

「宿命」計畫：台灣本土「從源到匯」 (Source-to Sink)的研究簡介

中山大學海洋地質及化學研究所 劉祖乾 洪佳章 林慧玲
中央研究院地球科學研究所 扈治安
中山大學海洋環境及工程系 李宗霖

一、前言

「宿命」計畫是「高屏河-海輸運系統中陸源物質宿命的整合研究」(Fate of Terrestrial Substances in Kaoping Submarine Canyon, FATES-KP)大型計畫的簡稱。本研究計畫之主要目的為探討高屏溪、高屏陸棚、和高屏海底峽谷所構成的河-海輸運系統中陸源物質的來源、傳輸、沈降、堆積、侵蝕和搬運有關的各種物理和生地化作用。計畫的第一期(1st phase)自 2003 年開始，當時只有三個子計畫，由於研究目標極具科學意義，因此逐年有新的研究主題（子計畫）加入，到了第三年總共有九個子計畫。參與研究的同仁除了子計畫的主持人外，還包含了與「宿命」計畫策略聯盟的其他研究人員，分別來自中山大學、成功大學、台灣大學、修平技術學院、澎湖科技大學和中央研究院等學術單位。

本研究計畫主要的資料獲取的方法為兩大類型：第一種類型為定點的連續觀測，包括在河口、近岸地區佈放的底錠式的儀器四腳架，和沈積物收集器串列等自記式儀器觀測平台。第二種類型為不定點空間觀測，包括使用機動膠筏、漁船、和國內研究船海研一、三號進行水樣、海底表層底泥與沈積物岩心的採集、變頻式聲納、和水文剖面及 ADCP 的探測。現場觀測和採樣作業的策略包括：一、不同區域觀測和採樣點在時間上的同步性(synopticity)；二、環境營力(forcings)和反應(responses)的同步觀測以便確立兩者間的因果關聯性(causality)；三、增強由不同性質參數所得數據之間的相關性(correlation)。

本計畫第一期之研究成果非常豐碩，將發表在 Journal of Marine Systems (SCI 期刊) 所發行之主題為 'Fate of Terrestrial Substances on the Kaoping Shelf and in the Kaoping Submarine

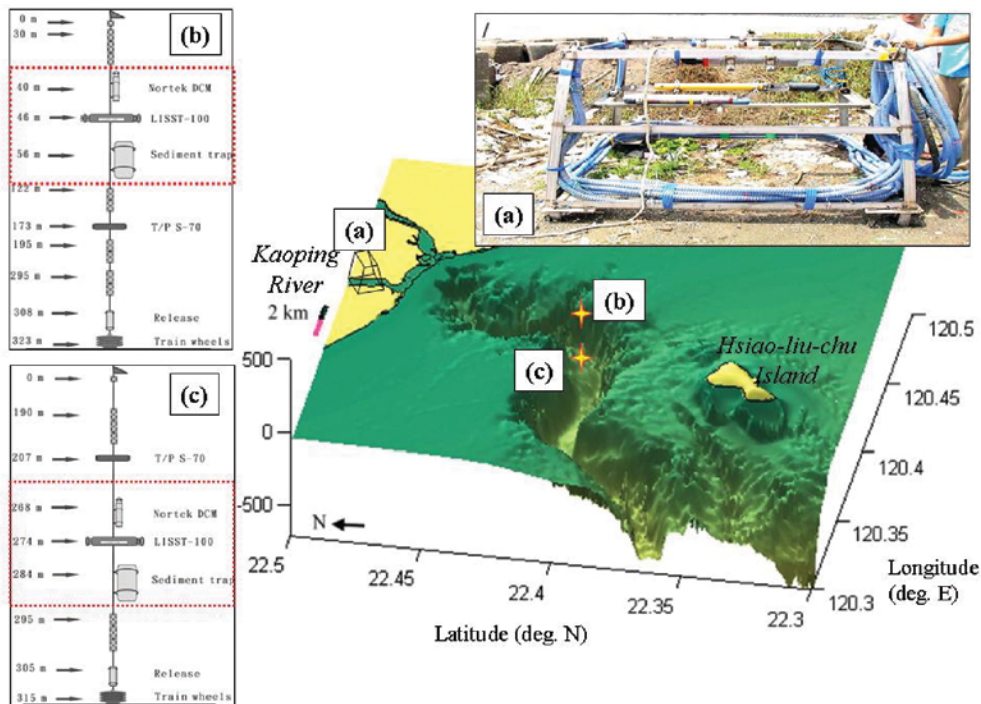
Canyon (FATES-KP) off Southwestern Taiwan' 的專刊中。本文將其中科學議題之主軸簡要地介紹如下。

二、簡介「宿命」科學議題的主軸

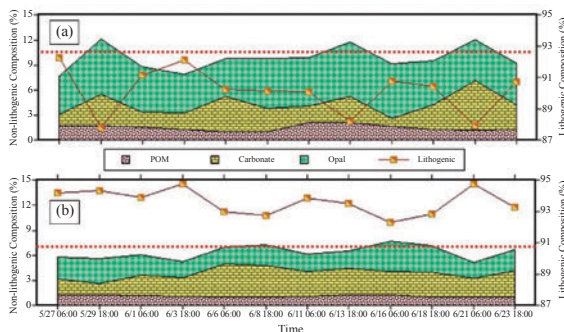
在 2004 年 5 月 25 至 6 月 25 日（高屏溪的豐水期）進行了一次高屏河-海輸運系統(system-wide)的綜合(comprehensive)觀測，其中包含了在高屏溪河口佈放一底錠式的儀器四腳架，和在高屏海底峽谷頭部區佈放之兩組沈積物收集器串列（圖一）。本次的觀測結果顯示潮汐（全日潮及半日潮）是把高屏溪輸出之懸浮沈積物在高屏陸棚上擴散和在海底峽谷中搬運的主要營力。高屏溪輸出之粗顆粒的物質（粒徑大於細砂）會在 1 至 3 小時內沈降至海底峽谷頭部的底層，這和 2002 年觀測的結果類似[1]。

沈積物收集器樣本分析結果顯示在峽谷上層和下層收集到的懸浮顆粒有明顯的陸源-非陸源信號的差異，例如代表非陸源(非碎屑性)的三種物質（圖二）在峽谷上層的百分比就比在峽谷底層的百分比高。其他非碎屑性物質例如多環芳香族烴(PAH)、TOC 等的含量也是在峽谷上層高於底層。同時，懸浮顆粒之碳同位素($\delta^{13}\text{C}$)和氮同位素($\delta^{15}\text{N}$)的分析結果顯示靠近峽谷底層的懸浮顆粒以陸源信號為主（圖三），而峽谷上方的懸浮顆粒因為來源的多樣性（陸源、海源、及當地生物源）而無明顯之陸源-非陸源的區別（圖三）。從 POC/PIC 的比值上也可以看出在峽谷靠底層的懸浮顆粒因有機質含量較低、使得此比值在峽谷上層多高於峽谷底層。

跟據 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 所測定的沈積速率顯示沿著高屏峽谷主軸的沈積屬於 non-steady state 的型態，和峽谷外的陸棚、陸坡區域迥然不同。在陸棚和陸坡區沈積速率大致呈由陸地往外海遞減

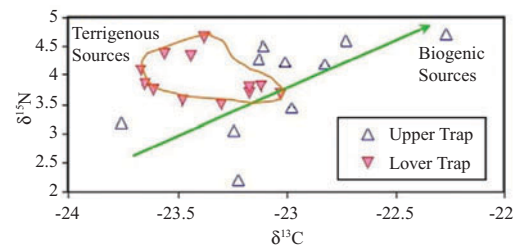


圖一 高屏海底峽谷頭部地區之三維海底地形圖並顯示 2004 年在高屏溪河口同步佈放一底錠式的儀器四腳架包含了上視之 ADCP, CTD 加上濁度計（兩層）、現場懸浮顆粒總體積濃度和平均粒徑觀測儀，和採水管之進水口(a)；以及在高屏海底峽谷頭部區佈放之峽谷上層沈積物收集器串列(b)和峽谷近底層沈積物收集器串列(c)的示意圖。每組沈積物收集器串主要的儀器配置（紅色方塊所示）包含了單點式聲波海流儀、雷射現場粒徑觀測儀、和沉積物收集器。



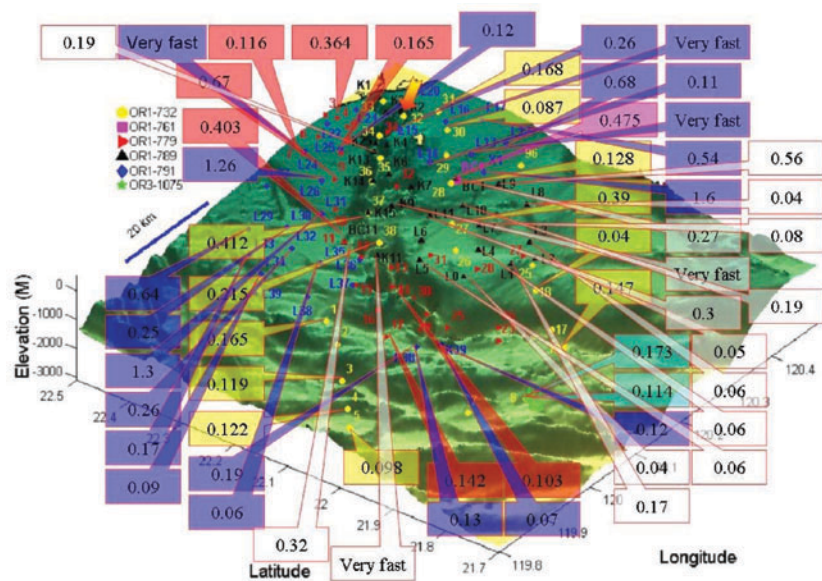
圖二 峽谷上層(a)和下層(b)沈積物收集器收集到的三種代表非陸源（非碎屑性）的物質：有機顆粒，碳酸鹽，生物性的蛋白石的累積百分比和碎屑性顆粒的百分比。

的趨勢（圖四）。由於地層的擾動，常常使得所獲取的岩心標本所量的 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 活度無法對岩心深度值產生指數衰減，因此無法求得沈積速率。就以海研三號 732 航次 32 號岩心的岩心資料為例，此岩心的位置就在 2004 年沈積物收集器串列的下方（圖四）、靠近高屏海底峽谷的頭部。此根岩心表層沈積物的碎屑性和非碎屑性的百

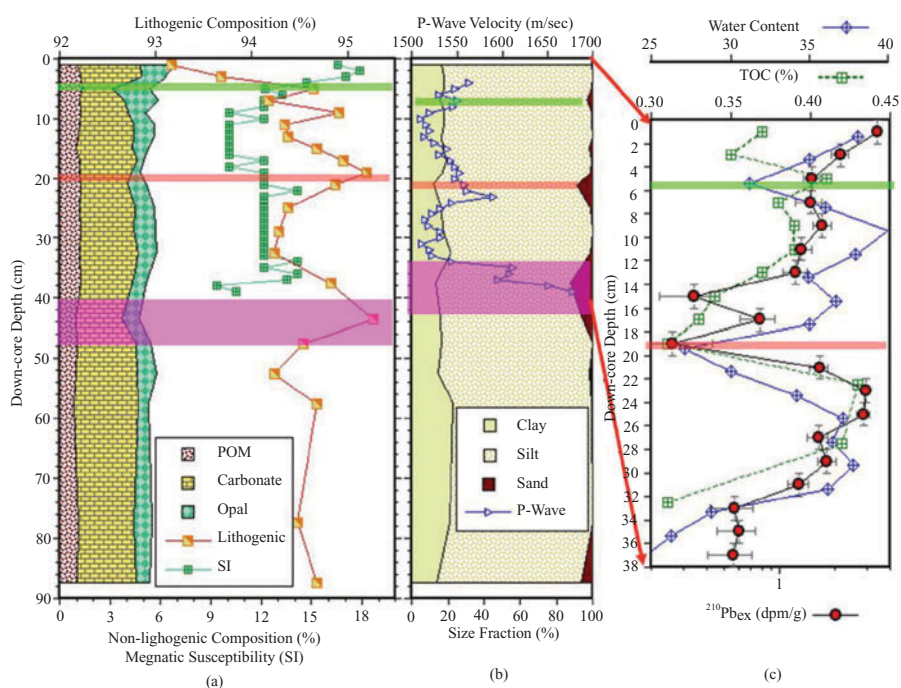


圖三 沈積物收集器收集之懸浮顆之碳同位素 ($\delta^{13}\text{C}$) 和氮同位素 ($\delta^{15}\text{N}$) 的分析結果。

分比組成（圖五(a)）以及其粒徑的組成（圖五(b)）和下層沈積物收集器所收集的顆粒樣本類似（圖二）、顯示峽谷海底表層的沈積物主要是峽谷水層中的顆粒沉降所形成。當吾人對比前述的岩心資料和岩心上層 38 公分的含水量、TOC 和 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的活度（圖五(c)）時、發現在距離岩心表層約 5、19、40-50 公分處有三個「異常」層，其特徵為碎屑性含量增加、砂的百分比增加，而 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的活度、TOC 和含水量減少。此三層所代表的是特殊的沈積事件如海底濁流或兩側峽谷壁沉積物崩塌所形成的地層的「擾動」，而此種



圖四 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 所測定的沈積速率(cm/yr)套畫在本研究區域三維的海底地形圖上。圖中不同航次的岩心用不同的顏色加以區分，每一數字即為該岩心所在位置之沈積速率。圖中之箭頭所指即位海研三號 732 航次岩心 32 號（圖五）的站位，亦為 2004 年沈積物收集器錨錠佈放的地點。



圖五 海研三號 732 航次岩心 32 的岩心資料，包括(a)三種非碎屑性和碎屑性物質的百分比和磁感率；(b)三種粒徑大小(clay, silt, sand)的累積百分比和 p-wave 速度；(c)岩心上層 38 公分的含水量、TOC、 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的活度

擾動應是由比背景沈積物還老(低 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的活度、TOC 和含水量)的陸棚或峽谷內的沈積物再堆積所形成的。在 2002 年颱風納克莉侵襲台灣時[2]觀測到在高屏海底峽谷的底層有一向外海的高濃度懸浮顆粒傳輸(down-canyon flushing)事

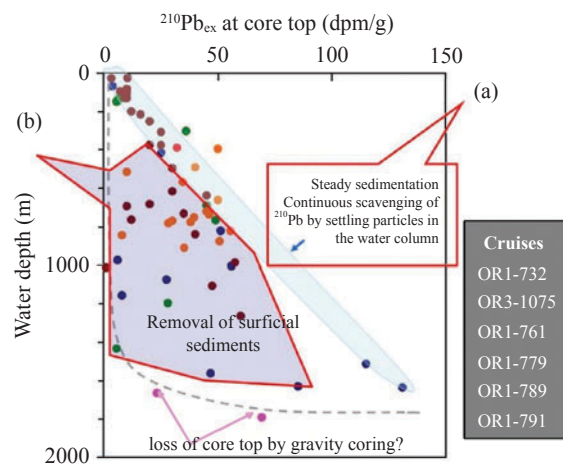
件，此種事件很可能引起濁流而形成上述之地層「擾動」。此種「擾動」地層除了在海底峽谷的岩心中時有所見、在高屏陸棚上所採的岩心中，也有類似記錄。從初步的地球化學分析和物理營力(如波浪的再懸浮和河流沖淡水等)的對比顯

示，這些「擾動」層的形成和颱風的侵襲有很高的相關性。

吾人將岩心最上層沈積物的 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 和岩心所在的水深作圖後發現海底峽谷區和陸棚、陸坡區呈現兩種全然不同的沈積環境(regimes)。在陸棚、陸坡區 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的活度和水深成相當明顯的線性相關(圖六(a))。這是因為陸棚、陸坡區為穩定的沈積環境，顆粒的沈降和堆積為地層形成的主要機制。而因海底峽谷區較為 dynamic，常有與海底濁流或兩側峽谷壁沉積物崩塌有關的侵蝕及沉積作用發生，因此使得海底表層沈積物的 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 值較低(較老)。

三、國際知名度

在 2006 年 2 月 American Geophysical Union 於美國夏威夷舉辦的海洋科學會議(AGU Ocean Science Meeting)中「宿命」的總計畫主持人劉祖乾和美國 MARGINS 計畫中 Source-to-Sink 的重要成員 John Milliman and Steve Kuehl 共同主持了一個以「Fate and Transport of Fluvial Discharge on Continental Margins」為主題的特別議題組(special session)。此特別議題組一共有 60 篇論文發表，其中台灣的第一作者有 16 篇，包含有 11 篇來自 FATES 的成員。在 24 篇口頭報告中，FATES 團隊佔了四分之一。FATES 團隊在此次重要的國際會議中，成功的展現了台灣在「宿命」研究上的研究能力和初步的成果。2006 年 8 月第十七屆國際沈積學會在日本福岡舉行，其中大會中有一個名為 Integrated Strata Analysis 的 special symposium，邀請「宿命」的總計畫主持人劉祖乾做專題學術報告，題目為：「From suspended sediment to strata: the fate of terrestrial substances in the Kaoping Submarine Canyon off southern Taiwan (FATES-KP)」。此 special symposium 的主辦人員告向劉祖乾表示，FATES 研



圖六 Core top $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的活度對岩心所在位置作圖。線性關係好的岩心主要位於陸棚、陸坡區(a)，而位於海底峽谷區岩心的 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 的活度較前者為低(b)。

究計畫是目前世界上少數成功的融合海洋學和沈積學研究的大型研究計畫，因此相當受到國際沈積學界的重視。

四、未來展望

「宿命」計畫現在即將進入第二期(2nd phase)，研究主題為「陸源和非陸源物質在弧陸碰撞板塊邊緣中之宿命的整合研究」(Fate and Transport of Terrestrial/Non-terrestrial Substances in a Collision Margin of Arc and Continent, FATES-COMARC)，希望國內學界先進們就您們的專長、不吝指教。

參考文獻

- [1] J.T. Liu and H.-L. Lin, *Marine Geology*, **207**, 55 (2004).
- [2] J.T. Liu, H.-L. Lin and J.-J. Hung, *Deep Sea Research I*, **53**, 223 (2006).