

國立臺灣大學理學院地理環境資源學系



碩士論文

Department of Geography  
College of Science  
National Taiwan University  
Master Thesis

近代台灣湖泊沉積物紀錄與環境事件

關聯之研究

Relationship between catchment events (earthquake and  
heavy rainfall) and sediment core analysis result in  
Taiwan.

陳歆穎

Hsin-Ying Chen

指導教授：林俊全 博士

Advisor: Jiun-Chuan Lin, Ph.D.

中華民國104年6月

June, 2015

## 摘要

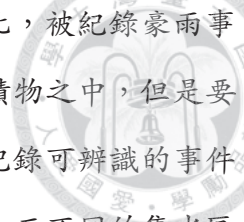


湖泊沉積物是了解過去自然事件歷史重要途徑之一，由於集水區中的物質經過搬運後集中沉積於湖泊中，而不同的搬運、沉積過程又造成沉積物性質上的差異，進而紀錄集水區中水文、氣候等狀況。因此透過研究湖泊沉積物的組成、性質可推測過去集水區環境狀況，或辨認過去歷史事件，因此本研究希望嘗試利用台灣敏感的環境條件與劇烈、頻繁的豪雨、地震事件，蒐集並利用過去百年內已知的環境觀測紀錄，瞭解地震與豪雨事件對沉積物的影響；探討在不同環境條件下中自然事件對沉積物紀錄是否也會因環境條件不同而有所差異，因此希望藉由採集不同環境的沉積物比較其差異及原因。

在本研究中共採集四個不同樣點(翠峰湖、埔里鯉魚潭、日月潭、東源湖)，共10個沉積物樣本進行分析，分析內容包含密度分析、沉積物組成分析、粒徑分析，並收集歷年地震與降雨資料進行比對。

在沉積物紀錄中，四個不同樣點對於豪雨與地震事件的反應都不盡相同。翠峰湖與鯉魚潭皆有受地震事件影響後的痕跡，相同之處在於密度的異常偏高與礦物值所佔比例的上揚，但是全粒徑與礦物粒徑的變化卻不盡相同。豪雨事件影響最為清楚的水體為鯉魚潭，翠峰湖由於沉積物紀錄變動太過頻繁而有事件互相覆蓋的影響，日月潭在近期則受水利工程控制、影響水位、入流而無法確認。東源湖相對其餘水體對豪雨、地震事件的敏感性十分低，雖然過去確有重大事件但難以透過其沉積紀錄辨認過去豪雨、地震事件。從核密度推估與相關係數可以推論同一樣點不同樣本的間的相關性差異更為顯著，無法指出參數間的相關程度是否因不同水體而有所差異，相對而言，參數間的相關性更有可能是受到水體內本身沉積物位置的影響。

不同的樣點沉積物紀錄事件時會依其環境而略有不同，而不同環境對於地震、豪雨事件的敏感度也不同，不同樣點所得結果在同一事件呈現上有極大落差，表示地震對集水區的影響有限，沉積物紀錄地震事件受到該樣點敏感度很大的影



響。豪雨事件相對地震事件的影響更小，與豪雨發生的頻率相比，被紀錄豪雨事件十分稀少。總結而言，豪雨與地震事件確實有部分紀錄於沉積物之中，但是要明確的辨認需要足夠強大的能量與適於紀錄的環境。從沉積物紀錄可辨識的事件與文獻紀錄過去的事件相較，可以明顯發現兩者頻率差異甚大，而不同的集水區環境會影響沉積物紀錄的形式。

關鍵詞：湖泊，沉積物，地震，豪雨，環境事件。

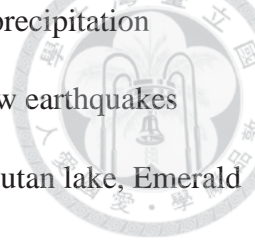
## Abstract



Lake sediments can collect material from the catchment, in those sediments, there are some features can indicate characteristic or status of the catchment. These features were formed by a different mechanism, include some events like an earthquake or heavy rainfall, which are very common in Taiwan. By analysis and discuss features of sediments there is a chance to identify historical events and rebuild catchment history.

In this study, we compare features of sediment core ( include density, mineral grain size, whole grain size and biogenic silica content) and earthquake, precipitation records. Sediment cores are collected from Emerald peak lake(24.514980, 121.605844; 77.5, 77.2, 64cm depth), Liyutan lake(23.959878, 120.996585; 43.2, 78.1 cm depth), Sun Moon Lake(23.847043, 120.909869; 181 cm depth) and Dongyuan lake(22.205742, 120.854984; 45.1, 44.2cm depth) in 2014.

We assume in catchments there has regular material and organic output, and rainfall will provide impetus to move material into lakes. The greater rainfall can move larger material,so if there is a heavy rainfall, grain size of lake sediment may increase. However, when earthquakes happened, it will produce more material than ordinary which have lower organic composition. So we suggest that after earthquakes there will more material store in catchment than often, and rainfall event provides power to move material into lakes, cause amounts of sediment more and mineral content higher than usual.



Compare with earthquake record(from 1949, by USGS) and precipitation record(from 1940, by Central Weather Bureau, Taiwan), there were few earthquakes happened near lakes and scale are more than 7 ML. Compared to Liyutan lake, Emerald peak lake is more sensitive. Dongyoun lake is most insensitive, hardly to find any event. In same earthquake event effect Liyutan and Sun Moon lake, there can find sign in Liyutan lake but nothing in Sun Moon lake. So in sediment analyze results, different lake will present different results cause by different conditions. Although earthquake and heavy rainfall seems threatening but it's not easy to find them in sediment record.

Keyword: Lacustrine sediment, Earthquake, Heavy rainfall, Palaeoenvironmental, Environmental event.

# 目錄



第一章 緒論	1
第一節 前言	1
第二節 研究目的	4
第二章 文獻回顧	5
第一節 湖泊沉積物	5
2.1.1 湖泊的定義與分類	5
2.1.2 湖泊沉積物	7
2.1.3 沉積物的來源與影響因素	8
第二節 古環境研究	10
第三節 指標	13
2.3.1 物理指標	14
2.3.2 化學指標	15
2.3.3 生物指標	15
第四節 小結	16
第三章 研究方法	18
第一節 樣點選擇與背景	18
3.1.1 翠峰湖	19
3.1.2 鯉魚潭與日月潭	20
3.1.3 東源湖	21
第二節 野外採樣方法	23
第三節 實驗方法與步驟	23
3.3.1 密度分析	24
3.3.2 粒徑分析	24
第四節 降雨、地震資料	26
3.4.1 地震資料	26
3.4.2 降雨資料	28
第五節 數據分析方法	34

3.5.1 標準分數	34
3.5.2 核密度估計	35
第四章 結果	36
第一節 密度分析	36
第二節 粒徑分析	39
第三節 生物矽分析	45
第四節 敘述統計	54
第五節 核密度估計	64
第五章 討論	68
第一節 翠峰湖	68
第二節 鯉魚潭	73
第三節 日月潭	75
第四節 東源湖	77
第五節 研究區差異	79
第六節 小結	81
第六章 結論	83
參考文獻	84



## 圖目錄



圖一、影響湖泊可能的作用與因素示意圖（以構造作用行程之湖泊為例）	6
圖二、湖泊沉積物來源示意圖	9
圖三、樣點位置示意圖	19
圖四、氣象局局屬測站宜蘭測站歷年降雨計算後所得之結果	29
圖五、氣象局局屬測站日月潭測站歷年降雨計算後所得之結果	29
圖六、氣象局局屬測站恆春測站歷年降雨計算後所得之結果	29
圖七、翠峰湖密度深度分佈圖	37
圖八、鯉魚潭密度深度分佈圖	37
圖九、日月潭密度深度分佈圖	38
圖十、東源湖密度深度分佈圖	38
圖十一、翠峰湖全粒徑深度分佈圖	41
圖十二、翠峰湖礦物粒徑深度分佈圖	41
圖十三、鯉魚潭全粒徑深度分佈圖	42
圖十四、鯉魚潭礦物粒徑深度分佈圖	42
圖十五、日月潭全粒徑深度分佈圖	43
圖十六、日月潭礦物粒徑深度分佈圖	43
圖十七、東源湖全粒徑深度分佈圖	44
圖十八、東源湖礦物粒徑深度分佈圖	44
圖十九、翠峰湖有機物所佔比例深度分佈圖	46
圖二十、翠峰湖碳酸鈣所佔比例深度分佈圖	46
圖二十一、翠峰湖生物矽所佔比例深度分佈圖	47
圖二十二、翠峰湖礦物質所佔比例深度分佈圖	47
圖二十三、鯉魚潭有機物所佔比例深度分佈圖	48
圖二十四、鯉魚潭碳酸鈣所佔比例深度分佈圖	48
圖二十五、鯉魚潭生物矽所佔比例深度分佈圖	49
圖二十六、鯉魚潭礦物質所佔比例深度分佈圖	49
圖二十七、日月潭有機物所佔比例深度分佈圖	50
圖二十八、日月潭碳酸鈣所佔比例深度分佈圖	50



圖二十九、日月潭潭生物矽所佔比例深度分佈圖	51
圖三十、日月潭潭礦物質所佔比例深度分佈圖	51
圖三十一、東源湖潭有機物所佔比例深度分佈圖	52
圖三十二、東源湖潭碳酸鈣所佔比例深度分佈圖	52
圖三十三、東源湖潭生物矽所佔比例深度分佈圖	53
圖三十四、東源湖潭礦物質所佔比例深度分佈圖	53
圖三十五、各樣本密度核密度估計	65
圖三十六、各樣本全粒徑核密度估計	65
圖三十七、各樣本礦物粒徑核密度估計	66
圖三十八、各樣本有機物所佔比例核密度估計	66
圖三十九、各樣本碳酸鈣所佔比例核密度估計	66
圖四十、各樣本生物矽所佔比例核密度估計	67
圖四十一、各樣本礦物質所佔比例核密度估計	67
圖四十二、翠峰湖(CF1402)上層密度、粒徑、礦物質含量標準分數分佈(刪去極端值)	70
圖四十三、翠峰湖(CF1402)上層密度、粒徑、礦物質含量標準分數分佈(保留極端值)	70
圖四十四、翠峰湖(CF1403)上層密度、粒徑、礦物質含量標準分數分佈	71
圖四十五、翠峰湖(CF1404)上層密度、粒徑、礦物質含量標準分數分佈	71
圖四十六、翠峰湖(平均)上層密度、粒徑、礦物質含量標準分數分佈	72
圖四十七、鯉魚潭(LU1402)上層密度、粒徑、礦物質含量標準分數分佈	74
圖四十八、鯉魚潭(LU1403)上層密度、粒徑、礦物質含量標準分數分佈	74
圖四十九、鯉魚潭(平均)上層密度、粒徑、礦物質含量標準分數分佈	75
圖五十、日月潭上層密度、粒徑、礦物質含量標準分數分佈	77



# 表目錄



表一、常見的古環境研究材料與其適用區域、時間尺度	12
表二、樣本編號與深度	22
表三、各樣點前人所得年代	22
表四、翠峰湖各分析結果敘述統計結果(CF1402)	54
表五、翠峰湖各分析結果間相關係數(CF1402)	54
表六、翠峰湖各分析結果敘述統計結果(CF1402)	55
表七、翠峰湖各分析結果間相關係數(CF1403)	55
表八、翠峰湖各分析結果敘述統計結果(CF1404)	56
表九、翠峰湖各分析結果間相關係數(CF1404)	56
表十、鯉魚潭各分析結果敘述統計結果(LU1401)	57
表十一、鯉魚潭各分析結果間相關係數(LU1401)	57
表十二、鯉魚潭各分析結果敘述統計結果(LU1402)	58
表十三、鯉魚潭各分析結果間相關係數(LU1402)	58
表十四、鯉魚潭各分析結果敘述統計結果(LU1403)	59
表十五、鯉魚潭各分析結果間相關係數(LU1403)	59
表十六、鯉魚潭各分析結果敘述統計結果(LU1404)	60
表十七、鯉魚潭各分析結果間相關係數(LU1404)	60
表十八、日月潭各分析結果敘述統計結果	61
表十九、日月潭各分析結果間相關係數	61
表二十、東源湖各分析結果敘述統計結果(DY1401)	62
表二十一、東源湖各分析結果間相關係數(DY1401)	62
表二十二、東源湖各分析結果敘述統計結果(DY1402)	63
表二十三、東源湖各分析結果間相關係數(DY1402)	63

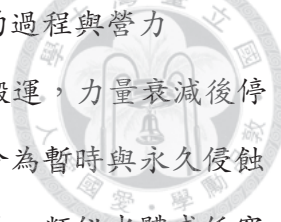
# 第一章 緒論



## 第一節 前言

全球環境變遷議題自二十世紀末以來已有無數的研究者投入研究，並逐步取得成果，然而面對龐大複雜的地球系統，其所牽涉的種種機制與人類在其中所扮演的角色仍有許多未明之處。由於地球系統的龐雜無法以人力複製、實驗，在古今同一律的假設前提下，過去成為解析系統的關鍵，甚至推及未來，提供未來環境變遷的線索。

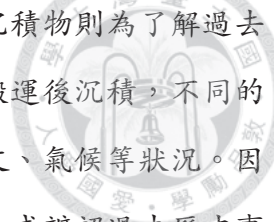
要了解過去的環境狀況最理想的方法是利用先人紀錄的歷史文獻，少數地區擁有十分連續且悠久的紀錄，雖然無法與近代量化的觀測資料媲美，但仍提供相當豐富的資訊；然而大部分地區關於過去環境的紀錄是破碎、片段甚至空白缺乏任何的描述，因此在缺乏歷史文獻的情況下，要了解過去環境狀況勢必需要尋求不同途徑。古環境的研究藉由各種材料指示過去環境狀態，可以彌補對過去未知歷史的空白，一窺過去環境的狀況。而瞭解過去環境狀況此一課題橫跨數個研究領域，包含生態、地質、地理、大氣等領域各有其需求與方式。各領域研究者藉由不同方法與途徑試圖重建過去環境歷史，例如樹輪年代學利用年輪中的火痕(fire scar)重建過去野火分佈與影響因素(Bowman, 2007)；沉積於湖泊、沼澤、海洋中的燃燒後形成物質可重建過去野火的分佈與頻率(Lynch et al., 2007)；冰芯中的氣泡保有形成時相應的大氣成分，可用於過去氣候的重建(Stauffer et al., 1985)；有孔蟲的化石分佈與記錄可反映氣候的轉變(McInerney and Wing, 2011)；藉古菌(Archaea)分泌物質可推測其所處環境溫度(Pearson and Ingalls, 2013)；沉積物中的放射性物質亦可追溯其沉積年代，如鈾鉛、鈷鉛、鉀氬、碳十四定年，或其他如光螢光定年等方式，沉積物中的化石、花粉、硫酸鹽、硝酸鹽等物質也可提供過去環境訊息。瞭解過去環境的各種方式與途徑，各有其特色與限制，適用時間、空間尺度不一，因此要全面的瞭解過去環境歷史需要綜合各種不同面向的資訊。



在各式古環境研究中，沉積學研究物質形成、搬運、沉積的過程與營力(Nichols, 2009)。當物質自相對高處因水力、風力、重力等等因素搬運，力量衰減後停留在侵蝕基準面，直到侵蝕與搬運作用再次發生。侵蝕基準面又分為暫時與永久侵蝕基準面，在陸域環境中，物質在搬運力量衰減後停留並沉積於湖泊、類似水體或低窪處，直至環境改變導致侵蝕與搬運作用再次發生，期間沉積物不斷累積並紀錄水體上游的侵蝕與搬運作用條件，而不同的水體跨越的時距隨其環境條件不同而有所差異，長時間提供可跨越千年、萬年的氣候變遷紀錄，但同時也可紀錄相對短時間的極端事件。利用沉積物重建過去環境的研究，過去已有許多研究者投入，而從現有研究結果可歸納出湖泊沉積物的分析結果中各種參數可以指示湖泊生產力、水深、沉積速率、剝蝕作用等環境條件，雖然仍有許多疑問尚待解答，但整體而言已經累積一定的成果可供參考(Conley,1988; Kashiwaya et al.,1995; Kashiwaya et al.,1988; Qiu et al.,1993; Shichi et al.,2009)。

當自然事件危及到人類生命財產安全時通稱其為災害，而這些災害除了展現自然環境的驚人能量外，也帶來了嚴重危害居民生命與財產的安全。台灣位於亞熱帶季風區以及受擠壓、抬升作用的板塊聚合帶，在地質、氣候以及受其影響的水文條件都相對其他地區來得劇烈且顯著。頻繁的地質作用與氣候條件使台灣的內、外營力相對於其他地區來得強烈，致使台灣的風化、侵蝕、搬運也相對劇烈，地表沖蝕、邊坡破壞強度也隨之上升且頻繁，大量的風化、侵蝕與搬運也致使沉積速率與量極為驚人，使得台灣的自然環境具有高度的敏感性，雖然在台灣有許多不同的自然災害，但主要仍以地震與豪雨最為頻繁且影響廣泛深遠。

現今雖能仰賴科技避免或減少自然災害帶來的損害，但仍無法忽視其巨大的影響力；例如近代較嚴重的地震諸如1935年與1999年大地震分別造成3,276人死亡，12,053人受傷，近5.5萬戶房屋全倒或半倒與2,415人死亡、30人失蹤、11,306人受傷、近11萬戶房屋全倒或半倒；而因災害性天氣所造成的直接財物損失，每年平均超過新台幣150億元，其中85%左右與颱風有關，例如民國98年莫拉克風災在台灣造成677人死亡、22人失蹤、38座橋樑毀損(98年度重大水旱災勘災報告書)、農損金額達到194億以上，



簡述部分地震、豪雨事件紀錄即可了解其對台灣的影響。而湖泊沉積物則為了解過去自然事件歷史提供一個機會，由於湖泊沉積物由集水區中物質經搬運後沉積，不同的搬運、沉積過程造成沉積物性質上的差異，進而紀錄集水區中水文、氣候等狀況。因此透過研究湖泊沉積物的組成、性質可推測過去集水區環境狀況，或辨認過去歷史事件，其中亦包括豪雨、地震等自然災害(Slaymaker et al., 2009)。

相對於部分著重冰期、間冰期長時間、大幅度環境變動的古環境研究，全新世以來氣候變化更為細微(Dansgarrd et al., 1993)。此外，作為鑑往知來的重要資訊，需要更為細緻的資料。這使得選擇指示過去環境狀況的古環境代用指標更為困難，因此尋找適合近代高解析度古環境研究的指標與材料成為重要的一步。台灣獨特的環境條件使得其受到頻繁的自然災害侵襲，平均每年有三至四個颱風侵襲，上千次有感地震發生，頻繁的自然災害提供了研究湖泊沉積物紀錄自然災害的絕佳機會，同時也提供近代古環境研究一個可能的指標。因此本研究希望嘗試利用台灣敏感的環境條件與劇烈、頻繁的豪雨、地震事件，嘗試以湖泊沉積物中的自然事件提高近代古環境研究解析度，並討論其可行性。

## 第二節 研究目的

過去台灣地區古環境的研究主要著眼於萬年、千年尺度，以及現生環境年、季、月變動的研究。雖然至今全球變遷相關研究已有相當程度的發展，我們對於過去千年、萬年尺度全球的變化已有一定的瞭解，但是要面對、因應全球變遷所帶來的災害需要更細緻的資料與瞭解。由於古環境研究往往受限於樣本時間解析度，多半討論較廣域、長時間尺度的環境變化，難以將尺度限縮至區域、短時間內。重大的自然事件夾帶龐大的能量可以在短時間內造成環境劇烈的變化，並透過沉積物留下蹤跡，本研究希望藉由自然事件在沉積物中的特殊性使沉積物紀錄時間解析度能更進一步細緻。因此在本研究中，將著重討論地震與豪雨事件兩項影響台灣極深的自然事件，嘗試於沉積物中辨認並討論。為此本研究希望可以達到以下兩點目的：

- (一)、由於台灣以豪雨、地震最為常見，且也具有一定能量與影響，因此希望蒐集並利用過去百年內已知的環境觀測紀錄，瞭解地震與豪雨事件對沉積物的影響。
- (二)、探討在不同環境條件下中自然事件對沉積物紀錄是否也會因環境條件不同而有所差異，因此希望藉由採集不同環境的沉積物比較其差異及原因。

## 第二章 文獻回顧



### 第一節 湖泊沉積物

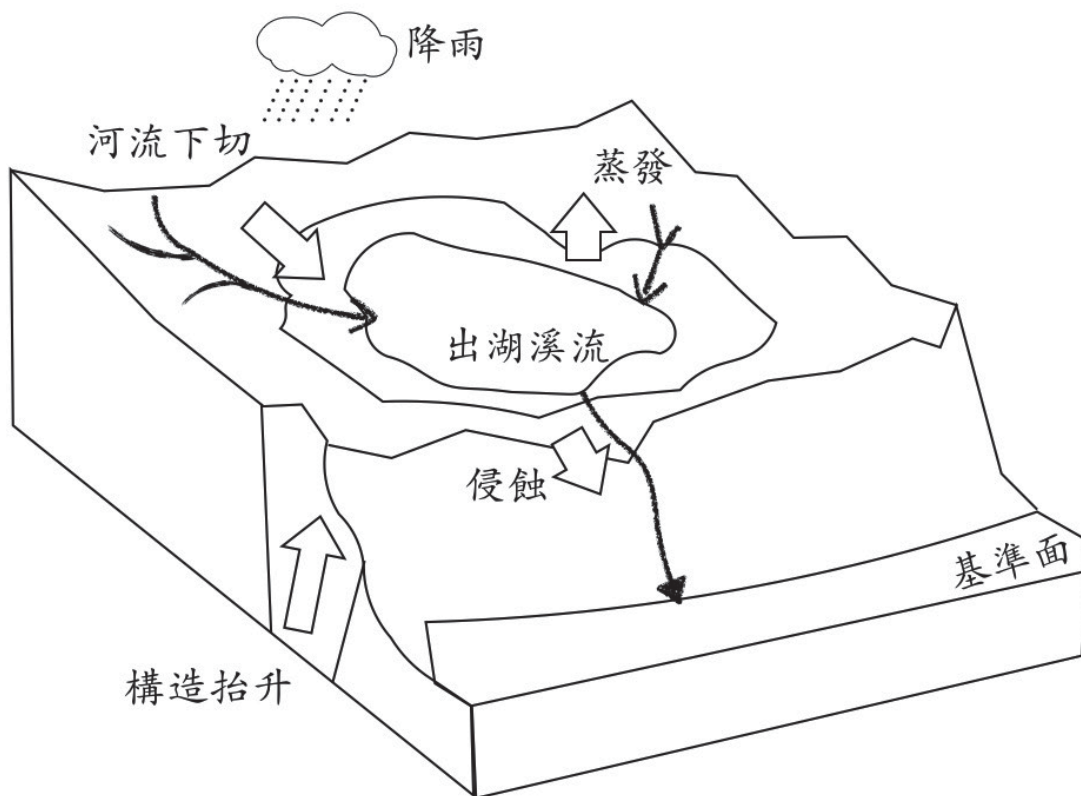
#### 2.1.1 湖泊的定義與分類

湖泊為地表中常見的地形，不同的學者對於湖泊有不同的定義，呂光洋、李玲玲(1992)認為湖泊是指具有一定深度的靜止水體，湖的某一部份陽光是無法穿透照射到的；較為廣義的定義則僅限制具一定蓄水量、不直接與海洋連接的地表蓄水窪地(王洪道、林利新，1988；陳鎮東、王冰潔，1997)或者將人造埤塘與水庫囊括入湖泊的定義之中(何立德、王鑫，2002)。定義各有不同，但除去對湖面大小、深度的限制，相同之處在於與海水的區隔，因此常態性存在於地表的水體皆可廣義的稱呼為湖泊。由於湖泊為一常態性低窪蓄水的地形，因此受沉積作用影響，周遭集水區內的物質將受各種營力影響進入作為暫時侵蝕基準面的湖泊之中直至再次受到搬運。湖泊會持續累積沉積物直至填滿，因此湖泊在地質時間尺度上通常是相對短暫的，長時間存在於地表的湖泊通常有一形成湖泊的作用持續影響，使其能長時間保持相對低窪的狀態(Garcia-Castellanos, 2006)。大部份的湖泊形成於末次冰期後，因此也相對的年輕，湖泊形成後與其集水區會受到外營力：風化、侵蝕、搬運、沉積的持續影響，少部分長時間存在的湖泊因為活躍的構造活動而能跨越末次冰期，例如貝加爾湖因構造持續張裂使其得以存在於地表超過兩千五百萬年(Hutchinson, 1993)。大部份湖泊則會逐漸被沉積物填充並逐漸變成濕地消失，大型水生植物如蘆葦一類則會加速此一過程並形成泥炭沉積，或者因出湖溪流下切使其不再維持相對低窪而消失，部分湖泊會隨著季節出現或者消失，人類發展也會影響湖泊的壽命，例如鹹海就是導引其上游作為灌溉使用，致使入流減少而影響湖泊原有面積(Strahler, 2006)。

湖泊的分類可以從其形成原因、位置或鹽度等區分，湖泊的分類在湖沼學中主要以湖泊的成因進行分類(Hutchinson, 1957)，常見的成因包含構造形成、火山作用造成的火口湖、地表作用形成的堰塞湖、冰河作用造成的冰斗湖、河川作用形成的牛軛湖等等，以及人為建造或影響形成的水體如埤塘、水庫等。Håkanson & Jansson(2002)列舉11種較為常見的形成原因：構造作用、火山作用、崩塌堰塞、冰河作用、溶蝕作

用、河流作用、風成作用、海岸作用、生物作用、人為作用、隕石，此外也可以湖泊營養程度、溫度等進行分類。

台灣的湖泊相對於世界其他湖泊而言面積大部份偏小，大部份台灣的湖泊面積均未達到定義的二公頃以上(Williams, 2004)，未經人工鑿成的湖泊以日月潭面積最大，人工建造的則以曾文水庫水庫最大。台灣全島幾乎都有天然湖泊分佈，分布於高海拔地區的湖泊由於溫度較低且光照相對較弱，因此初級生產力相對貧弱，深度一般較淺，由於位置偏僻交通不便，因此相對其他中低海拔的湖泊較不受人為活動的干擾。中海拔地區湖泊天然較少，但因位於高山與平原之間坡度較陡可供蓄水，因此人為興建的水庫相對較多。



▲圖一、影響湖泊可能的作用與因素示意圖（以構造作用行程之湖泊為例）（改繪自 Garcia-Castellanos, 2006）

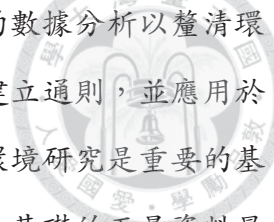




### 2.1.2 湖泊沉積物

沉積物為地形系統中岩石風化經過搬運最後沉積形成之物質，期間受到地質、構造、氣候、生物的影響，當搬運力量不再能搬運移動物質時開始沉積(Huggett, 2011)。藉由沉積物的各種性質，可以大致的推測、瞭解過去沉積環境及搬運狀況。各式沉積環境大致可區分為陸域、濱海、遠洋、碳酸鹽及蒸發四大類，透過陸域沉積物沉積速率、沉積物性質等可以重現過去人類活動主要區域環境狀態與變遷。陸域沉積中湖泊相對於其他沉積環境穩定，可收集、記錄、保存集水區內環境訊息，隨沉積速率差異可用於萬年至百年尺度的環境與氣候研究，適用區域廣泛(Johnson, 1984)。湖泊沉積物由集水區中物質經搬運後沉積，沉積物物質的粒徑、形狀、分佈等特性提供當時物質形成、搬運、沉積狀況的線索，這些線索指示著不同過程與營力的影響與改變，而藉由拼湊這些線索可以一定程度的推測、了解過去環境狀況，甚至彌補未有紀錄的歷史。沉積物研究隨環境、材料影響，時間尺度可涵蓋數億年，亦可應用於中古時期考古研究(Guido et al., 2013)，或可配合花粉、化石、同位素定年等技術進行研究，且材料豐富遍及世界。湖泊沉積同時受到氣候及各種物理、化學、生物因素影響，包括水波、水質、沉積物來源等，且多數湖泊與其他沉積系統互有影響，雖然部分湖泊沉積類似於遠洋沉積，但由於水體大小、水質、潮汐、生物等因素影響仍有一定的差異(Boggs, 2012)

湖沼學作為水文地理學的分支，主要研究內陸水體，而其討論受研究時間尺度影響，在解釋環境變遷時尚需借助地質、地形、生物、物理、化學等基礎科學，而依據時間尺度不同其關注的核心問題亦有所不同(Wetzel, 2001)。對於現生環境與過去環境研究的重點有所不同，在現生環境主要試圖了解各種環境機制、因素對沉積結果或機制的影響，著重於觀測事件與湖泊沉積物之間的關聯，探討其相互關係。例如工業化、森林砍伐等人類活動對湖泊沉積物化學性質或者沉積速率的改變；利用放射性元素標記物質以追蹤物質的移動；分析湖底地形變遷以解讀邊坡沖蝕與物質運輸的路徑、分佈形態等(Ochiai et al. 2012; Wetzel, 2001)。



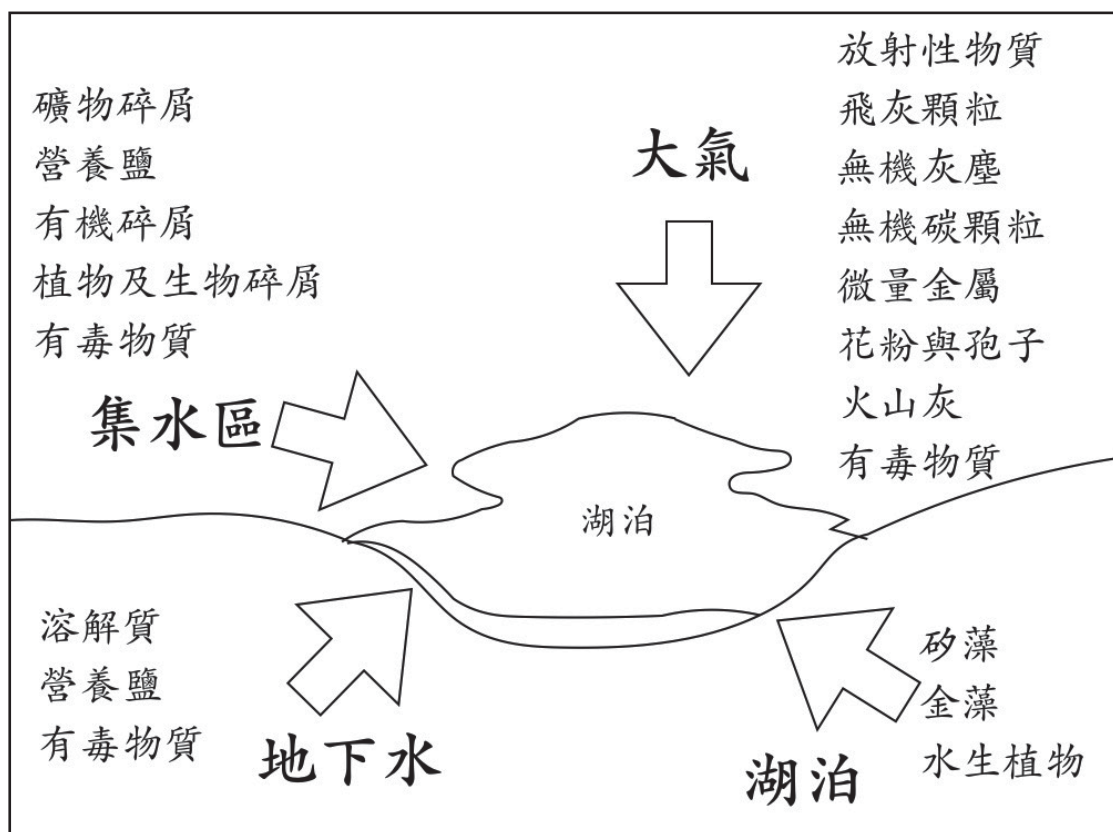
現生環境研究偏向湖泊環境的監測，藉由高度量化、大量的數據分析以釐清環境因子與湖泊沉積物的相互關係，進而利用物理、數學模型嘗試建立通則，並應用於過去的沉積與推測紀錄未來的變遷趨勢。因此現生環境研究對於環境研究是重要的基礎，然而現生環境研究往往受限於已知資料缺乏的限制，例如最為基礎的雨量資料最遠也僅能追溯至十九世紀，而許多資料都需要研究者自行觀測蒐集，而許多機制至今也尚未有成熟的研究解果提供量化關係，但模型的建立卻又仰賴大量觀測資料的支持與量化的關係式成為現生環境的研究限制。古環境研究則偏向藉由沉積紀錄以其性質或特徵推斷過去環境變遷的歷程，重建過去環境歷史，並比對其歷史事件或變遷為局部性或可與其他區域連結對照。古環境研究與現生環境研究同樣在集水區環境因子與湖泊沉積物的相互關係，現生環境研究可說是古環境研究的基礎，古環境歷史重建是經由現生環境研究所理解的相互關係應用於古環境研究後所得之結果，因此相對於現生環境研究古環境研究仍有量化數據，但也有許多較為質性的敘述與部分。古環境研究主要貢獻於提供人類無法直接見證、未知的過去，由於其較為宏觀的時間尺度、部分較為質性的敘述以及作為其研究基礎的現生環境研究成果，相對於現生環境研究古環境研究無法複製與精細的驗證，也受限於樣本本身的時間解析度、各種技術限制，以及對於過去的未知對樣本與分析結果產生的誤差(Boggs, 2005; Wetzel, 2001)。

### 2.1.3 沉積物的來源與影響因素

集水區中的物質經過搬運最終沉積至湖中的過程是複雜的，湖泊沉積物質量與數量受許多作用與因素影響，其中包括湖泊周圍地理環境諸如經緯度、氣候、周圍植群、位置、地形等，地質條件如土壤、母岩，湖泊本身產出、異地輸入、水文條件，人為影響如農業、人口、工業等，各因素與作用又時常相互影響。湖泊沉積物可依其來源區分為異地與本地來源，分別來自集水區、大氣、地下水和湖泊 (Smol, 2002)。

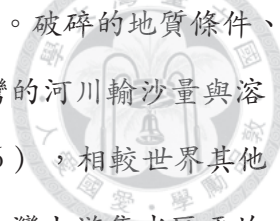
物質經過風化、侵蝕、搬運、沉積的作用影響後最終沉積至湖底形成湖泊沉積物，並使其性質有所不同，沉積物可依照其性質進行分類，包括顏色、質地、結構、

粒徑、有機物含量、藻類含量、底棲生物群落等等，而湖泊的種類與所在環境則是影響沉積物性質的重要因素。風化作用的產物是沉積物的來源也是形成沉積物的第一步，包含物理、化學、生物等過程，其中又以化學風化較為重要，風化受到其所在地氣候主導，部分風化後的產物會留在原地，但大部份會受到侵蝕、搬運直至沉積。物質風化後一般會被從高處被侵蝕、搬運至相對低處沉積，塊體運動或者崩蹋作用通常扮演著搬運物質的初始角色，相對於其他作用移動距離較短。流體流動(如水流)或者沉積物重力流(如土石流)則相對能將物質搬運至較遠的距離，在搬運過程中物質則會受到侵蝕。因此不同的環境其風化、侵蝕、搬運能力不同便會間接地影響到該湖泊沉積物的性質 (Boggs, 2012)。



▲圖二、湖泊沉積物來源示意圖 (改繪自Smol, 2002)

台灣位於菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊碰撞活動帶上，並持續的向西北碰撞，造成台灣島強烈的擠壓變形，形成破碎的地質條件，並使台灣頻繁地受到地震的侵擾。除板塊碰撞外，位於太平洋西側的台灣處於副熱帶與熱帶季風區之間，每年都有數個



熱帶氣旋形成，與板塊碰撞形成的山脈一同為台灣帶來強烈的雨勢。破碎的地質條件、頻繁的地震及強降雨對台灣的地形地貌有十分重要的影響。以台灣的河川輸沙量與溶解態離子，所推算出的平均剝蝕速率約為 $1365 \text{ mg/cm}^2/\text{yr}$  (Li, 1976)，相較世界其他區域高出許多，而高輸沙量隱含著高侵蝕量，在過去的研究中，台灣上游集水區平均土壤沖蝕率達每年6.4公分 (簡碧梧, 1989)，而過去台灣亦曾有河川於颱風期間單日測得輸沙量高達14401公噸 (經濟部水利署水文年報, 2012)，表示在台灣颱風所帶來的極端豪雨事件確實具有相當的能量產生或搬運物質。而 921 地震後的河川輸砂量為震前的 4.4 倍，顯示震央附近受地震事件的影響極為顯著(Dadson et al., 2004)。

## 第二節 古環境研究

在氣候變遷議題的風潮下，相關的研究亦蓬勃發展，而古環境研究除得以彌補過去歷史的空白外，也是氣候變遷研究重要的一環。為因應可能的變化，氣候變遷研究的目的之一包含預測未來氣候可能的變化，而要預測未來的氣候、環境便需先對現在環境運作的機制與型態有充分的瞭解，而地球與環境之遼闊、各體系機制交錯複雜、橫跨的時間之長久，難以用簡單的方式複製、實驗，而過去則提供了機會。然而相對於環境的歷史的漫長，僅僅依靠儀器紀錄所得之資料是遠遠不足以對環境有充分的了解，地球歷史推估約有四十六億年，而各種環境測量的紀錄最遠不過數百年，兩者相差甚大，因此便需尋求其他的方法協助。1986年國際科學總會 (International Council of Scientific Union, ICSU) 推動且於1987年成立國際地圈-生物圈計劃(International Geosphere-Biosphere Programme, IGBP)以求了解整個地球系統中相互影響的物理、化學、生物過程，以及系統中正在發生的變化，及人類活動對於系統的影響。過去IGBP在1994年曾將研究焦點置於全球古環境變異、極區古環境變異、人類活動對古環境的衝擊、氣候模型與古環境資料的對照等研究上，而古環境變異的觀測與研究尺度著重在過去兩千年與過去數十萬年冰期、間冰期之間，而在前者的希望能達到每年甚至每季的解析度。古環境變遷的定量描述有助於氣候模型的驗證，以增加預測未來氣候的

可信度。自九零年代起古環境研究便已開始，研究者嘗試以各種材料、方法進行研究，其中包含樹輪、珊瑚、湖泊沉積物、海洋沉積物等等，然而影響指標的環境因素眾多且其機制也尚有些許不確定，再者指標與環境因素間的關係不明確，以及良好紀錄難尋等限制下，要重建詳細且完整的古環境成為一件重要但不易的目標。

台灣過去古環境相關的工作已累積不少研究，但主要以孢粉為材料重建過去環境與氣候變遷為大宗，部分同時討論植物孢粉、矽酸體、碳化植物種實等所指示的環境變遷，以及環境變遷對史前人類活動的關聯(Chen et al., 2009 ; Lee & Liew, 2010; Lee et al., 2010; Hsieh & Liew, 2000; Lin et al., 2007; Lin et al., 2004; Wang et al., 2011 ; 林淑芬, 2004 ; 林淑芬等, 2004 ; 彭佳鴻, 2010) , 少部分以樹輪(Cook et al., 2010 ; 鄒佩珊, 1998)、古地磁 (陳國峰, 2006 ; 林天妍, 2007) 、海洋岩芯 (賴永翔, 2009) 、有機和地化指標 (羅建育, 1996 ; 許殷瑋, 2006 ; 顧惠禕, 2006 ; 鄭健良, 2006 ; 楊承濬, 2010) 、珊瑚 (黃蘭鈞, 2014) 等方式討論環境變遷、植群演替、水質狀態、洪水氾濫等。大部份著重在全球尺度的氣候、環境變遷，較少論及災害或者短時距事件的討論，少部分討論也是以海進海退等時間尺度跨距較長的事件討論。黃致展 (2011) 於宜蘭蘭陽河流域整合階地、湖泊沉積物中有機物指標及海洋岩芯木屑豐度，重建過去千年蘭陽河流域洪水事件，是少數討論災害歷史的研究。

▼表一、常見的古環境研究材料與其適用區域、時間尺度 (魏國彥, 1997)

紀錄型態	解析度	適用區域	訊息
歷史文獻	年、月、日、小時	全球各地	溫度、濕度、雨量、植群型態、火山活動、地磁場變化、海水面變化、太陽活動
樹輪	年、季	除沙漠與凍原外陸域	溫度、濕度、雨量、大氣中化學成分、植群型態、火山活動、地磁場變化、太陽活動
湖泊沉積物	數十年、年	陸域	溫度、濕度、雨量、水中化學成分、植群型態、火山活動、地磁場變化
冰芯	年	極區與高山地區	溫度、濕度、雨量、大氣中化學成分、植群型態、火山活動、地磁場變化、太陽活動
花粉	數十年、數百年	陸域	溫度、濕度、雨量、植群型態
黃土、古土壤	百年	陸域	溫度、濕度、植群型態、土壤中化學成分、地磁場變化、火山活動
珊瑚	年	熱帶海洋	溫度、濕度、雨量、水中化學成分、海水面變化
海洋岩芯	數百年、數千年	海洋	溫度、水中化學成分、植群型態、地磁場變化

### 第三節 指標



湖泊沉積物能收集集水區當中的物質並紀錄其環境狀況，而當該區域內發生事件時也會反映在湖泊沉積物的紀錄之中。例如貝加爾湖沉積物研究中便尋找到多次飄冰碎屑事件(Grygar, 2006)，海底沉積物也紀錄了濁流事件。

當地震或豪雨事件發生時，一般以集水區的變化最為顯著，但地震與豪雨產生的影響並不僅止於搬運過程，對物質的產生也有影響。在搬運過程中，被搬運物質粒徑受搬運力量大小限制，較大的物質一般需要較大的力量才能被搬運。當豪雨發生時，其所提供的能量高於平時集水區的搬運力量，因此強降雨往往導致逕流增加及高輸沙量 (Chen et al., 2006; Galewsky et al., 2006; Goldsmith et al., 2008)。

而物質經過逕流搬運或其他途徑進入湖泊成為沉積物後，便保存著豪雨造成的影響，由於搬運能力的上升使沉積物粒徑較平時粗。相對於豪雨，地震事件影響沉積物性質方式主要並非透過影響搬運過程，而是在物質產出方面。當地震發生時，集水區經過搖晃，相對於豪雨提供動力搬運更多更粗的顆粒，地震事件則是產生新的物質。一般來說集水區中的物質經過風化侵蝕作用產生，相對於豪雨事件提供高能量移除更多的物質於集水區中，地震事件則是加速風化、侵蝕過程。地震事件雖然能使集水區中的物質增加，但若缺乏搬運能力的話沉積物粒徑未必會發生變化。但由於地震所產生物質源自基岩主要以無機物為主，相對的集水區坡面上的植被供應及湖中生物生產的有機物，產出量受地震影響相對較小，因此地震後沉積物無機物含量會相對平時偏高。

集水區坡面同時提供無機物與有機物，無機物產出以基岩風化後的土壤為主，有機物則主要以坡面上生長的植被與生物提供。若一集水區坡面覆有良好植被的話，坡面上的土壤在豪雨發生時會受到植被的保護而減輕被侵蝕的力量，因此一般而言有機物會被逕流直接帶入湖泊，土壤則相對較少 (McDowell and Likens, 1988; Guggenberger and Zech, 1993; Beuselinck et al., 2000)。豪雨發生時侵蝕強度隨之上升，然而集水區坡面上若覆有良好植被的話，地表逕流相對平時或流水移除搬運較多的物

質於集水區中，在坡面上的土壤同時包含礦物質、植被（提供有機物）。當豪雨造成的侵蝕強度不斷上升時，坡面上可被移除的有機物或者植被是有限的，當侵蝕強度超過一定程度後被侵蝕的有機物總量變化便不會有太大的變化。相對而言，無機物平時受植被保護，但當侵蝕強度逐漸增強植被不再能有效保護時被侵蝕量便不斷增加。相異於有機物，無機物可提供許多物質被侵蝕，因此豪雨發生時由於有機物可被侵蝕的量有所限制，而無機物相對限制較少，沉積物中無機物的比例因而相對上升，而無機物比例的上升同時也會影響沉積物粒徑與密度(Wainwright, 1996; Rodbell et al., 1999)。

沉積物的各種性質指示著過去集水區的地質、水文、氣候等環境條件，而這些指標可以是物理性、化學性或生物性的。物理性的指標包含粒徑、密度等性質，化學性指標則包含各元素含量、組成成分的比例與含量，生物性指標則有化石等，這些性質受其物質來源母岩的種類、風化、剝蝕、搬運等作用的影響。例如不同的搬運歷程會影響到沉積物顆粒的粒徑與密度，而顆粒粒徑大小也可能指示著豪雨造成的洪水事件，顆粒密度可能與沉積速率相關，有機物質的變化可能指示著有機物質來源的變動等等 (Nesje et al., 2001; Gilbert, 2006; Prothero & Schwab, 2013)。

### 2.3.1 物理指標

粒徑在地球科學中是相當常見的量化指標(Folk, 1966)，沉積物粒徑主要表現物質在剝蝕、搬運過程中受到摩擦、重力等影響的結果，隨過程時間與強度的增強而改變其顆粒大小與外型(Boggs Jr., 2005)，因此也可指示洪水事件(Slaymaker, 2009)。由於沉積物多半為混合物，同時混有粒徑不同的顆粒，因此在有些研究會顆粒依其大小分為礫、砂、粉土、泥等數類再比較各類比例。除了氣候變遷造成的整體改變外，相對短時間環境變動或事件也會造成顆粒較粗的砂、礫大量出現，例如地震、崩塌、伐木、森林火災等造成地表被迅速破壞的事件都可能造成較粗顆粒的物質大量沉積。

沉積物密度則可作為沉積物物質組成成分的指標，相對於粒徑常見於地球科學研究中，密度過去主要以工程學應用為主，利用密度來估算土壤組成、膠結、壓密等



性質，不同需求有不同的密度量測方法，最為普遍顆粒密度是指將樣本烤乾去除水分後，將樣本經過研磨排除土壤中的孔隙再進行密度分析以求得物質總量與體積的比值。在沉積物中影響密度的主要因素除樣本本身組成以礦物、無機物為主時相對有機物偏重外，沉積物是否經過壓密、膠結等作用影響與影響時間也會影響沉積物密度(Schnurrenberger et al., 2003)。因此密度可以反應湖泊沉積物來源與水體中生物作用。

### 2.3.2 化學指標

化學指標中，湖泊沉積物依其來源可區分有機物與無機物，有機物為經生物體或生物作用後所遺留的物質，而無機物則與其相反未經生物作用，在化學上有機物主要以碳、氫、氧、氮、硫為主組成。有機物的出現指示著集水區或水體中的生物作用規模與總量(Murakami et al., 2012; Orkhonselenge et al., 2012; Qiu et al., 1993; Kashiwaya et al., 1995)，當集水區中的物質被帶入水體後，有機物為主的物質會被水中的細菌、藻類等微生物分解並溶入水中最後形成化合物沉積於湖底(Conley, 1998; Hodell et al., 1995; Schnurrenberger et al., 2003)。與之相對的無機物則是另一常見成分，包含礦物質與金屬離子，其來源以集水區坡面與河道輸入為主，相異於有機物受到水中微生物的分解，無機物直接沉積於湖底，由於其來源以集水區中的岩石、土壤碎屑為主，當無機物大量出現時指示著當時剝蝕作用與搬運作用較為旺盛，因此無機物含量可作為沉積物來源、剝蝕與搬運作用強度的參考。此外，因為無機物未受微生物分解直接沉積至湖底，因此也可藉由無機物的性質或者特定的化合物或元素來辨別特定環境事件。

### 2.3.3 生物指標

藻類是常用的環境指標，而矽藻則可作為生物指標指示當時水體環境狀況或者重建古環境變遷，但由於藻類具有生物地理特性，因此在有充分背景資料的情況下可

以指示更為詳細的資訊，以供鑑定地理區位，唯國內矽藻的生物地理學研究尚未充分（周傳鈴，2013）。

而類似於藻類、矽藻的生物矽也是海洋研究常見的指標之一，是生物作用後所遺留以矽元素組和而成的化合物的總稱，由於矽藻等原生生物會吸收矽元素作為其本體材料，而矽藻所產生的物質與一般風化作用產生的無機矽有不同的特性，因此可藉生物矽含量推算過去矽藻族群的多寡，由於湖泊內矽藻等生物總量受濁度、酸鹼度以及深度等因素影響，因此透過矽藻族群的多寡亦可間接的推測湖泊的水質條件 (Murakami et al., 2012; Orkhonselenge et al., 2012; Kashiwaya et al., 1995)。

#### 第四節 小結

湖泊提供了解過去環境事件與歷史的條件或樣點的適宜大約有三點，首先類似的研究在未被否定的狀況下會假設湖泊沉積紀錄是連續的，湖泊沉積物得以紀錄周遭環境條件仰賴其作為暫時基準面使周遭物質經過搬運後停留於此，相對而言，當湖泊乾涸時表示物質不再停留於此或甚至原有的沉積物會受到風化、侵蝕作用影響使得沉積紀錄中斷、不連貫，此時若沒有詳細的定年資料的話難以辨別，但在實際操作上要詳盡的定年以辨別紀錄不連續是困難的。由於未經過詳盡的定年也無法推測沉積物是否不連續，因此一般在選擇樣點時會傾向規模較大且已知長時間存在的水體，並於水體中心最深處採樣以避免沉積紀錄的不連續。

由於沉積物來源主要以地表逕流輸入為主，因此大部份的沉積物來自集水區並逐漸被搬運至暫時侵蝕基準面沉積，不同的沉積物來源對於其成分、組成等物理、化學性質有顯著的影響，因此在沉積物各種物理、化學指標的解讀時，需事先了解集水區環境條件以供參考。不同的沉積物進行比較時也需注意不同的集水區地質條件不同，

其沉積物物理、化學性質必然有所差異。在選擇樣點時則以集水區母岩、土壤性質較為單一的水體，或集水區較小水系相對簡單者為佳。

此外，人為的影響也是需要注意的部分，由於人類活動對於水源的依賴，使得水體周遭除生活、農業用水之外也有許多水利工程、遊憩設施出現。其中為生活、農業、遊憩使用方便，人工挖掘的埤塘、蓄水池等，或因水利工程而形成的人工湖泊等都形成新的暫時侵蝕基準面，進而影響水系的侵蝕、沉積作用。而以上人為活動都影響當地水文條件致使該區域的沉積環境發生改變，而水體周遭的人為活動也需要注意，幸而較為顯著的人為影響多半發生在工業化之後，多半有歷史紀錄可供參考。

集水區有固定有機物與無機物產出，而降雨則提供搬運至水體所需的能量。因此降雨強度越高可搬運的物質越多且越大，因此當豪雨發生時，沉積物粒徑會相對上升。地震後集水區中保有較平時多的物質，而降雨事件提供動力搬運物質至水體中，造成沉積物增加且礦物質含量相對偏高。

無機物的含量指示著當時剝蝕或搬運作用相對平時強烈，來源以岩石、土壤為主造成無機物含量上升。在較為濕潤溫暖的地區，坡面上的植被可保護坡面受到較低的剝蝕作用影響。然而當強降雨事件發生時，雨水和地表逕流的沖刷依然具有足夠的動力使坡面上的物質帶入水體，地震的發生更可能引發邊坡破壞等事件，造成大量風化物直接進入湖泊等現象發生，使得湖泊沉積物的顆粒變粗。因此在顆粒粒徑的分布上來看，若較粗顆粒的物質比例上升，指示著強降雨所引發的剝蝕作用增強的結果 (Kashiwaya et al.,1995; Orkhonselenge et al., 2012)。

## 第三章 研究方法

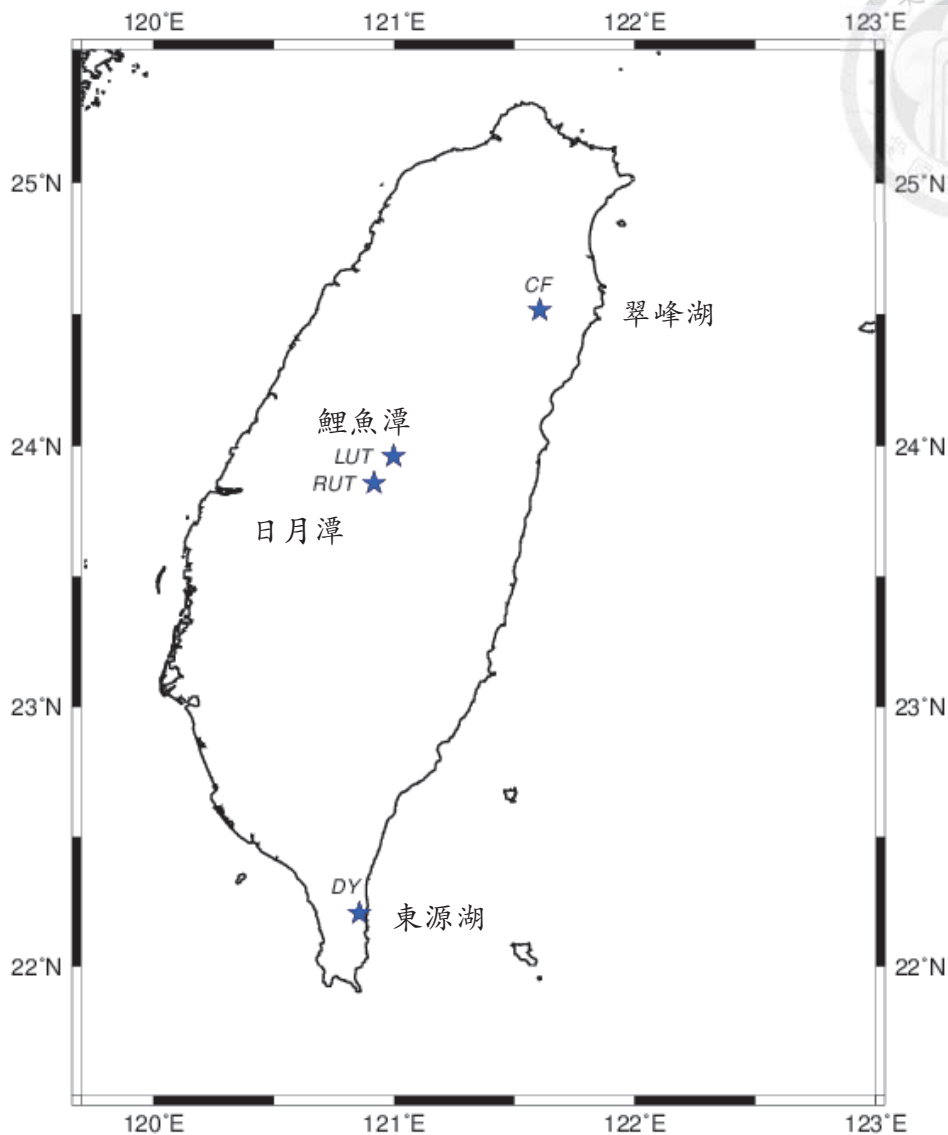


由於本研究希望瞭解地震、豪雨事件與沉積物紀錄的關聯，以及是否因不同環境條件而有所差異，需收集過去地震、豪雨資料與沉積物加以分析、討論。因此以下就樣點選擇、沉積物分析方法討論與資料分析方法與已知地震、降雨資料收集。

### 第一節 樣點選擇與背景

為探討在不同沉積環境下自然事件對沉積物紀錄是否也會因環境條件不同而有所差異，需選取環境條件明顯不同的水體以利比較，並考量地震、豪雨事件的影響與觀測資料。由於台灣位居東亞沿岸，介於大陸與海洋、熱帶與亞熱帶之間，冬季受自西伯利亞大陸冷高壓影響盛行東北季風，夏季受太平洋海洋性高氣壓盛行西南季風；此外台灣地形陡峻，最高山玉山海拔近四千公尺，各地氣候型態略有差異。因此本研究依據緯度與海拔差異，於台灣北中南三個區域的挑選適當水體進行採樣。除氣候條件外，水體大小亦是影響沉積物性質的可能因素，為討論其影響，需選取鄰近具有相似氣候、地質條件但大小相異的湖泊進行比較。

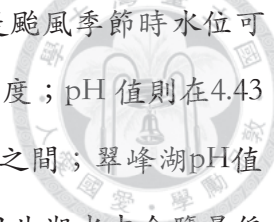
除不同的緯度、海拔與水體大小外，在水體其餘條件上，將挑選流域相對狹小，母岩、土壤等因素較為單一的水體，盡可能降低在分析與歸納上需要考量的變因，以易於討論。考量上述條件，最終於台灣地區選取翠峰湖、鯉魚潭（埔里）、日月潭、東源湖四個水體作為研究區域，並將水體所在位置標示於圖三。



▲圖三、樣點位置示意圖

### 3.1.1 翠峰湖

翠峰湖 (24.514980, 121.605844)標高約1850公尺，是台灣最大的高山湖泊，未受污染且周圍植被覆蓋良好，屬於中央山脈北段廬山層，宜蘭縣南澳鄉，太平山與大元山之間。又名晴峰或夢湖，水面面積最大約為25公頃，湖面呈葫蘆狀，主要水源為附近山區降雨的匯集，湖面面積隨乾濕季有明顯變化，湖岸東南、西南與西北側較為平緩，西、南與北側則較為陡峭，沒有明顯流出溪流，但在湖東側由於為頁岩，因此有縫隙使湖水流出影響水位。周圍地質以灰黑色板岩為主，夾有厚層變質砂岩與變質礫岩，在翠峰湖斷層北方轉為頁岩、板岩為主（汪良奇，2011）。每年一月至四月東北



季風盛行時水位較低，大約四公尺深。夏季七月至十一月，尤其是颱風季節時水位可深達七公尺。水溫約在9度（冬季）與24.8度間（夏季），均溫13.2度；pH 值則在4.43至6.4之間，導電度在 5.72mS/cm（夏季）至 13.3 mS/cm（冬季）之間；翠峰湖pH值偏低為一酸性湖泊，由於所在位置鄰近山稜周圍岩石不易風化，因此湖水中含鹽量偏低，是典型的高山湖泊，同時因為於高山未受太多的人為影響至今仍為貧養湖 (Selvaraj, 2012, 陳鎮東、王冰潔, 1997)。

### 3.1.2 鯉魚潭與日月潭

鯉魚潭(23.959878, 120.996585)位於埔里鎮東南方，標高550公尺，約可被橋樑區分為南北兩部分，水面面積約20公頃。為一天然水體，水源為南港溪，過去水體與其流域主要作為灌溉、遊憩利用，近來周遭環繞人工建物，北側水體幾乎完全被人工建物環繞，其中諸如飯店等休憩設施，南側水體周遭相較之下開發較少，但在西側也有人工建物（陳鎮東等人，1988）。鯉魚潭pH值變化較大，最高曾至9.19，也曾測得6.33，變化原因可能是受生物光合作用影響，含鹽量不高，以碳酸氫根與鈣離子為主（陳鎮東、王冰潔，1997）。

日月潭(23.847043, 120.909869)標高748公尺，是台灣最大的半天然水體，水面最大可達840公頃，水位約在17-27公尺間，1918年後為興建水力發電場，因此在水體中及周遭設有許多蓄水、導水設施。並使湖水面積從原來的450公頃增加至775公頃，且之後水位持續受人工控制。除蓄水設施外週遭也有需多人工建物諸如道路或休憩設施。

日月潭和鯉魚潭同樣屬於埔里盆地群中，位於雪山山脈南段與西部麓山帶之間，鯉魚潭位於埔里盆地東南側，日月潭則位於埔里盆地南側，是埔里盆地群唯一的水體。埔里盆地群雨季以四月至八月間的夏季季風為主，尤其在六月颱風季時降雨量約佔全年降雨量的83%。由於雪山山脈地形阻擋的緣故，因此冬季東北季風難以抵達此一區域，使冬季成為此一區域的乾季。埔里盆地群基岩以雪山山脈南段為主，如砂岩或粉砂岩 (Ochiai et al., 2012, 陳鎮東、王冰潔, 1997)。

鯉魚潭與日月潭降雨資料使用中央氣象局局屬測站日月潭測站紀錄之雨量資料；地震記錄包含1999年九二一地震鄰近的魚池震度達七級，此外1916南投地震、1941中埔地震與1986花蓮地震埔里均位於震度五級範圍內。



### 3.1.3 東源湖

東源湖 (22.205742, 120.854984; 45.1, 44.2 cm depth)是一個位於恆春半島一山谷北側的小水體，集水區約94 公頃，接近牡丹溪源頭。水面約達兩公頃，水深約兩公尺。雨季集中於五月至八月，當西南季風盛行時約提供全年九成降雨。相對而言，東北季風盛行的冬季則是東元湖的乾季(Liu, 2000)。水體所在盆地目前是一沼澤濕地，水體周圍植被良好但在南側水岸有一公路通過，湖岸有些步道。東源湖位於中央山脈末端，地質上以頁岩、粉砂岩及泥岩為主。過去為一濕地，約在1940年代被開發為一蓄水池以供當地人使用(Chen, 2000)。

東源湖降雨資料使用中央氣象局局屬測站恆春測站；地震記錄包含2006年恆春地震震度達五級，1959恆春地震則約五級接近六級。

▼表二、樣本編號與深度

樣本代號	CF1402	CF1403	CF1404	LU1401	LU1402	LU1403	LU1404	DY1401	DY1402	RY121A
湖泊	翠峰湖	翠峰湖	翠峰湖	鯉魚潭	鯉魚潭	鯉魚潭	鯉魚潭	東源湖	東源湖	日月潭
深度 (cm)	77.5	77.2	64	36	43.2	78.1	83	45.1	44.2	181

▼表三、各樣點前人所得年代

(Selvaraj et al., 2002 ; 許殷瑋, 2007 ; Yang et al, 2011 ; 劉時宏, 2013)

	深度	定年材料	校正後年代 (yr BP) (1 $\sigma$ )
翠峰湖	28-30	plant	493 $\pm$ 24
翠峰湖	58-60	plant	695 $\pm$ 26
翠峰湖	86-88	plant	1754 $\pm$ 57
鯉魚潭	47	plant	177 $\pm$ 30
鯉魚潭	132	plant	1297 $\pm$ 35
日月潭	57.5-59.2	plant	94 $\pm$ 21
日月潭	127-131.1	plant	176 $\pm$ 20
日月潭	214.5-222.2	plant	2931 $\pm$ 25
日月潭	262-270.8	plant	4168 $\pm$ 25
東源湖	162.5	wood	2170 $\pm$ 40
東源湖	178.5	wood	2196 $\pm$ 60





## 第二節 野外採樣方法

為了解地震、豪雨事件與沉積物特徵之間的關聯及不同集水區對於事件的反應程度，本研究在台灣不同海拔、環境篩選適合的樣點。除環境差異外，尚需考量樣本是否須符合持續性紀錄、未受干擾且安全適於採集等條件。

其中翠峰湖位於中央山脈北段是台灣北部具代表性的高山湖泊，同時迎東北季風氣候上較為接近副熱帶季風氣候，由於其位置相對其他湖泊偏僻不易到達，因此受到人為干擾的可能性較低；埔里鯉魚潭鄰近埔里鎮，位於台灣中心部位，鯉魚潭外形呈葫蘆狀約可分為南北兩側，北側水體周圍已有諸多人工建物，南側較少干擾，因此採集樣本時集中於南側進行；日月潭鄰近埔里鯉魚潭，除位於台灣中心外同時也是台灣最大的天然湖泊；相對於翠峰湖位於高山，日月潭與鯉魚潭則位於地勢相對較低的麓山帶，且同為埔里盆地群，位於東北季風背風面；東源湖相異於上述水體位於恆春半島，除氣候更趨向熱帶氣候外也是位於低緯度的水體，集水區環境也較為接近沼澤，地勢相對其他水體平坦許多。

為避免干擾樣本採樣盡量以水體中心水深最大者為主。沉積物樣本分別取自2012年與2014年，以重力採樣器取樣，在樣本分割前維持垂直搬運避免晃動，並於一週內分裝冷藏於攝氏四度冰箱中保存以避免變質。本研究共分析十個不同的樣本，除日月潭外九個樣本取自2014年，日月潭樣本則取自2012年。

## 第三節 實驗方法與步驟

本研究樣本採集後，於一週內以一公分為原則進行分割，以便於冷藏保存與後續實驗分析，並於2013(RY121A)與2014年夏季完成實驗分析，分析方法包含樣本採樣後進行粒徑、密度、生物矽分析以取得沉積物不同深度之粒徑、密度、生物矽、有機

物、碳酸鈣、礦物質所佔比例。最後以核密度估計、敘述統計與標準分數處理所得數據以討論樣本分析結果。

本研究所使用樣本包括，翠峰湖於2014年採集三隻樣本，分別深77.5、83.2、64公分，共分割為77、83、63個單位；埔里鯉魚潭於2014年採集四隻樣本，分別深36、43.2、79.1、83公分，共分割為36、43、76、83個單位；日月潭於2012年採集一隻樣本，深276.1公分，共分割為181個單位；東源湖於2014年採集兩隻樣本，分別深31、32公分，共分割為31、32個單位；總計共採集並分析使用10隻樣本，共705個單位。

### 3.3.1 密度分析

密度分析使用Shimatsu AccpvcII 1340氦氣密度分析儀進行分析，利用氦氣與理想氣體方程式測得材料體積，計算後得到真實密度，量測體積範圍為  $0.01\text{cm}^3$  到  $10\text{cm}^3$ ，誤差在0.03%至0.05%中。

該儀器利用高壓氦氣將經研磨後呈粉末狀的樣本壓密以量測其體積，將量測後所得之體積除以量測時放入的樣本重量計算後得到樣本密度。因此在量測前需將取部分樣本於燒杯中，置於 $110^\circ\text{C}$ 烘箱24小時後取出研磨成粉末狀，並在量測前再次乾燥超過12小時。量測時以密度儀專用容器裝取適量粉末狀樣本並秤量其重量，秤重完畢後將樣本置入密度儀中進行分析，並輸入樣本重量，待量測完畢後讀取樣本密度。

### 3.3.2 粒徑分析

粒徑分析分為全粒徑與礦物粒徑兩部分，以 Shimatsu SALD-2000 進行量測，該儀器利用超音波振盪器確保樣本顆粒分散，並輔以渦流使樣本平均分散於測量桶中，最後利用雷射光產生回波及散射原理統計計算樣本粒徑。

全粒徑使用未經處理的樣本，取出部分樣本於裝有適量分散劑的燒杯中，以超音波振盪器分散樣本，確認樣本分散後將樣本倒入Shimatsu SALD-2000量測桶中，待

其運作超過一分鐘量測數據穩定後進行測定。礦物粒徑量測過程大致與全粒徑相同，唯量測樣本需事先經過生物矽實驗處理。



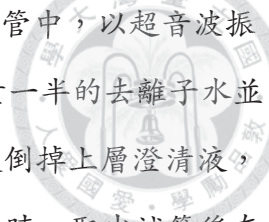
### 3.3.3 生物矽分析

本研究之實驗步驟引用並修改自Mortlok and Froelich 於1989年所發表之<<A simple method for the rapid determination of biogenic opal in pelagic marine sediments>> (Mortlok and Froelich, 1989)。

此一分析以化學分析方式測定樣本內各類物質所佔比例，藉由無機酸溶液分解樣本後質量削減進行估算。使用過氧化氫溶解有機質，鹽酸溶解碳酸鹽，最後以鉬酸鉍處理並以分光光度計測量後推算其生物矽含量，而最後剩餘者則為無機礦物質。

先取適量樣本置於110°C烘箱21小時烘乾，先後以自來水、去離子水沖洗試管三次確保試管清潔，貼上標籤後以77°C烘箱烘乾21小時，取出試管後在量測前靜置於塑膠袋中15分鐘降溫，降溫後測量試管重量並紀錄。烘乾後裝取對應編號的樣本50~53 mg於試管中，以77°C烘箱烘乾21小時，取出試管後在量測前靜置於塑膠袋中15分鐘降溫，降溫後測量其重量並紀錄。

製備10%的過氧化氫溶液，以定量吸管將1毫升過氧化氫加入裝有樣本的試管中，將試管置於60°C加熱水槽內並以振盪器每分鐘130轉一小時後，關閉加熱水槽與振盪器靜置於原水槽內，20分鐘後取出試管以塑膠袋包覆靜置一日，若隔日反應尚未結束則再靜置一日。確認反應結束後以超音波振盪器將試管內膠結的樣本破碎，注入約試管容量一半的去離子水並確保溶液均勻後，置入離心機中以3000轉離心20分鐘，離心結束後倒掉上層澄清液，重複加入去離子水並離心，去除上層澄清液後以77°C烘箱烘乾21小時，取出試管後在量測前靜置於塑膠袋中15分鐘降溫，降溫後測量其重量並紀錄。



製備 1N 鹽酸，以定量吸管將 1 毫升鹽酸加入裝有樣本的試管中，以超音波振盪器破碎樣本，確認樣本溶液均勻後靜置 20 分鐘，注入約試管容量一半的去離子水並確保溶液均勻後，置入離心機中以 3000 轉離心 20 分鐘，離心結束後倒掉上層澄清液，重複加入去離子水並離心，去除上層澄清液後以 77°C 烘箱烘乾 21 小時，取出試管後在量測前靜置於塑膠袋中 15 分鐘降溫，降溫後測量其重量並紀錄。

製備 2 mol/l 碳酸鈉溶液、4N 鹽酸、6N 硫酸與鉬酸鉍(Molybdic acid ( $H_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ ))與另一套乾淨的試管，以定量吸管將 1 毫升碳酸鈉溶液加入試管中，以超音波振盪器破碎樣本，再次以定量吸管加入 7 毫升碳酸鈉溶液於試管中，為試管加蓋並以膠帶強化加固。將試管置入 85°C 加熱水槽中，置入前搖晃試管確保樣本均勻，每小時將試管取出搖晃確保樣本均勻，七小時後取出試管。盡可能快速且平穩不晃動的去離子水，以定量吸管取 0.1 毫升樣本上層溶液至乾淨試管中，並加入 0.1 毫升的鹽酸、7.8 毫升的去離子水與 0.2 毫升的硫酸，每五分鐘為五個樣本加入 0.4 毫升鉬酸鉍並靜置 30 分鐘使其反應產生矽酸鉬。校正分光光度計量測空白質，量測樣本吸收度並紀錄數據。將未添加鹽酸、硫酸、鉬酸鉍的剩餘樣本以 3000 轉離心 20 分鐘，去除上層澄清液後重複加入去離子水並離心，重複上述步驟兩次，再次去除上層澄清液後以 77°C 烘箱烘乾 21 小時，取出靜置冷卻後即可作為礦物粒徑分析樣本(Mortlock and Froelich, 1989)。

## 第四節 降雨、地震資料

### 3.4.1 地震資料

台灣位於菲律賓海板塊與歐亞板塊交接處，環太平洋火山帶上，本島內共有 33 條活動斷層。根據中央氣象局統計近年來每年平均發生地震發生 18,500 次地震，其中約有 1,000 次為有感地震，自 1901 以來有 97 次災害性地震，其中又以 1999 年集集大地震為代表，以下整理並列舉近一百年來重大地震事件。



1904 斗六地震，震源深度七公里，規模6.1。

1906 梅山地震，震源深度六公里，規模7.1。

1916至1917 南投地震系列，共有四次較大規模地震，震源深度三至四十五公里，規模最大6.8。

1935 新竹台中地震，震源深度五公里，規模7.1。

1941 中埔地震，震源深度十二公里，規模7.1。

1946 新化地震，震源深度五公里，規模6.1。

1951 花東地震系列，先後共有五次較大規模地震，震源深度最淺一公里，最深三十五公里，規模最大7.3。

1959 恆春地震，震源深度二十公里，規模7.1。

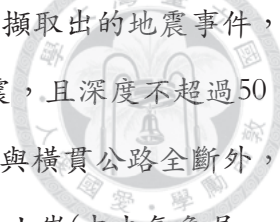
1964 白河地震，震源深度十八公里，規模6.3。

1972 瑞穗地震，震源深度十五公里，規模6.9。

1986 花蓮地震，震源深度十五公里，規模6.8。

1999 集集地震，震源深度八公里，規模7.3。

地震紀錄最早可追溯至1644年巴達維亞城日記（徐明同，1983），其後雖未有較為精細的測量紀錄，但仍散見於各歷史文獻之中，唯文獻記載對於地震強弱等描述多仰賴人身觀感等質性敘述及損害敘述，相對於現代觀測較不精準客觀。1896日本人於台灣各大城市設立測候所，台灣開始有較為量化精準的對地震的觀測。然而重大地震事件評量標準除地震規模外，地震作為一災害其對居民產生的威脅在紀錄中受到更多的著墨，因此隨著建築強度與防震技術的提高，在1999年後台灣雖然也發生數次規模不弱的地震，或部分地震發生於人煙稀少處，皆未在文獻中受到強調（張憲卿，1976；2005）。



此外從美國USGS (United States Geological Survey) 資料庫中擷取出的地震事件，翠峰湖周圍於1963、1986、2002分別發生過規模7.3、7.4、7.1的地震，且深度不超過50公里，而過去文獻中重大的地震紀錄中除1986年花蓮地震造成蘇花與橫貫公路全斷外，1963年宜蘭外海地震在文獻中記載曾造成蘇花公路坍方、橫貫公路山崩(中央氣象局，2015)，2002年的地震雖未如同花蓮地震受到文獻重視，但同樣也造成蘇花公路坍方，此三個地震較有可能影響到翠峰湖沉積狀況。鯉魚潭與日月潭周圍除1999年集集大地震，台灣史上最為嚴重的地震外，1951花東縱谷系列地震震源不深，1957年在花蓮也發生過淺層地震。東源湖周遭1959恆春地震，2006也有另一地震。各樣點約經歷二至三次地震或地震系列，間隔約數十年。

除規模超過7之地震外，翠峰湖所在位置近年在1986、1994、2002地震發生時震度均在五級以上；鯉魚潭與日月潭所在則在1916、1941、1986、1999地震時位於震度五級範圍內，其中可以發現相對於1999與2002重大地震事件，同時影響到兩處的是1986年花蓮地震；東源湖則在1959與2006年恆春地震在震度五級影響範圍內。

### 3.4.2 降雨資料

台灣除位於板塊交接處地震頻繁外，台灣同時位於亞熱帶季風區，夏季颱風與暴雨極為頻繁，根據內政部消防署統計1958-2010年間，每年發生4.9次颱風洪水災害事件。颱風、豪雨事件類似於地震也散見於歷史文件之中，例如續修台灣府志(余文儀，1962)在災祥記有康熙六十年春三月(西元1721年)大雨如注，並伴有敘述山摧川溢，溪澗淤塞，田園沙壓。然而部分紀錄僅有大風或大雨水的簡略敘述，颱風、豪雨相對地震的描述更加模糊，因此在雨量觀測開始前的資料多半缺乏客觀且相對精準的記錄。

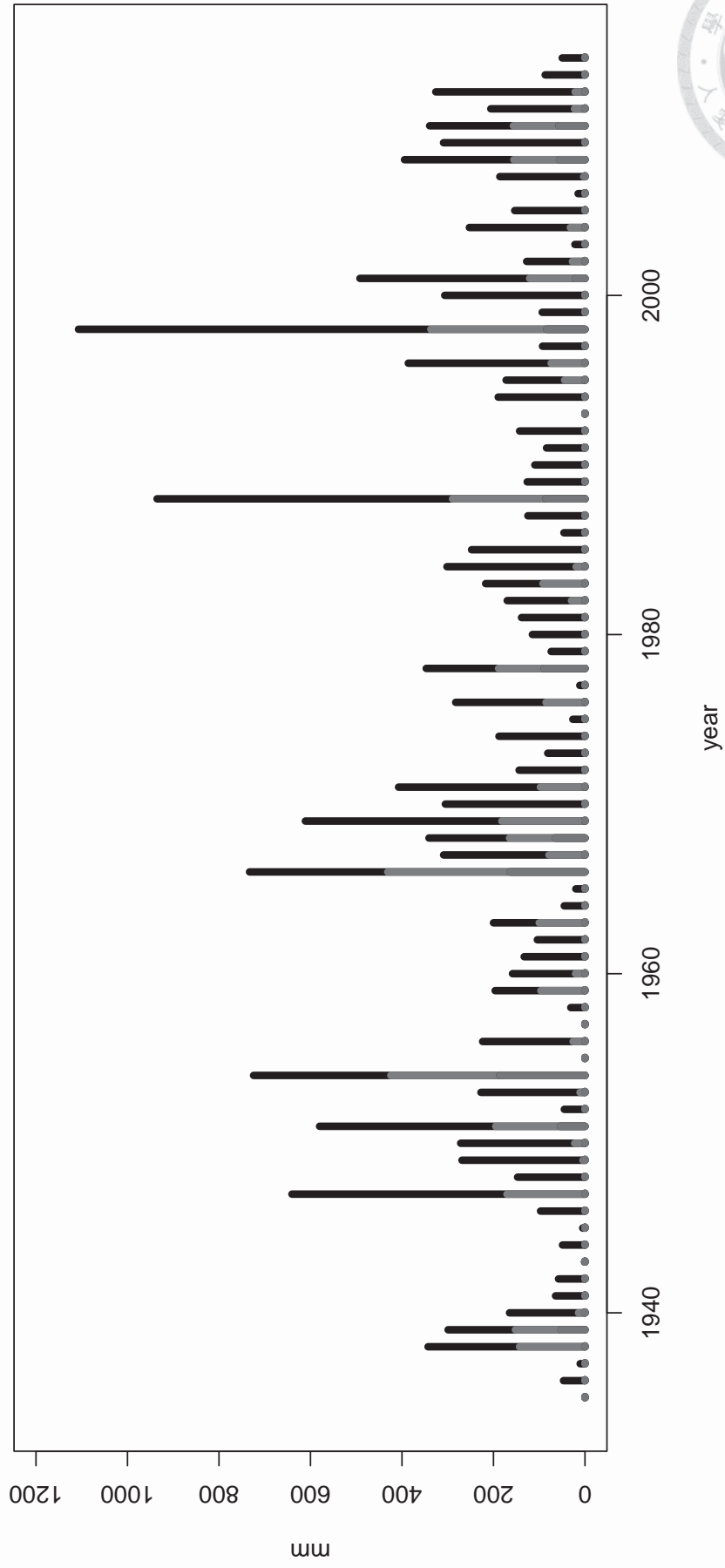
為了解沉積物與豪雨事件的關聯性，本研究選取鄰近樣點，測量時間尺度較長較早設站的測站，統計其降雨量。測站的選擇以中央氣象局最接近採樣位置的局屬測站為準，因此選取鄰近翠峰湖之宜蘭測站，鄰近鯉魚潭與日月潭之日月潭測站，以及鄰近東源湖之恆春測站。雖然資料所需的降雨量在其他等級測站如自動測站等也皆有

紀錄，且自動測站等也較為貼近採樣位置，貼近採樣位置氣候狀況，但由於局屬測站多半於二十世紀中期便已架設完成，降雨資料累積約七十年，而自動測站等多半於兩千年前後架設，累積資料僅十數年，時間尺度與沉積物紀錄相差過大，難以相互對照，因此資料採用上仍使用局屬測站紀錄之日降雨。

依照萬用土壤沖蝕公式，土壤流失受降雨沖蝕指數、土壤沖蝕指數、坡面覆蓋與水土保持管理因子影響，由於同一區域內土壤沖蝕指數、坡面覆蓋、水土保持管理因子在短期內變動不大，土壤流失主要受降雨強度影響。短時間高強度的降雨容易造成土壤大量流失，若進入湖泊之中便有可能被沉積物記錄下來。在前述文獻回顧中即有文獻推算台灣的平均剝蝕速率約為 $1365 \text{ mg/cm}^2/\text{yr}$  (Li, 1976)，高出許多世界其他區域許多，而台灣上游集水區平均土壤沖蝕率達每年6.4公分 (簡碧梧, 1989)，且颱風所帶來的極端豪雨事件確實具有相當的能量產生或搬運物質。而在相近於翠峰湖的鴛鴦湖研究中，佈放沉積物收集器收集後的結果，發現沉積物指標與颱風所挾帶的豪雨確實呈現正相關(Yang et al., 2011)。

為濾除降雨強度較弱的降雨紀錄，凸顯高強度降雨以利於尋找較有可能對樣本所在水體產生影響的降雨事件，圖四至圖六將日降雨量扣除100公釐後所得正數累加，以年為單位呈現三個測站計算後所得之結果。

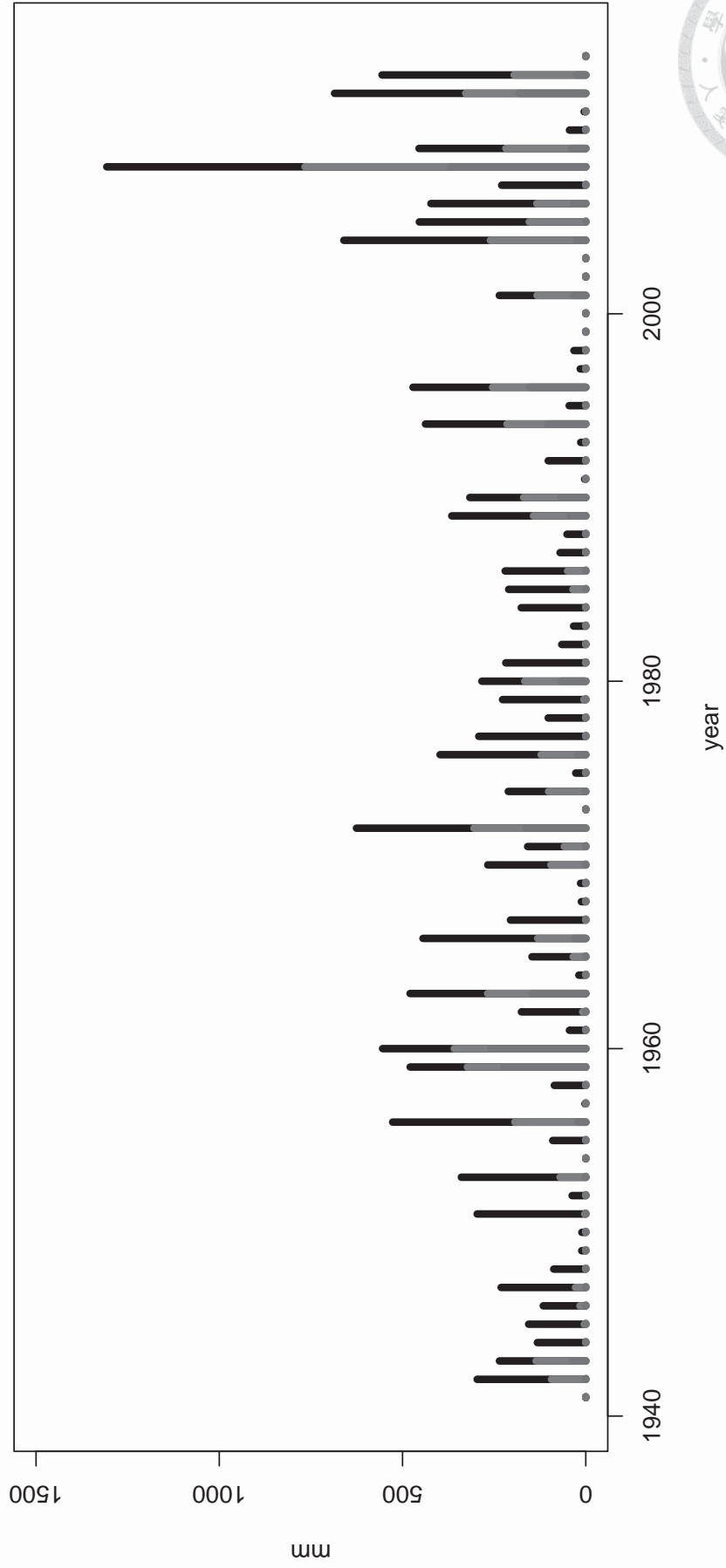
Ilan



▲圖四、氣象局屬測站宜蘭測站歷年降雨計算後所得之結果

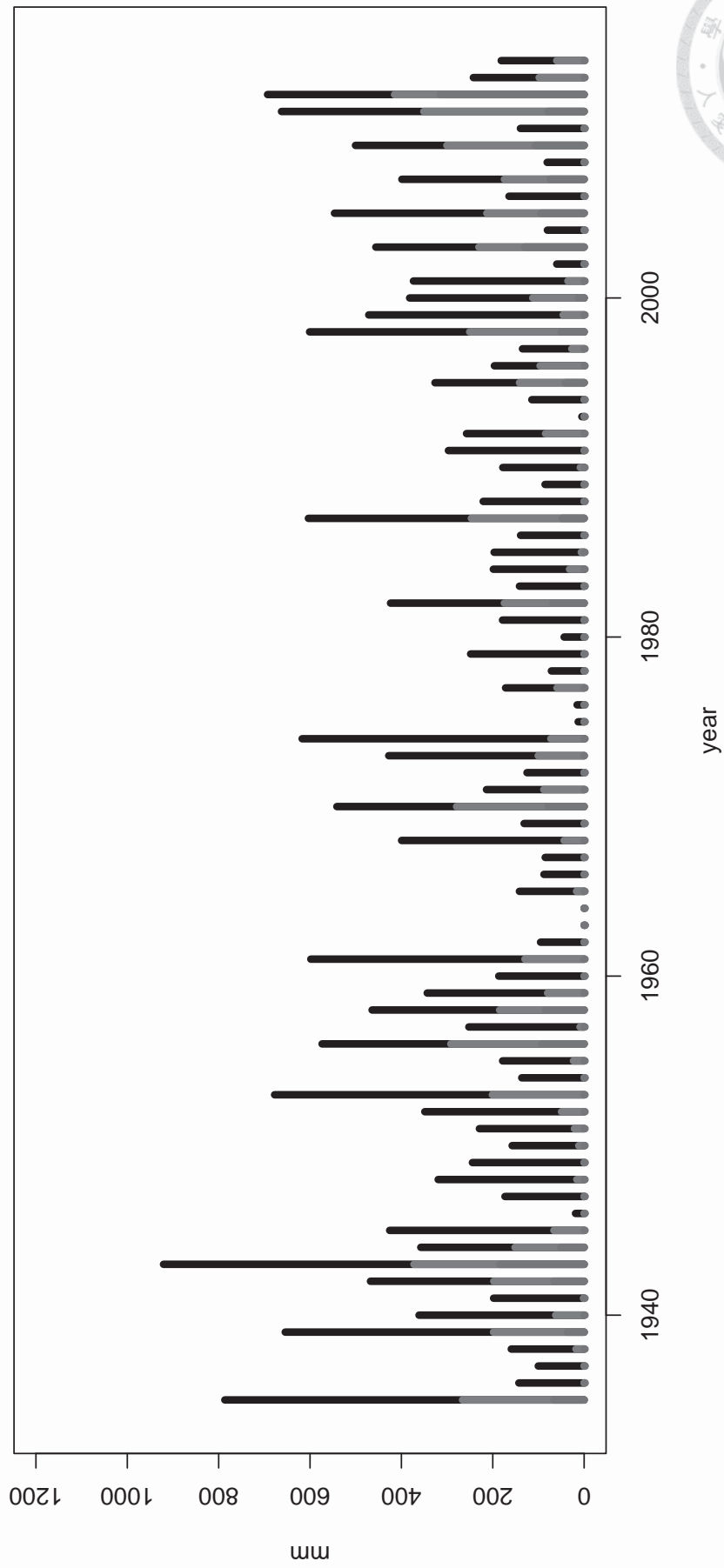


# Sun Moon Lake




▲圖五、▲圖四、氣象局屬測站日月潭測站歷年降雨計算後所得之結果

# Hengchuen



▲圖六、▲圖四、氣象局屬測站恆春測站歷年降雨計算後所得之結果



宜蘭、日月潭、恆春三個測站分別位於台灣的北中南處，豪雨事件主要集中於夏季，尤其是在七月，根據中央氣象局資料台灣冬季降雨佔全年比例極低，南部春、秋兩季降雨佔全年比例也不高，全年降雨超過一半集中於夏季，除雷陣雨外颱風帶來的降雨極為重要。颱風多形成於5-11月，恆春測站降雨事件主要集中於5-11月之間，單次降雨最高可達615毫米，全部紀錄中共有31次單日超過300毫米，498次單日超過100毫米；宜蘭測站降雨事件主要集中於秋季9-11月之間，單次降雨最高達460毫米，相對於恆春測站僅15次單日超過300毫米，270次單日超過100毫米；日月潭測站豪雨事件主要集中於7-9月，單次降雨最高為558.8毫米，共23次單日超過300毫米，198次單日超過100毫米。從以上可以發現，三個測站的豪雨事件集中時間、頻率似乎隨緯度不同而相異，宜蘭測站豪雨事件集中時間明顯較日月潭測站晚，而恆春測站時間分佈較廣但也是以7-9月為主；豪雨事件出現時間基本皆與颱風季節重疊，最大雨量、極端降雨出現次數隨著緯度遞減而增加，顯示南部地區降雨強度與豪雨事件較強。而將降雨過濾後可以發現，豪雨事件發生頻率似乎有週期可循，恆春豪雨事件約以12年為週期、日月潭約以9年為週期、宜蘭則約以13年為週期；此外恆春測站豪雨事件發生的頻率在近年來也明顯增加。近年氣候異常，有研究指出過去全球強降雨增加，中、低強度降雨則在減少(Karl and Knight, 1998 ; Goswami et al., 2006)，恆春年降雨日數在近年來明確減少，而侵襲台灣的颱風個數近年來也確實相對過去增加(盧孟明等，2012)，在這部分恆春一帶似乎相較於北部、中部的宜蘭與日月潭對於區域氣候變遷趨勢更為敏感。

## 第五節 數據分析方法

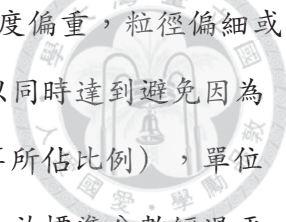
本研究樣本分析包含CF1402、CF1403、CF1404、LU1401、LU1402、LU1403、LU1404、RY121A、DY1401、DY1402，共十隻樣本。每一隻樣本皆在採集後進行粒徑、密度、生物矽分析（分析方法如上節所述）。其中密度分析，同一樣本進行六次量測，所得數值去除最大與最小值後平均，以作為該樣本密度，同一樣本以不同儀器測量時，選取三至五個樣本重複分析，取其平均差後修正其餘密度分析結果；生物矽分析後得有機物、碳酸鈣、生物矽、礦物質佔樣本比例，分析完成後檢查數值是否呈負值。

其中LU1401與LU1404兩份樣本生物矽分析後，LU1401有機物所佔比例大部份呈現負值，部分碳酸鈣含量易呈現負值，LU1404部分碳酸鈣含量呈現負值；實驗設計上所得數值為有機物、碳酸鈣佔樣本比例，範圍自0至100%，其間不應出現負值，由於異常結果並非單一出現，而是連續且頻繁出現，因此排除單一樣本異常狀況，較有可能是實驗操作中未臻完善出現的誤差。未避免誤差誤導結果，因此LU1401、LU1404樣本生物矽分析結果捨去不用，鯉魚潭生物矽實驗結果部分僅使用LU1402、LU1403兩隻樣本討論。

粒徑分析結果中，得部分極端值，由於極端值出現並連續極可能為樣本本身異常導致，為本研究討論目標因此予以保留，唯在之後轉換為標準分數時將可能會影響其餘數據所得結果，因此在轉換標準分數時抽離另外討論。

### 3.5.1 標準分數

為了能較為清楚的比較各實驗分析結果，在此將分析結果以  $Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$  的公式計算標準分數，其中X為分割後各樣本分析結果， $\mu$ 為該樣本所有分析結果的平均值， $\sigma$ 為其標準差。標準分數所得Z值的量代表著原始數據和母體平均值之間的距離，並以標準差為單位計算，透過調整資料的構成使其能夠相互參考。標準分數計算後原



本的單位由 $\text{g/cm}^3$ 、 $\varphi$ 、%被轉換為 $Z$ ，結果上 $Z$ 值偏高依舊指示密度偏重，粒徑偏細或礦物質成份偏高，並且呈現數據與整體的變異。標準分數在此可以同時達到避免因為原單位分別為 $\text{g/cm}^3$ （密度）、 $\varphi$ （粒徑）、%（有機物與礦物質等所佔比例），單位不同使不同分析項目難以比較的問題；以及指示極端值的功能，由於標準分數經過平均數與標準差的處理因此其所呈現的數據指示著單一數據與整體平均的變異程度。但在利用標準分數討論數據時也需考慮極端值的影響，若部分數值過於極端可能會減緩其他數據間的差異。

### 3.5.2 核密度估計

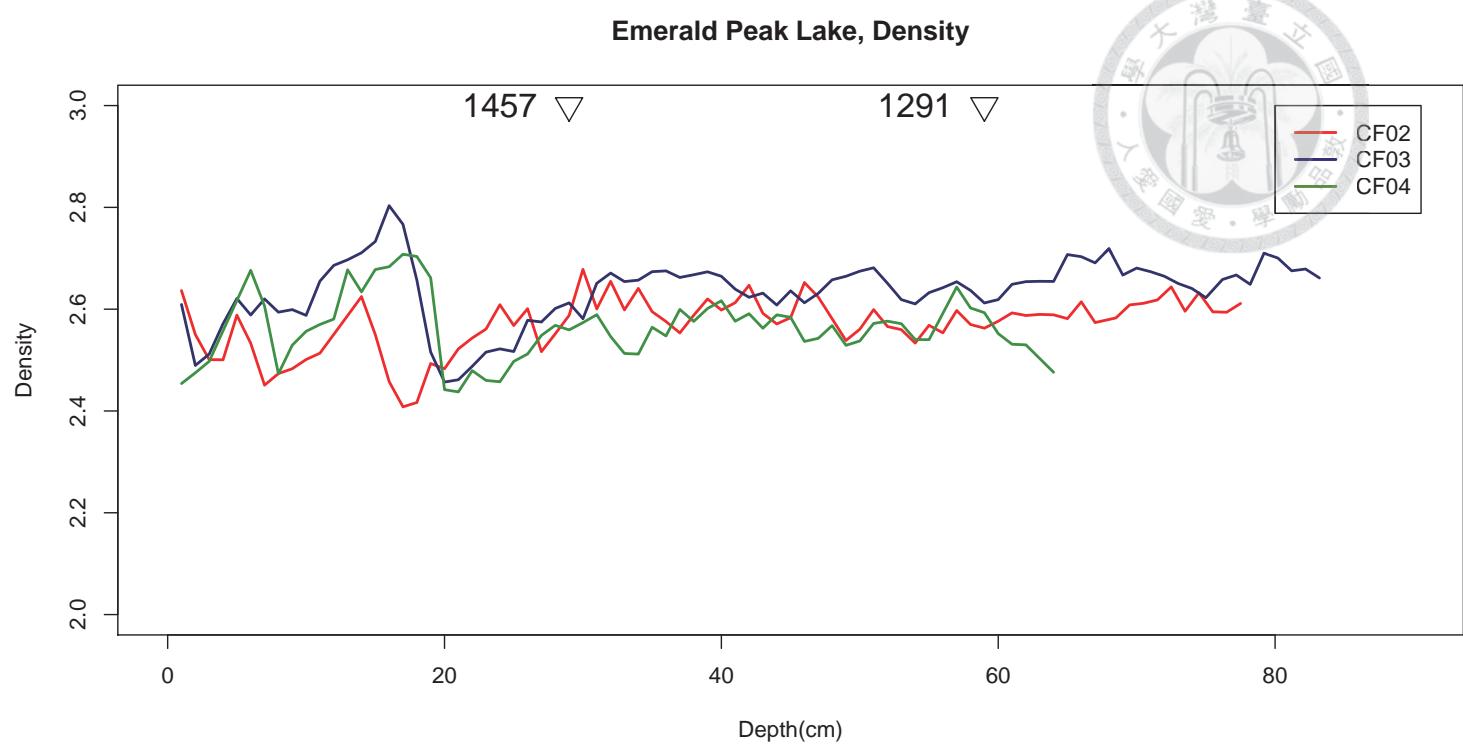
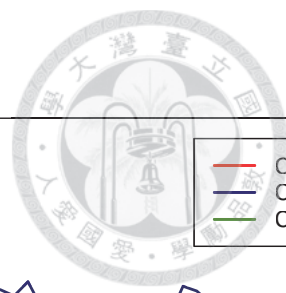
核密度估計（kernel density estimation）發展於1950年晚期，由Rosenblatt 和 Emanuel Parzen 提出，用於估計未知的密度函數，替代推估直方圖密度，以避免資料流失與估計不連續的問題(Silverman, 1981)。在此利用核密度估計以有限的分析數據呈現樣本分析結果的分佈，並以其分佈討論各樣本的整體差異。除核密度估計外，輔以敘述統計中常見參數與相關係數，討論各樣本間差異與各分析項目的關係。

## 第四章 結果

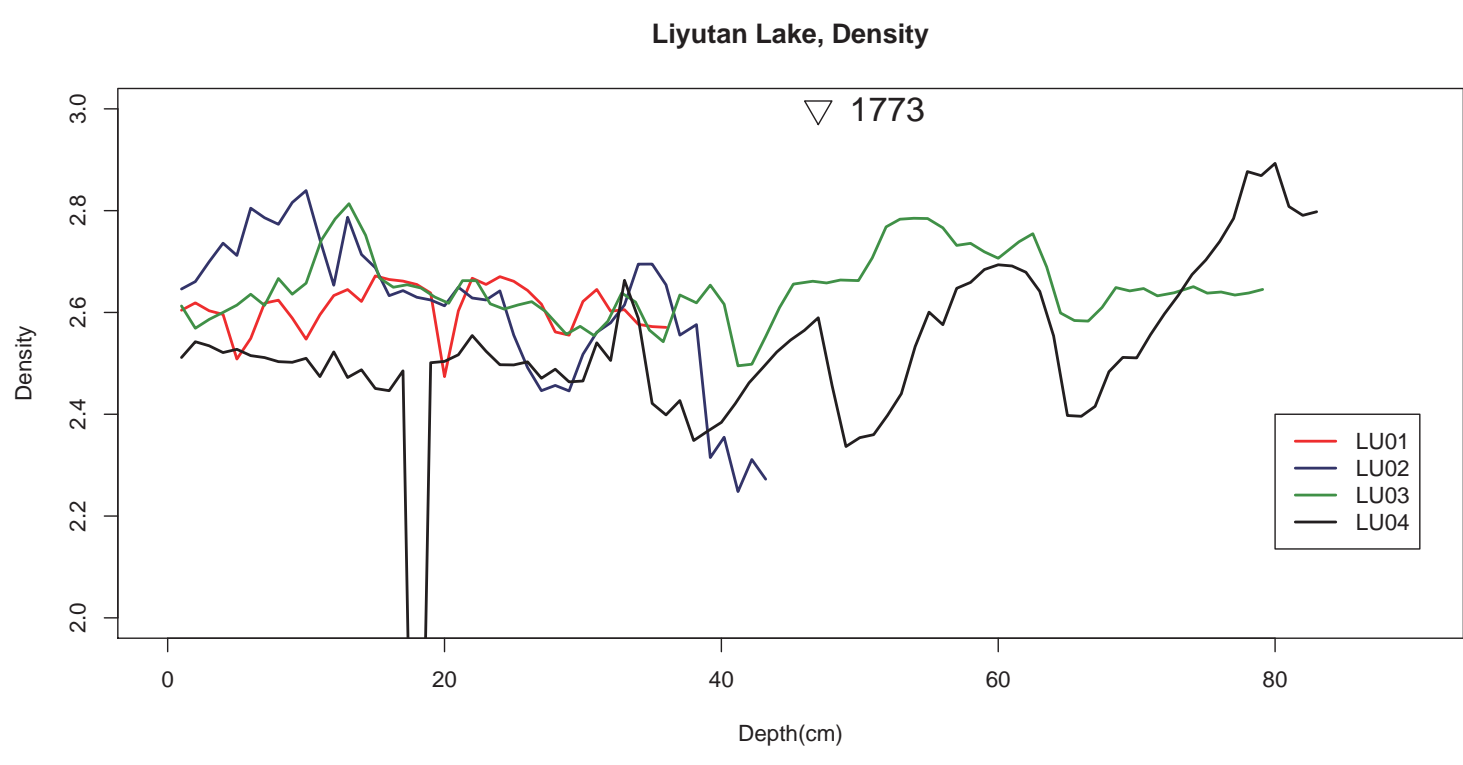
本研究樣本採集後，於一週內分割以便於冷藏保存，並於2012(RY121A)與2014年夏季完成實驗分析，其中包含密度分析、粒徑分析與生物矽分析。生物矽分析實驗在處理過程中，將樣本區分為可被雙氧水氧化的有機物、可被鹽酸溶解的碳酸鈣、與鉬酸反應形成矽鉬的生物矽以及以礦物質為主的剩餘部分。以下為實驗分析與統計計算後所得之結果。

### 第一節 密度分析

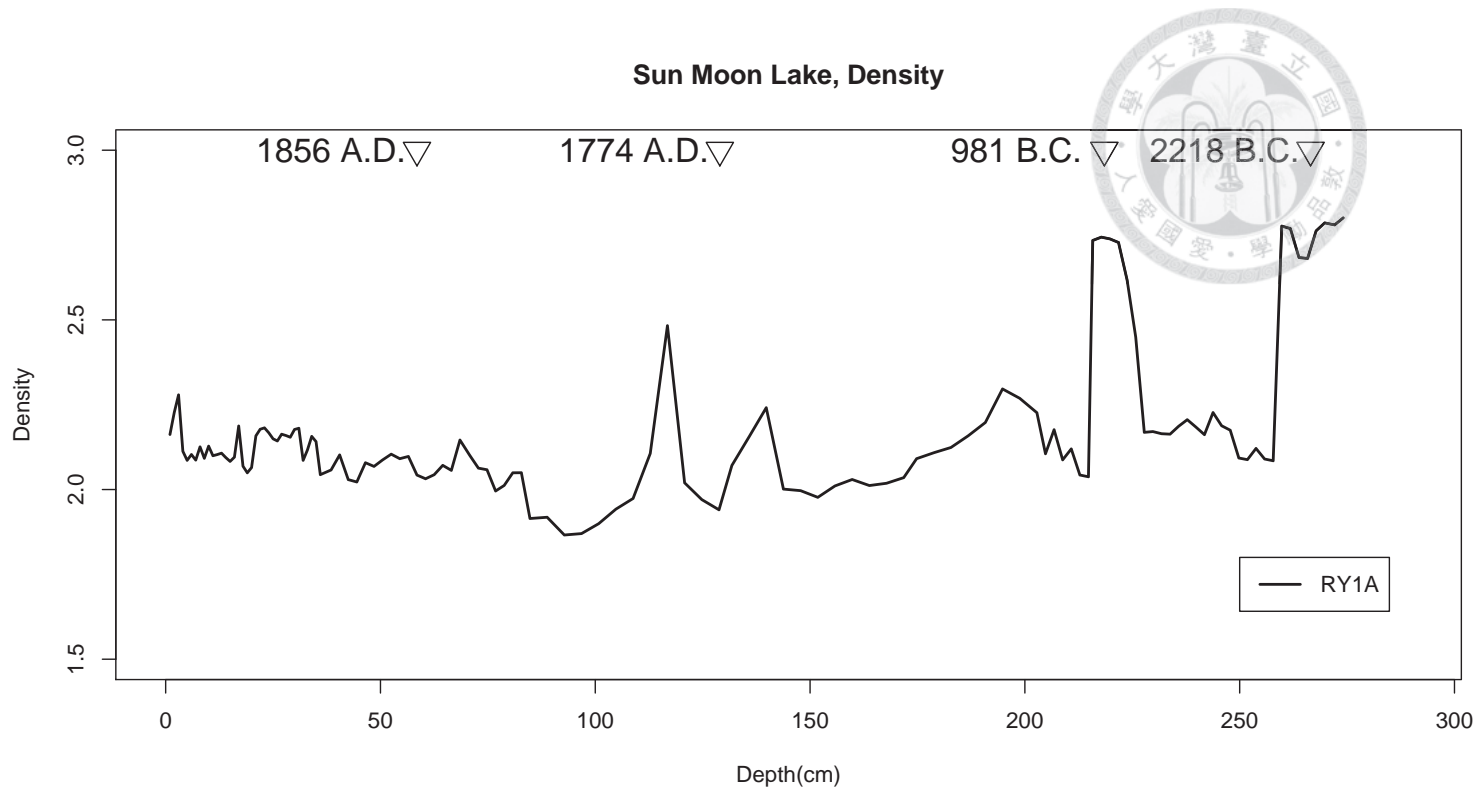
翠峰湖樣本密度平均分別為2.5706、2.6355、2.5631，整體約分布於2.4~2.8之間，上部變動幅度較深部明顯一些，最大變動幅度約在0.4之內；鯉魚潭樣本密度平均分別為2.610、2.607、2.648、2.524，整體約分布於2.2~2.9之間，變動幅度較翠峰湖大，深部變動幅度較上部明顯；日月潭樣本密度平均為2.1753，整體約分布於2~3之間，上部約一百公分至表層變動幅度相對深部小許多，深部有部分變動幅度超過0.5；東源湖樣本密度平均分別為2.6720、2.6646，整體約分布於2~2.8之間，扣除最後約兩公分偏輕外其餘變動幅度平緩；整體而言日月潭相較於其他水體變動幅度強烈許多，此外密度也偏輕一些，東源湖底部的急遽變動應可歸因於底部大量的有機物殘骸，此一現象可於其他分析項目對照。



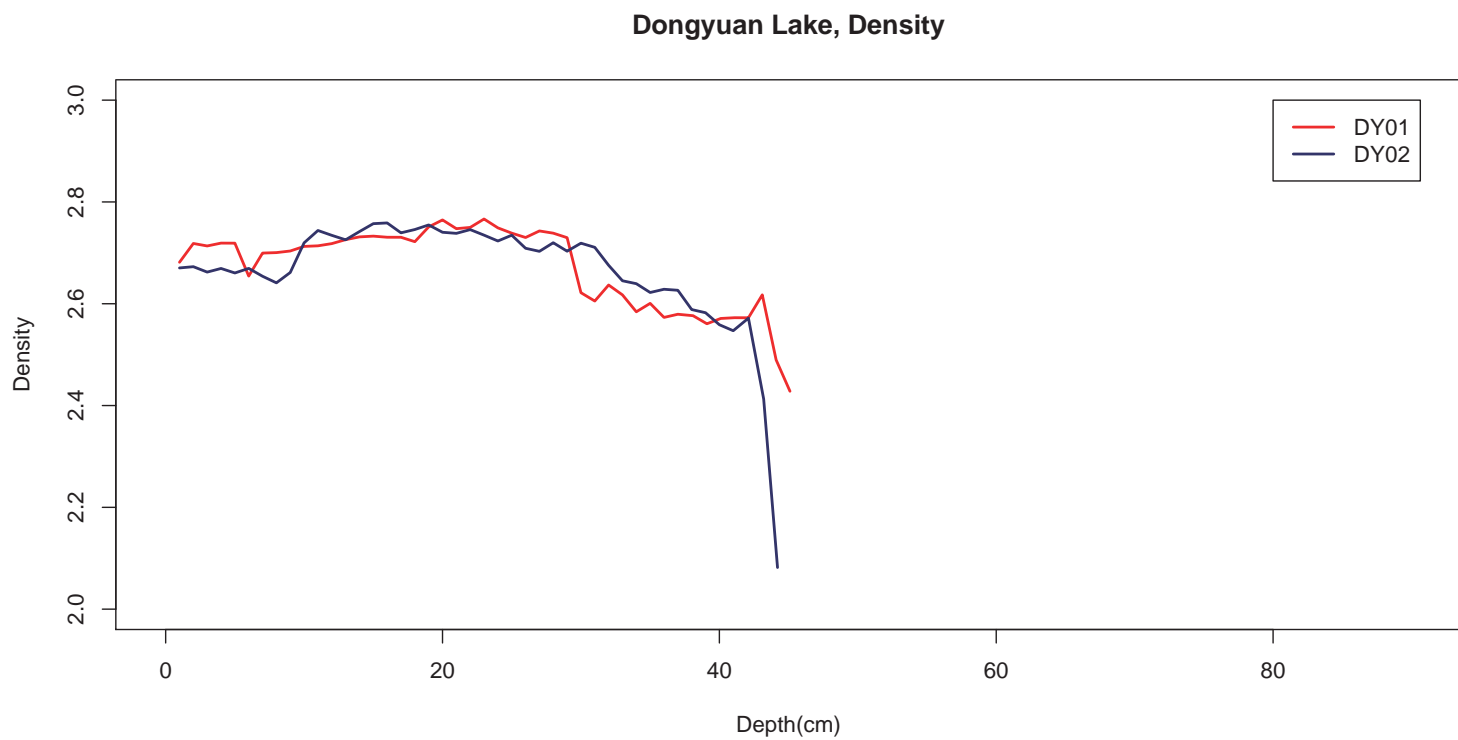
▲圖七、翠峰湖密度深度分佈圖



▲圖八、鯉魚潭密度深度分佈圖



▲圖九、日月潭密度深度分佈圖



▲圖十、東源湖密度深度分佈圖



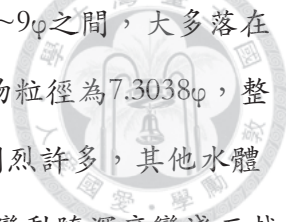
## 第二節 粒徑分析



沉積物粒徑受沉積物來源與搬運作用共同影響，因此粒徑的變動可以指示沉積物來源或搬運作用的變化。圖十一至圖十八分別為翠峰湖、鯉魚潭、日月潭與東源湖全粒徑與礦物粒徑平均值隨樣本深度的分佈情形。全粒徑與礦物粒徑在量測中實驗操作相仿，差異僅在礦物粒徑在量測前先行去除有機物、碳酸鈣與生物砂，而全粒徑則未經任何處理。

翠峰湖未經任何處理的全粒徑平均分別為 $7.5567\phi$ 、 $7.3785\phi$ 、 $7.3652\phi$ ，整體分布在 $7\sim 8\phi$ 之間，經過生物砂實驗處理後再次進行粒徑分析所得的礦物粒徑平均分別為 $10.6263\phi$ 、 $7.4828\phi$ 、 $7.4685\phi$ ，整體分布在 $7\sim 8\phi$ 之間。全粒徑有數個極端值，整體趨勢並未隨著深度改變明顯的變化，但在CF03、CF04兩樣本最上部有逐年偏粗的趨勢，然而此一趨勢並非所有樣本皆一致，CF02在上部雖然整體來說也是逐漸偏粗，但是在最上部卻有急遽變細的異常出現。礦物粒徑部分極端數量較少，CF03、CF04整體趨勢平穩，在上部微微逐漸偏粗，但幅度相較全粒徑小；CF02相異於其餘兩樣本，逐漸偏粗的趨勢相對明顯，此外其整體數值也較其餘樣本細，分布在 $10\sim 11\phi$ 之間，在此無法確定此為量測誤差或者樣本本身影響所致。全粒徑與礦物粒徑相仿，多在約 $7.4$ 至 $7.8\phi$ 之間波動，數值略略較未經處理的全粒徑大 $0.1\phi$ 左右。

鯉魚潭未經任何處理的全粒徑平均分別為 $7.300\phi$ 、 $7.2173\phi$ 、 $6.9005\phi$ 、 $7.2406\phi$ ，整體約分布在 $6\sim 8.5\phi$ 之間；經過生物砂實驗處理後再次進行粒徑分析所得的礦物粒徑平均分別為 $7.3000\phi$ 、 $7.4508\phi$ 、 $7.1012\phi$ 、 $7.6868\phi$ ，整體約分布在 $7\sim 8\phi$ 之間，全粒徑在下部變化幅度相較上部大許多，約以深度四十公分為界，四十公分至表面變動幅度約在 $1.5\phi$ 之內，但深度超過四十公分後所得知數據其變動幅度超過 $2.5\phi$ ，由於各極端值與附近樣本數據連續，因此可以判定為樣本本身變動所致。而在礦物粒徑部分，同樣約可以深度四十公分作為分界，四十公分以上至表面的樣本整體平緩，沒有十分顯著的極端數據，而下半部則有大幅的變動。全粒徑與礦物粒徑相仿，上半部多在 $7.0$ 至 $8.0$ 之間波動，但礦物粒徑略略偏細。

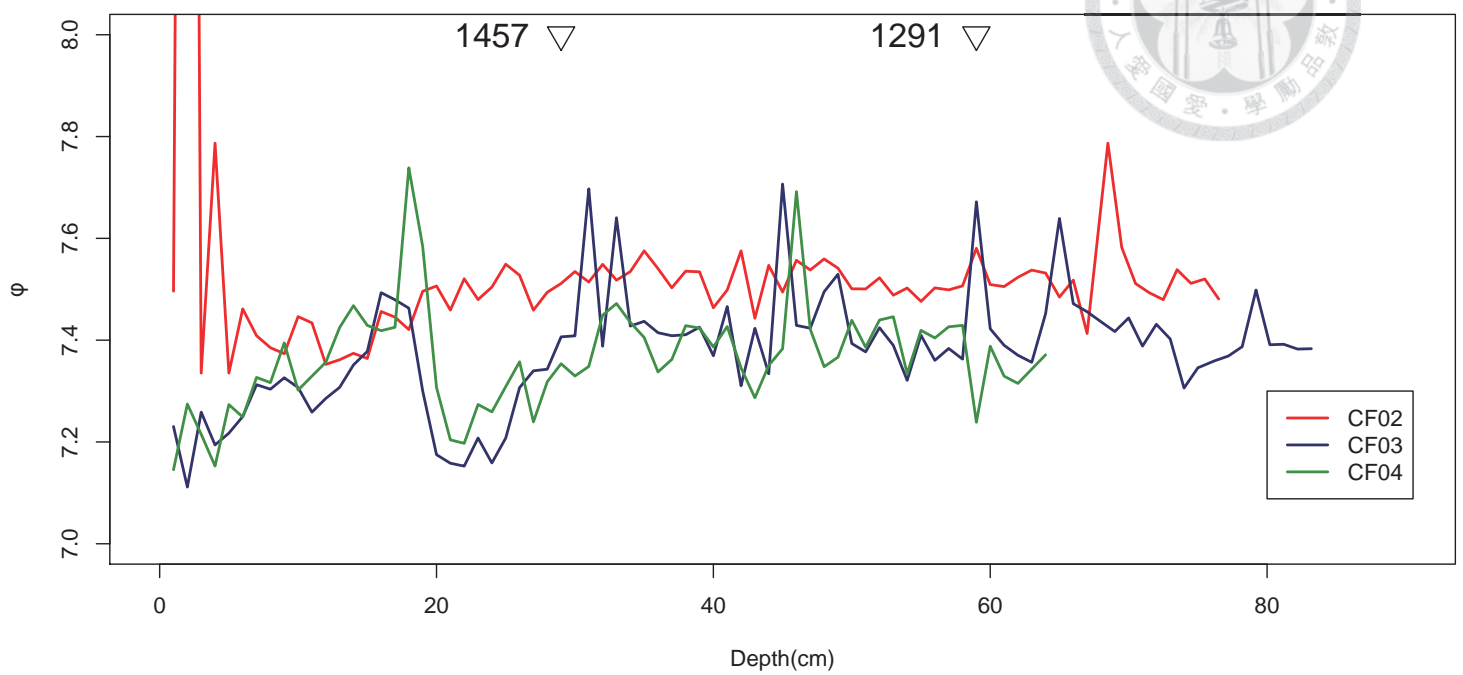


日月潭未經任何處理的全粒徑平均為 $6.4438\phi$ ，整體分布在 $4\sim 9\phi$ 之間，大多落在 $6\sim 7\phi$ 之間；經過生物矽實驗處理後再次進行粒徑分析所得的礦物粒徑為 $7.3038\phi$ ，整體分布在 $4.5\sim 9\phi$ 之間，多半落在 $7\sim 8\phi$ 。全粒徑變動相對其他水體劇烈許多，其他水體變動幅度約在 $3\phi$ 以內，但日月潭變動幅度可達到 $4\phi$ ，而其全粒徑變動隨深度變淺而越加頻繁，整體約在 $6\phi$ 上下波動，但時有長期的偏細，但在上部深度五十公分以上處則有多次偏粗的極端數據出現，更上部則回到約 $6$ 至 $7\phi$ 之間。礦物粒徑的波動狀況類似全力境，但全粒徑在深度超過五十公分後均在約 $6$ 至 $9\phi$ 之間波動，五十公分至表面則在 $7$ 至 $3\phi$ 之間波動；礦物粒徑則均在約 $5$ 至 $9\phi$ 之間波動。整體上礦物粒徑較全粒徑細約 $1\phi$ ，且在上半部極端值偏向相反，考量其所可能的時間，很可能是受水利設施興建影響所致。

東源湖未經任何處理的全粒徑平均分別為 $6.9980\phi$ 、 $6.9538\phi$ ，整體約分布在 $6\sim 7.2\phi$ 之間；經過生物矽實驗處理後再次進行粒徑分析所得的礦物粒徑平均分別為 $7.1889\phi$ 、 $7.1909\phi$ ，整體約分布 $6.8\sim 7.5\phi$ 之間。全粒徑在最底部十分顯著的偏粗約 $1\phi$ ，在實驗過程中可以確認其底部為大量的有機物殘骸，應是導致其底部極具偏粗的原因，但此一狀況在礦物粒徑則沒有明顯的呈現。東源湖粒徑整體並未有太大幅的的變動，幾乎沒有異常的極端數據出現，僅隨深度變淺微微偏粗，整體變動約在 $0.5\phi$ 之內。

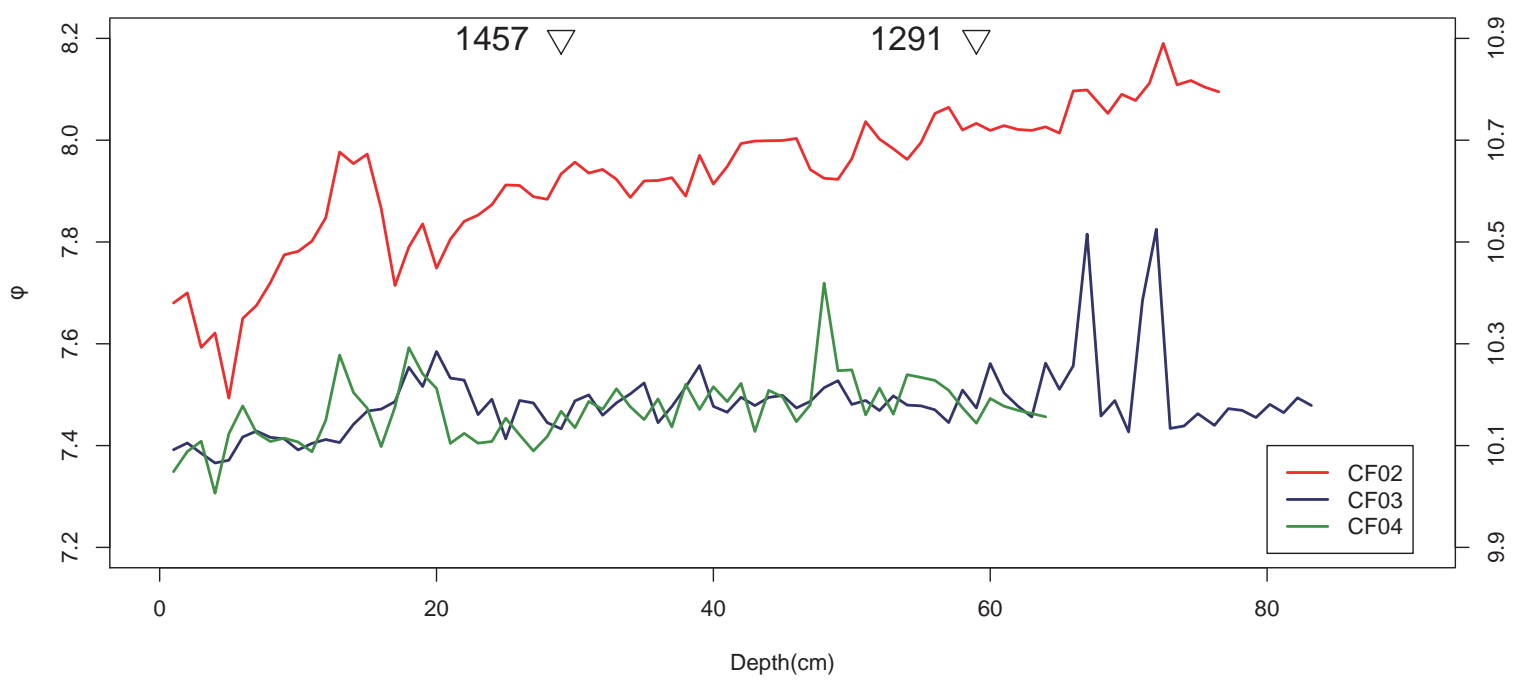


### Emerald Peak Lake, Whole Grain Size



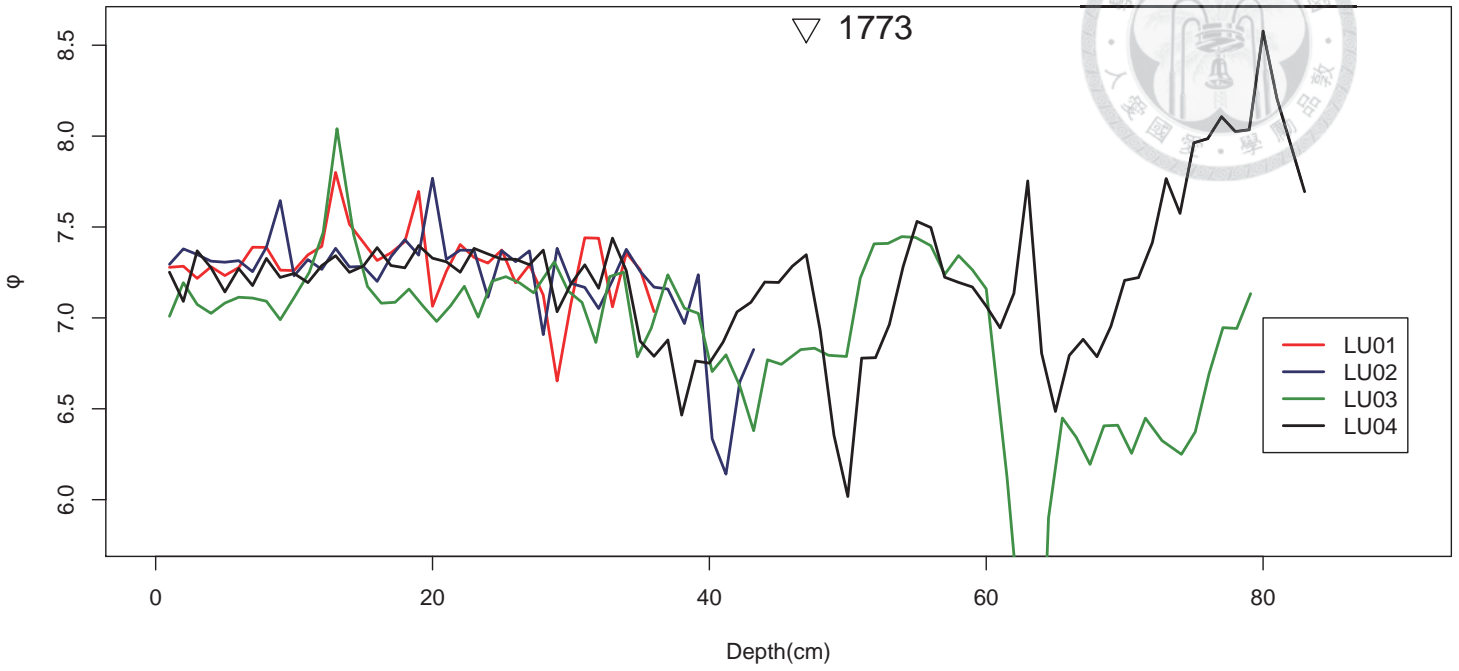
▲圖十一、翠峰湖全粒徑深度分佈圖

### Emerald Peak Lake, Mineral Grain Size



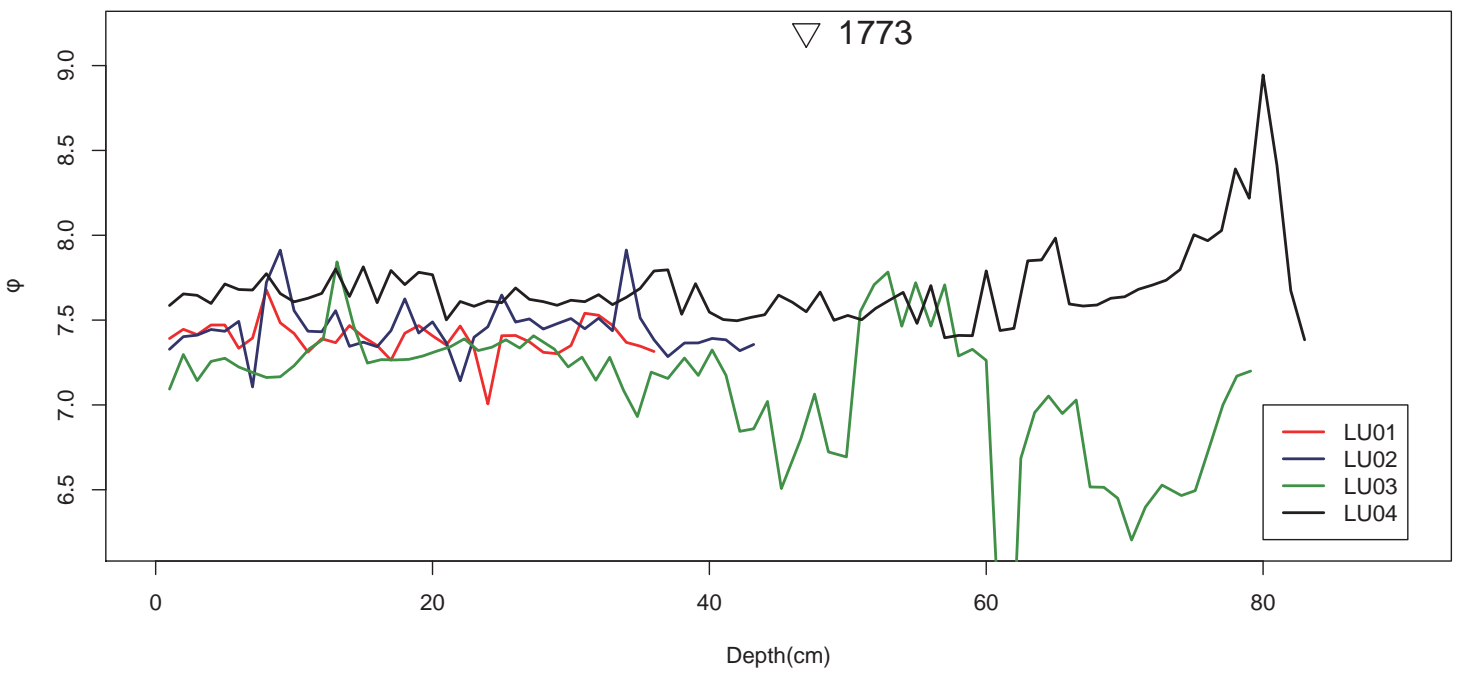
▲圖十二、翠峰湖礦物粒徑深度分佈圖

### Liyutan Lake, Whole Grain Size



▲圖十三、鯉魚潭全粒徑深度分佈圖

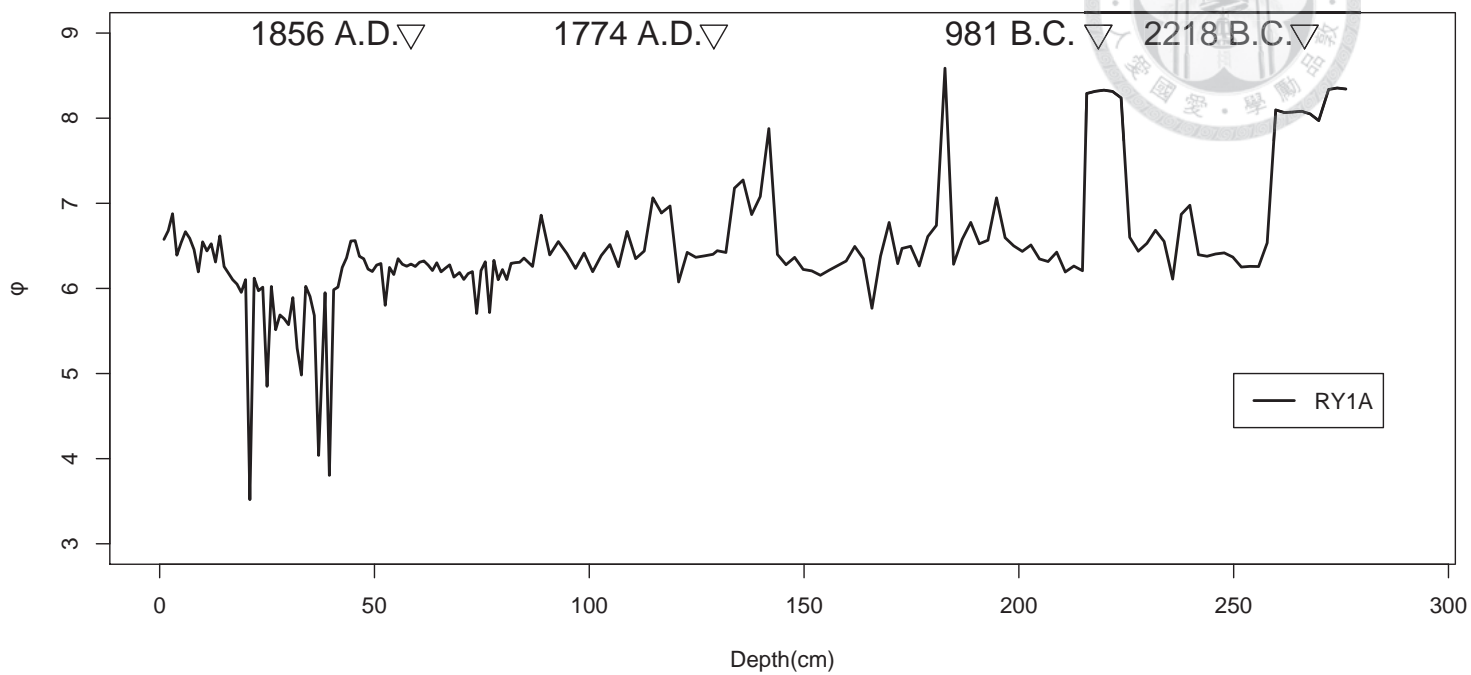
### Liyutan Lake, Mineral Grain Size



▲圖十四、鯉魚潭礦物粒徑深度分佈圖

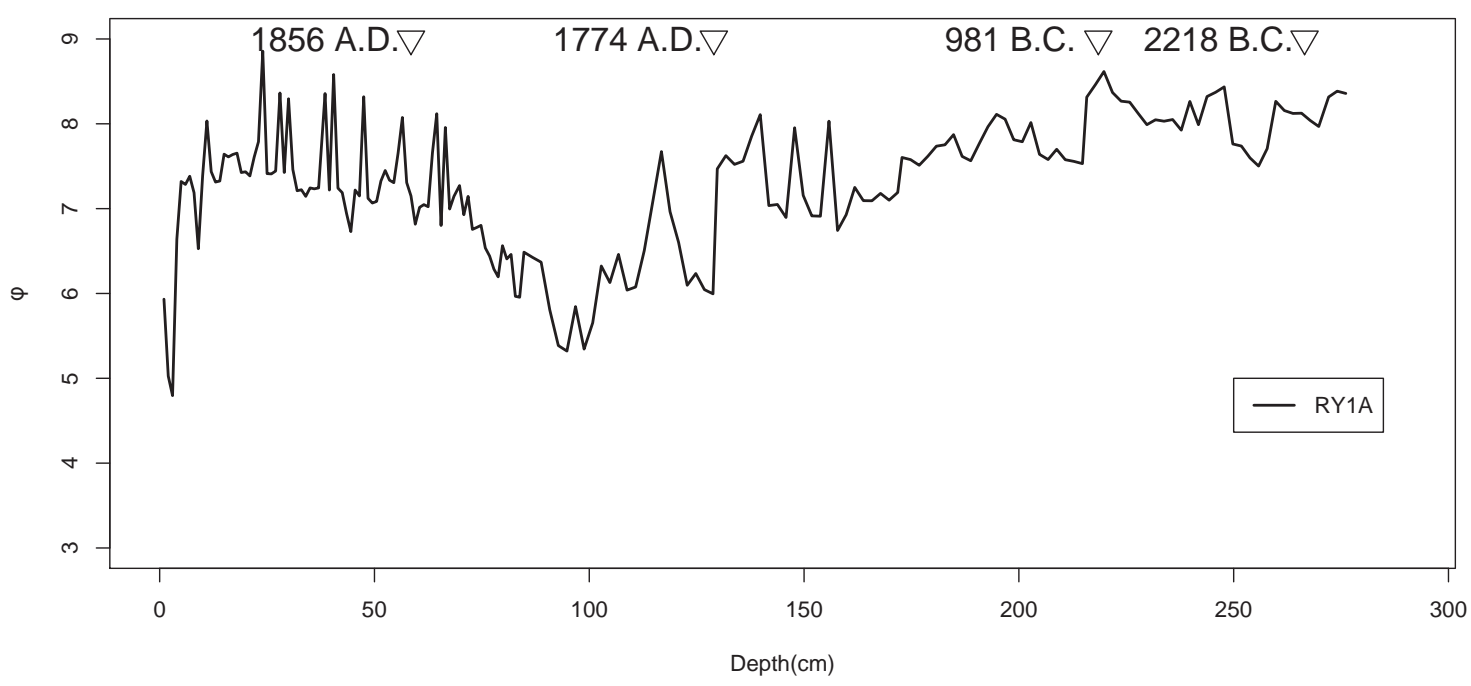


### Sun Moon Lake, Whole Grain Size

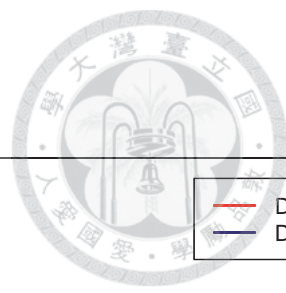


▲圖十五、日月潭全粒徑深度分佈圖

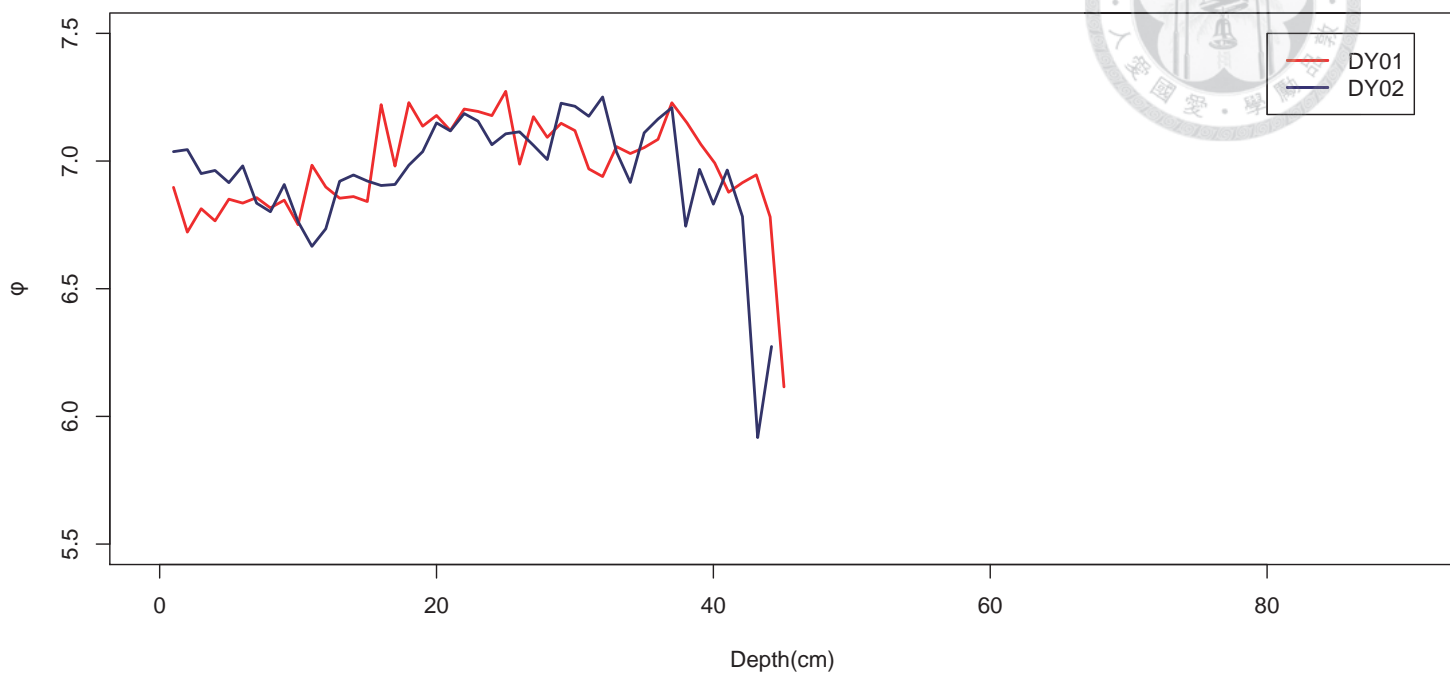
### Sun Moon Lake, Mineral Grain Size



▲圖十六、日月潭礦物粒徑深度分佈圖

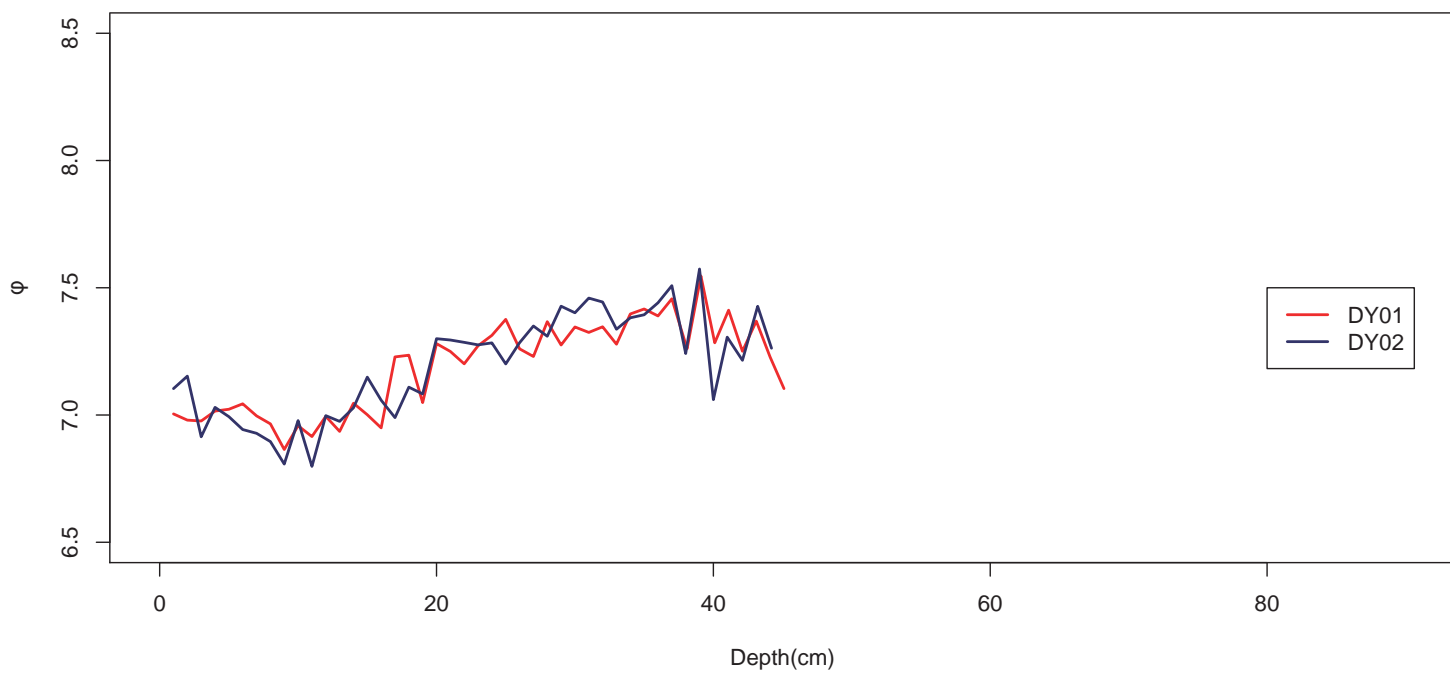


### Dongyuan Lake, Whole Grain Size



▲圖十七、東源湖全粒徑深度分佈圖

### Dongyuan Lake, Mineral Grain Size



▲圖十八、東源湖礦物粒徑深度分佈圖

### 第三節 生物矽分析



翠峰湖有機物所佔比例平均約在10至12%，變動幅度約在15%之間，上部較深部變動劇烈；碳酸鈣所佔比例平均約在1~3%之間，三個樣本在上部趨勢較為相近，但在深部則較為分散，分別偏高、低及持平；生物矽所佔比例平均約在1.6~1.9%之間，除了在深度二十公分處有明顯變動外，整體趨勢平穩，三隻樣本結果極為相似；礦物質所佔比例約在85~86%之間，與有機物相似，上部較深部變動劇烈，約可達到15%的差異，但在深部變動幅度則相對平緩。整體來說翠峰湖樣本在深部變動不大，波動主要在表面至四十公分之間，在四種分類中，碳酸鈣與生物矽含量極為稀少，且變動也不顯著，因此物質變動主要是受有機物與礦物質的含量變化，且兩者變動幅度也相當。

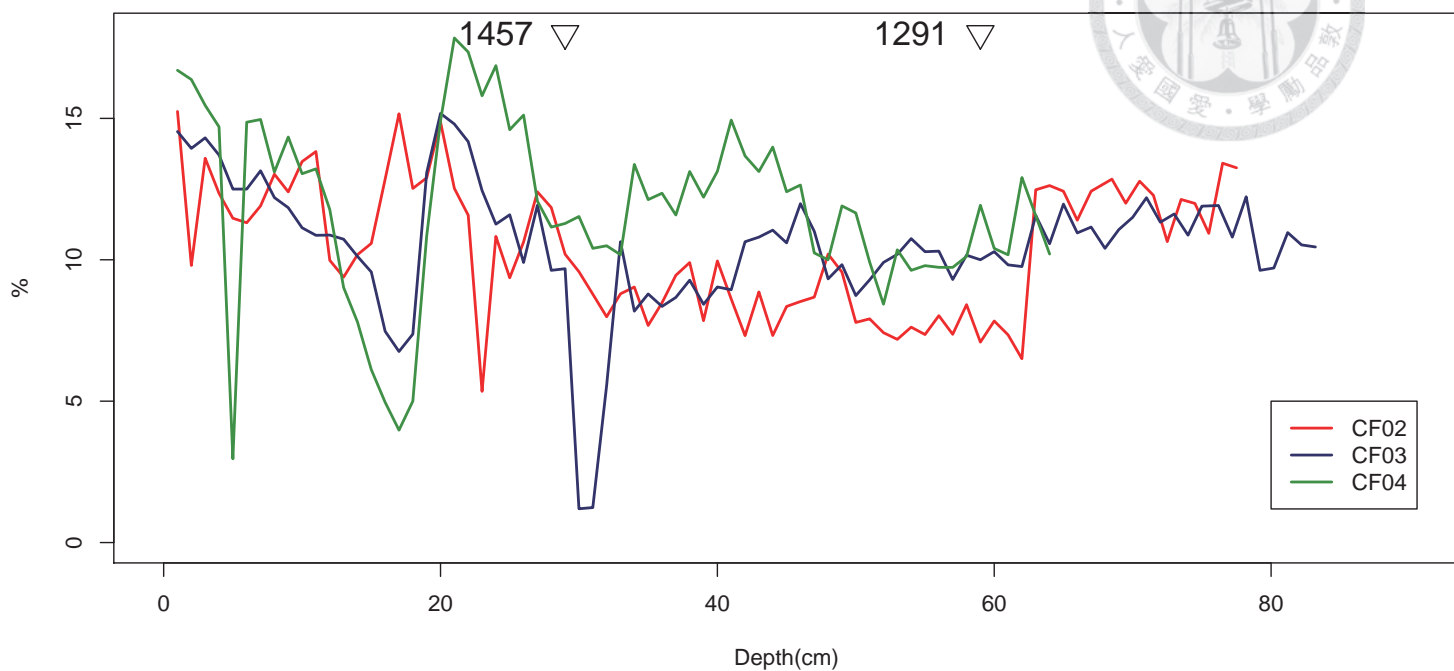
鯉魚潭有機物所佔比例平均分別為9.52%、8.78%之間，整體平穩，但在深處有一兩個極端值出現，最高可達到40%；碳酸鈣所佔比例平均分別為1.11%、2.91%，變動幅度分別在2%與8%之間，兩者略有差異；生物矽所佔比例平均分別為4.12%、2.01%，變動幅度分別低於5%與15%，兩者略有差異外，碳酸鈣變動幅度較為劇烈的樣本其生物矽變動幅度則較為平緩，生物矽變動較為顯著的樣本碳酸鈣變動則較不明顯；礦物質所佔比例平均分別為85.26%、86.30%，除碳酸鈣外變動均以深部較為顯著，整體而言碳酸鈣與生物矽含量偏低，四種分類均有變動的時候，相互影響較為複雜。

日月潭生物矽分析有機物、碳酸鈣、生物矽、礦物質所佔比例平均為24.86%、2.39%、20.70%、52.06%；依然以礦物質所佔比例最高，但是相較其他樣本多半佔80%以上較少，碳酸鈣含量與其他樣本相似平均而言所佔含量不高，但是最高可達約35%，生物矽所佔比例與其他樣本相較明顯較為豐富，有機物所佔比例雖然不若生物矽明顯但平均而言也稍高。四種分類所佔比例波動狀況也高出其他樣本許多。

東源湖有機物、碳酸鈣、生物矽、礦物質所佔比例平均分別為9.50%、2.71%、1.35%、86.44% (DY1401)；10.82%、2.82%、1.61%、84.75% (DY1402)；仍舊以礦物質所佔比例最高，碳酸鈣與生物矽含量偏低，變動幅度與鯉魚潭、翠峰湖類似。

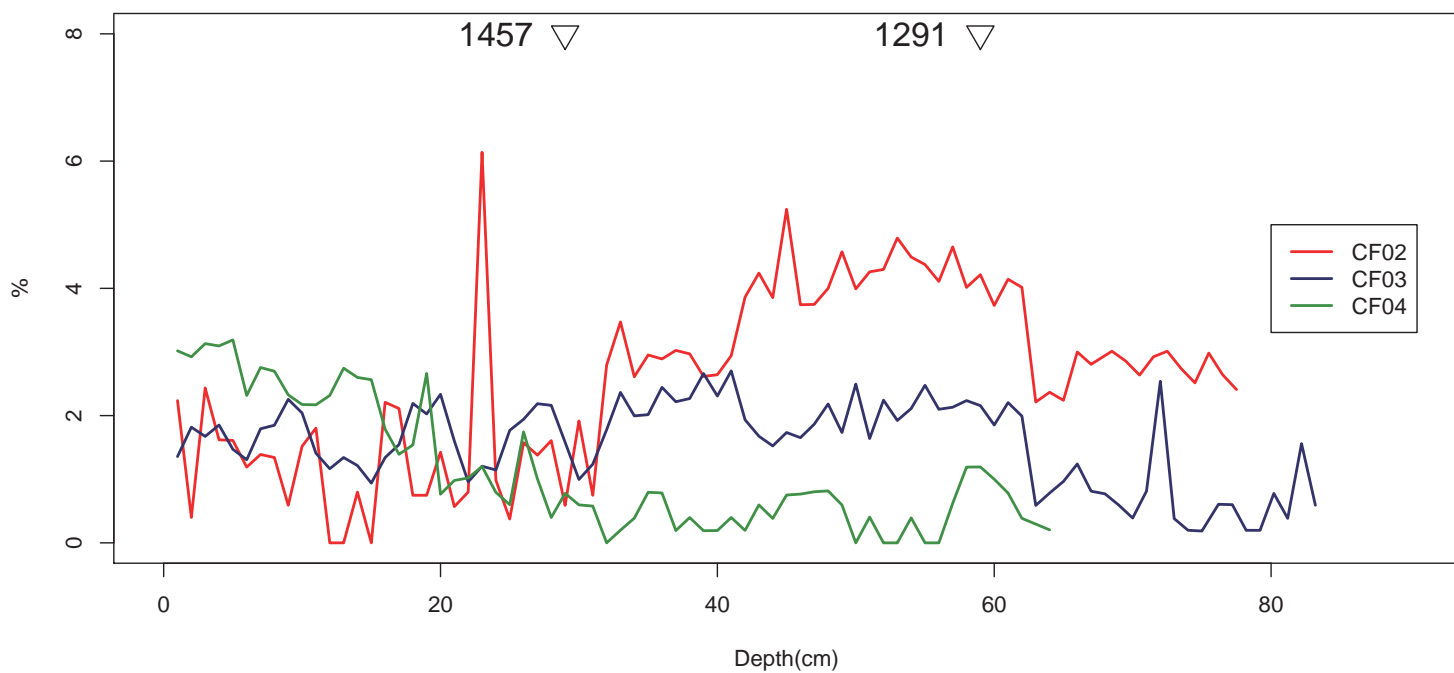


### Emerald Peak Lake, Organic



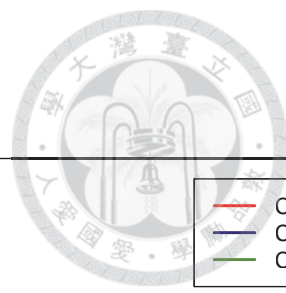
▲圖十九、翠峰湖有機物所佔比例深度分佈圖

### Emerald Peak Lake, HCl

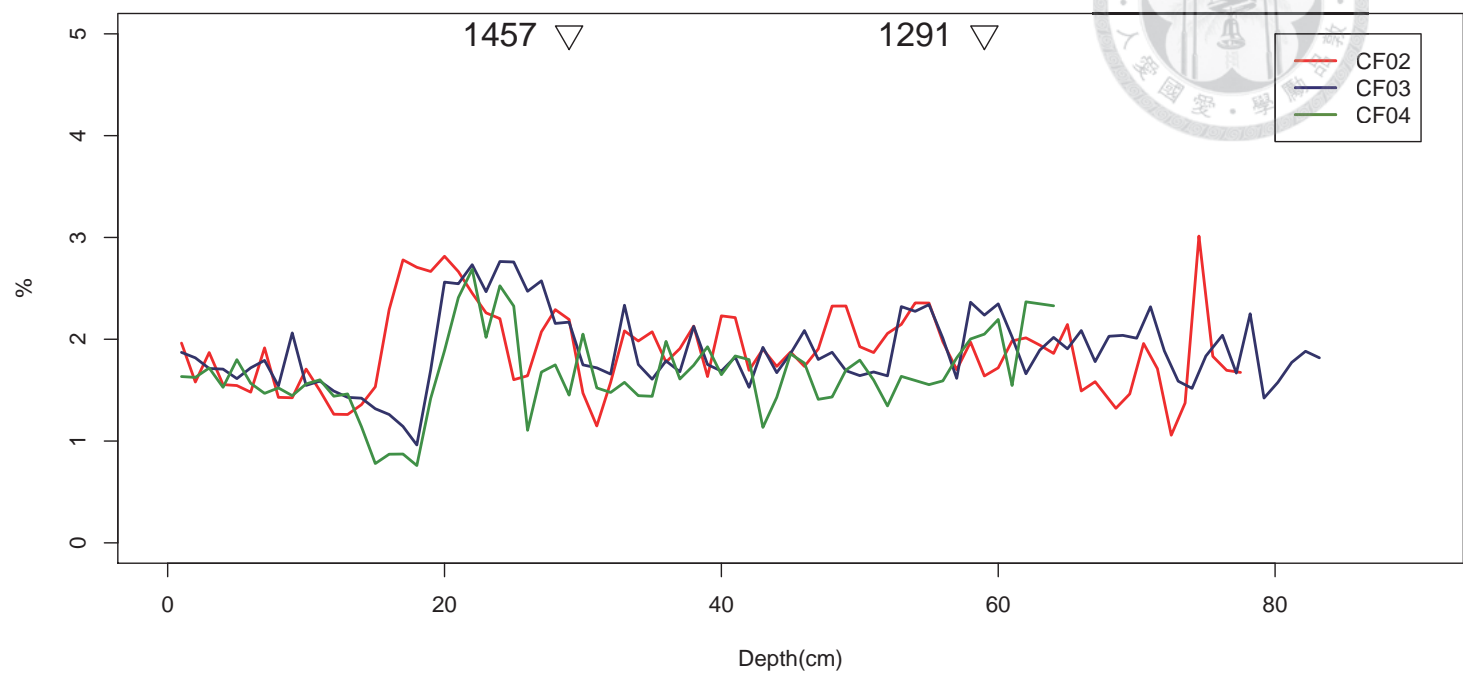


▲圖二十、翠峰湖碳酸鈣所佔比例深度分佈圖



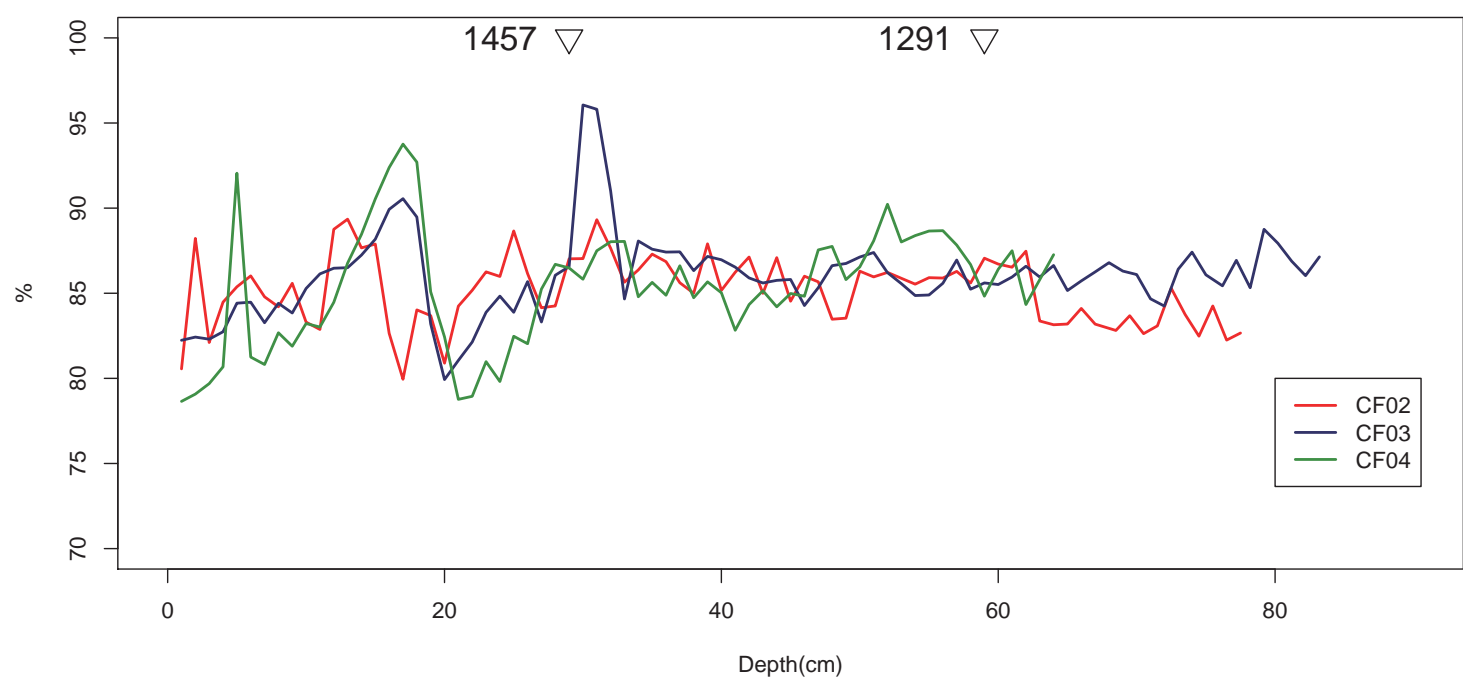


### Emerald Peak Lake, bSiO<sub>2</sub>

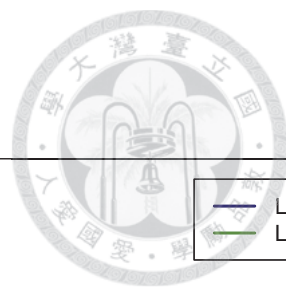


▲圖二十一、翠峰湖生物矽所佔比例深度分佈圖

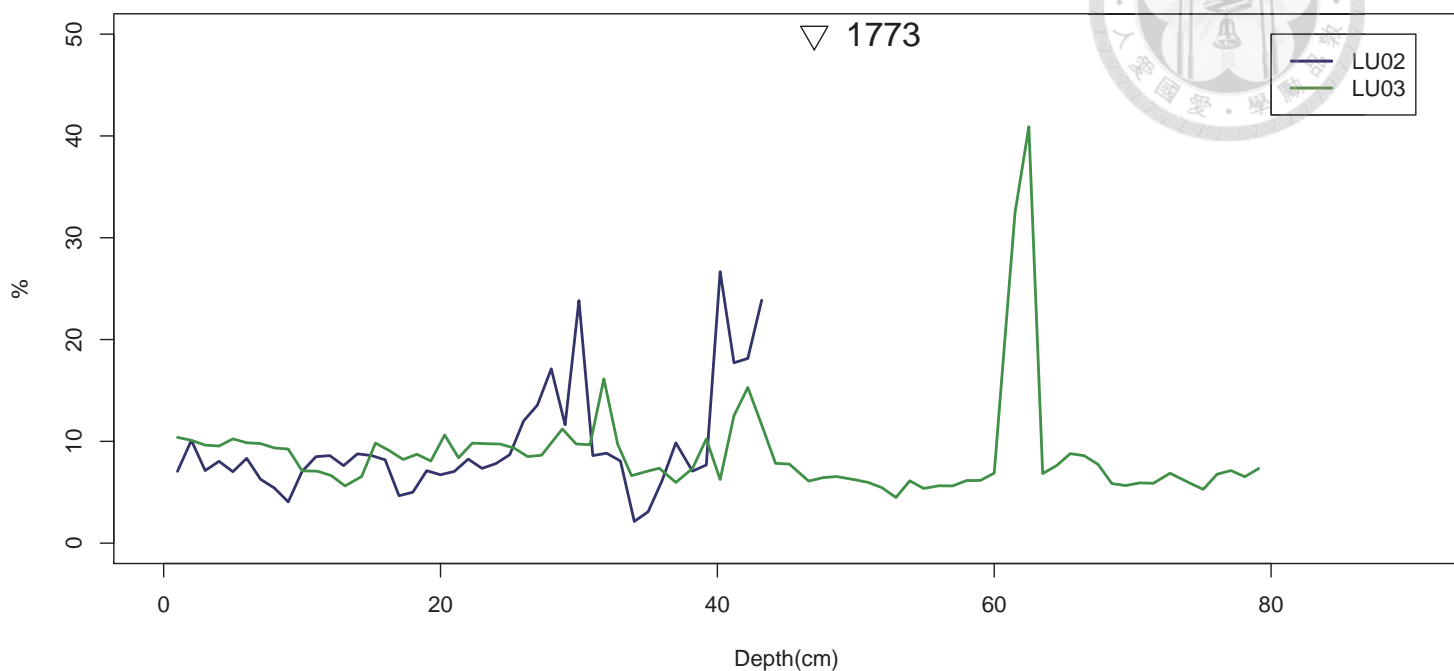
### Emerald Peak Lake, Minerals



▲圖二十二、翠峰湖礦物質所佔比例深度分佈圖

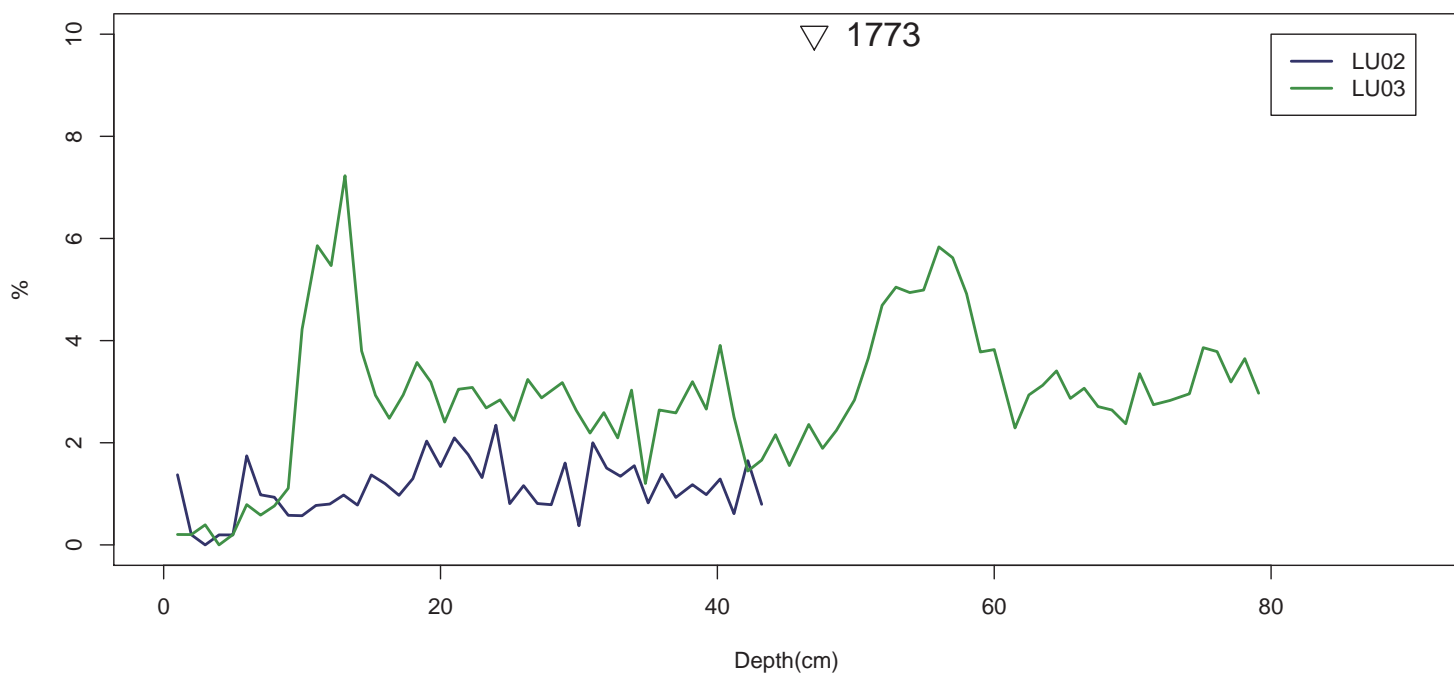


### Liyutan Lake, Organic

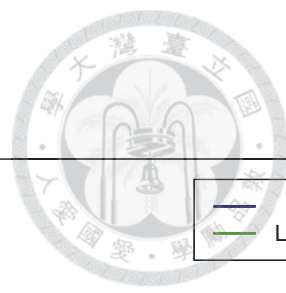


▲圖二十三、鯉魚潭有機物所佔比例深度分佈圖

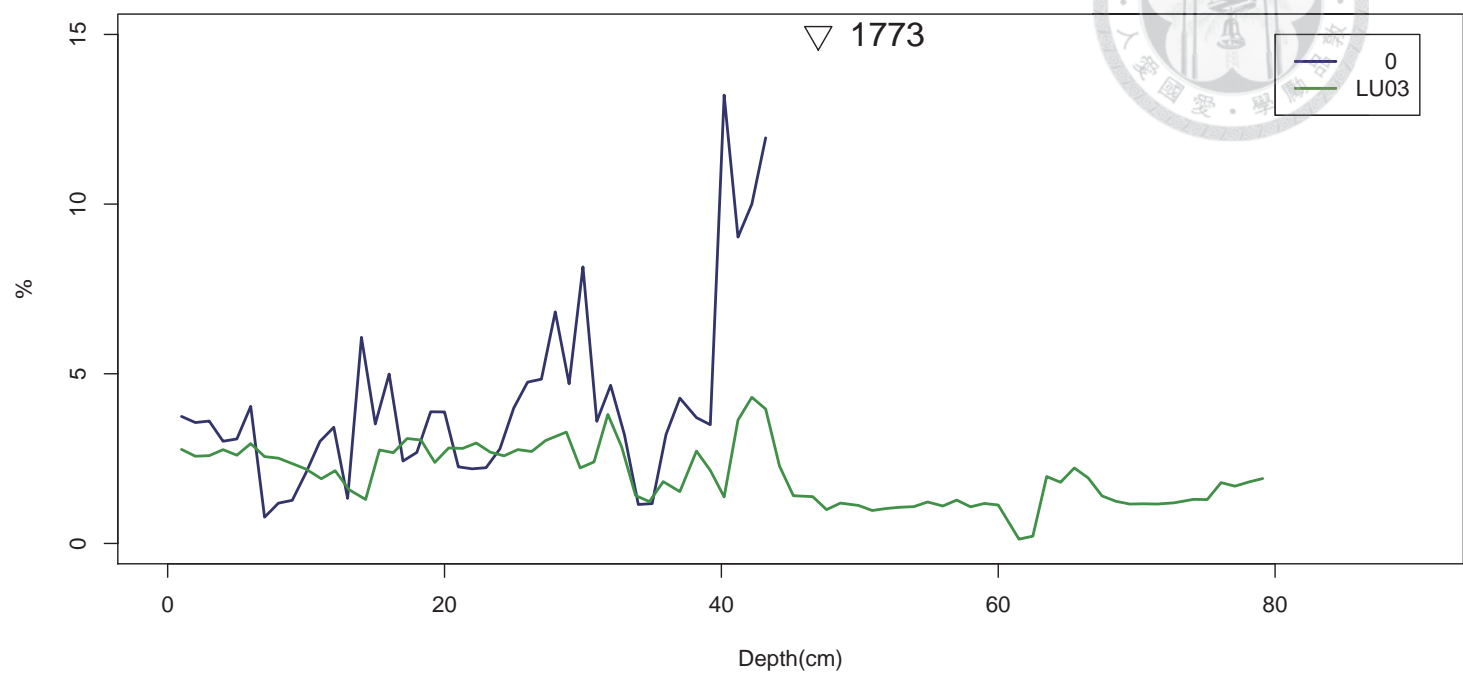
### Liyutan Lake, HCl



▲圖二十四、鯉魚潭碳酸鈣所佔比例深度分佈圖

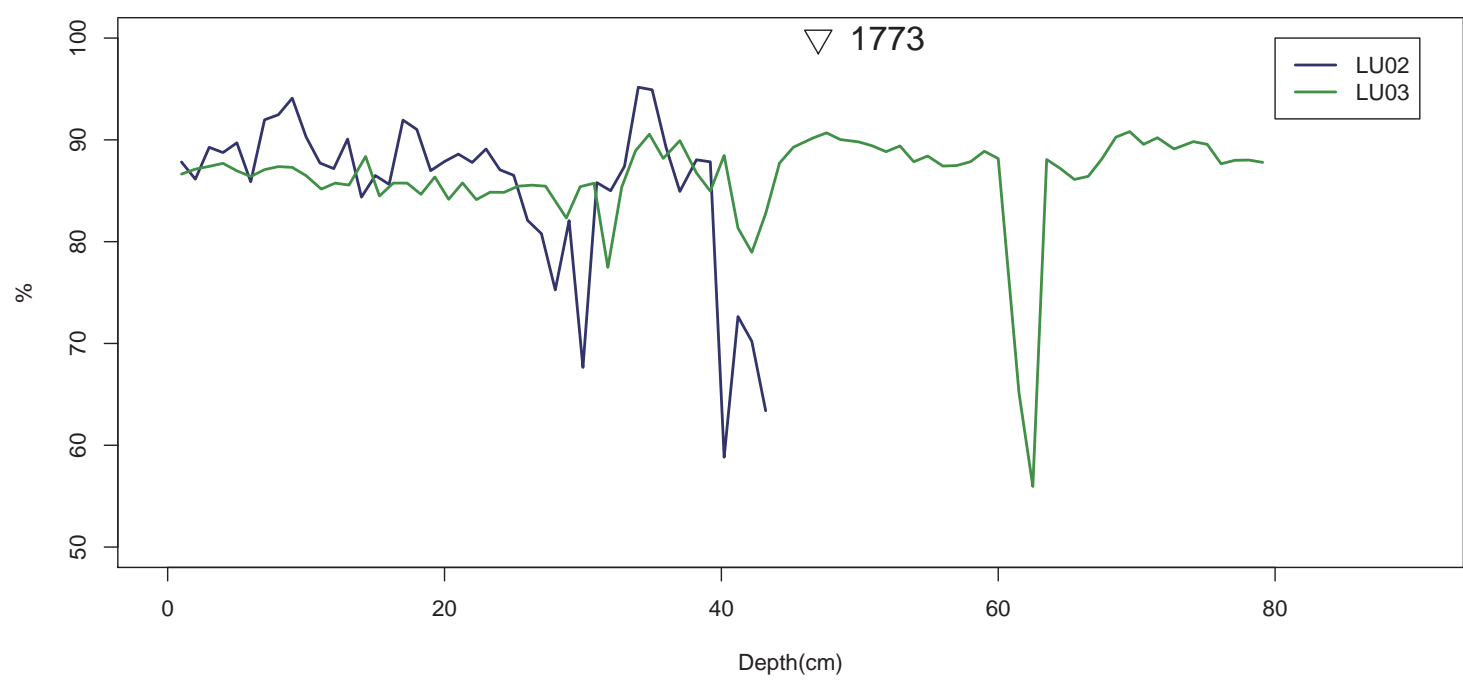


### Liyutan Lake, bSiO<sub>2</sub>



▲圖二十五、鯉魚潭生物矽所佔比例深度分佈圖

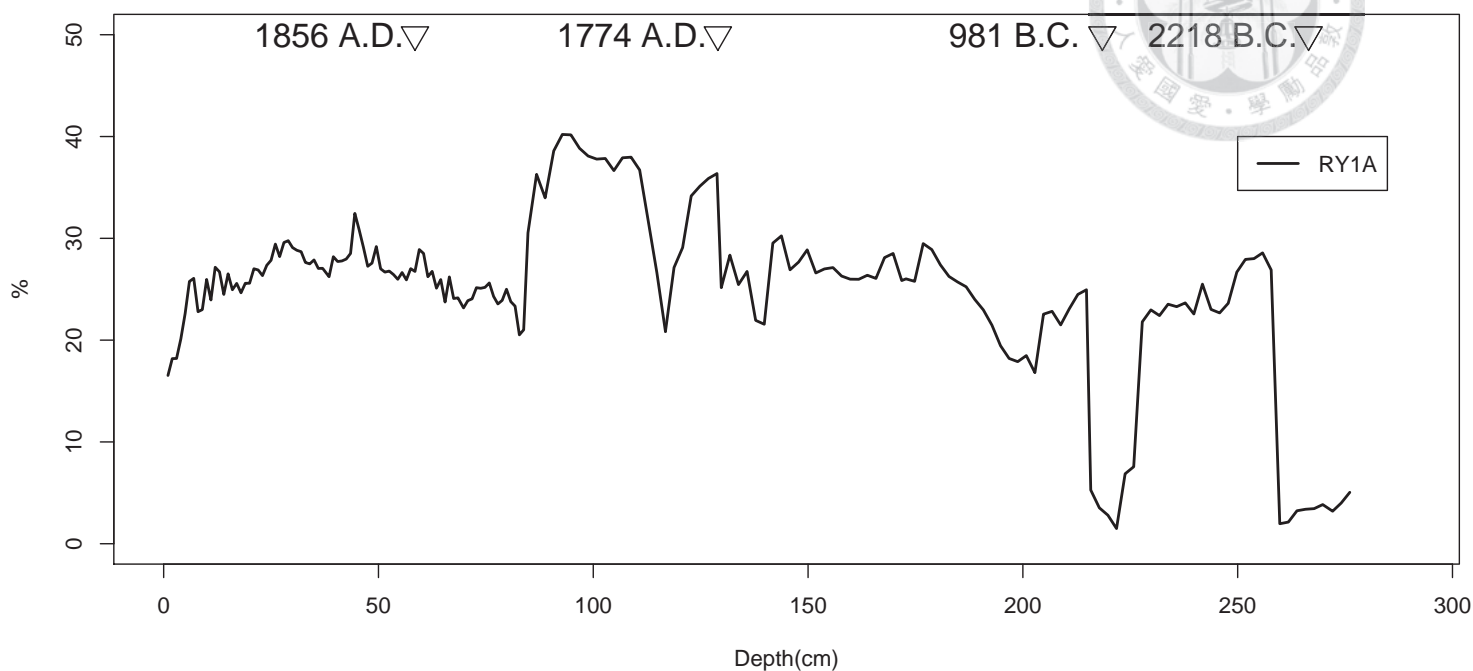
### Liyutan Lake, Minerals



▲圖二十六、鯉魚潭礦物質所佔比例深度分佈圖

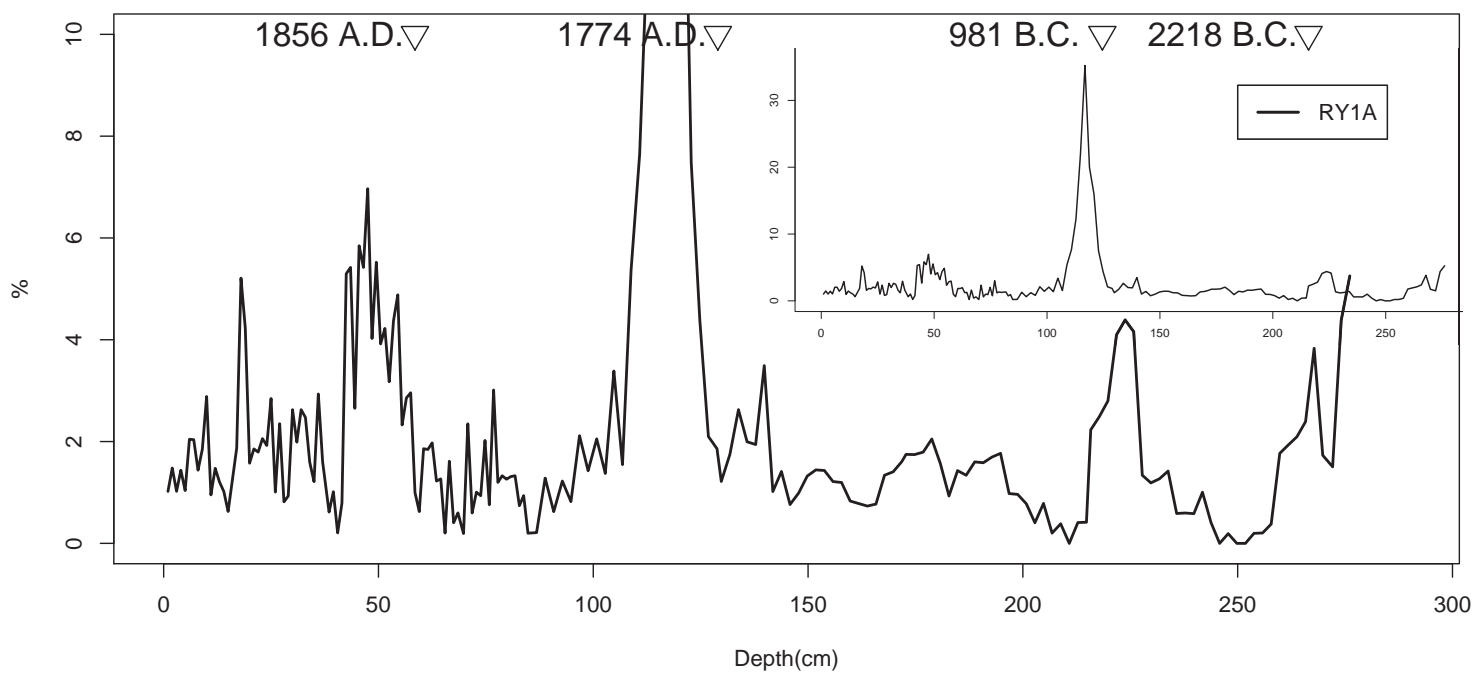


### Sun Moon Lake, Organic



▲圖二十七、日月潭有機物所佔比例深度分佈圖

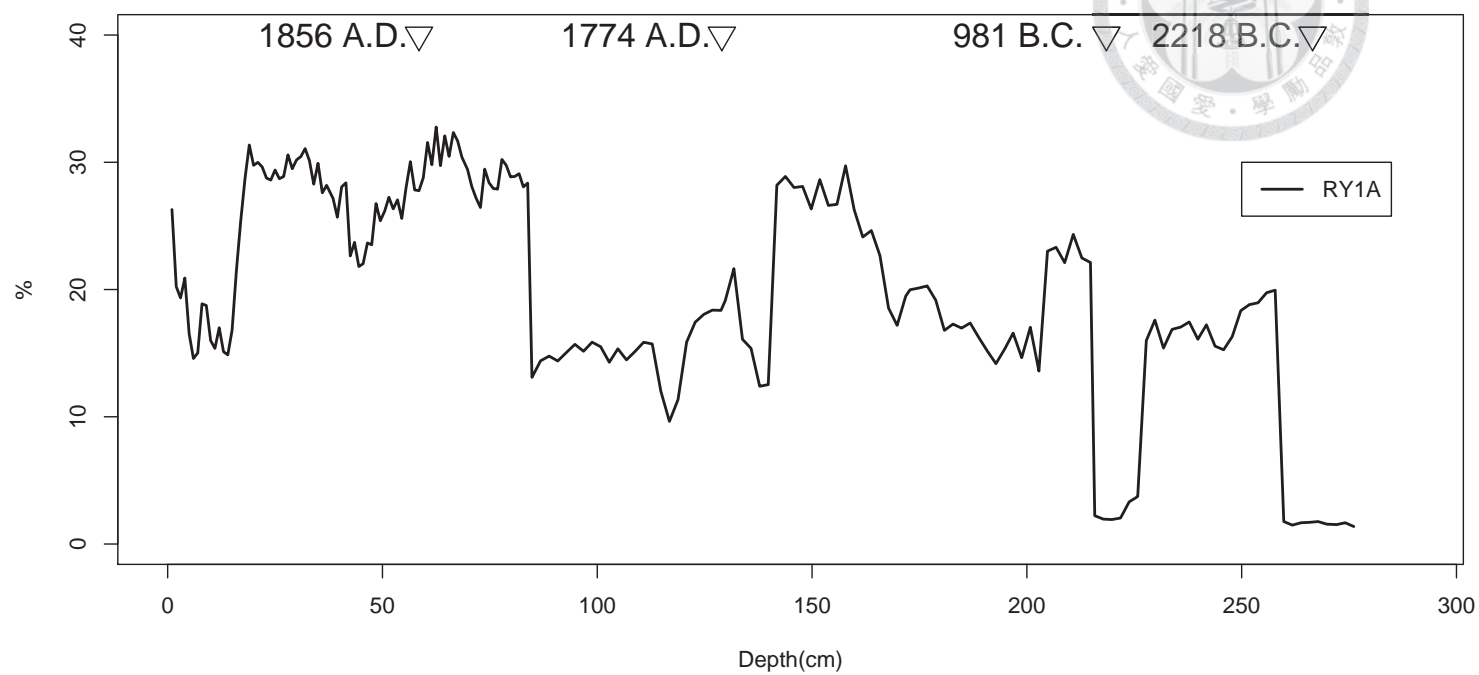
### Sun Moon Lake, HCl



▲圖二十八、日月潭碳酸鈣所佔比例深度分佈圖

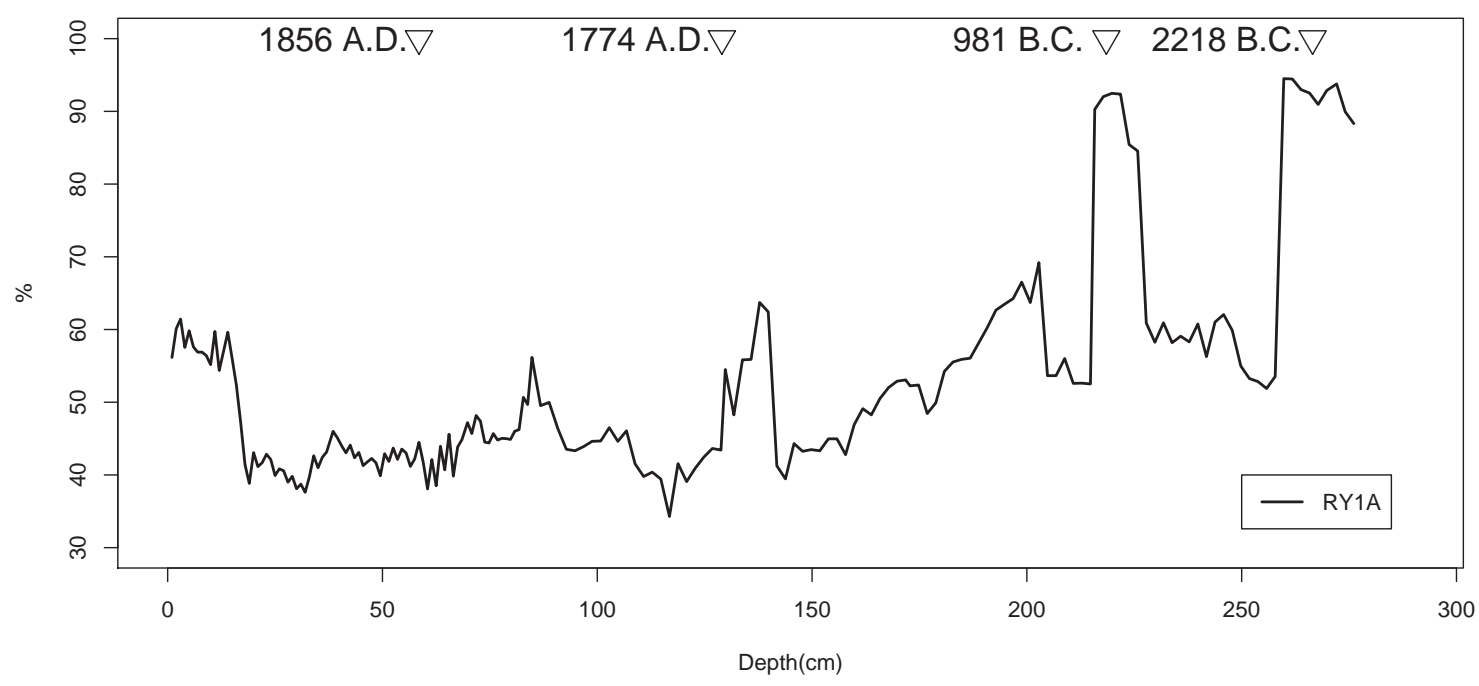


### Sun Moon Lake, bSiO<sub>2</sub>



▲圖二十九、日月潭潭生物矽所佔比例深度分佈圖

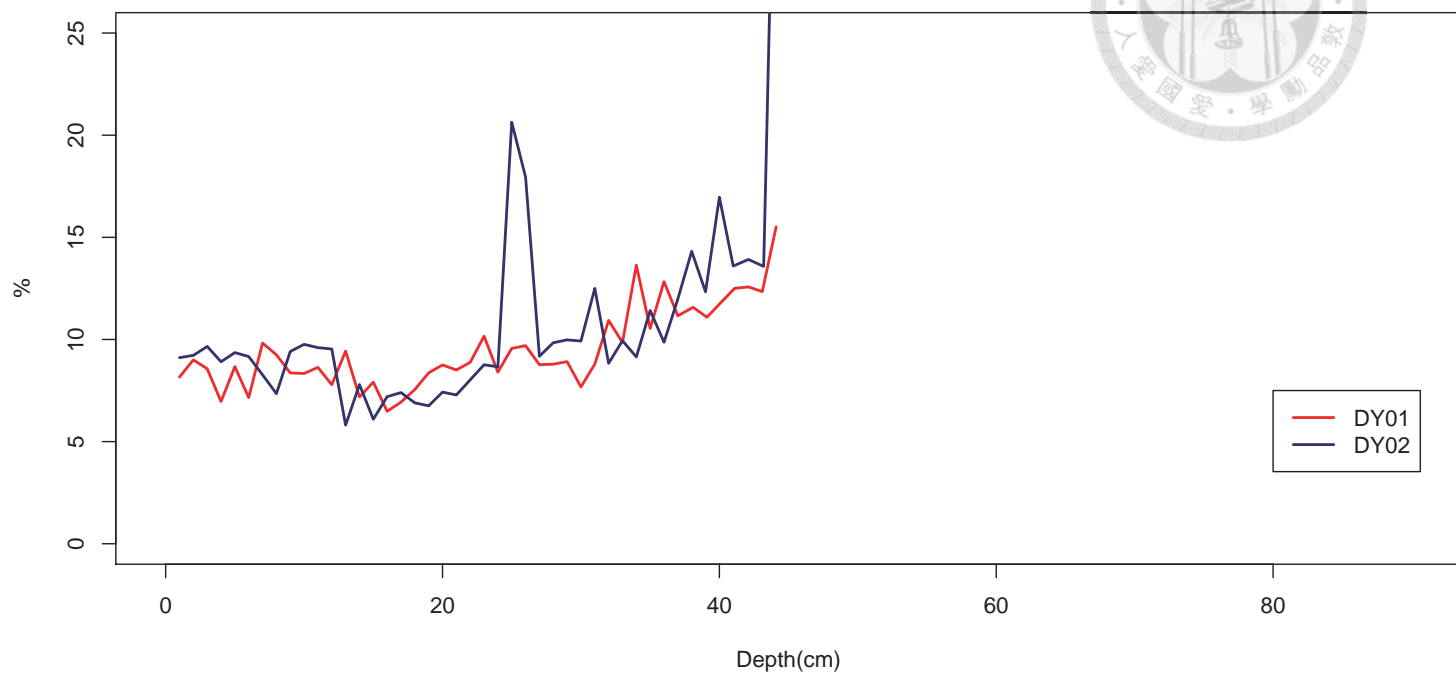
### Sun Moon Lake, Minerals



▲圖三十、日月潭潭礦物質所佔比例深度分佈圖

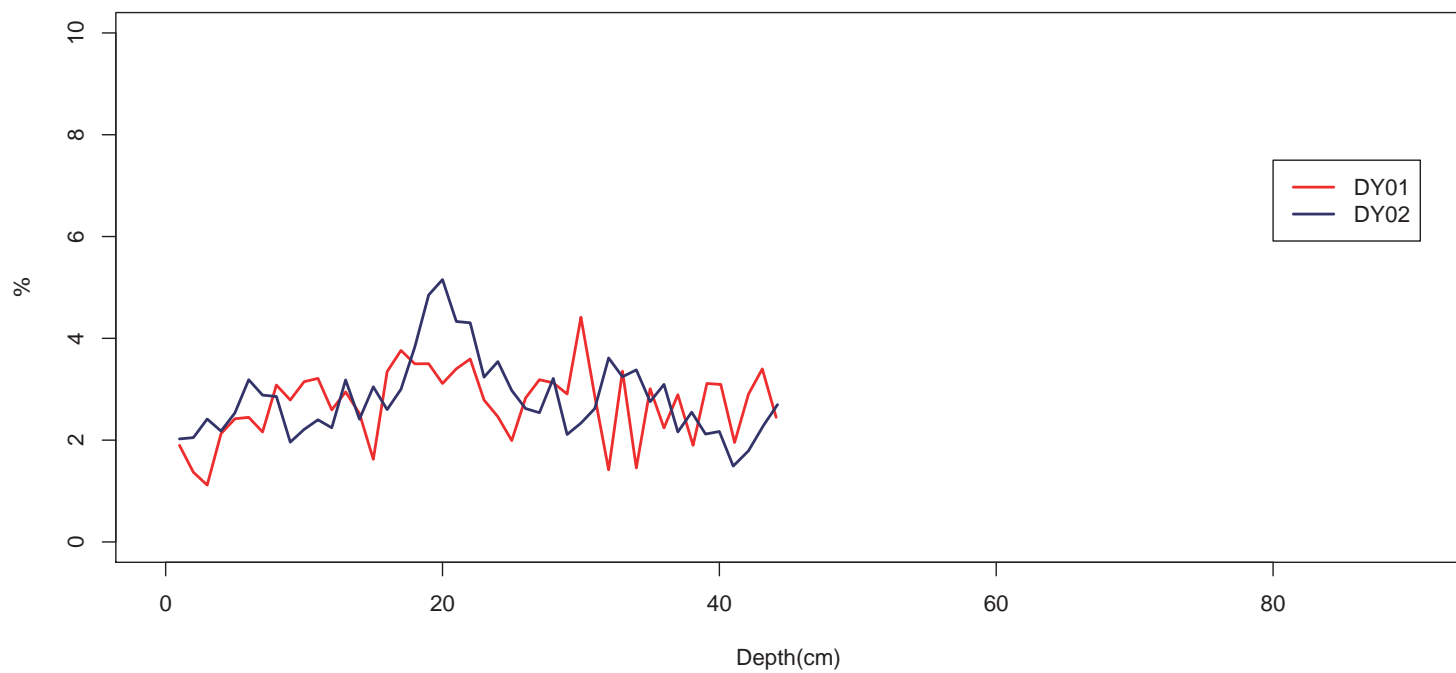


### Dongyuan Lake, Organic



▲圖三十一、東源湖潭有機物所佔比例深度分佈圖

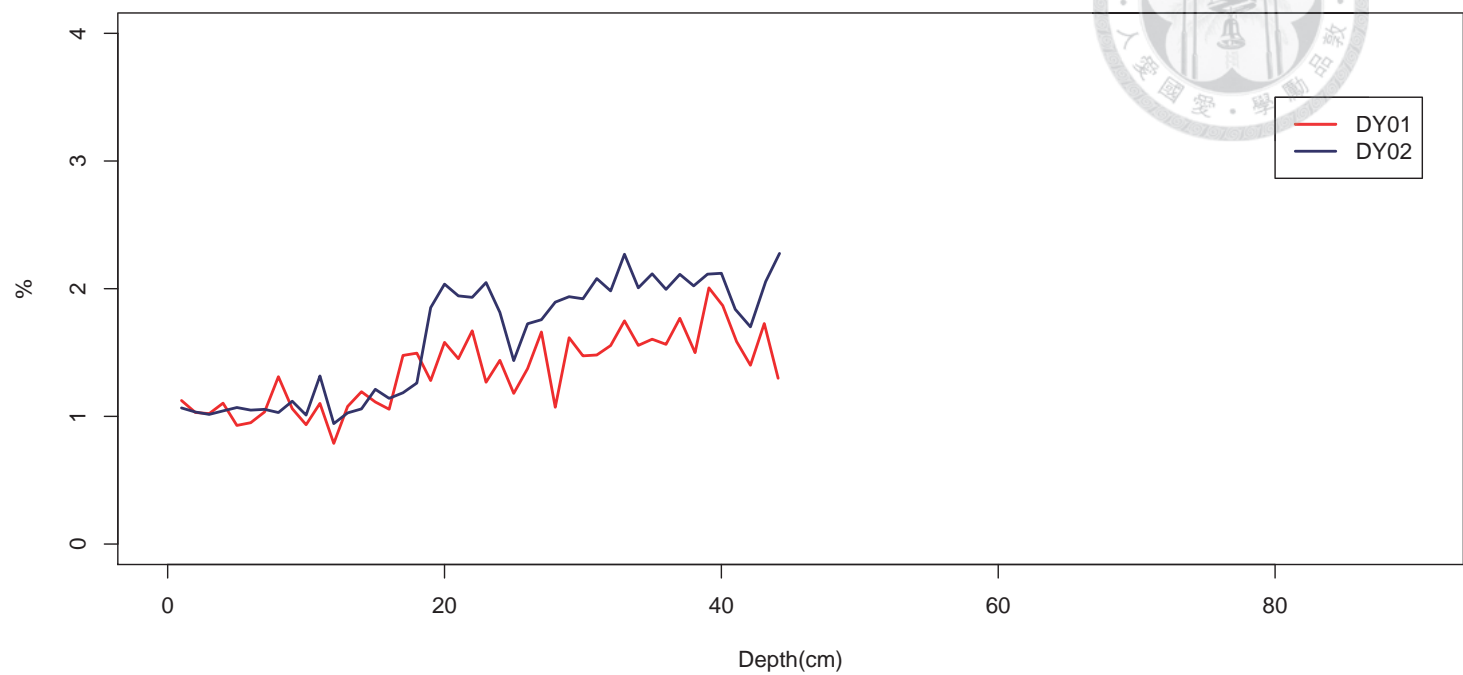
### Dongyuan Lake, HCl



▲圖三十二、東源湖潭碳酸鈣所佔比例深度分佈圖

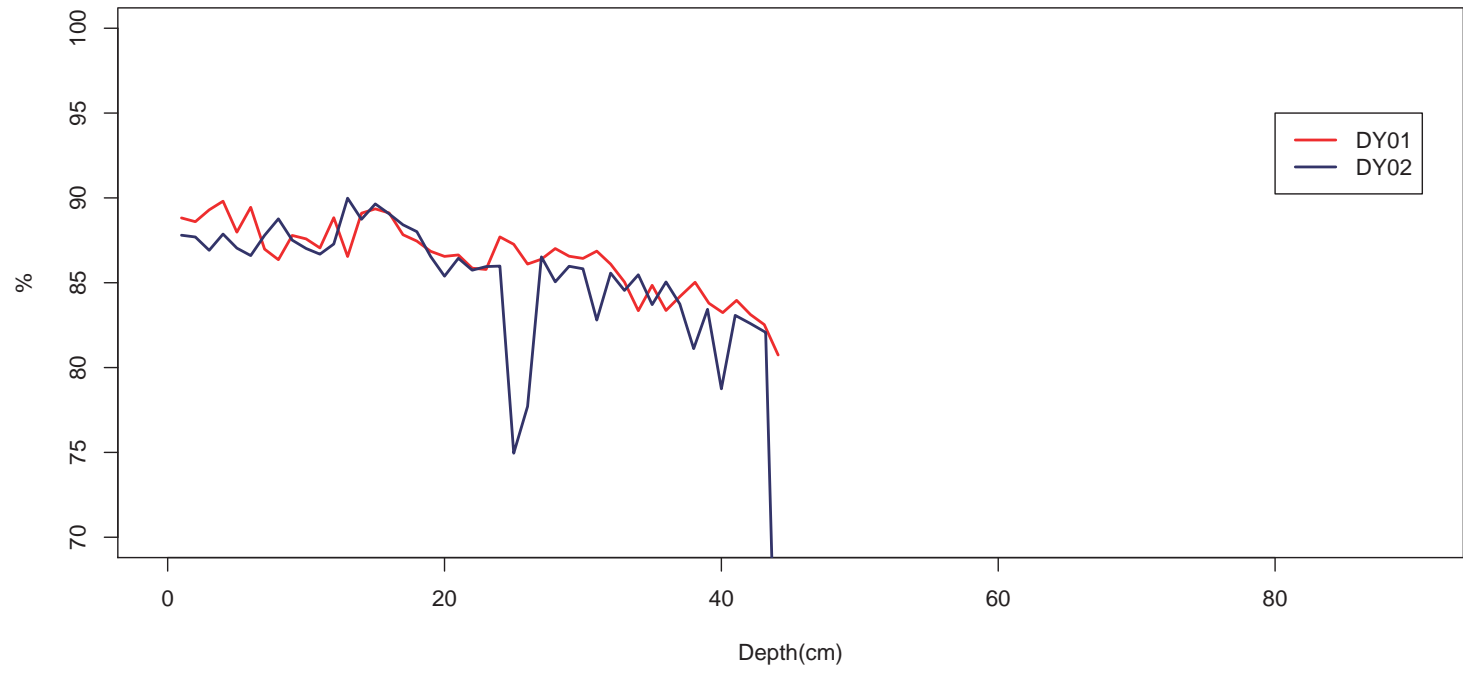


### Dongyuan Lake, bSiO<sub>2</sub>



▲圖三十三、東源湖潭生物矽所佔比例深度分佈圖

### Dongyuan Lake, Minerals



▲圖三十四、東源湖潭礦物質所佔比例深度分佈圖

#### 第四節 敘述統計



為了了解不同樣本與不同水體在背景上的差異與關係，以下將樣本分析所得數據計算後得常用統計參數呈現，並計算個數據間相關係數。

▼表四、翠峰湖各分析結果敘述統計結果(CF1402)

	密度	有機物%	碳酸鈣%	bSiO <sub>2</sub> %	礦物質%	全粒徑φ	礦物粒徑φ
平均數	2.5706	10.3628	2.5774	1.8906	85.1692	7.5567	10.6263
標準誤	0.0061	0.2652	0.1594	0.0464	0.2301	0.0599	0.0158
中間值	2.5828	10.1961	2.6423	1.8746	85.5336	7.5036	10.6454
標準差	0.0537	2.3270	1.3990	0.4067	2.0195	0.5220	0.1379
變異數	0.0029	5.4149	1.9572	0.1654	4.0784	0.2725	0.0190
峰度	0.9375	-0.9670	-0.6374	0.0992	-0.2255	72.7490	0.6380
偏態	-0.8911	0.0778	0.0371	0.4947	-0.2028	8.4428	-0.8604
範圍	0.2700	9.8974	6.1386	1.9559	9.4060	4.6654	0.6968
最小值	2.4081	5.3465	0.0000	1.0574	79.9460	7.3354	10.1934
最大值	2.6781	15.2439	6.1386	3.0133	89.3520	12.0008	10.8902

▼表五、翠峰湖各分析結果間相關係數(CF1402)

相關係數	密度	有機物%	碳酸鈣%	bSiO <sub>2</sub> %	礦物質%	全粒徑φ	礦物粒徑φ
密度	1.0000						
有機物%	-0.3987	1.0000					
碳酸鈣%	0.2942	-0.5818	1.0000				
bSiO <sub>2</sub> %	-0.3400	0.0890	0.1407	1.0000			
礦物質%	0.3241	-0.7672	-0.0507	-0.4015	1.0000		
全粒徑φ	0.0009	-0.0520	-0.1310	-0.0869	0.1692	1.0000	
礦物粒徑φ	0.5692	-0.3631	0.4563	-0.1313	0.1256	-0.1468	1.0000





▼表六、翠峰湖各分析結果敘述統計結果(CF1402)

	密度	有機物%	碳酸鈣%	bSiO <sub>2</sub> %	礦物質%	全粒徑 $\varphi$	礦物粒徑 $\varphi$
平均數	2.6355	10.5166	1.5601	1.8854	86.0379	7.3785	7.4828
標準誤	0.0070	0.2520	0.0738	0.0403	0.2719	0.0127	0.0081
中間值	2.6508	10.6383	1.6760	1.8174	86.0323	7.3871	7.4775
標準差	0.0633	2.2960	0.6727	0.3670	2.4769	0.1153	0.0735
變異數	0.0040	5.2714	0.4525	0.1347	6.1351	0.0133	0.0054
峰度	1.2628	5.3699	-0.7942	0.1106	5.2402	1.2955	9.8375
偏態	-0.7530	-1.4409	-0.4604	0.4133	1.3075	0.3984	2.4998
範圍	0.3465	13.9799	2.5168	1.8020	16.1314	0.5953	0.4592
最小值	2.4568	1.1952	0.1859	0.9616	79.9290	7.1114	7.3658
最大值	2.8032	15.1751	2.7027	2.7636	96.0604	7.7067	7.8250

▼表七、翠峰湖各分析結果間相關係數(CF1403)

相關係數	密度	有機物%	碳酸鈣%	bSiO <sub>2</sub> %	礦物質%	全粒徑 $\varphi$	礦物粒徑 $\varphi$
密度	1.0000						
有機物%	-0.4881	1.0000					
碳酸鈣%	-0.2034	-0.1207	1.0000				
bSiO <sub>2</sub> %	-0.5701	0.3575	0.0949	1.0000			
礦物質%	0.5921	-0.9471	-0.1738	-0.5053	1.0000		
全粒徑 $\varphi$	0.6167	-0.5547	0.0312	-0.2173	0.5379	1.0000	
礦物粒徑 $\varphi$	0.1223	-0.0815	0.0832	0.1712	0.0276	0.2805	1.0000



▼表八、翠峰湖各分析結果敘述統計結果(CF1404)

	密度	有機物%	碳酸鈣%	bSiO2%	礦物質%	全粒徑φ	礦物粒徑φ
平均數	2.5631	11.8190	1.1505	1.6548	85.3756	7.3652	7.4685
標準誤	0.0080	0.3954	0.1248	0.0492	0.4410	0.0131	0.0080
中間值	2.5645	11.9284	0.7843	1.6013	85.2439	7.3574	7.4709
標準差	0.0638	3.1380	0.9904	0.3909	3.5005	0.1043	0.0634
變異數	0.0041	9.8472	0.9808	0.1528	12.2533	0.0109	0.0040
峰度	-0.0561	0.7016	-0.7787	0.7635	-0.1158	3.0306	3.1158
偏態	0.2136	-0.6050	0.7719	0.1879	0.0562	0.8994	0.7797
範圍	0.2705	14.8818	3.1891	1.9272	15.1116	0.5932	0.4126
最小值	2.4374	2.9613	0.0000	0.7595	78.6482	7.1455	7.3065
最大值	2.7079	17.8431	3.1891	2.6867	93.7598	7.7387	7.7191

▼表九、翠峰湖各分析結果間相關係數(CF1404)

相關係數	密度	有機物%	碳酸鈣%	bSiO2%	礦物質%	全粒徑φ	礦物粒徑φ
密度	1.0000						
有機物%	-0.6787	1.0000					
碳酸鈣%	0.1402	0.0327	1.0000				
bSiO2%	-0.5747	0.5253	-0.2837	1.0000			
礦物質%	0.6329	-0.9644	-0.2806	-0.5024	1.0000		
全粒徑φ	0.4730	-0.5283	-0.2488	-0.4141	0.5903	1.0000	
礦物粒徑φ	0.3453	-0.3923	-0.3935	-0.1700	0.4820	0.5380	1.0000



▼表十、鯉魚潭各分析結果敘述統計結果(LU1401)

	密度	全粒徑 $\varphi$	礦物粒徑 $\varphi$
平均數	2.6096	7.3000	7.3953
標準誤	0.0077	0.0319	0.0174
中間值	2.6173	7.2962	7.3975
標準差	0.0464	0.1914	0.1042
變異數	0.0022	0.0366	0.0109
峰度	0.8721	3.8272	5.6179
偏態	-0.8978	-0.5400	-0.8955
範圍	0.1978	1.1471	0.6717
最小值	2.4739	6.6530	7.0060
最大值	2.6718	7.8000	7.6777

▼表十一、鯉魚潭各分析結果間相關係數(LU1401)

相關係數	密度	全粒徑 $\varphi$	礦物粒徑 $\varphi$
密度	1.0000		
全粒徑 $\varphi$	0.5123	1.0000	
礦物粒徑 $\varphi$	-0.0780	0.2370	1.0000



▼表十二、鯉魚潭各分析結果敘述統計結果(LU1402)

	密度	有機物%	碳酸鈣%	bSiO <sub>2</sub> %	礦物質%	全粒徑φ	礦物粒徑φ
平均數	2.6068	9.5194	1.1073	4.1158	85.2574	7.2173	7.4508
標準誤	0.0225	0.8215	0.0830	0.4176	1.2127	0.0441	0.0231
中間值	2.6330	8.0614	0.9843	3.5628	87.3943	7.2949	7.4345
標準差	0.1476	5.3870	0.5443	2.7382	7.9523	0.2889	0.1517
變異數	0.0218	29.0203	0.2963	7.4976	63.2394	0.0835	0.0230
峰度	0.2762	3.0295	-0.2743	3.2646	3.1934	5.5505	3.2255
偏態	-0.8432	1.8032	0.1250	1.7596	-1.8109	-1.9927	1.0552
範圍	0.5913	24.5349	2.3437	12.4378	36.3389	1.6275	0.8070
最小值	2.2481	2.1318	0.0000	0.7744	58.8308	6.1407	7.1060
最大值	2.8394	26.6667	2.3437	13.2122	95.1697	7.7682	7.9130

▼表十三、鯉魚潭各分析結果間相關係數(LU1402)

相關係數	密度	有機物%	碳酸鈣%	bSiO <sub>2</sub> %	礦物質%	全粒徑φ	礦物粒徑φ
密度	1.0000						
有機物%	-0.7258	1.0000					
碳酸鈣%	-0.0895	-0.1321	1.0000				
bSiO <sub>2</sub> %	-0.7748	0.9280	-0.0601	1.0000			
礦物質%	0.7646	-0.9879	0.0417	-0.9689	1.0000		
全粒徑φ	0.6624	-0.6937	-0.0012	-0.7544	0.7298	1.0000	
礦物粒徑φ	0.2559	-0.2526	-0.1032	-0.2550	0.2660	0.3180	1.0000



▼表十四、鯉魚潭各分析結果敘述統計結果(LU1403)

	密度	有機物%	碳酸鈣%	bSiO <sub>2</sub> %	礦物質%	全粒徑 $\varphi$	礦物粒徑 $\varphi$
平均數	2.6481	8.7808	2.9098	2.0091	86.3003	6.9006	7.1012
標準誤	0.0077	0.5909	0.1611	0.0989	0.5727	0.0632	0.0503
中間值	2.6384	7.6761	2.8736	1.9206	87.3348	7.0664	7.2116
標準差	0.0674	5.1517	1.4049	0.8624	4.9924	0.5508	0.4389
變異數	0.0045	26.5401	1.9736	0.7438	24.9236	0.3034	0.1926
峰度	0.1614	25.2756	0.8107	-0.3086	21.5788	11.5719	10.3778
偏態	0.4510	4.6546	0.3103	0.3164	-4.1654	-2.5955	-2.3239
範圍	0.3185	36.4142	7.2289	4.1811	34.8600	4.1449	3.1134
最小值	2.4951	4.4860	0.0000	0.1256	55.9497	3.8960	4.7297
最大值	2.8136	40.9002	7.2289	4.3067	90.8097	8.0409	7.8431

▼表十五、鯉魚潭各分析結果間相關係數(LU1403)

相關係數	密度	有機物%	碳酸鈣%	bSiO <sub>2</sub> %	礦物質%	全粒徑 $\varphi$	礦物粒徑 $\varphi$
密度	1.0000						
有機物%	-0.0491	1.0000					
碳酸鈣%	0.6692	-0.2573	1.0000				
bSiO <sub>2</sub> %	-0.6114	0.0383	-0.3922	1.0000			
礦物質%	-0.0321	-0.9661	0.0518	-0.1019	1.0000		
全粒徑 $\varphi$	0.1957	-0.3383	0.2201	0.1692	0.2579	1.0000	
礦物粒徑 $\varphi$	0.1707	-0.4045	0.3084	0.3112	0.2769	0.6012	1.0000



▼表十六、鯉魚潭各分析結果敘述統計結果(LU1404)

	密度	全粒徑 $\varphi$	礦物粒徑 $\varphi$
平均數	2.5243	7.2407	7.6868
標準誤	0.0228	0.0450	0.0255
中間值	2.5115	7.2510	7.6375
標準差	0.2079	0.4101	0.2323
變異數	0.0432	0.1682	0.0539
峰度	32.4070	1.7387	11.3027
偏態	-4.3272	0.3672	2.8049
範圍	1.8619	2.5596	1.5611
最小值	1.0310	6.0177	7.3840
最大值	2.8929	8.5773	8.9450

▼表十七、鯉魚潭各分析結果間相關係數(LU1404)

相關係數	密度	全粒徑 $\varphi$	礦物粒徑 $\varphi$
密度	1.0000		
全粒徑 $\varphi$	0.4902	1.0000	
礦物粒徑 $\varphi$	0.2982	0.6041	1.0000



▼表十八、日月潭各分析結果敘述統計結果

	密度	有機物%	碳酸鈣%	bSiO <sub>2</sub> %	礦物質%	全粒徑 $\varphi$	礦物粒徑 $\varphi$
平均數	2.1681	24.8557	2.3923	20.6968	52.0640	6.4438	7.3038
標準誤	0.0192	0.5729	0.2762	0.6053	1.0320	0.0535	0.0563
中間值	2.1048	26.0618	1.4737	20.2808	46.9056	6.3485	7.3856
標準差	0.2150	7.7073	3.7154	8.1435	13.8844	0.7200	0.7574
變異數	0.0462	59.4021	13.8039	66.3173	192.7775	0.5185	0.5737
峰度	2.8201	2.6553	40.6345	-0.0411	2.7535	4.1774	0.4744
偏態	1.8722	-1.3192	5.6934	-0.7083	1.7698	0.3156	-0.7069
範圍	0.9346	38.7143	35.2227	31.3941	60.2110	5.0683	4.0603
最小值	1.8660	1.4898	0.0000	1.3741	34.2888	3.5184	4.7958
最大值	2.8006	40.2041	35.2227	32.7682	94.4998	8.5867	8.8561

▼表十九、日月潭各分析結果間相關係數

相關係數	密度	有機物%	碳酸鈣%	bSiO <sub>2</sub> %	礦物質%	全粒徑 $\varphi$	礦物粒徑 $\varphi$
密度	1.0000						
有機物%	-0.9279	1.0000					
碳酸鈣%	0.1470	0.0007	1.0000				
bSiO <sub>2</sub> %	-0.7113	0.5230	-0.2054	1.0000			
礦物質%	0.8602	-0.8616	-0.1479	-0.8220	1.0000		
全粒徑 $\varphi$	0.7254	-0.6108	0.1190	-0.7330	0.7371	1.0000	
礦物粒徑 $\varphi$	0.5221	-0.5422	-0.0391	-0.2440	0.4545	0.2596	1.0000



▼表二十、東源湖各分析結果敘述統計結果(DY1401)

	密度	有機物%	碳酸鈣%	bSiO <sub>2</sub> %	礦物質%	全粒徑φ	礦物粒徑φ
平均數	2.6721	9.4954	2.7142	1.3528	86.4375	6.9980	7.1889
標準誤	0.0121	0.2984	0.1077	0.0437	0.3195	0.0234	0.0271
中間值	2.7135	8.8365	2.8778	1.3873	86.6007	6.9857	7.2424
標準差	0.0065	1.9795	0.7144	0.2900	2.1192	0.1555	0.1796
變異數	0.0809	3.9186	0.5104	0.0841	4.4910	0.0242	0.0323
峰度	15.6722	0.7997	-0.1101	-0.8260	-0.0747	-1.2533	-1.2429
偏態	-3.4429	0.9999	-0.3270	0.1014	-0.5721	0.0372	-0.1368
範圍	45.0000	9.0248	3.2973	1.2180	9.0634	0.5512	0.6817
最小值	2.4281	6.4854	1.1173	0.7883	80.7422	6.7217	6.8645
最大值	2.7665	15.5102	4.4146	2.0063	89.8056	7.2729	7.5462

▼表二十一、東源湖各分析結果間相關係數(DY1401)

相關係數	密度	有機物%	碳酸鈣%	bSiO <sub>2</sub> %	礦物質%	全粒徑φ	礦物粒徑φ
密度	1.0000						
有機物%	-0.7736	1.0000					
碳酸鈣%	0.1191	-0.2447	1.0000				
bSiO <sub>2</sub> %	-0.4763	0.4735	0.3052	1.0000			
礦物質%	0.7476	-0.9164	-0.1503	-0.6820	1.0000		
全粒徑φ	0.1285	-0.0197	0.4172	0.5097	-0.1920	1.0000	
礦物粒徑φ	-0.4980	0.5381	0.1366	0.7951	-0.6575	0.5578	1.0000



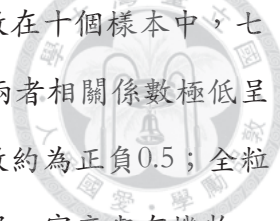


▼表二十二、東源湖各分析結果敘述統計結果(DY1402)

	密度	有機物%	碳酸鈣%	bSiO <sub>2</sub> %	礦物質%	全粒徑φ	礦物粒徑φ
平均數	2.6646	10.8241	2.8231	1.6050	84.7477	6.9538	7.1909
標準誤	0.0172	0.8811	0.1188	0.0691	0.8907	0.0365	0.0303
中間值	2.6892	9.3843	2.6210	1.7856	85.9759	6.9742	7.2283
標準差	0.1143	5.8443	0.7879	0.4586	5.9085	0.2422	0.2011
變異數	0.0131	34.1564	0.6207	0.2103	34.9108	0.0586	0.0404
峰度	15.6722	21.5554	1.3307	-1.7190	22.1215	7.8107	-0.9875
偏態	-3.4429	4.1607	1.1200	-0.1845	-4.2145	-2.3010	-0.1465
範圍	0.6769	37.1409	3.6648	1.3328	37.9033	1.3337	0.7756
最小值	2.0818	5.8052	1.4898	0.9433	52.0807	5.9171	6.7981
最大值	2.7588	42.9461	5.1546	2.2761	89.9840	7.2508	7.5737

▼表二十三、東源湖各分析結果間相關係數(DY1402)

相關係數	密度	有機物%	碳酸鈣%	bSiO <sub>2</sub> %	礦物質%	全粒徑φ	礦物粒徑φ
密度	1.0000						
有機物%	-0.8226	1.0000					
碳酸鈣%	0.3079	-0.2424	1.0000				
bSiO <sub>2</sub> %	-0.3699	0.3706	0.2342	1.0000			
礦物質%	0.8013	-0.9856	0.0883	-0.4754	1.0000		
全粒徑φ	0.6376	-0.4213	0.2845	0.1056	0.3706	1.0000	
礦物粒徑φ	-0.2105	0.1999	0.1000	0.8289	-0.2754	0.2671	1.0000

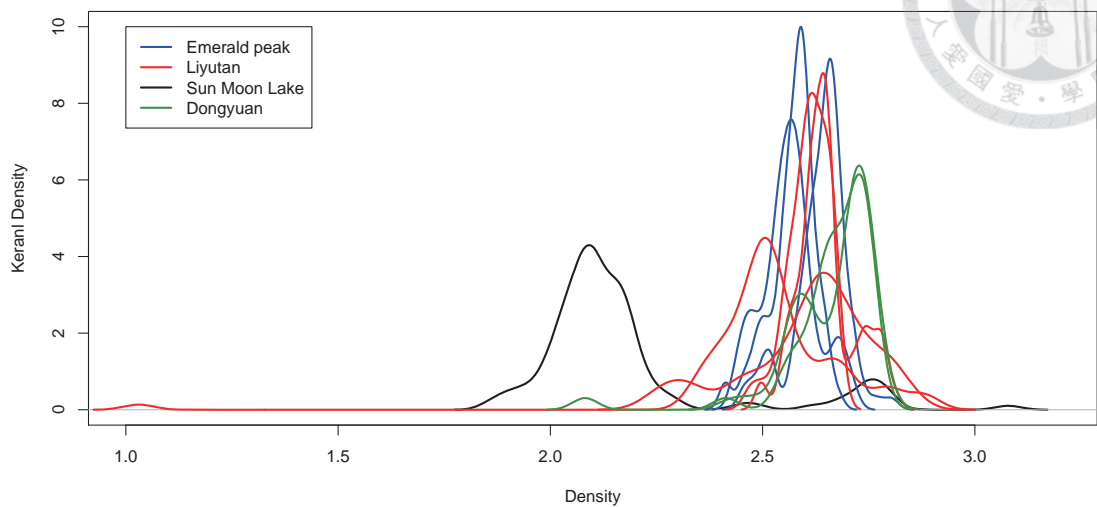


從敘述統計與相關係數分析結果中，密度與全粒徑相關係數在十個樣本中，七個樣本相關係數可達到0.5以上，兩者略有正相關，但是也有樣本兩者相關係數極低呈現無相關；礦物粒徑與密度的相關性多半不強，少數樣本相關係數約為正負0.5；全粒徑與礦物粒徑本身間的相關性，基本呈正相關，但多半相關性偏弱。密度與有機物、碳酸鈣、生物矽、礦物質之間的相關性中，密度與礦物質整體呈現良好的正相關，有機物與生物矽和密度則主要呈負相關。有機物與礦物質所佔比例呈現強烈的負相關，與生物矽則呈輕微的正相關，碳酸鈣與其他參數相關性都偏弱。部分粒徑與有機物、礦物質含量有輕微的相關性。

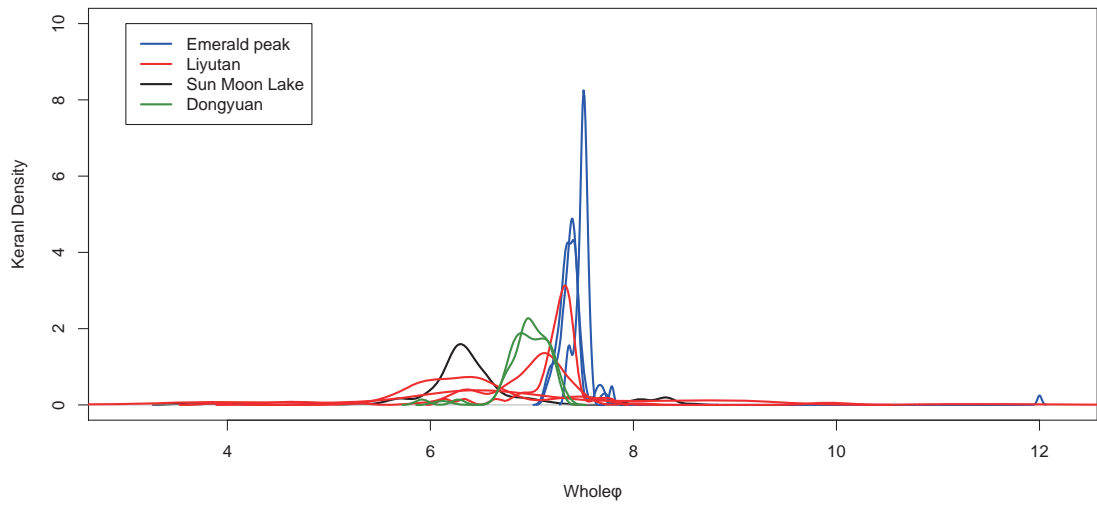
大部份參數之間都沒有十分明確的相關性，唯有有機物與礦物質所佔比例相關性除外，由於有機物與礦物質所佔含量的量測方法確實會相互影響，因此兩者間有一定程度相關性可以理解，但兩者極為強烈的相關性指示著幾乎所有樣本中，有機物、碳酸鈣、生物矽、礦物質所佔比例的變動受有機物、礦物質主導，碳酸鈣與生物矽不僅所佔比例不高，影響力也不高。此外相同樣點不同樣本的相關性的差異頗大，在相關係數的結果中，儘管各樣點地質背景條件不同，但各參數間的相關性變異不弱同一樣點內不同樣本的變動。因此可以推論沉積物在水體沉積位置影響各參數間相關性的程度應大於不同水體環境條件帶來的影響。

## 第五節 核密度估計

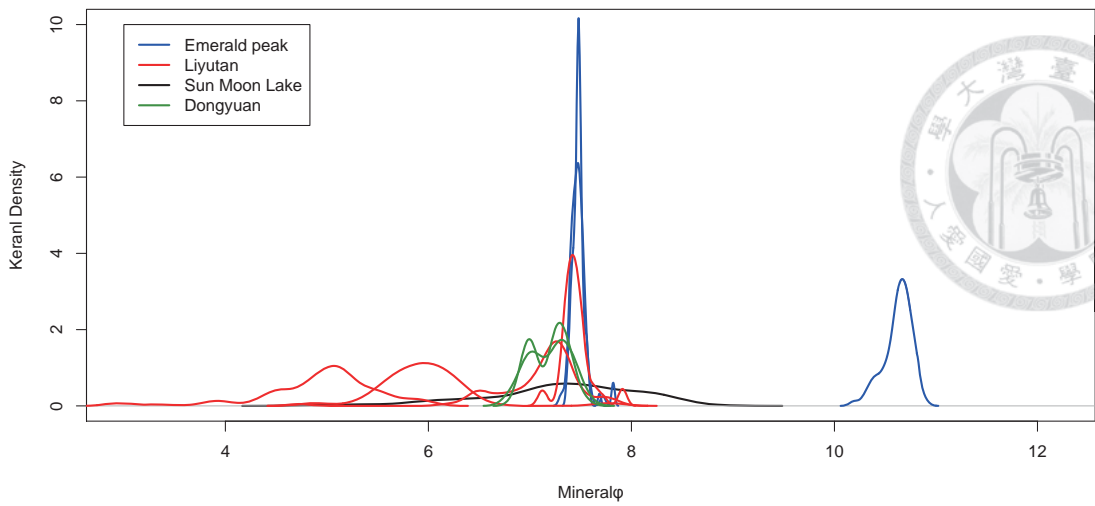
在核密度估計處理中可以發現翠峰湖、鯉魚潭、東源湖與日月潭在密度、粒徑分析結果分布上有明顯的不同，其中以翠峰湖樣本的分析結果最為集中，鯉魚潭分析結果雖然數值分布與翠峰湖類似，但是變異較大不若翠峰湖集中，東源湖結果數值分布與翠峰湖、鯉魚潭約略不同，而日月潭的密度、全粒徑分布範圍則明顯異於其他樣本。除不同樣點的分析結果數值分布不同外，礦物粒徑的數據分布明顯較全粒徑分散。



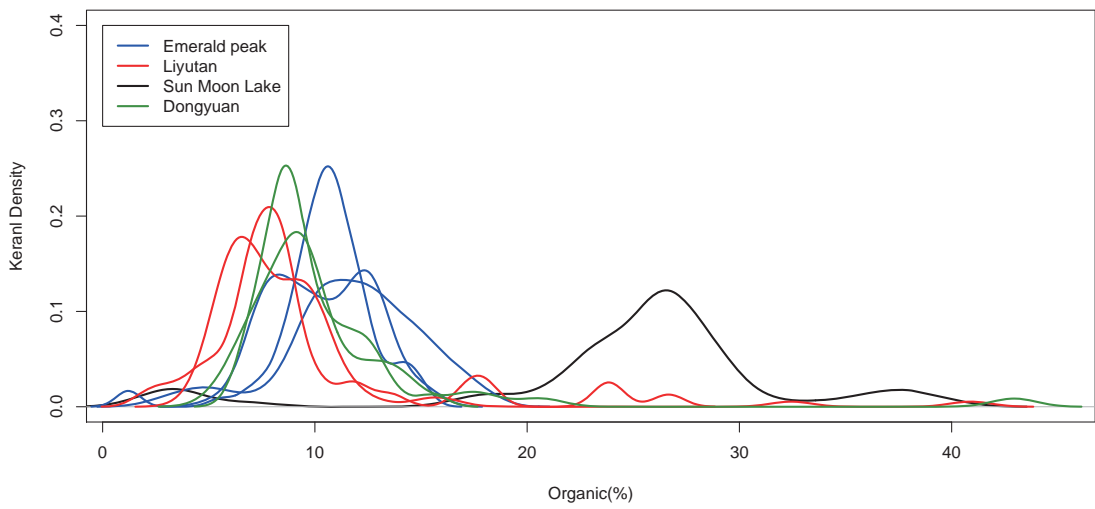
▲圖三十五、各樣本密度核密度估計



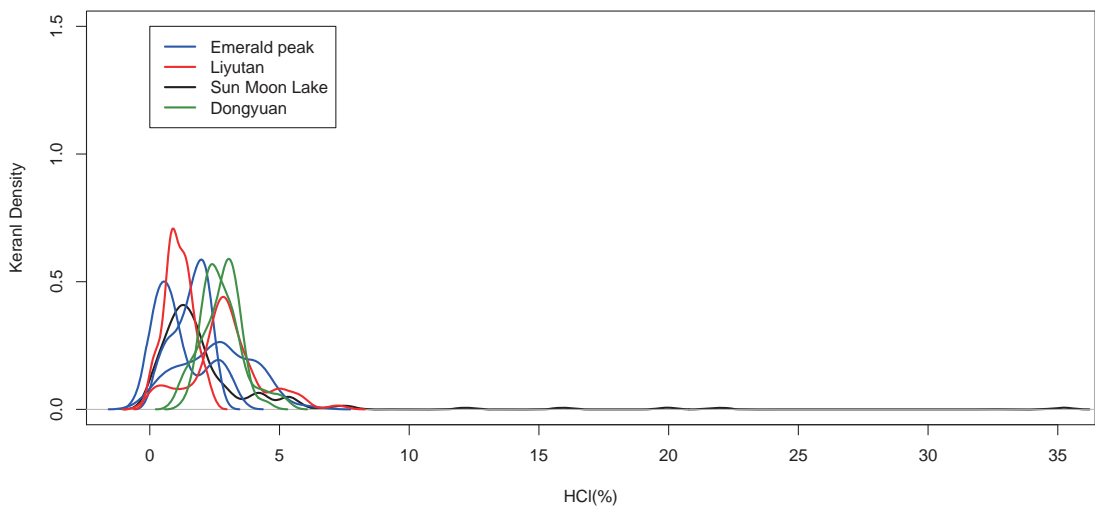
▲圖三十六、各樣本全粒徑核密度估計



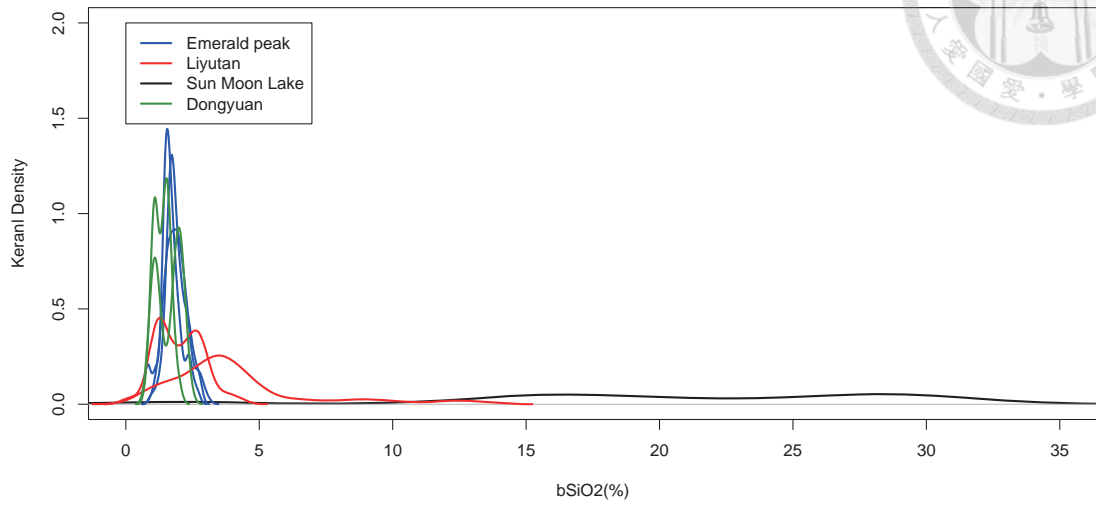
▲圖三十七、各樣本礦物粒徑核密度估計



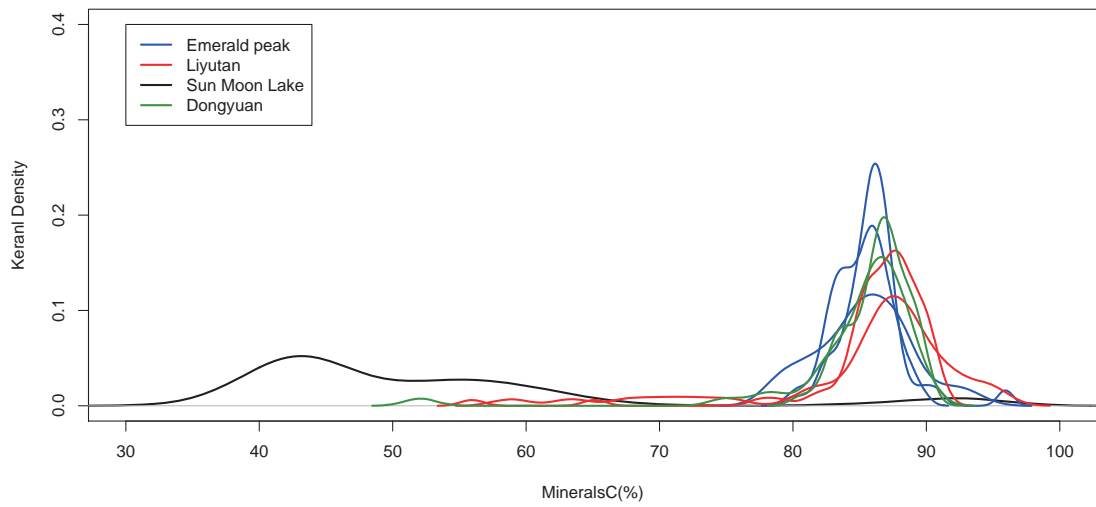
▲圖三十八、各樣本有機物所佔比例核密度估計



▲圖三十九、各樣本碳酸鈣所佔比例核密度估計



▲圖四十、各樣本生物矽所佔比例核密度估計



▲圖四十一、各樣本礦物質所佔比例核密度估計

## 第五章 討論



### 第一節 翠峰湖

圖四十二至圖四十六中將翠峰湖三個樣本分析所得密度、全粒徑、礦物粒徑與生物矽分析後所得礦物質所佔比例標準分數後繪製於三個圖表中，並在圖表中以箭頭標示可能的事件；分別是CF1402剔除全粒徑表面兩公分數據後進行標準化，未剔除，CF1403、CF1404各參數標準分數分佈與將三個樣本依深度平均後所得結果。事件的判定以明顯異於趨勢的極端為準，若極端較小但各項分析結果都有變動的話也一併納入討論。藉由前人的定年資料可大略推估沉積物與已知地震、降雨資料重疊時間應在深度三十公分以內，因此在此僅呈現自表層至三十公分深處經換算為標準分數後的結果。

翠峰湖三個樣本CF1402、CF1403、CF1404分別標示可能的地震事件，分別以黑色箭頭指示，翠峰湖所處位置最近的降雨資料中，計算後1998年超限降雨超過1000 mm、1988年超限降雨則超過800 mm，具有相當的降雨強度，可以搬運大量與較為粗粒的物質進入水體沉積。2002年331地震，翠峰湖所處的南澳鄉最大震度達到六級，1994南澳地震震度六級、1986花蓮地震翠峰湖位於五級震度範圍內，均具有迅速破壞集水區地表短時間大量進入水體沉積的能力。由於翠峰湖沉積速率十分緩慢，因此2002、1998、1994、1988、1986所造成的影響應十分接近沉積物表面。

樣本分析結果中事件由近代至過去，在CF14025中兩組密度高峰應可對應2002與1994地震，1986年地震震度較小影響可能未如另外兩次地震顯著，此外1986年地震可能反應的深度仍受後方一大型事件的影響覆蓋，但在該事件中上部CF1404有一小峰值與CF1403事件密度下降趨勢減緩轉折處相近，可能是1986年地震的影響。而在前兩次可能的地震處全粒徑沒有明顯的趨勢，但礦物粒徑在有變粗的傾向，礦物質所佔比例也有偏高的趨勢，而有機物與碳酸鈣比例也相對下降，而1986年地震推測深度礦物粒徑與有機物及碳酸鈣比例也與2002、1994年地震趨勢類似。1998與1988兩次豪雨事件時間上夾在三次地震事件之間，在圖中除全粒徑偏向粗粒外其餘項目未有明顯的趨勢，

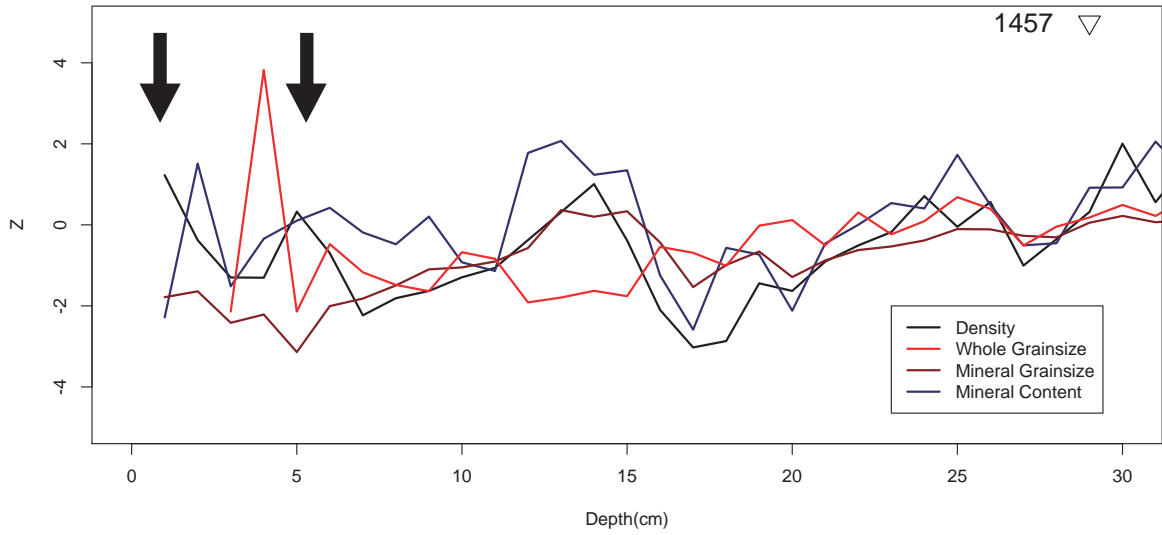
礦物粒徑變動較全粒徑和緩但趨勢類似。除地震、豪雨事件外在部分深度全粒徑明顯較平時偏細。

2002、1994、1986年地震與1998、1988年豪雨事件與密度、粒徑、礦物質比例的關聯性中，地震與豪雨分別反應在密度與全粒徑的變化上，其中地震除密度偏高外，礦物粒徑與礦物質也有變動，而豪雨事件全粒徑反應未若密度反應顯著，其他分析項目也沒有明顯的對應關係。若以近期地震、豪雨與沉積物之間的關聯性作為範本，那其餘事件應可一一對應至過去不同的豪雨、地震事件，在峰值較為明顯、劇烈的上半部如深度十五公分左右的事件中密度等相對參數急劇的上升，回復至一般趨勢的耗時較長，與濁流攜帶大量沉積物進入水體後較重的物質先沉積所形成由粗漸細的序列相似，表示沉積物所紀錄的地震事件應是地震時造成的山崩進入水體的結果。沉積物紀錄對於豪雨的反應較不明顯，可能與翠峰湖位於山稜上集水區較小難以聚集大量水流搬運物質有關。

汪良奇 (2011) 對台灣東部晚全新世的研究中也曾在翠峰湖以孢粉與矽藻為主要材料進行研究，其以55.5公分的岩芯討論過去1460年來的環境變化。認為最初氣候較為乾燥溫暖，湖水水質處於酸性寡養的狀態。自1320 AD以孢粉類群改變指示氣候變得較為涼爽，但在AD 1457以矽藻類群改變、沉積物土壤輸入與侵蝕度的增加，指示大量的降雨。而在CF1402、CF1403、CF1404分析結果中，樣本上半部相較下半部變動劇烈，且粒徑也有逐年偏粗的趨勢，與過去前人的見解相符。而在AD 1457至表層，除粒徑逐年偏粗指示降雨強度的增強或者氣候的濕潤外，密度也有類似的浮動，但是逐年偏輕，此一狀況應可與有機物所佔比例的變動相對照，在密度逐年偏輕的趨勢時，有機物所佔的比例也逐年上升，此外生物矽的含量也有上升的趨勢，有機物含量的增加應是致使密度偏輕的原因，而有機物與生物矽含量的上升也可回應汪認為的大量降雨，豐沛的降雨改變了翠峰湖集水區邊坡植被的狀況。

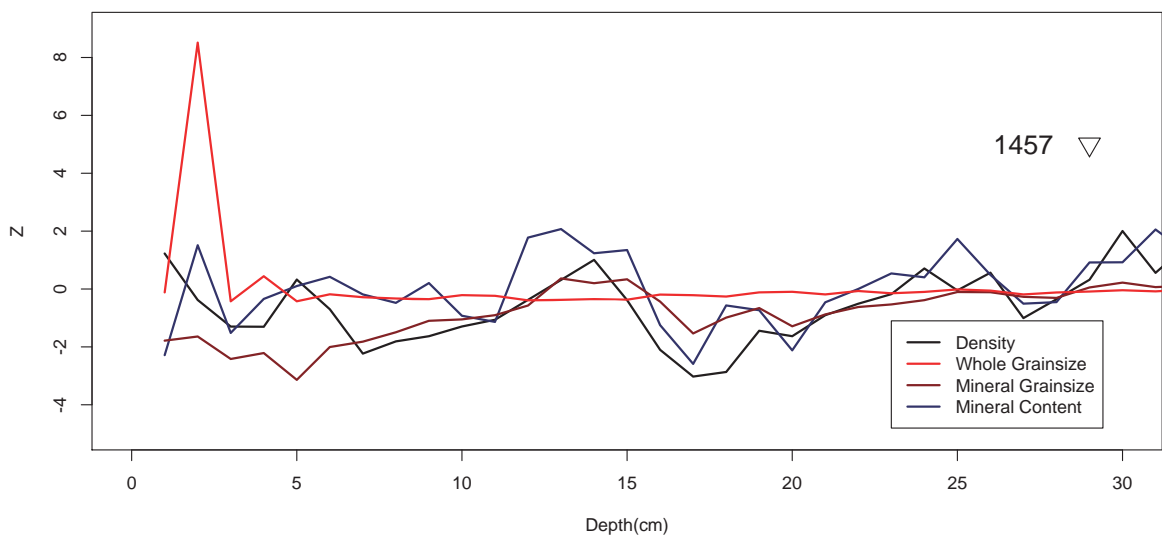


2002 1994 Emerald Peak Lake, CF1402



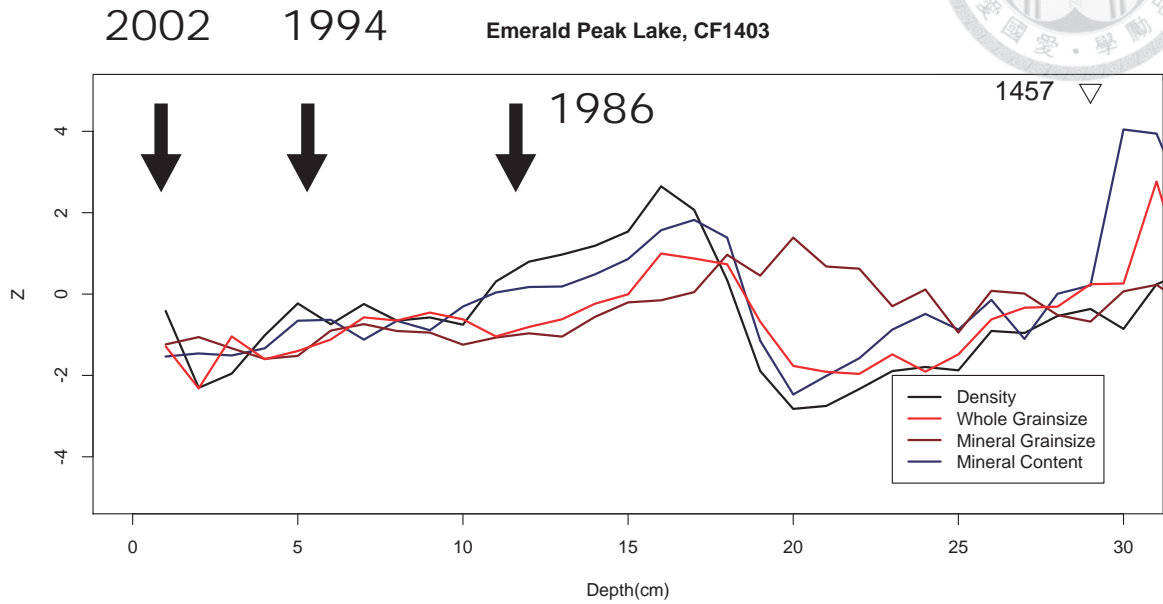
▲圖四十二、翠峰湖(CF1402)上層密度、粒徑、礦物質含量標準分數分佈(刪去極端值)

Emerald Peak Lake, CF1402

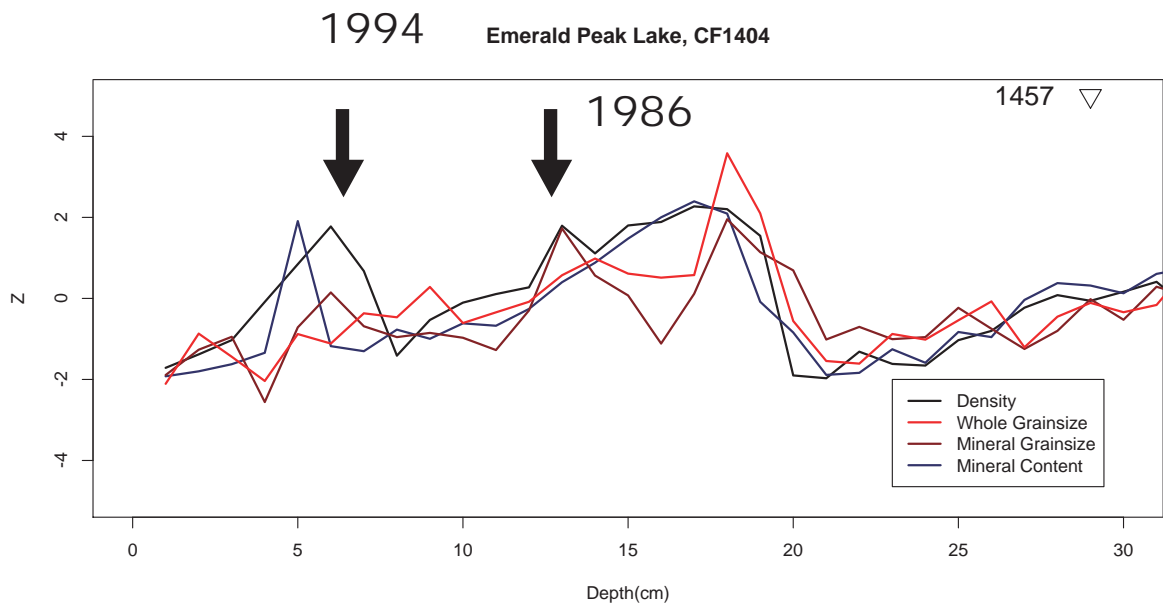


▲圖四十三、翠峰湖(CF1402)上層密度、粒徑、礦物質含量標準分數分佈(保留極端值)

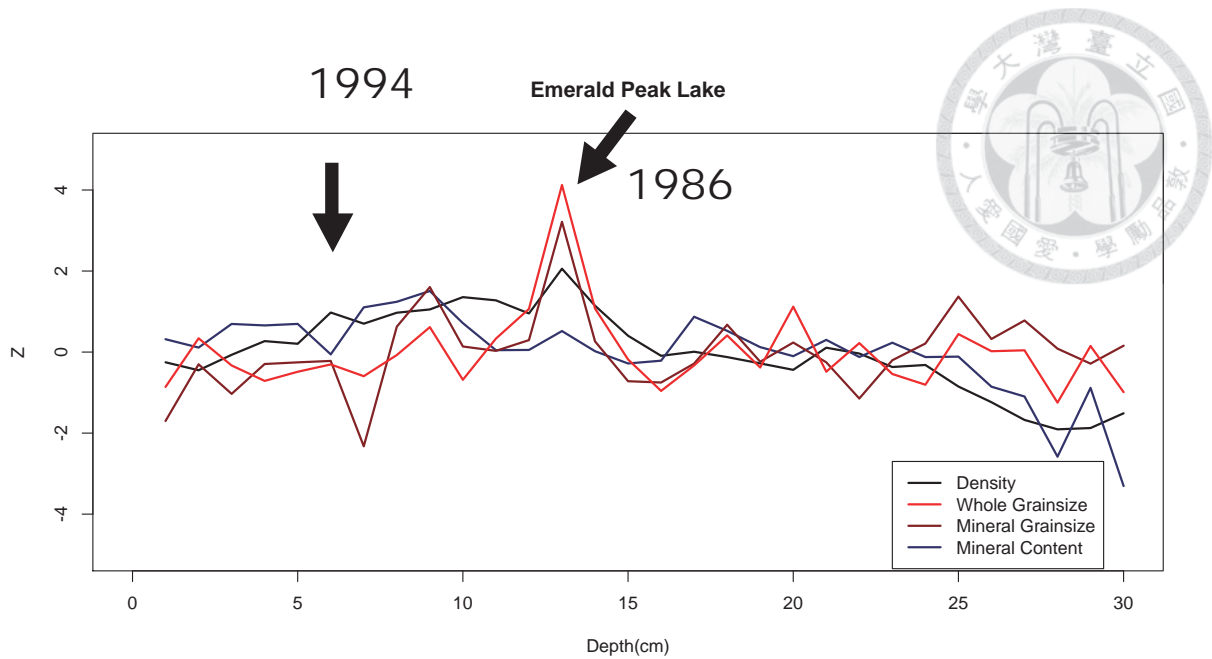




▲圖四十四、翠峰湖(CF1403)上層密度、粒徑、礦物質含量標準分數分佈



▲圖四十五、翠峰湖(CF1404)上層密度、粒徑、礦物質含量標準分數分佈



▲圖四十六、翠峰湖(平均)上層密度、粒徑、礦物質含量標準分數分佈

翠峰湖CF1402分析在圖四十二與圖四十三分別以是否剔除全粒徑上層兩公分兩個數據進行作圖，由於該樣本在深度兩公分處粒徑達到 $12.00\phi$ ，與平均 $7.55\phi$ 有極大差距，因此在使用標準分數時，若未剔除該數據則其餘數據計算後所得標準分數，受到極端值影響而平滑化，使其餘數據差異縮小不易辨別。標準分數雖然可以便於不同參數進行對照，但在此次的樣本與所得數據中，並未能凸顯極端值，且也有受極端值影響模糊其餘數據的可能性。由於分析所得數據數量不多且分佈不近似於常態分佈，因此在使用標準分數以對照各參數時，仍須注意其影響。

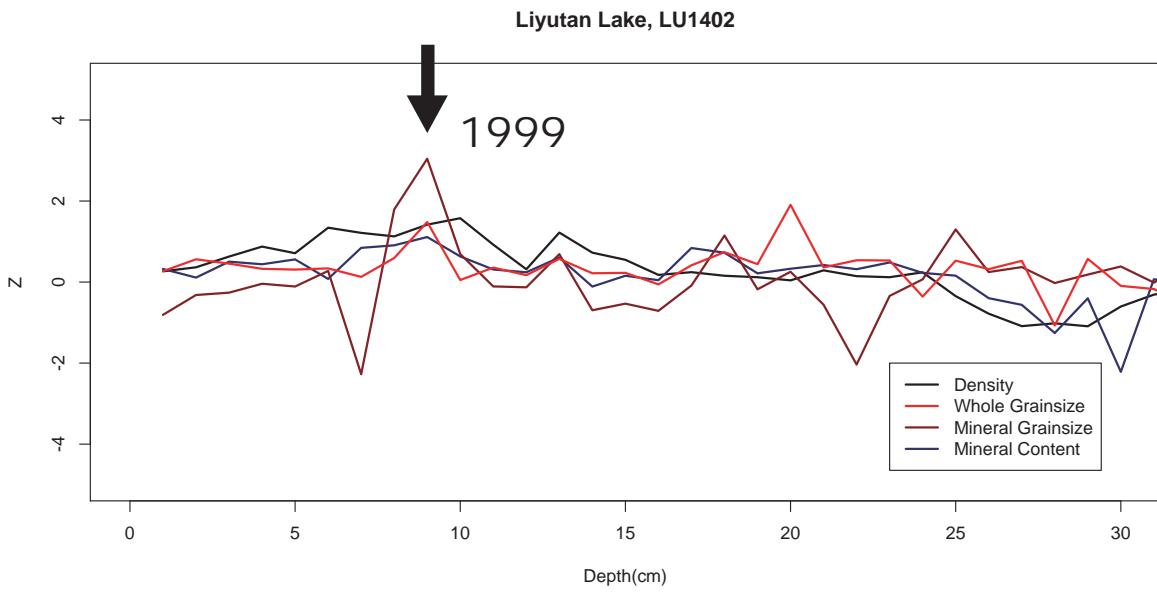
## 第二節 鯉魚潭



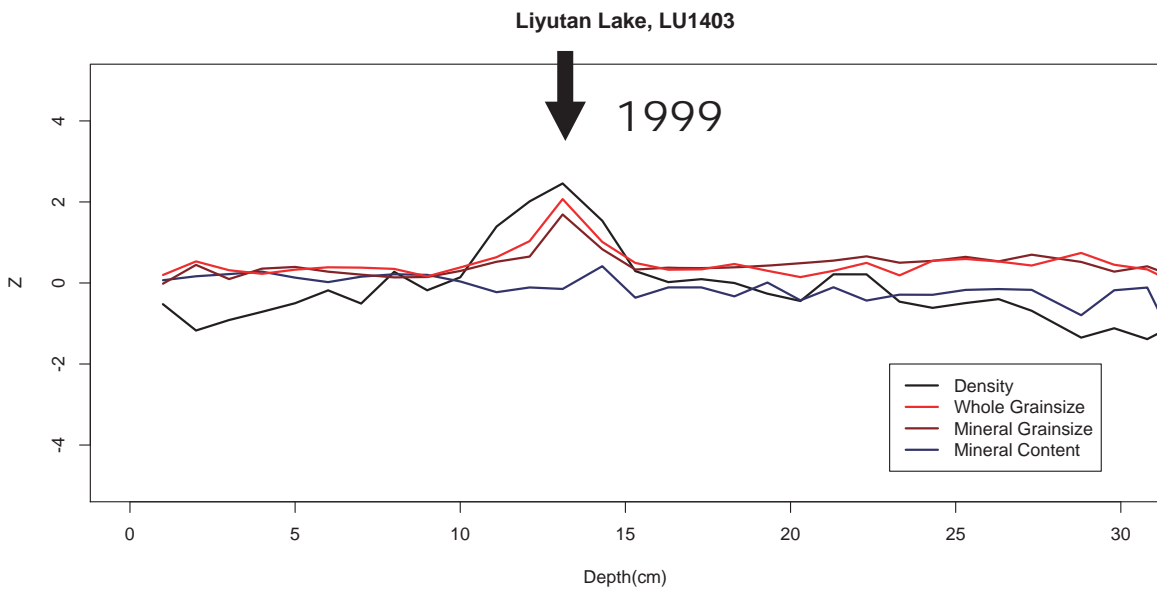
圖四十七至四十九為鯉魚潭 LU1402 與 LU1403 兩個樣本分析數據標準分數結果，並在圖表中以箭頭標示可能的事件。鯉魚潭所處位置最近的日月潭測站降雨資料中，計算後2008年超限降雨超過一千餘公釐，2004、1972、1960年也都有相當強度的降雨；1999年九二一地震鄰近的魚池震度達七級，此外1916南投地震、1941中埔地震與1986花蓮地震埔里均位於震度五級範圍內。

LU1403整體平穩雖然總深度較 LU1402 多上一倍左右，但並未有較多的事件。黑色箭頭是LU1403樣本上部唯一明顯的變動，考慮可能的豪雨、地震事件強度中以九二一地震強度最強最有可能，其餘文獻中所記載的地震、豪雨事件在LU1403中皆無明顯的可能紀錄。LU1402 相對 LU1403 有較多的事件，圖四十九的黑色箭頭應可對應到3-1紀錄九二一地震事件，較淺處礦物粒徑較粗則可能反應2008豪雨事件。相較於翠峰湖波動頻繁的沉積物紀錄，鯉魚潭相對平穩事件較少互相覆蓋，九二一地震事件密度偏重、全粒徑與礦物粒徑均偏細，礦物質比例則較不明顯；而豪雨事件則是以明顯的礦物粒徑偏粗，礦物質比例與全粒徑微微的變動。部分深度密度明顯偏輕、全粒徑與礦物粒徑陡然偏粗，此外礦物質含量也顯著減少，但其他深度卻具有相對粗粒的顆粒卻偏輕的密度。與黑色箭頭指示的變動不同，極端粗粒的物質表示當時的搬運能力極為強烈，但礦物質所佔比例與密度的偏低卻又表示當時沉積物以有機物為主（相較平時約10%上升至40%左右）。

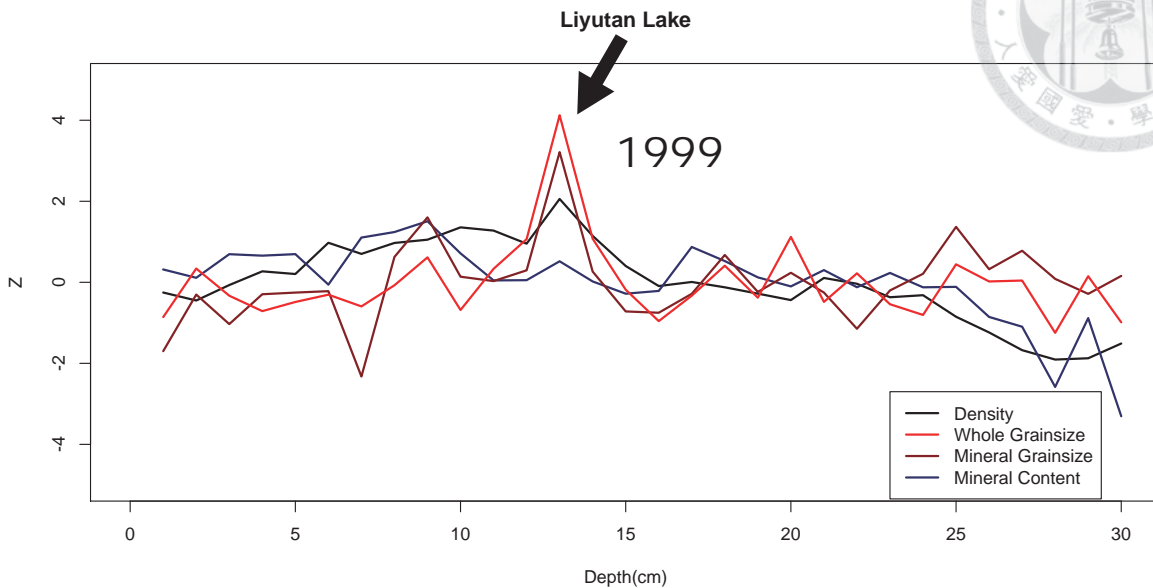
許殷璋（2006）以C/N比值，有機碳、氮同位素及生物指標等指標討論埔里鯉魚潭晚全新世古氣候變化，其中一湖芯紀錄近1300年以來古氣候變動，並認為鯉魚潭古氣候受太陽輻射主導東亞夏季季風影響甚劇，在此也認為季風在近代有增強的趨勢。當季風增強時影響到降雨的強度，而鯉魚潭樣本雖然在前後期都變動都頗為劇烈，但在較為近代處確實也有密度偏粗的趨勢，但這在粒徑部分並不明顯，而沉積物的組成比例則沒有明顯變動，尤其有機物與礦物質在近代變動不大。



▲圖四十七、鯉魚潭(LU1402)上層密度、粒徑、礦物質含量標準分數分佈



▲圖四十八、鯉魚潭(LU1403)上層密度、粒徑、礦物質含量標準分數分佈

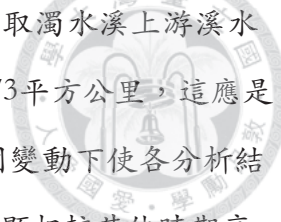


▲圖四十九、鯉魚潭(平均)上層密度、粒徑、礦物質含量標準分數分佈

### 第三節 日月潭

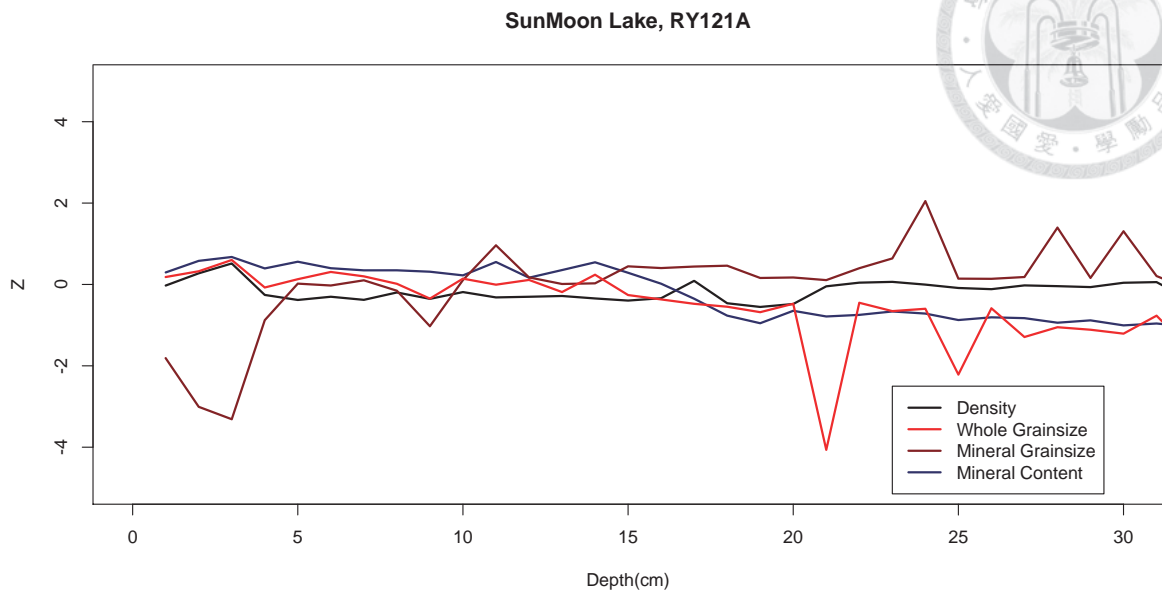
圖五十為日月潭RY121A分析數據標準分數結果。日月潭與鯉魚潭地理位置相近，文獻記錄包含2008年超限降雨超過一千餘公釐，2004、1972、1960年也都有相當強度的降雨；1999年九二一地震鄰近的魚池震度達七級，1916南投地震、1941中埔地震與1986花蓮地震埔里均位於震度五級範圍內。

相異於翠峰湖與鯉魚潭，日月潭樣本RY121A 密度與礦物質比例在上部並沒有明顯的波動，但粒徑卻頻繁的有極端出現，或許和日月潭與翠峰湖及鯉魚潭集水區與水體型態有所差異有關。除上部礦物粒徑均偏細。日月潭同一系列採集樣本曾討論日月潭過去短時距事件，並認為距今三千年前，有短時距事件的剝蝕作用導致大量沉積物，迅速沉積的結果（劉時宏，2012）。參考此一說法可以認為沉積物深部的變動代表當時曾有沉積速率極快的事件，很有可能是山崩或土石流所致，且在樣本上部也有與其事件類似情形。但此一沉積速率極快是受地震、豪雨或者其他因素所致也未可知。



日月潭1918年開始受水利建設影響，1934年在武界建壩攔截取濁水溪上游溪水進入水體使水位上升，湖面面積也從原來的4.55平方公里擴張至7.73平方公里，這應是致使日月潭沉積紀錄上部與下部特徵不一的原因，集水區涵蓋範圍變動下使各分析結果趨勢有所改變。上部除粒徑頻繁的出現極端外，生物矽含量也明顯相較其他時期高，生物矽含量直接反映當時水體內矽藻總量，間接指涉水位高低、酸鹼度等水質條件，配合年代應是受水體增加所致，由於此時期開始日月潭入流與水位受到人為的控制，因此很難判斷該時期粒徑的變化原因是受流域改變影響造成或是受工程影響。但在較為接近現代的上部可以看到粒徑的變化已經不如過去頻繁，可能是工程結束後逐漸穩定。

無論是豪雨、地震對沉積物紀錄的影響多半是建立在短時間內帶入大量物質進入水體，並造成密度、粒徑、礦物質比例的急速改變，然而日月潭極為靠近1999年九二一地震震央，鄰近的埔里鎮當時最高震度達到七級，鄰近的鯉魚潭尚有跡可循，但日月潭沉積紀錄中卻極為模糊難以辨別，樣本上半部有部分深度有密度偏高之處，但是相較於樣本下半部密度的大幅度變化，其變化相對不明顯。考慮短時間大量物質進入水體所需能量最有可能者為1999年九二一地震，而礦物粒徑的變化與密度變動幅度的減少應是受到水位改變所致，過去水位較低樣點較接近湖岸粒徑較粗較重的物質容易停留，水位上升後距湖岸較遠事件發生時密度較高的物質要抵達採樣處相對難度上升，致使沉積物密度對地震的反應較為不明顯。



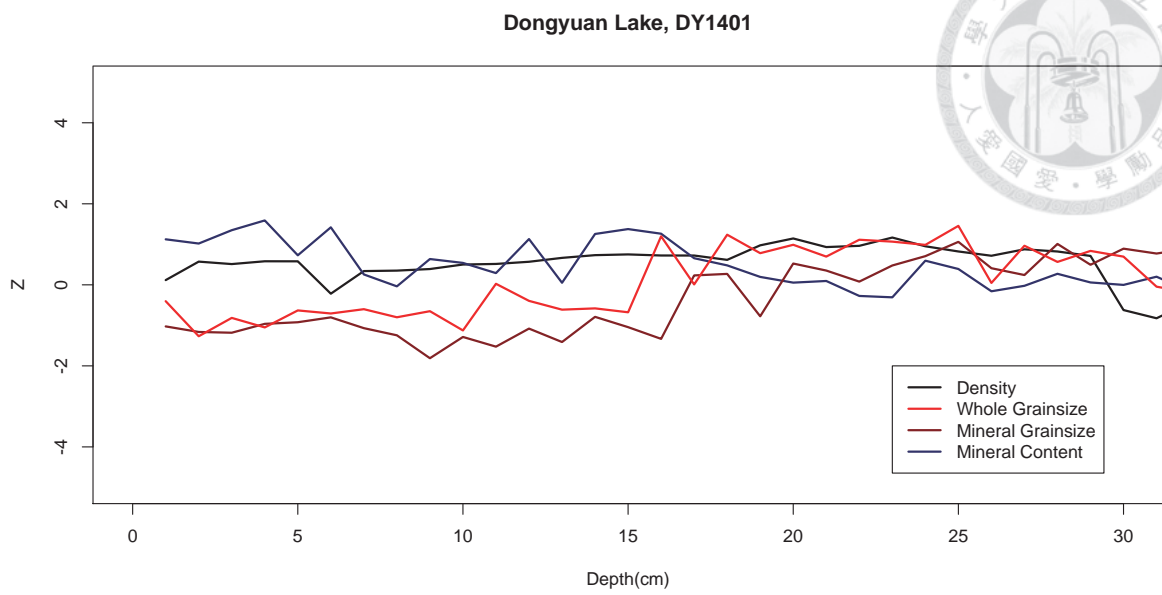
▲圖五十、日月潭上層密度、粒徑、礦物質含量標準分數分佈

#### 第四節 東源湖

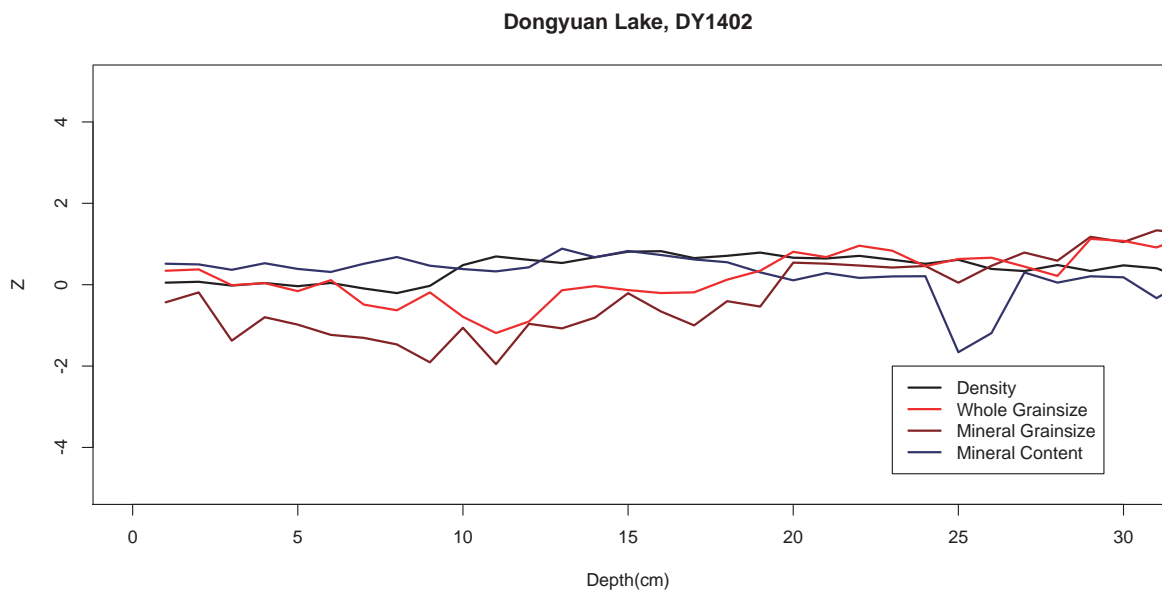
圖五十一與圖五十二為東源湖DY1401與DY1402兩個樣本分析數據標準分數結果，在樣本中可以明顯確認其與其他深度部分以泥組成為主不同，有豐富的有機物。

東源湖所處位置最近的恆春測站降雨資料中，單年超限降雨超過800公釐的年份極多；2006年恆春地震震度也達五級，1959恆春地震則約五級接近六級。但是缺乏顯著的極端值反應事件。

東源湖密度等結果相較其他水體相對平緩變動和緩，除深度約25公分處有機物所佔比例明顯外其餘變動都不甚顯著。東源湖水體大小是所有樣點中最小最為接近沼澤的水體，水系極小。應是由於水系過小缺乏足夠的搬運能力將周遭物質搬運致水體中，又因為接近沼澤，因此富有許多水生植物也容易減弱集水區內的搬運能力

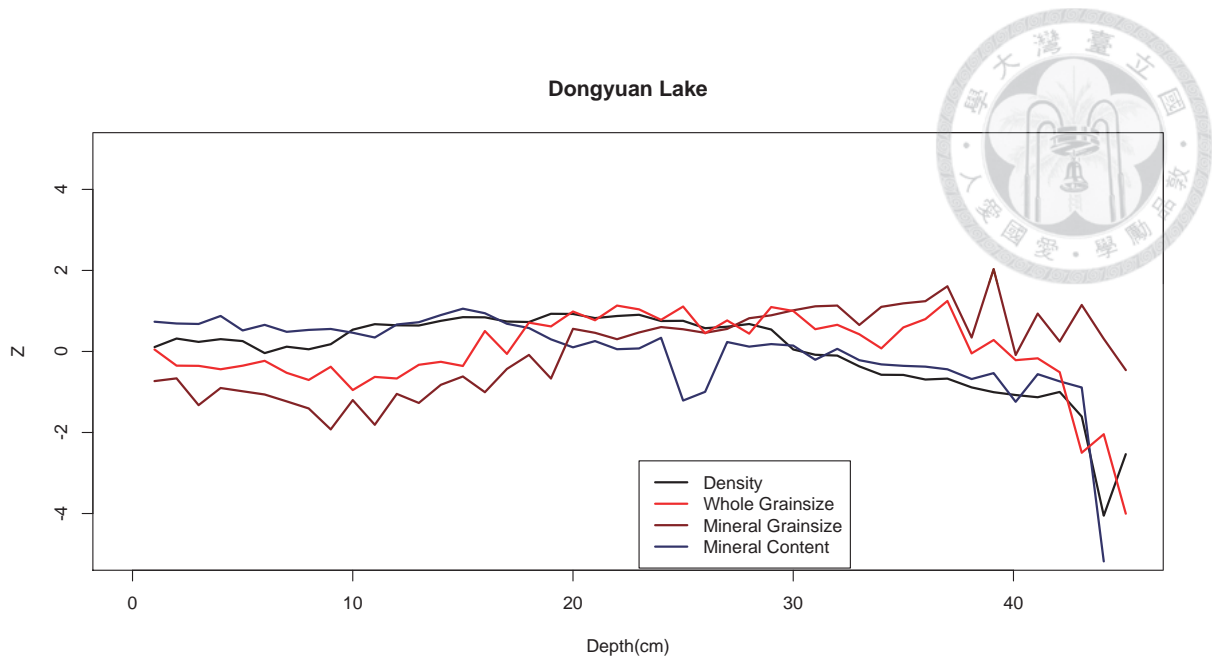


▲圖五十一、東源湖(DY1401)上層密度、粒徑、礦物質含量標準分數分佈



▲圖五十二、東源湖(DY1402)上層密度、粒徑、礦物質含量標準分數分佈






▲圖五十三、東源湖(DY1402)上層密度、粒徑、礦物質含量標準分數分佈

## 第五節 研究區差異

本研究希望藉由自然事件在沉積物中的特殊性使沉積物紀錄時間解析度能更進一步細緻。並希望以台灣常見的豪雨、地震為目標瞭解地震與豪雨事件對沉積物紀錄的影響，探討在不同沉積環境下自然事件對沉積物紀錄是否也會因環境條件不同而有所差異，在選取台灣四個不同環境條件湖泊採樣分析沉積物密度、粒徑、礦物質與有機物等所佔比例，並收集樣點周圍過去豪雨、地震紀錄後可以從敘述統計、核密度估計與分析結果討論不同樣點的差異。

在各實驗分析結果中，翠峰湖實驗分析結果與文獻紀錄可以對照尋找出地震事件，地震事件發生時密度偏高，礦物粒徑偏粗，礦物質所佔比例也有偏高的趨勢，但全粒徑沒有明顯的變化。相對地震事件，雖然翠峰湖所在地區過去也曾有具一定能量的降雨強度，但是豪雨事件與沉積物紀錄的關係並不明顯。



鯉魚潭沉積物紀錄則不若翠峰湖變動頻繁，地震事件在鯉魚潭同樣致使密度偏高，礦物質所佔比例亦略略上揚，但全粒徑與礦物粒徑卻偏細。相對翠峰湖無法明確指示豪雨事件，鯉魚潭礦物粒徑的異常偏粗可以對應至紀錄中的豪雨事件，但除礦物粒徑的異常外其餘項目並未有太大變化。

日月潭受人為影響較為深遠，不僅水體周圍有人為活動等影響，本身亦受水利工程而使水體大幅增加，水利工程的影響明顯反映在沉積物不同深度粒徑變化明顯的差異上，相較極端值較少出現的早期，近期水利工程影響下粒徑頻繁變動。雖然日月潭與鯉魚潭皆十分接近1999年九二一地震震央，震度極高，但是兩者沉積物都沒有十分顯著的異常，鯉魚潭尚有對應的異常事件，但日月潭卻沉積物紀錄卻相對極為平穩

東源湖為所有樣本中最接近沼澤，集水區最小的樣點，而其沉積物紀錄也可說是所有樣本中最為平緩的。

而在核密度估計與敘述統計中，可以發現各樣點有其特性，水體大小、地質背景、氣候條件等皆有所不同，而這也反映在核密度估計的結果當中，在密度、粒徑、有機物與礦物質所佔比例上，分析結果分佈上日月潭明顯與其他三個水體有差異，而所有水體中，以翠峰湖分析結果最為聚集，日月潭則最為分散。雖然鯉魚潭相較翠峰湖、東源湖分析結果的聚集程度較差，但是日月潭與其他水體呈現極為顯著的差異。東源湖、翠峰湖、鯉魚潭所處氣候條件與地質背景皆有所出入，唯一與日月潭可提出的共通點是三處水體相對日月潭而言較小，而這應該是造成日月潭所得數據分佈亦於其他水體的原因。

而各參數之間的相關性除有機物與礦物質所佔比例，有極高的相關外，相關性皆不強。各樣本雖然也有部分參數相互呈現弱相關，但是統一性不高，如密度與礦物質所佔比例的相關性中，雖然不乏樣本相關係數達 0.5 至 0.8，但是也有樣本兩者相關係數為 -0.03 呈現無相關。而相關程度的差異也與樣本採取位置沒有明顯相關，如密度對礦物粒徑的相關係數，在翠峰湖分別為 0.56、0.12、0.34，從弱相關至無相關皆有，相較樣點間的差距，同一樣點不同樣本的差異更為顯著，因此無法指出參數間的相關

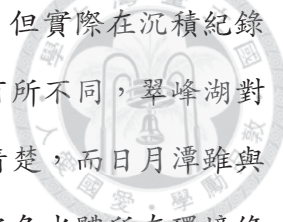
程度因不同水體而有所差異，相對而言，參數間的相關性更有可能是受到水體內本身沉積物位置的影響。



## 第六節 小結

為了避免因為原單位分別為 $g/cm^3$ （密度）、 $\varphi$ （粒徑）、%（礦物質含量），單位不同使不同分析項目難以比較的問題，此一方式除可以合併不同單位的分析結果於同一圖表中進行比較外，也試圖以Z值標示事件。然而Z值以標準差作為單位表示該數值與平均值的距離，受到標準差與平均值的影響，從研究結果中的敘述統計與上述核密度估計都可以發現各樣本標準差與平均值差異甚多。由於本研究期望找尋自然事件，而指示事件的則是異常的沉積物性質，因此極端值對於本研究是重要的。然而在標準分數方法中，Z值除了能描述極端值離散程度外，標準分數過程中平均數的處理也會使極端值不如預期的顯著。在研究結果中可以看到各樣本多半有諸多起伏，眾多的極端值在經過標準分數的過程後，其Z值並不甚顯著。此外當環境長時間發生改變時其分析結果也會大幅度但持續的與前後期有明顯的區隔，而這也會造成Z值無法很好描述極端事件的原因之一。因此雖然標準分數具有合併不同分析結果對照比較的功能，但是在反應極端值的功能上並不完美，仍需許多討論判定。

各樣點除東源湖外皆有受地震事件影響後的痕跡，但是相異於預期的顯著影響，地震對於沉積物性質的影響尚屬有限，且依照可對應的地震事件而言，唯一重複出現在不同集水區的並非印象中影響重大的九二一地震或三三一地震，而是震央位處兩集水區之間的花蓮地震，這表示地震對集水區的影響仍然有限，集水區紀錄地震事件的敏感度不若預期的良好。豪雨事件影響最為清楚的水體為鯉魚潭，翠峰湖由於沉積物紀錄變動太過頻繁而有事件互相覆蓋的影響，豪雨事件相對地震事件的影響更小，與豪雨發生的頻率相比，被紀錄豪雨事件十分稀少，這與過去研究指出驚人的輸沙量有所出入，但輸沙量量測多取自較大的集水區，本次所研究各樣點集水區多半狹小，應是豪雨事件紀錄較為困難的主因。



由此可以發現豪雨、地震事件雖然在當下具有驚人的能量，但實際在沉積紀錄中卻時常模糊難辨。而不同湖泊對於豪雨或地震事件的敏感性也有所不同，翠峰湖對於地震的紀錄較其他水體明顯；鯉魚潭紀錄豪雨事件較地震事件清楚，而日月潭雖與鯉魚潭相距不遠，但紀錄卻更為模糊；東源湖更是模糊難辨。考慮各水體所在環境條件，翠峰湖位居山稜是典型高山湖泊，豪雨發生時可聚集水流有限，但由於所在位置坡度較陡，因此地震時物質較易進入水體，因此地震事件較豪雨事件易於紀錄於水體。鯉魚潭面積與翠峰湖相當，但相對而言有南港溪注入，應是使其豪雨事件紀錄較為清楚的原因。而日月潭鄰近鯉魚潭，受水利工程影響，雖然在早期沉積物可以找到很可能是山崩造成的短時間大量沉積事件，但在近期卻未有類似事件，對照早期晚期差異所在，應是受水位、水體大小變化影響所致。而東源湖相較其他樣點較為接近沼澤，坡度平緩，雖然降雨強度極高，豪雨事件頻繁，但沉積物紀錄平緩少有異常。由於豪雨、地震事件要反映在沉積物紀錄中仰賴短時間內大量的沉積或者沉積物的性質改變，主因應是東源湖坡度平緩，接近沼澤，在搬運能力上相較其他水體弱許多，因此難以累積紀錄。

地震事件與豪雨事件在部分水體確實可以辨認，但一則不同水體沉積物紀錄事件時會依其環境而略有不同，而不同環境對於地震、豪雨事件的敏感度也不同。綜合而言，水體最小的東源湖與水體最大的日月潭在近期都未能清楚的指示豪雨與地震事件。前者由於偏向沼澤，後者則受水利工程影響使水體較其自然狀態大，兩者皆造成集水區搬運能力的不足而無法提供足夠的沉積物反應自然事件。翠峰湖與鯉魚潭相對前述對事件有較好的紀錄，但是兩者不同的集水區環境使其對豪雨與地震有不同的敏感性。

## 第六章 結論

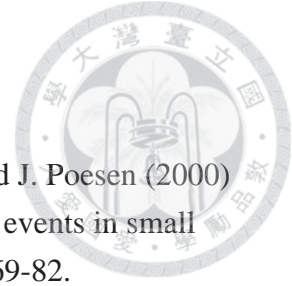


台灣豪雨、地震事件發生的頻率與規模相較世界極為頻繁且驚人，在沉積物紀錄中，四個不同樣點對於豪雨與地震事件的反應都不盡相同。翠峰湖與鯉魚潭皆有受地震事件影響後的痕跡，相同之處在於密度的異常偏高與礦物值所佔比例的上揚，但是全粒徑與礦物粒徑的變化卻不盡相同。豪雨事件影響最為清楚的水體為鯉魚潭，翠峰湖由於沉積物紀錄變動太過頻繁而有事件互相覆蓋的影響，日月潭在近期則受水利工程控制、影響水位、入流而無法確認。東源湖相對其餘水體對豪雨、地震事件的敏感性十分低，雖然過去確有重大事件但難以透過其沉積紀錄辨認過去豪雨、地震事件。

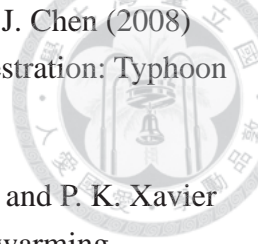
透過敘述統計、核密度推估與相關係數，可以發現日月潭整體分析結果數值分佈與其他水體有明顯的差異，由於其他水體在各方面條件差異甚大，但數值分佈類似，應是水體大小致使日月潭與其他水體在分析結果上的差異。而從相關係數中，可以發現同一樣點不同樣本間的相關性差異更為顯著，無法指出參數間的相關程度是否因不同水體而有所差異，相對而言，參數間的相關性更有可能是受到水體內本身沉積物位置的影響。

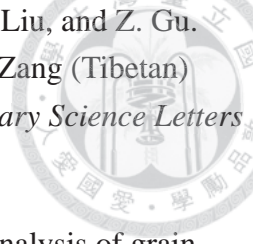
不同的樣點沉積物紀錄事件時會依其環境而略有不同，而不同環境對於地震、豪雨事件的敏感度也不同，重複出現在不同集水區的地震事件包涵九二一地震或與震央位處兩集水區之間的花蓮地震，但不同樣點所得結果在同一事件呈現上有極大落差，表示地震對集水區的影響有限，沉積物紀錄地震事件受到該樣點敏感度很大的影響。豪雨事件相對地震事件的影響更小，與豪雨發生的頻率相比，被紀錄豪雨事件十分稀少。總結而言，豪雨與地震事件確實有部分紀錄於沉積物之中，但是要明確的辨認需要足夠強大的能量與適於紀錄的環境。從沉積物紀錄可辨識的事件與文獻紀錄過去的事件相較，可以明顯發現兩者頻率差異甚大，而不同的集水區環境會影響沉積物紀錄的形式。

## 參考文獻



- Beuselinck, L., A. Steegen, G. Govers, J. Nachtergaele, I. Takken and J. Poesen (2000) Characteristics of sediment deposits formed by intense rainfall events in small catchments in the Belgian Loam Belt. *Geomorphology* 32(1): 69-82.
- Boggs, S. (2005) *Principles of Sedimentology and Stratigraphy* (4th edition). New Jersey:Peason Prentice Hall.
- Bowman, D. (2007) Fire ecology. *Progress in Physical Geography* 31: 523-532.
- Chen H., S. Dadson and Y. G. Chi (2006) Recent rainfall-induced landslides and debris flow in northern Taiwan. *Geomorphology* 77: 112–125.
- Chen, M.C. (2000) *The History of Mudan Town*, Pingtung, Taiwan (in Chinese).
- Chen, S.-H., J.-T. Wu, T.-N. Yang, P.-P. Chuang, S.-Y. Huang, and Y.-S. Wang (2009) Late Holocene paleoenvironmental changes in subtropical Taiwan inferred from pollen and diatoms in lake sediments. *Journal of Paleolimnology* 41: 315-327.
- Conley, D. J. (1998) Biogenic silica as an estimate of siliceous microfossil abundance in Great Lakes sediments. *Biogeochemistry* 6 (3):161-179.
- Cook, E. R., K. J. Anchukaitis, B. M. Buckley, R. D. D'Arrigo, G. C. Jacoby, and W. E. Wright (2010) Asian monsoon failure and megadrought during the last millennium. *Science* 328(5977): 486-489.
- Folk, R. L. (1966) A review of grain-size parameters. *Sedimentology* 6 (2):73-93.
- Galewsky J., C.P. Stark, S.J. Dadson, C.C. Wu, A.H. Sobel and M.J. Horng (2006) Tropical cyclone triggering of sediment discharge in Taiwan. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* (2003–2012) 111(F3).
- Garcia-Castellanos, D. (2006). Long-term evolution of tectonic lakes: climatic controls on the development of internally drained basins. *Geological Society of America Special Papers* 398: 283-294.
- Gilbert, R., S. Crookshanks, K. R. Hodder, J. Spagnol and R. B. Stull (2006) The record of an extreme flood in the sediments of montane Lillooet Lake, British Columbia: implications for paleoenvironmental assessment. *Journal of Paleolimnology* 35(4): 737-745.

- 
- Goldsmith, S. T., A. E. Carey, W. B. Lyons, S.-J. Kao, T.-Y. Lee, and J. Chen (2008) Extreme storm events, landscape denudation, and carbon sequestration: Typhoon Mindulle, Choshui River, Taiwan. *Geology* 36(6): 483-486.
- Goswami, B. N., V. Venugopal, D. Sengupta, M. S. Madhusoodanan, and P. K. Xavier (2006). Increasing trend of extreme rain events over India in a warming environment. *Science* 314(5804): 1442-1445.
- Grygar, T., J. Kadlec, P. Pruner, G. Swann, P. Bezdička, D. Hradil, K. Lang, K. Novotna, and H. Oberhänsli. (2006). Paleoenvironmental record in Lake Baikal sediments: environmental changes in the last 160 ky. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 237(2): 240-254.
- Guggenberger, G. and W. Zech (1993) Dissolved organic carbon control in acid forest soils of the Fichtelgebirge (Germany) as revealed by distribution patterns and structural composition analyses. *Geoderma* 59(1): 109-129.
- Guido, W.J. (2005) *Climate Change in Prehistory*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Håkanson, L., and Jansson, M. (2002). *Principles of Lake Sedimentology*. Caldwell, New Jersey: The Blackbum Press.
- Hodell, D. A., J. H. Curtis, and M. Brenner (1995) Possible role of climate in the collapse of Classic Maya civilization. *Nature* 375:391-394.
- Hsieh, C.F., C.C. Liao and Y.L. Lai (1996) *The Subtropical and Tropical Rain Forests Along a Transect in the Nanjenshan Preserve, Kenting National Park*.
- Huggett, R.J. (2011) *Fundamentals of Geomorphology*. Oxon: Taylor and Francis Press.
- Hutchinson, D., and S. Colman (1993). *Lake Baikal—A Touchstone for Global Change and Rift Studies*. New York: Wiley Press.
- Hutchinson, G. E (1957) *A Treatise on Limnology: Geography, physics, and chemistry. pt. 1. Geography and physics of lakes (Vol. 1)*. New York: Wiley Press.
- Johnson, T.C. (1984) Sedimentation in large lakes. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 12: 179.
- Karl, T. R., and R. W. Knight (1998). Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society* 79(2): 231-241.

- 
- Kashiwaya, K., T. Masuzawa, H. Morinaga, K. Yaskawa, B. Yuan, J. Liu, and Z. Gu. (1995) Changes in hydrological conditions in the central Qing-Zang (Tibetan) Plateau inferred from lake bottom sediments. *Earth and Planetary Science Letters* 135:31-39.
- Kashiwaya, K., A. Yamamoto, and K. Fukuyama. (1988) Statistical analysis of grain size distribution in Pleistocene sediments from Lake Biwa. *Japan. Quaternary Research* 30 (1):12-18.
- Lee, C.Y., and P.M. Liew, (2010) Late Quaternary vegetation and climate changes inferred from a pollen record of Dongyuan Lake in southern Taiwan: *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 287: 58-66.
- Lee, C.Y., P.M. Liew, and T.Q. Lee. (2010) Pollen records from southern Taiwan: implications for East Asian summer monsoon variation during the Holocene. *Holocene* 20: 81-89.
- Li, Y. H. (1976). Denudation of Taiwan island since the Pliocene epoch. *Geology* 4(2): 105-107.
- Liew, P.-M., and M.-L Hsieh. (2000) Late Holocene (2 ka) sea level, river discharge and climate interrelationship in the Taiwan region. *Journal of Asian Earth Sciences* 18: 499-505.
- Lin, S.-F., Huang, T.-C., Liew, P.-M., and Chen, S.-H. (2007) A palynological study of environmental changes and their implication for prehistoric settlement in the Ilan Plain, northeastern Taiwan. *Vegetation History and Archaeobotany* 16: 127-138.
- Lynch, A.H., Beringer, J., Kershaw, P., Marshall, A., Mooney, S., Tapper, N., Turney, C., Van Der Kaars, S. (2007) Using the paleorecord to evaluate climate and fire interactions in Australia. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 35: 215-239.
- McDowell, W. H. and G. E. Likens (1988) Origin, composition, and flux of dissolved organic carbon in the Hubbard Brook Valley. *Ecological monographs* 58:177-195.
- McInerney, F.A. and S.L. Wing (2011) The Paleocene-Eocene thermal maximum: a perturbation of carbon cycle, climate, and biosphere with implications for the future. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 39: 489-516.



Mortlock, R. A., and P. N. Froelich (1989). A simple method for the rapid determination of biogenic opal in pelagic marine sediments. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers* 36(9): 1415-1426.

Murakami, T., T. Takamatsu, N. Katsuta, M. Takano, K. Yamamoto, Y. Takahashi, T. Nakamura, and K. Takayoshi (2012) Centennial- to millennial-scale climate shifts in continental interior Asia repeated between warm-dry and cool-wet conditions during the last three interglacial states: evidence from uranium and biogenic silica in the sediment of Lake Baikal, southeast Siberia. *Quaternary Science Reviews* 52: 49-59.

Nesje A., S.O. Dahl, J.A. Matthews and M.S. Berrisford (2001) A~ 4500 yr record of river floods obtained from a sediment core in Lake Atnsjøen, eastern Norway. *Journal of Paleolimnology* 25.3: 329-342.

Nichols. G (2009) *Sedimentology and stratigraphy*. New York: Wiley Press.

Ochiai, S., J.C. Lin, K. Kashiwaya and C.H. Jen (2012) Influence of Construction of Dams and Waterway Tunnels on Sedimentation Rate and Bottom Topography in Sun Moon Lake, Taiwan 地形 33(2): 149-170.

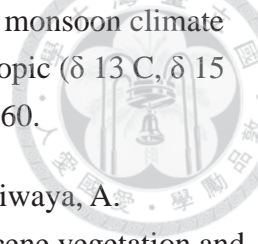
Orkhonselenge, A., S. K. Krivonogov, K. Mino, K. Kashiwaya, I. Y. Safonova, M. Yamamoto, K. Kashima, T. Nakamura, and J. Y. Kim (2012) Holocene sedimentary records from Lake Borsog, eastern shore of Lake Khuvsgul, Mongolia, and their paleoenvironmental implications. *Quaternary International* 290-291: 95-109.

Pearson, A. and A.E. Ingalls (2013) Assessing the Use of Archaeal Lipids as Marine Environmental Proxies. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 41: 359-384.

Qiu L., D. F. Williams, A. Gvozdkov, E. Karabanov, and M. Shimaraeva (1993) Biogenic silica accumulation and paleoproductivity in the northern basin of lake Baikal during the Holocene. *Geology* 21: 25-28.

Rodbell, D. T., G.O. Seltzer, D.M. Anderson, M.B. Abbott, D. B. Enfield and J.H. Newman (1999) An~ 15,000-year record of El Niño-driven alluviation in southwestern Ecuador. *Science* 283(5401): 516-520.

Schnurrenberger, D., J. Russell, and K. Kelts (2003) Classification of lacustrine sediments based on sedimentary components. *Journal of Paleolimnology* 29: 141-154.

- 
- Selvaraj, K., K. Y. Wei, K.K. Liu and S.J. Kao (2012) Late Holocene monsoon climate of northeastern Taiwan inferred from elemental (C, N) and isotopic ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ) data in lake sediments. *Quaternary Science Reviews* 37: 48-60.
- Shichi, K., H. Takahara, S. K. Krivonogov, E. V Bezrukova, K. Kashiwaya, A. Takehara, and T. Nakamura (2009). Late Pleistocene and Holocene vegetation and climate records from Lake Kotokel, central Baikal region. *Quaternary International* 205(1): 98-110.
- Silverman, B. W (1981) Using kernel density estimates to investigate multimodality. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)* :97–99.
- Slaymaker, O., T. Spencer and Embleton-Hamann (2009) *Geomorphology and global environmental change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Smol J.P (2009) *Pollution of Lakes and Rivers—A Paleoenvironmental Approach*. London: Arnold Publishers Press.
- Stauffer, B., G. Fischer, A. Neftel, and H. Oeschger. (1985) Increase of atmospheric methane recorded in Antarctic ice core. *Science* 229 (4720):1386–1388.
- Strahler, A. H., L. Boschetti, G. M. Foody, M. A. Friedl, M. C. Hansen, M. Herold, P. Mayaux, J. T. Morisette, S. V Stehman, and C. E. Woodcock (2006). *Global land cover validation: Recommendations for evaluation and accuracy assessment of global land cover maps*. Luxembourg: European Communities Press.
- Wainwright, J (1996) Infiltration, runoff and erosion characteristics of agricultural land in extreme storm events, SE France. *Catena* 26(1): 27-47.
- Wang, L.-C., J.-T. Wu, T.-Q. Lee, P.-F. Lee, and S.-H. Chen (2011) Climate changes inferred from integrated multi-site pollen data in northern Taiwan. *Journal of Asian Earth Sciences* 40: 1164-1170.
- Wetzel, R. G (2001) *Limnology, Lake and River Ecosystem*. San Diego: Academia Press.
- Williams, P., M. Whitfield, J. Biggs, S. Bray, G. Fox, P. Nicolet, and D. Sear (2004). Comparative biodiversity of rivers, streams, ditches and ponds in an agricultural landscape in Southern England. *Biological Conservation* 115(2): 329-341.
- Yang, T.-N., T.-Q. Lee, P. A. Meyers, C.-W. Fan, R.-F. Chen, K.-Y. Wei, Y.-G. Chen, and J.-T. Wu (2011). The effect of typhoon induced rainfall on settling fluxes of

particles and organic carbon in Yuanyang Lake, subtropical Taiwan. *Journal of Asian Earth Sciences* 40(6): 1171-1179.



余文儀 (1962) 續修臺灣府志，臺灣文獻叢刊第121種，臺北：臺灣銀行經濟研究室。

張憲卿 (1976) 近三十年台灣之地震。台灣文獻，第27卷，第2期，162-195頁。

徐明同 (1983) 明清時代破壞性大地震規模及震度之評估，明清時代破壞性大地震規模及震度之評估。氣象學報第 29 卷第四期，1-18。

王洪道、林利新 (1988) 大地明珠—湖泊資源，中國自然資源科普叢書，北京，科學普及出版社。

簡碧梧 (1989) 從自然環境談臺灣的水土保持。水土保持教材。行政院農業委員會特刊。24: 95-116。

陳鎮東、洪佳章、王冰潔 (1988) 臺灣地區湖沼酸化程度之過去，當前與未來。中山大學海洋地質研究所。

呂光洋、李玲玲 (1992) 自然保育，自然生態保護圖鑑III，教育部。

張憲卿 (1995) 台灣地震與活動斷層的關係。礦冶，第39卷，第1期，19-28頁。

魏國彥 (1995) 台灣古環境變遷：楔子，地球科學園地，第3期，地球科學文教基金會。


羅建育、陳鎮東、萬政康 (1996) 台灣大鬼湖之古氣候研究，中國科學，D輯，26(5)，474-480。

鄒佩珊 (1998) 台灣山區近五百年的氣候變化：樹輪寬度的證據，國立臺灣大學地質研究所博士論文。

何立德、王鑫 (2002) 台灣的湖泊，遠足文化出版。

林淑芬 (2004) 由孢粉紀錄看宜蘭平原最近4200年來的自然環境演變及其與史前文化發展之關係。國立台灣大學博士論文。

張憲卿 (2005) 從地形與碳十四定年探討台灣西南部龜重河流域的新期構造運動，臺灣大學地質科學研究所學位論文，1-76。

- 
- 顧惠禕 (2006) 利用有機物地球化學指標重建臺灣西部海岸平原晚第四紀以來環境變遷。臺灣大學地質科學研究所碩士論文。
- 鄭健良 (2006) 南海南端 30 萬年來沉積物源區變化及古環境變遷研究。臺灣大學地質科學研究所碩士論文。
- 陳國峰 (2006) 南海岩芯 MD012396 之磁學研究: 46 萬年來南海的環境變遷。臺灣大學海洋研究所學位論文。
- 許殷瑋 (2007) 台灣中部埔里鯉魚潭湖芯之生地化指標與晚全新世之古氣候環境變遷。臺灣師範大學地球科學系學位論文。
- 林天妍 (2007) 五千多年來台灣東北部的古氣候變遷: 宜蘭梅花湖湖積物岩芯 MHL5-A 之磁學證據。國立中央大學地球物理研究所學位論文。
- 賴永翔 (2009) 臺灣東南外海過去七千五百年來的黑潮水文變化。臺灣大學地質科學研究所學位論文。1-65。
- 交通部中央氣象局 (2010) 天然災害災防問答集, 臺北: 交通部中央氣象局。
- 彭佳鴻 (2010) 從植物遺留談古環境重建與植物利用: 以台南縣石橋遺址之蔦松文化為例。臺灣大學人類學研究所學位論文。
- 楊承濤 (2010) 六千年來台灣宜蘭地區之古氣候與環境變遷: 梅花湖 MHL-7B 岩芯之礦物與地球化學證據, 國立臺灣海洋大學應用地球科學研究所學位論文。
- 汪良奇 (2011) 以湖泊沉積物內花粉與矽藻重建台灣東部晚全新世氣候與環境變遷。臺灣大學生態學與演化生物學研究所學位論文。
- 黃致展 (2011) 蘭陽河流域系統千年來自然災變與淇武蘭文化空白之關聯。臺灣大學地質科學研究所學位論文。
- 盧孟明、卓盈旻、李思瑩、李清滕、林昀靜 (2012) 臺灣氣候變化: 1911~2009 年資料分析, 大氣科學, 40(3), 297-321。

周傳鈴 (2013) 淡水河流域的矽藻群聚結構與地理區位相關性研究。臺灣大學生態學與演化生物學研究所學位論文。

劉時宏 (2013) 從日月潭井樣物化性質論萬餘年來之環境變遷。臺灣大學地理環境資源學研究所學位論文。1-132.

黃蘭鈞 (2014) 台灣南部墾丁珊瑚中鈾系同位素和微量元素之地球化學與環境意義。成功大學地球科學系碩士在職專班學位論文。

中央氣象局 (2015) 新版台灣地震災害統計表。

