

南澳神秘湖自然保留區湖沼演替之 脈衝穩定性理論探討

阮忠信^{1*} 陳子英¹ 毛俊傑¹ 邱孟韋¹ 陳廷綱¹

1. 國立宜蘭大學自然資源學系

摘 要

脈衝(Pulse)是指「產品逐漸累積的轉變與極端消耗的一段很短的時間，這將物質回收提供為另一個循環的生產與消耗」。Odum (1969) 提出脈衝穩定性(Pulse Stability)理論，指出脈衝現象使得生態系發展維持在年輕與成熟狀態間擺盪，形成一種特殊之動態的穩定狀態。

南澳神秘湖自然保留區，集水區林相完整，無人為開發行為，適合瞭解自然湖泊演替發展。如以植群初級演替的推論，則神秘湖應朝向演替後期前進，未來湖將逐漸長滿挺水植物之東亞黑三稜及水毛花，最終必全面淤積而達湖泊之死亡期，同時未來的40年或以上，會發育為水社柳—赤楊型，並終至湖泊消失。然而，以Odum之脈衝穩定理論觀點，神秘湖可能因為暴雨洪水，維持動態的脈衝穩定狀態。

本研究應用1980年起迄今的各類遙測資料，進行水生植物區域範圍的判讀，瞭解其歷年的變化情形，以探討神秘湖演替的方向。結果顯示開闊水域、與各類植物類型面積呈現約20年週期之循環消長情形，並以餘弦函數回歸分析得到開闊水域面積的逐年消長變遷之推估函數，其推估誤差在3%內。因此，本研究初步推論神秘湖在近數十年之演替應較符合脈衝穩定理論，並台灣地區暴雨與颱風頻仍，脈衝穩定現象應為湖沼之普遍現象，建議湖沼生態系保育上，應考慮脈衝機制對於生態系演替之影響。

關鍵詞：脈衝穩定性、湖沼生態系演替、神秘湖、複雜系統、系統生態

Study on the Pulse Stability of the Succession of the Lacustrine Ecosystem in the Sheng-Mi Lake, Nau-An, North Taiwan

Chung-hsin Juan^{1*} Tze-Ying Chen¹ Jean-Jay Mao¹ Men-Wei Chiu¹ Ting-Kang
Chen¹

1. Department of Natural Resources, National Ilan University

Abstract

"Pulse" means "alternation of the gradual build-up of production and a short period of frenzied consumption that

recycles materials for another cycle of production and consumption". Odum (1969) proposed the "Pulse Stability" theory, that pulses maintain an ecosystem at some intermediate point in the developmental sequence, resulting in a compromise between youth and maturity.

The Sheng-Mi Lake is located in Nan-Au Natural Reserve, North Taiwan, surrounded with a well-developed virgin forest. According to the vegetation succession theory, the Sheng-Mi Lake was gradually silting up, would success to the Willow-Alder vegetation type in 40 years, and eventually would become a forest system. However, according to the "pulse stability" theory, the lake may maintain its current status due to the pulses caused by frequent storms and typhoons, the typical weather types in Taiwan.

The possible succession of the Sheng-Mi lake ecosystem was studied using the recent remotely sensed data from 1980 to realize the temporal changes of the areas of the open water and different vegetation types in the lake. The results showed a near 20-year cycle of the area changes of the open water and vegetation types. The relation between the open water area verse time could be regressed as a cosin function within 3% estimated errors. Therefore, the "pulse stability" can be considered as appropriated in a time scale of decades in the Sheng-Mi lake. Frequent storms and typhoons is the typical weather pattern in Taiwan, so the influence of pulses caused by them should be normal to the wetlands in Taiwan. The conservation and restoration of the Taiwan wetlands should well consider the mechanism of pulses.

Key words : Pulse Stability, Succession of the Lacustrine Ecosystem, Sheng-Mi Lake, Complex System, Systems Ecology

*Corresponding author E-mail: cjuan@niu.edu.tw

前 言

自然系統、甚至在人類社會的系統中，都有突然發生的大事件，足以改變現有的穩定狀態，使系統內在結構受到破壞。這些造成內在結構破壞的因素，我們常用不同的名詞稱之，如「干擾」、「災害」等。然而這種突然的事件，疑似隔一段時間便會出現，這些突然的事件，是否為一種常態？

「複雜系統」(complex systems)指的是「由許多部分以非線性的方式組合而成的系統」，系統的組織結構雖然複雜多樣，看似隨機組成，但是內涵隱藏的秩序。新興的「複雜科學」(Complex Science)，則是在探討這種複雜系統結構中的秩序。自然系統、生物系統、生態系統，通常呈現出複雜系統之亂中有序(order)的特質。而這些基本的特質與系統運作的原則，往往是通用於不同類型的系統中，而非僅侷限於某一類型系統中。「系統生態學」(Systems Ecology)，則是整合系統理論與生態學，探索不同尺度之複雜系統之理論與應用，為複雜科學的理論方法之一。

脈衝 (Pulse) 現象與複雜系統之自我組織 (self-organization) 間的關係，為系統生態學中一個重要的理論。Odum (1969) 於「科學」期刊所發表的「生態系統發展之策略」(The Strategy of Ecosystem Development)，首次提到脈衝穩定性 (Pulse Stability) 的觀念，指出或多或少之常態性的擾動，可以使生態系統維持在年輕與成熟間的中間狀態，並以濕地系統中的變動性之水位為例，說明其對於濕地植物、動物與營養循環的影響。

Odum (1994) 認為脈衝是系統自我組織發展的過程

中的一個重要現象，脈衝協助系統的資源可以更新與循環，在一個長時間尺度或是大空間尺度的觀察，可以發現傳統穩定態的觀念其實只是系統發展的一個較短時間或是較小空間尺度的階段，提出系統發展的成長 (growth)、極盛 (climax) 與下降 (descent) 的擺盪 (oscillation) 循環過程。而脈衝是每一次的擺盪循環，由盛而衰的轉變階段 (Odum, 1969)。Kang (1998) 提出脈衝為「產品逐漸累積的轉變與極端消耗的一段很短的時間，這將物質回收提供為另一個循環的生產與消耗」。

濕地水位變化通成是不穩定，並且有季節性的變化 (河岸濕地)，或是每日、半日的變化 (感潮濕地)，甚至有不可預期的由暴雨、颶風、海嘯、所造成的極端水位變化，這些不同尺度的脈衝是協助濕地營養循環與系統更新機制，而濕地生物已經多已適應了這樣的變化，脈衝現象有益於濕地生物的競爭優勢，故濕地經營與保育策略應考慮脈衝現象 (Mitsch and Gosselink, 2000; Fredrickson and Reid, 1990; Kantrud *et al.*, 1989)。Middelton (2002) 指出洪氾脈衝 (Flood Pulsing) 的維護為濕地保育與復育的重要因素。Mitsch and Jørgensen (2004) 亦以脈衝的維持之考慮為生態系復育與生態工程的重要原則之一。

神秘湖湖沼區域之湖底堆積物厚且多，以植群初級演替的推論上 (劉與蘇, 1983)，神秘湖應朝向演替後期前進，未來湖將逐漸長為挺水植物，最終必全面淤積而達湖泊之死亡期，同時未來的 40 年或以上，會發育為水社柳—赤楊型，並終至湖泊消失。

而陳淑華 (1997) 對神秘湖湖泊沉積物花粉的研究，指出經由湖心挖取 1 m 的沉積物，每 5 cm 取一樣本，並記錄各樣本中花粉出現的種類及數量，並製成花粉圖

譜，同時將深度 25、50 及 90 cm 的湖泊沉積物送紐西蘭做 C14 的定年分析。C14 定年分析結果顯示 25 cm 深為 1036+70 BP，50 cm 為 1558+70 BP，90 cm 為 1776+70 BP，這指出由 1776 年前至 1558 年前間的 200 年左右，湖泊淤積了 40 cm；而由 1558 年前至 1036 年前間的 500 年左右，湖泊淤積了 25cm，而最近的 1000 年間，淤積了約 25 cm。湖泊淤積速率顯然逐漸變緩，是否因為脈衝現象使得湖泊的演替介於中期與後期之間，使神秘湖達到所謂的脈衝穩定性的狀態，這是值得進一步探討，也是本文之研究目的。

本文採用遙測方法，蒐集神秘湖過去二十年的航空照片與可利用的遙測資料，判讀其植物類型的範圍與面積，瞭解其變遷過程，探討脈衝穩定性的可能性。

材料與方法

本文主要是應用歷年的各類的遙測資料，進行水生植物區域範圍的判讀，瞭解其歷年的變化情形。

一、試驗地概述

神秘湖位於南澳闊葉樹林自然保留區內（如圖 1），和平溪分水嶺及南澳南溪上游山脈稜脊之間；屬羅東林區管理處。民國 81 年時，農委會依文化資產保存法公告劃設為「南澳闊葉樹林自然保留區」，劃定面積為 200 公頃，本區為一近原始之闊葉林與天然湖沼的生態環境。湖域面積約為 4.8ha，湖沼區域之湖底堆積物厚且多，水底為沉水性之水生植物所覆蓋，在森林與濕地間已有濕生演替後期的森林植物種類，湖的周圍更遍布芒（*Miscanthus sinensis*）所構成的高草區；顯示此湖域為一濕生演替晚期向中生型演進的典型半淤積之高山湖泊，區內並保有東亞黑三稜（*Sparganium fallax*）、微齒眼子菜（*Potamogeton maackianus*）及線葉藻（*Potamogeton oxyphyllus*）等稀有植物（蘇鴻傑，1988；陳等，2006）。

二、材料

由於神秘湖的區域範圍不大，必須要用空間解析度較高的資料才能進行判讀。因此，主要遙測資料蒐集內容為歷史航空照片，並配合計畫進行期間，蒐集可利用的遙測資料，如高解析度的衛星資料與航空照片。

目前已經進行航照圖的蒐集，透過農航所，並透過國立成功大學防災科技中心所採購國家太空中心所發展的福衛二號衛星資料，另由 Google Earth 軟體付費下載 Digital Globe® 影像資料。所蒐集得到的資料如表 1。

1980 年以及之前的資料，目前已無法取得，可能只能從輾轉由過去曾經購買者取得，但目前未有任何過去購買者紀錄，故本計畫中僅能就 1980 年至今的資料進行判讀分析。

三、方法

(一)遙測資料之幾何校正



圖 1 神秘湖相關地理位置圖

Fig.1 Location of SHENG-MI LAKE

所取得的遙測資料，特別是航空照片圖，通常沒有相關的地理座標系統，必須進行地理幾何校正，使所有的資料具有空間座標，並能在空間位置上相互比較。

首先將以一筆已經具有空間座標的遙測資料做為參考資料，找到數個圖片上可以辨識，並未有改變的地物為控制點，然後逐一將其他各筆遙測資料進行幾何校正。由於航空照片資料為固定框（Fixed-Frame）拍攝方式，且神秘湖之湖域範圍高程可以視為相同，故可以不考慮高差位移，並只需要進行一階的幾何校正。

表 1 神秘湖遙測資料蒐集狀況表

Table 1 Collection of available remotely sensed data for the Sheng-Mi Lake

濕地植物指標類別	生育地之水文期
必須在濕地中 (OBL)	大於 99% 的時間
以濕地為主 (FACW)	2/3 的時間
可存在濕地環境或陸域環境中 (FAC)	34%~66% 的時間
可短期在濕地中 (FACU)	1/3 的時間

(二)植物類型之判讀

如果有高解析度的彩色紅外光影像，水生植物的判讀可以到較精細的植物群落之層級，然而過去的資料多為陳舊黑白的航空照片再掃描，且照片顆粒較粗、灰階對比不佳，無法進行細緻的分類，必須簡化類別。

美國漁業與野生動物局將濕地植物分為四個類別，用為界定濕地範圍使用之植物指標。這四個類別分別為 OBL(Obligate)、FACW(Facultative Wetland)、FAC(Facultative)、FACU(Facultative Upland)。OBL 指必須要水中生長（包含在土壤飽和狀況）之植物；FACW 指主要在水中生長，但生育地地短時間水位下降，形成非濕潤旱環境亦可生存，偶而會發現在十分濕潤的陸域環境；FAC 指可以水生，也可以陸生的植物，生育地之水文期剛好在 1/2 左右；FACU 指主要是指濕地植物生育地多數時間不是有水的，但短時間有淹水的狀況，這類植物也可在陸域生長 (Tiner, 1999)，而這四個植物指標類別所關連的水文期如表 2。由於濕地植物與動物分佈，常沿地形與水文期梯度發展，故使用此種植物指標類別，可以辨識地形與水文期梯度變化。為台灣目前濕地植物多僅主要考慮 OBL 與 FACW 植物物種，有些生長在濕地邊緣的植物。而本計畫此部分的植群類別，考慮影像的辨識條件狀況，並同時考慮探討的主題與洪氾脈衝之水文現象有關。故參考美國的濕地植物指標類別，遙測辨識上的濕地植群類型分為開闊水域（含沈水與浮水植物）、挺水植物、耐濕的禾本與木本植物等四類。這遙測辨識使用的四種類型植物，一般而言，開闊水域植物為 OBL；挺水植物多為 FACW 種類型，但亦有一些為 OBL 類型；耐濕禾本多為 FAC，但也有不少為 FACW；耐濕木本多為 FACU 類型，但有一些種類為 FAC。因此，遙測辨識的類別大致與美國濕地植物指標類別相關。

針對以上四種植群類型於遙測影像上所展現的特徵，如質地、大小、形狀、空間位置、灰階程度之特徵，配合現地調查之研究，建立相關的判讀知識。再依此判讀知識於地理資訊系統軟體 ArcGIS 9.1 上，進行數化工作。

(三)植物類型演變的消長

根據所數化的歷年植物類型區域，透過 ArcGIS9.1 軟體計算，求得各植物類型演變之消長資料，並繪製變化趨勢表與圖。

(四)回歸分析

將所求得的水域面積隨時間消長之資料，以水域面積為 y 軸之因變數，時間為 x 軸之自變數。將 y 軸以餘弦函數之座標轉換，再利用統計學的線性回歸方法，推估神秘湖水域面積與時間之回歸公式關係。

結果與討論

一、植物類型判讀

根據現地實地調查與遙測資料圖面上之資訊，以及

表 2 濕地植物指標類別與水文期的關係表（整理自 Tiner 1999）

Table 2 Wetland vegetation indicators and their hydrological characteristics. (Tiner,1999)

農航所有記錄之航拍日期	類別*	解析度或比例尺
1966/06/19	黑白航空照片	1/10,000
1968/12/07	黑白航空照片	1/10,000
1969/08/19	黑白航空照片	1/10,000
1975/07/31	黑白航空照片	1/10,000
1980/06/30	黑白航空照片	1/10,000
1982/10/05	黑白航空照片	1/10,000
1985/04/25	黑白航空照片	1/10,000
1992/05/24	黑白航空照片	1/10,000
1993/02/05	黑白航空照片	1/10,000
2002/07/22	彩色航空照片	1/10,000
2003/07/29	彩色航空照片	1/10,000
其他來源資料		
2005/03/15	高解析衛星影像 (Digital Globe)	每像元 1 m
2005/12/22	福衛二號衛星影像	每像元多光譜為 8 m × 8 m，全色為 2 m × 2 m

不同物體對於太陽輻射反射的物理性原則，建立基本判讀原則如表 3，而其說明如下。

(一)陸域的闊葉林

闊葉林的林相通常有豐富的垂直層次，下層植物亦茂密，故入射之太陽輻射多為不同垂直層次的植物重複吸收、穿透與反射，常呈現中度的亮度到略低的亮度。質地上，則相當粗糙，可以隱隱看到一圈圈的樹冠。空間位置上，則在湖域外。

(二)開闊水域

當以沈水植物為主時，因為水吸收了多數的入射太陽輻射，顏色幾近為黑色，且質地平滑。但當有較多漂浮植物（滿江紅），特別是春季的時候，則水面有反射部分太陽輻射，由於漂浮植物在水面的密度在空間分佈上不均勻，所以質地上呈現不同程度的呈現暗灰色到淺灰色的連續分佈，宛如加入牛奶於咖啡中後的混和與擴散的樣子。空間分佈上，多在湖域的中間。

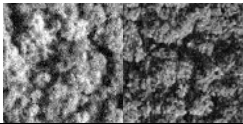
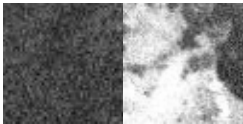
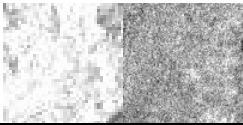
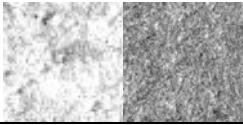
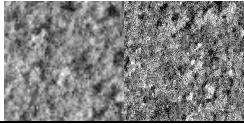
(三)挺水植物

挺水植物分為弓果黍、東亞黑三稜和水毛花三類，東亞黑三稜和水毛花反射了部分太陽輻射，但底下的水

體則吸收了大多數穿透挺水植物的太陽輻射，因此，呈現較低的亮度（略暗的灰色），而弓果黍較為茂盛，葉子覆蓋大部分的水面，反射較多的太陽輻射，呈現較高的亮度，質地都較開闊水域粗糙。空間位置上，常在湖域中或是開闊水域的外環。

表 3 神秘湖植物類型之遙測資料判讀的特徵表

Table 3 Vegetation types and their interpretation keys for the remotely sensed data in the Sheng-Ming Lake

類型	圖例
陸域的闊葉林	
開闊水域	
挺水植物	
耐濕禾本	
耐濕木本	

(四)耐濕禾本

耐濕禾本植物反射了部分的太陽輻射，但穿透禾本植物的太陽輻射被底層吸收或反射的狀況，則隨著底層覆蓋的土壤或是倒下的死亡植物體狀況而有變異。因此，當水位上漲時，而耐濕禾本植物下為淺水時，則呈現較低的亮度，但比挺水植物高；當底層為含水量較高的土壤，則亮度略高些；而底層土壤含水量較低時，則呈現更高些的亮度；而若有死亡植物覆蓋在底層時，則較高的亮度，如為黑白照片，則呈現淺灰色。在神秘湖的歷史遙測資料中，多數呈現淺灰色。質地上，亦呈現粗糙的感覺。空間位置上，則常在湖域中挺水植物的外圍。

(五)耐濕木本

耐濕木本植物為可以在濕地環境生長的闊葉林植物與灌木，但生長密度較闊葉林植物稀疏，下層則為耐濕禾本植物。故在顏色與亮度上介於耐濕禾本植物與湖域旁的闊葉林間。此外，由於生長密度較低，可以隱隱看

到一圈圈的冠層稀疏地混在淺灰到中灰亮度的環境中。空間分佈上則在耐濕禾本到陸域闊葉林的過渡帶。在神秘湖則固定出現在主要入水溪流由山邊闊葉林漸進入到湖域坡度漸平緩的區域。

應用上述的判讀原則，將歷年的遙測資料判讀並繪製範圍圖如圖 2 至圖 9

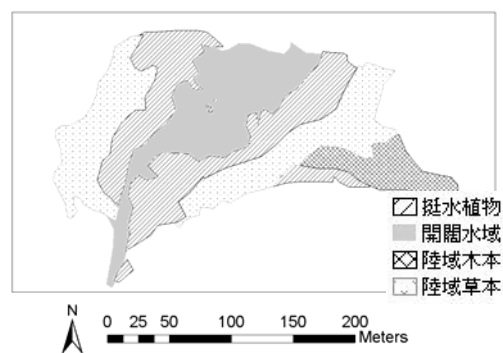


圖 2 1980 年神秘湖各類植群類型範圍圖。

Fig. 2 The vegetation map of the Sheng-Mi Lake in 1980

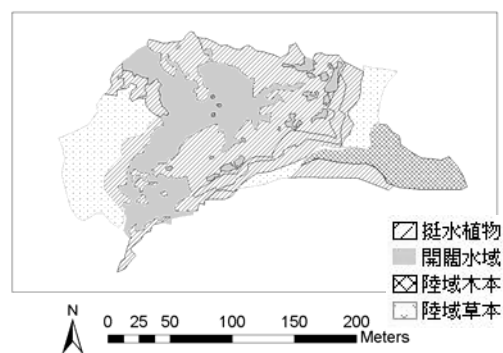


圖 3 1982 年神秘湖各類植群類型範圍圖。

Fig. 3 The vegetation map of the Sheng-Mi Lake in 1982

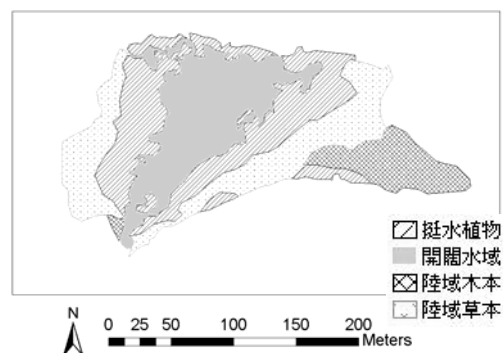


圖 4 1985 年神秘湖各類植群類型範圍圖。

Fig. 4 The vegetation map of the Sheng-Mi Lake in 1985

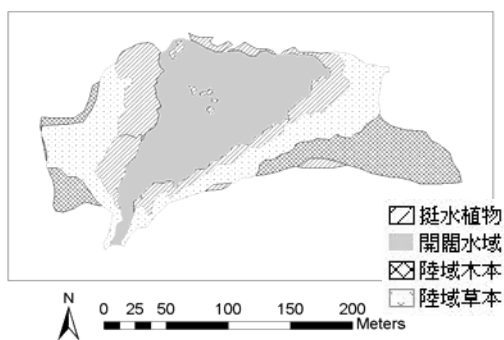


圖 5 1993 年神秘湖各類植群類型範圍圖。

Fig. 5 The vegetation map of the Sheng-Mi Lake in 1993

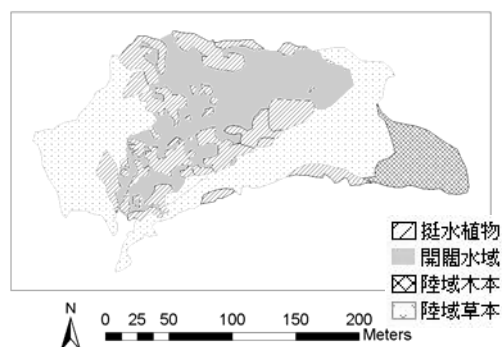


圖 8 2005 年(3 月 15 日)神秘湖各類植群類型範圍圖。

Fig. 8 The vegetation map of the Sheng-Mi Lake on Mar. 15, 2005

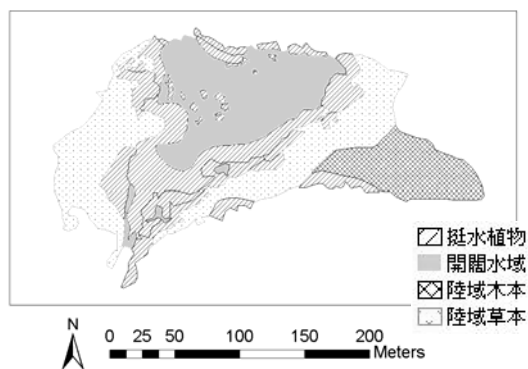


圖 6 2002 年神秘湖各類植群類型範圍圖。

Fig. 6 The vegetation map of the Sheng-Mi Lake in 2002

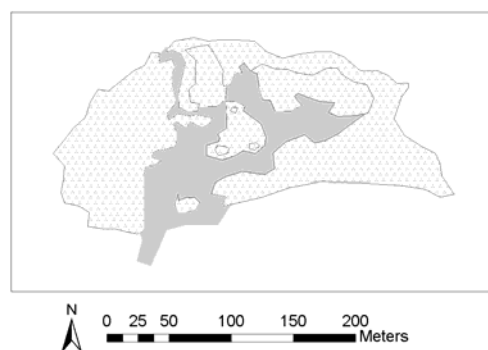


圖 9 2005 年(12 月 22 日)神秘湖各類植群類型範圍圖。(由於福衛二號的空間解析度不足以判讀細節，故僅能分為兩類)

Fig. 9 The vegetation map of the Sheng-Mi Lake in Dec. 22, 2005. (Due to the limit of the FormoSat-2 satellite imagery, the vegetation could only be classified as two types.)

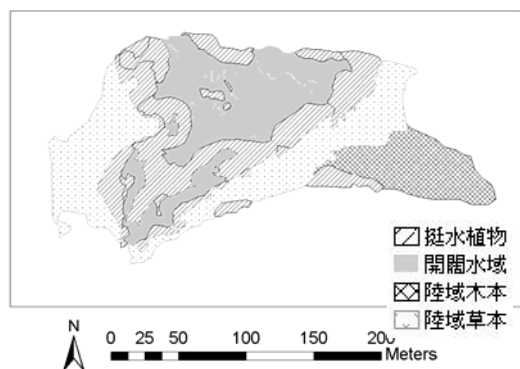


圖 7 2003 年神秘湖各類植群類型範圍圖。

Fig. 7 The vegetation map of the Sheng-Mi Lake in 2003

觀察圖 2 至圖 9 的濕地植群類型變遷，雖然過去神秘湖的各類植群大致的相關位置仍差不多，但範圍與面積並非是固定的，可以明顯看到消長變化現象。由 1982 年到 1993 年間，非常明顯的，開闊水域的面積逐漸增加，而挺水植物面積逐漸縮小；到 2002 年，開闊水域面積又減少，挺水植物面積又增加，但之後卻又逐漸遞減。在耐濕禾本植物面積也有消長變化，但不若開闊水域與挺水植物明顯，而耐濕木本植物面積，似乎變化很小，若仔細觀察，可以約略觀察到些微的變遷。

二、植物類型演變的消長

將各年的各種植群類型的面積分別計算如表 4，並將消長變化狀況繪圖於圖 10。

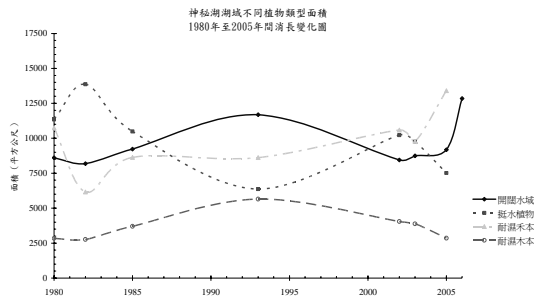


圖 10 神秘湖湖域不同植群類型面積 1980 年至 2005 年間消長變化圖

Fig. 10 The dynamic changes of the areas of vegetation types from 1980 to 2005.

由各類型植群面積變化的消長來看，1982 年到 1993 年間，開闊水域的面積有明顯的遞增，而挺水植物則明顯的遞減，1993 年到 2005 年底間，開闊水域則有遞減然後再遞增，而挺水植物面積增減趨勢則正好相反。而耐濕木本植物，則由 1982 年開逐漸遞增，1993 年後則逐漸遞減；耐濕禾本植物，由 1982 年起先減少，然後則維持一段幾乎不變的狀況，直至 1993 年，才又緩緩遞增，然而在 2002 年之後又開始遞減。這些明顯消長變化，顯示有外力演替因素在影響神秘湖的演替。以台灣的環境特徵而言，這明顯的外力演替因素，推估應與暴雨和颱風所造成的脈衝現象有關。

三、回歸分析

消長變化途中所顯示的面積變化趨勢上，大致上呈現三角函數的變化，應可以用餘弦函數進行趨勢變化之分析。由圖 11 之循環過程上，1982 開闊水域開始遞增到遞減，又復遞增的循環，大約為 20 年。因此，推估公式用 1992 年增減變遷之中心，以 20 年一個循環，以回歸分析方式求得最佳化的回歸公式為

$$\hat{A} = \text{COS} \left[\frac{\pi}{10} (Y - 1992) \right] * 1682.66 + 10114.96$$

其中 \hat{A} 為推估的開闊水域面積，Y 為年度。

將推估面積結果與誤差列於表五，並繪圖於圖 11。發現除了 2006 年的推估值外，其餘的誤差皆在 $\pm 3\%$ 之內，而 2006 年的實際面積是由 2005 年 12 月之福衛二號衛星資料數化所得。由於福衛二號空間解析度較差，數化過程難以辨識一些細節，可能有誤判的狀況，福衛二號衛星資料在神秘湖的研究應不適用，僅能做為參考。

由此推估過程之結果，說明神秘湖水域面積的週期性變化十分顯著，應與脈衝現象有關。

此外，本研究主要是由目前可得之遙測資料予以推估與討論湖沼生態演替之脈衝穩定性，偏重於不同年

度間的湖域面積變化。然而，湖沼生態亦受到季節性變化的影響，這是本研究在研究目的與限制下未進行討論的，未來可考慮以其他的方式，如以不同季節的高空間解析度衛星資料或是現地調查的方式進行研究湖沼生態之季節性變化。

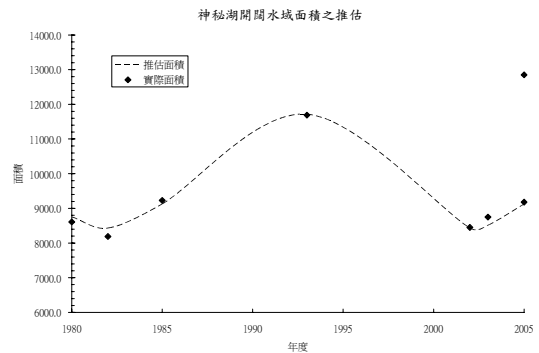


圖 11 神秘湖開闊水域面積之推估結果

Fig.11 The comparison of the estimated and real areas of the open water

結論與建議

透過約二十五年的遙測資料分析顯示出神秘湖的各植物類型與開闊水域面積，呈現出約二十年週期之循環式消長變化，初步顯示暴雨洪水所造成之脈衝穩定性現象，應適用於神秘湖之演替。然而由於觀測時間仍不夠長，難以遽下定論，只能說明目前階段應是合理的。

在系統生態學與複雜科學相關理論中，常說明各種空間與時間尺度的變遷因素之影響，以及人類受限於觀察的時空限制性下，常無法全然瞭解與驗證自然與人類社會之各種現象。因此，所研究之複雜系統內在次序現象與原則，往往是透過推論而得，而僅能獲得部分之實際資料驗證。因此，本研究無法確實提供充分的證據證明神秘湖不會淤積並演替至森林系統。僅能說明，在過去數十年與時間尺度下，神秘湖的演替受到脈衝的影響甚鉅，而未來數十年中，亦可能如此。

神秘湖的脈衝穩定性指出暴雨颱風頻仍的台灣濕地，也應有類似的演替狀況。所以，這提醒台灣在濕地保育與復育策略上，應充分考慮合適的脈衝之水文機制。

謝 誌

本文研究承蒙行政院農業委員會林務局惠予研究內容之經費支持(林務局保育研究系列第 94-09 號)，並且由林務局、羅東林管處、南澳工作站予以實際工作上的多方協助。作者特此致上由衷的感謝。

表 4 神秘湖各年的植群類型面積 (單位: m²)

Table 4 The area of vegetation types in different years (m²)

日期 \ 植物類型	1980	1982	1985	1993	2002	2003	2005	2005
開闊水域	06/30	10/05	04/25	02/05	07/22	07/29	03/15	12/22
挺水植物	8610	8190	9230	11690	8450	8750	9180	12850
耐濕禾本	11350	13870	10490	6370	10230	9760	7520	-
耐濕木本	10750	6160	8630	8620	10590	9780	13400	-
耐濕木本	2840	2760	3700	5650	4050	3890	2850	-

表 5 回歸分析所推估之神秘湖開闊水域面積

Table 5 The estimated area of the open water in the Sheng-Mi Lake

年度	1980	1982	1985	1993	2002	2003	2005	2006
推估面積	8753.7	8432.3	9125.9	11715.3	8432.3	8514.7	9125.9	9595.0
實際面積	8610	8190	9230	11690	8450	8750	9180	12850
誤差	143.7	242.3	-104.1	25.3	-17.7	-235.3	-54.1	-3255.0
誤差百分比	1.67%	2.96%	-1.13%	0.22%	-0.21%	-2.69%	-0.59%	-25.33%

參考文獻

陳子英、毛俊傑、阮忠信。2006。南澳闊葉林自然保留區神秘湖演替之研究。行政院農委會林務局，台北。

陳淑華。1997。神秘湖湖泊沉積物之花粉分析。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，計畫編號: NSC85-2311-B-002-017。

劉崇瑞、蘇鴻傑。1983。森林植物生態學。台灣商務印書館。台北。462 頁。

蘇鴻傑。1988。台灣國有林自然保護區植群生態之調查研究 (南澳闊葉樹林自然保護區植群生態之研究)。台灣省林務局。台北。

Fredrickson, L. H., and F A. Reid. 1990. Impacts of hydrologic alteration on management of freshwater wetlands, in "Management of Dynamic Ecosystem, North Central Section", J. M. Sweeney, Ed., pp 71-90. Wildlife Society, West Lafayette, IN,

Kang, D. 1998. Pulsing and Self-organization. Ph.D. Dissertation. University of Florida, Gainesville, Florida, USA.

Kantrud, H.A., J.B. Millar, and A.G. van der Valk. 1989. Vegetation of the wetlands of the prairie pothole

region, in "Northern Prairie Wetlands", A. G. van der Valk, Ed., pp132-187. Iowa State University Press, Iowa, USA.

Middleton, B. 2002. The flood pulse concept in wetland restoration, in "Flood Pulsing in Wetlands: Restoring the Natural Hydrological Balance", Middleton, B. ed., pp1-10. John Willey & Sons. New York, USA.

Mitsch, W.J. and J.G. Gosselink. 2000. Wetlands, 3rd ed. 920pp. John Willey & Sons, Inc. New York, USA.

Mitsch, W.J. and S. E. Jørgensen, 2004. Ecological Engineering and Ecosystem Restoration. 411pp. John Willey & Sons, Inc. New York, USA.

Odum, E. P., 1969. The strategy of ecosystem development. Science 164:262-270.

Odum, H. T., 1994. Ecological and General Systems: an Introduction to Systems Ecology. Rev. ed. 644pp. Univ. Press of Colorado. Colorado, USA.

Tiner, R. W. 1999. Wetland Indicators – A Guide to Wetland Identification, Delineation, Classification, and Mapping. CRS Press, Florida, USA.

97 年 01 月 08 日投稿
97 年 04 月 16 日接受