

13-18

台湾大鬼湖沉积物元素分布所反映的古环境意义

p512.3
p532

罗建育 陈镇东

(中山大学海洋地质及化学研究所, 高雄 804)

提 要 位于台湾省南部的大鬼湖, 由于湖底常缺氧等特殊自然条件, 使湖底沉积物免遭干扰, 而能完整地记录过去气候的环境的变动. 其岩芯中出现的白层, 有明显较低的有机质含量和 C/P、N/P、S/P 及 Si/Al 比值, 与较高的 Si/P、Fe/C、Mn/C、Fe/Mn 和 Mg/Al 比值. 显示当时气候可能较干冷, 集水区植生较差, 湖水位较低, 而且环境较氧化. 相比之下, 富含有机质的黑色沉积物, 则反映气候较暖湿, 湖水面至少升高 2m, 而且集水区土壤和水体较还原.

古环境
元素分析

关键词 古气候 湖积物 大鬼湖 元素比值
分类号 P532 P342

沉积物

湖泊沉积物的化学组成与母岩性质、植群分布、集水区和湖水的氧化还原状态有极密切的关系, 所以能提供有关古环境或古气候方面的讯息. 大鬼湖是水深达 40m 的次高山湖, 由于地势陡削, 湖盆较深, 而且湖底常缺氧, 沉积物不会受到风浪或生物的扰动破坏. 因此, 能详实地反映环境的变化, 乃是相当罕见的古环境记录器. 出现在大鬼湖沉积物中的白色层纹含有机质很少, 并且有机质成份类似浮游生物, 与一般富含陆源有机质的黑色沉积物明显不同, 似乎是干冷气候的产物^[1].

本文藉由大鬼湖沉积物 C、N、Mg、Al、Si、P、S、Fe 和 Mn 等元素的分布, 比较黑色和白色沉积物之差异, 以进一步探讨其过去集水区与湖中环境的演变.

1 地理概述与研究方法

位于台湾省南部, 标高 2150m 的大鬼湖(22°52'15"N, 120°51'15"E; 图 1), 因湖水离子浓度很低, 由氧化/还原或蒸发作用形成的自生矿物量极少, 所以陆源碎屑及有机质乃是湖底沉积物的主要成分. 沉积物的有机质含量可高达 40%, 变化也大, 对于元素分布的影响, 具有相当重要的地位.

作者从大鬼湖中央, 水深 30m 处(图 1)取得一支 83cm 长的沉积物岩芯, 按 1cm 间距连续取样, 约得 80 个样品. 干样以 LECO CHN-932 元素分析仪测定 C 和 N 浓度, 燃烧室温度设定为 950 C. 另外, 将样品压制成饼, 使用 Rigaku RIX 2000 型 X 光萤光分析仪测定 Mg、Al、Si、P、S、K、Mn、Fe 等元素之浓度. 各元素之测量精确度皆在 ±5% 之内. 作者并委托新西兰使用加速器质谱仪测定 5 个不同深度的样品之 ¹⁴C 年代, 各样品深度及校正后的年代分别是: 52cm (933 ± 64aBP)、58cm (1077 ± 64aBP)、63cm (1287 ± 66aBP)、79cm (1295 ± 61aBP)、83cm

* NSC87-2611-M-110-006-GP 资助项目. 收稿日期: 1997-11-04; 收到修改稿日期: 1998-02-09.

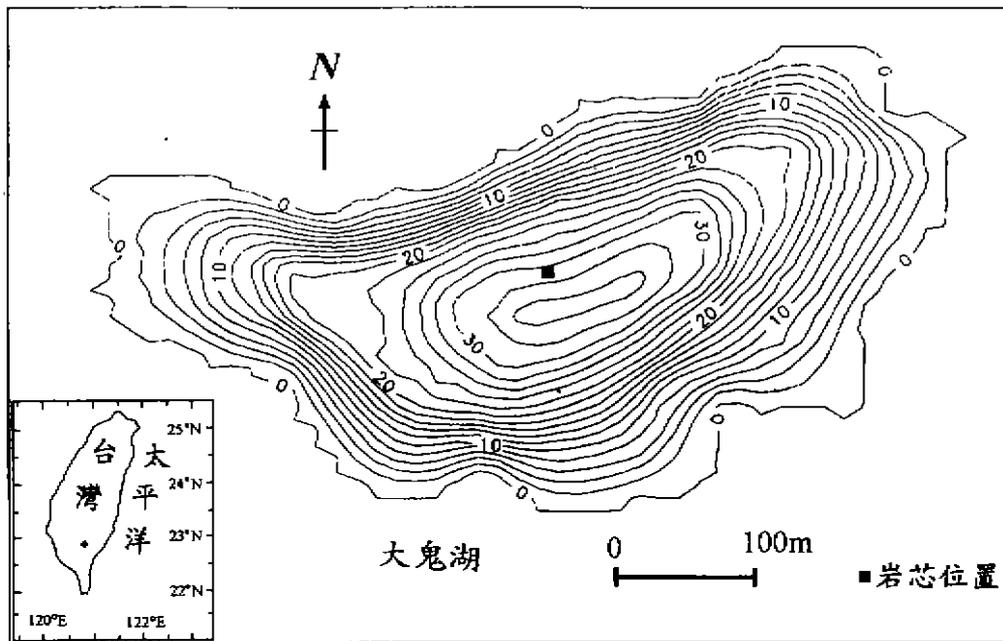


图1 大鬼湖的水深与采样位置(等深线的单位为m)

Fig. 1 Bathymetric map of Great Ghost Lake and core sampling sites. The contours are in meters

($1605 \pm 76\text{aBP}$);再以回归法求出岩芯各深度相应的年代(图2)。

2 C/P、N/P、S/P、Si/P 和 Si/Al 比值与古环境

罗建育等人^[1]指出大鬼湖沉积物中出现的白层,有明显较低的有机质含量和 C/N 比,较高的 N/S 和 C/S 比,显示其有机质成分较偏向水生生物,而异于温暖气候下沉积的黑色沉积物。这些白层也大多可以和中国历史和自然记录的干冷期相对应,似乎可反映较大尺度的气候变迁。由此可知,白层可能是在干冷气候下形成的。本岩芯主要白层出现年代为 470、650、850、1280、1350、1550、1700 和 1960AD 附近(图2)。

大鬼湖沉积物中的 P 与源自有机质的 C、N 和 S 不同,它不但包括由陆生和水生植物死亡后分解剩下的有机 P,也含有来自集水区土壤的磷酸盐。在有机质含量极低的湖畔土中,无机 P 约占 200—350mg/kg 左右,而湖畔树叶和腐木之 P 却可达 729—2058mg/kg,大约比前者高 2—10 倍。由于湖畔土所含 P 的无机比例颇高,使得其 C/P、N/P 和 S/P 比值的垂直变化与总有机碳(TOC)含量分布极类似,即 TOC 或有机质含量(约相当于 2 倍 TOC 含量)较高者,也有较高的 C/P、N/P 和 S/P 比值,似乎含较多的陆生植物碎屑,反映当时气候可能较温暖,相反地,在较干冷时期形成的白层,其成份较接近湖畔土和浮游生物^①,所以有较低的 C/P、N/P 和 S/P 比值。

① 罗建育,台湾高山湖泊沉积物之元素分布与古气候,中山大学海洋地质研究所博士论文,1996,194.

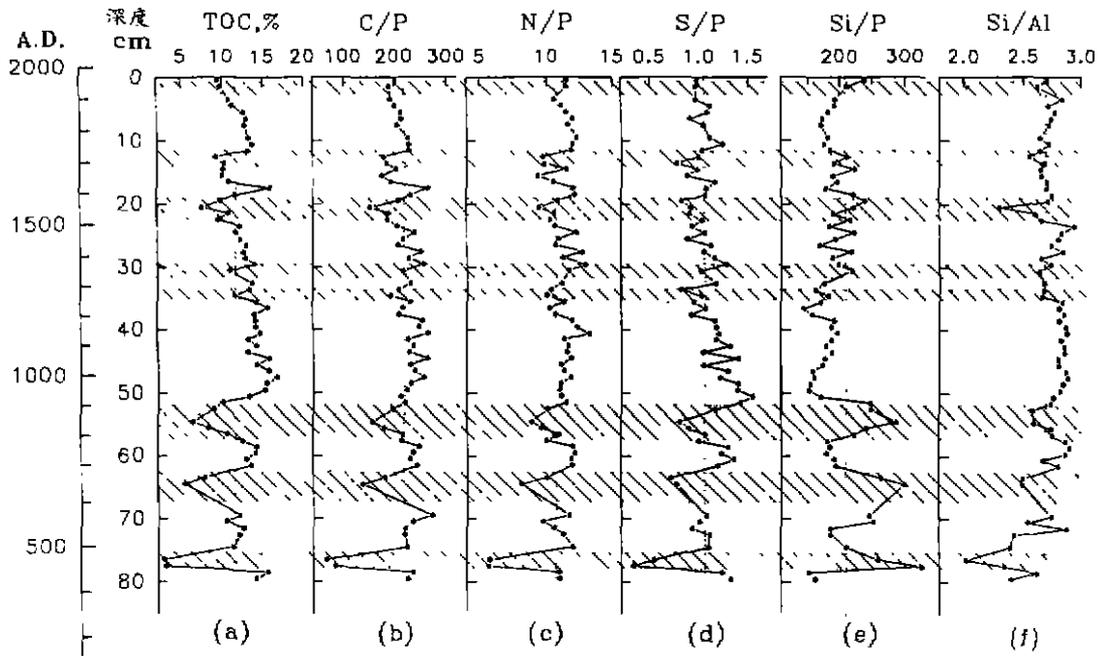


图2 大鬼湖岩芯之 TOC 含量(a)、C/P(b)、N/P(b)、S/P(d)、Si/P(e)和 Si/Al(f)摩尔比之垂直分布(直虚线代表平均值,斜线区代表主要白层位置)

Fig. 2 The distributions of TOC content(a) and the atomic ratios of C/P(b), N/P(b), S/P(d), N/P(c), Si/P(e) and Si/Al(f) in the sediment core of Great Ghost Lake. (The dashed lines show the mean values, and the shaded areas show the locations of main white layers)

此湖沉积物中的 Si 与 Al、K 等亲岩屑型元素,彼此皆有高的正相关性(分别为 $r=0.63$ 与 0.59)^①。这说明 Si 主要来自岩屑和矿物,仅少量 Si 来自硅藻或其它生物。当气候较温暖潮湿时,大鬼湖集水区的植物较茂密,一方面减少土壤冲刷,一方面则提供较多有机质至湖中,因此 Si 减少而有机 P 增加,导致沉积物 Si/P 比值降低;反之,在干冷气候下,植物生长受抑制,所以进入湖中的物质以无机颗粒为主,导致 Si/P 比值较高(图 2e)。另外,白层的颗粒明显较细,平均粒径约为 $10\mu\text{m}$,而黑色沉积物的粒径较粗,乃介于 $30-50\mu\text{m}$ 之间^[1]。通常细粒沉积物含有较多的粘土矿物,其 Al 含量相对较高,所以白层的 Si/Al 比值较低(图 2f)。部分 Si 可能是由陆生植物提供的,例如,充填于禾本科植物细胞组织中的非晶质硅酸体,一般占干重的 3% 左右^[2],且高等植物的 Si/Al 摩尔比约为 3-4,略高于湖畔土的 2-2.6,所以沉积物的 Si/Al 比值,会因有机质增加而略为增大。

3 Fe/C、Mn/C、Fe/Mn 和 Mg/Al 比值与古环境

影响湖泊沉积物 Fe 和 Mn 含量的因素很多,其中以集水区的地质背景和植生状态,以及

① 罗建育,台湾高山湖泊沉积物之元素分布与古气候,中山大学海洋地质研究所博士论文,1996,194。

水体氧化还原条件较为重要。集水区的 Fe 可藉矿物态、有机颗粒态、氢氧化合物胶质溶解态等型态被运送到湖盆中,通常溶解态 Fe 是可以被忽略的^[2]。至于矿物态、有机颗粒态 Fe 与 Fe 氢氧化合物之浓度,则视当地风化速率与植生状况而定,这些因素又与当地气候密切相关。大鬼湖沉积物中的 Fe 以矿物态最重要,主要来自附近板岩岩屑中未经风化的黄铁矿,除了矿物态外,通常在干冷时期中,从集水区运送至湖中的 Fe 以氢氧化合物较重要;但在温暖期,则以与有机质键结的 Fe 较重要^[3]。

大鬼湖沉积物 Fe、Mn 含量虽然与 TOC 呈正相关,即白层的 Fe、Mn 含量较低,但却有较高的 Fe/C 和 Mn/C 比值(图 3a-c),此乃因白层有相对较多的 Fe 和 Mn 是含在板岩屑及矿物中,较少是有机态的。湖畔树叶的 Fe/C、Mn/C 和 Fe/Mn 比值皆较湖畔土为低,所以含陆生植物较多的黑层也有较低的 Fe/C、Mn/C 和 Fe/Mn 比值(图 3b-d)。此外,湖水的氧化还原状态,也可能会影响沉积物之 Fe、Mn 含量,例如当大鬼湖水体发生分层时,会从沉积物释出 Fe^{2+} 和 Mn^{2+} 至水中^[4]。目前大鬼湖在暖湿气候的影响下,湖水常年缺氧,沉积物中的 Fe 和 Mn 仅当存于岩屑中,或与有机物键结时,可以保存下来,但是在过去较干冷的时期中,因湖水上下混合较佳,且湖中有机质含量较低,故水质较氧化或氧化状态持续较久,原来溶解在水中的 Fe^{2+} 和 Mn^{2+} 离子,可能形成含 Fe、Mn 的氢氧化合物而沉淀,导致沉积物有较高的 Fe/C 和 Mn/C 比

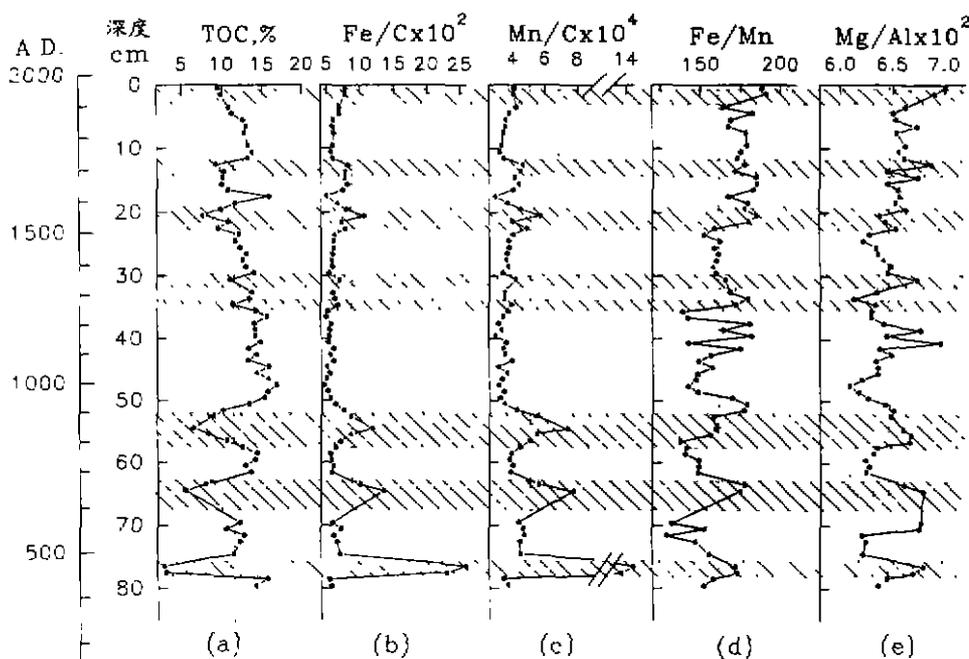


图 3 大鬼湖岩芯之 TOC 含量(a)、Fe/C(b)、Mn/C(c)、Fe/Mn(d)和 Mg/Al(e)摩尔比之垂直分布(直虚线代表平均值,斜线区代表主要白层位置)

Fig. 3 The distributions of TOC content(a) and the atomic ratios of Fe/C(b), Mn/C(c), Fe/Mn(d), Mg/Al(e) in the sediment core of Great Ghost Lake.

(The dashed lines show the mean values, and the shaded areas show the locations of main layers)

值. Mackereth^[5]则认为集水区氧化还原状态的改变也很重要: 当气候较温暖、集水区植物较佳时, 会促使土壤较还原. 由于 Mn^{2+} 比 Fe^{3+} 对还原反应更为敏感, 矿物中的 Mn 比 Fe 更容易析出, 而被带出湖中, 因此, 湖中沉积物有较低的 Fe/Mn 比; 反之, 当 Fe/Mn 比值较高时, 则反映集水区植生疏松, 气候较干冷.

另外, 因大鬼湖湖水的离子浓度极低, 沉积物中也极少或无生物或化学沉淀的碳酸盐, 因此一般用以探讨湖水位变动的指标, 如 Sr/Ca、Mg/Ca 比值和氧同位素值, 皆无法适用于此处. Zhang^[6]认为当蒸发作用强烈或气候较干燥时, 由于水体收缩, 水中离子浓度会因而变高, 使沉积物的 Mg/Al 比值增大. 大鬼湖沉积物中的 Mg, 大部分仍赋存于岩屑或硅酸盐矿物中, 小部分是矿物与湖水之间相互作用造成的. 假设来自集水区土壤的岩屑和矿物之 Mg/Al 比值固定, 注入水的 Mg 离子浓度也不变, 当干期水体缩小时, 水中离子浓度提高, 水中可能有较多 Mg 以离子吸附方式进入粘土矿物层间; 或少量以化学沉淀方式析出, 而提高沉积物的 Mg/Al 比值. 所以利用 Mg/Al 比值的变量, 可粗略地估算湖水浓缩程度或湖水位变动.

大鬼湖白层有较高的 Mg/Al 比(图 3e), 可能是湖水位较低时沉积的. 若 Mg/Al 比值确实可以反映湖水体积变化, 则在过去 1.6ka 当中, 大鬼湖最湿和最干时期, 湖水量差异可能达 12%. 但尚未考虑矿物沉积后的溶解作用与元素转移; 或者随湖水满溢而流出等问题. 目前大鬼湖湖盆陡峭, 其水深虽达 40m, 上层 2m 以内的湖水体积, 即已占总体积的 13.2%, 所以 12% 体积变化相当于湖水位相变幅约 2m.

4 结语

大鬼湖沉积物明显反映过去 1.6ka 来当地气候和环境的演变历程. 此岩芯所记录的气候干冷年代大致为 470、650、850、1280、1350、1550、1700 和 1960 AD 附近. 当时沉积物含有机质较少, 颜色较淡, 且有较低的 C/P、N/P、S/P 和 Si/Al 比值, 与较高的 Si/P、Fe/C、Mn/C、Fe/Mn 和 Mg/Al 比值, 可能反映当时植生较差、湖水位较低, 且环境较氧化. 反之, 当气候较温暖潮湿时, 元素分布显示有较多的陆源有机质输入湖中、沉积物颗粒较粗、且集水区土壤和水体较还原. 另外, 由于湿期 Mg/Al 比值的差异, 推测大鬼湖湖水盐度或体积过去至少有 12% 的变化, 相当于湖水面升降约 2m.

致谢 感谢本所助理林志明、万政康和王冰洁协助采样与处理样品, 使本研究顺利进行.

参 考 文 献

- 1 罗建育, 陈镇东, 万政康 台湾大鬼湖之古气候记录. 中国科学(D), 1996, 26(5): 474 - 480
- 2 吕厚远, 王永吉. 晚更新世以来洛川黑木沟典土地层中植物硅酸体研究及古植被演替. 第四纪研究, 1991, (1): 72 - 83
- 3 Burns N M and J O Nriagu. Forms of iron and manganese in Lake Erie Waters. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1976, 33: 463 - 470
- 4 Wann J K, C T A Chen and B J Wang. A seasonally anoxic mountain lake with an active Fe cycle in tropical Taiwan. *Aquatic Geochemistry*, 1997, 3: 21 - 42
- 5 Mackereth F J H. Some chemical observations on post-glacial lake sediments. *Phil Trans R Soc B*, 1966, 250: 165 - 213
- 6 Zhang S S. Mg-Al ratio in sediment and paleoclimate. *Collected Oceanic Works*, 1992, 15(1): 52 - 61

Paleoenvironmental Records From the Elemental Distributions in the Sediments of Great Ghost Lake in Taiwan, China

Lou Jiann-Yuh Chen Chen-Tung Arthur

(*Institute of Marine Geology and Chemistry, National Sun Yat-sen University, Gaoxiang 804, China*)

Abstract

The sediments deposited in the anoxic Great Ghost Lake in southern Taiwan, China were undisturbed due to the lake's unique hydrological and geographic conditions. As a result, past climatic and environmental records were well preserved. The distinctive white laminations appeared in the generally black sediments are characteristic of lower organic-matter content, and lower C/P, N/P, S/P and Si/Al ratios, but higher Si/P, Fe/C, Mn/C, Fe/Mn and Mg/Al ratios. These indicate times of cooler/drier climate, poorer plant growth around the drainage area, lower water-level and more oxidized conditions in the soil and in the water column. On the other hand, the organic-matter-rich black sediments were deposited in a warmer/wetter climate under a more reduced condition. In addition, the variations in the Mg/Al ratios seem to reflect at least 12% changes in salinity or water volume, or 2m changes in the water level.

Key Words Paleoclimate, lake sediment, Great Ghost Lake, ratio of the elements

第 8 届国际湖泊保护与管理会议(Lake'99)将于 1999 年 5 月 17—21 日在丹麦举行

由哥本哈根市政府和国际湖泊环境委员会(ILEC)共同举办的第 8 届国际湖泊保护与管理会议(Lake'99)将于 1999 年 5 月 17—21 日在丹麦举行.会议主题是:可持续湖泊管理.凡呈交论文者,务必在 1998 年 11 月 1 日以前将 2—4 页详细摘要(含图表和参考文献)寄往以下地址:

(1) The 8th International Conference on the Conservation and Management of Lakes C/O
DIS Congress Service Copenhagen A/S

Herlev Ringvej 2C, DK-2730 Herlev, Copenhagen, Denmark

(2) 电子信箱: dis@inet.uni2.dk

有关 Lake'99 的详细信息,还可通过访问以下网址获得, www.lake99.dk.

(李)