

科技部補助專題研究計畫成果報告

(☐期中進度報告/☒期末報告)

台灣西南部陸上與海洋的海底峽谷之構造形貌對比

計畫類別：☒個別型計畫 ☐整合型計畫

計畫編號：MOST 109-2116-M-178 -003 -

執行期間： 109 年 8 月 1 日至 111 年 1 月 31 日

執行機構及系所：國立自然科學博物館自然科學教育園區管理中心

計畫主持人：蔣正興

共同主持人：林宗儀

計畫參與人員：

本計畫除繳交成果報告外，另含下列出國報告，共 ____ 份：

☐執行國際合作與移地研究心得報告

☐出席國際學術會議心得報告

☐出國參訪及考察心得報告

本研究具有政策應用參考價值：☒否 ☐是，建議提供機關_____

(勾選「是」者，請列舉建議可提供施政參考之業務主管機關)

本研究具影響公共利益之重大發現：☒否 ☐是

中 華 民 國 111 年 4 月 20 日

中文摘要：

世界上只有 4% 的海底峽谷到達海岸線並保持活躍。在台灣周圍的 13 條海底峽谷中，有 7 條海底峽谷 ($n=7$, 54%) 在現今的高海面期間仍然與海岸相連並且保持活躍。本研究的目的是尋找全新世海面上升期間峽谷仍與海岸相連的關鍵控制因素。台灣具有構造活動的地質環境，由於年輕山脈的高隆起率、狹窄海岸帶、坡度陡峭、地震頻繁，以及颱風頻率高，使得台灣河流輸砂量大，導致大量沉積物輸送到周圍的深海。狹窄陡峭的陸棚與小山脈河流大量沉積物輸送是形成與岸相連型峽谷發育的主要控制因素。台灣東部外海是地震頻繁的區域，發育與岸相連的峽谷數量較多。頻繁的地震事件是台灣地區出現與岸相連型峽谷的另一個重要因素。

高屏海底峽谷是切割陸棚的峽谷，不僅可能受到海洋變化的影響，還可能因河流沉積物輸入及氣候變化的影響。台灣周圍的峽谷呈現生物多樣性且對地形變化敏感的棲息地。初步研究顯示未來有必要進一步對台灣西南部海底峽谷的生態過程和功能進行調查。

中文關鍵詞：與岸相連的峽谷、小山脈河流、頻繁的地震、颱風、生態系統

英文摘要：

Only 4% of the world's submarine canyons reach the coastline and remain active today. Among 13 submarine canyons offshore Taiwan, we identified seven ($n=7$, 54%) that remain connected to shore and active during the present-day highstand. The purpose of this study is to determine the key controls of canyon heads that remain connected to shore with terrestrial sediment input during the Holocene sea-level rise. As a result of high uplift rates, narrow coastal range, steep gradients, and frequent earthquakes, typhoons development in Taiwan mountain belt, Taiwan has the highest-yield river and sediment supply. This has led to the transportation of large volumes of sediment to the surrounding deep seas. Narrow steep shelf and large sediment volumes associated with small mountain rivers are the main controls involved in the development of shore-connected canyons on the active Taiwan margin. Shore-connected canyons are present in greater numbers in the major earthquake zone on the eastern Taiwan margin. Frequent earthquake events are another significant factor in the occurrence of shore-connected canyons in the Taiwan region.

Shelf-incising canyons, such as Kaoping Canyon, may not only be affected by oceanographic changes, but also by extreme climate change due to the direct input of river sediment. Canyons along the Taiwan margin show habitat niches which promote biodiversity but are sensitive to topographic change. These results reveal the need for future investigations of ecological processes and functions of SW Taiwan margin submarine canyons.

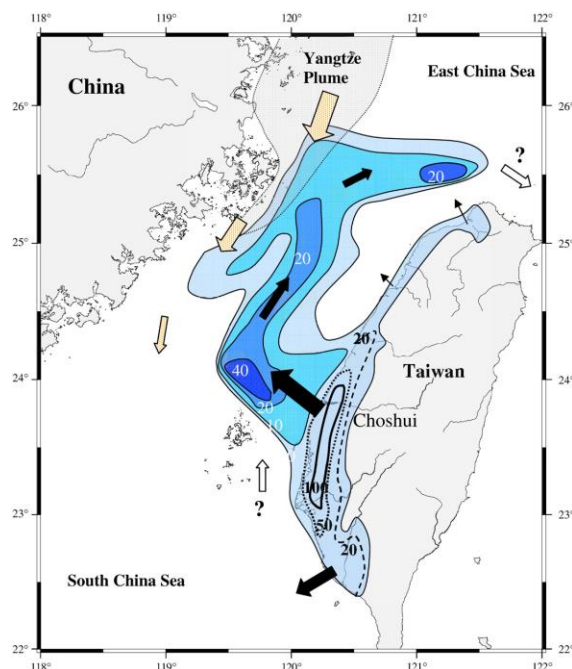
英文關鍵詞：shore-connected canyons, small mountain rivers, frequent earthquakes,
typhoons, ecosystem

摘要.....	2
一、前言.....	4
二、研究目的.....	5
三、文獻探討.....	6
3.1 台灣周圍海底峽谷與海岸相連.....	6
3.2 生物及地景多樣性.....	7
3.2 台灣西部河流沉積物往沖繩海槽傳輸路徑.....	7
四、研究方法及使用的資料.....	8
五、研究結果與討論.....	8
5.1 台灣周圍海底峽谷與海岸相連.....	8
5.2 生物及地景多樣性.....	10
5.3 河流沉積物往沖繩海槽傳輸路徑.....	10
參考文獻.....	11

一、前言

台灣西部大陸邊緣的沉積物供應來源，在上新世之前的沈積物主要由西側歐亞大陸供應，而在上新世之後，因菲律賓板塊與歐亞板塊弧陸碰撞，造山帶重壓歐亞板塊形成前陸盆地，沈積物供應方向轉為來自東側的造山帶(Chen et al., 2001; 黃旭燦, 2003; Chiang et al., 2004; Nagel et al., 2018)。台灣西南海域屬於初期碰撞造山帶的構造環境(Lin et al., 2009)，受到斜向弧陸碰撞的影響，主要的構造環境都是壓應力所形成的，上新世早期因為於台灣造山帶的生長擴大，沉積物在此造山帶上堆積形成構造沉積的環境。

台灣河川單位面積懸浮顆粒輸出通量名列世界前茅，每年懸浮顆粒輸出通量根據 Milliman and Meade (1983) 之計算約等於 $185 \times 10^6 \text{ ton / yr}$ 。根據台灣六大河川所計算之輸出通量竟然可以與美國最大河川密西西比河 (Mississippi River) 之年輸出量 ($210 \times 10^6 \text{ ton / yr}$) 相差不多。以從來源到沉降(source to sink)的角度看，台灣西部前陸盆地是一個活動板塊邊緣沉積物輸送系統的最佳研究場所。台灣造山帶周圍河流與海底峽谷的流域系統是前陸盆地沉積系統最重要的參數，因為流域系統決定盆地堆積、侵蝕與沉積物擴散空間分佈。大量造山帶沉積物堆積在台灣西部陸上及台灣海峽(圖一)，但目前的沉積物無法有效停留在台灣西南陸上與海域，使得盆地仍處於未充填(underfilled)狀態(Chiang et al., 2004; Nagel et al., 2018)，可能是因為西南海域存在很多海底峽谷將沉積物往南中國海輸送，以及經由海流往北傳輸到沖繩海槽(Nagel et al., 2018; Chiang et al., 2022)。陸上屏東平原的河流輸送以高屏溪為主，高屏溪搬運大量造山帶沉積物成為世界著名小山脈河流(Milliman and Syvitski, 1992; Dadson et al., 2003)，海上沉積物輸送的管道以高屏海底峽谷為主 (Liu and Lin, 2004; Yu et al., 2009; Liu et al., 2016; Chiang et al., 2020)，此為高屏溪-高屏海底峽谷系統構成台灣西南部最重要的沉積物輸送系統。



圖一、台灣海峽末次最大冰期(LGM)後的河流沉積物分佈的等高線(修改自 Liu 等人, 2008)。黑色箭頭代表台灣河流沉積物向台灣海峽的輸入後隨洋流向北傳輸。淺黃箭頭代表來自長江和其他大陸河流的輸入。問號(?)的空心箭頭表示未知的沉積物傳輸路徑。

在目前的高海面狀況下，台灣海峽海底沉積物主要由粉砂組成，其顆粒大小（細砂至中粉砂）主要由台灣西部河流所供應（Xu et al., 2009；Hsiung and Saito, 2017；Jin et al., 2021）。大部分沉積物被台灣暖流向北帶到台灣海峽北端，在陸棚上堆積 20 公尺厚的沉積堆積物（Liu et al., 2008；Hsiung and Saito, 2017）。此外，Hsiung and Saito (2017) 提出台灣西部河流沉積物通過台灣暖流向北輸送到東海陸棚，最後傳輸到達沖繩海槽南端。

Liu et al. (2008) 對台灣海峽末次最大冰期後的台灣海峽沉積物分佈和運輸進行了綜合研究（圖一）。Chen et al. (2017) 認為部分長江沉積物來源的沉積物被中國沿岸流向南攜帶，後隨向北流動的黑潮將台灣西部沉積物一起輸送到南沖繩海槽，但輸送的路徑及管道仍然不明。

在末次最大冰期（LGM）（約 2 萬年前），海水面比現在低 120 m，大多數海底峽谷的頭部靠近或連接海岸線或海岸，陸地沉積物可直接輸入海底峽谷並與河口的直接連接。隨後海水面相對上升 120 m，海岸線向陸遷移。結果導致大部分的海底峽谷的頭部不再靠近河口或與岸邊相連。由於缺乏陸地沉積物輸入，這些峽谷變得不活躍。世界上只有 4% 的海底峽谷到達海岸線及 3% 的海底峽谷與陸上河流直接相連並保持活躍（Harris and Whiteway, 2011; Bernhardt and Schwanghart, 2021）。在台灣海岸附近的 13 個海底峽谷中，有 7 個（ $n=7$, 54%）仍然與海岸相連，以及 5 條海底峽谷仍能與陸上河流相連（ $n=5$, 38%）。並且在目前相對高海面期間仍然活躍，此地質形貌可能為世界之最，此現象值得進一步研究。

海底峽谷是深切入大陸棚，連接陸上河流沉積物傳輸到深海的通道。海底峽谷除了傳輸大量陸緣沉積物，也可傳輸營養鹽和有機碳進入深水區域，深海底棲微型動物和大型動物群落可依賴而生存(Liao et al., 2017; Liao et al., 2020)。因此，一些切割陸棚的海底峽谷已被證明有利形成生物多樣性的區域。台灣西南海域高屏海底峽谷連接高屏溪，可傳輸極高的輸砂量，同時也可將營養鹽和有機碳傳輸到深海。峽谷的複雜地形特徵會影響水流、波浪、養分和其他海洋學參數。因此，高屏峽谷存在高度底棲生物的多樣性(Liao et al., 2017; Liao et al., 2020; Chiang and Yu, 2021)。

二、研究目的

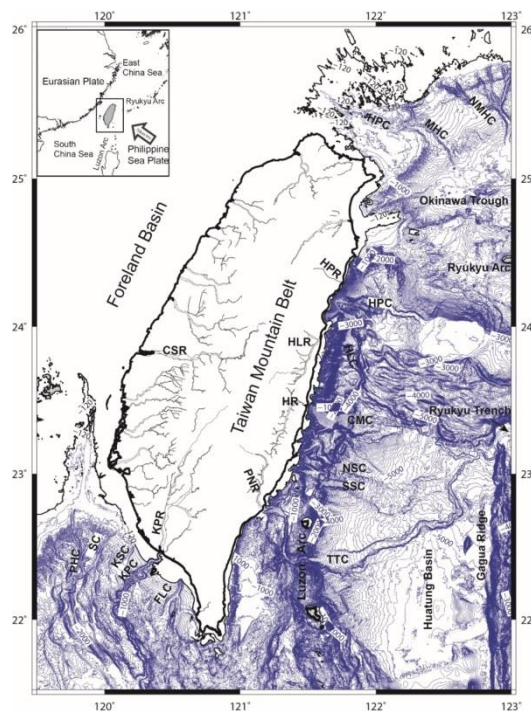
本年 109 年計畫主要探討在台灣海岸附近的 13 條海底峽谷中，有 7 條（ $n=7$, 54%）仍然與海岸相連，以及 5 條海底峽谷仍能與陸上河流相連（ $n=5$, 38%）。為什麼台灣的峽谷在目前的高位期間仍然活躍，而成為世界之最。其中台灣西南部連河的高屏海底峽谷，除了供應深海營養鹽，其地質形貌特殊，同時具有生物及地景多樣性(Geo-diversity)，值得進一步加以保護的區域。此外，台灣西部河流沉積物通過台灣暖流向北輸送到東海陸棚，是透過什麼路徑及管道傳輸到達沖繩海槽南端，也為本計畫的重點。本研究計畫因疫情影響，修改了原來部分計畫，加強研究台灣周圍峽谷自末次最大冰期來，陸上河流沉積物傳輸到深海的路徑之探討，在有限的研究經費下，完成最大研究成果效益。

三、文獻探討

3.1 台灣周圍海底峽谷與海岸相連

上一次末次最大冰期發生在大約 20,000 年前，之後海面上升了 120 m，導致現今大部分海岸線向陸遷移。大型陸棚區域被海水淹沒，一些峽谷已變得不活躍(Bernhardt and Schwanghart, 2021)。如果峽谷頭靠近海岸，則可以有效輸送陸地沉積物到海洋，使峽谷保持活躍。Bernhardt and Schwanghart (2021) 共調查世界海洋中的 4633 條峽谷頭部，其中 2765 條 (60%) 峽谷被歸類為斜坡峽谷，1702 條 (37%) 峽谷為切割陸棚峽谷，798 條 (17%) 峽谷歸成 120 m 等高線峽谷，只剩 183 條 (4%) 峽谷為海岸相連的峽谷。其中，120 米等高峽谷分佈於活動板塊邊緣和被動板塊邊緣，而與岸相連的峽谷則多分佈於主動大陸邊緣。活動板塊邊緣 ($n = 114$) 與被動板塊邊緣 ($n = 69$) 相比，有更多與海岸相連的峽谷。Bernhardt and Schwanghart (2021) 研究結果顯示，與海岸相連的峽谷往往發生在狹窄陡峭陸棚周圍，並且保持海岸連接的海底峽谷頭部位置常與構造隆起和抗侵蝕的基岩有關。此外，他們發現 798 條峽谷頭部到達 120 m 深度，120m 深度是末次最大冰期 (LGM) 海岸線，顯示當時海岸線與海底峽谷相連。此外 Bernhardt and Schwanghart (2021) 定義 6 公里以內為與岸相連的海底峽谷，共計全球共 183 條峽谷與海岸相連。他們的研究結果有助於了解與海岸相連的峽谷，特別是了解自 LGM 以來峽谷活躍的能力。Chiang et al. (2020) 研究台灣西南部的海底峽谷顯示，切割陸棚的峽谷相當盛行 (60%)，其特點是因為西南海域陸棚狹窄，沉積物供應豐富，造成這些峽谷目前仍然活躍。Harris and Whiteway (2011) 認為除了構造活躍、海水面變化和氣候等條件，都有利於切割陸棚峽谷及連河的海底峽谷發育。

台灣西南海域只有一處與岸相連的峽谷 (即高屏峽谷)，其餘峽谷為 120 m 等高線和斜坡限制型峽谷 (圖二)。在全新世海平面上升期間，廣闊的東海陸棚因缺乏直接陸地河流沉積物輸入，棉花峽谷和北棉花峽谷頭部水深保持在 120 m 水深位置，為 120 m 等高線的海底峽谷 (圖二)。對比之下，東台灣的六條峽谷接為與海岸相連的峽谷。圖三顯示，每條峽谷路徑從河口或海岸線開始，穿過狹窄的陸棚 (寬度小於 10 公里)，到達深海的花東海盆上。這六條峽谷的頭部接受了足夠的陸地沉積物輸入，儘管全新世海水面上升，仍能保持與岸相連與活躍(Chiang and Yu, 2022)。

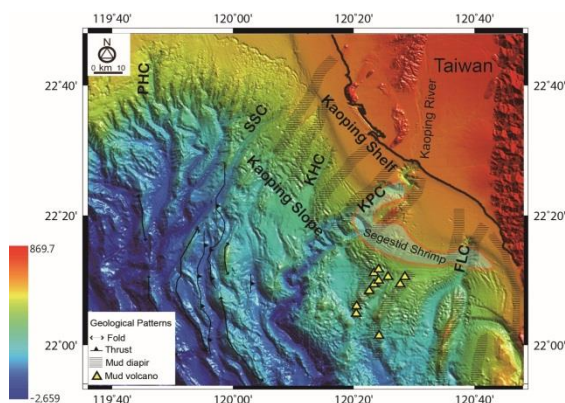


圖二、台灣島周圍海底峽谷及陸上河流分布圖。台灣近海 120 m 等深線的位置，顯示為上次 LGM 海岸線的位置。左上角的插圖顯示為台灣的地體構造環境。CSR：濁水溪；KPR：高屏溪；HPR：和平溪；HLR：花蓮溪；HR：秀庫瀾溪；PNR：卑南溪；PHC：澎湖峽谷；SSC：壽山峽谷；KHC：高雄峽谷；KPC：高屏峽谷；FLC：枋寮峽谷；HPC：花瓶水道；MC：棉花峽谷；NMC：北棉花峽谷；HPC：和平峽谷；HLC：花蓮峽谷；CMC：奇美峽谷；NSC：北三仙峽谷；SSC：南三仙峽谷；TTC：台東峽谷 (修改自 Chiang and Yu, 2022)

3.2 生物及地景多樣性

從源到匯沉積研究(source to sink)是著重小山脈河流中沉積物擴散的相關研究 (Liu et al., 2016; Hsiung et al., 2017; Nayak et al., 2021)。部分研究集中在海底峽谷的過程和沈積物輸送的路徑上，忽略台灣西南海域複雜地形及構造與生態的關聯，直到最近才更加關注台灣西南外海高屏海底峽谷的生態研究(圖三)。

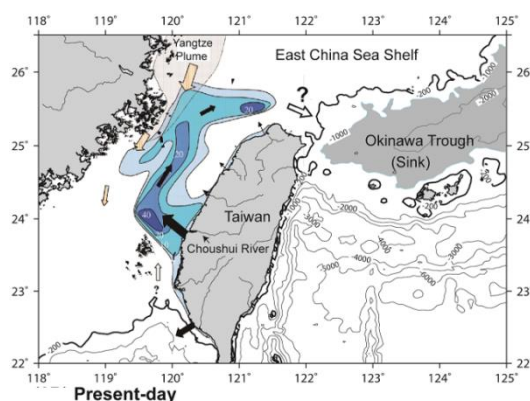
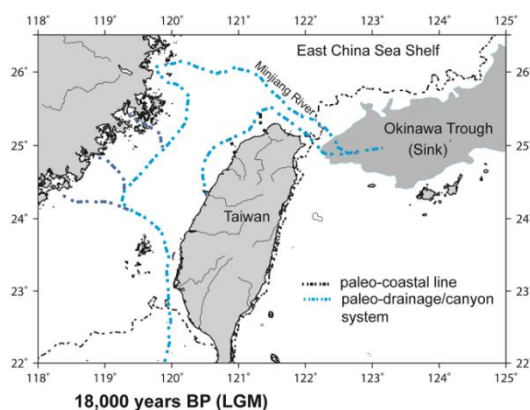
根據地景多樣性(Geo-diversity)定義，地景多樣性包括地質、地貌、土壤和水文特徵的自然範圍，例如岩石、礦物、化石、地貌、地形及物理過程(Gray, 2013)。此外，地景多樣性也包括棲息地開發和保護的物件及物理過程(Hjort et al., 2015)。地景多樣性是指地質遺址、地貌歷史，與地貌的組合、關係、性質、解釋和系統的多樣性(Thomas, 2012)。高屏峽谷區域可謂地景多樣性的熱點，同時也是生物多樣性的熱點。由於峽谷系統被劃分為彎曲、蜿蜒、平坦和傾斜的地貌，除溝壑和山谷外，底棲生物棲息地的多樣性也很高。地景多樣性的重要性不僅限於地質保護，它與生物多樣性的聯繫是根本性的(Chiang et al., 2021)。台灣周圍許多連河型峽谷，因為它們擁有豐富的生物多樣性需加以保護，並深入了解深海獨特的生態系統。



圖三、台灣西南海域的五條海底峽谷，地形複雜且具有地景多樣性，高屏陸棚相對狹窄。櫻花蝦分佈在高屏峽谷頭和枋寮峽谷頭之間。PHC：澎湖峽谷，SSC：壽山峽谷，KHC：高雄峽谷，KPC：高屏峽谷，FLC：枋寮峽谷。(修改自 Chiang and Yu, 2021)

3.3 台灣西部河流沉積物往沖繩海槽傳輸路徑

南沖繩海槽被認為是研究區域源到匯過程的理想場所，接收來自多個來源的豐富陸源沉積物，包括中國大陸的主要河流和台灣的小山脈河流 (Kao et al., 2003; Bentahila et al., 2008; Diekmann



et al., 2008; Liu et al., 2008; Dou et al., 2016; Li et al., 2016; Chen et al., 2017; Hsiung and Saito, 2017; Xu et al., 2019; Hu et al., 2020)。

Diekmann et al. (2008) 研究顯示沉積物來源，在 28 至 19.5 ka BP 之間南沖繩海槽持續增加從台灣來的沉積物，其中約 60% 來自台灣，30% 來自中國黃河，10% 來自長江。南沖繩海槽沉積速率非常高，為 0.10-0.95 cm/yr (Chung and Chang, 1995; Wei et al., 2005; Wei et al., 2006)。(Dou et al. (2016) 發現南沖繩海槽碎屑沉積物來源的發生明顯變化，自 9.5 ka BP 以來，台灣西部河流來源地沉積物已成為主要來源。此外，台灣西部河流沉積物通過台灣暖流向北輸送到東海陸棚，是透過什麼路徑及管道傳輸到達沖繩海槽南端一直無法解決(Liu et al., 2008; Hsiung and Saito, 2017)(圖四)。

圖四、上圖示 18,000 年前的海岸的位置，研究顯示來自台灣西北部流域和中國河流的沉積物經河流傳輸到沖繩海槽，古河流（岷江）從中國大陸古海岸穿過整個東海大陸棚，在大陸坡上與一個無名峽谷匯合，將陸地沉積物輸送到深海（Boggs et al., 1979）。下圖是現在相對高水面時期，來自台灣和中國大陸的陸源沉積物在東海陸棚上堆積，隨後被輸送到沖繩海槽，但路徑尚不清楚。

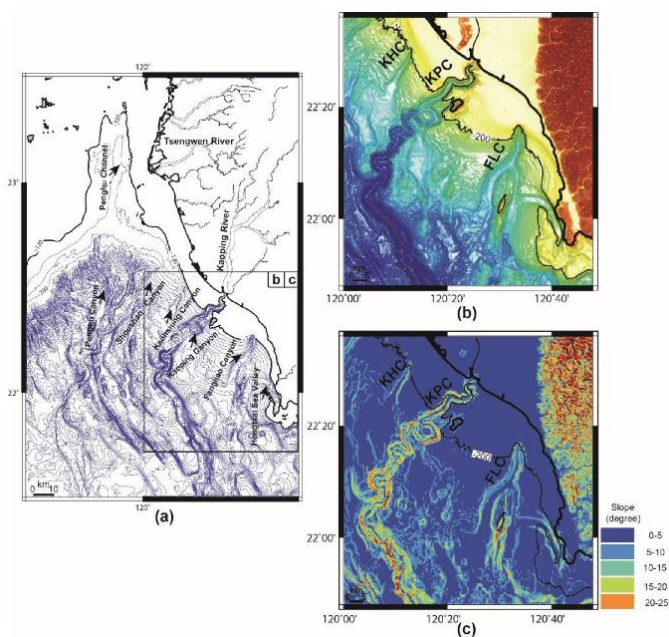
四、研究方法及使用的資料

Bernhardt and Schwanghart (2021) 共調查世界海洋中的 4633 條峽谷頭部，其中 2765 條（60%）峽谷被歸類為斜坡峽谷，1702 條（37%）峽谷為切割陸棚峽谷，798 條（17%）峽谷歸成 120 m 等高線峽谷，只剩 183 條（4%）峽谷為海岸相連的峽谷。震測地層的解釋除參考 1977 年 Vail 等人及 Mitchum 等人最早提出對震測相的分類與解釋。在峽谷變遷方面，我們參考 Pichevin et al.(2003)在法國外海義大利外海 Golo 海底峽谷的研究報告，該報告指出可利用海底階地的震測地層去瞭解過去海底峽谷的演化，存在連續強反射層震測相可解釋過去峽谷底部的遷移歷史，強反射層訊號為過去峽谷底部堆積粗顆粒的沉積物。本研究也參考 Babonneau et al.(2010)利用震測地層解釋非洲剛果海底水道之階地，推測台灣西南海域海底峽谷變遷的過程。參考 Baztan et al.(2005)軸部切割的震測相解釋，來了解上次 LGM 以來形成的峽谷軸部切割形貌的形成過程。

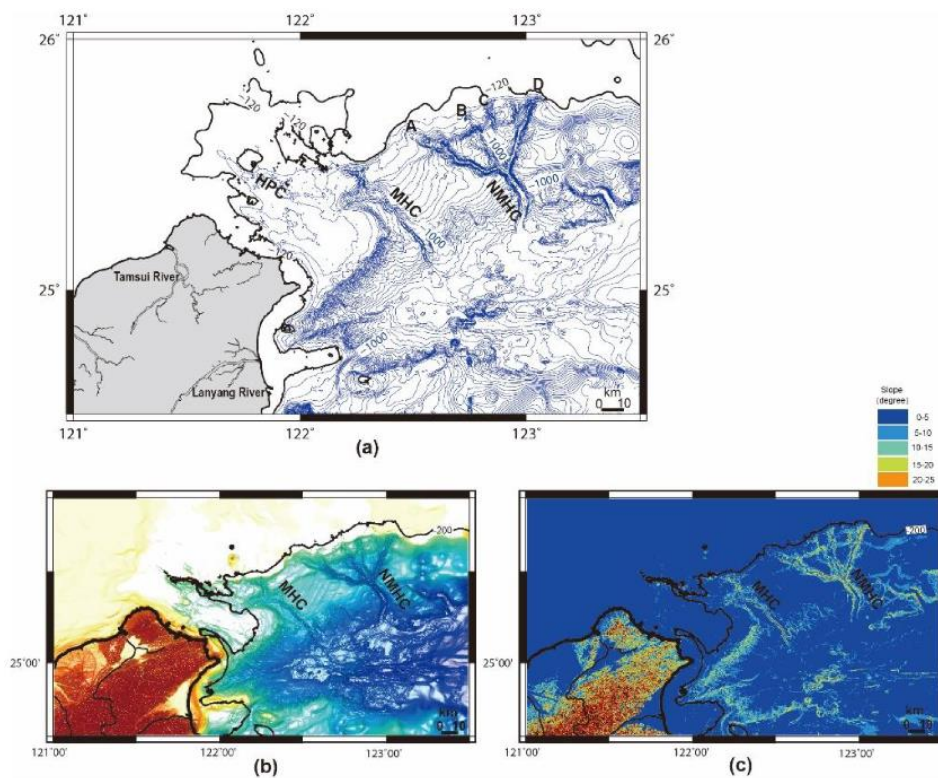
五、研究結果與討論

5.1 台灣周圍海底峽谷與海岸相連

台灣西南部海域存在一條與岸相連的高屏海底峽谷。其餘峽谷為 120 m 等高線和斜坡峽谷。高屏溪具有高輸砂量（49 MT/yr），導致大量泥砂輸送到高屏峽谷的源頭。台灣西南海域只有一條與岸相連的海底峽谷，為什麼相鄰的高雄和枋寮峽谷沒有向陸侵蝕越過窄高屏陸棚（<20 公里）到達海岸線？首先，台灣西南沿海平原多為高屏溪流域。這裡沒有其他主要河流發育（圖五）。因此，高雄峽谷和枋寮峽谷的頭部並沒有與陸上河流相連。因此，這兩條峽谷沒有獲得直接陸地沉積物輸入的供應，並且它們的頭部沒有侵蝕切穿窄陸棚。其次，高屏溪 80% 以上的沉積物直接輸送到高屏峽谷，不到 20% 沉積物堆積在高屏陸棚上，導致高屏陸棚沉積物供應量有限。



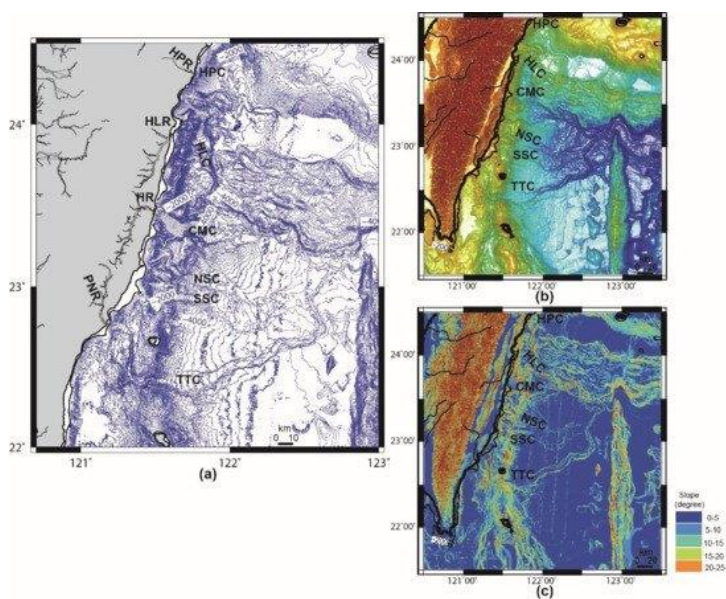
圖五、(a) 台灣西南外部海底峽谷及河流分布圖，峽谷頭部相對 120 m 深度等深線的輪廓。(b) 台灣西南部的陰影地形圖。(c) 台灣西南部坡度圖，陸棚的特徵是坡度在 0 到 5 度之間。



圖六、(a) 台灣東北部海底峽谷及河流分布圖，峽谷頭部鄰近 120 m 深度等深線。(b) 台灣東北海域的陰影地形圖。(c) 台灣東北海域的坡度圖，陸棚的特徵是坡度在 0 到 5 度之間，地勢相當平緩

台灣東北海域都是 120 m 等高線峽谷(圖六)。由於在全新世海面上升，陸地河流沉積物管道被截斷，棉花峽谷和北棉花峽谷的頭部被限制在 120 m 等深線深度。值得一提的是，這兩條峽谷仍有能力將沉積物沿峽谷輸送到沖繩海槽，但棉花和北棉花峽谷在向陸和向水侵蝕方面並不活躍，它們可通過局部海流或濁流沿峽谷路線輸送沉積物到沖繩海槽 (Chiang et al., 2022)。

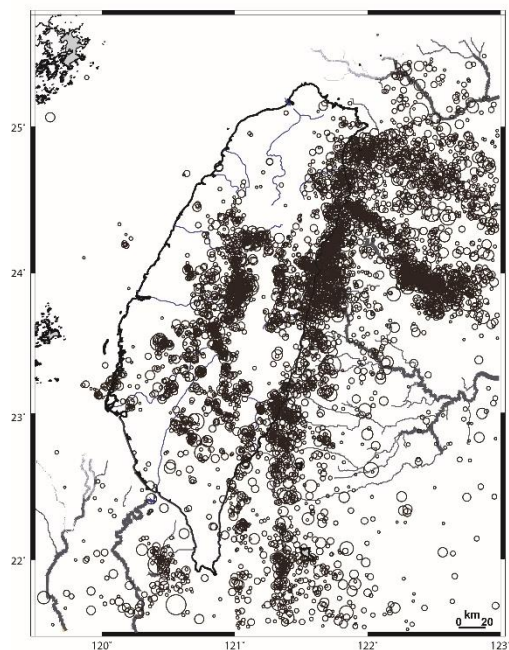
研究結果顯示，台灣東部的特點是與岸相連的峽谷（圖七）和狹窄（<10 公里）和陡峭（>5°）的陸棚。在這個陸棚之外，上斜坡顯示出陡峭的梯度（15 到 20°），並被樹枝狀峽谷切割（圖七）。



圖七、(a) 台灣東部海底峽谷及河流分布圖，峽谷頭部相對 120 m 深度等深線的輪廓。(b) 台灣東部海域的陰影地形圖。(c) 台灣東部海域的坡度圖，陸棚的特徵是坡度約在 5 到 20 度之間，地勢相當陡峭。

台灣東部陸棚斜坡區的地震頻發是由歐亞大陸邊緣與呂宋島弧的斜向碰撞引起的，此區域是台灣最密集的與岸相連的峽谷分布(圖八)。2006 年屏東地震和 2009 年颱風莫拉克洪水進入峽谷，導致高屏峽谷產生

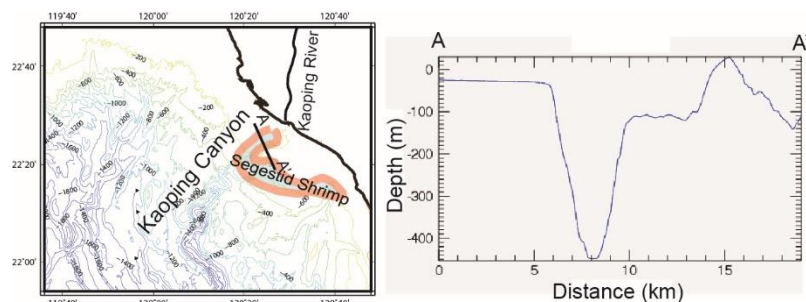
濁流。Gavey (2017) 指出，在規模 Mw 3.0 到 7.1 的地震可引發高屏峽谷的濁流。相較之下，台灣東部海域地震頻繁，更有利發育出連河及與岸相連的海底峽谷(圖八)。



圖八、台灣地區地震分布（中央氣象局數據，2012）。台灣東部邊緣的特點是地震事件頻繁，同時也是發育最多與岸相連的海底峽谷。

5.2 生物及地景多樣性

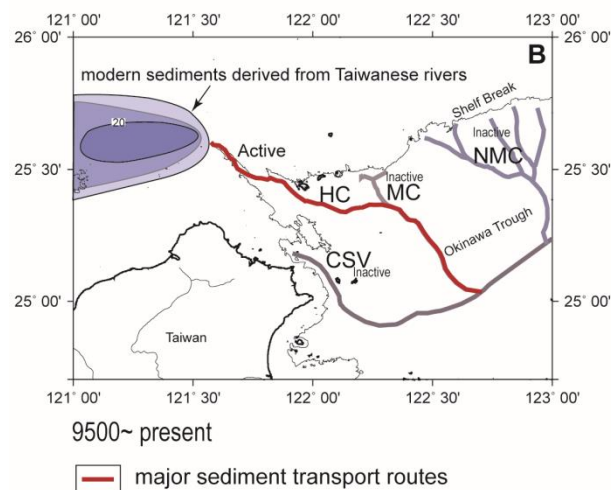
高屏峽谷具有獨特的環境條件，包括小高山河流的高輸砂量、極端氣候條件和地震引發的濁流、強大的內部潮汐以及快速的底流。洪水時，高屏峽谷頭部附近接受沉積物進入峽谷，這可能是櫻花蝦遷徙的一個重要因素。根據 Omori et al.(1988)的研究結果，日本的櫻花蝦主要分布於河口沿岸及相對封閉的海灣地區。高屏峽谷周圍屬開放海域，但高屏海底峽谷的地形呈封閉或半封閉的（圖九），可能適合櫻花蝦生長。



圖九、櫻花蝦分布於高屏峽谷與枋寮峽谷的頭部區預。水深剖面顯示的高屏峽谷頭部的地形。峽谷寬度約 9 公里，坡度 7°（剖面 A-A'）。值得注意的是，峽谷壁地形陡峭複雜呈現半封閉區域，可能適合櫻花蝦生長。

5.3 沉積物往沖繩海槽傳輸路徑

觀察形貌/沉積和震測相特徵使我們推測，花瓶嶼水道/棉花峽谷系統可為輸送到沖繩海槽的重要沈積物管道，傳輸來自台灣西部的河流沉積物輸送到沖繩海槽。陸棚上的河流沉積物可能受重力驅動流入花瓶嶼水道頭部。重力流可以傳輸水道內鬆散的沉積物往深水運送，甚至造成侵蝕水道形貌。在相對高海水面時期，傳輸沉積物進入棉花峽谷，最終傳送到沖繩海槽。該水道/峽谷系統的形貌沉積特徵，可能推測自上次低海水面時期以來，寬廣的東海陸棚的區域沉積物向沖繩海槽擴散的方式(圖十)。



圖十、9500 BP 到現在的陸棚沉積物輸送到沖繩海槽。在目前的相對高海水面期間，陸棚沉積物的局部沉積中心持續輸入花瓶嶼水道並傳輸到棉花峽谷，該水道/峽谷系統積極地將沉積物通過此系統輸送到沖繩海槽。

參考文獻

- Babonneau, N., Savoye, B., Cremer, M., Bez, M., 2010. Sedimentary Architecture in Meanders of a Submarine Channel: Detailed Study of the Present Congo Turbidite Channel (Zaiango Project). *Journal of Sedimentary Research*, 80, 852–866.
- Baztan, J., Berné, S., Olivet, J.-L., Rabineau, M., Aslanian, D., Gaudin, M., 2005. Axial Incision: The Key to Understand Submarine Canyon Evolution (In the Western Gulf of Lion). *Mar. Pet. Geology*, 22, 805–826.
- Bentahila, Y., Ben Othman, D., Luck, J.M., 2008. Strontium, Lead and Zinc Isotopes in marine Cores as Tracers of Sedimentary Provenance: A Case Study Around Taiwan Orogen. *Chem. Geology*, 248, 62–82.
- Bernhardt, A., Melnick, D., Jara-Muñoz, J., Argandoña, B., González, J., Strecker, M. R., 2015. Controls on Submarine Canyon Activity during Sea-Level Highstands: The Biobío Canyon System Offshore Chile. *Geosphere* 11, 1226–1255.
- Bernhardt, A.; Schwanghart, W., 2021. Where and why do submarine canyons remain connected to the shore during sea-level rise? Insights from global topographic analysis and Bayesian regression. *Geophys. Res. Lett.*, 48, e2020GL092234.
- Boggs, S. J., Wang, W. C., Lewis, F. S., Chen, J. C., 1979. Sediment Properties and Water Characteristics of the Taiwan Shelf and Slope. *Acta Oceanogr Taiwanica* 10, 10–49.
- Chen, W.S., Ridgway, K. D., Horng, C.S., Chen, Y.G., Shea, K.S., Yeh, M.G., 2001. Stratigraphic architecture, magnetostratigraphy, and incised valley systems of the Pliocene–Pleistocene collisional marine foreland basin of Taiwan. *GSA Bulletin*, 113(10), 1249–1271.
- Chen, C.T. A., Kandasamy, S., Chang, Y.P., Bai, Y., He, X., Lu, J.T., Gao, X., 2017. Geochemical Evidence of the Indirect Pathway of Terrestrial Particulate Material Transport to the Okinawa Trough. *Quat. Int.* 441, 51–61.
- Chiang, C.S., Yu, H.S., Chou, Y.W., 2004. Characteristics of the wedge-top depozone of the southern Taiwan foreland basin system. *Basin Research*, 16, 65–78.
- Chiang, C.S., Hsiung, K.H., Yu, Y.S., Chen, S.C., 2020. Three types of modern submarine canyons on the tectonically active continental margin offshore southwestern Taiwan. *Mar. Geophys. Res.*, 41, 4.

- Chiang, C.S., Yu, H.S., 2021. Morphological Significance and Relation of Ecosystems of Submarine Canyons off SW Taiwan. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(11), 1296.
- Chiang, C.S., Yu, H.S., 2022. Controls of submarine canyons connected to shore during the LGM sea-level rise: examples from Taiwan. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10, 464.
- Chiang, C.S., Yu, H.S., Noda, A., TuZino, T., 2022. The Huapinghsu Channel/Mienhua Canyon System as a Sediment Conduit Transporting Sediments from Offshore North Taiwan to the Southern Okinawa Trough. *Frontiers in Earth Science*, 9, 792595.
- Chung, Y., and Chang, W. C., 1995. Pb-210 Fluxes and Sedimentation Rates on the Lower Continental Slope between Taiwan and the South Okinawa Trough. *Continental Shelf Res.* 15, 149–164.
- Dadson, S.J., Hovius, N., Chen, H., Dade, W.B., Hsieh, M.L., Willett, S.D., Hu, J.C., Horng, M.J., Chen, M.C., Stark, C.P., Lague, D., Lin, J.C., 2003. Links between erosion, runoff variability and seismicity in the Taiwan Orogen. *Nature*, 426, 648–651.
- Diekmann, B., Hofmann, J., Henrich, R., Fütterer, D. K., Röhl, U., Wei, K.Y., 2008. Detrital Sediment Supply in the Southern Okinawa Trough and its Relation to Sea-Level and Kuroshio Dynamics during the Late Quaternary. *Mar. Geology*. 255, 83–95.
- Dou, Y., Yang, S., Shi, X., Clift, P. D., Liu, S., Liu, J., 2016. Provenance Weathering and Erosion Records in Southern Okinawa Trough Sediments since 28 Ka: Geochemical and Sr-Nd-Pb Isotopic Evidences. *Chem. Geology*. 425, 93–109.
- Gavey, R., Carter, L., Liu, J.T., Talling, P.J., Hsu, R., Pope, E., Evans, G., 2017. Frequent sediment density flows during 2006 to 2015, triggered by competing seismic and weather events: observations from subsea cable breaks off southern Taiwan. *Mar. Geol.*, 384, 147–158.
- Gray, M., 2013. *Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature*, 2nd ed.; Wiley Blackwell: Chichester, UK.
- Hjort, J., Gordon, J.E., Gray, M., Hunter, M.L., 2015. Why geodiversity matters in valuing nature's stage. *Biol. Conserv.*, 29, 630–639.
- Harris, P.T.; Whiteway, T., 2011. Global distribution of large submarine canyons: Geomorphic differences between active and passive continental margins. *Mar. Geol.*, 285, 69–86.
- Hsiung, K.-H., Saito, Y., 2017. Sediment Trapping in Deltas of Small Mountainous Rivers of Southwestern Taiwan and its Influence on East China Sea Sedimentation. *Quat. Int.* 455, 30–44.
- Jin, L., Shan, X., Shi, X., Fonnesu, M., Qiao, S., Kandasamy, S., Wang, H., Liu, S., Fang, X., Zou, X., 2021. Hybrid Event Beds Generated by Erosional Bulking of Modern Hyperpycnal Flows on the Choshui River delta Front, Taiwan Strait. *Sedimentology* 68, 2500–2522.
- Liao, J.X., Chen, G.M., Chiou, M.D., Jan, S., Wei, C.L., 2017. Internal tides affect benthic community structure in an energetic submarine canyon off SW Taiwan. *Deep Sea Res. I Oceanogr. Res. Pap.* 2017, 125, 147–160.
- Liao, J.X., Wei, C.L., Yasuhara, M., 2020. Species and Functional Diversity of Deep-Sea Nematodes in a High Energy Submarine Canyon. *Front. Mar. Sci.*, 7, 591.
- Lin, A.T., Yao, B., Hsu, S.K., Liu, C.S., Huang, C.Y., 2009. Tectonic features of the incipient arc-continent collision zone of Taiwan: Implications for seismicity. *Tectonophysics*, 479, 28–42.
- Liu, J. T. and Lin, H. L., 2004. Sediment dynamics in a submarine canyon: a case of river-sea interaction. *Marine Geology*, 207: 55–81.
- Liu J.P., Liu, C.S., Xu, K.H., Milliman, J.D., Chiu, J.K., Kao, S.J., Lin, S.W., 2008. Flux and fate of small mountainous rivers derived sediments into the Taiwan Strait. *Marine Geology*, 256:65–76.

- Liu, J.T., Hsu, R.T., Hung, J.J., Chang, Y.P., Wang, Y.H., Rendle-Bühning, R.H., Lee, C.L., Huh, C.A., Yang, R.J., 2016. From the highest to the deepest: The gaoping river-gaoping submarine canyon dispersal system, *Earth Science Reviews*, doi: 10.1016/j.earscirev.2015.10.012.
- Milliman, J. D. Syvtiski, J. P. M., 1992. Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountainous rivers. *J. Geol.*, 100: 525-544.
- Nagel, S., Granjeon, D., Willett, S., Lin, A.T., Castelltort, S., 2018. Stratigraphic modeling of the Western Taiwan foreland basin: sediment flux from a growing mountain range and tectonic implications, *Marine and Petroleum Geology*, 96, 331–347.
- Nayak, K., Lin, A.T., Huang, K.F., Liu, Z., Babonneau, N., Ratzov, G., Pillutla, R.K., Das, P., Hsu, S.K., 2021. Clay-mineral distribution in recent deep-sea sediments around Taiwan: Implications for sediment dispersal processes. *Tectonophysics* 2021, 814, 228974.
- Omori, M.; Ukishima, Y.; Muranaka, F., 1988. New record of occurrence of *Sergia lucens* (Hansen) (Crustacea, Sergestidae) off Tung-kang, Taiwan, with special reference to phylogeny and distribution of the species. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 44, 261–267.
- Pichevin, L., Mulder, T., Savoye, B., Gervais, A., Cremer, M., Piper, D. J. W., 2003. The Golo submarine turbidite system (east Corsica margin): morphology and processes of terrace formation from high-resolution seismic reflection profiles. *Geo-Marine Letters* 23, 117–124.
- Thomas, M., 2021. A geomorphological approach to geodiversity—Its applications to geoconservation and geotourism. *Quaest. Geogr.*, 31, 81–89.
- Vail, P. R., Todd, R. G., and Sangree, J. B., 1977, *Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level: Part 5. Chronostratigraphic Significance of Seismic Reflections: Section 2. Application of Seismic Reflection Configuration to Stratigraphic Interpretation: Seismic Stratigraphy--Applications to Hydrocarbon Exploration*. AAPG Memoir 26, 99-116.
- Wei, K. Y., Mii, H. S., Huang, C. Y., 2005. Age Model and Oxygen Isotope Stratigraphy of Site ODP1202 in the Southern Okinawa Trough, Northwestern Pacific. *Terr, Atmos. Ocean Sci.* 16, 1–17.
- Wei, G., Li, X.-H., Liu, Y., Shao, L., Liang, X., 2006. Geochemical Record of Chemical Weathering and Monsoon Climate Change since the Early Miocene in the South China Sea. *Paleoceanography* 21, PA4214.
- Xu, Z., Lim, D., Li, T., Kim, S., Jung, H., Wan, S., Chang, F., Cai, M., 2019. REEs and Sr-Nd Isotope Variations in a 20 Ky-Sediment Core from the Middle Okinawa Trough, East China Sea: An In-Depth Provenance Analysis of Siliciclastic Components. *Mar. Geology*. 415, 105970.
- 黃旭燦，2003。台灣中南部褶皺逆衝斷層帶地質構造特徵分析。國立中央大學地球物理研究所博士論文。

科技部補助專題研究計畫成果彙整表

計畫主持人：蔣正興			計畫編號：109-2116-M-178 -003 -		
計畫名稱：台灣西南部陸上與海洋的海底峽谷之構造形貌對比					
成果項目			量化	單位	質化 (*通訊作者)
國內	學術性論文	期刊論文	5	篇	1. <u>Chiang, C.S.*</u> , Yu, H.S. (2022, Apr). Controls of submarine canyons connected to shore during the LGM sea-level rise: examples from Taiwan. <i>Journal of Marine Science and Engineering</i> , 10, 464. (SCI) 2. <u>Chiang, C.S.*</u> , Yu, H.S., Noda, A., TuZino, T. (2022, Feb). The Huapinghsu Channel/Mienhua Canyon System as a Sediment Conduit Transporting Sediments from Offshore North Taiwan to the Southern Okinawa Trough. <i>Frontiers in Earth Science</i> , 9,792595. (SCI) 3. Chu, T.M., Huang, W.J., Lin, T.Y., Lu, S.T., Liu, Y.C., <u>Chiang, C.S.*</u> , Chang, Y.H. (2021, Dec). Benefits of defining geological sensitive zones in the mitigation of disasters along earthquake fault zones in Taiwan - The case of Milun Fault. <i>Journal of Disaster Research</i> , 16 (8), 1257-1264. (EI). 4. <u>Chiang, C.S.*</u> , Yu, H.S. (2021, Nov). Morphological Significance and Relation of Ecosystems of Submarine Canyons off SW Taiwan. <i>Journal of Marine Science and Engineering</i> , 9(11), 1296. (SCI, 6/16,ENGINEERING, MARINE). 5. <u>Chiang, C.S.*</u> , Chu, T.M., Chou, W.H., Lee, S.H., Wang, J.F. (2021, Feb). Challenges in the Preservation of Disaster Remains-Example of the Chelungpu Fault Preservation Park. <i>Journal of Disaster Research</i> , Vol.16 (2), 201-209. https://doi.org/10.20965/jdr.2021.p0201 . (EI).
		研討會論文			
		專書		本	請附專書資訊。
		專書論文		章	請附專書論文資訊。
		技術報告		篇	
		其他		篇	
		國外	學術性論文	期刊論文	
研討會論文					
專書				本	請附專書資訊。
專書論文				章	請附專書論文資訊。

		技術報告		篇	
		其他		篇	
參與計畫人力	本國籍	大專生		人次	請填寫依「科技部補助專題研究計畫約用研究人力注意事項」所實際約用專任、兼任人員。
		碩士生			
		博士生			
		專任人員(博士級)			
		專任人員(非博士級)			
	非本國籍	大專生			
		碩士生			
		博士生			
		專任人員(博士級)			
		專任人員(非博士級)			
其他成果					
(無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)					

科技部補助專題研究計畫成果自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現（簡要敘述成果是否具有政策應用參考價值及具影響公共利益之重大發現）或其他有關價值等，作一綜合評估。

1.請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

■達成目標

☐未達成目標（請說明，以 100 字為限）

☐實驗失敗

☐因故實驗中斷

☐其他原因說明：

2.研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形（請於其他欄註明專利及技轉之證號、合約、申請及洽談等詳細資訊）論文：■已發表 ☐未發表之文稿 ☐撰寫中 ☐無專利：☐已獲得 ☐申請中 ■無技轉：☐已技轉 ☐洽談中 ■無其他：

本研究計畫共發表五篇(SCI, EI)期刊論文，計畫主持人皆為通訊作者。

3.請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性，以 500 字為限）

本研究首次探索自末次最大冰期（LGM）（約 2 萬年前）以來，台灣附近的海底峽谷演化。世界上只有 4% 的海底峽谷到達海岸線及 3% 的海底峽谷仍能與陸上河流相連並保持活躍。在台灣附近的 13 個海底峽谷中，我們研究結果顯示有 7 條海底峽谷（ $n=7, 54\%$ ）仍然與海岸相連，以及 5 條海底峽谷仍能與陸上河流相連（ $n=5, 38\%$ ）。並且在目前的高位期間仍然活躍。本研究結果顯示台灣的海底峽谷自 LGM 以來能仍能海岸相連的關鍵控制因素，由於台灣山區隆起速率高、海岸帶狹窄、坡度陡峭、地震頻率高、颱風次數高、沉積物供應大等因素，導致大量沉積物被輸送到周圍的深海。在台灣東部邊緣的大地震帶中，與岸相連的峽谷數量較多，頻繁的地震事件是台灣地區出現與岸相連峽谷的另一個重要因素。海底峽谷除了可以成為沉積物的傳輸通道以外，連河的高屏海底峽谷可以接受到大量的營養鹽，在海底峽谷頭部，海水隨著地形可能會造成湧升流或著是內潮，在海水劇烈攪動之下，加上來自陸源沉積物帶來的營養鹽，可以讓深海峽谷頭引來許多浮游生物，甚至浮游生物則引來櫻花蝦在此聚居。

4.主要發現本研究具有政策應用參考價值：■否 □是，建議提
供機關

（勾選「是」者，請列舉建議可提供施政參考之業務主管機關）本研究具
影響公共利益之重大發現：■否 □是 說明：（以 150 字為限）

世界上只有 4% 的海底峽谷到達海岸線及 3% 的海底峽谷仍能與陸上河流相連
並保持活躍。在台灣附近卻有 7 條海底峽谷（n=7, 54%）目前仍能與海岸
相連，以及 5 條海底峽谷仍能與陸上河流相連(n=5, 38%)，實為世界之最。連
河的海底峽谷可以輸送大量的營養鹽到深海，可供應深海的底棲生物所需，易
形成特殊的生態系統，值得繼續深入研究。