

高屏峽谷上游海底地形測繪與海床崩塌區域初探

Seafloor morphology and slope failures of the Kaoping Canyon upstream area

葉一慶¹、沈宗甫¹、劉紹勇¹、楊益¹、郭芳旭¹

Yi-Ching Yeh¹, Tsung-Fu Shen¹, Shao-Yung Liu¹, Yih Yang¹, Francy Kuo¹

¹ 國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心

摘要

海底峽谷為陸源沈積物向大洋輸出的主要通道。如同陸上峽谷一般，由於峽谷中流體流動或周邊地質環境的改變，可分為侵蝕型及堆積型的峽谷。侵蝕型的峽谷由於流體對峽谷壁的長期沖刷與侵蝕作用，往往會造成海床的不穩定而引發海底崩塌，若峽谷侵蝕作用正巧位在地質環境不穩定的區域如天然氣水合物解離區時，侵蝕作用將會加劇進而誘發大規模的海底崩塌，進而破壞海底電纜或者管線，除了造成生活上的不變之外，更可能引發海嘯而造成生命財產的重大損失，因此，本研究主要目的即是規劃使用海洋地球物理的探測方法首先針對易發生海底崩塌的高屏峽谷周邊區域進行三維崩塌地質構造的長期調查。本研究初步使用海研五號船載多音束測深儀進行海底地形地貌的探測，其結果顯示位於高屏峽谷上游峽谷侵蝕區域恰為天然氣水合物解離之區域，海床坡度分析顯示大規模海底崩塌有向陸移動的跡象，值得未來進一步深入研究。

關鍵字：海床穩定度、多音束水深、高屏峽谷

ABSTRACT

As a major pathway of the sediment transportation, the submarine canyons sculpture the seafloor then deposit sediments at the deep ocean. The submarine canyons could be classified to two categories: erosive or deposition based on geological environment or fluid flow down to the canyon. The erosive canyons often “attack” the levee which may result in submarine landslides or mass transportations due to slope failure. Once slope failure occurs at geological weakness area such as gas hydrate dissociation zone, giant mass slumping will be triggered. These kinds of mass transportations will further develop turbidity current or hyperpycnal flow, which could damage the submarine cables or pipes. The giant mass transportation even triggers devastated tsunami. In this study, a latest swath bathymetric map was compiled by comprising seven cruises between December, 2012 and March 2013. The result shows that regressive erosion may take a place north of 500 meters contour (gas

hydrate dissociation region), southwest off Taiwan. However, it is difficult to estimate the volume of the mass transported deposit (MTD) due to lack of near seafloor high resolution geophysical surveys. The long term marine geological and geophysical studies are highly recommended.

Keywords : Seafloor stability, swath bathymetry, Kaoping Canyon

一、前言

台灣高山眾多且常受颱風跟地震的侵襲，陸地岩層受到嚴重的侵蝕與沖刷，造成每年有大量的泥沙藉由河流往下游及外海輸送。這些泥砂的最終分佈通常是陸源沉積物供應、海底地形、水文流場與生物聚落交互影響下的結果，這結果與人類的生活息息相關。科學文獻指出中國大陸長江泥沙的入海傳輸量，因三峽大壩的興建開始減少，從 1960 年每年五億噸的泥沙，銳減為現在每年一億五千萬噸的沉積物被輸出。陸源沉積物輸出量的大幅減少意味著台灣海峽沿岸被侵蝕的機會增大，最後的結果就是我們最不樂見的海岸線往內陸前進，對台灣西南沿海居民的房屋與民生經濟活動造成威脅，形成災害。再者，台灣陸地上每年因颱風、豪大雨所導致的侵蝕作用往往可將大量的陸源沉積物經由海底峽谷輸出至大洋中。巨量沉積物在搬運過程中有可能由於地震或重力的關係形成海底土石流 (marine landslide) 或者異重流 (hyperpycnal plumes)。當這些巨量的沉積物沖入海中時，其強大的衝擊力會截斷海底通訊電纜或油氣管線，造成民生經濟損失，如 2006 年屏東地震引發的濁流沈積物沖斷數條海底光纖電纜(如圖 1 及圖 2; Hsu et al., 2008; Carter et al., 2012)。此外，海底土石流亦可造成海嘯，如 2011 年所發生的東日本大地震即引發大海嘯。因此，有必要針對台灣周邊海域如：南海北部大陸斜坡、馬尼拉海溝最北部增積岩體區、東部綠島—蘭嶼間海域、最南部琉球海溝區域以及沖繩海槽北部區域大陸棚等地帶進行長期海洋地球物理及地質的精密調查。未來也需要進一步搭配深拖測掃聲納系統針對重要區域進行淺層地層的深入探測。此些調查結果不但可供學術研究外，並可進一步提供未來海底通訊電纜或油氣管線鋪設路徑的地質背景參考。另一方面，考量國家海洋資源相關經建計畫的發展，對於台灣海域海底地質及地形結構，經由加強進行海洋地質與地球物理研究相關之觀測與研究，以掌握因地震或颱風而導致海底土石流災害發生的機制、規模，及其監控與預測的可行方法，降低海底土石流災害對海底管線及電纜的危害，保障民眾身家財產的安全與社會經濟之發展。此外，逐年進行台灣周遭海域大規模海洋岩心的科學調查，未來將有助於我們辨識氣候系統的自然律動以及評估台灣環境受災變/極端氣候事件的衝擊幅度，以提供政府相關決策部門可行的因應策略。

本研究首先針對易發生海底濁流及異重流的高屏峽谷周邊區域使用海研五號多音束水深儀進行資料蒐集，其結果顯示有多處海底崩塌區域值得後續進行高解析震測 (high resolution seismic) 與深拖測掃聲納 (deep-towed side-scan sonar) 探測時之參考。

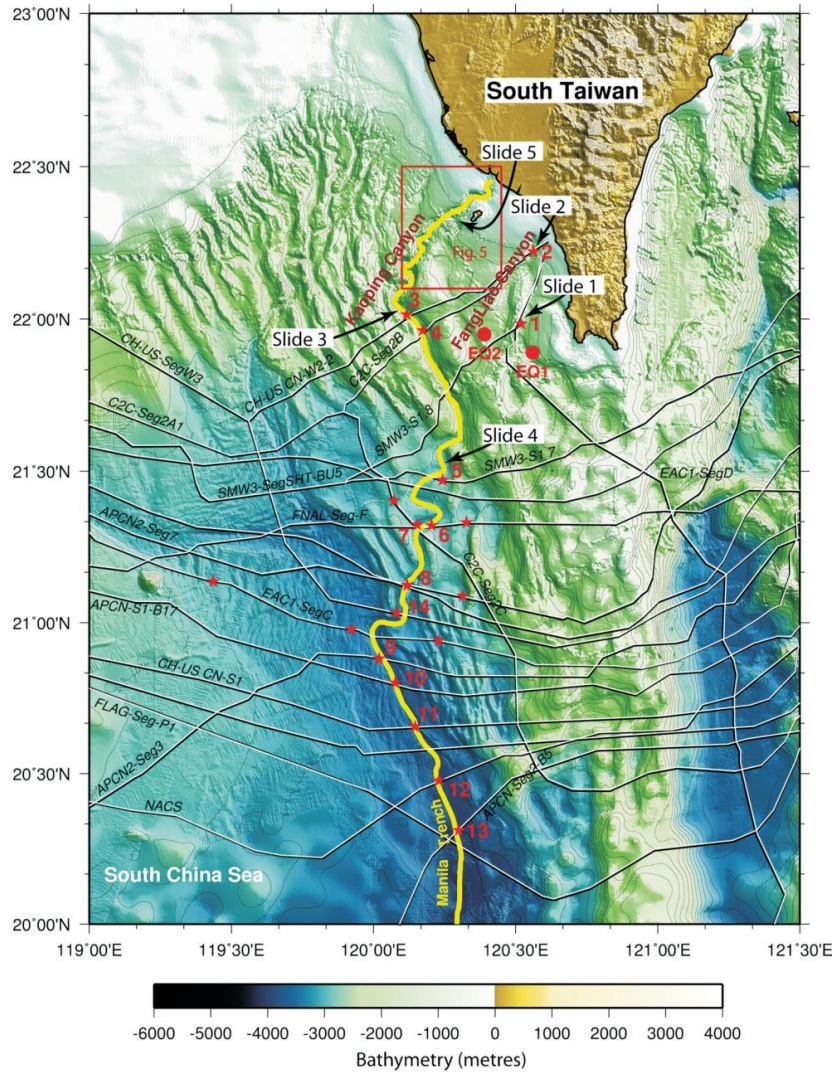


圖 1、台灣西南外海海底地形圖（摘自 Hsu et al., 2008）。其中，黑色線表示海底電纜位置。Slide 1 至 Slide 5 表示根據變頻聲納剖面資料與中華電信資訊得知至少有五處的海底山崩事件發生。值得注意的是，這些海底電纜的佈設實際上都直接或間接跨越了主要的斷層方向（南-北向）。

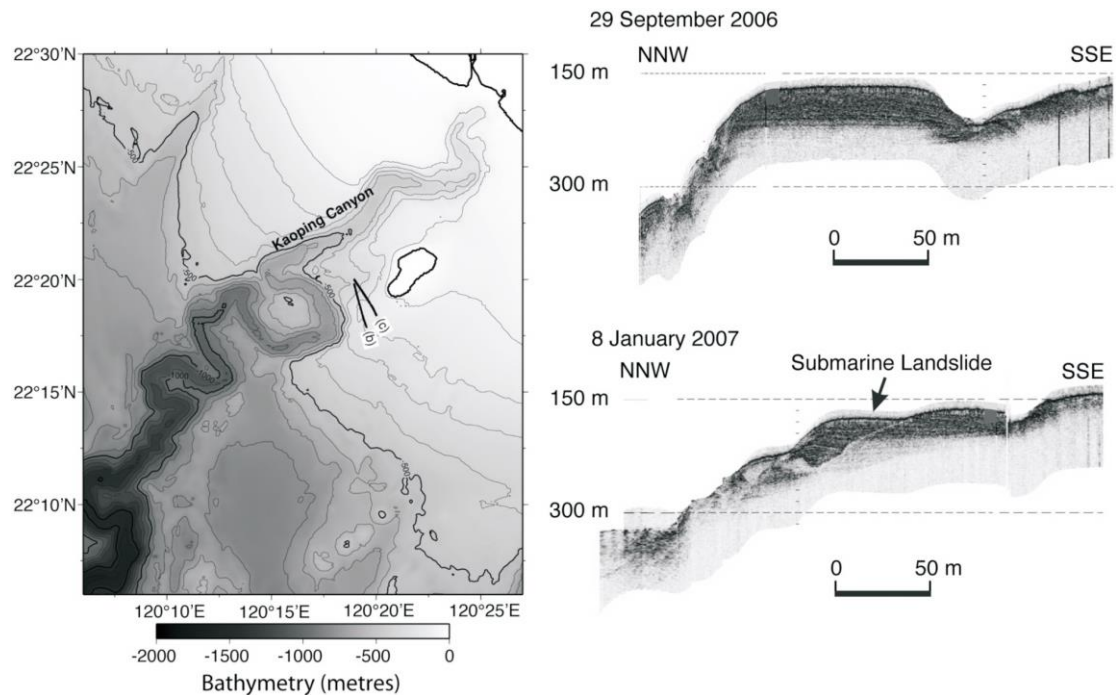


圖 2、小琉球西南方海底山崩前後變頻聲納剖面比較圖 (Hsu et al., 2008)。

二、研究方法與資料處理

研究可能造成海底電纜斷裂及海底土石流分布情形，第一步所需要的是詳盡且高解析度的海底地形資料，而僅有多音束水深 (multibeam swath bathymetry) 探測能提供此種需要的資料。台灣周邊海域的第一筆多音束水深資料最早於 1996 年由租用的法國國家海洋研究院海洋研究船 R/V Atalane 所蒐集，接下來，內政部所補助的大陸礁層調查計畫於 2007 年至 2011 年間，利用海研二號及海軍達觀軍艦蒐集了為數不少的多音束水深資料。然而，蒐集此些資料的多音束水深儀解析度不一 (達觀軍艦的水深儀為 Simrad EM12，其最大解析度約為 50 公尺；海研二號安裝的多音束水深儀為 Atlas MD50 為中深水性質，極限探測深度為 2500 公尺，可提供最大解析度約為 10 公尺)，因而在資料整編時會出現解析度不均的現象，另外，當水深深於 1800 公尺，其資料解析能力就會不足，對於高屏峽谷中下游及谷軸區域解析力不足。另外一個重要的原因為台灣為多颱風與多地震的地理環境，一旦地震發生或者颱風過境，往往很有可能造成海底地貌明顯的改變。海研五號的正式啟用並且安裝了最新一代的多音束水深儀 Atlas Hydrosweep DS 與 Fansweep，其最細解析度可達數公尺，測深範圍為 10 至 10,000 公尺正可同時滿足由淺海至深海大面積地形測繪的需求並可進行長期的地形資料分析。

本研究綜合了海研五號航次 ORV-1212-1、ORV1212-2、ORV1301-1、ORV1302-1、ORV1302-2、ORV1304-1 及 ORV1304-2 等航次使用 Atlas Hydrosweep

DS 與 Atlas Fansweep 多音束測深系統進行水下地形測量作業，其設備連結船體姿態與導航系統(POSMV)，可即時整合施測期間內船體所在之精確經緯度位置以及船體受風、波浪影響所造成之縱搖角(Pitch)、橫搖角(Roll)、船艏指向角(Heading)、船體上下起伏值(Heave)；另於 Atlas Hydromap Control(AHC)水深資料收集程式中輸入系統儀器相對於船體參考點之相對位置坐標以及音鼓安裝偏差角度，將可套用於水深測量值進行即時修正。

透過 EIVA NaviScan 水深資料收集軟體輸出原始水深檔案(*.sbd)，另於 EIVA NaviEdit JobPlanner 資料後處理軟體進行聲速修正，並手動刪除水深資料受到儀器精確度不穩定之因素影響所造成之非地形趨勢走向之水深資料壞點，再輸出 ASCII 水深資料檔案(*.xyz)。將此 XYZ 檔案使用 GMT 軟體輸出地形網格檔案(*.grd)，最後繪製成水深地形圖。依 IHO (International Hydrographic Organization 國際海測組織) S-44 規範標準(International Hydrographic Bureau, 2008)，於水深超過 200 公尺之海域進行水深測量，可免除進行潮位修正之步驟，此航次因施測海域之水深皆深於 200 公尺，符合上述之條件，因此並未進行潮位修正。水深資料整體處理流程如圖所示。



原始水深檔案(*.sbd)

(於AHC程式中輸入系統儀器位置坐標以及音鼓安裝偏差角度，於收集資料即時予以修正。)

聲速修正

刪除不合理之
水深資料壞點

輸出ASCII水深資料檔案(*.xyz)

輸出地形網格檔案(*.grd)

繪製水深地形圖

圖 3、海研五號多音束水深儀資料蒐集情形(上圖)與多音束水深資料處理流程

(下圖)。

三、研究成果

海研五號所蒐集的多因束水深資料經過初步降低交差點誤差後，可將數個區域的資料整編在一起，其整編結果如圖三所示。高屏峽谷上游地形構造相當複雜，主要可分為：(1) 高屏陸坡區：主要為 500 公尺等深線以上的區域，此區域為台灣陸源沈積物大量堆積之處，形成富含天然氣的構造環境。此區域由於靠近陸地，因此當陸上如有大量沈積物沖刷或者引發濁流時，這些沈積物往往會堆積在高屏峽谷的上游(圖 4、5)，其水深資料也顯示此區域峽谷中有巨大岩塊的堆積，這也是濁流沈積物所會造成的地形特徵 (deposition canyon)，事實上，這些濁流沈積所造成的地形特徵於碳酸鈣海脊 (carbonate ridge) 前的第一個曲流即無法再觀測到，這可能表示，再更下游的高屏峽谷實際上進入了所謂侵蝕型的峽谷 (erosive canyon) 特徵。此外，500 公尺等深線亦為天然氣與天然氣水合物穩定帶的交界區域，因此，淺於 500 公尺等深線區域容易造成邊坡不穩定的狀態。如 B 區所示，此區域為高屏峽谷呈現曲流狀態，以現今的水深圖可以判斷有數處崩塌，主要的崩塌事件與峽谷進入攻擊 (侵蝕) 面有直接關聯，但最大的崩塌 (約 700 公尺地形落差) 發生在峽谷與 500 公尺等深線交界處 (圖 6)，這可能表示此區域富含天然氣的地層已形成不穩定狀態的環境，再加上峽谷的侵蝕，使得崩塌容易發生。事實上，更往下游觀察，這些崩塌規模均不大 (約 100 至 200 公尺地形落差)，海底崩塌的地形特徵主要受控於峽谷的侵蝕作用。如我們將 B 區水深資料進行斜坡坡度的計算 (圖 8)，可發現在地形上可觀察到崩塌事件實際上坡度不大 (約 40% 以下)，表示這些區域已經崩塌過，已呈現相對穩定狀態。反之，有兩處區域 (X 與 Y 區) 地形坡度很高 (大於 70%)，這表示，這兩個區域很可能是未來大規模崩塌的淺在區域，需要更進一步使用地質或者地球物理方法探查。

(2) 高屏峽谷中游區域：其地形特徵如圖 7 所示，此區域的高屏峽谷主要呈現典型的侵蝕型峽谷特徵：V 形谷 (V-shaped valley)，兩側谷壁構造單純，僅可於東側谷壁可發現有上游沈積物往下沖刷進峽谷的地形特徵，這些構造可能為當上游形成濁流時所造成，真正情況需要更進一步使用地質剖面儀 (sub-bottom profiler) 或高解析震測 (high resolution seismic) 等方式詳盡評估。

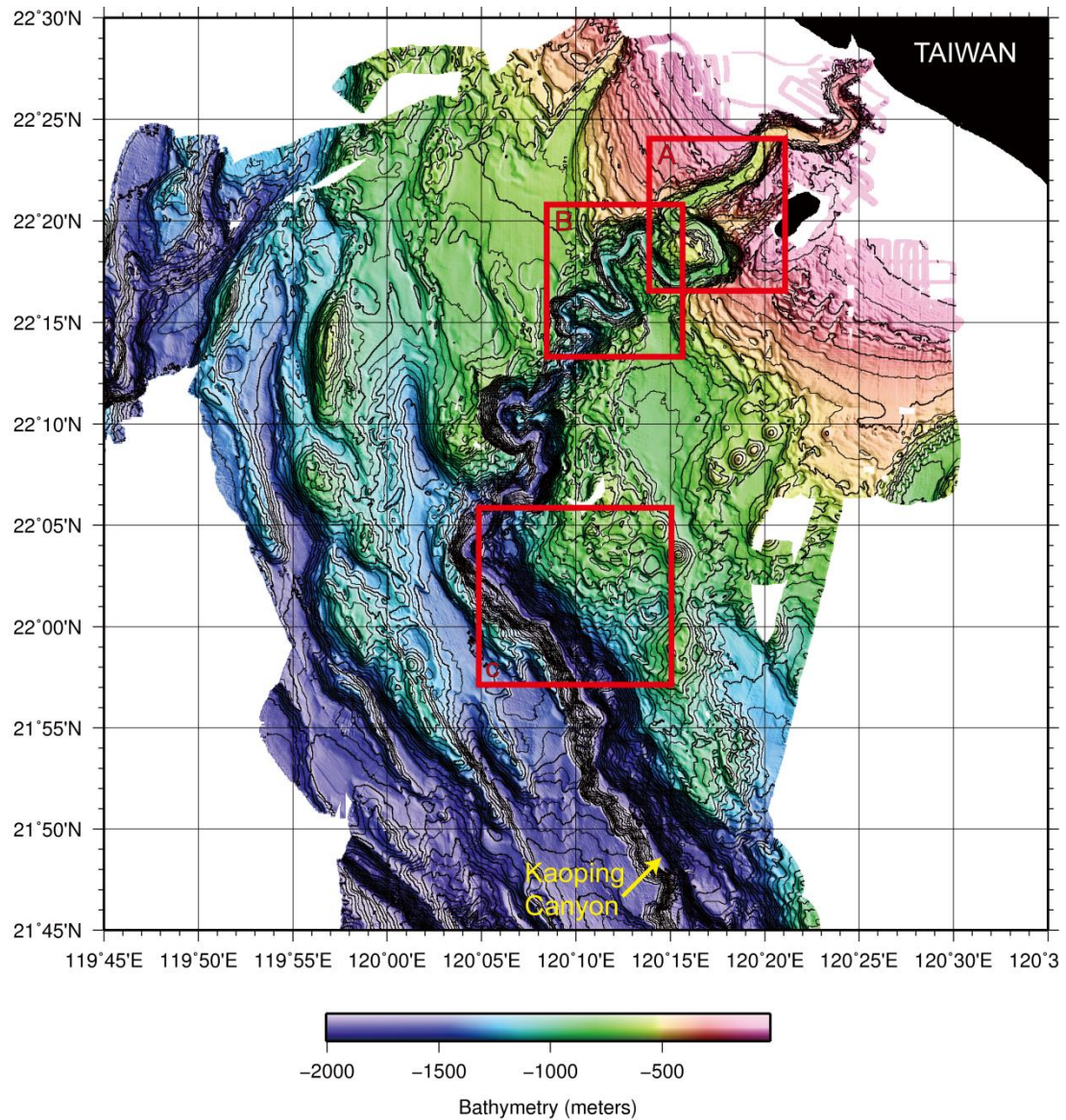


圖 4、台灣西南外海新編多音束水深圖。其中，20 公尺間距等深線以細黑線表示；100 公尺等深線以粗黑線表示。為了清楚顯示高屏峽谷周圍地區的海床崩塌情況，特選三塊區域繪製三維海床地形圖（A 至 C 區）。

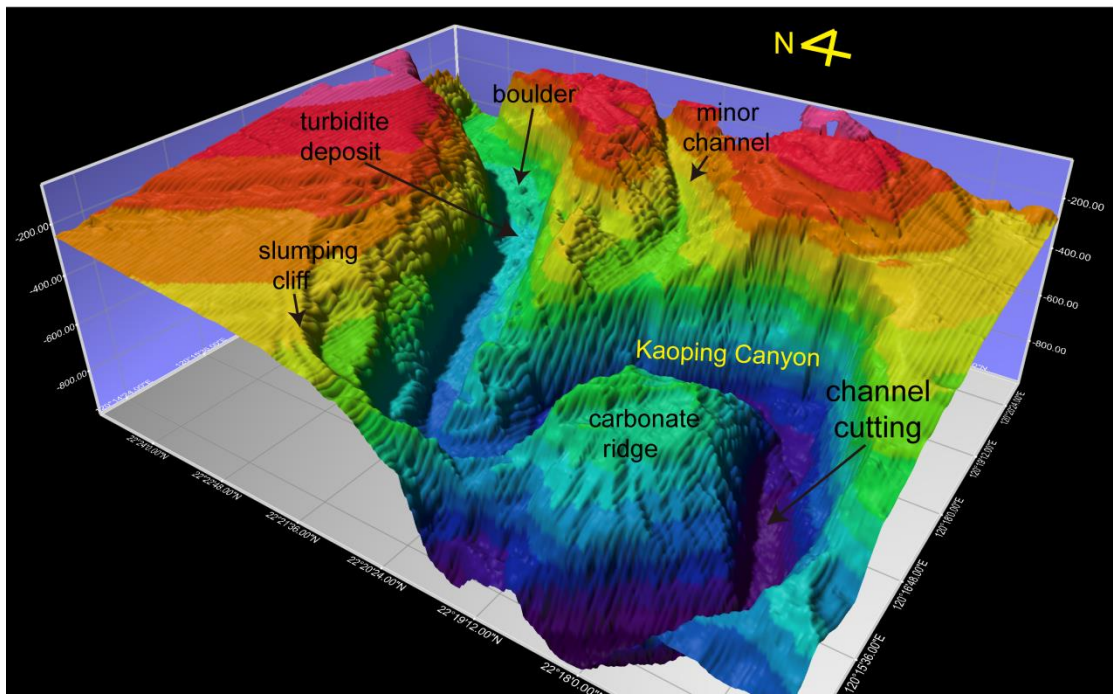
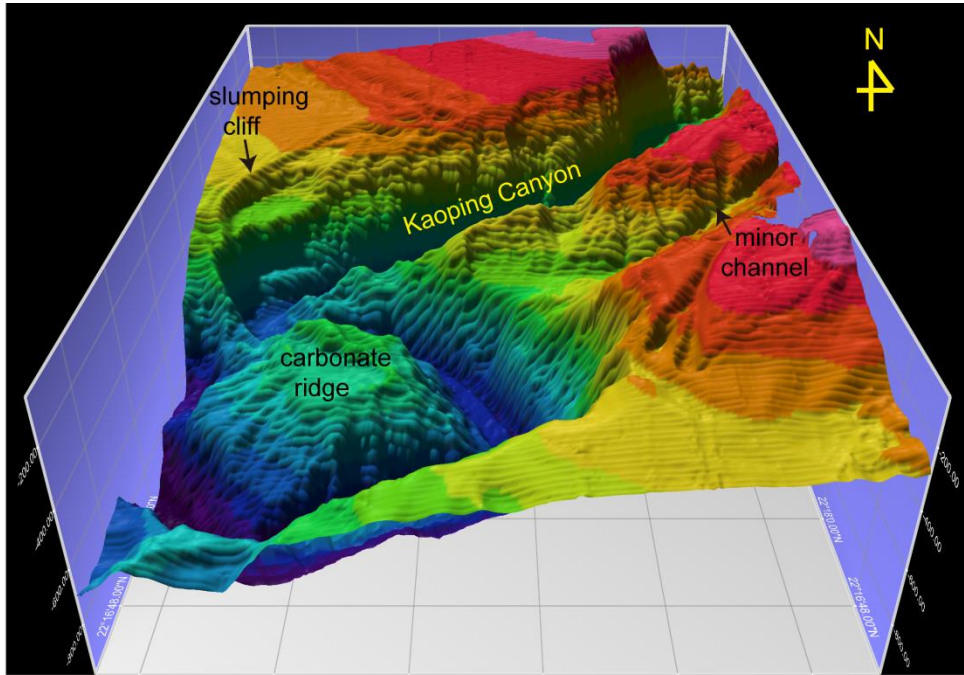


圖 5、A 區三維立體地形圖。

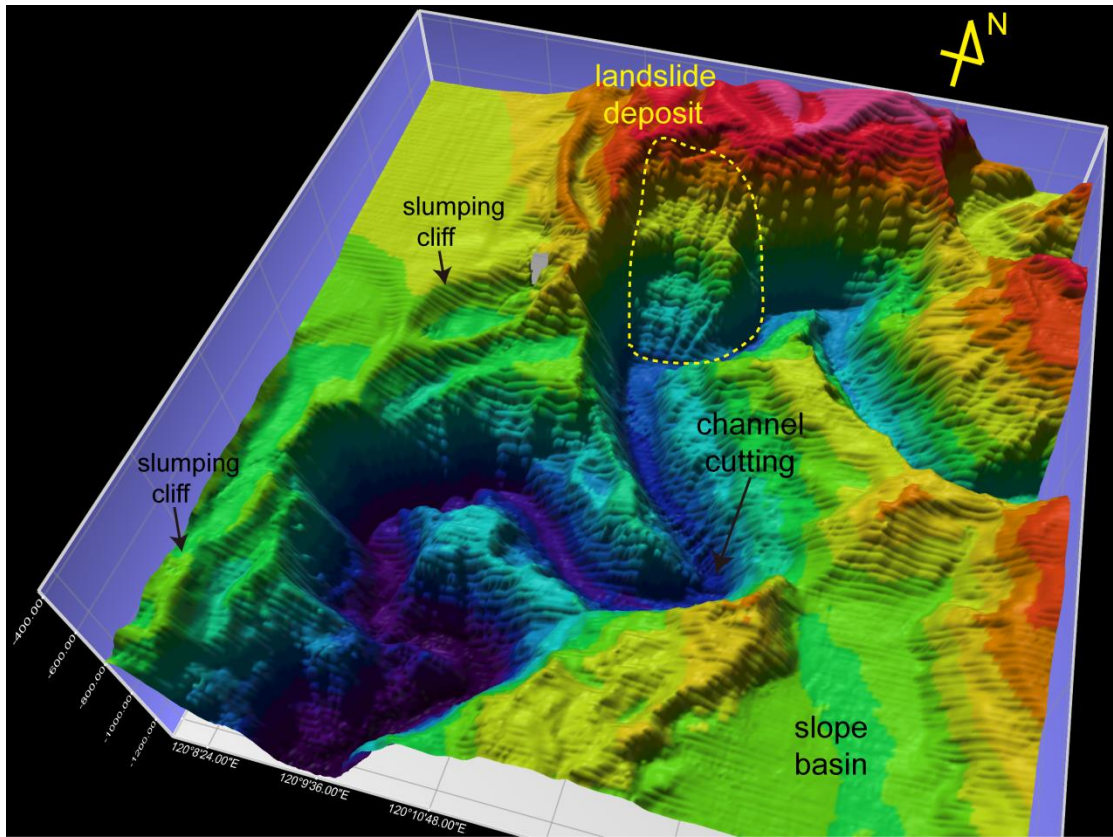


圖 6、B 區三維立體地形圖。

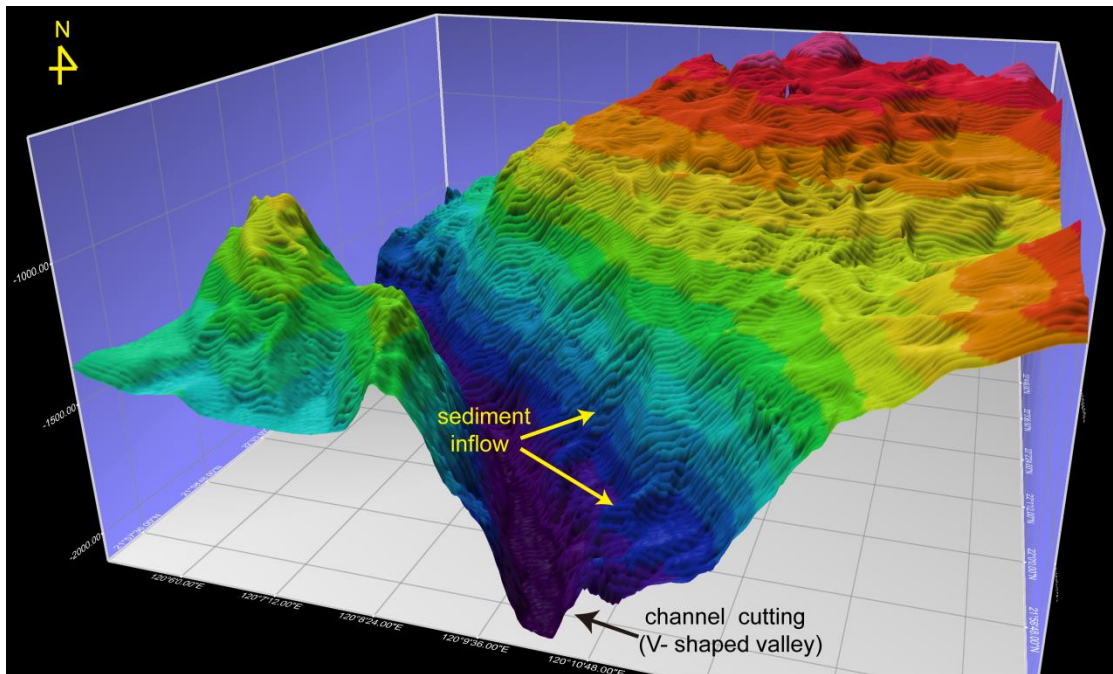


圖 7、C 區三維地形圖。

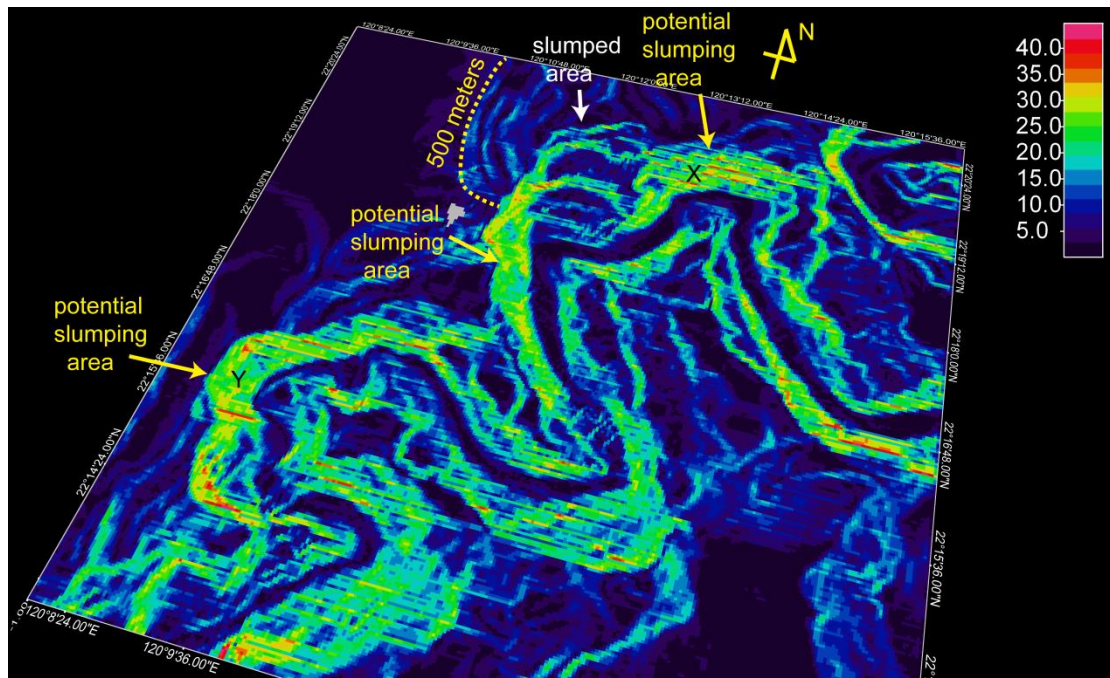


圖 8、B 區坡度圖。

四、結論與建議

本研究使用海研五號多音束測深儀針對高屏峽谷上游及周邊區域進行地形地貌特徵研究，其初步研究成果如下：

- (1) 船載多音束水深儀的資料可針對海底崩塌區域進行大規模的海床穩定度初步評估，經過針對同一區域的長期資料可供海底崩塌的範圍及塊體移動大小進行評估，是非常重要的工具之一。但地形資料僅可得到海床的表面資訊，無法針對塊體厚度與體積進行評估，因此，未來需導入精細地層構造探測方法如高解析震測與底質剖面儀等針對研究區域進行詳盡的調查。
- (2) 高屏峽谷上游約 500 公尺等深線區域，為可能造成大量崩塌的熱區 (hot zone)，地形資料與坡度資料綜合分析結果顯示出大型崩塌正往上游區域 (陸域) 移動的跡象。
- (3) 高屏峽谷上游具備了堆積與侵蝕兩種環境，反之中游之後其峽谷呈現典型的 V 型谷，表示其環境轉變為侵蝕型峽谷。

參考文獻

- (1) Carter, L., J. D. Mulliman, P. J. Tailing, R. Gavey and R. B. Wynn (2012), Near-synchronous and delayed initiation of long run-out submarine sediment flows from a record-breaking river flood, offshore Taiwan, *Geophy. Res. Lett.*, 39, L12603, DOI:10.1029/2012GL051172.

- (2) Hsu, S.-K., J. Kuo, C.-L. Lo, C.-H. Tsai, W.-B. Doo, C.-Y. Ku and, J.-C. Sibuet (2008), Turbidity Currents, Submarine Landslides and the 2006 Pingtung Earthquake off SW Taiwan, *Terr. Atmos. Ocean Sci.*, 19, 767-722, DOI: 10.3319/TAO.2008.19.6.767(PT).
- (3) International Hydrographic Bureau (2008), IHO STANDARDS FOR HYDROGRAPHIC SURVEYS 5th Edition (S-44), 28 pages.