

# 以水質自動監測系統與統計方法分析日月潭水庫之水質變化趨勢

林炤映、林啟文

E-mail: 9314408@mail.dyu.edu.tw

## 摘要

本研究取用日月潭水庫於拉魯島與自來水取水口設置水質連續自動化監測設備所採集之水質數據，進行相關水質分析的工作，水質監測項目包括以下十一項：溫度(Temperature)、鹽度(Salinity)、導電度(Conductivity)、總溶解固體物(Total Dissolved Solid)、阻抗(Resistivity)、溶氧(DO)、酸鹼值(pH)、氨氮(Ammonium)、硝酸鹽(Nitrate)、透光率(Transmissivity)及葉綠素a (Chlorophyll a)。由於日月潭水庫乃為日夜抽蓄發電，為了解日夜抽蓄發電是否對於水庫之水質有所影響，因此首先針對取得之水質數據進行日夜之無母數檢定，以確定日月潭之水質是否受日夜抽蓄發電而有所不同。接著，利用相關性分析觀察各水質變項間之關聯性，再透過因素分析將十一項可量測的水質變項中"抽象"的共同因素抽離出來。進行因素分析主要的原因乃由於取得十一項水質變項的數據，但仍無法明確的解釋水質現況，因此藉由因素分析可將水質變項分類，即可將一組一組的共同因素命名，而以具體的變項展現抽象的水質現況。完成因素分析時，軟體即可重新計算因素得點，將因素分析所求得新的因素得點，對於一年十二個月進行群集分析，在群集分析中，乃會綜合考量各個共同因素，將相近水質情形的月份合併為一組，如此即可分析獲知一年中哪些月份是相近情形的。最後，仍運用因素分析求得的因素得點，對於各個共同因素進行時間序列的分析，此乃試圖了解各共同因素與時間的關係是符合哪種模式(ARMA)，並且在確定模式後，即可提供未來趨勢之預測參考。二處監測站各十一項變數中，僅溶氧與pH值變數之日夜平均數達統計上的顯著差異，其它變數則在日夜平均數上無顯著差異。拉魯島監測站水質之共同因素有四個，分別為「混濁因子」、「營養鹽供給因子」、「優養因子」及「酸鹼因子」，四個共同因素可解釋水質變異達89.05%。自來水監測站水質之共同因素亦有四個，分別為「混濁因子」、「營養鹽供給因子」、「優養因子」及「透視度因子」，四個共同因素可解釋水質變異達86.63%。群集分析則對於二處監測資料之結果將12個月份各分成三個類群，再檢視二監測站之月平均值，顯示均無明顯之季節性與循環現象，而二監測站各四個共同因素計有八個最佳時間序列模式，除了自來水營養鹽供給因子屬ARMA(即(1,0,1)模型)，其他均為AR(1)模型(即(1,0,0)為最佳模型)。各模型之殘差數列均已呈現白噪音狀態，表示所選取之模式均可滿足各項檢定，因此各適用模式可供未來使用日月潭水質變化之預測與分析。

關鍵詞：日月潭；因素分析；群集分析；時間序列

## 目錄

目錄封面內頁	簽名頁	授權書	iii	中文摘要	v	英文摘要	vii	誌謝	viii	目錄	ix	圖目錄	xi	表目錄	xiv	第一章 緒論	1	1.1 前言	1	1.2 研究目的	2	1.3 研究內容與流程	3	1.3.1 研究內容	3	1.3.2 研究流程	4	第二章 文獻回顧	5	2.1 日月潭水庫環境背景	5	2.2 水庫優養化	13	2.3 連續水質自動化監測系統	18	2.3.1 水質自動監測的選擇	19	2.3.2 水質自動監測站之種類	20	2.3.3 水質自動監測站設置之目的及原則	24	2.3.4 日月潭水質自動監測站設置	27	2.3.5 水質自動監測站數據漂移分析	31	2.4 水質監測數據之比對與驗證	36	2.5 日月潭水庫水質相關研究	36	第三章 統計方法與原理	38	3.1 統計方法概述	38	3.2 因素分析	40	3.3 群集分析	42	3.4 時間序列分析	43	3.5 應用統計軟體簡介	49	第四章 資料特性分析與統計分析	51	4.1 日月潭水質樣本資料之來源與彙整	51	4.2 日月潭水質變化趨勢分析	54	4.3 相關係數分析	58	4.4 因素分析	60	4.5 群集分析	71	4.6 時間序列分析	79	4.6.1 拉魯島之時間序列分析	80	4.6.2 自來水口之時間序列分析	90	第五章 結論與建議	101	5.1 結論	101	5.2 建議	103	參考文獻	105	附錄一 監測站維護時可能出現之障礙及其排除	107	附錄二 日月潭自動監測站水質變項之常態機率分佈圖	110	圖目錄	圖1-1 研究流程圖	4	圖2-1 日月潭水庫歷年度CTSI比較	12	圖2-2 日月潭水庫集水區之土地利用情形	13	圖2-3 flow-through自動水質監測站	20	圖2-4 in-situ自動水質監測站	21	圖2-5 self-contained自動水質監測站	22	圖2-6 日月潭水質自動監測站放置位置圖	29	圖2-7 日月潭自動監測站	29	圖2-8 水質自動監測站的操作架構及模式	30	圖3-1 統計分析之架構	39	圖4-1(a) 拉魯島水溫趨勢圖	55	圖4-1(b) 自來水水溫趨勢圖	55	圖4-2(a) 拉魯島導電度趨勢圖	56	圖4-2(b) 自來水導電度趨勢圖	56	圖4-3(a) 拉魯島阻抗趨勢圖	56	圖4-3(b) 自來水阻抗趨勢圖	56	圖4-4(a) 拉魯島鹽度趨勢圖	56	圖4-4(b) 自來水鹽度趨勢圖	56	圖4-5(a) 拉魯島總溶解固體物趨勢圖	56	圖4-5(b) 自來水總溶解固體物趨勢圖	56	圖4-6(a) 拉魯島溶氧趨勢圖	57	圖4-6(b) 自來水溶氧趨勢圖	57	圖4-7(a) 拉魯島pH趨勢圖	57	圖4-7(b) 自來水pH趨勢圖	57	圖4-8(a) 拉魯島葉綠素-a趨勢圖	57	圖4-8(b) 自來水葉綠素-a趨勢圖	57	圖4-9(a) 拉魯島透光度趨勢圖	57	圖4-9(b) 自來水透光度趨勢圖	57	圖4-10(a) 拉魯島NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 趨勢圖	58	圖4-10(b) 自來水NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 趨勢圖	58	圖4-11(a) 拉魯島NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 趨勢圖	58	圖4-11(b) 自來水NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 趨勢圖	58	圖4-12 拉魯島因素得點月平均之趨勢圖	70	圖4-13 自來水因素得點月平均之趨勢圖	70	圖4-14 拉魯島因素得點華德法之群集分析樹狀圖	72	圖4-15 拉魯島各類群與四因素之關係	74	圖4-16 自來水因素得點華德法之群集分析樹狀圖	76	圖4-17 自來水各類群與四因素之關係	78	圖4-18(a) 拉魯島混濁因子之ACF檢定	81	圖4-18(b) 拉魯島混濁因子之PACF檢定	81	圖4-18(c) 拉魯島混濁因子殘差之ACF檢定	83
--------	-----	-----	-----	------	---	------	-----	----	------	----	----	-----	----	-----	-----	--------	---	--------	---	----------	---	-------------	---	------------	---	------------	---	----------	---	---------------	---	-----------	----	-----------------	----	-----------------	----	------------------	----	-----------------------	----	--------------------	----	---------------------	----	------------------	----	-----------------	----	-------------	----	------------	----	----------	----	----------	----	------------	----	--------------	----	-----------------	----	---------------------	----	-----------------	----	------------	----	----------	----	----------	----	------------	----	------------------	----	-------------------	----	-----------	-----	--------	-----	--------	-----	------	-----	-----------------------	-----	--------------------------	-----	-----	------------	---	---------------------	----	----------------------	----	--------------------------	----	---------------------	----	----------------------------	----	----------------------	----	---------------	----	----------------------	----	--------------	----	------------------	----	------------------	----	-------------------	----	-------------------	----	------------------	----	------------------	----	------------------	----	------------------	----	----------------------	----	----------------------	----	------------------	----	------------------	----	------------------	----	------------------	----	---------------------	----	---------------------	----	-------------------	----	-------------------	----	--	----	--	----	--	----	--	----	----------------------	----	----------------------	----	--------------------------	----	---------------------	----	--------------------------	----	---------------------	----	------------------------	----	-------------------------	----	--------------------------	----

圖4-19(a) 拉魯島營養鹽供給因子之ACF檢定 84 圖4-19(b) 拉魯島營養鹽供給因子之PACF檢定 84 圖4-19(c) 拉魯島營養鹽供給因子殘差之ACF檢定 85 圖4-20(a) 拉魯島優養因子之ACF檢定圖 86 圖4-20(b) 拉魯島優養因子之PACF檢定 87 圖4-20(c) 拉魯島優養因子殘差之ACF檢定 88 圖4-21(a) 拉魯島酸鹼因子之ACF檢定 89 圖4-21(b) 拉魯島酸鹼因子之PACF檢定 89 圖4-21(c) 拉魯島酸鹼因子殘差之ACF檢定 90 圖4-22(a) 自來水混濁因子之ACF檢定 91 圖4-22(b) 自來水混濁因子PACF檢定 92 圖4-22(c) 自來水混濁因子殘差之ACF檢定 93 圖4-23(a) 自來水營養鹽供給因子之ACF檢定 94 圖4-23(b) 自來水營養鹽供給因子PACF檢定 94 圖4-23(c) 自來水營養鹽供給因子殘差之ACF檢定 95 圖4-24(a) 自來水酸鹼因子之ACF檢定 96 圖4-24(b) 自來水酸鹼因子PACF檢定 97 圖4-24(c) 自來水酸鹼因子殘差之ACF檢定 98 圖4-25(a) 自來水透視度因子之ACF檢定 99 圖4-25(b) 自來水透視度因子PACF檢定 99 圖4-25(c) 自來水透視度因子殘差之ACF檢定 100 表目錄 表2-1 日月潭水庫歷年總磷、總氮監測結果平均值統計 8 表2-2 日月潭水庫歷年之總磷滯留率 8 表2-3 日月潭水庫歷年之總氮滯留率 9 表2-4 1999至2001年度日月潭水庫水質監測狀況 11 表2-5 1993至2002年日月潭水質優養指數 12 表2-6 優養湖特徵 16 表2-7 台灣地區主要水庫歷年水質優養程度統計表 17 表2-8 台灣地區主要水庫優養指數歷年監測結果統計表 18 表2-9 flow-through自動水質監測站使用上之優缺點 21 表2-10 in-situ自動水質監測站使用上之優缺點 22 表2-11 self-contained自動水質監測站使用上之優缺點 23 表2-12 該研究自動水質監測站之優缺點 23 表2-13 連續水質監測系統裝設必須考慮之因素 26 表2-14 日月潭水質自動化監測系統各監測感應器的特性 31 表2-15 自動監測站pH與導電度之漂移值 33 表2-16 自動監測站氨氮與硝酸鹽氮之漂移值 34 表2-17 自動監測站葉綠素-a之漂移值 35 表3-1 時間序列之四種成份特性 47 表3-2 STATISTICA 6.0 建議硬體/軟體系統需求規格 50 表4-1 水質監測項目與代號對照表 51 表4-2 拉魯島無母數檢定 53 表4-3 自來水無母數檢定 53 表4-4(a) 拉魯島監測站相關係數表 59 表4-4(b) 自來水監測站相關係數表 60 表4-5 拉魯島監測站之因素分析(十一項變數) 61 表4-6 拉魯島監測站之因素負荷(十一項變數) 62 表4-7 拉魯島監測站之因素分析(不含temp) 64 表4-8 拉魯島監測站之因素負荷(不含temp) 64 表4-9 自來水監測站之因素分析(十一項變數) 65 表4-10 自來水監測站之因素負荷(十一項變數) 66 表4-11 自來水監測站之因素分析(不含temp) 67 表4-12 自來水監測站之因素負荷(不含temp) 68 表4-13 拉魯島92年度各月份之分群特性 74 表4-14 拉魯島監測站各類群水質監測項目之 平均值與範圍值 75 表4-15 自來水92年度各月份之分群特性 78 表4-16 自來水監測站各類群水質監測項目之 平均值與範圍值 79 表4-17 拉魯島混濁因子ARMA檢定 82 表4-18 拉魯島營養鹽供給因子ARMA檢定 85 表4-19 拉魯島優養因子ARMA檢定 87 表4-20 拉魯島酸鹼因子ARMA檢定 90 表4-21 自來水混濁因子ARMA檢定 92 表4-22 自來水營養鹽供給因子ARMA檢定 95 表4-23 自來水酸鹼因子ARMA檢定 97 表4-24 自來水透視度因子ARMA檢定 100

## 參考文獻

參考文獻 1. 行政院環境保護署, 水庫監測與集水區污染防治規劃-台灣地區水庫水質評析與水質管理規劃, 1999. 2. 行政院環保署, 八十七年度水庫水質監測報告, 1999. 3. 行政院環保署, 八十八年度台灣地區主要水庫水質監測計劃, 2000. 4. 行政院環保署, 八十九年度台灣地區主要水庫水質監測計劃, 2001. 5. 行政院環保署, 九十年度台灣地區主要水庫水質監測計劃, 2002. 6. 行政院環境保護署, 水體水質監測資料庫, <http://alphapc.epa.gov.tw/envdatahome.html>. 7. 交通部觀光局日月潭國家風景區管理處, <http://www.sunmoonlake.gov.tw/sml/sitemap.htm> 8. 李漢鏗, 監測數據處理與應用, 民國89年3月. 9. 唐麗英、王春和著, 「STATISTICA與基礎統計分析」, 滄海書局, 民國91年. 10. 陳順宇、鄭碧娥著, 「統計學」, 華泰書局, 1998. 11. 許弘宜, 臺灣中部三水庫(明德、日月潭、德基)湖區浮游藻類之研究, 國立中興大學植物學系, 1992. 12. 梁文傑、張能復, 環境監測政策評析, 環境保護政策分析叢書(十), 1988. 13. 黃秀蓮、張大年、何燧源, 環境分析與監測, 科技圖書股份有限公司, 1994. 14. 黃俊英, 多變量分析, 中國經濟企業研究所, 1995. 15. 黃建源, 多變量統計方法在日月潭水庫水質管理之應用, 逢甲大學土木及水利工程研究所碩士論文, 1999. 16. 經濟部水資源統一規劃委員會, 台灣地區重要水庫水質暨優氧化之研究, 1993. 17. 詹智全, 國內水庫優養化評估因子及藻類指標間之相關性研究, 中興大學環境工程研究所碩士論文, 2001. 18. 顏月珠著, 「統計學」, 三民書局, 民國87年. 19. 羅仁鈞, 日月潭水庫水質特性, 國立中央大學土木工程研究所碩士論文, 1984. 20. USGS, " Guidelines and Standard Procedures for Continuous Water-Quality Monitors: Site Selection, Field Operation, Calibration, Record Computation, and Reporting ", Reston, VA, US, 2000. 21. Yeasted, J. G. and Morel, F. M. M., " Empirical Insights into Lake Response to Nutrient Loadings, with Application to Models of Phosphorus in Lake ", Environ. Sci. Tech., Vol. 12, No. 2, 195-201, 1978.