地形計測學方法於土砂災害之判釋與應用

李璟芳 正研究員

財團法人中興工程顧問社
防災科技研究中心

2017 / 3 / 21



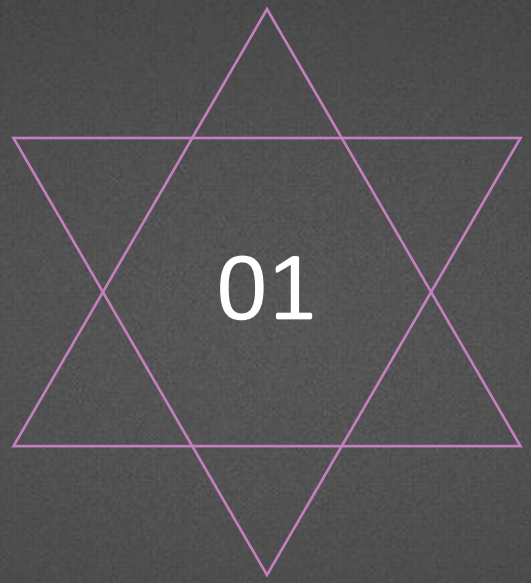
簡報大綱

01 地形計測學與立體圖

02 山崩判釋應用

03 土石流判釋應用

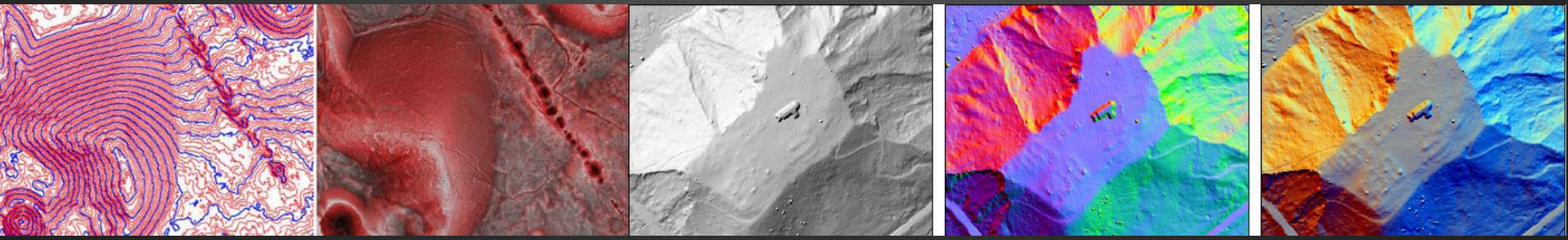
04 小結



地形計測學與立體圖

01 地形計測學與立體圖

- 地形計測方法(Geomorphometric analysis)是將**地表地形量化分析的科學方法**，應用在地形、地質、水文、生態等環境科學。早期以判讀地形圖、等高線方式來進行量度，進行坡度、坡向等較簡略之分析應用(石慶德，1984；賴進貴，1996；謝有忠，2016)。
- 地形計測學常用於考古遺跡、地理學、都市計畫、地質構造及**自然災害判釋**等領域。
- 近年來受惠於高精度數值地形之普及，由地形測計學所衍伸發展之加值立體圖資，對於**揚顯地貌上之細微特徵**，提升判釋正確率具有正面效益(Yokoyama, 2002; Chiba, 2008, 2016; 日本林野廳(2014); Chen et al.(2015); 蕭宇伸等，2017)。



Chiba & Hasi(2016)

Kokalj (2014)

01 地形計測學與立體圖

不同尺度與判釋對象之地形分類

(今村遼平，2012)

表 1.2 規模による地形種の類型とその例（中地形類以下は日本に多い例のみを示す）[3)]

地形種の類型		超微地形類	極微地形類	微地形類	小地形類	中地形類	大地形類	巨地形類
規　模		10 m	100 m	1 km	10 km	100 km	1 000 km	
主要な形成営力別の地形種の例	変動地形	噴砂堆	地割れ	撓曲崖	断層崖 断層角盆地 地塁 地溝	山地 丘陵 曲降盆地 大地溝帯	弧状列島 海溝、海淵、 海嶺、大山 脈、盾状地	大陸 大洋底
	火山地形	溶岩シワ	溶岩堤防	砕屑丘 火口 溶岩円頂丘	成層火山 カルデラ 溶岩流原	盾状火山 火山群	玄武岩台地	
	河成地形	瓶穴（甌穴：ポットホール）、砂漣	礫堆、砂堆、泥堆、河道、落堀	河川敷 自然堤防 後背低地 旧流路跡地	扇状地 蛇行原 三角州 谷底低地	河成低地 河成段丘		
	海成地形	カスプ 砂漣	巨大カスプ 浜、磯	浜堤、砂し、 沿岸州、 海底州、 波蝕棚	堤列低地 潟湖跡地	海成低地 海成段丘		
	集団移動地形	落石穴	土石流堆 滑落崖、崖錐、 崩壊地	沖積錐	地すべり堆			
	風成地形		砂丘		砂丘帯			
	その他		堆石堤	カール	サンゴ礁			
地形物質の厚さ		数cm～数m	数m～数十m	0.01～1 km	数m～5 km	0.1～10 km	1～40 km	70～140 km
形成時期（年）		$10^{-3} \sim 10^{0}$	$10^{-2} \sim 10^{0}$	$10^{0} \sim 10^{3}$	$10^{0} \sim 10^{4}$	$10^{5} \sim 10^{7}$	$10^{7} \sim 10^{8}$	$10^{8} \sim 10^{9}$
読図用地図		1/100	1/2 500	1/1 万	1/2 万 5 000	1/10 万	百万分の 1	千万分の 1

＊ アミかけの部分など、一部加筆



01 地形計測學與立體圖

地形計測方法常用指標

指標	加值立體圖
坡度(slope angle)	坡度圖
坡向(slope aspect)	坡向圖
曲率(curvature)	地形曲率圖
日照陰影值(hillshade)	單方位日照陰影圖、多方位日照陰影圖
地表粗糙度(surface roughness)	地表粗糙度圖
特徵比值(Eigenvalue ratio)	特徵比值圖
地形開闊度(topography openness)	地上開闊度圖
	地下開闊度圖
	赤色立體地圖(Chiba, 2008)、紅色地圖(蕭，2017)
天空開闊度(sky-view factor)	天空開闊度圖(Kokalj, 2013)、天空開闊度立體圖(中興社)

01 地形計測學與立體圖

視覺化加值立體圖



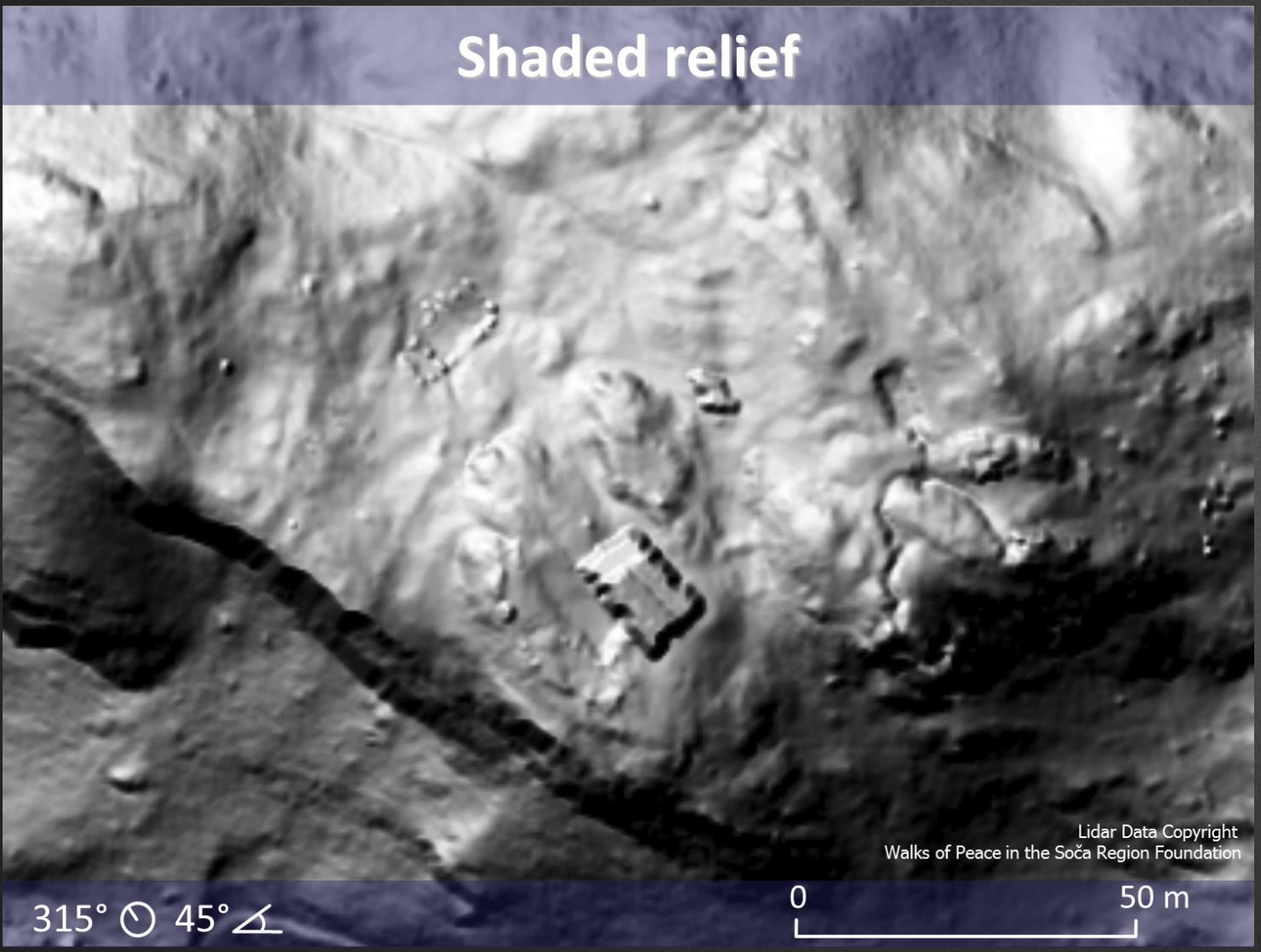
- 1 Hill-shading
- 2 Hill-shading in multiple directions
- 3 Colour cast
- 4 Trend removal (LRM)
- 5 Slope gradient
- 6 Sky view factor
- 7 Openness

LiDAR Scanning	parameter
scanner type	Riegl LMS-Q560
date	4th and 16th March 2007
flying height	450 m
Point density(per m^2)	11.2
spatial resolution	0.5 m

Kokalj et al. 2011. Antiquity; Kokalj et al. 2013. Visualizations of lidar derived relief models; Kokalj, 2014 Raster lidar data visualizations for interpretation of microrelief structures.

01 地形計測學與立體圖

Hill-shading

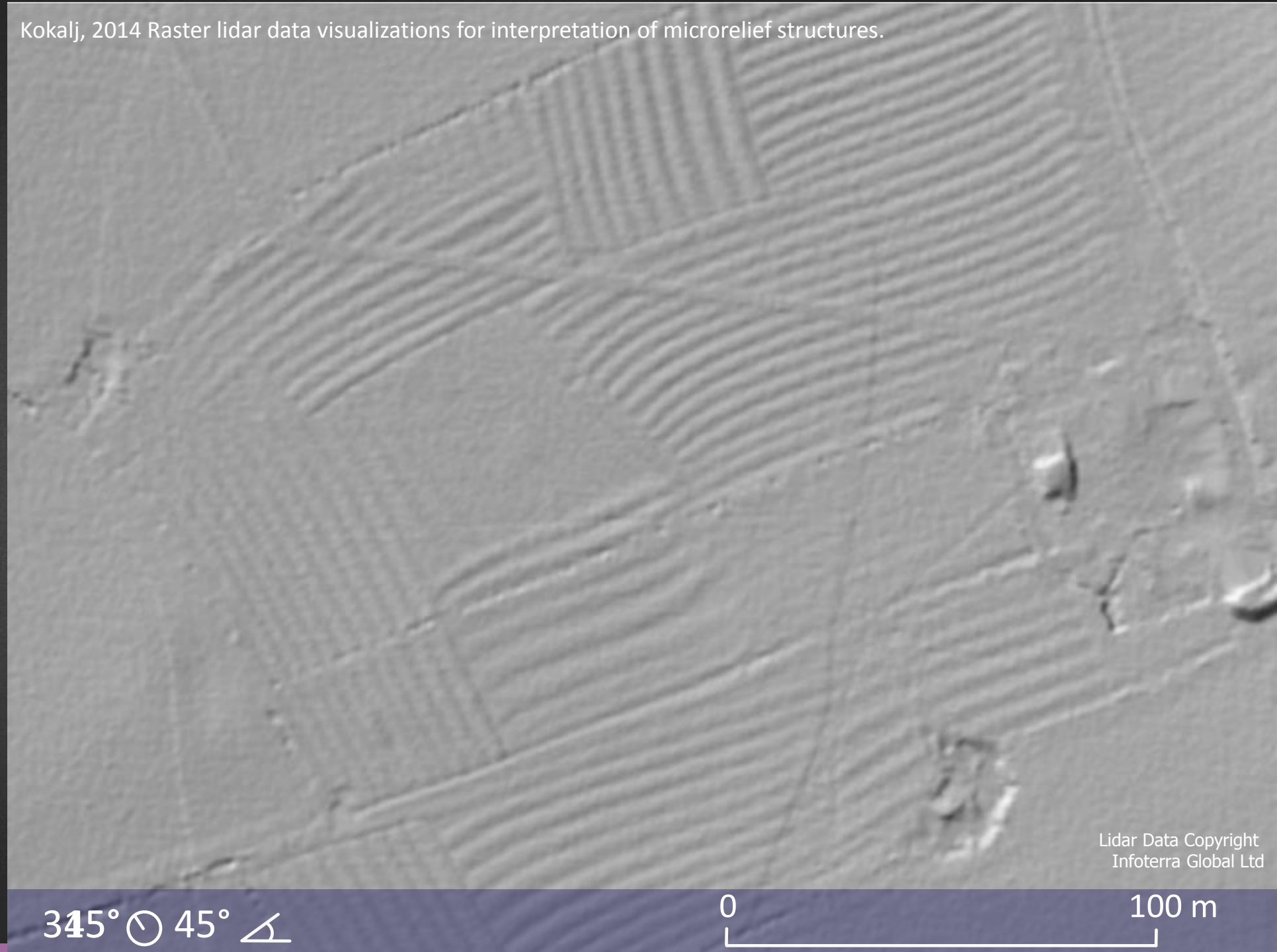


Kokalj, 2014 Raster lidar data visualizations for interpretation of microrelief structures.

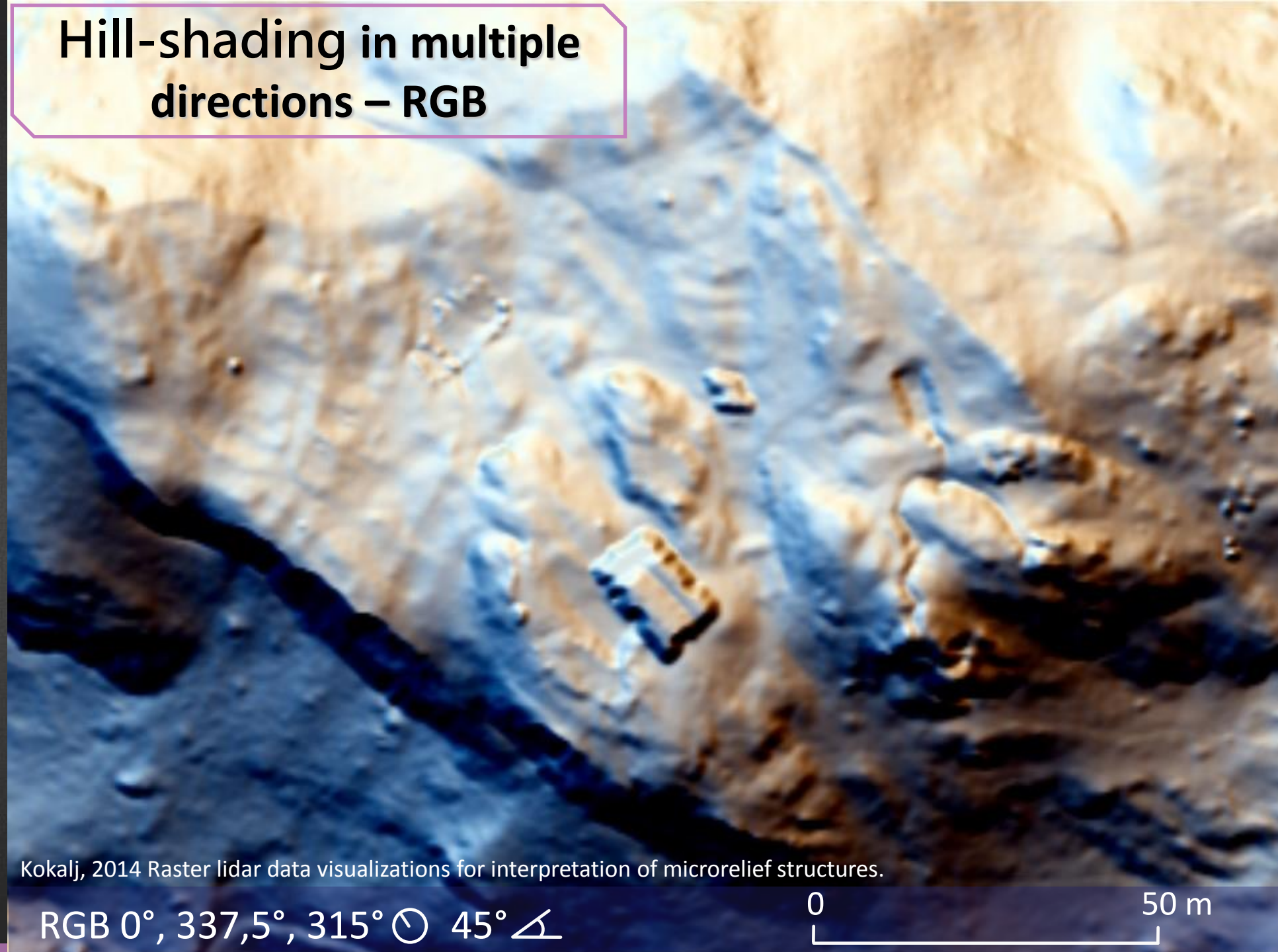
- **優點：**
  - 易於計算和判釋
  - 常用之GIS軟體皆可處理
  - 平坦地區可以低角度光源揚顯特徵
- **缺點：**
  - 陰影區呈深暗，光照區過曝
  - 平行光源的線型結構

01 地形計測學與立體圖

Hill-shading



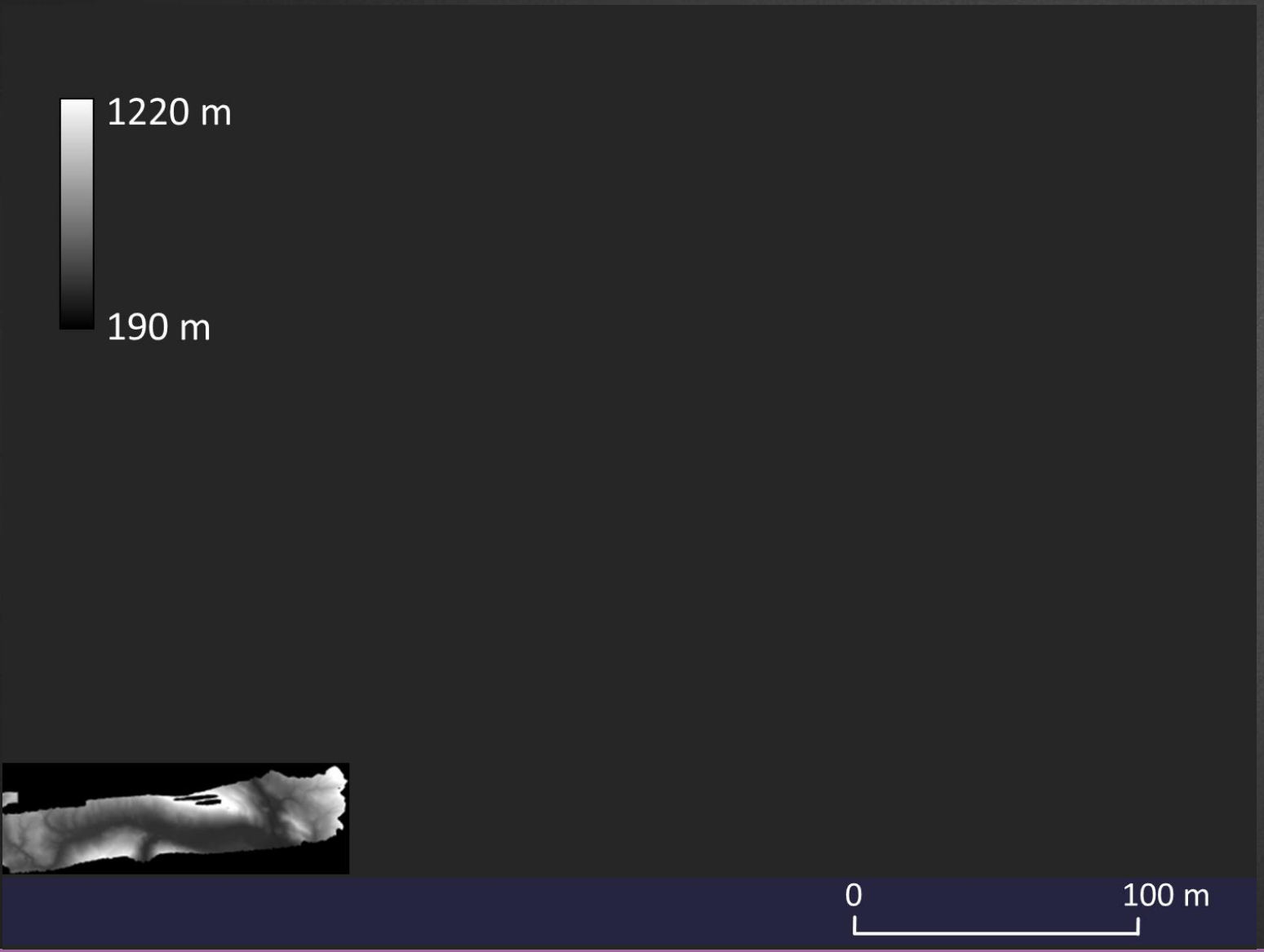
Hill-shading in multiple directions – RGB



Kokalj, 2014 Raster lidar data visualizations for interpretation of microrelief structures.

01 地形計測學與立體圖

Colour cast



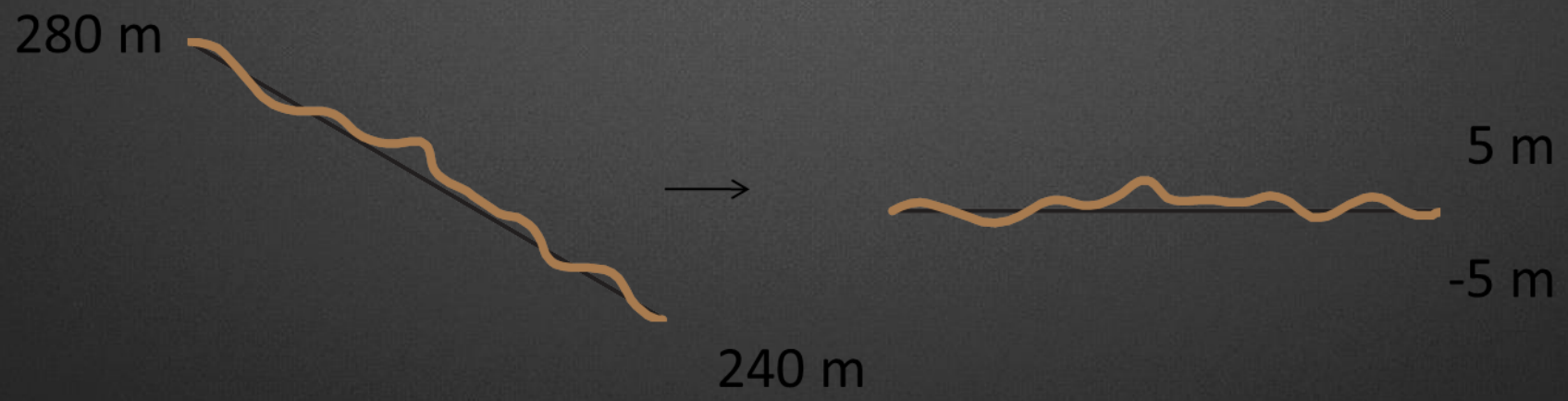
- **優點：**
  - 適用於平坦地貌特徵增揚
  - 保留原始地形高程資料
  - 易於判釋
- **缺點：**
  - 高低不平的地形，視覺上較紊亂
  - 灰階度上下限需人為主觀定義

Kokalj, 2014 Raster lidar data visualizations for interpretation of microrelief structures.

Trend removal (local relief model, LRM)

- **濾除地形大尺度趨勢，僅保留細微特徵**
- **濾除廣域的高程變異**
- **濾除地形趨勢常用之方法：**
  - Averaging, median smoothing, Gaussian smoothing, improvement with a “purged DEM”

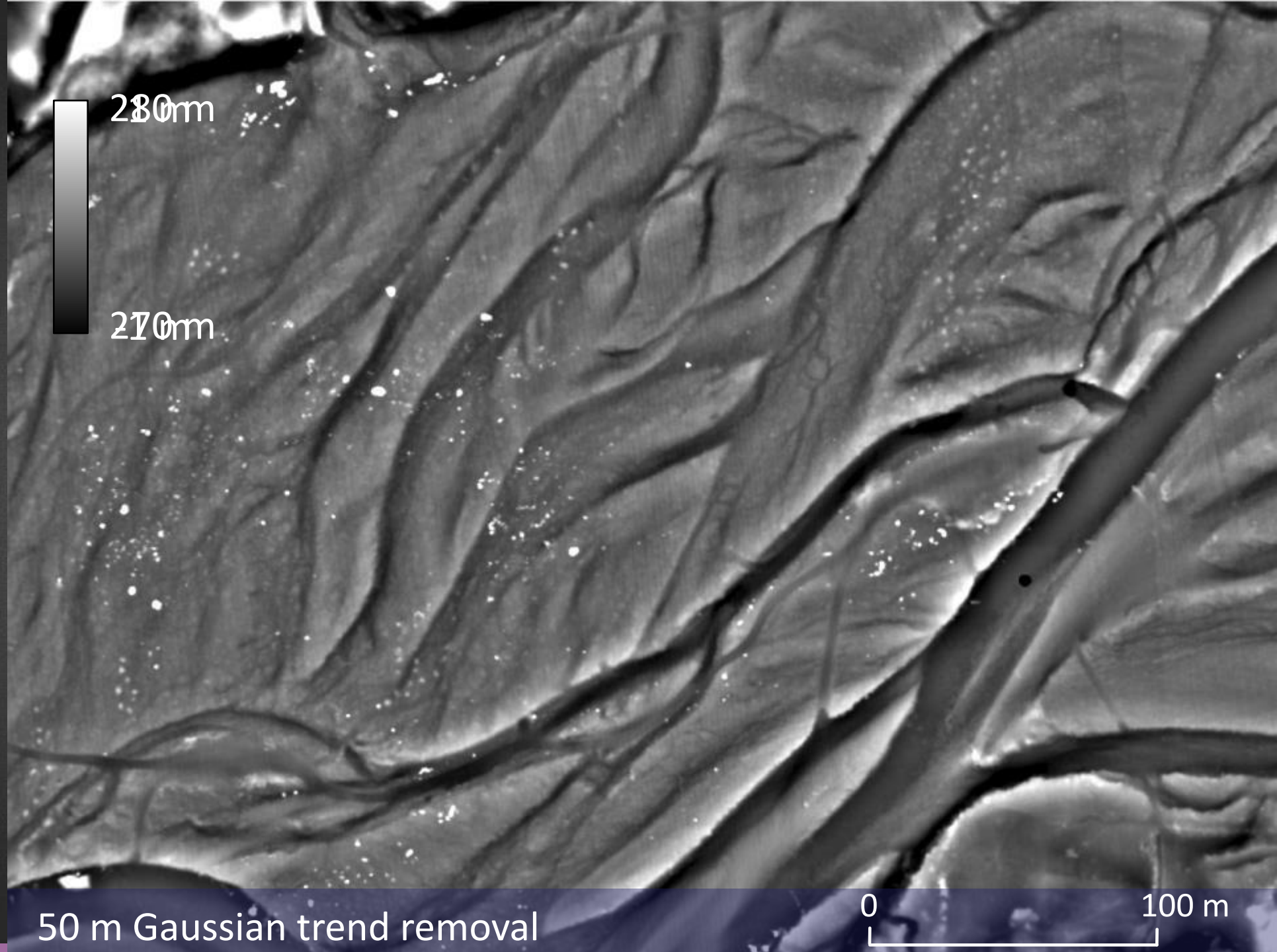
- **優點：**
  - 在極端平緩地形增揚效果良好
  - 可依判釋對象選擇濾除方法
- **缺點：**
  - 引入人工構造物之雜訊(如點雲濾除不佳者)



Kokalj, 2014 Raster lidar data visualizations for interpretation of microrelief structures.

01 地形計測學與立體圖

Trend removal (LRM)



01 地形計測學與立體圖

Slope gradient



Kokalj, 2014 Raster lidar data visualizations for interpretation of microrelief structures.

- **優點：**
  - 計算簡單，利於判釋
  - 常用GIS軟體皆可產製
  - 可與陰影圖套疊進行加值判釋
  - 在大部分的地形皆可應用
- **缺點：**
  - 陡坡區灰階值過於飽和
  - 地形判釋時常需引入額外資訊

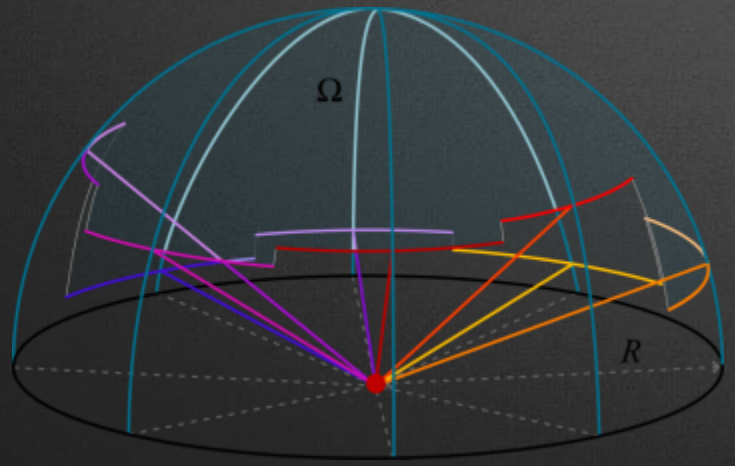
01 地形計測學與立體圖

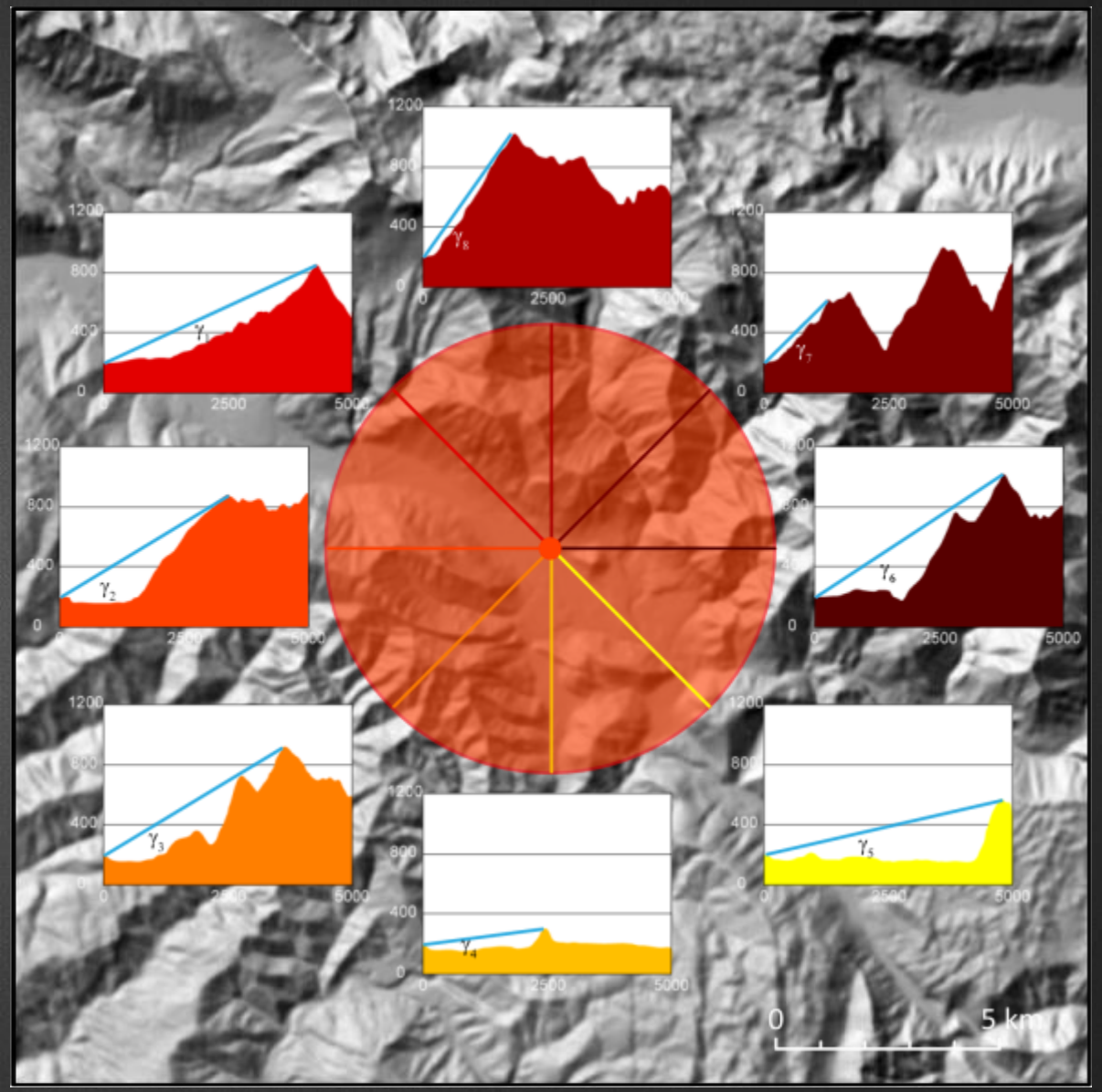
Sky view factor

- **原理與特性：**
  - 計算可視天空的尺度(僅考慮半球)
  - 值域介於0-1

$$\Omega = \sum_{i=1}^{n} \int_{r_i}^{\pi/2} cos\varphi d\varphi = 2\pi \left(1 - (\sum_{i=1}^{n} sinr_i)/n\right)$$

$$SVF = 1 - (\sum_{i=1}^{n} sinr_i)/n$$

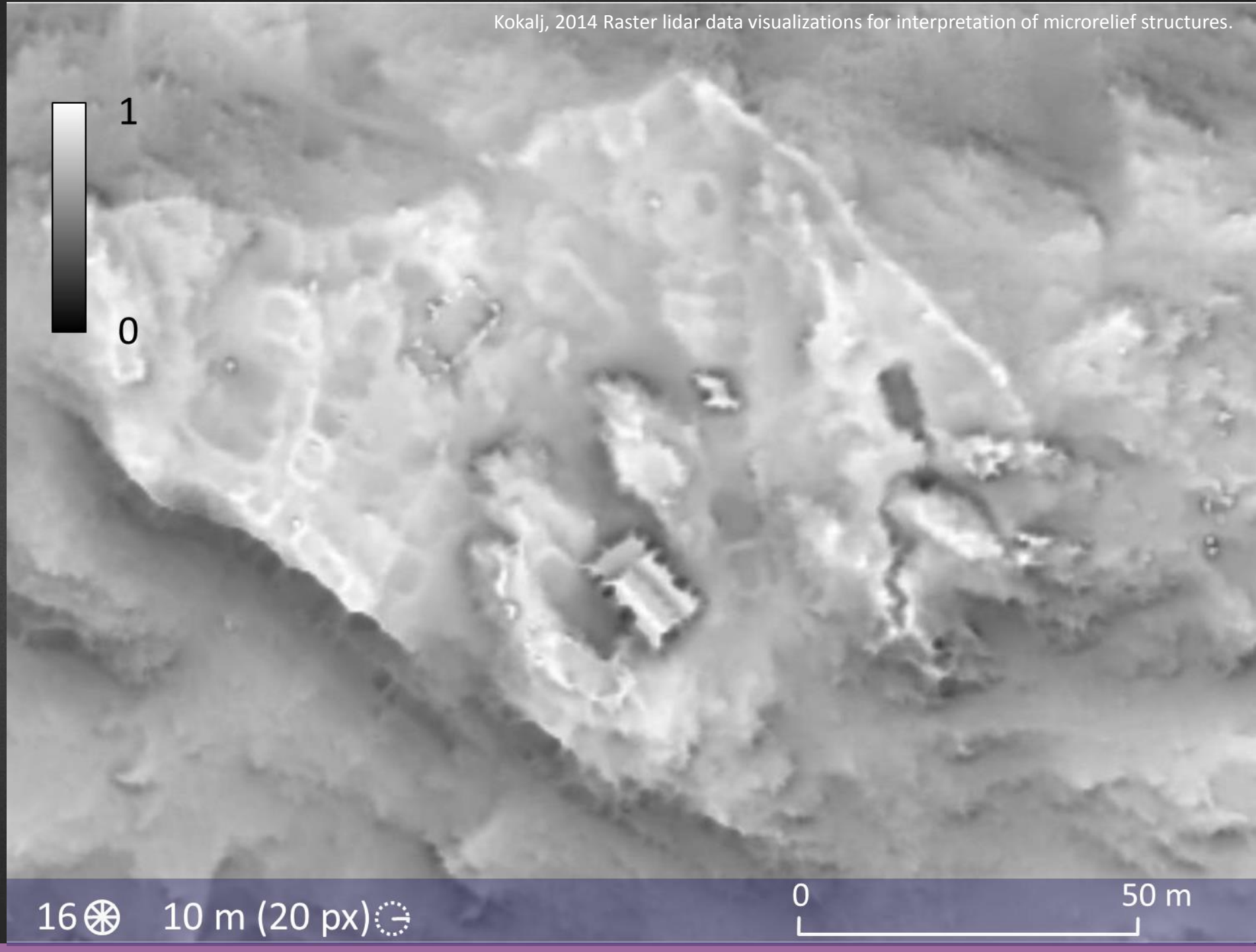




Kokalj, 2014 Raster lidar data visualizations for interpretation of microrelief structures.

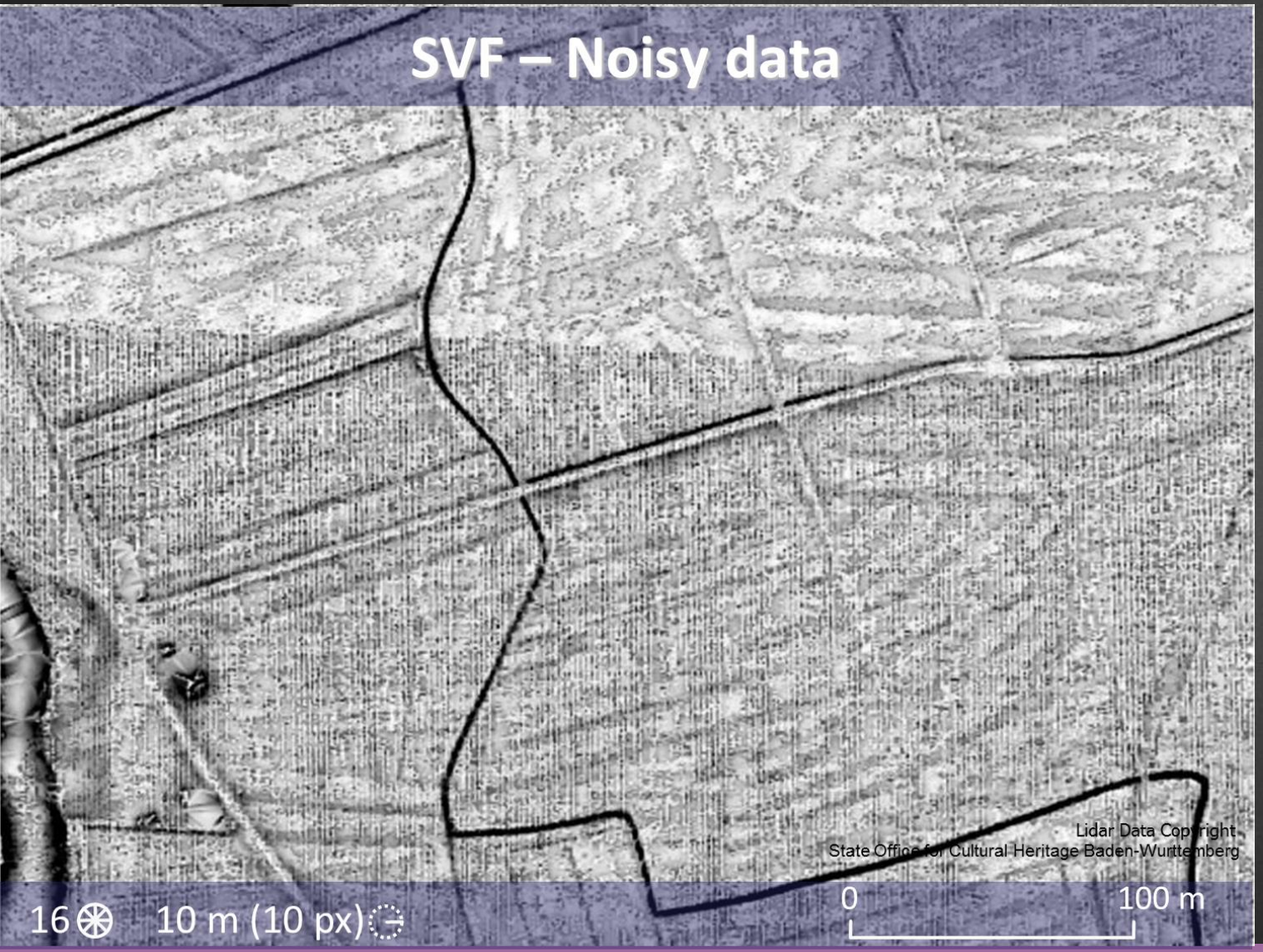
01 地形計測學與立體圖

Sky view factor (SVF)



01 地形計測學與立體圖

Sky view factor



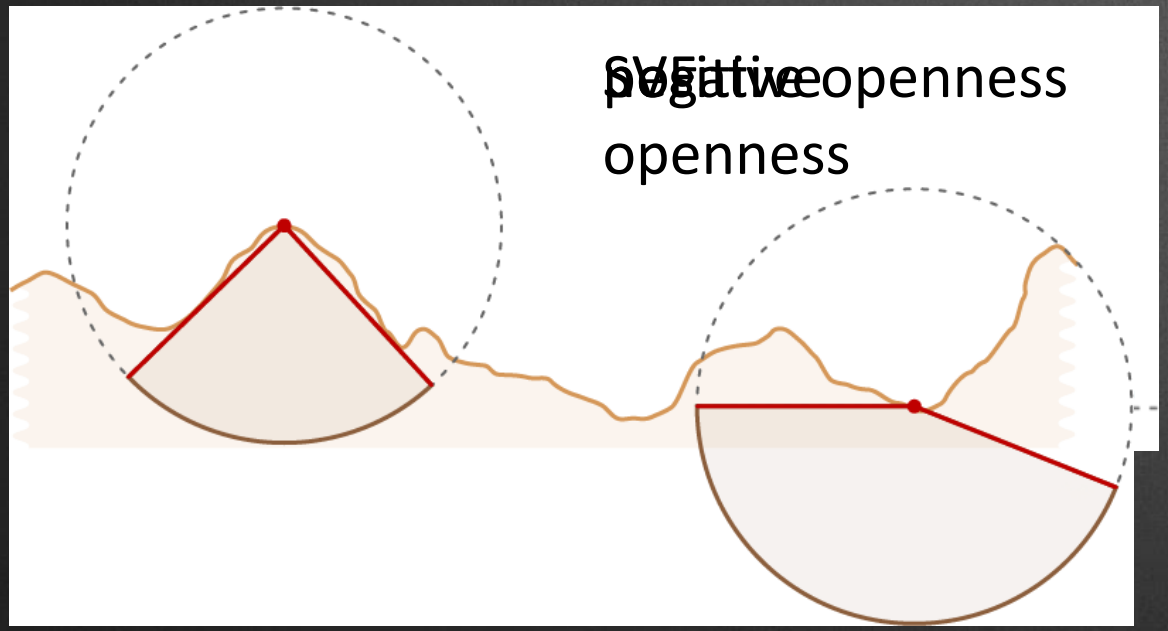
- **優點：**
  - 清晰判別**突出**與**陷落**地表特徵
  - 示於複雜地形
  - 協助地形上的**雜訊檢核**
  - 直覺化呈現
- **缺點：**
  - washout effect (平坦區)

Kokalj, 2014 Raster lidar data visualizations for interpretation of microrelief structures.

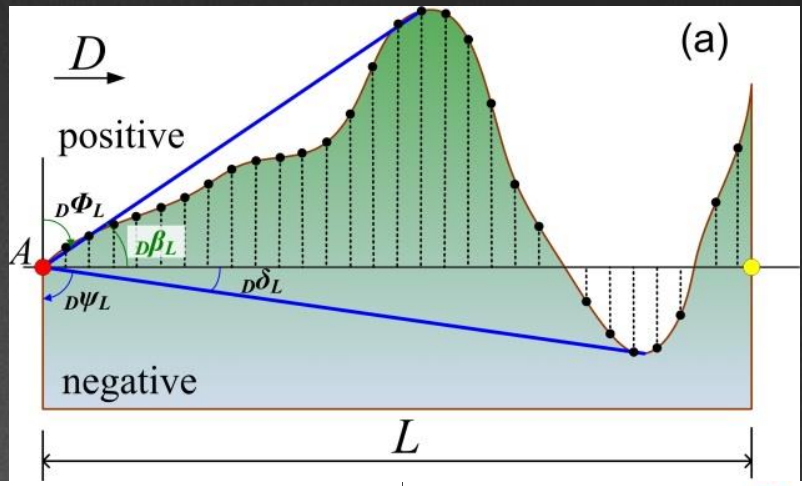
01 地形計測學與立體圖

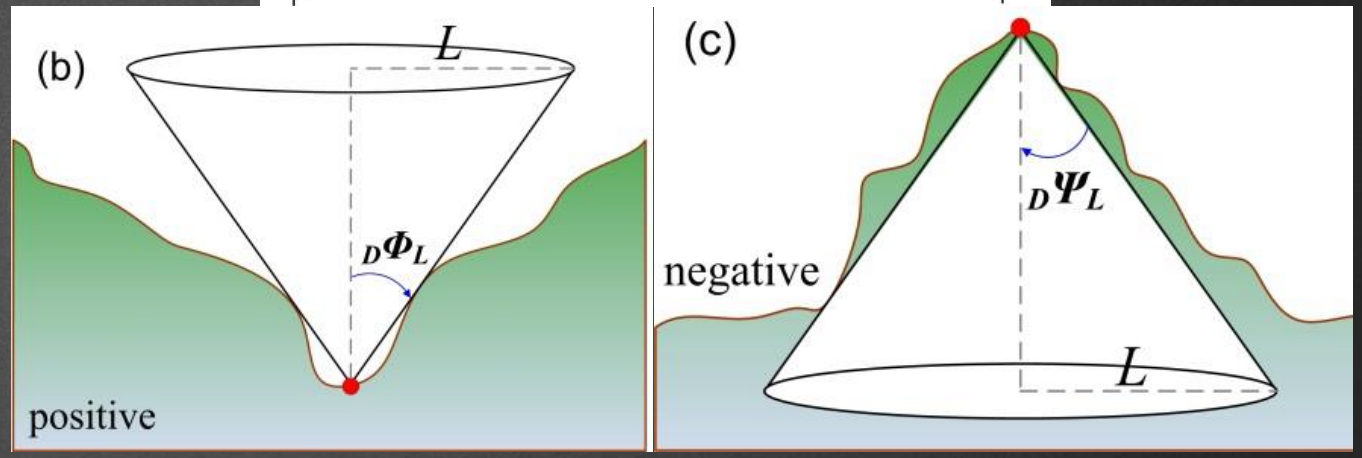
Openness

- **原理與特性：**
  - 量化特定點未受遮蔽區的角度
  - 類似SVF
  - 分為正(positive)與負(negative)開闊度



Kokalj, 2014 Raster lidar data visualizations for interpretation of microrelief structures.





(adapted from Yokoyama et al., 2002)

$\Phi_L=\sum({}_D\Phi_L)/8$ $\quad {}_D\Phi_L=90^o-{}_D\beta_L$

$\psi_L=\sum({}_D\psi_L)/8$ $\quad {}_D\psi_L=90^o-{}_D\delta_L$

01 地形計測學與立體圖

Openness



- **優點：**
  - 有利於顯示**凸**及**凹狀**地貌
  - 適於地形**自動化判釋**
- **缺點：**
  - 不同的坡度，可能得到相同的開闊度數值
  - 負開闊度圖在直覺上不易直接判釋

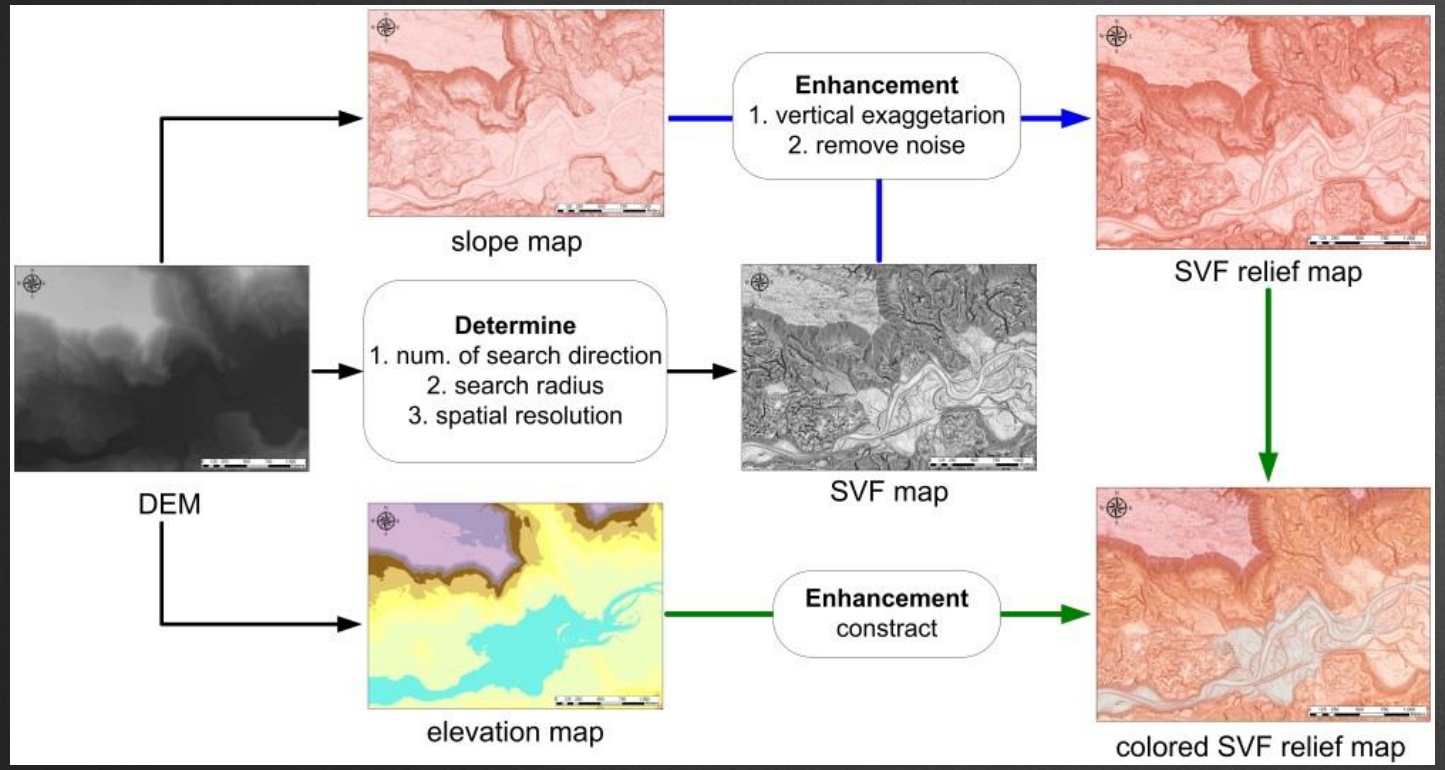
Kokalj, 2014 Raster lidar data visualizations for interpretation of microrelief structures.

02

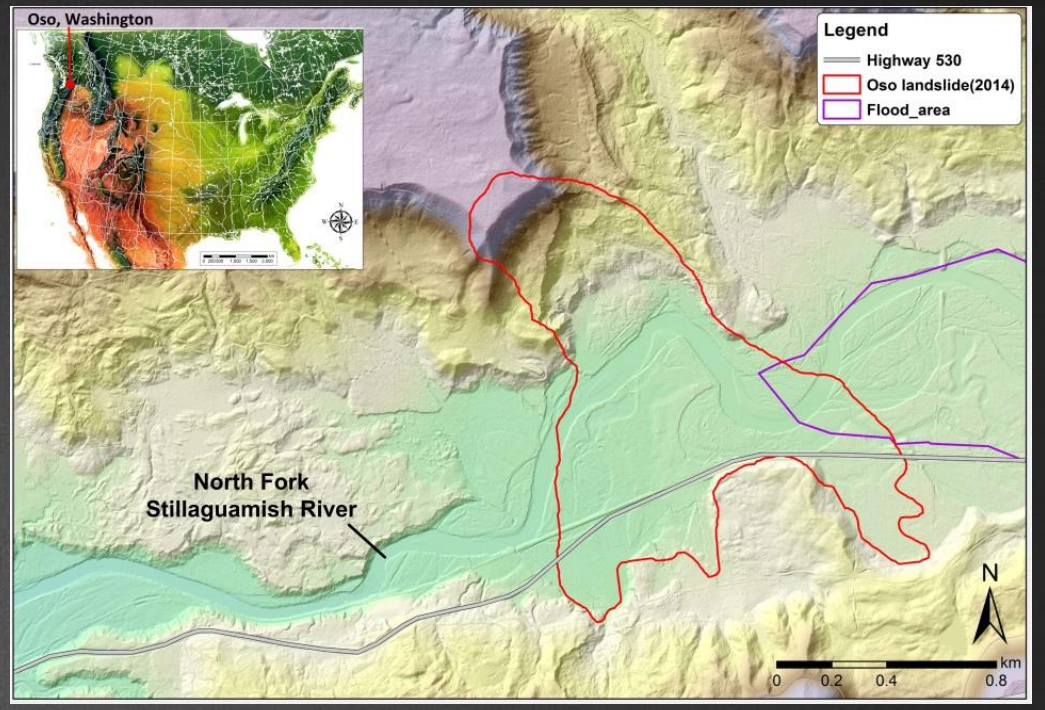
山崩判釋應用

02 山崩判釋應用

美國華盛頓州Oso舊山崩活動性評估



SVF relief map compilation procedure

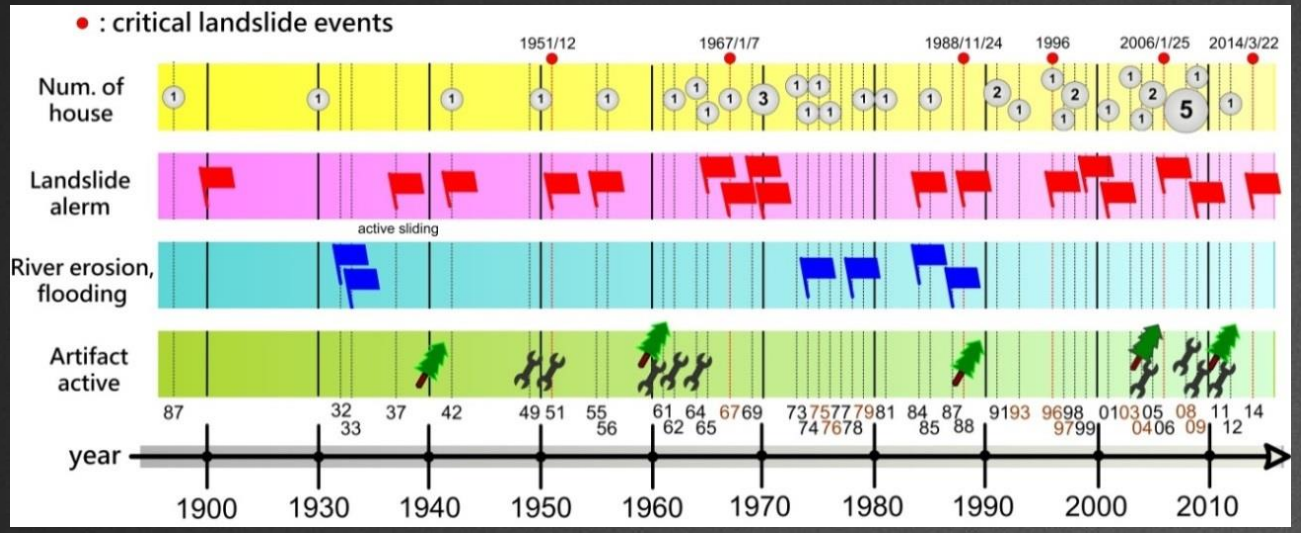




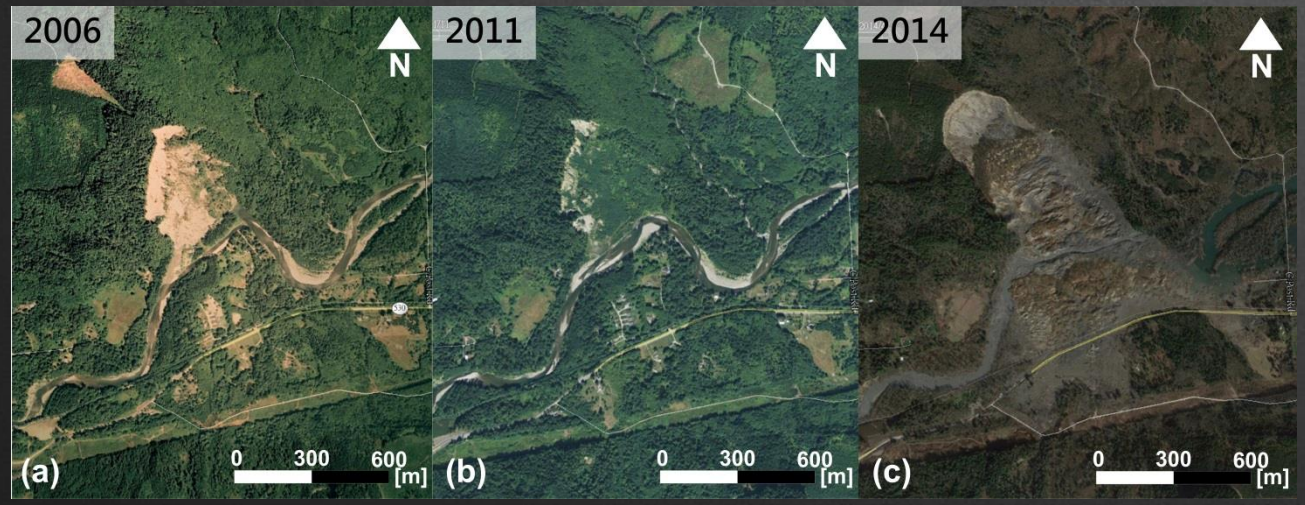
Chia-Ming Lo, Ching-Fang Lee, Jeff Keck (2017), Application of sky view factor technique to 1 the interpretation and reactivation assessment of landslide activity. *Environmental Earth Scien*ces. (revision)

02 山崩判釋應用

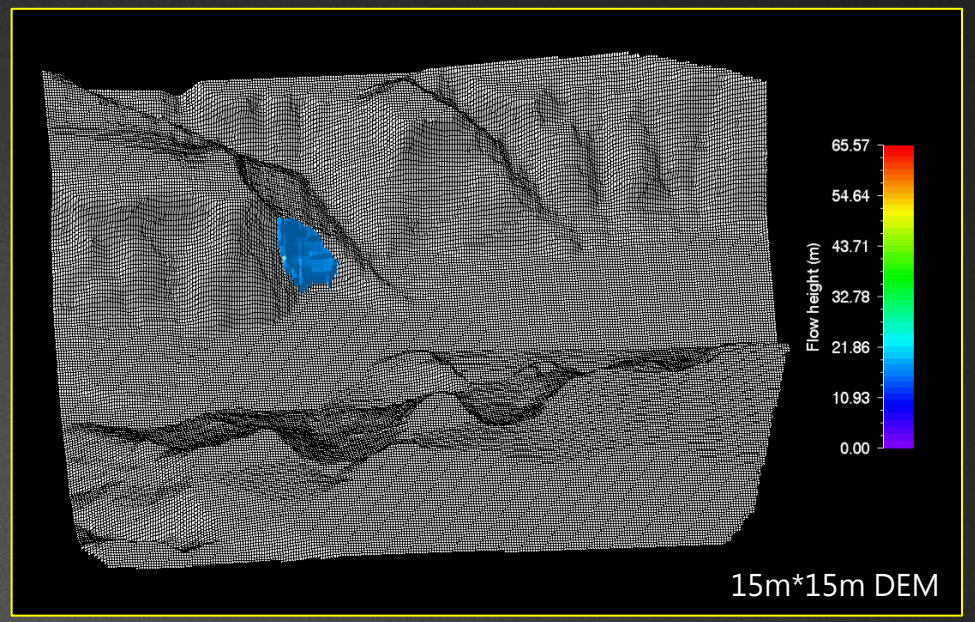
Oso舊山崩活動性評估-致災歷史



Evolutional history of Oso landslide (summarized from The Seattle Times)



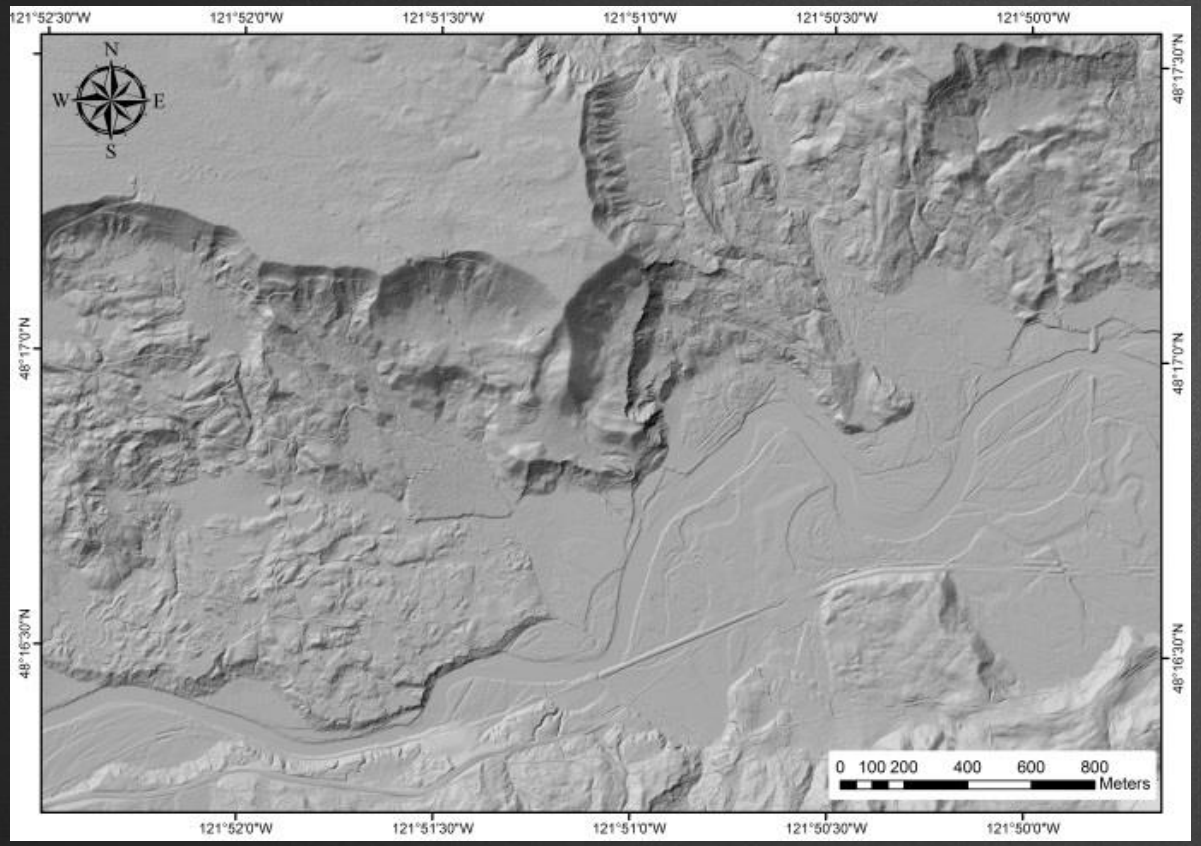
Historical remote sensing images of Oso landslide area



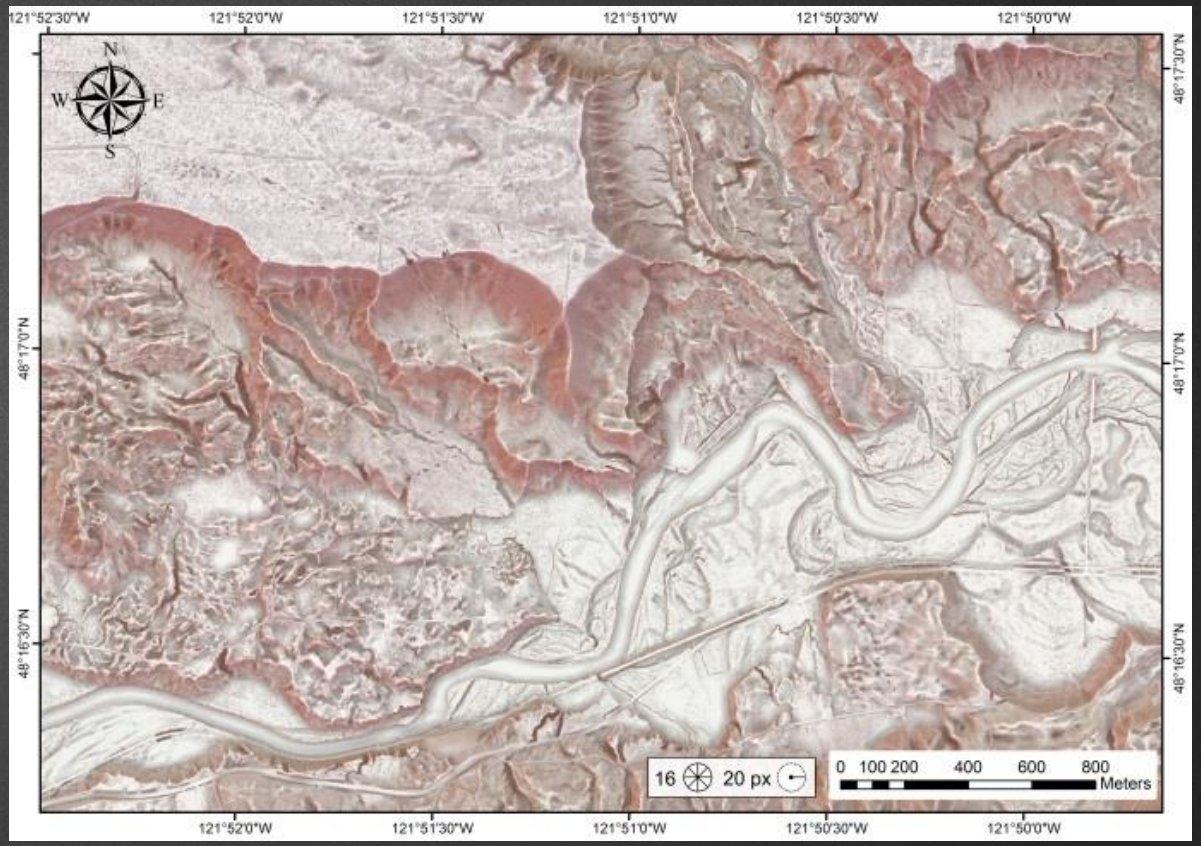
- 時間：2014/3/22, 11:00(PDT)
- 災害類型：大規模驟崩式山崩
- 傷亡：24人死亡、90人失蹤
- 崩塌面積：76,864 km^2
- 崩崖深度：70 ft (21.3 m)
- 堆積範圍：2.6 km^2
- 堆積深度：9.1-12.2 m
- 流動長度：560 m
- 其他次生災害：堵塞North Fork Stillaguamish River堰塞湖潰壩造成水災，溢淹Snohomish郡50棟房屋與530號公路(~1300 m)。

02 山崩判釋應用

Oso舊山崩活動性評估- hillshade & SVF map



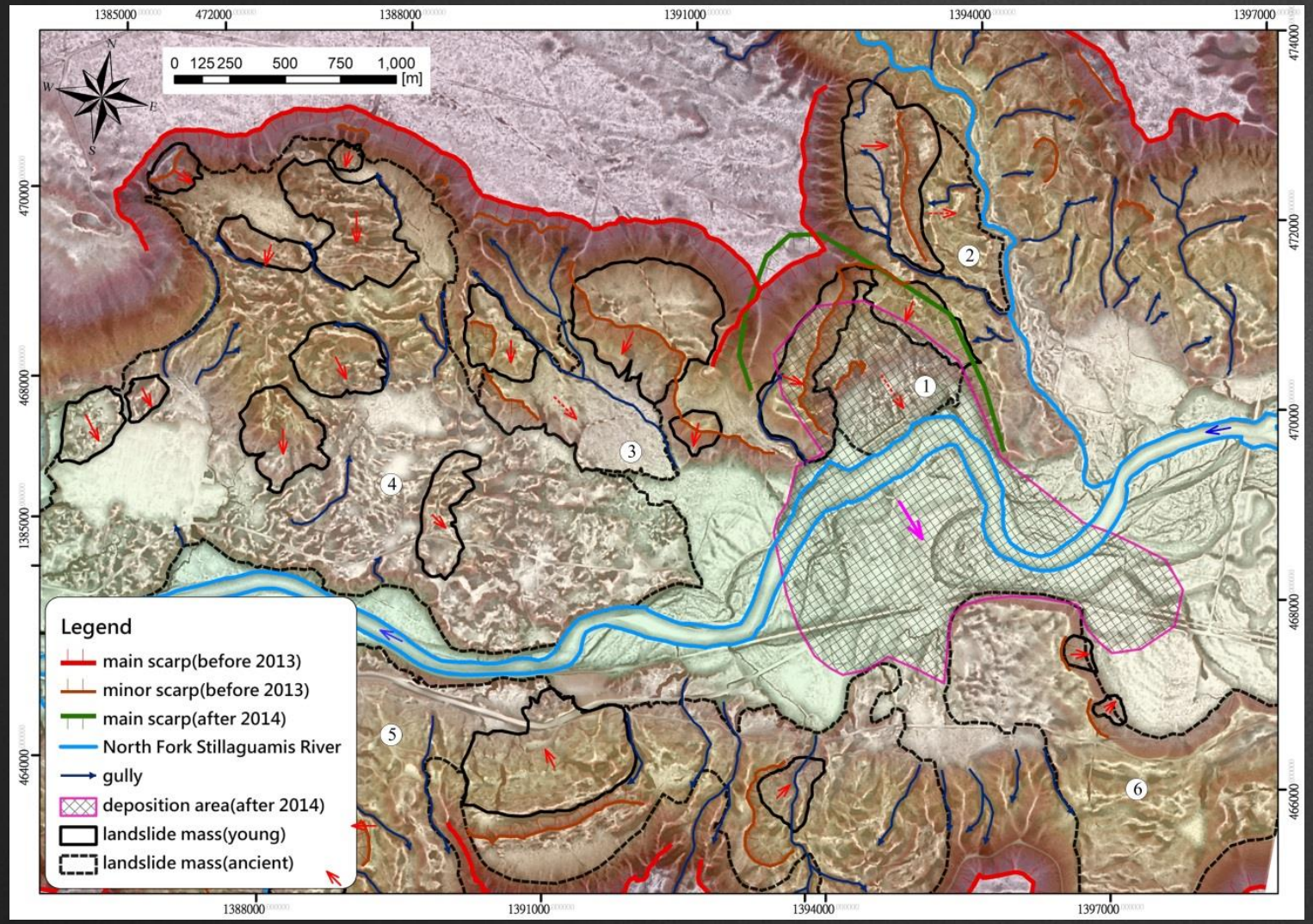
Hillshade map (AS:315, SEA:45)



SVF relief map (HSD:16, MSD: 20 px)

02 山崩判釋應用

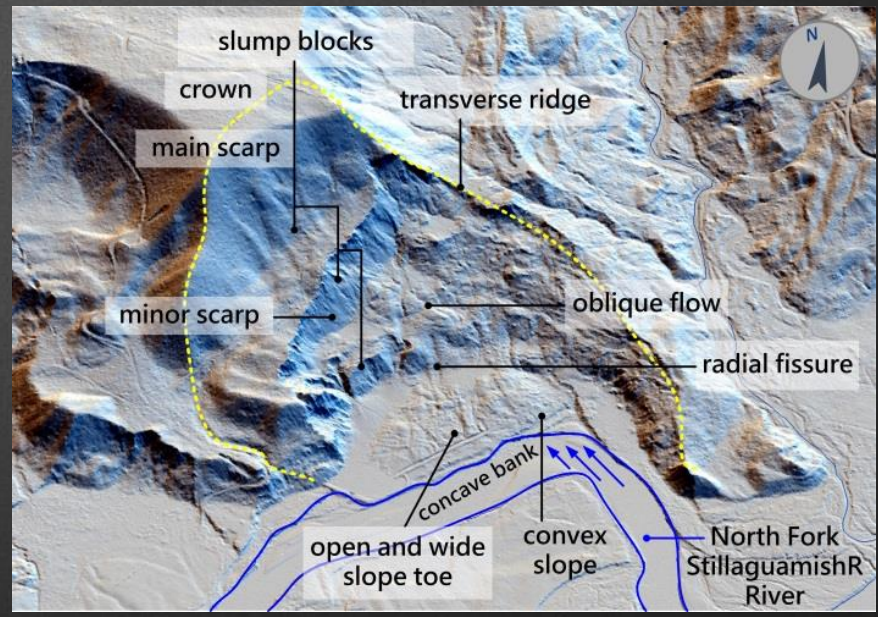
舊山崩活動性評估-山崩微地形判釋



Micro-photograph interpretation of Oso landslide (HSD:16, MSD: 20 px)



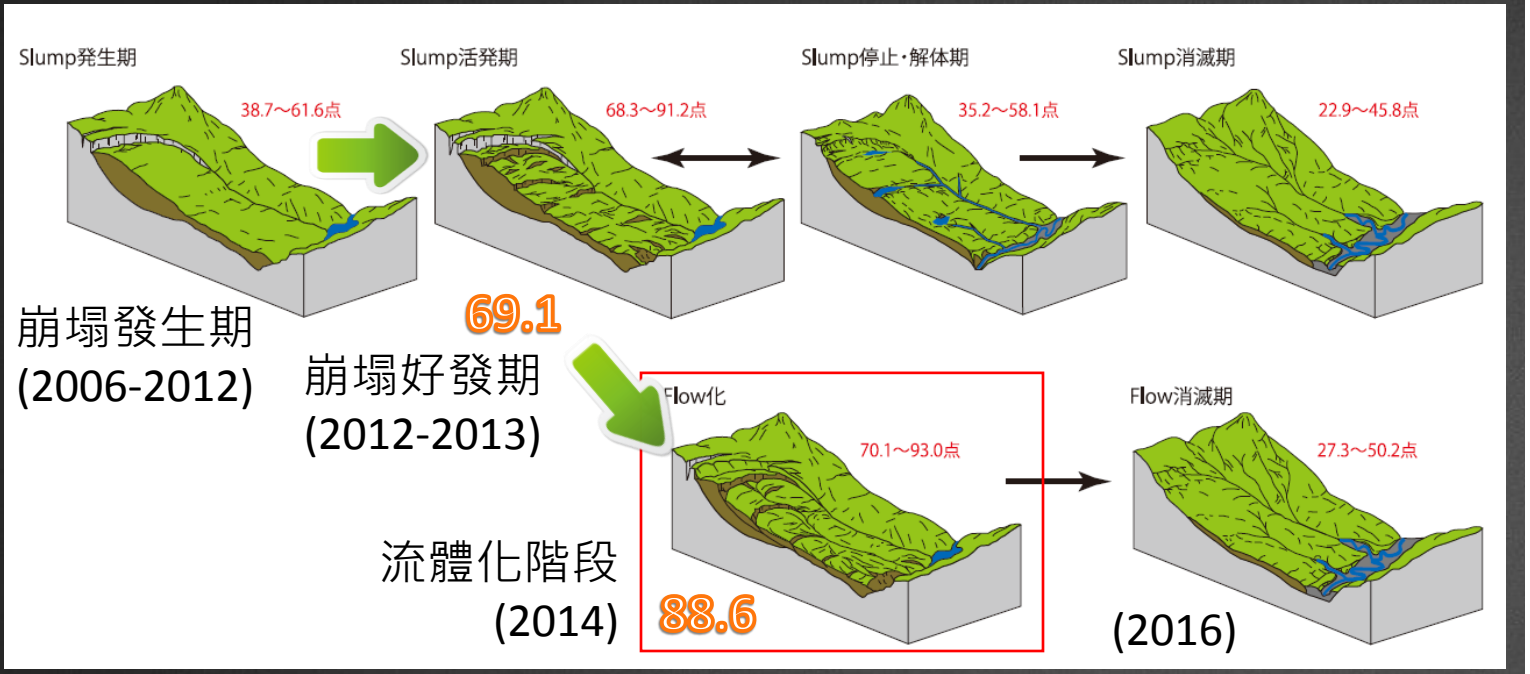
satellite image, 2013 (Google Earth)



interpretation results of SVF relief map

02 山崩判釋應用

舊山崩活動度評估-AHP活動性評估



北海道地質調查所(2013)



AHP

山崩活動性評估階層分析法(AHP)

危險度： 低 ← 中 → 高

	觀察特徵	高 ← 活動性 → 低					AHP
坡體崩塌發育階段	A.類型分類(微地形特徵)	14.9	10.5	6.1	4.3	2.5	
		黏土(流痕、壓縮丘、舌狀地形)		崩積地形(副崩崖)		風化岩體坡面(分離崖、溝狀凹地)	
	B.發展歷程	12.2	8.5	4.7	3.2	1.8	
		裂縫或具多階高程差異之塊體		崩塌塊體尚未分離	蝕溝入侵	下切溝谷發育	
坡體現生活動特徵	C 不動區/崩崖.	1.8	1.1	0.4	0.3	0.1	
		後緣存在張裂隙(陡斜面)	崩崖局部崩塌	崩崖面蠕動(緩斜面)	蝕溝延伸	崩崖與滑動面呈緩斜面	
	D.崩落崖/滑動體	1.9	1.1	0.7	0.4		
		無堆積	存在部分崖錐	大規模崖錐	崩崖-崖錐-滑動體間為連續地形		
	E.滑動區內微地形特徵	15.1	6.9	2.4	1.2		
		張裂隙及植生異常	明顯之微地形特徵邊界	微地形特徵邊界不明顯	無微地形特徵		
	F.滑動體前緣	12.8	6.9	2.9	1.8	1.2	
		前緣呈崩潰狀	僅有滑動塊體	具有蝕溝及沖積扇	地形表面趨緩，無落差	滑動體消失	
潛在山體滑坡特徵	G.滑動體坡度	12.3	9.2	6.1			
		陡坡(>20°)	10~20°	緩坡(<10°)			
	H.滑動體平面形狀	2.6	1.8	1.0	0.7	0.4	
		坡趾較坡頂開闊	坡頂和坡趾寬度大致相等	坡頂較坡趾開闊			
	I.滑動體下緣橫斷面	9.9	5.5	3.0			
		凸型坡(不安定物質多)	平坡(坡度相近)	凹型坡(不安定物質少)			
	J.滑動體末端侵蝕環境	16.5	13.1	9.7	7.5	5.4	3.7	2.0
		位於河流攻擊坡	面向河川或海岸	面向溪谷	未面向溪谷		
崩塌滑動體內是否存在不穩定滑動塊體		□有 □無（位置與滑動體關係： ）					
其他事項或特徵：							

AHP 評分合計_____分

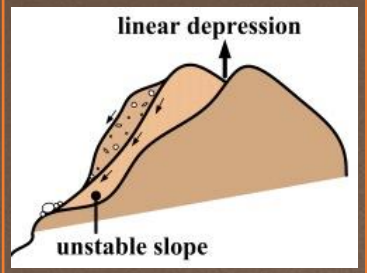
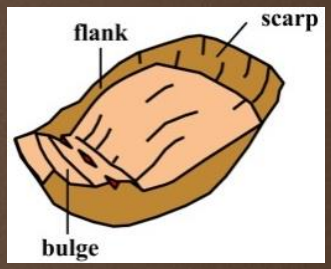
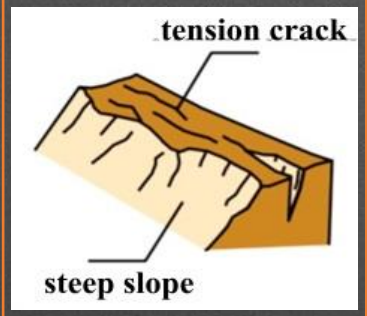
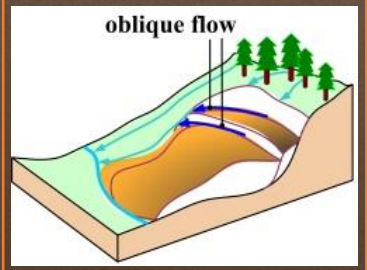
□AHP>60 分：高活動性崩塌地

□60>AHP>50：中活動性崩塌地

□AHP<50：低活動性崩塌地

02 山崩判釋應用

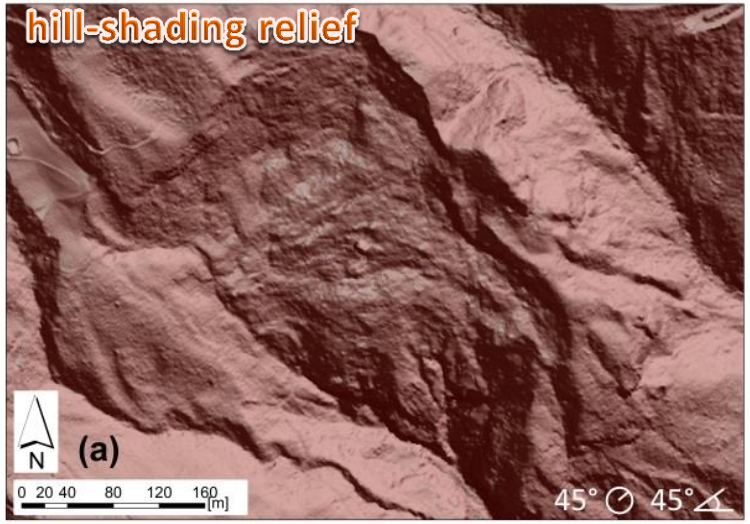
舊山崩活動度評估-SVF山崩微地形特徵

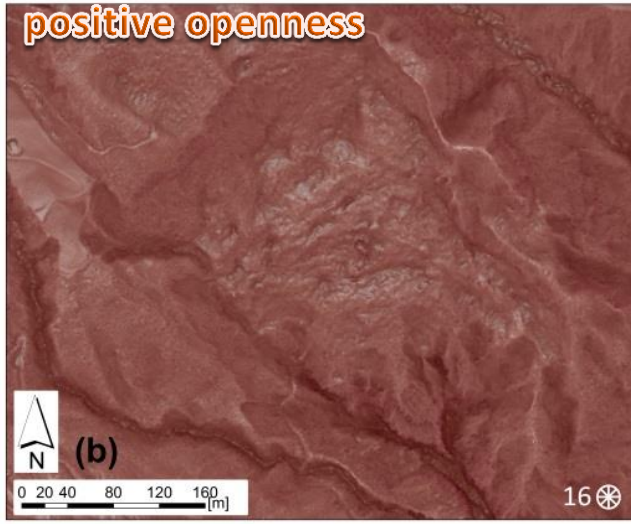
山崩地形特徵	立體圖樣貌	示意圖	山崩地形特徵	立體圖樣貌	示意圖
線狀凹地 linear depression			崩崖 scarp		
張裂隙 surface fissure, tension crack			滑動塊體 landslide body, hummocky relief		
斜向流 oblique flow			趾部隆起 toe bulge		

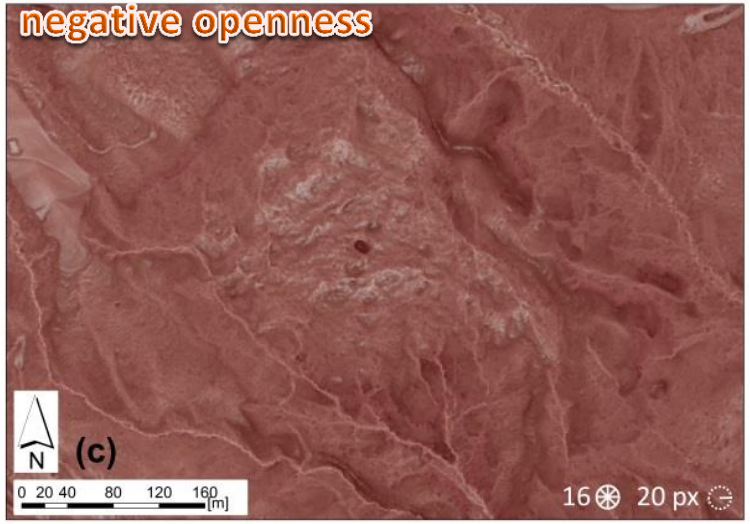
高精度光達陰影圖為中央地質調查所產製

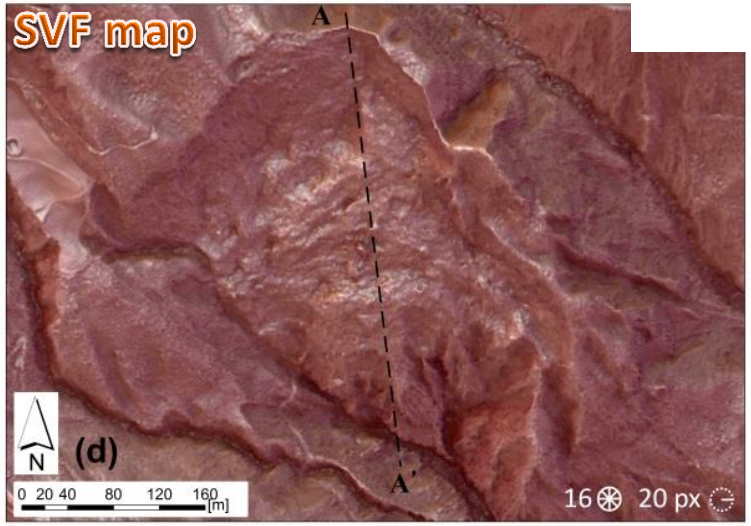
02 山崩判釋應用

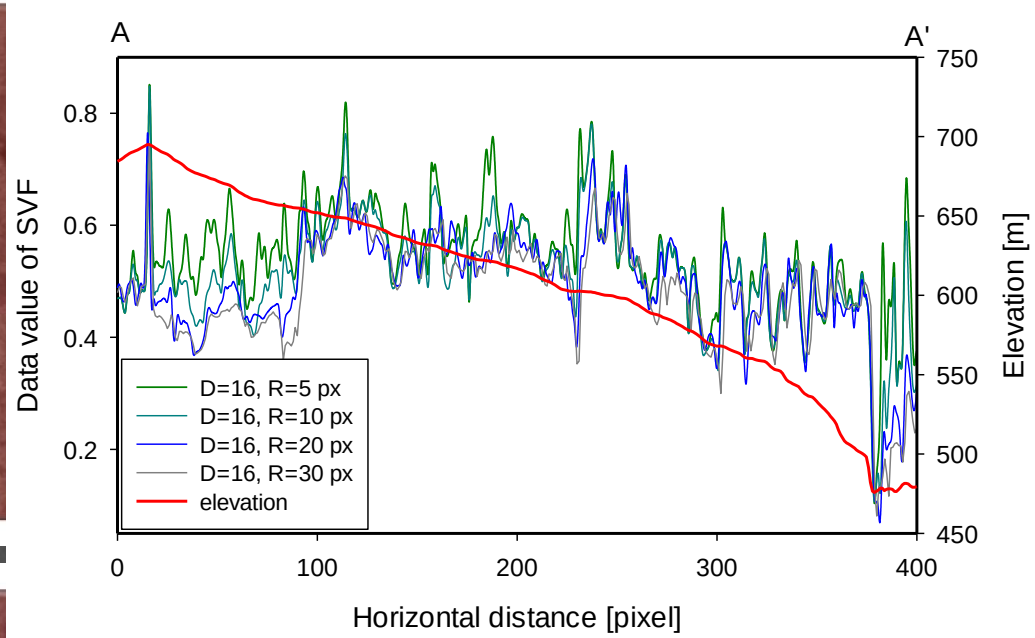
舊山崩活動度評估-各類視覺化圖資套疊坡度圖比較









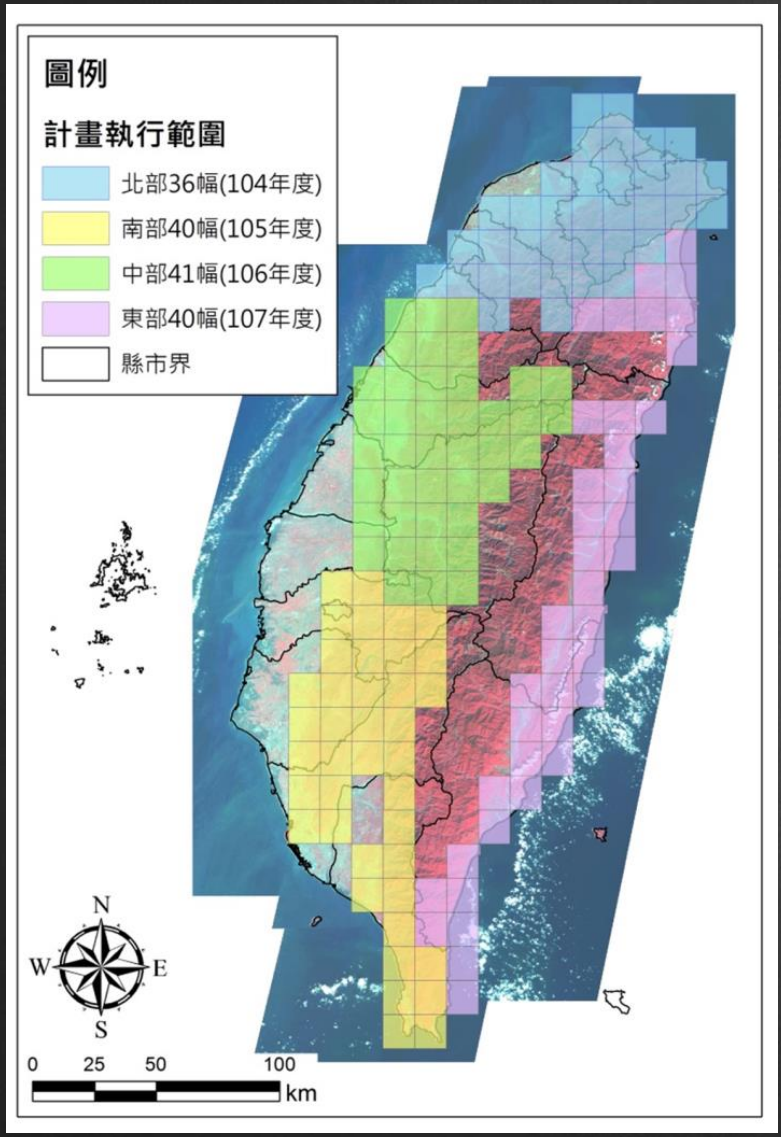


Relationship between search radius (R) and SVF value (for the location of cross-section AA')

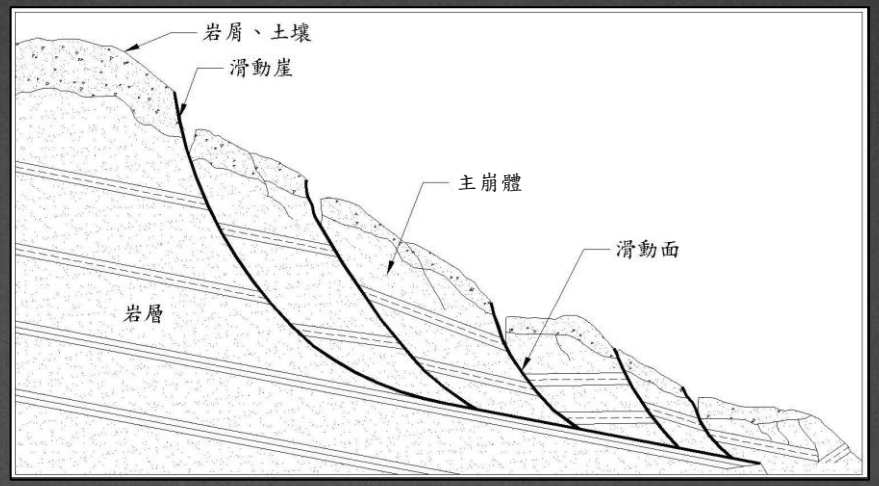
- ✓ 面積大於10 ha之崩塌地，搜尋半徑(R)可採**20 px**
- ✓ Zakesk (2011)建議R=10-30 px

02 山崩判釋應用

光達DEM-岩體滑動區判釋

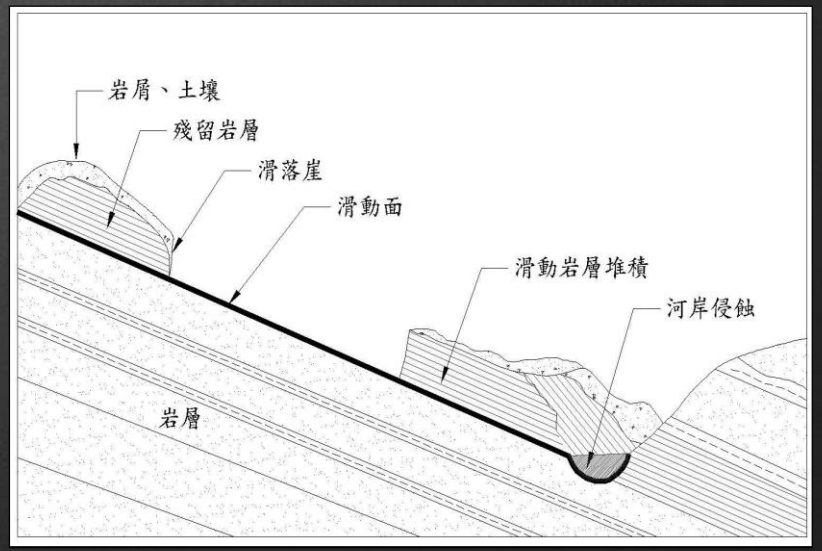


降雨引致山崩潛勢評估模式精進與圖資更新(2015-2018)



弧型滑動

平面型滑動

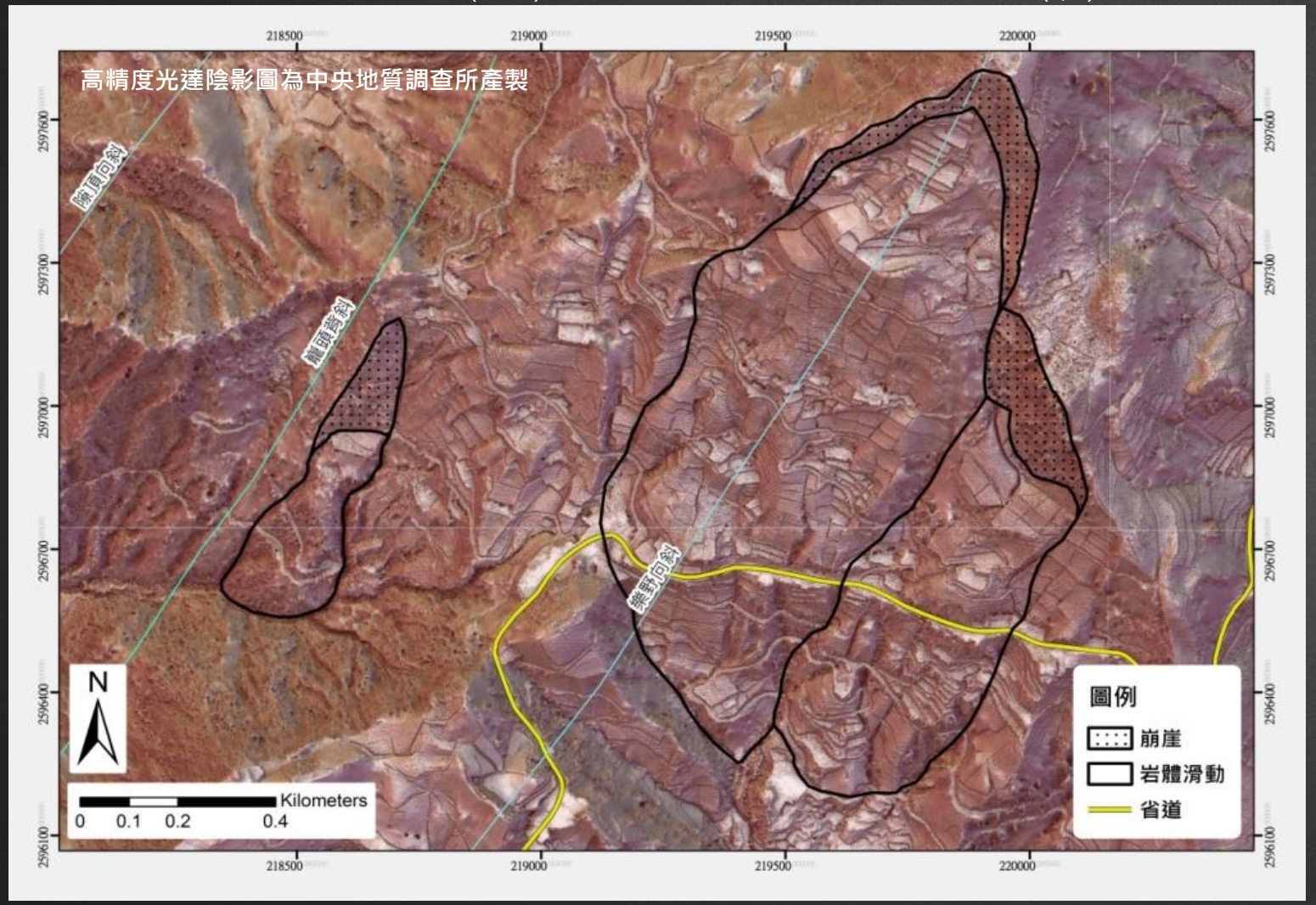


經濟部中央地質調查所(2016)，降雨引致山崩潛勢評估模式精進與圖資更新(2/4)

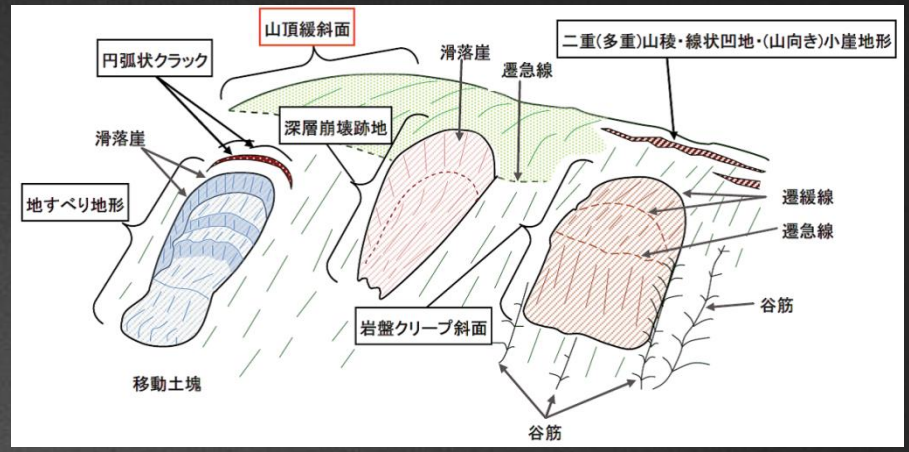
02 山崩判釋應用

光達DEM-岩體滑動區判釋

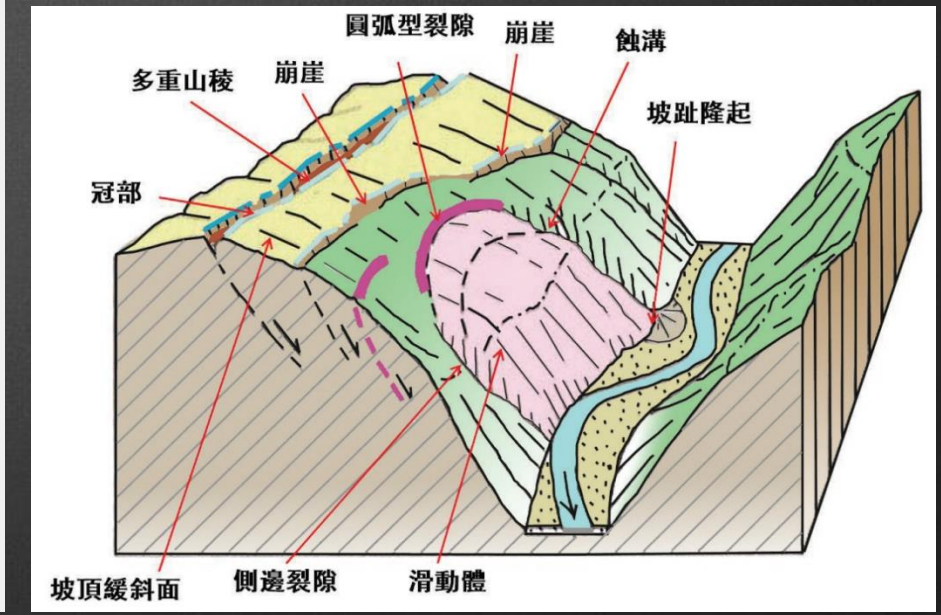
經濟部中央地質調查所(2016)，降雨引致山崩潛勢評估模式精進與圖資更新(2/4)



岩體滑動特徵數化示意圖



山崩地形判釋要素
(奈良縣深層崩壞研究会，2013)

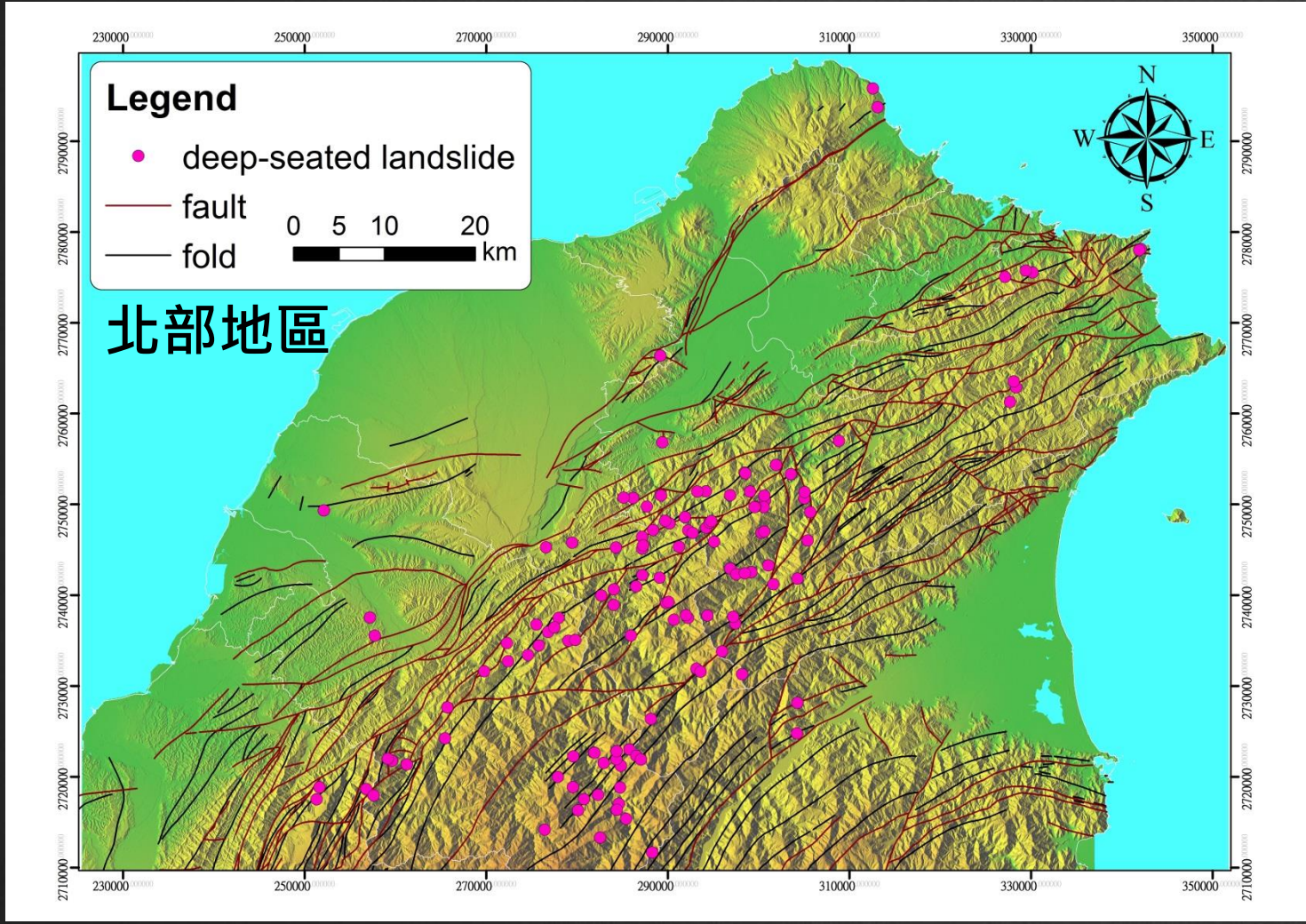


修改自鈴木隆介(2000)

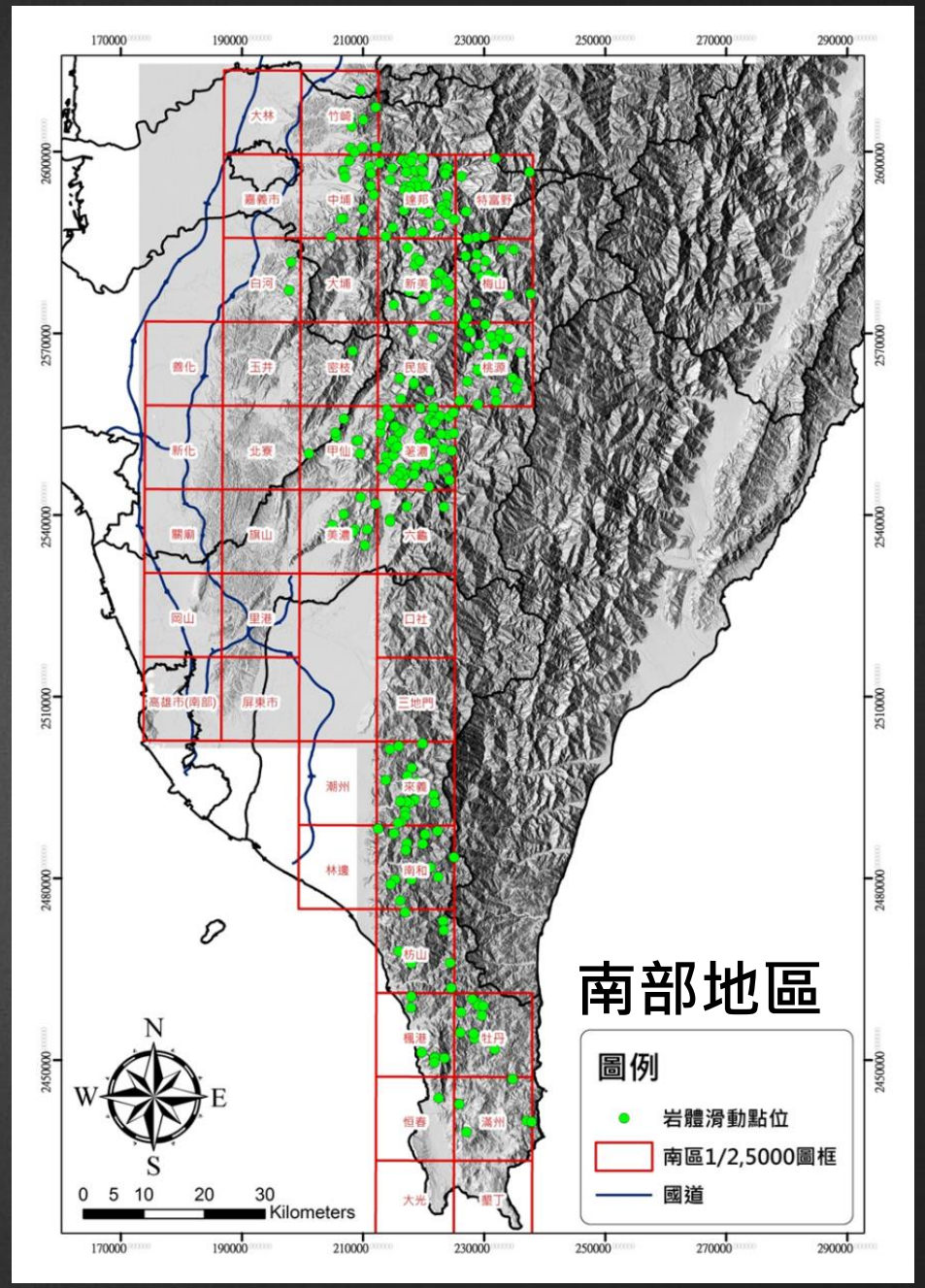
02 山崩判釋應用

光達DEM-岩體滑動圈繪成果

高精度光達陰影圖為中央地質調查所產製



C.F. Lee et al.,(2017), Deep-seated landslide mapping and geomorphic characteristic using high resolution DTM in northern Taiwan. World Landslide Forum 4, Slovenia.

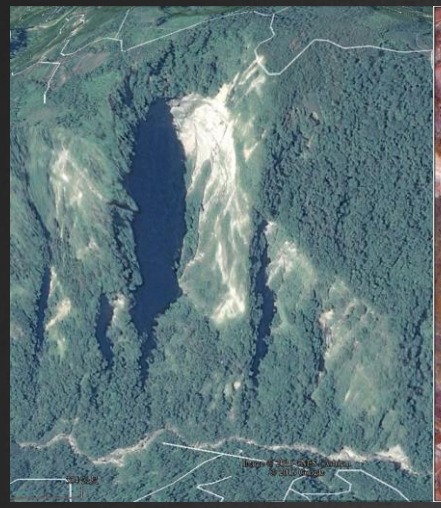


經濟部中央地質調查所(2016)，降雨引致山崩潛勢評估模式精進與圖資更新(2/4)

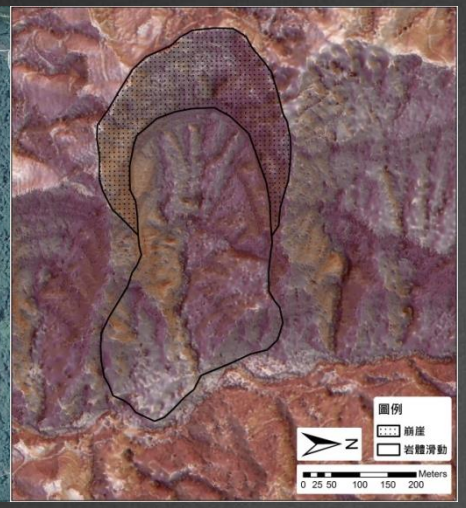
02 山崩判釋應用

光達DEM-Google遙測影像與SVF圖

圖幅95194046



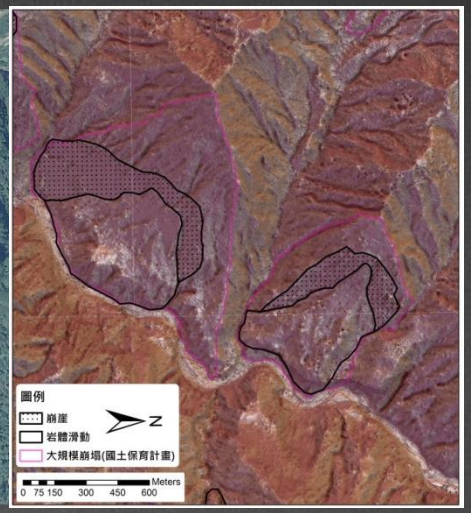
google遙測影像



天空開闊度立體圖

圖幅95194027, 95194028, 95194037

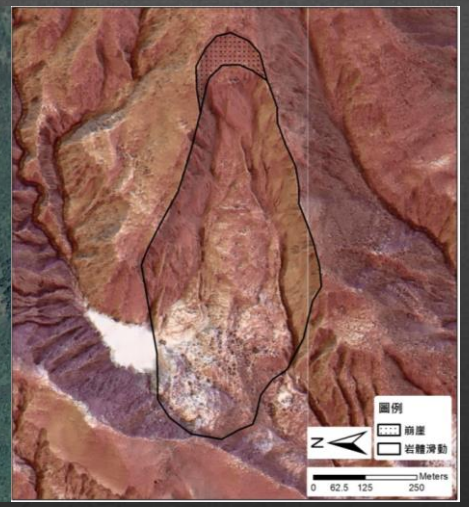




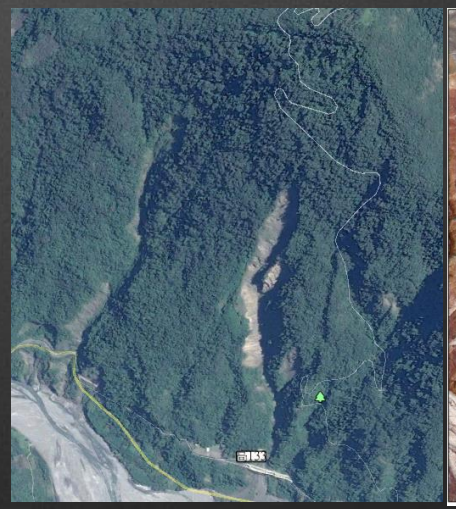
高精度光達陰影圖為中央地質調查所產製

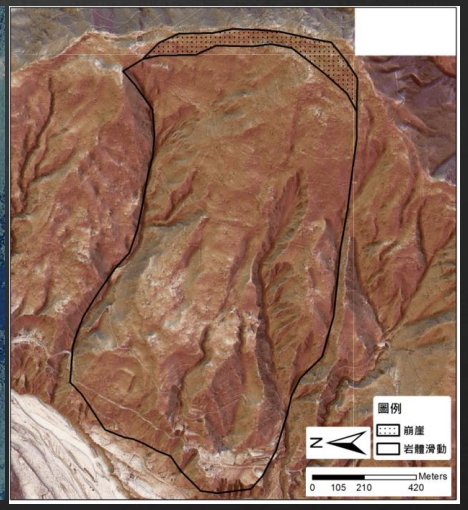
圖幅95192004, 951920146





圖幅95193068, 95193078





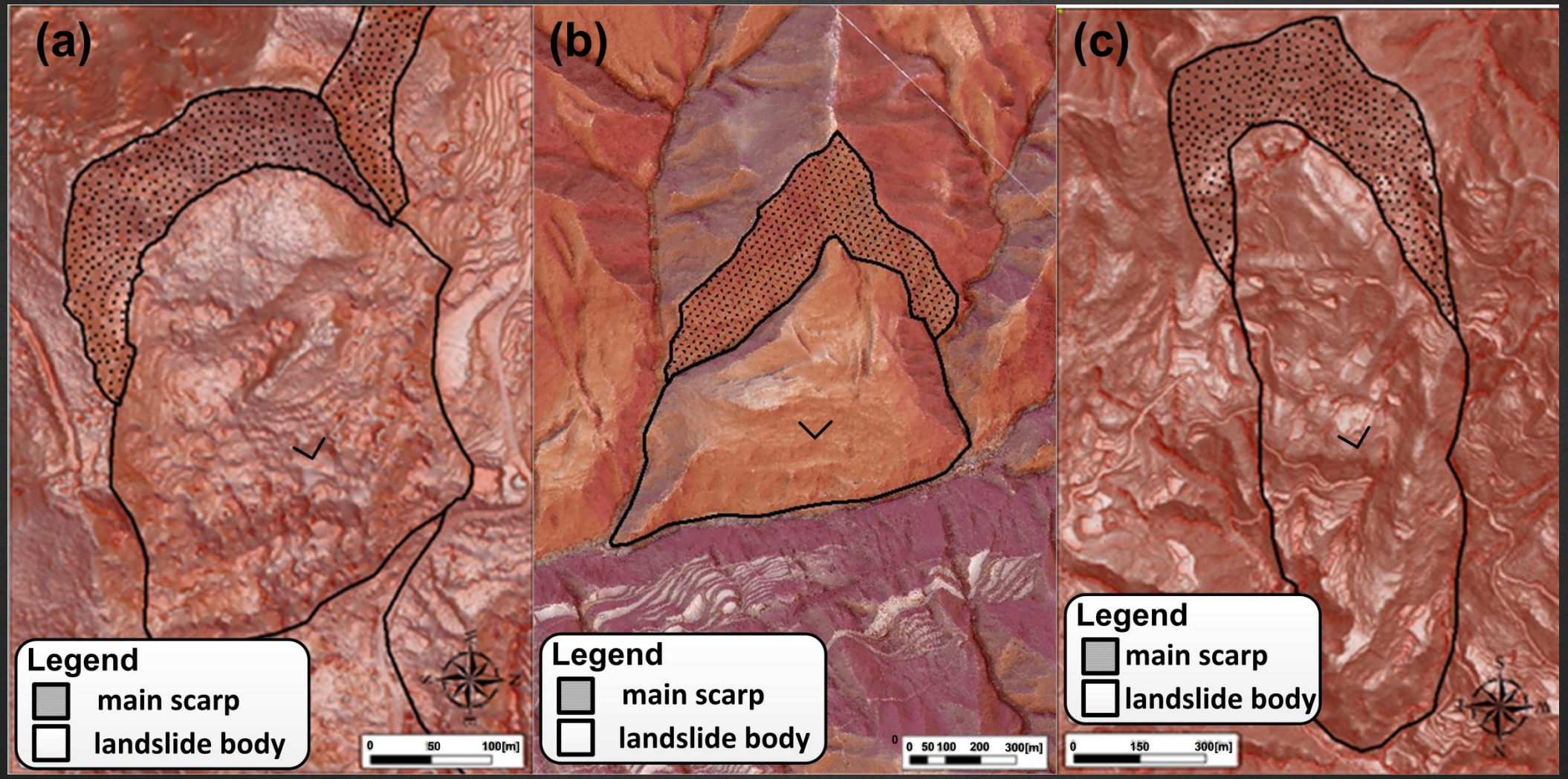
經濟部中央地質調查所(2016)，降雨引致山崩潛勢評估模式精進與圖資更新(2/4)

02 山崩判釋應用

光達DEM-岩體滑動類型

C.F. Lee et al.,(2017), Deep-seated landslide mapping and geomorphic characteristic using high resolution DTM in northern Taiwan. World Landslide Forum 4, Slovenia.

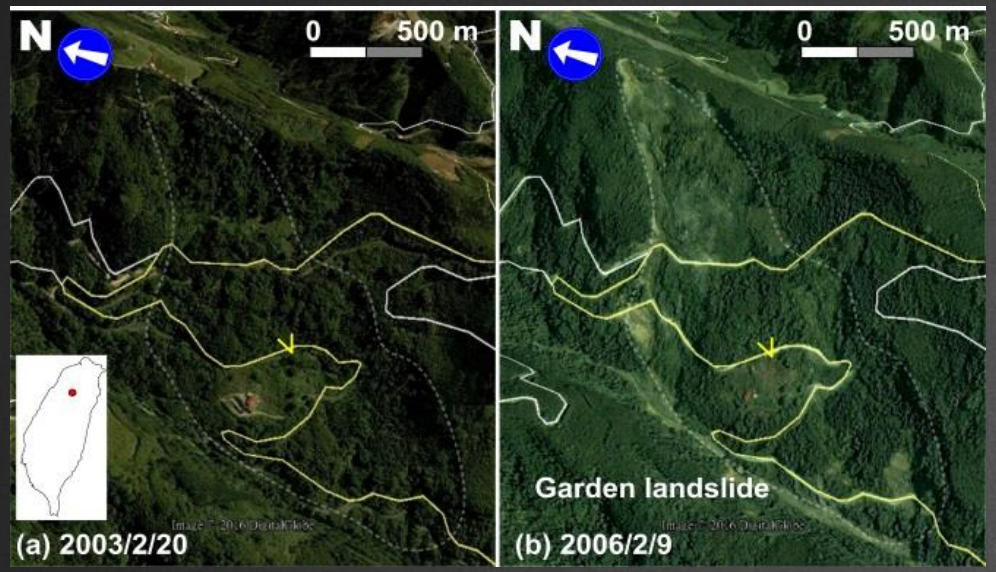
高精度光達陰影圖為中央地質調查所產製



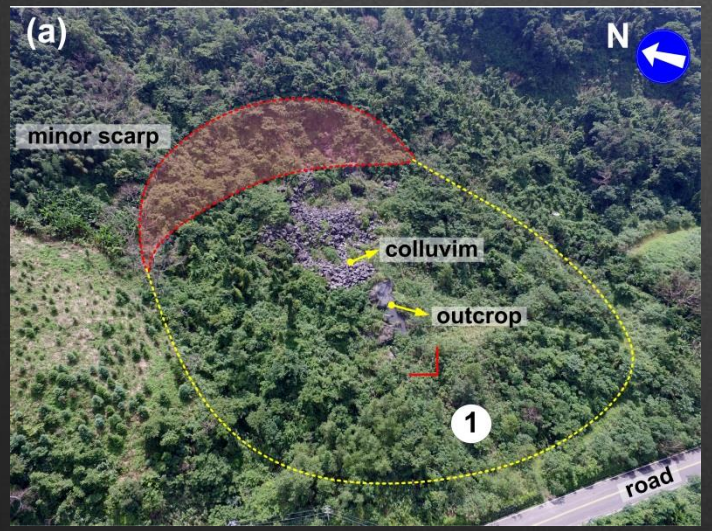
弧型滑動　　平面型滑動　　複合型滑動

02 山崩判釋應用

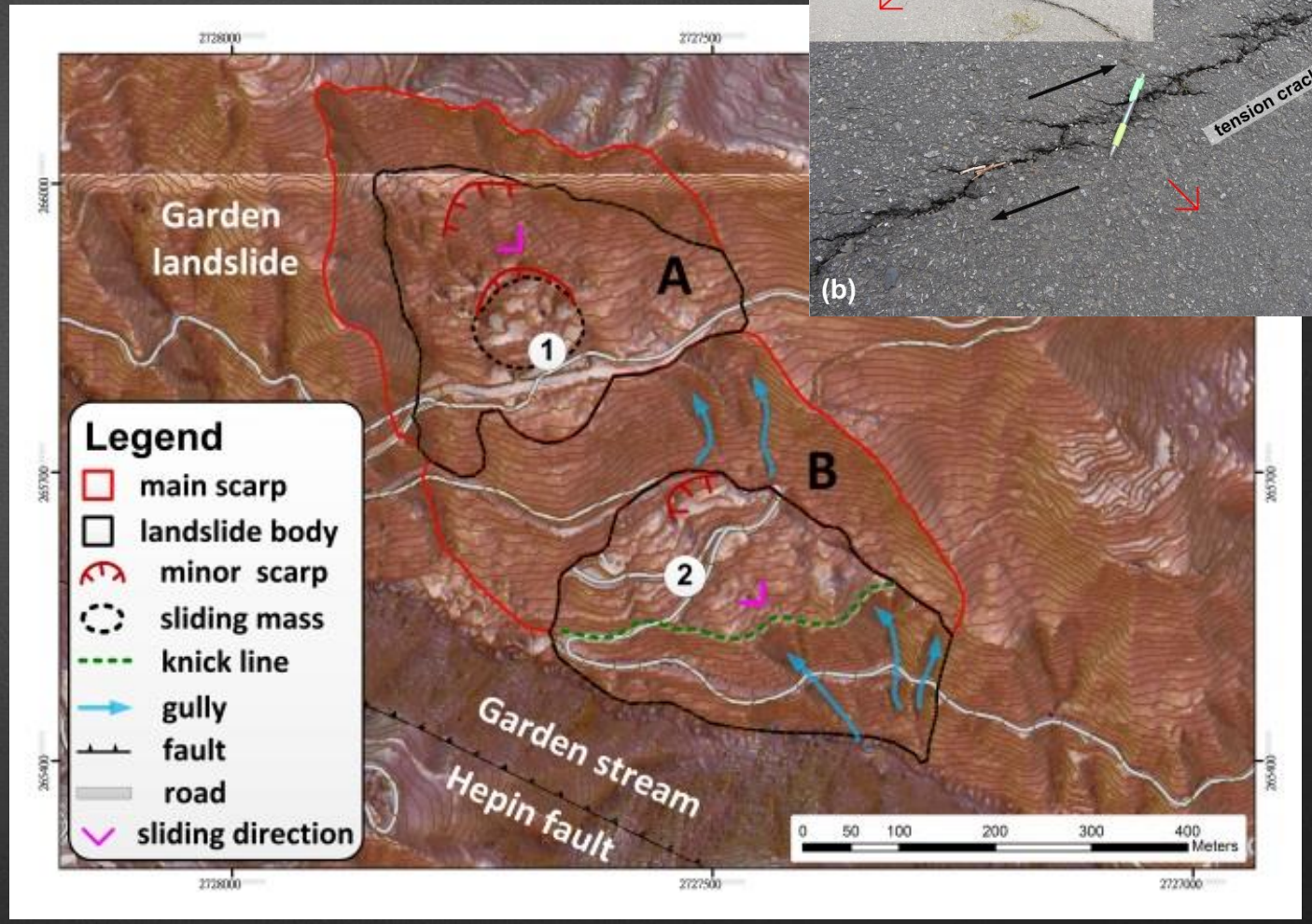
光達DEM-現地覆核驗證-新竹五峰鄉:花園崩塌地



Google影像



C.F. Lee et al.,(2017), Deep-seated landslide mapping and geomorphic characteristic using high resolution DTM in northern Taiwan. World Landslide Forum 4, Slovenia.

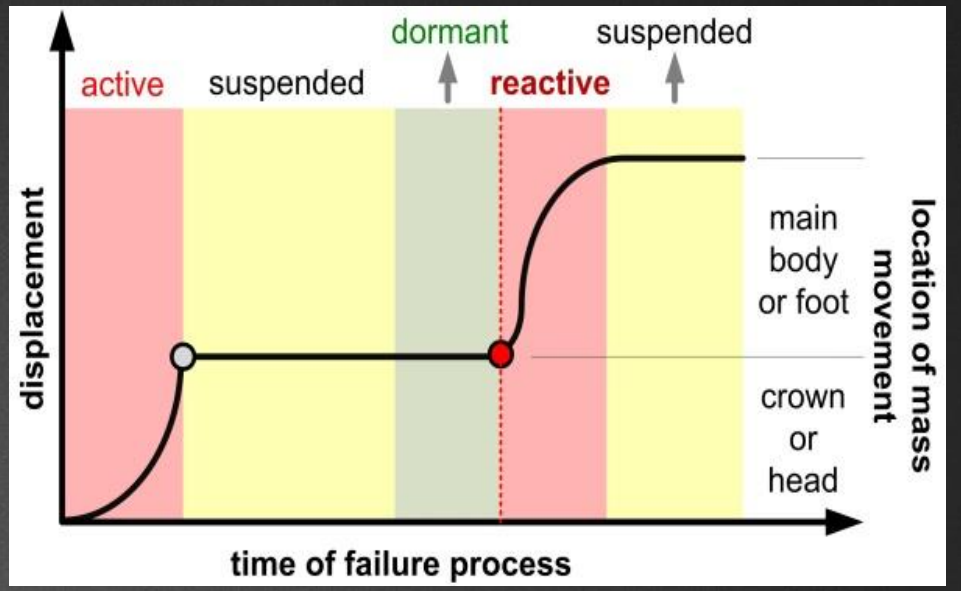


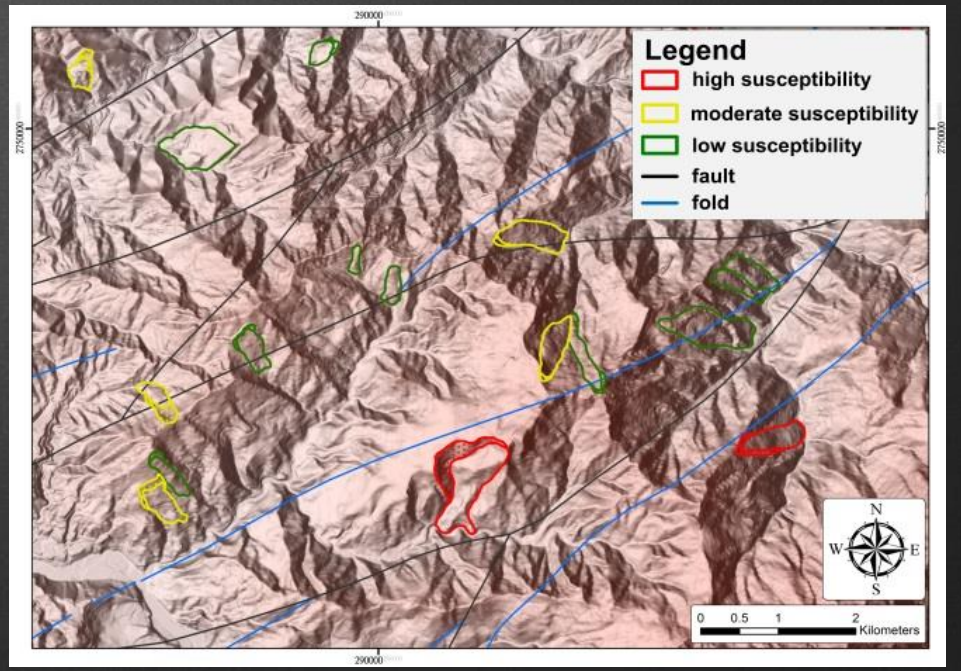
高精度光達陰影圖為中央地質調查所產製

02 山崩判釋應用

光達DEM-岩體滑動區潛勢分級

潛勢	判釋準則
低	未圈繪岩體滑動之區域
中低	具有古崩塌地特徵，且可圈繪山崩微地形特徵，但其發生時間不詳者。
中	1. 崩崖面圓潤(年代較遠)且具雙溝同源特徵 (伴隨遙測影像上之植生異常) 2. 位於順向坡地形上；樹枝狀蝕溝入侵且發育密集；具多區堆積塊體、次崩崖或反斜崖 3. 道路與溪流通過或砍腳(順向坡地形)；坡趾較坡頂開闊(利於滑動)；坡趾曾發岩屑崩滑者
高	1. 近期(20年內)山崩目錄曾有發生岩體滑動 2. 崩崖後緣存在張力裂隙者，崩崖面新鮮且呈銳利形貌(年代較近) 3. 頭部具有多階高程差異之副崩崖與分離塊體地貌; 主崩體內塊體龜裂，植生異常 4. 位於溪流攻擊岸；前緣呈潰散狀(不穩定物質多) 5. 設有觀測站，至今仍有明確地表滑移紀錄者



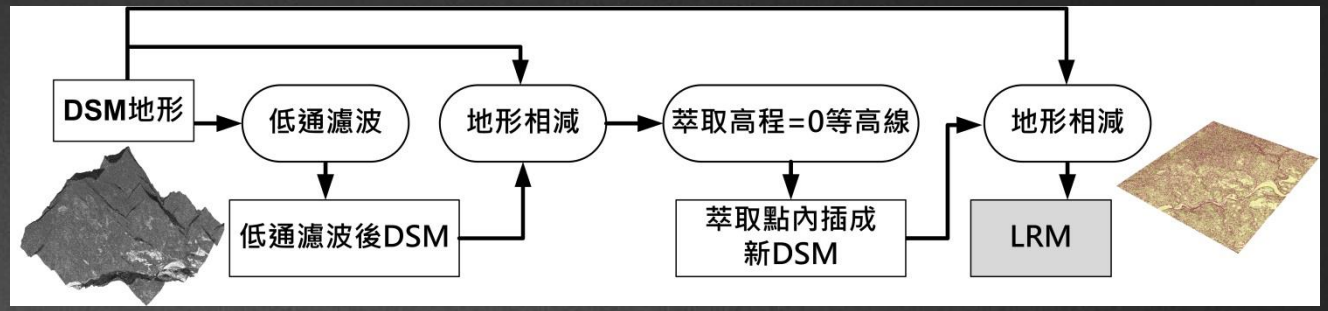


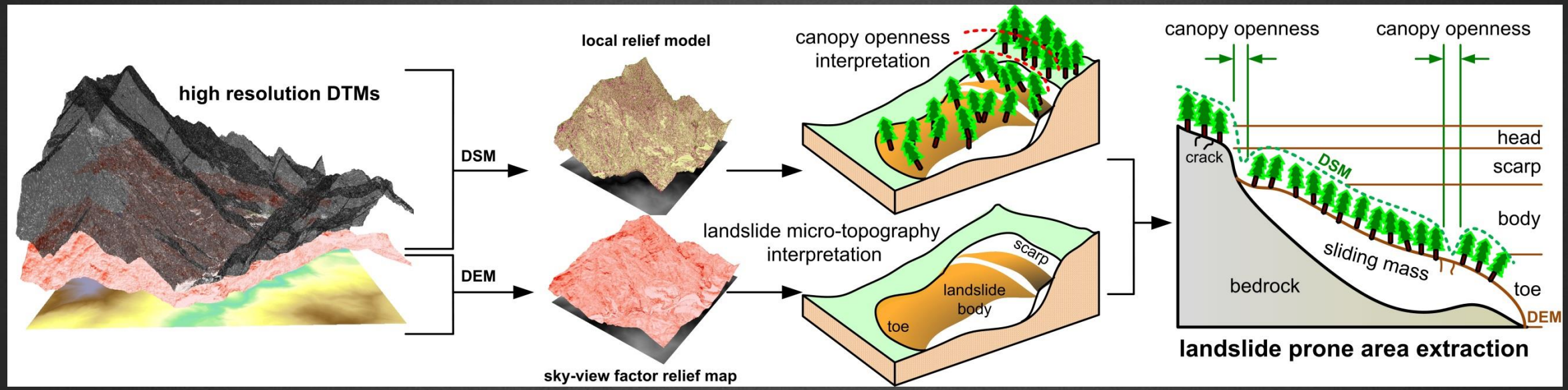
高精度光達陰影圖為中央地質調查所產製

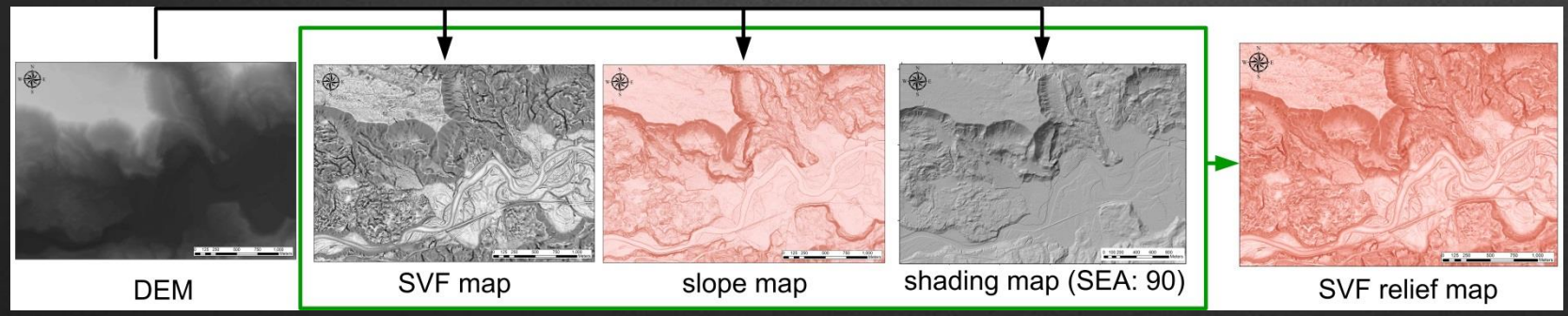
C.F. Lee, et al., (2017), Deep-seated landslide mapping and geomorphic characteristic using high resolution DTM in northern Taiwan. *World Landslide Forum 4*, Slovenia.

02 山崩判釋應用

DSM與DEM微地形綜合判釋





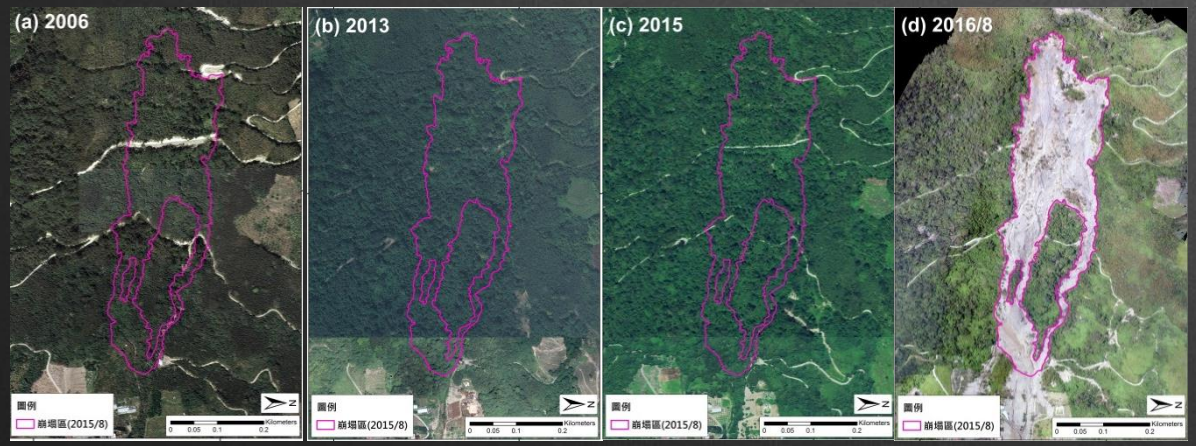


02 山崩判釋應用

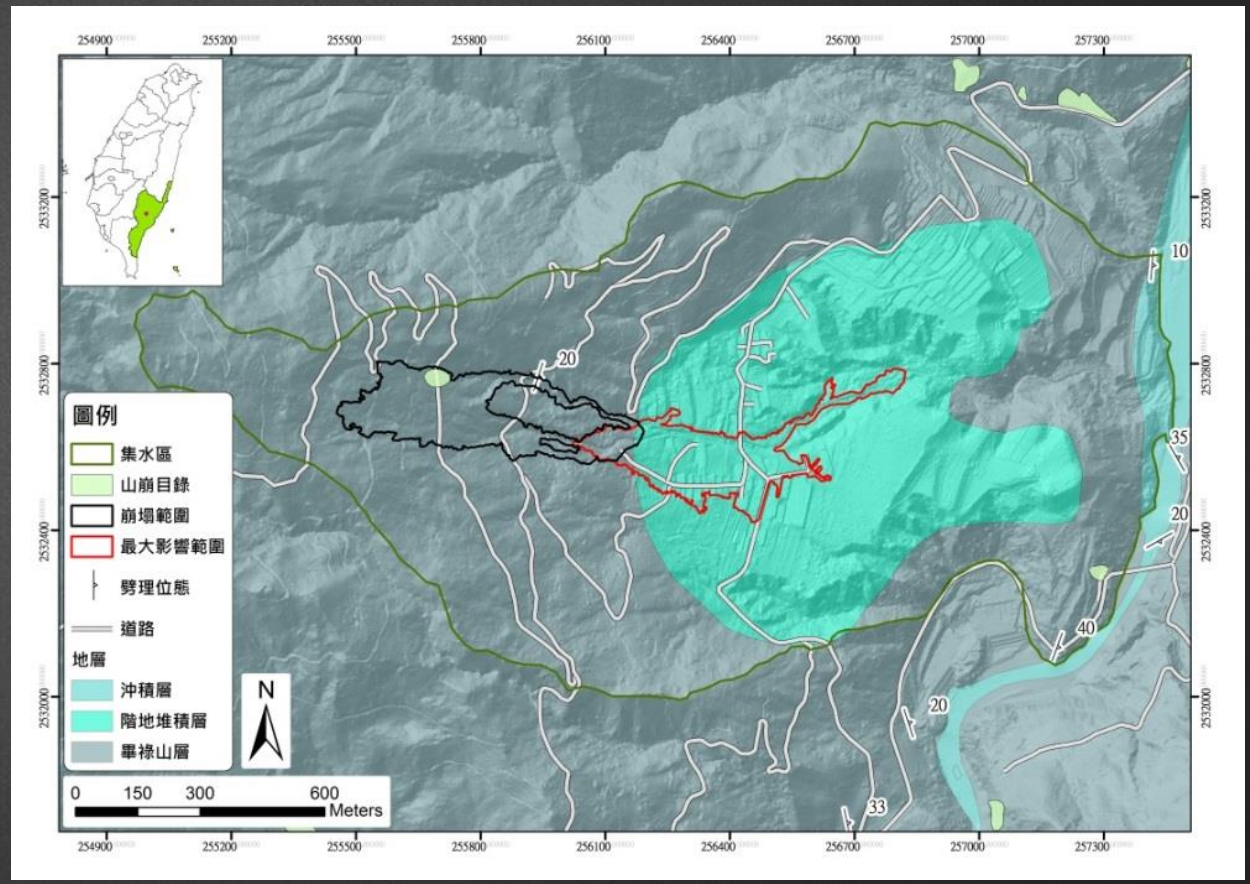
DSM與DEM微地形綜合判釋-台東紅葉村崩為例



紅葉村部落山崩災後空拍影像(a)廣域；(b)紅葉村



紅葉村集水區上游歷年遙測影像

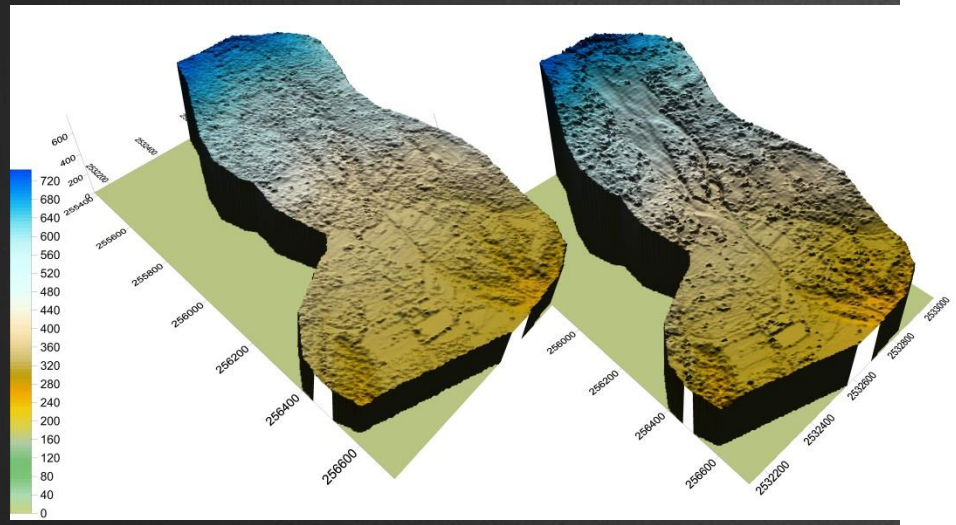


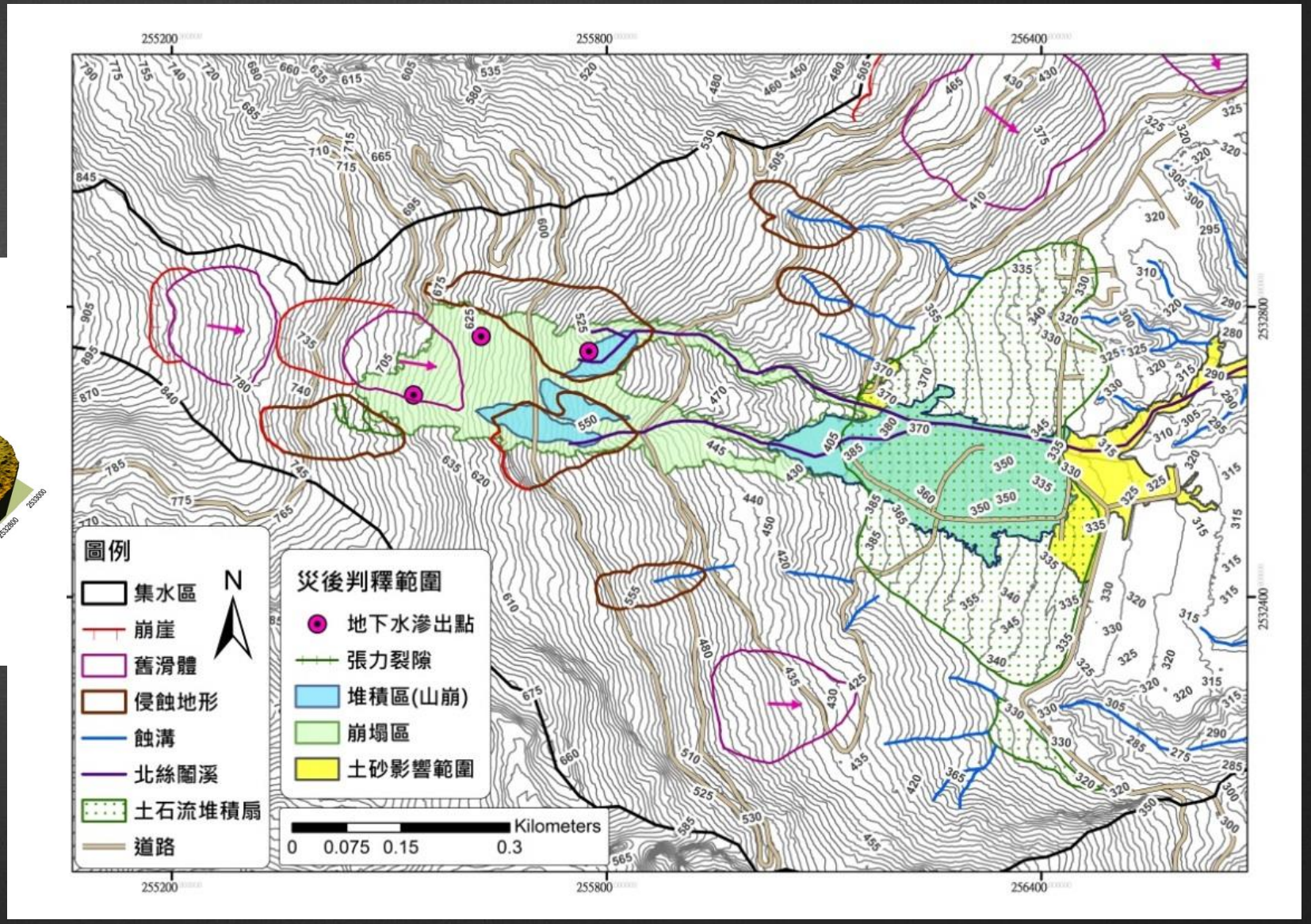
台東縣紅葉村地質圖

02 山崩判釋應用

災前光達DEM微地形綜合判釋-台東紅葉村崩為例

災前DEM　　災後DSM(UAV)

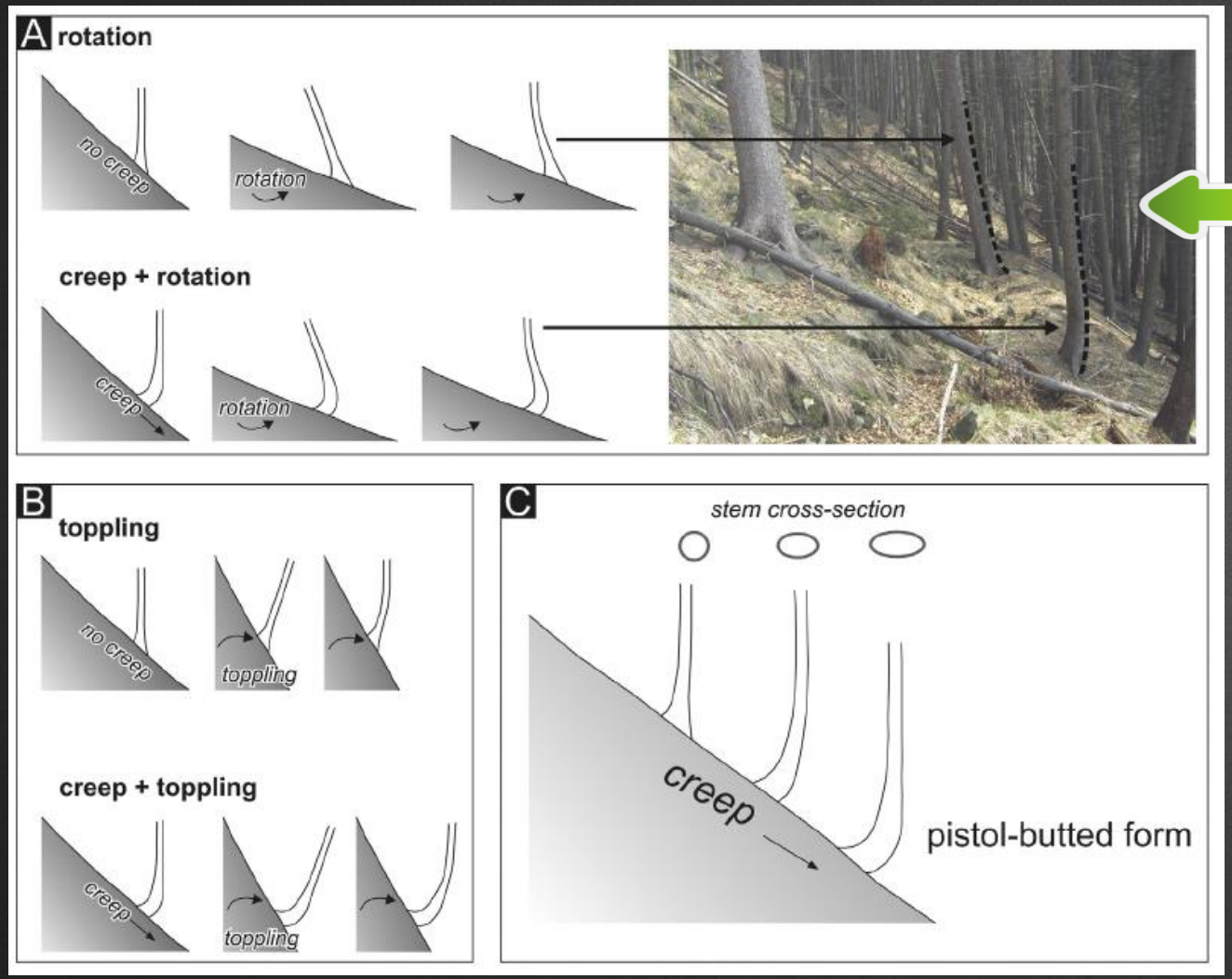




高精度光達DEM為水保局提供

02 山崩判釋應用

災前光達DSM微地形綜合判釋-山崩與馬刀樹、林冠間隙



K. Šilhán / Engineering Geology 199 (2015) 157–164



馬刀樹(崩崖)

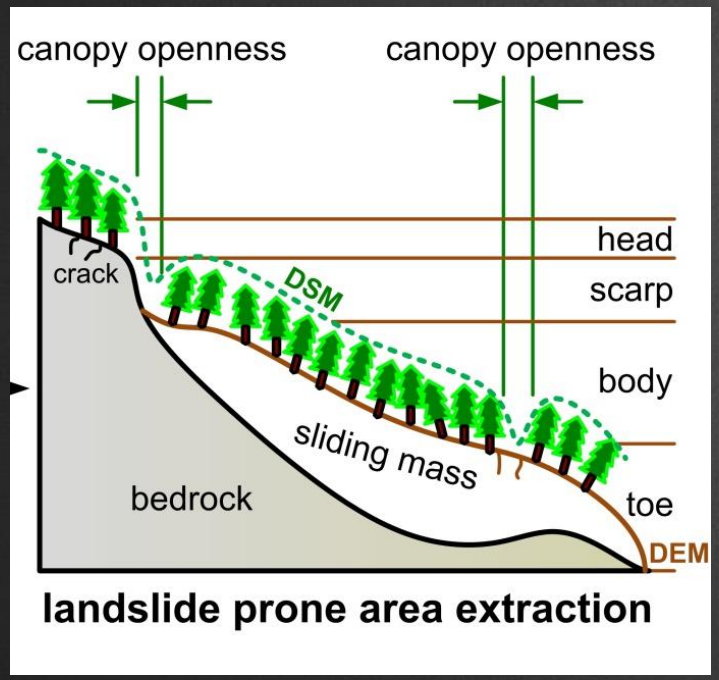
林冠間隙

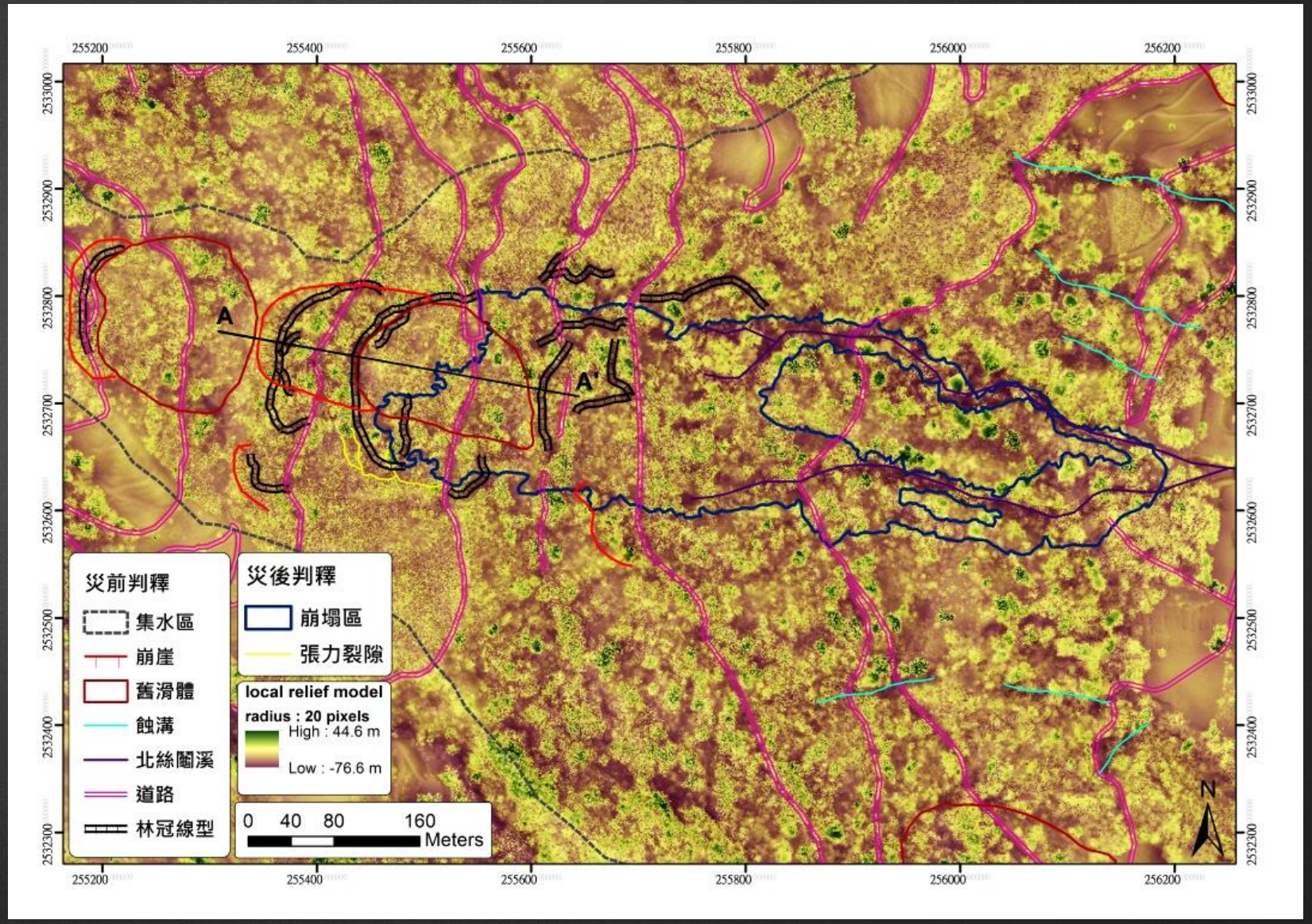


02 山崩判釋應用

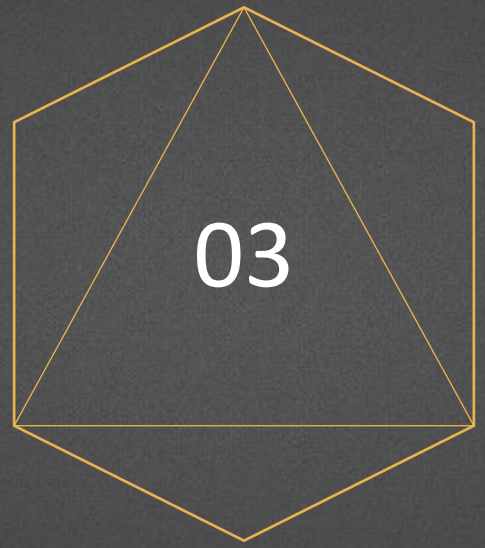
災前光達DSM微地形綜合判釋-台東紅葉村崩為例

LRM圖





高精度光達DSM為水保局提供

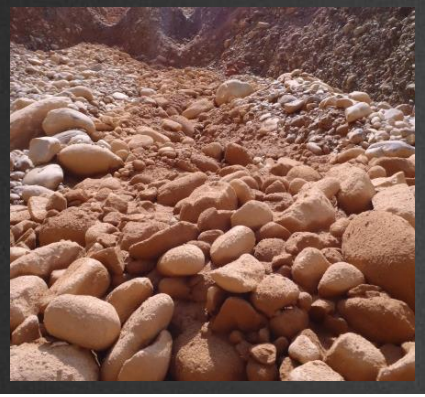


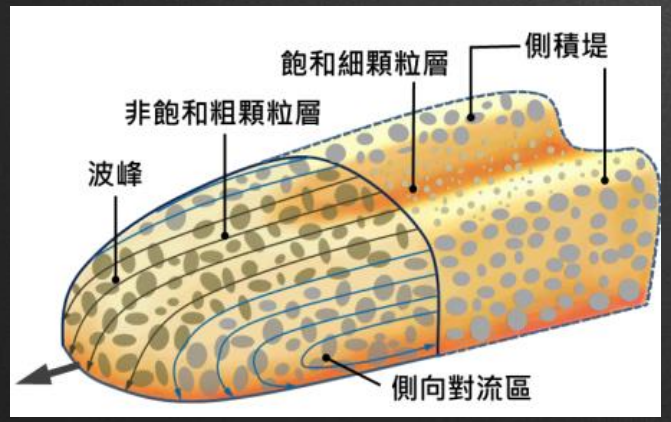
土石流判釋應用

03 土石流判釋應用

土石流特徵判釋

- **判釋圖資需求：**
  - 地形精度需求較高(50 cm)
  - 可藉由UAV產製之高精度災後DSM
- **可判釋微地貌特徵：**
  - 蝕溝(料源段)
  - 波峰(龍頭，流動段)
  - 側積堤(流動段)
  - 堆積扇(現生或古土石流，堆積段)





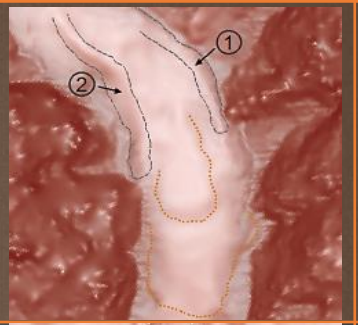
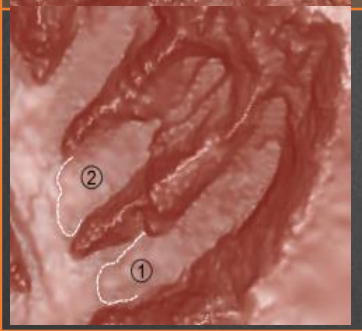
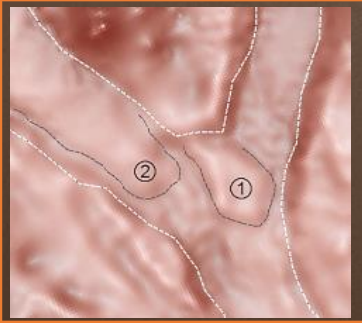
土石流組成3D示意圖



苗栗縣三義火炎山一號坑中游段之地形變遷

03 土石流判釋應用

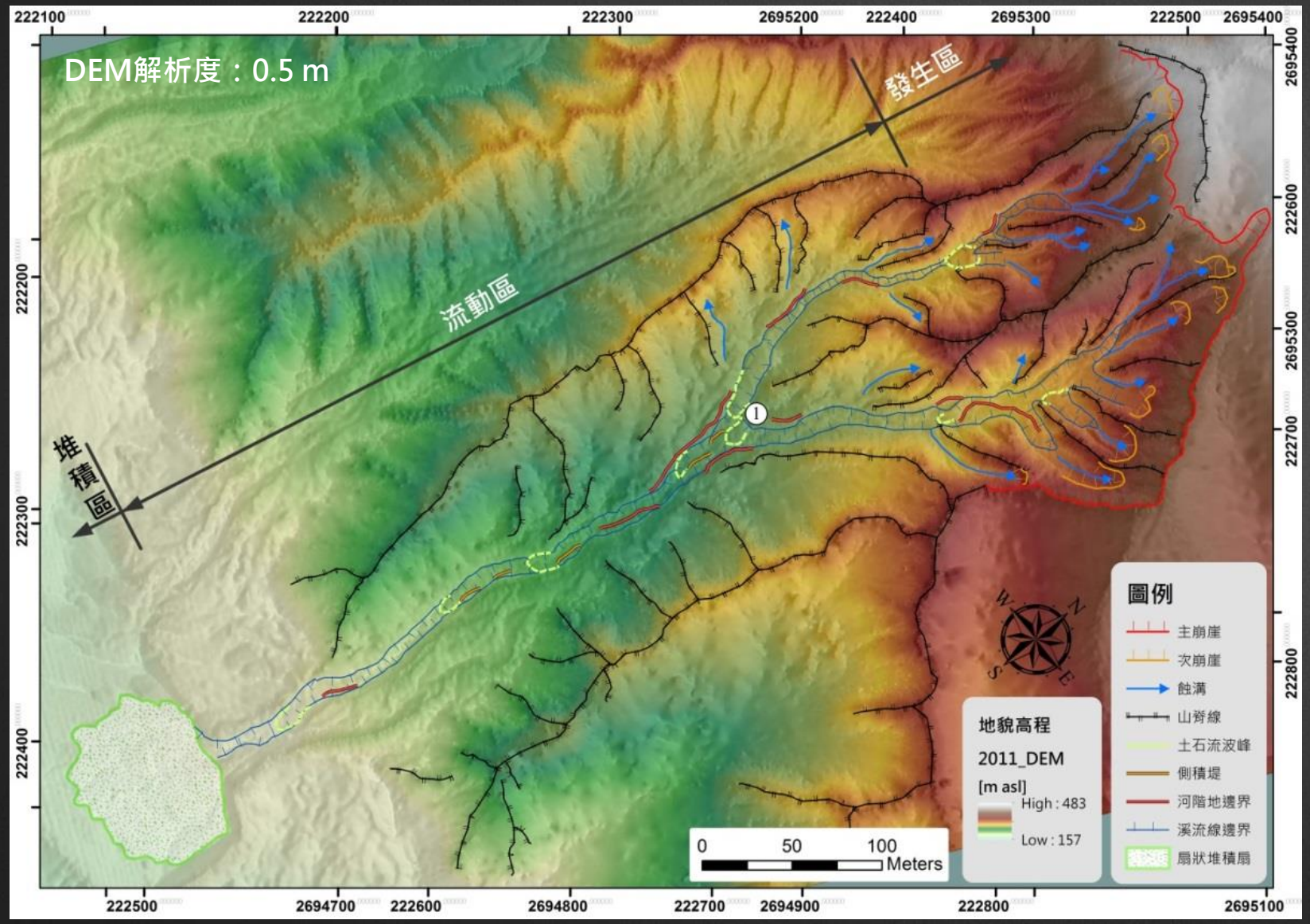
土石流集水區微地形特徵判釋

地形特徵	立體圖樣貌	航照圖	地形特徵	立體圖樣貌	航照圖
蝕溝			側積堤		
崖錐堆積			堆積扇		
土石流(波峰)					

高精度光達地形：自強工程顧問公司提供

03 土石流判釋應用

土石流地形特徵判釋-火炎山(2011)



發生區



流動區









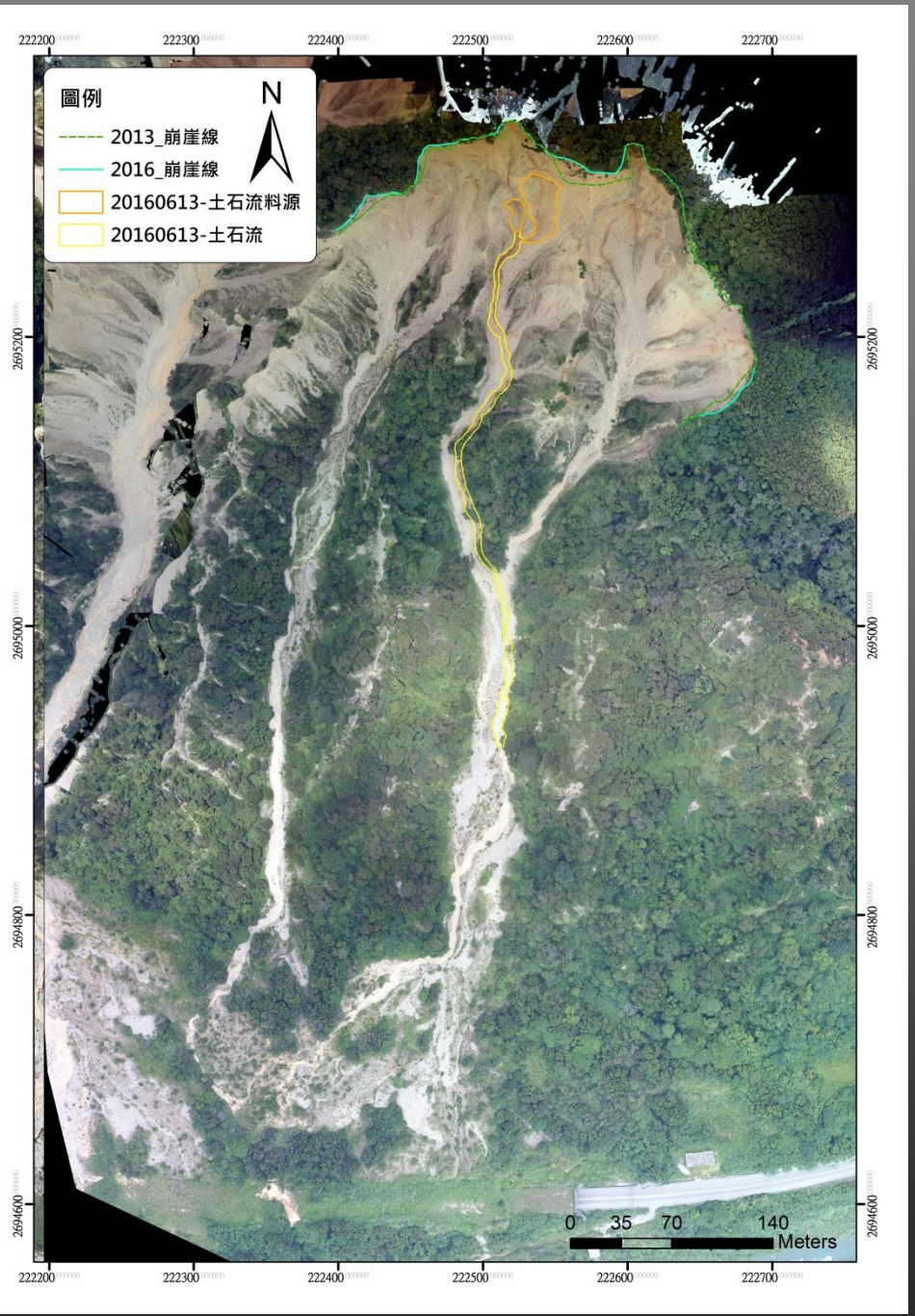
高精度光達地形：自強工程顧問公司提供

03 土石流判釋應用

2016土石流災害正射影像 -火炎山一號坑



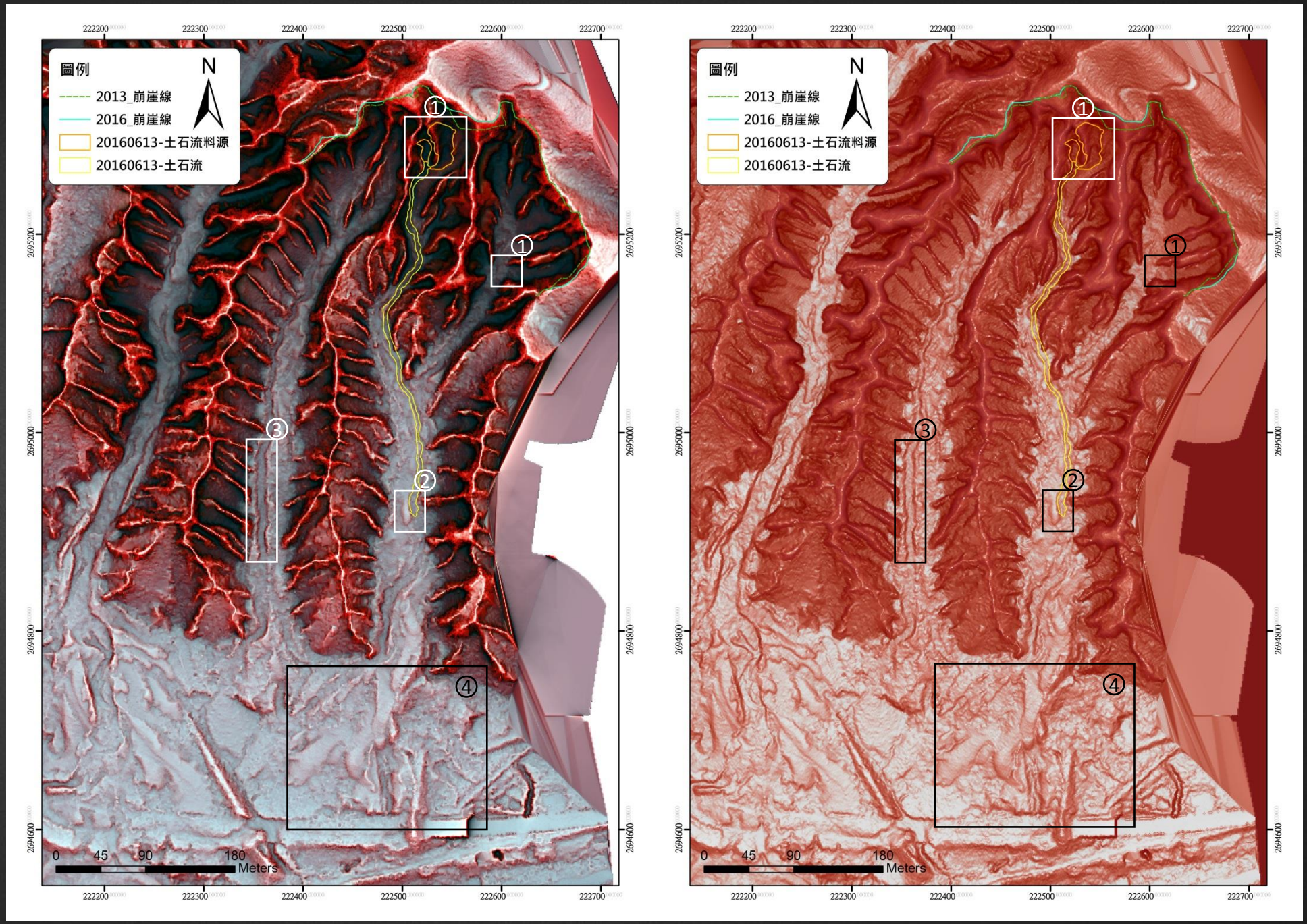
航拍影像(自強工程顧問；解析度25 cm)



ＵＡＶ航拍影像(中興社；解析度5 cm)

03 土石流判釋應用

2016土石流災害微地形特徵 -火炎山一號坑

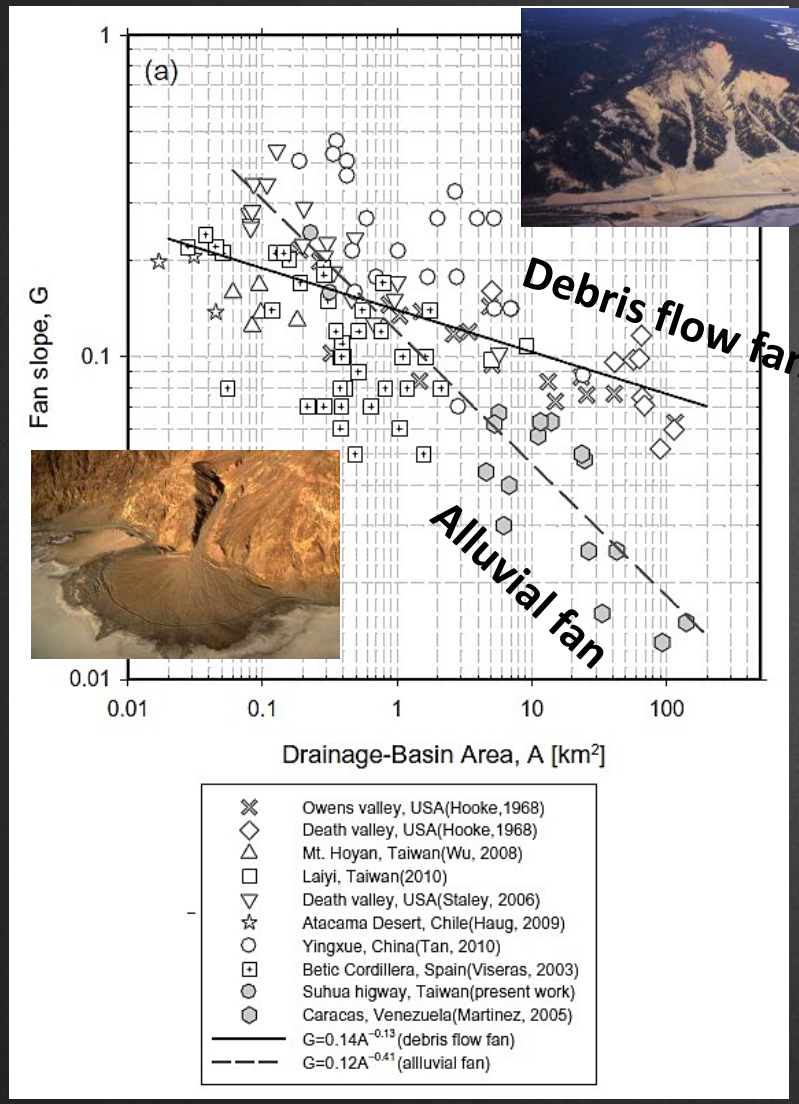


赤色立體地圖(1m DEM，新陸國土測繪產製)

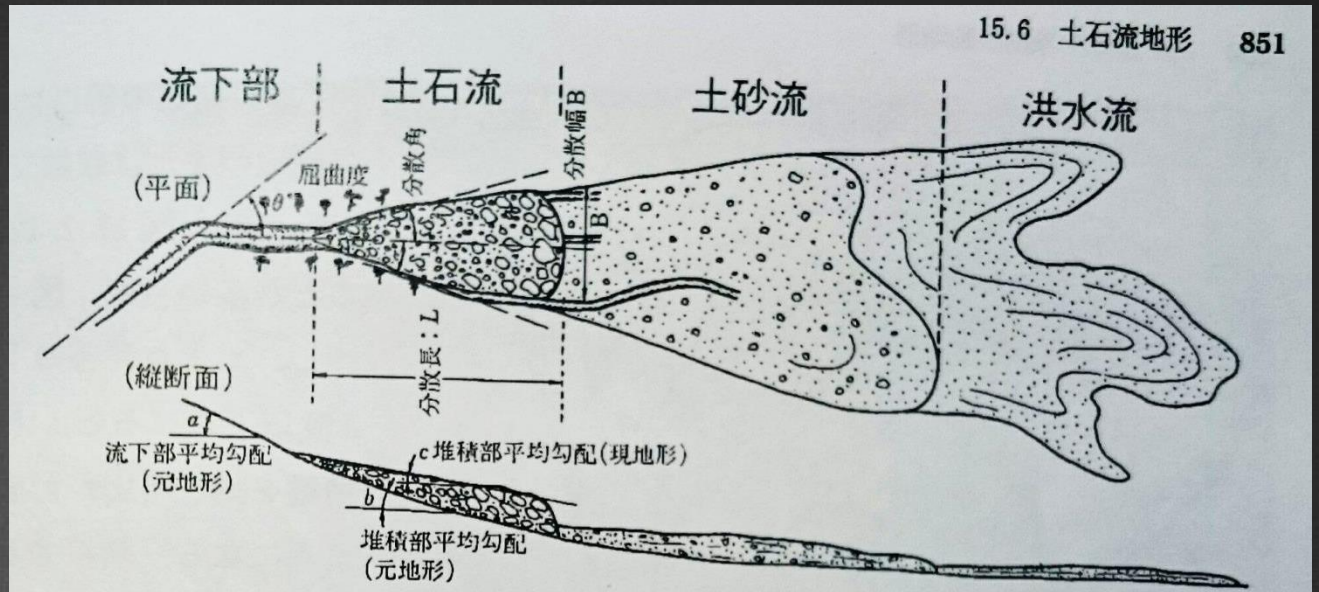
LRM立體地圖(1m DEM)

03 土石流判釋應用

古土石流特徵判釋



(Chou et al., (2012))



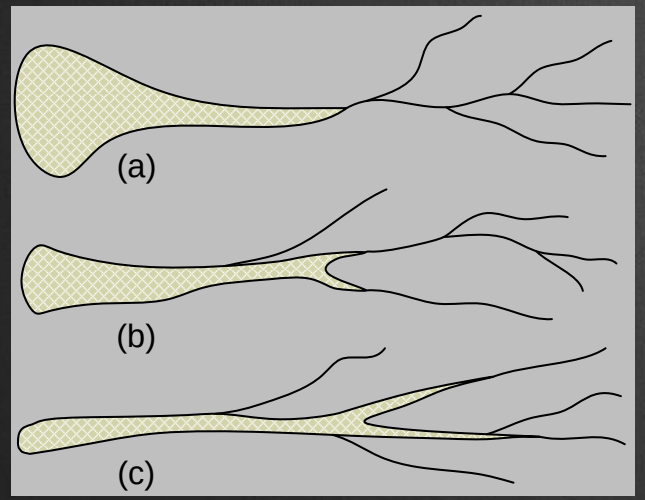
区分	流下部	土石流	砂流	
			土砂流	洪水流
礫径	所々礫が点在するのみで大部分は岩盤露出	max ϕ = 1.5m 以上時として ϕ = 3～4m あり，平均 ϕ = 2m	max ϕ = 1m 平均 ϕ = 5cm ±	max ϕ = 10～20cm 平均 ϕ = 0.5cm
堆積厚		最大 4m，平均 2m	最大 1.5m，平均 0.5m	最大 1m，平均 0.3m
表面形状		不規則	地形・構造物に左右され不規則と平滑の両方みられる	ほぼ平滑
断面形状		層理なし	層理（層状）構造あり	明瞭な層理がみられる

鈴木隆介(2000)

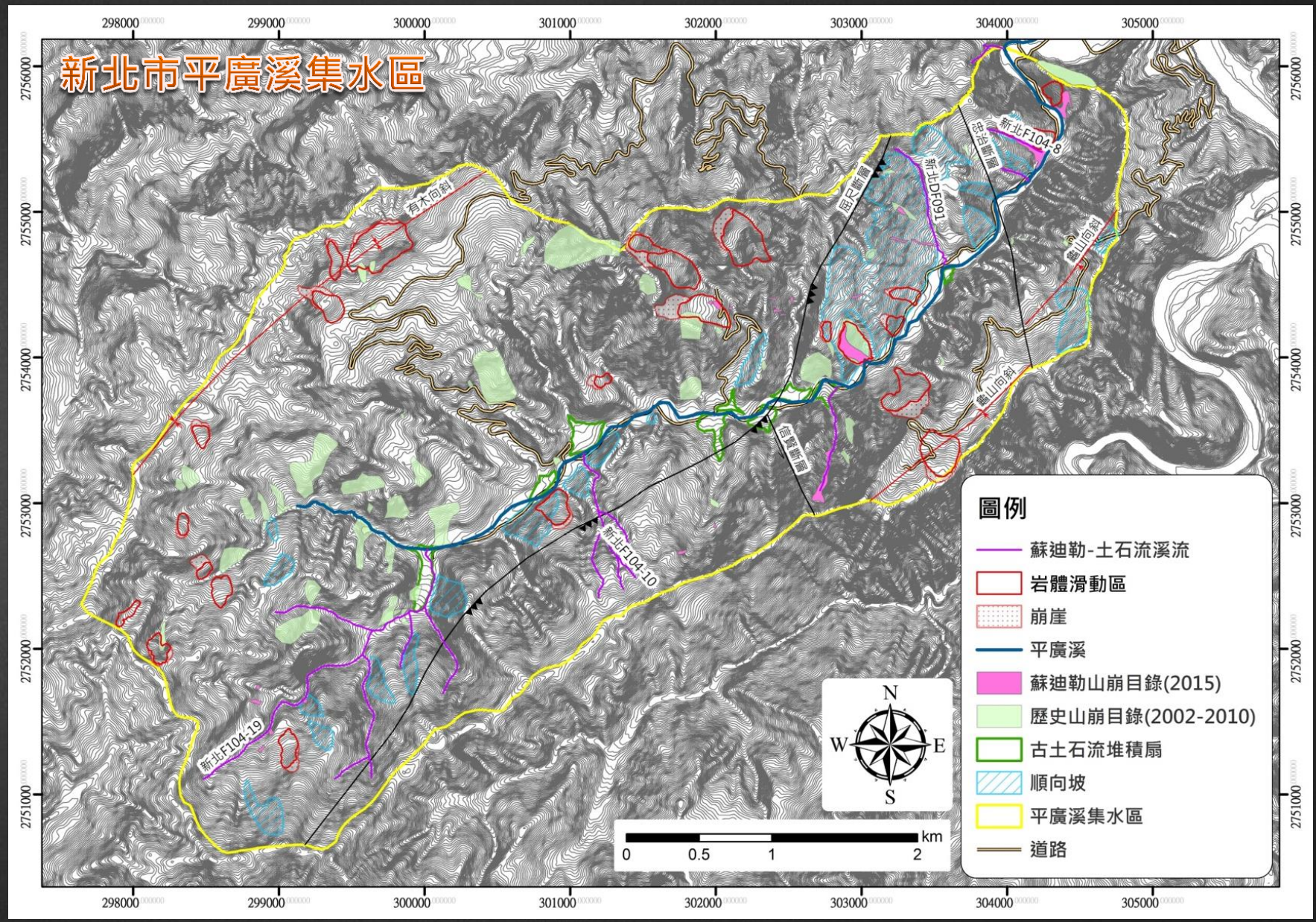
03 土石流判釋應用

古土石流地貌判釋

(a)下游開闊-**典型扇狀地**
(b)溪流兩岸受到地形屏障-**束縮狹長型堆積扇**
(c)溪流兩側岸壁土砂產量豐沛-**溪床堆積地形**



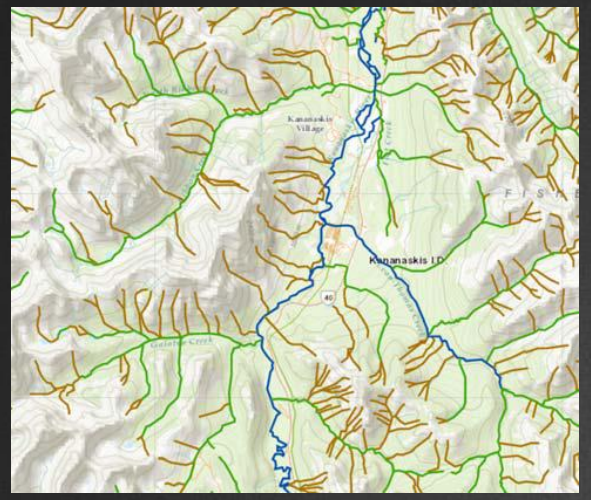
古土石流堆積扇地形貌
(今村遼平，2012)



周憲德(2016)，坡地土砂災害之地文因子綜整判定及現地判釋-以新北市平廣溪集水區為例，農委會水土保持局105年度科技計畫成果報告

03 土石流判釋應用

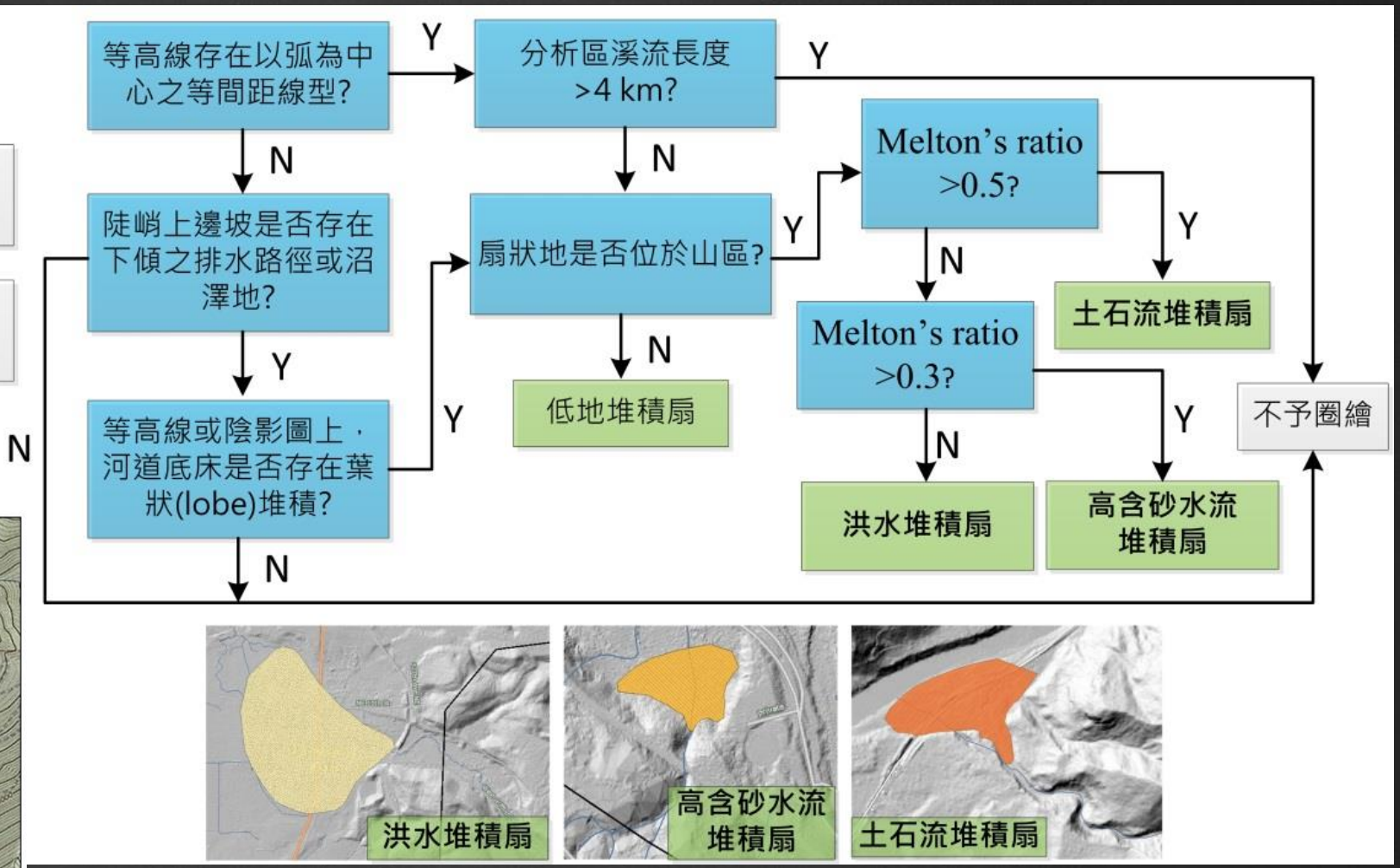
結合Melton Ratio與地貌判釋於土砂災害判釋



(Kris Holm et al., 2016)

LiDAR
加值陰影圖

5 m等高線



Melton ratio = Relative Relief Ratio

Melton ratio (R) = $H_b A_b^{-0.5}$

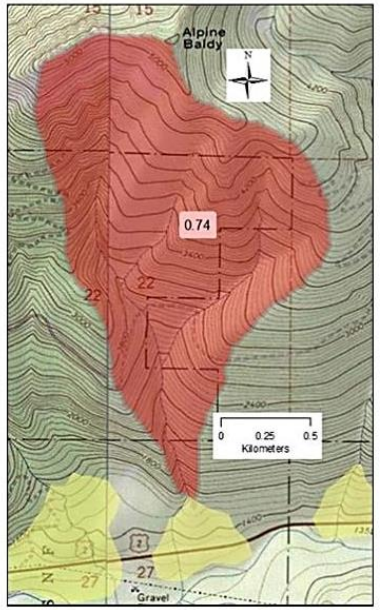
H_b: basin relief (difference between maximum and minimum elevations in the basin)

A_b: total area of the basin

Example: Alpine Baldy, South Fork Skykomish

Top Elev.:	1,584 m
Bottom Elev.:	464 m
Area:	2,351,050 m^2
R	= (1584 – 464) * $(2,351,050)^{-0.5}$
	= 0.73

Source: Melton, M. A. (1965). The geomorphic and paleoclimatic significance of alluvial deposits in southern Arizona. The Journal of Geology, 1-38.



棕線：土石流(debris flow)

綠線：高含沙水流(debris flood)

藍線：洪水(flood)

周憲德(2017)，坡地土砂災害之地文因子綜整判定及現地判釋-以陳有蘭溪及旗山溪流域為例，農委會水土保持局106年度科技計畫

04

小結

04 小結

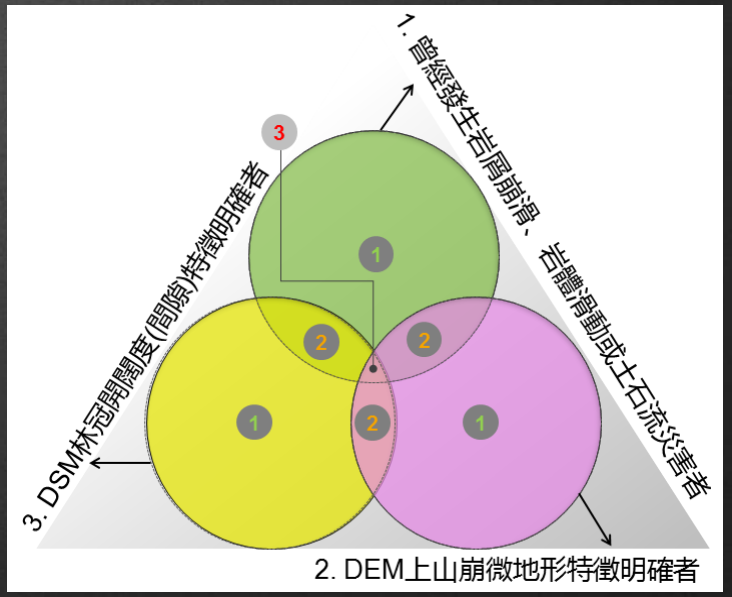
視覺化加值立體圖產製應用於地貌判釋初步建議

盼釋對象		90°日照陰影圖	坡度圖	天空開闊度圖(SVF)	局部立體模型(LRM)	備註
DEM	岩屑崩滑(現生邊界)	√	√			可呈現岩性差異
			√	√		單張圖資取代八方位陰影圖
	岩體滑動(已發生或現生)	√	√			可呈現岩性差異
			√	√		單張圖資取代八方位陰影圖
	現生土石流形貌(流動段)		√		√	空間解析度: 0.5 m較佳
	古土石流堆積扇(堆積區)		√	√		可配合地形險峻值(Melton number)判釋歷史土砂災害類型
DSM	林冠間隙(崩崖馬刀樹群、林相變異邊界)				√	空間解析度: 1.0m尚可，若以UAV產製之30 cm以下精度DSM更佳

- 上表中備註未說明空間解析度者，皆以1m精度圖資為對象

04 小結

- 進行潛在或現生坡地災害地貌判釋前，應先視災害類型決定合適之視覺化立體圖資，並配合**現地覆核**以確認圈繪結果之合理性。
- 天空開闊度立體圖可有效地縮短地質災害判釋流程，對於潛在大規模崩塌或集水區源頭重複發生之大規模岩屑崩滑災害，為一良好之判釋底圖。
- 已判釋檢核後之頻繁土砂災害潛勢區，可搭配歷史山崩目錄或AHP法來評估近期活動性，並以開放之In-SAR影像於災後快速評估集水區內之潛在土砂產量，預判可能衍生之次生災害。



參考文獻

1. 李璟芳、黃韋凱、冀樹勇(2015)。遙測新利器—立體彩繪明暗圖，地工技術，第113期，第113-115頁。
2. 李璟芳、周憲德、曹鼎志、許志豪、黃郅軒、廖緯璿(2016)，羅浮合流部落土石流之致災機制分析與數值模擬，中華水土保持學報, 47(4): 171-184。
3. 經濟部中央地質調查所(2016)，降雨引致山崩潛勢評估模式精進與圖資更新(2/4)，中央地質調查所委託研究報告(第105-5226904000-06-02號)。
4. 周憲德(2016)，坡地土砂災害之地文因子綜整判定及現地判釋-以新北市平廣溪集水區為例，農委會水土保持局105年度科技計畫成果報告(105創研-防_20151223010711)。
5. Zakšek K, Oštir K. Kokalj Ž. (2011) Sky-View factor as a relief visualization technique. Remote Sensing. 3. pp.398-415.
6. Razak KA, Straatsma MW, van Westen CJ, Malet JP., de Jong SM. (2011) Airbrone laser scanning of forested landslides characterization: Terrain model quality and visualization. Geomorphology. 126. pp.186-200.
7. Lo CM, Lee CF, Keck J. (2017), Application of sky view factor technique to 1 the interpretation and reactivation assessment of landslide activity. *Environmental Earth Scien*ces. (revision)
8. Lee CF, Huang WK, Huang CM, Chi CC. (2017), Deep-seated landslide mapping and geomorphic characteristic using high resolution DTM in northern Taiwan. *World Landslide Forum 4*, Slovenia. (accepted)



敬請指教

財團法人中興工程顧問社 防災科技研究中心

Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, INC.

cflee@sinotech.org.tw

http://dptrc.sinotech.org.tw