

# 利用沉積物銣同位素追蹤石門水庫泥沙淤積崩塌源

劉厚均、游鎮烽、鍾全雄、黃國芳、王博賢  
國立成功大學地球科學系(所)、地球動力系統研究中心

## 摘要

本研究分析石門水庫上游大漢河流域沉積物與河水之 Sr 同位素組成，透過量測河川水樣主要陰陽離子濃度，以及藉由高精度 Sr 同位素質譜技術 (External error < 5 ppm) 分析沉積物與水樣 Sr 同位素組成，以釐清沈積物的不同來源。實驗結果顯示所有採樣點之河水主要化學組成均偏離海水之化學組成，經 Non-sea-salt 修正之離子濃度仍偏離世界河水平均值甚多，從水樣的化學組成分析指示出主要陰陽離子受到圍岩風化的影響甚鉅，離岸越遠的採樣點尤其顯著，Sr 同位素組成分析將可以進一步反應水體與圍岩的交互作用程度。石門水庫上游河水  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  的比值分佈約在 0.711326 ~ 0.713491 之間，充分顯示出受到圍岩風化的影響 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ : 0.704 ~ 0.724 [Chen et al., 1990a, b; Lan et al., 1995])，反應在不同地質區域裡因風化效應所造成的混染結果。此外，沈積物的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值分佈在 0.717307 ~ 0.718432，可清楚辨識不同端源沈積物之 Sr 同位素組成，並且配合河水 Sr 濃度與同位素的變化，反映當地各區域岩性、礦物組成及 Sr 同位素特性，解開各端源成分的來源以及其貢獻比例。

研究成果不僅可應用在石門水庫上游大漢河流域物理侵蝕及化學風化的模式與相關學術研究，並可進一步追溯上游崩塌以及土石流的來源，以提供相關單位進行防治工作，改善石門水庫淤積嚴重的問題。

## 前言

台灣雨季集中，必須仰賴水庫來調節各項用水需求，所以維持水庫的涵養能力與水質是一項極為重要的工作。由於台灣是全世界構造侵蝕作用最劇烈地區之一，水庫附近的地層，常因水土保持不當或劇烈的氣候事件與構造運動造成大量崩塌，除了大規模坍塌之外，水庫附近的沈積物也會隨地形或季節降雨緩慢輸入水庫，使蓄水量與水質深受影響。但受限於不易找出這些沉積物的真正來源，難以進行有效的防治工程，以維持水庫的蓄積能力與水質。Sr 同位素由於在蒸發、逸氣、溶解、交換等過程中不易造成分化，是探討地球系統內水圈、岩石圈與生物圈所發生的交互作用最常使用且強而有力的地化示蹤劑之一，因此 Sr 同位素的比值可以應用於追蹤沉積物的來源以及搬運的過程與去向，甚至可進一步探討地質作用的所發生的相對速率以及物理、化學風化的關連性。[Gaillardet et

al.,1999]由於台灣各地區岩性差異甚大，文獻中也顯示各地區岩石與沈積物中 Sr 同位素比值變異大[Chen et al., 1990a, b ; Lan et al., 1995]，所以藉由高精度 Sr 同位素質譜分析 (External error < 5 ppm)，以釐清沈積物的來源所在。因此，本研究應用沉積物及河水水樣 Sr 同位素組成分析及其相關地球化學方法探討石門水庫上游大漢河流域沉積物可能的輸入端源。進一步搭配前人文獻所建立之石門水庫附近地質現狀，提供相關單位防災工程上的重要參考依據。

## 研究方法

本研究所分析水樣及沉積物樣本均由國立成功大學防災中心採樣提供。使用感應耦合電漿質譜儀 ICP-MS (Finnigan, Element 2) 分析沉積物與水樣的 Sr 濃度與水樣主要陰陽離子的濃度，藉以了解石門水庫上游大漢溪河水的主要化學組成及其可能影響的端源。以 Sr<sup>spcc</sup> 樹脂 (Eichrom) 來純化樣品中的 Sr，再使用熱游離質譜儀 TIMS (Finnigan, Triton TI)，以雙燈絲 (Re-Ionization 游離端與 Ta-Evaporation 蒸發端) 模式和正離子源熱游離質譜技術 (P-TIMS) 來分析 Sr 同位素組成，以 Sr 濃度倒數及 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 比值作圖來追溯水庫周遭沉積物可能的來源。

## 結果討論

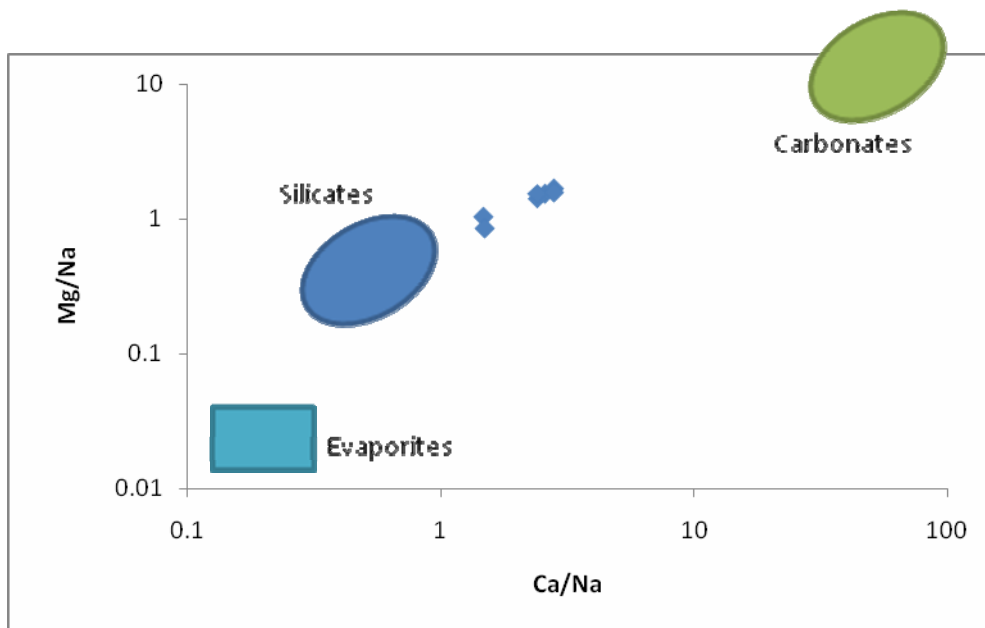
根據 Li (1997) Non-sea-salt 計算公式(1)，以固定 Cl 離子的濃度來修正石門水庫上游水樣受到 Sea-salt 影響的程度。

$$[X]_{\text{Nonsea salt}} = [X] - [Cl] \times \left(\frac{[X]}{[Cl]}\right)_{\text{Seawater}} \quad (1)$$

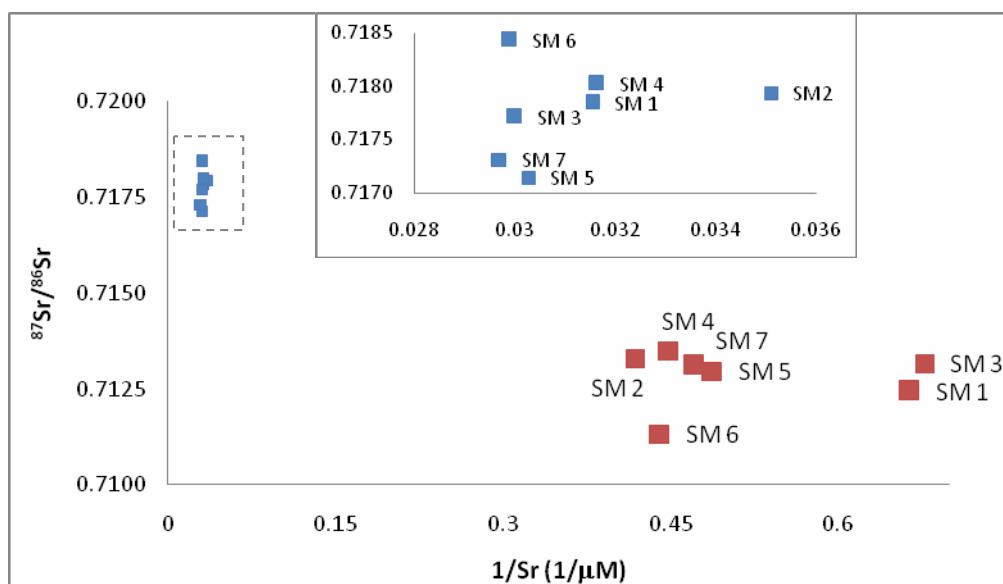
結果顯示水樣主要陰陽離子受到 Sea-salt 影響的程度不高，且整體關係而言距離台灣西北部沿岸越遠的採樣點所受到 Sea-salt 的影響是呈現越小的趨勢。另一方面，以主要陰陽離子與 Cl 離子之間的關係探討消除稀釋效應對水樣的影響，顯示所有採樣點之河水主要化學組成均偏離海水之化學組成，且離岸越遠的採樣點差異性越大。就 SO<sub>4</sub> 與 Cl 的關係而論，所有水樣的分佈除了偏離海水線之外，同時也偏離台灣大台北地區的酸雨線 (pH 值約在 4.15 [Chen et al., 1994])，因此河水當中的 SO<sub>4</sub> 離子除了受到酸雨或是 Sea-salt 的些微影響之外，主要還是岩石風化侵蝕的結果。Na、Mg、Ca、K、Sr 等離子也呈現出相同的趨勢。除此之外，經過 Non-sea-salt 修正之 ns-Ca、ns-Mg、ns-SO<sub>4</sub> 離子濃度仍高出世界河水平均值甚多，顯示出此區域性獨特的化學組成，除了 ns-Ca/ns-SO<sub>4</sub>、ns-Mg/ns-SO<sub>4</sub>、ns-Ca+ns-Mg/ns-SO<sub>4</sub> 表現出高度的相關性，也反映出與流域上游矽酸鹽岩類的強烈風化有關 (圖一) [Gaillardet et al., 1999]。

Sr 同位素組成分析方面，所採集沉積物樣本之 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 比值分佈在 0.717307~0.718432 之間，水樣 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 比值則分佈在 0.711326~0.713491。Bain and Bacon (1994) 等研究指出河水中的 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 比值反應在不同造岩礦物的組成與 Sr

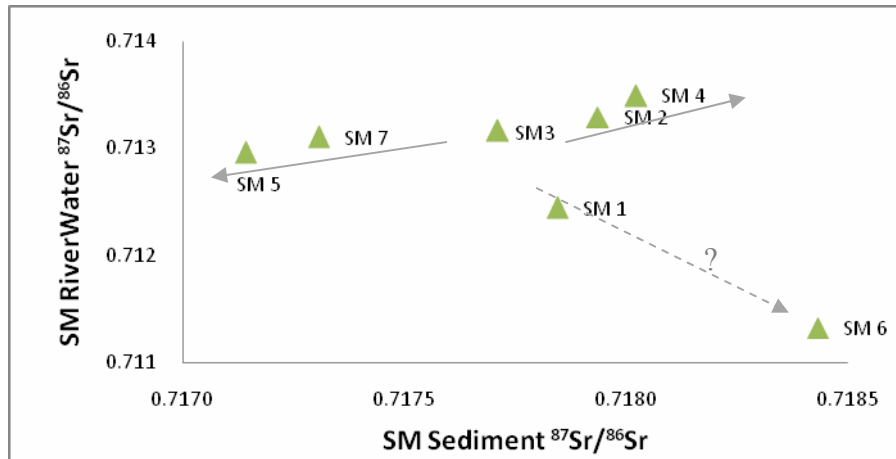
同位素貢獻比例上，因此受到逕流途徑不同以及不同礦物抵抗風化與融解速率的不同的影響，河水水樣Sr同位素組成反應出不同地質區域裡的風化效應所造成水體化學組成的變化，進而指示出不同水體來源之間混染的情形。從SM5到SM4同一河道的逕流當中，Sr濃度與同位素比值均略微上升，顯示有額外的Sr元素貢獻，應為周邊崩塌碎屑注入的影響。透過 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 與Sr濃度倒數分析，亦可明顯區分出不同沈積物來源的Sr同位素特徵（圖二）。同時綜合水樣與沉積物Sr同位素組成的分析（圖三），證實河水中Sr同位素可反映崩塌沈積物來源的特性。



圖一、石門水庫上游水樣 Mg/Na 與 Ca/Na 作圖。



圖二、石門水庫上游沉積物與水樣 Sr 同位素與濃度倒數作圖。



圖三、石門水庫上游沉積物與水樣 Sr 同位素組成分析圖。

## 結論

石門水庫上游集水區中有多數大規模崩塌處，不斷將沉積物以各種型式輸入到水庫之中。本研究採用國立成功大學防災研究中心所提供之樣本，分析大漢溪流流域沉積物與河水之 Sr 同位素組成，以及量測河川水樣主要陰陽離子濃度，以地球化學之分析方法釐清辨識沈積物的不同來源。研究結果顯示所有採樣點之河水主要化學組成均偏離海水之化學組成，經 Non-sea-salt 修正之離子濃度仍偏離世界河水平均值甚多，從水樣的化學組成分析指出受到圍岩風化的影響甚鉅，離岸越遠的採樣點尤其顯著。石門水庫上游河水  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  的比值分佈約在 0.711326 ~ 0.713491 之間，充分顯示出受到圍岩風化的影響 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  : 0.704 ~ 0.724 [Chen et al., 1990a, b ; Lan et al., 1995])，反應在不同地質區域裡因風化效應所造成的混染結果；沈積物的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值分佈在 0.717307 ~ 0.718432，可清楚辨識不同端源沈積物之 Sr 同位素組成。

## 參考書目

- Bain D. C., and Bacon J.R. (1994) Strontium isotope as indicators of mineral weathering in catchments. CATENA, 22, 201 - 214.
- Chen C. H. and Lee T. (1990) A Nd-Sr isotope study on river sediments of Taiwan. Proceeding of the Geological Society of China 33, 339-350.
- Chen, C. T. A. (1994) Effect of acid rain on lake acidification in Taiwan. Inst. Of Marine Geology, National Sun Yat-Sen University, Technical Report #21. 77pp
- Gaillardet, J., Dupre, B., Louvat, P., and Allegre, C.J. (1999) Global silicate weathering and CO<sub>2</sub> consumption rates deduced from the chemistry of large rivers. Chem. Geol. 159, 3 - 30.
- Yuan-Hui Li, Chen-Tung A. Chen and Jia-Jang Hung (1997) Aquatic chemistry of lake and reservoirs in Taiwan. TAO, vol. 8, No. 4, 405 – 426