

# 探討高屏河流域地質與氣候因子對河水鈾同位素 時空分布的影響

李欣珮、游鎮烽、王若梅、黃國芳  
國立成功大學地球科學研究所、地球動力系統研究中心

## 摘要

高屏溪是台灣的第二大河，全長 171 公里，流域面積廣達 3257 平方公里，是台灣面積最廣的河川。從其支流荖濃溪、寶來溪、旗山溪集水區與匯集後的高屏溪主流，共取得 10 個河水樣品 (圖一)，運用 ICP-MS 分析主要與微量元素的濃度，並將經過 Chelex 100 純化流程的樣品進行鈾同位素分析。河水的鈾同位素特性是定量物理和化學風化相當敏感的示蹤劑，也可反應不同的岩性與水文條件，高屏流域鈾濃度與鈾同位素( $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ )皆有相當大的分布範圍，分別為 0.045~0.479 ppb 與 1.14~3.63，荖濃溪與旗山溪集水區可觀察到鈾同位素越往下游越小的變化趨勢，然而鈾濃度卻隨之增高。

由於台灣河流中鈾同位素明顯的變化量反應了地質條件改變與氣候因素的影響，也顯示了水文循環的變異，然而化學風化的程度在影響河水中化學與同位素的組成扮演了相當重要的角色，因此更進一步針對河川上游源頭區的河水，進行時間序列元素以及同位素分析，並且配合雨水資料做詳細探討，更能明確建立物理、化學風化的通量以及對於河水化學確切的影響，利用高屏溪上游六龜森林保護區，第四號、第五號集水區每週取樣河水樣品，以及每月取樣並於野外進行過濾之河水和月解析的雨水樣品，並整合畢祿溪與福山兩個上游源頭集水區的資料，進行系統性的比較。

## 前言

高屏溪與世界其他河流相比較，其坡度陡峭且河流短促，乾溼季降雨量分明，且集水區地質脆弱，故雨季時流量大，出砂量也大增，流域內地形大致有由東北向西南遞減的趨勢，高度落差將近 4000 公尺。始新世漸新世之黑色板岩與石英岩，分布於荖濃溪以東，岩質堅硬，節理發達；中新世到上新世的砂岩、頁岩主要分布於荖濃溪以西至二仁溪以東之山地。因此本研究探討的主要支流集水區分屬兩種不同岩性。

由於河水中的元素濃度與同位素分布和岩性、坡度、支流分布等有密切相關性，尤其在台灣這般造山活動旺盛、風化作用極為強烈的區域，又以季節變化造成的影響最為顯著[Dadson et al., 2003]，尤其因為乾溼季變化導致碳酸鹽或矽酸鹽風化比率上的差異，河水輸入通量亦改變，因此在時間序列上可以反應即時的降雨與地下水作用[Bickle et al., 2005]。矽酸鹽風化速率變化的量化可能受到物理剝蝕速度、降雨量以及溫度此三樣參數的限制關係[West et al., 2005]，其中提到在較低風

化速率的情況下，礦物類型限制風化；較高風化速率時，豐富的礦物以及高的環境動能，使得溫度因素成了限制風化行為的主因。碳酸鹽風化對於季風性的降雨反應較為明顯；而乾季時，矽酸鹽風化相對於碳酸鹽風化有明顯增加的趨勢，反應長時間地下水的水岩交換[Tipper et al., 2006]。

研究台灣三個上游支流小規模集水區的水化學，主要有三個目的：(1)確定風化作用發生的位置，(2)確認控制風化程序的反應機制，(3)估計矽酸鹽與碳酸鹽的風化通量。而台灣地區主要控制風化速率的參數主要為溫度、雨量和物理剝蝕速度，但植被、岩石特性與水文條件仍具有影響。

## 分析方法與步驟

取高屏河流域 10 個採樣地點的河水樣品進行分析，採樣時間為 2006 年 8 月 8 號，主要及微量元素的濃度以及鈾同位素運用 HR-ICP-MS (Element 2, Finnigan) 測量，必須先得知樣品中鈾濃度的含量才可進一步評估 Chelex 100 純化步驟所需的樣品量，以下為 Chelex100 樹脂的配置與清洗流程：於管柱裝填一公克的 Chelex 100 樹脂 → 2N HNO<sub>3</sub> (1.5ml) → DIW (2.5ml) → 1N NH<sub>4</sub>OH (1.5ml) → DIW (5ml)。

清洗後的 Chelex 100 才可進行樣品的純化流程：加入適量的河水樣品(水樣須先用 NH<sub>4</sub>OH 以及 HNO<sub>3</sub> 調整其 pH 值為 6.5) → 加入 maleic acid buffer(每 10ml 樣品須添加 0.5ml 緩衝溶液) → DIW (2.5ml) → 1N CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> (10ml, pH=5.5) → DIW (2.5ml) → 2N HNO<sub>3</sub> (4ml)，於此步驟收集溶液 → Element II HR-ICP-MS 進行鈾同位素分析。

## 初步結果與討論

十個採樣點散布於高屏溪主流以及荖濃溪、旗山溪支流，其中雙園已經相當接近海口，故鈾同位素反應海水的特性( $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ )<sub>AR</sub>=1.143，高屏河流域鈾濃度的分布範圍由 0.045~0.479ppb，鈾同位素( $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ )<sub>AR</sub>則為 1.14~3.63 (表一)。

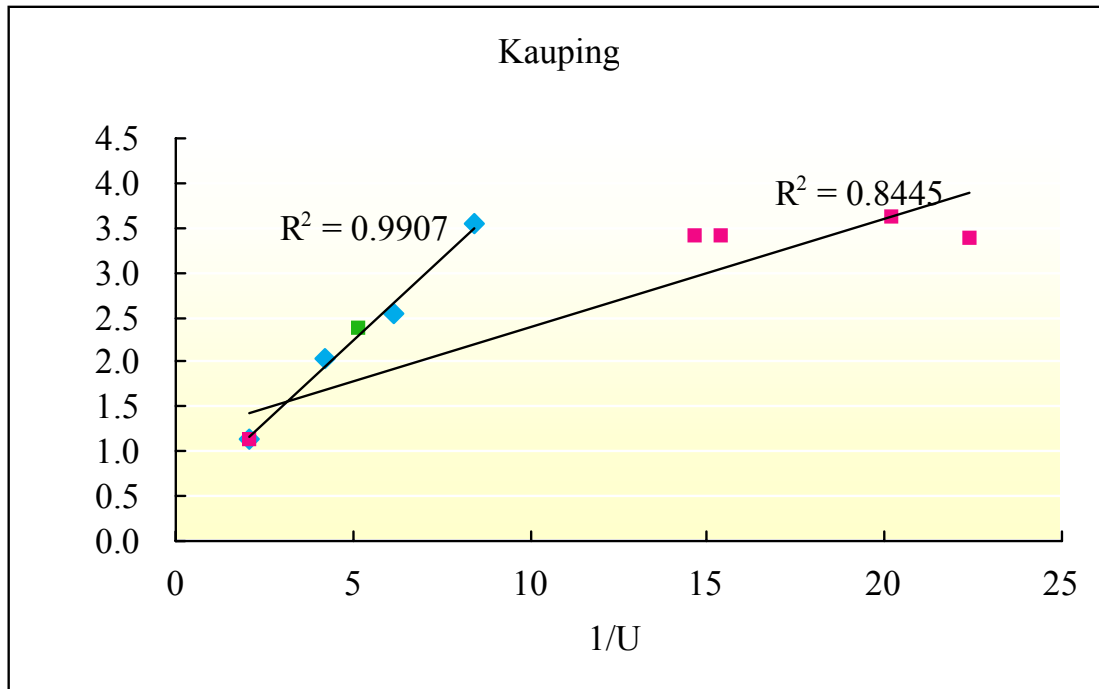
將( $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ )<sub>AR</sub> 與鈾濃度倒數作圖 (圖二)，荖濃溪與旗山溪集水區可觀察到鈾濃度越往下游有增加的趨勢，而鈾同位素則越往下游越小。且兩條支流有明顯的分區趨勢，推測與兩地岩性變化有直接的關係，荖濃溪集水區以黑色板岩與石英岩為主；旗山溪集水區則分布砂岩與頁岩。但其中採樣點六龜屬於荖濃河流域，然而其鈾濃度與同位素特性卻較類似於旗山河流域，偏離荖濃溪的趨勢線，可能在此採樣點有支流的匯入或人為開發造成較強烈的物理風化，使得鈾濃度增加，或者鈾同位素比值增大。



圖一 高屏河流域與採樣點分布圖

	$(U_{234}/U_{238})_{AR}$	U(ppb)	1/U
<b>A-Chi-Ba</b>	3.392	0.045	22.398
<b>Fu-Shin</b>	3.626	0.050	20.178
<b>Bao-Lai first</b>	3.414	0.068	14.654
<b>Bao-Lai</b>	3.403	0.065	15.404
<b>Liu-Guei</b>	2.373	0.193	5.174
<b>Li-Kang</b>	1.814	0.150	6.683
<b>Li-Ling</b>	2.042	0.239	4.192
<b>Jia-Shian</b>	3.535	0.119	8.398
<b>Chi-Wei</b>	2.528	0.163	6.120
<b>Shuang-Yuan</b>	1.143	0.479	2.089

表一 高屏溪鈾濃度與同位素組成



圖二 高屏溪鈾濃度倒數與鈾同位素 (方形為荖濃集水區，其中桃紅色代表阿奇巴、復興、寶來、寶來一號橋和里港，綠色代表六龜；藍色菱形為旗山集水區)

## 參考文獻

- Mike J. Bickle., et al., Relative contribution of silicate and carbonate rocks to riverine Sr fluxes in the headwaters of the Ganges. *Geochimica et Cosmochimica Acta.*, 2005.vol 69: p. 2221-2240
- West, A.J., A. Galy, and M.J. Bickle, Tectonic and Climatic Controls on Silicate Weathering. *Earth Planet Science Letters.*, 2005. 235: p. 211-228
- Tipper, E.T., et al., The short term climatic sensitivity of carbonate and silicate weathering fluxes: Insight from seasonal variations in river chemistry. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 2006. 70: p. 2737-2754
- Simon J. Dadson., et al., Links between erosion, runoff variability and seismicity in the Taiwan orogen. *Nature.*, 2003. 426: p. 648-651