2條劃設特定水保區可行性

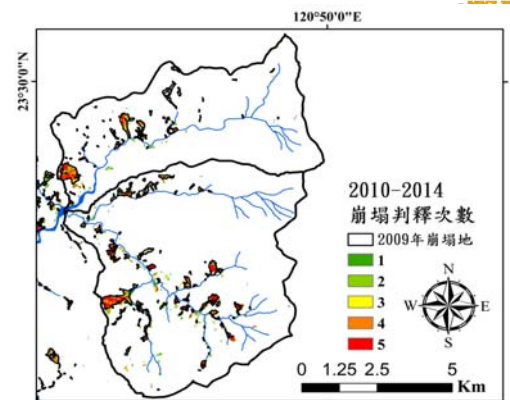
水土保持法第3-5條：「...亟需加強實施**水土保持之處理與維護**...」，本研究定義為「若無人為工程協助復育，該地區將在崩塌事件後幾年陸續出現新崩塌地或舊崩塌地難復育」

以子集水區為特定水保區劃設單位，**達邦**與**長谷川溪**子集水區都符合「**復育會異常緩慢**」

2009年至2011年崩塌個數難降低或降低最慢，崩塌面積減少率<30% (其餘子集水區>50%)

尚未復育崩塌個數或面積最多。

新崩塌個數或面積最多。



子集水區	崩塌率(%)		2010 VS 2009 年面積(ha)			排序
	2009	2010	新崩塌	未復育	新+未	
達邦	3.22%	3.28%	58	93	151	1
長谷川溪	2.89%	2.24%	14	50	54	2

主因：大量土砂進入河川，河川淤積量大量上升，也誘發河川型態變遷跟大量河岸崩塌。

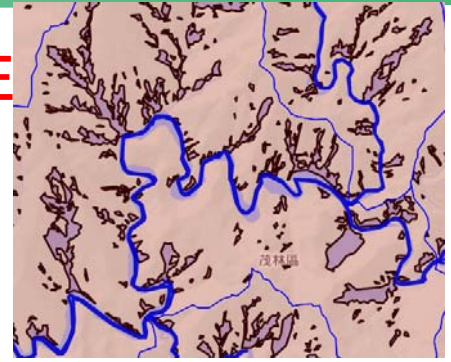
水保法16-3條劃設特定水保區可行性

第16-3條：海岸、湖泊沿岸、**水道兩岸須特別保護者**。前述三個名詞都尚無法規正式定義。

本研究建議將「**水道兩岸須特別保護者**」定義為「**河段上游或支流具有大量土砂匯入，且河段上也可能具有大規模崩塌提供土砂產出**」

此類河段發生河川型態改變而誘發更多河岸崩塌的時間並不在於極端降雨事件當年，必須端視上游巨量土砂運移速度，因此誘發河岸崩塌通常都會在災害事件後一兩年。

案例：和社溪(陳有蘭溪上游)集水區上游有神木集水區(愛玉子溪、霍薩溪及出水溪)，支流有松山溪及多條支流土砂匯入，因此導致和社溪河床淤高超過10公尺，河川明顯蜿蜒並誘發河岸崩塌大量發生。



水保法16-3條劃設特定水保區可行性

劃設尺度為**子集水區內河段**：
達德安跟**隙頂**兩子集水區，在歷年新崩塌及未復育崩塌累計值都為全部子集水區之最，且多數皆為河岸崩塌。

若將尺度縮小到**特定距離河段**

蜿蜒河段
河岸崩塌



水保法16-2及16-3條劃設特定水保區篩選方式

依據16-2條之篩選方式及門檻

- 1.災害事件當年與次年崩塌率 $\geq 2.0\%$ ，次年崩塌率 $>$ 當年的子集水區為優先。
- 2.位於水系較上游者。
- 3.新崩塌案例明顯增加，舊崩塌尚未復育面積仍多，並以新崩塌增加面積及舊崩塌尚未復育面積累計為劃設為特定水土保持區之優先順序。

依據16-3條之篩選方式與門檻

- 1.位於崩塌率大或等於 2.0% 之野溪集水區匯入口的河段，建議於匯入口往下游1000公尺區域內劃設為特定水土保持區
- 2.位於河岸崩塌偏多(崩塌率大或等於 5.0%)的彎曲河段，建議以河岸崩塌群聚地為中心，往上下游各1000公尺區域內劃設為特定水土保持區

感謝聆聽 敬請提問