

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

子計畫三：南中國海河口三角洲及陸棚沉積物之硫酸鹽還原 作用與有機碳埋藏(I)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2621-Z-002-027-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣大學海洋研究所

計畫主持人：林曉武

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 12 月 8 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫

成果報告

東南亞河川流域及海洋之碳循環 - 子計畫三：

南中國海河口三角洲及陸棚沉積物之硫酸鹽還原作用與有

機碳埋藏(I)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC 92-2621-Z-002-027

執行期間：2003 年 8 月 1 日至 2004 年 7 月 31 日

計畫主持人：林曉武

共同主持人：

計畫參與人員：謝一之、林裕程

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：完整報告

執行單位：國立台灣大學海洋研究所

中華民國 2004 年 7 月 31 日

東南亞河川流域及海洋之碳循環 - 子計畫三： 南中國海河口三角洲及陸棚沉積物之硫酸鹽還原作用與有機碳埋藏(I)

執行單位：國立台灣大學海洋研究所

計畫編號：NSC 92-2621-Z-002-027

計畫主持人：林曉武

研究人員：謝一之、林裕程

E-mail：swlin@ntu.edu.tw

中文摘要

珠江是中國大陸重要的河川之一，其亦是南海北部陸棚及陸坡區主要陸源沉積物來源。故本研究目的是藉由分析珠江外海陸棚及陸沉積物中金屬鋁、鐵、錳、鋅、銅、鉛、鎘七種元素及有機碳與碳酸鈣含量，探討南海北部海域陸棚及陸坡地區沉積物之空間分佈變化，並進一步探討影響本研究區域金屬空間分佈變化的主要控制因子。

研究結果顯示珠江為此區域最主要之陸源沉積物之來源。沉積物金屬與有機碳之含量皆以珠江口與三角洲處為高值出現之區域，而其他多數陸棚區域則沉積物金屬與有機碳含量皆偏低，顯示陸源沉積物多未沉降於絕大多數之陸棚上。多數金屬與有機碳含量自珠江口向南延伸至陸坡區域，顯示珠江正向南傳輸其沉積物並延伸傳輸到陸坡區域。研究區域沉積物主要來源包括陸源黏土礦物與海源碳酸鈣殼體。沉積物顆粒大小組成控制了金屬含量的變化。河川沉積物金屬含量異常偏高可能是受珠江下游區域之城市與工業區污染所導致。Diagenesis 亦是控制此區域金屬含量變化之主要因素之一。部份沉積物因有機碳含量偏高，故其金屬含量亦偏高。此研究區域位於東沙群島附近有金屬異常偏高的情況。

Abstract

Understanding terrigenous organic carbon and other terrigenous material burial in the marine environment is important in evaluating fate of terrigenous material transport to the ocean. Pearl river is a primary source of terrigenous material entering the South China Sea. Very few data is currently available in evaluating fate of terrigenous from the Pearl River to the South China Sea. The purpose of this research is to investigate burial of organic carbon and inorganic metals associate with aluminosilicate in the Pearl River Delta, shelf and slope region. Sediments were collected inside the Pearl River, and in the Delta, shelf and slope region. Organic carbon, carbonate carbon, metals (aluminum, iron, manganese, zinc, copper, lead, cadmium) were determined.

The result demonstrated that organic carbon, aluminum silicate and associated metals from the Pearl river are the most important terrigenous materials entering the northern

South China Sea. High concentrations of organic carbon, and metals related to aluminosilicate were found in the Pearl River Delta and adjacent shelf region, and rapidly decreased away from the Delta. However, an elongate shape of higher concentrations of organic carbon and metals related to aluminosilicate were found from the delta extending southward to the slope region while other shelf regions showed very low concentrations. Evidently, terrigenous organic carbon and aluminum silicates are actively transported from the Pearl River Delta to the slope. Organic carbon and metals associated with aluminum silicate showed very good linear correlations with respect to the aluminum concentrations, indicating a diluting effect from the coarse-grained quartz sand.

The extent of terrigenous materials deposited on the Pearl River Delta and shelf region seemed to be very limited. Most terrigenous materials are likely to deposit on the Delta and shelf only, probably a major fraction of terrigenous materials were actively transported to the slope region.

一、前言

珠江是中國大陸重要的河川之一，其流域範圍約為 45 萬平方公里，僅次長江及黃河。珠江每年向南海輸出 80.5 百萬噸的沉積物 (Zhang and Liu, 2002)。河川上游的岩石經風化後被河水沖刷並攜帶至中、下游，且最終輸出至河口及外海。這些母岩礦石中的金屬及中、下游都市工業所排放的金屬廢污水皆經由河川的懸浮顆粒一同輸出至大海中並沉積進入沉積物體系中。這些金屬在海洋沉積物中的分佈變化不僅受到輸入來源差異的影響，也會因不同的金屬元素本身的化學性質不同而有所不同。此外，沉積物的組成及顆粒大小等亦會影響金屬在海洋沉積物中的分佈 (Lin et al., 2002)。因此，珠江所輸出的大量懸浮顆粒對南海北部海域，珠江外海陸棚及陸坡沉積物金屬的分佈扮演著非常重要的角色。

故本研究之目的將藉由分析珠江外海陸棚及陸沉積物中金屬鋁、鐵、錳、鋅、銅、鉛、鎘七種元素及有機碳與碳酸鈣含量，探討南海北部海域陸棚及陸坡地區沉積物之空間分佈變化，並進一步探討影響本研究區域金屬空間分佈變化的主要控制因子。本研究因經費缺乏限制之因素，硫酸鹽還原速率與沈降通量之分析工作將於下年度執行。

二、方法

本研究使用海研一號研究船 ORI-695 及海研三號研究船 ORIII-896 航次進行樣品採集工作，共採集了 78 個測站(含舊有樣品)的沉積物。採樣研究區域橫跨北緯 19~23.5 度，東經 112~119 度的南海北部海域陸棚及陸坡範圍 (圖一)。

沉積物樣品的採集工作是利用箱型及重力沉積物採集器來進行。沉積物採集器將沉積物樣品採集至甲板後，立即將沉積物樣品於研究船上的實驗室中以塑膠刀分切，每 2 公分取一樣品，20 公分深以下每隔 5 公分取一樣品，切割分裝至 PE 塑膠離心管後，冷凍帶回陸上實驗室處理。沉積物樣品帶回陸上實驗室後，

先稱取濕重及濕體積後，再以冷凍乾燥機（Labconco Freeze-dryer）乾燥 7 天，去除水份後，量測乾重，計算其含水量。乾燥後之沉積物樣品以瑪瑙研鉢研磨均質化後，將樣品以沉積物研磨機研磨成粉末狀，並置入 PE 塑膠瓶中保存直至分析。沉積物樣品處理流程列於圖二。

本研究分析項目包括沉積物金屬（鋁、鐵、錳、鋅、銅、鉛、鎘）有機碳及碳酸鈣含量分析。

1. 沉積物重金屬之分析方法

沉積物金屬之消化是以微波總消化法進行（Kokto et al., 1992）。取約 0.25g 乾燥且研磨均勻的沉積物樣品置入微波消化瓶內，加入 2.5ml 消化酸液（濃硝酸：濃氫氟酸 = 5：2）後，將其置入微波消化器（CEM microwave, MDS-2000）中進行第一階段消化 35 分鐘，冷卻後取出消化瓶置入 10ml 硼酸（4% w/w），再將消化瓶重新置入微波消化器中進行第二階段消化 23 分鐘，待其壓力減退冷卻後，加入 7.5ml 去離子水稀釋（Milli-Q, ~18 μ S/cm）後，將消化液取出置入 PE 塑膠瓶中，直待測定之。經處理後的樣品金屬溶液皆以原子吸收光譜儀分析；其中鋁、鐵、錳及鋅元素是以火焰式（flame）原子吸收光譜儀（PE-3300）分析，而銅、鉛及鎘元素則是以石墨式（graphite）原子吸收光譜儀（Hitachi Z-5700）分析。消化後之樣品以 0.1N 硝酸作為稀釋溶液，將樣品稀釋成不同的稀釋倍數來進行分析，其中鉛以標準添加法（standard addition method）分析，其他元素則以檢量線法（calibration curve method）分析。

2. 沉積物總碳及有機碳含量分析

a. 總碳含量分析步驟

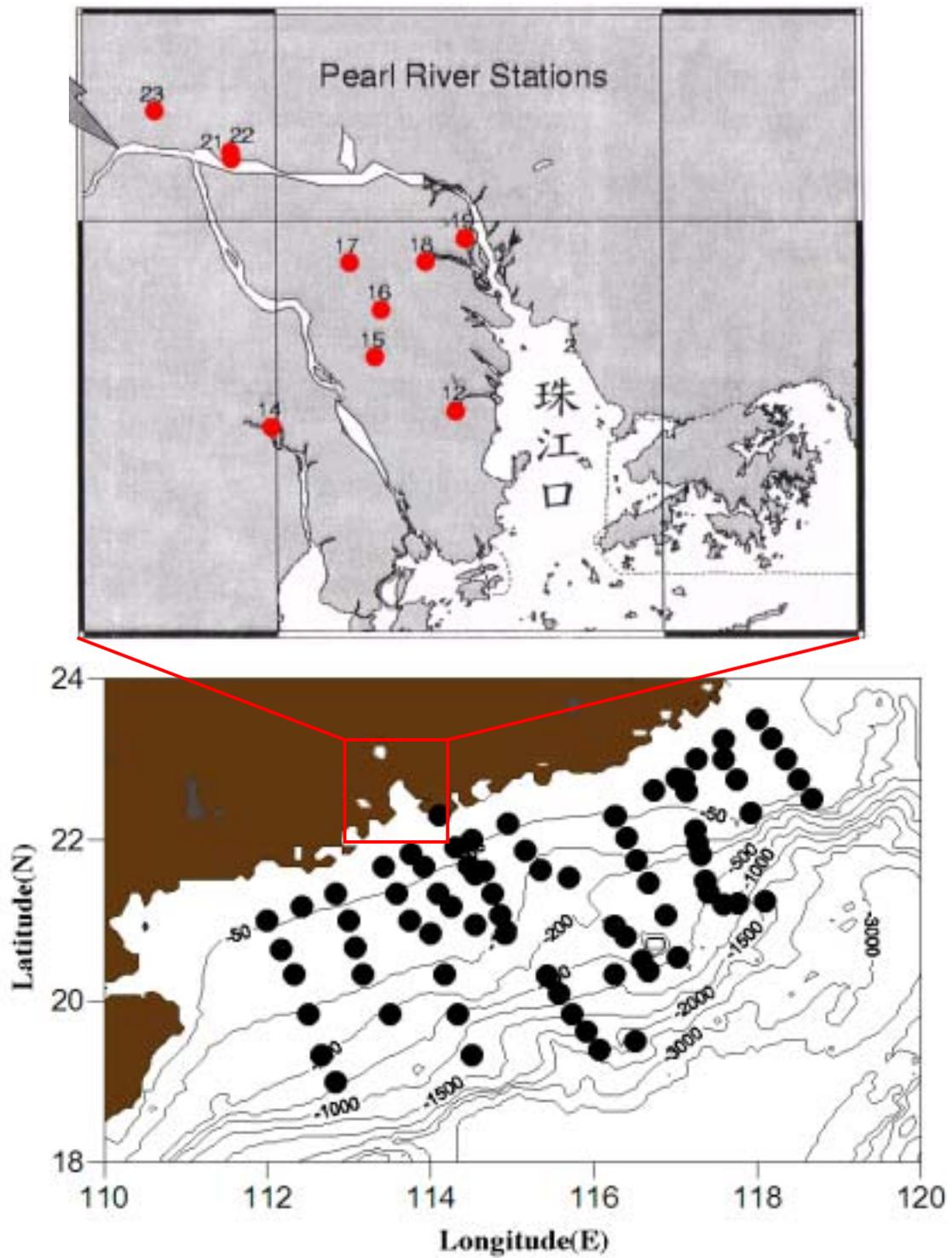
總碳含量是使用 LECO SC-444 碳硫分析儀分析，取已乾燥研磨後的沉積物約 0.25g，放入陶製燒船後，以推桿將燃燒船置入碳硫分析儀燃燒室，在高溫 1350 $^{\circ}$ C 下燃燒產生之二氧化碳利用紅外線偵測器測定，並以 LECO 標準樣品（0.84 \pm 0.03%）加以校正定量之。

b. 有機碳含量分析步驟

取已乾燥研磨後的沉積物約 3g，置於 PE 離心管後，加入 40ml 的 2N 鹽酸，以去除無機碳（CaCO₃），浸泡 6 小時後，以離心機（4000rpm）離心 15 分鐘將上層酸液丟棄，再將去離子水注入離心管至 50ml，並使去離子水和沉積物充分混合，再以離心機離心，重複相同步驟四次，將酸液洗淨。洗淨後的樣品置入冷凍乾燥機中乾燥 3 天，並將乾燥後的樣品稱重並儲存於小塑膠瓶中備用。之後同總碳含量分析步驟進行分析。

c. 碳酸鈣含量分析方法

碳酸鈣含量是將總碳含量減去有機碳含量，經換算即得碳酸鈣含量。



圖一、珠江與其外海陸棚及陸坡沉積物採樣位置圖



圖二、沉積物樣品處理流程圖

三、結果

1. 鋁 (圖三(a))

珠江外海陸棚及陸坡表層沉積物鋁含量呈現明顯的空間分佈變化，其含量介於 0.33~9.1%之間，平均值為 $4.0\pm 2.4\%$ 。鋁含量以珠江口最高，平均含量高達 8%以上；而以南海東北陸棚區最低，平均含量不超過 2%。珠江口外海表層沉積物的鋁含量隨著離珠江口距離越遠呈現扇形狀往外降低的趨勢，從珠江口的 8%下降至外部陸棚的 4%以下。隨後進入陸坡區後，鋁含量又開始上升至 6%。在東沙群島外之表層沉積物鋁含量普遍低於 3%以下。在東沙群島以東之陸坡地區表層沉積物鋁含量則隨水深的增加呈現遞增的趨勢。在珠江口以西的海域沉積物鋁含量則只有 4%以下。

2. 鐵 (圖三(b))

珠江外海陸棚及陸坡表層沉積物鐵含量亦呈現明顯的空間分佈變化，其含量介於 0.24~10%之間，平均值為 $2.5\pm 1.8\%$ 。鐵含量與鋁含量空間分佈變化有所不同，鐵含量以東沙群島最高，而仍以南海東北陸棚區最低，平均含量不超過 1%。珠江口外海表層沉積物鐵含量平均為 3%且往外呈遞減的趨勢。鐵含量於中部陸棚出現極小值，隨後往外部陸棚及陸坡地區增加。在珠江口以西的海域沉積物鐵含量則只有 2%以下。

3. 錳 (圖三(c))

珠江外海陸棚及陸坡表層沉積物錳含量差異非常大，其含量介於 79~15000 $\mu\text{g/g}$ 之間，陸棚地區平均為 $326\pm 151\mu\text{g/g}$ ；陸坡地區平均為 $2110\pm 3390\mu\text{g/g}$ 。珠江口外海表層沉積物錳含量約為 600 $\mu\text{g/g}$ 左右，中部及外部陸棚地區則平均不超 400 $\mu\text{g/g}$ 。陸坡地區表層沉積物錳含量隨水深的增加呈現遞增的趨勢，並出現錳含量超過 12000 $\mu\text{g/g}$ 的超高濃度。

4. 鋅 (圖三(d))

珠江外海陸棚及陸坡表層沉積物鋅含量呈現明顯的空間分佈變化，其含量介於 0.32~150 $\mu\text{g/g}$ 之間，平均值為 $54.2\pm 34.4\mu\text{g/g}$ 。鋅含量以南海東北陸坡區最高，含量可高達 120 $\mu\text{g/g}$ 以上；而以南海東北陸棚區最低，平均含量不超過 30 $\mu\text{g/g}$ 。珠江口外海表層沉積物鋅含量約為 90 $\mu\text{g/g}$ 左右，且與鋁金屬分佈相似呈現扇形狀往外降低的趨勢。在珠江口以西及中外部陸棚海域沉積物鋅含量則低於 45%。表層沉積物鋅含量明顯由外部陸棚往陸坡區呈現遞增的趨勢，隨水深的增加呈現遞增的現象。在東沙群島附近則出現鋅含量高低變化急劇的情況。

5. 銅 (圖三(e))

珠江外海陸棚及陸坡表層沉積物銅含量差異非常大，其含量介於 0.26~51.3 $\mu\text{g/g}$ 之間，陸棚地區平均為 $5.77\pm 4.82\mu\text{g/g}$ ；陸坡地區平均為 $19.1\pm 15.3\mu\text{g/g}$ 。珠江口外海表層沉積物銅含量由 20 $\mu\text{g/g}$ 往外遞減，中部及外部陸棚銅含量平均不超過 10 $\mu\text{g/g}$ 以上。南海東北陸棚區銅含量更低於 5 $\mu\text{g/g}$ 以下。陸坡地區表層沉積物銅含量隨水深增加則呈現遞增的趨勢，並於鋁、錳高

值區，銅含量亦出現 40 $\mu\text{g/g}$ 以上的高值。

6. 鉛 (圖三(f))

珠江外海陸棚及陸坡表層沉積物鉛含量以東沙群島周圍最高，珠江口則次之。鉛含量介於 1.88~127 $\mu\text{g/g}$ 之間，平均值為 17.6 \pm 15.0 $\mu\text{g/g}$ 。東沙群島周圍沉積物鉛含量可高達 100 $\mu\text{g/g}$ 以上，而南海東北陸棚區鉛含量則低於 10 $\mu\text{g/g}$ 以下。珠江口外海沉積物鉛含量約為 40 $\mu\text{g/g}$ ，並離珠江口距離越遠其含量則呈遞減的趨勢。除了東沙群島及珠江口外，在中部及外部陸棚，甚至是陸坡地區鉛含量普遍介於 15~20 $\mu\text{g/g}$ 之間。

7. 鎘 (圖三(g))

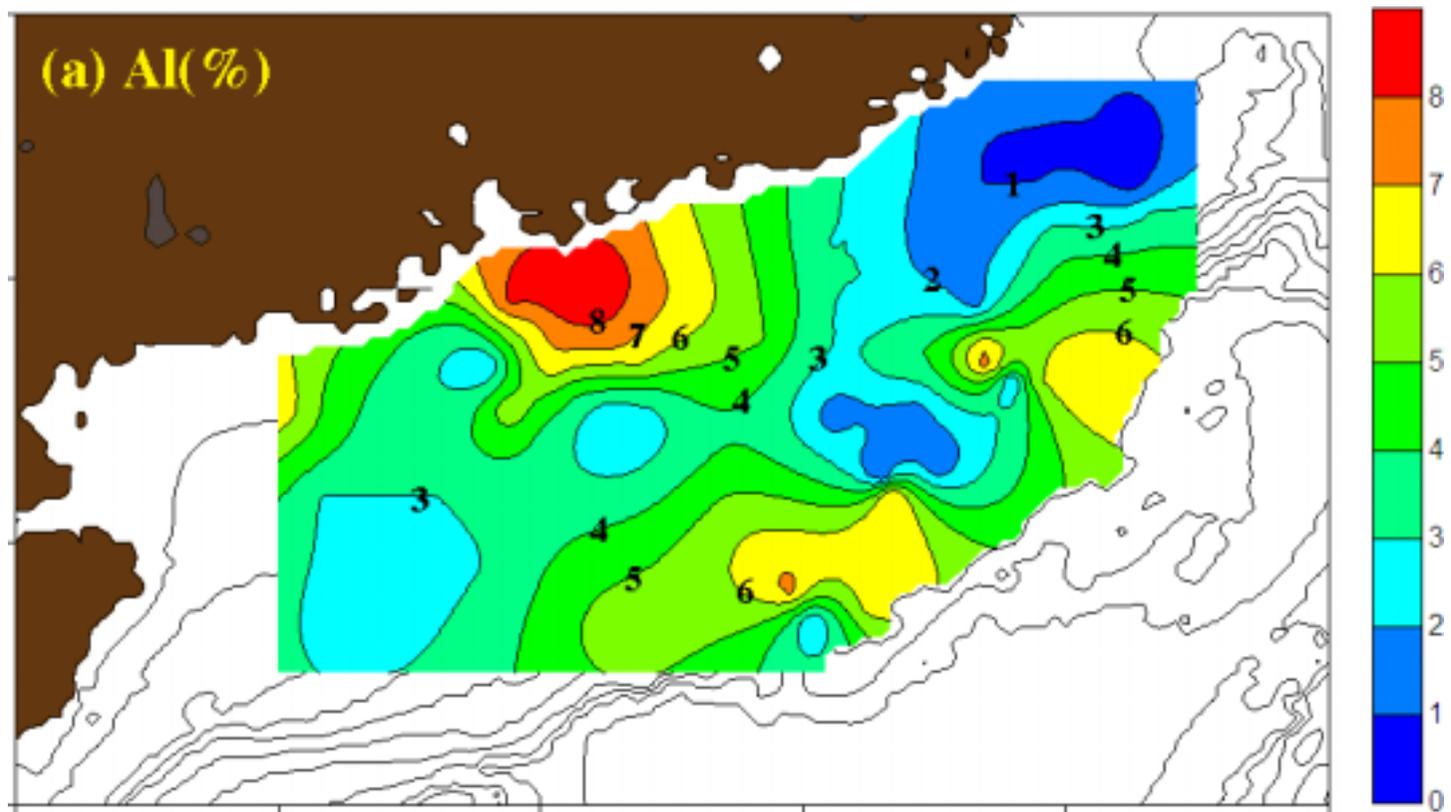
珠江外海陸棚及陸坡表層沉積物鎘含量於陸棚地區普遍較低，含量皆低於 0.1 $\mu\text{g/g}$ 以下。鎘含量較高的區域在東沙群島及其以南的陸坡海域。在東沙群島表層沉積物鎘含量可高達 0.6 $\mu\text{g/g}$ 的高值，而東沙群島南方的陸坡地區鎘含量亦超過 0.2 $\mu\text{g/g}$ 以上。在南海東北陸棚區鎘含量則出現稍高的 0.15 $\mu\text{g/g}$ 左右的濃度。

8. 有機碳 (圖三(h))

珠江外海陸棚及陸坡表層沉積物有機碳含量呈現由珠江口向外延伸的帶狀分佈，其含量介於 0.01~0.91%之間，平均值為 0.33 \pm 0.26%。有機碳含量以珠江口最高，平均超過 0.8%；而以南海東北陸棚區最低，有機碳含量不超過 0.1%。珠江口外海表層沉積物有機碳含量隨著離珠江口距離越遠呈現一條帶狀形狀往外降低的趨勢，從珠江口的 0.8%下降至外部陸棚的 0.4%以下。隨後進入陸坡區後，鉛含量又開始上升至 0.7%。在珠江口以西的陸棚海域沉積物有機碳含量則只有 0.3%以下。

9. 碳酸鈣 (圖三(i))

珠江外海陸棚及陸坡表層沉積物碳酸鈣含量呈現明顯的由內部陸棚往陸坡遞增的趨勢。碳酸鈣含量較高的區域在東沙群島及陸坡南端的鉛鐵低值區。東沙群島周圍表層沉積物碳酸鈣含量平均超過 60%之高值；而珠江口之內部陸棚區碳酸鈣含量則低於 5%以下。



圖三、珠江外海陸棚及陸坡表層沉積物金屬、有機碳及碳酸鈣含量之空間分佈變化

四、討論

1. 區域性之變化與沉積物來源 (圖三)

本區域之沉積物主要可分成陸源鋁矽酸岩、海源碳酸鈣殼體與 relict 石英顆粒三者為主。陸源與海源沉積物在此區域混合，按其在不同地區沉降量之多寡而呈大輻度之變化。珠江輸出之陸源顆粒體沉降多集中在珠江口與其附近三角洲，故此區域之各項與矽鋁黏土礦物相關之金屬多較高，如鋁、鐵、錳、鋅、銅、鉛等在珠江口之濃度皆為較高值出現之區域。自珠江口三角洲高值出現後，多數金屬在南海陸棚皆明顯迅速下降，呈現陸棚低值。但多數金屬亦呈現一明顯之特殊分佈，亦即從珠江口至陸坡區，南北向之分布呈明顯之延續分佈，亦即高值可自珠江口向南延伸到其正南方之陸坡。此種南北向之分佈明顯顯示珠江不僅是陸棚區域陸源沉積物之最主要之來源 (但其在陸棚上之分佈僅局限於三角洲極狹窄之南北帶狀區域) 且正向陸坡區域傳輸。此種狹長南北向之分佈，固然顯示珠江不僅向陸棚且亦向陸坡傳輸沉積物，其確實沉積量仍待由沉積速率之量測來決定，但是絕大部份之陸棚區域並未有大量之珠江陸源沉積物所覆蓋，顯示珠江沉積物並非陸棚區之主要沉積物物種，反之絕大多數區域仍是由 relict 石英顆粒所覆蓋。更且在陸坡區大多數之海源碳酸鈣含量比重亦多在 30~60%，明顯的顯示南海陸坡沉積物海源碳酸鈣質沉積物是此區域最重要之來源。

2. 有機碳之分佈

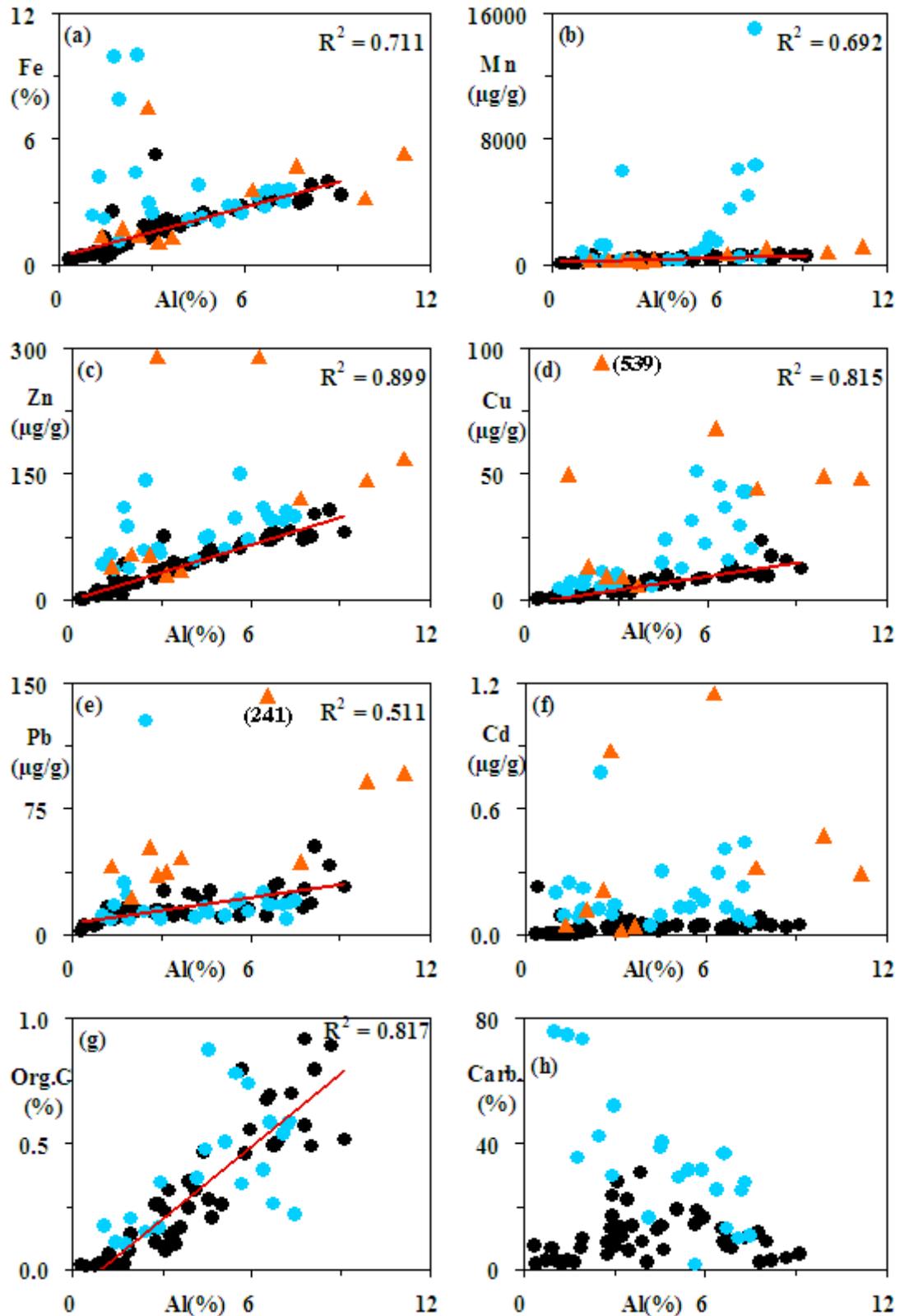
南海北部陸棚有機碳高值亦出現在珠江口三角洲附近，最高值可達約 0.8% (圖三(h))，而絕大多數之陸棚區沉積物有機碳含量多介於 0~0.3%之間，明顯的偏低，更且較其他世界陸棚之平均值更低。陸棚區有機碳偏低可能有以下數種原因：(1)陸棚區基礎生產量偏低；(2)沉降速率低；(3)季風吹襲或洋流強勁導致有機碳無法沉降。目前數據尚未收集完全，故尚無法詳細分析。有機碳含量自珠江口三角洲高區，亦如鋁等金屬一般自北向南延伸到陸坡區，明顯的顯示陸源有機碳亦有可能正自北向南傳輸至陸坡區域。從有機碳之分佈可明顯的看出，陸源有機碳正向陸坡傳輸，故而陸棚區低有機碳之原因亦可能是因傳輸至陸坡所導致。

3. 控制機制

控制研究區域內沉積物與其相關金屬分佈之主要機制包括：(1)沉積物來源；(2)顆粒大小組成差異；(3)污染；(4) diagenesis；(5)未知原因。圖 4 繪出各項分析金屬、有機碳等與鋁含量之相關性。從圖中可明顯看出陸棚區各項金屬與有機碳皆與沉積物鋁含量呈一明顯正相關性(線性相關係數多大於 0.5 以上) (表 1) 此種良好之線性相關明顯的指出陸棚區各項金屬含量受顆粒大小組成所控制，沉積物顆粒愈細，陸源黏土含量愈高，反之則顆粒愈粗，金屬含量愈低。而石英顆粒則為降低金屬含量之主要稀釋劑。部份珠江內河川沉積物金屬含量亦落在此線性相關上，故而亦顯示陸棚區沉積物金屬之主要來源為珠江，但是亦有相當多之珠江河川沉積物並未落在此良好線性相關上，而且多屬高金

屬含量之河川樣品。故而亦顯示珠江河川內部亦有高度污染物之出現，導致其沉積物金屬異常偏高。

多數之陸坡沉積物並未落在良好之線性相關上，顯示陸坡區沉積物金屬來源與陸棚區有非常大之差異。陸棚區金屬多是受陸源細顆粒黏土含量多寡所控制。陸坡區沉積物除源自於陸源河川細顆粒沉積物外，其金屬高值區亦多與有機碳高區類似，故而可能因沉積物內高量有機碳，造成沉積物氧化還原變化，導致金屬累積於表層沉積物，故導致其異常高值（此部份結果尚待垂直剖面之分析來證明）。但亦有部份金屬高值出現於東沙島鄰近海域，如鐵、錳、銅、鉛等金屬，此部份高值出現之原因尚未確實了解，仍待分析了解中。



圖四、珠江河川 () 外海陸棚 () 及陸坡 () 表層沉積物金屬、有機碳及碳酸鈣含量對鋁之相關圖 (直線為陸棚沉積物金屬之迴歸線)

表一、珠江外海陸棚及陸坡地區表層沉積物金屬、有機碳及碳酸鈣含量之相關係數(r^2)矩陣

	Al	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	%Org. C
Al	1							
Fe(shelf)	0.711(0.393)	1						
(slope)	0.0939(-0.319)	1						
Mn(shelf)	0.692(51.1)	0.639(105)	1					
(slope)	0.215(709)	0.0111(155)	1					
Zn(shelf)	0.899(10.9)	0.907(23.5)	0.733(0.161)	1				
(slope)	0.257(7.10)	0.235(6.54)	0.233(0.0044)	1				
Cu(shelf)	0.815(1.77)	0.635(3.36)	0.624(0.0253)	0.797(0.152)	1			
(slope)	0.622(5.43)	0.0592(-1.61)	0.348(0.0027)	0.447(0.328)	1			
Pb(shelf)	0.511(2.57)	0.524(5.58)	0.604(0.0455)	0.601(0.242)	0.624(1.45)	1		
(slope)	0.0165(-1.36)	0.491(7.12)	0.0512(0.0016)	0.295(0.409)	0.0013(-0.0563)	1		
Cd(shelf)	0.0155(0.0017)	0.0363(0.0056)	0.0148(0.00003)	0.0234(0.0002)	0.0329(0.0013)	0.0027(0.0002)	1	
(slope)	0.0019(0.0031)	0.0775(0.0193)	0.216(0.00003)	0.186(0.0022)	0.0815(0.0030)	0.562(0.0051)	1	
Org.C(shelf)	0.817(0.0969)	0.608(0.178)	0.638(0.0014)	0.792(0.0081)	0.787(0.0479)	0.414(0.0186)	0.0074(0.651)	1
(slope)	0.340(0.0627)	0.0881(-0.0397)	0.113(0.00002)	0.0730(0.0021)	0.304(0.0082)	0.0222(-0.0061)	0.114(0.716)	1
Carb.(shelf)	0.0083(0.259)	0.0978(1.89)	0.0008(0.0013)	0.0456(0.0517)	0.0010(0.0451)	0.0222(-0.114)	0.0097(19.7)	0.00877(2.48)
(slope)	0.589(-7.42)	0.0401(-2.41)	0.0535(-0.0014)	0.526(-0.503)	0.270(-0.697)	0.108(-1.20)	0.0589(46.3)	0.0763(-24.8)

註：括號內的數字表示斜率(slope)

五、結論

本研究分析南海北部陸棚與陸坡沉積物金屬、有機碳與無機碳含量。研究結果顯示珠江為此區域最主要之陸源沉積物之來源。沉積物金屬與有機碳之含量皆以珠江口與三角洲處為高值出現之區域。自此高值區向外迅速降低。陸棚區多數區域沉積物金屬與有機碳含量皆偏低，顯示陸源沉積物多未沉降於絕大多數之陸棚上。但是多數金屬與有機碳含量自珠江口向南延伸至陸坡區域，明顯可看出珠江正向南傳輸其沉積物並延伸傳輸到陸坡區域。

控制研究區域沉積物之主要機制包括：(1)沉積物來源；(2)顆粒大小組成；(3)污染；(4)diagenesis 與(5)未知原因。研究區域沉積物主要來源包括陸源黏土礦物與海源碳酸鈣殼體。沉積物顆粒大小組成控制了金屬含量的變化。珠江下游區域流經中國南方主要人口稠密之城市與工業區，故而部份河川沉積物金屬含量異常偏高。Diagenesis 亦是控制此區域金屬含量變化之主要因素之一。部份沉積物因有機碳含量偏高，故其金屬含量亦偏高。此研究區域位於東沙群島附近有金屬異常偏高之原因，原因仍待調查研究。

六、參考資料

- Kokot, S., King, G., Keller, H.R., and Massart, D.L., 1992, " Application of chemometrics for the selection of microwave digestion procedures " , *Anal. Chim. Acta*, 268, 89-94.
- Lin, S., Hsieh, I.J., Huang, K.M., and Wang, C.H., 2002, " Influence of the Yangtze River and grain size on the spatial variations of heavy metals and organic carbon in the East China Sea continental shelf sediments " , *Chem. Geol.*, 182, 377-394.
- Zhang, J., and Liu C.L., 2002, " Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China – weathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes " , *Estuarine Coastal Shelf Sci.*, 54, 1051-1070.