

河水硼同位素在河川侵蝕風化過程之潛力應用

---以台灣地區淡水河為例

林佩穎、游鎮烽、黃國芳、王博賢

國立成功大學地球科學系、地球動力系統研究中心

摘 要

台灣位於歐亞板塊與菲律賓海板塊的碰撞邊緣，從對抬升的珊瑚礁定年以及使用大地測量方法量測海拔高度的改變，指示了台灣島的抬升速率極快，地勢起伏大，因此造就了高的化學與物理風化速率，而從河流的化學組成可反應上游流域的化學風化過程，本研究利用負離子源熱游離質譜術精確量測河水硼同位素比值，並結合河水中主要、微量元素及鋇同位素，評估河水硼同位素在於研究台灣地區河川風化侵蝕過程之應用潛力，並釐清影響河水中元素與同位素變化的主要控制機制。

本研究初步以硼國際標準品NBS SRM 951與濁水溪河水評估整個實驗過程對分析精確度與準確度之影響，結果顯示NBS 951之 $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$ 測值為4.0035 ($2\sigma_m = \pm 0.23\%$, $n = 20$)，落於世界各實驗室測值之間，且濁水溪樣品重複實驗的結果也完全一致，說明微昇華技術配合負離子源質譜術已可用於精確量測河水樣品。

以河水硼同位素系統性探討淡水河流域之侵蝕風化過程及人為污染之可能來源，初步的結果顯示硼同位素和 $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ 比值 ($^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr} = 0.709207 \sim 0.714338$) 的變化可明顯區分出不同的端源，且與鋇同位素有極高的相關性，此說明了河水硼同位素具有潛力用於探討流域侵蝕風化過程。本研究也發現河水硼同位素的變化範圍 ($\delta^{11}\text{B} = -21.6 \sim 38.1\%$)，較喜馬拉雅山地區的河水變化更大，未來將進一步釐清控制河水硼同位素變化的主因及其與區域侵蝕風化的關係，並且應用硼同位素對環境反應靈敏的特性，以指示河水中不同來源及地球化學行為。

前 言

淡水河為台灣第三大河川，流域主要由基隆河、新店溪和大漢溪等三條主要支流所組成，且是台灣少數涵蓋火成岩、沈積岩及變質岩的河川，因不同岩性其硼同位素值有其特定的範圍，故為極佳的研究區域。

硼同位素在地球科學領域之應用是相當重要的地化示蹤計，也是建立古海水pH值一項極為重要的代用指標。其中後者已被廣泛應用於了解過去大氣 CO_2 的濃

度變化與環境變遷之關係；而硼同位素於地化示蹤計方面的應用主要是基於硼在自然界的廣泛分佈以及其同位素 (^{11}B 與 ^{10}B) 巨大質量差異所造成極大的分化作用。

在整個海洋系統中，硼的主要來源為河流[Lemarchand et al., 2000]，故河川藉由侵蝕風化與吸附、脫附過程所攜帶硼的能力決定了進入海水中硼的多寡。而影響河水中硼濃度與硼同位素的原因很多，如流經區域的岩性（火成岩、沈積岩和變質岩）、風化程度與環境條件（季風氣候、水岩比、pH...）及人為污染等[Gabler and Bahr, 1999; Rose et al., 2000]，因此河水硼同位素值是十分值得深入研究的一個方向。

分析方法及步驟

取淡水河24個採樣地點的河水樣品進行分析，主要及微量元素的濃度以IC和HR-ICP-MS（Element 2, Finnigan）測量，硼同位素則以負離子源熱游離質譜術精確量測，為了避免外在環境對實驗過程的汙染，所有實驗前處理過程皆在無塵室Class-10工作臺中進行，並且使用國際標準樣品NBS SRM 951與濁水溪河水樣品，進一步評估實驗的操作環境，以及純化與分析技術的可行性。

Step1 河水樣品濃縮

Step2 純化樣品中硼的純化

Step3 裝載樣品

Step4 儀器分析－負離子源熱游離質譜儀（N-TIMS）

硼純化技術及儀器分析評估

以NIST NBS 951國際標準樣品（含有5 ng 硼）測試（圖一），同時量測質荷比42與43。在過去一年的分析結果顯示，NBS 951的硼同位素比值平均為 $^{11}\text{B} / ^{10}\text{B} = 4.0035$ （ $2\sigma_m = \pm 0.23\%$, $n = 20$ ），表示實驗條件的控制與儀器分析的精確度具有高穩定性；而在微昇華及濃縮步驟後，亦未產生同位素分化。另外，以四個濁水溪上游與中游河水樣本進行測試，其分析精確度大致符合NBS 951誤差範圍，而選取日月潭（SM lake）附近支流及另一支流作重複測試，其量測結果變化在誤差範圍內，證明河水樣品在經純化及濃縮處理後，仍維持原先硼同位素比值。

結果與討論

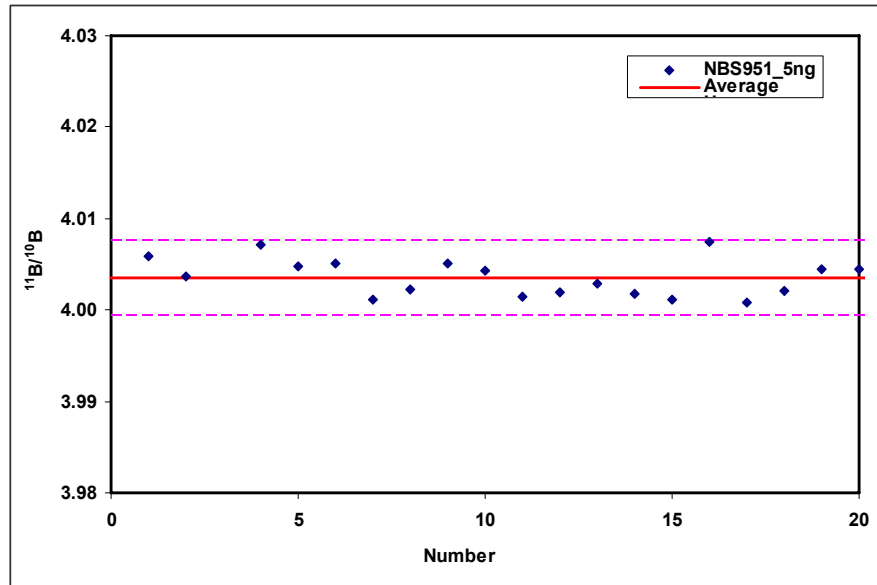
根據Li et al. [1997]的方法，主要陰陽離子來源為化學風化輸入。主要陰陽離子濃度、硼和鋇濃度與同位素有極佳的相關性，另外，每個元素的濃度與距離大致都呈現負相關特性； $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值則與距離成正相關性，將 $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ 比值與Cl / Sr作圖， $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ 比值和濃度隨著離河口距離減少而降低；而硼同位素與Cl/B作圖，硼同位素的變化範圍極大（-21 ~ 38.05%），距河口越近影響越大（海水的 $\delta^{11}\text{B}$

為39.5‰)，顯示淡水河中主要離子及硼和銦同位素大部分受到海水或海水鹽沫的影響。

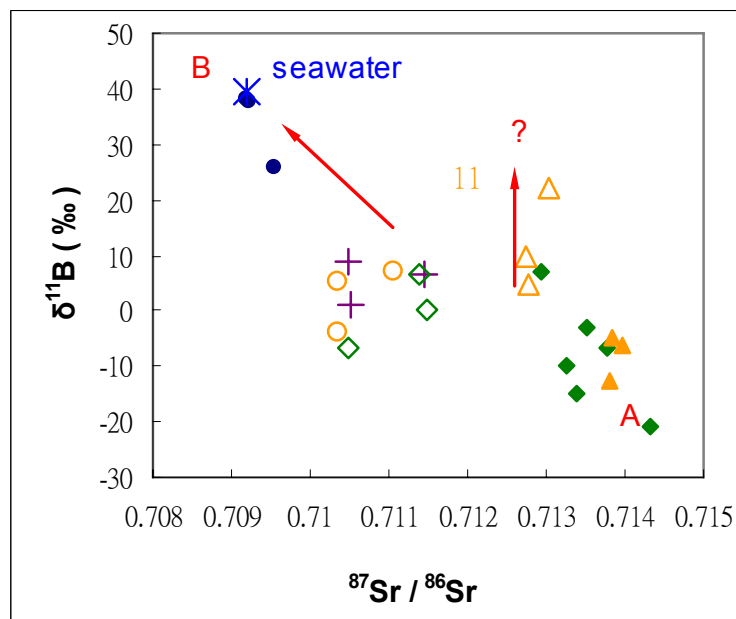
銦同位素已被廣泛應用於河水化學風化的示蹤，本研究使用硼同位素，在於釐清水體在流域風化的過程中更細微的行為。將 $\delta^{11}\text{B}$ 與 $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ 比值作圖（圖二）初步結果顯示河水的 $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ 比值與 $\delta^{11}\text{B}$ 大致呈負相關的特性，並且受到海水（B）與圍岩（A變質岩）兩端源所牽引著。北勢溪的三個點， $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ 比值無明顯變化，但在 $\delta^{11}\text{B}$ 卻有約20‰的改變，此趨勢是我們將來要釐清的問題之一，也凸顯硼同位素應用於河水化學風化的潛力；從A群到B群 $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ 比值由高到低改變，影響A群 $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ 比值較高的因素為流經低度變質岩區的關係。

參考文獻

- Gäbler H. E. and Bahr A. (1999) Boron isotope ratio measurements with a double-focusing magnetic sector ICP mass spectrometer for tracing anthropogenic input into surface and ground water. *Chem. Geol.* 156. 323-330.
- Lemarchand, D., Gaillardet, J., Lewin, E', and Alle`gre, C.J. (2000) The influence of rivers on marine boron isotopes and implications for reconstructing past ocean pH. *Nature* 408, 951– 954.
- Li, Y.H., Chen, C.T., and Hung, J.J. (1997) Aquatic Chemistry of lakes and reservoirs in Taiwan. *TAO* 8, 405-426.
- Rose, E.F., Chaussidon, M., France-Lanord, C., (2000). Fractionation of boron isotopes during erosion processes: the example of Himalayan rivers. *Geochim. Cosmochim. Acta* 64, 397– 408
- Spivack A. J. and Edmond J. M. (1987) Boron isotope exchange between seawater and the oceanic crust. *Geochim. Cosmochim. Acta* 51, 1033–1043



圖一 使用國際標準樣品 NBS 951 評估實驗室硼同位素分析技術。各次分析結果以圓點表示，共分析 20 次，第一次和最後一次間隔約 1 年；粗實線為平均值，虛線則為誤差範圍 ($\pm 2\sigma$)。



圖二 $\delta^{11}\text{B}$ 與 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值作圖。水體 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值與 $\delta^{11}\text{B}$ 大致呈負相關的特性，並且受到海水 (B) 與圍岩 (A 變質岩) 兩端源所牽引著。