

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

應用長期氣候預報於生態與水資源預警與風險管理系統

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2313-B-002-102-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣大學生物環境系統工程學系暨研究所

計畫主持人：童慶斌

計畫參與人員：劉子明、楊奕岑、謝明昇

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 11 月 2 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

應用長期氣候預報於生態與水資源預警與風險管理系統

Application of Long-Range Climate Predictions to Ecology and Water Resources Warning and Risk Management Systems

計畫編號：NSC92-2313-B-002-102

執行期間：92年8月1日至93年7月31日

主持人：童慶斌 副教授 台灣大學生物環境系統工程學系

協同主持人：李明旭 助理教授 中央大學水文科學研究所

研究人員：劉子明、楊奕岑、謝明昇

摘要：生物生態保育與水資源問題長久以來一直是大家所關心的問題。根據童慶斌等(2002)研究報告，全球暖化導致台灣地區氣候與水文有極端化之趨勢，暴雨與乾旱均將更頻繁，全球暖化與氣候變異特性顯著增加，對生物、生態環境與水資源等均會產生衝擊，實有必要及早擬定因應對策，建立預警與風險管理機制。本研究為了利用長期氣候預報資料建立生態以及乾旱預警系統，分別建立了長期預報資料降尺度方法、櫻花鉤吻鮭生態預警系統以及水庫雙操作規線的乾旱預警與管理系統。降尺度方法乃利用 Bias Correction 建立大氣模式與地面測站之間的轉換關係；櫻花鉤吻鮭生態預警系統則利用水溫模式以及族群模式作為環境與族群評估系統；並有一案例說明如何利用遺傳演算法進行優選得到水庫雙操作規線。生態與乾旱預警系統均已初步建立完成，並且每一單元均已證實可行，未來將需要進一步結合氣候預報資料與降尺度方法，整合成完整的預警與風險管理系統。

關鍵字：氣候變遷、氣候異常、預警、風險管理

Abstract: Ecosystem conservation and water resources have been drawn many attentions. According to the study by Tung et al., global warming may result in more often extreme hydrology, i.e. more frequent flood and drought. Climate change causing extraordinary climate may further influence biosystems, ecosystems, and hydrosystems, etc.. It desires to establish mitigation strategies associated with an early warning system to response the impacts. This study develops a framework of early warning and risk management systems for Formosa Salmon and drought by using seasonal climate forecasts, which major tasks also include downscaling seasonal climate forecasts and develop more flexible reservoir operational rules. In this study, the method of bias correction is introduced as an example to downscale climate forecasts to a local station. A water temperature and a population model based on previous study are used to predict possible future impacts on Formosa Salmon. A case study shows two sets of operational rules are optimized by the genetic algorithm for drought and non-drought periods. The framework of early warning and risk management systems has been established for ecosystem and drought. Each component has also been tested. In future, the early warning systems will link to seasonal climate forecasts and include more sophisticate risk management strategies.

Keywords: Climate Change, Early Warning, Extraordinary Climate, Risk Management.

一、前言

氣候變遷可能導致氣候異常與極端氣候發生的頻率，不管對生態、環境、或水資源均可能產生嚴重衝擊。氣候緩慢趨勢性變遷會影響相關長期策略，其導致更頻繁之氣候異常更會帶來立即之衝擊。為因應極端或異常氣候帶來之衝擊，在氣候部分應建立季節性預報能力，生態、環境、水資源等則應建立結合季節性預報之預警與風險管理系統。

國寶魚櫻花鉤吻鮭的保護與復育工作為台灣生物生態保育之重要指標，過去觀察資料顯示其族群數量對高流量或高水溫十分敏感。另一方面，水資源問題近年來受極端氣候之影響，洪災與乾旱事件威脅台灣之頻率不斷增加，洪災的發生可利用中央氣象局雷達等預測資料，於颱風來臨前數天發出預警，並即早準備以減災或避災，過去也有相當研究成果的完成，如淡水河洪水預警系統與防救災應變體系之建立。但乾旱的發生卻是逐漸嚴重化，而採取措施又需較長時間進行水資源調配，若無長期預報系統往往失去管理先機與彈性。櫻花鉤吻鮭的環境生態與水資源上的乾旱似乎是兩個不同的議題，然而兩者卻同樣與氣候有著直接的關係，同樣受著氣候變化所影響。

水溫與河川流量是影響櫻花鉤吻鮭的兩項重要環境因子。為了有效提早預防水溫的改變與河川流量的改變影響櫻花鉤吻鮭，必須建立一生態預警系統，結合長期氣象預測資料，預測未來櫻花鉤吻鮭生態環境可能遭受之衝擊，以提供管理者盡早進行相關之預防與管理措施。

當預測發生乾旱的同時，即可啟動乾旱風險管理策略。管理策略可以是更改水庫操作、休耕轉作、或水資源調配等。水庫的操作管理策略方面，以往許多水庫常利用長期水資源資料決定最佳化的操作規線控制放

水，其結果為確保缺水期望值最低，但難因應極端氣象水文。另一種操作方法為即時控制方式 (Real-time control)，如 Wardlaw and Sharif (1999) 對多水庫操作的研究，即採取此方式來操作水庫放水，其優點為能有效在不同狀況下應付需水要求，即時改變水庫的放水策略，但缺點為將損失跨年間之調節能力。本研究希望利用已初步發展成功之多組操作規線方法，結合長期氣象預測與乾旱預警，一組為乾旱時期啟動，一組為平時操作使用。以單一組的操作規線來進行控制水庫放水時，容易造成雖然整體時期缺水情形降低，但會有許多不符民眾接受性的狀況產生，例如在水庫高水位時期就需打折供水，或者在一般非乾旱時期就需要打折扣供水等。因此本研究擬將模擬時期之所有缺水事件加以分析，有效的區分一般與乾旱時期之差異後建立另外一組操作規線，應付缺水較嚴重事件時期。

二、文獻回顧

國外目前已積極展開將長期氣象預測資料應用於水資源與農業生產管理之研究上，包括 Hamlet & Lettenmaier (1999) 利用 National Oceanic and Atmosphere Administration (NOAA) 氣象預測中心提供預測長度 6 個月的氣象預測資料，以 El Niño and Southern Oscillation (ENSO) 與 Pacific Decadal Oscillation (PDO) 兩種大氣現象作為分類，針對美國 Columbia River 進行流量的預測。Hamlet et al. (2002) 更進一步的利用先前的研究成果，進而推估水力發電的效益以及經濟上的影響。此外，於 International Research Institute (IRI) 亦推動許多長期氣候預報的計畫與推廣應用，例如 “Water Resources Management in the Mahaweli

River Basin in Sri Lanka” 乃將長期氣象預測資料應用於斯里蘭卡的 Mahaweli River 的水資源管理；

“Applications of Climate Prediction to Decision-Making in Agriculture and Water Resources Management” 乃針對非洲進行氣候、水文與農業的監測，並進一步做季節和年之間的預測，以應用於農業與水資源管理的決策支援。此外，尚有其他水文、集水區、水庫與農業等預測等應用，詳細情形可參考網頁(<http://iri.columbia.edu/>)。

鮭鱒魚的研究方面，國外學者很早就開始觀察鮭鱒魚，因為鮭鱒魚為他們重要的魚獲來源之一，只是當時的焦點均擺在各項環境因子對魚隻體型大小之影響，直到近幾年，由於鮭鱒魚的數量有逐漸減少之趨勢，於是紛紛開始投入對魚群數量的研究，評估分析各項環境因子對於魚群數量的影響，如 Chen (2000) 等人利用前一時期產卵的魚群數目及海面平均水溫結合模糊分類及遺傳演算法決定線性迴歸函數之係數，進而模擬每年迴游之鮭魚數目；Bradford (2000) 等人提出近年來土地利用、氣候變遷及人為過度補抓行為對於鮭魚密度的負面影響；Shaw (2001) 等人提出河川泥砂含量對鱒魚的影響；Cattaneo (2002) 等人利用統計分析方法 (ANCOVA) 提出大流量為影響鱒魚數量的最主要因素。除了 Chen (2000) 有模擬魚群數量外，大部分的研究都是利用單變數的迴歸分析，提出某環境因子對魚群數量的影響。Tung et al. (2001) 曾探討氣候變遷對櫻花鉤吻鮭棲地七家灣溪水溫之衝擊，但並未探討對族群數量之關係。

而最佳化水庫操作規線方法以近年來有著相當成功發展的遺傳演算法 (Genetic Algorithms) 來處理。由於其強大的空間搜尋能力，自 Holland (1975) 推出至今，已廣被學術界各不同領域所應用，Gen and Cheng (2000)；探討其深受吸引學者專家應用的原因，不外乎其合乎自然法則的精神，以字串模擬，並且可修正及可改善性高，所得到的結果也令人激賞，因此在工程設計管理、生物科技、水資源方面都多有所例 Forrest (1993)、Wang (1991)、陳莉 (1995)。本研究將利用遺傳演算法優選風險管理策略及其啟動時機，並應用其他啟發式演算法建立櫻花鉤吻鮭與環境之反應函數，以建立生態預警系統。

三、研究方法、結果與討論

本研究將結合近年來研究成果，利用長期氣象預測資料系統化的建立櫻花鉤吻鮭生態與水資源乾旱預警系統，如圖 3-1 所示。長期氣象預測資料經過降尺度、修正與資料轉換，可提供區域氣象預測資料給生態及水資源模式進行模擬。研究方法與成果描述如下。

3.1 長期氣候預測資料與降尺度

本研究將透過中央氣象局取得國際氣候預測研究機構 (International Research Institute For Climate Prediction, 或稱 IRI) 所提供的 ECHAM4.5 模式氣候預報資料進行模擬與分析，並建立降尺度方法。本研究所採用的歷史測站為淡水站，選取的變數為 1981~2000 年旬平均降雨

(mm)進行討論。以 ECHAM4.5 鄰近於淡水測站的格點進行分析與降尺度研究，其所對應之關係於圖 3-2。由圖中可以知道淡水站所對應 ECHAM 的格點為北緯 26.5° 東經 120.9375°。

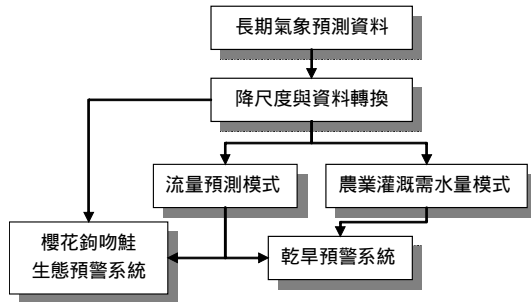


圖 3-1 研究架構圖

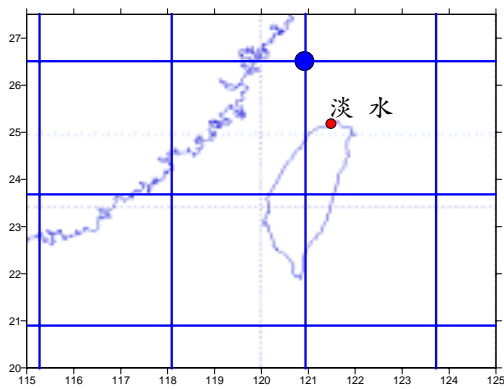


圖 3-2 ECHAM4.5 格點與淡水測站及其鄰近點

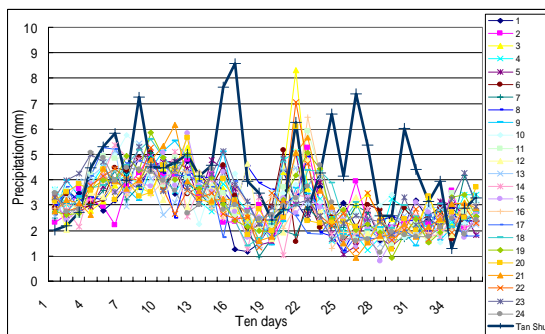


圖 3-3 淡水站與其對應的 ECHAM 鄰近點的 24 個 members 的旬平均比較

圖 3-3 中為 ECHAM 中的 24 個 member 與淡水站於 1981-2000 中旬平均雨量的比較，可以發現 ECHAM 的

24 個 members 降雨量的變化趨勢並沒有與淡水站(粗線)各旬的變化趨勢一致，且各旬平均值均有相當的誤差。因此，如果直接使用此資料應用於淡水站的氣候預測，將會因為誤差而增加預測的不確定性。因此必須透過降尺度建立模式與地面測站之間的轉換關係，以減少因為模式與地面測站的誤差而造成的不確定性。

Bias Correction

本研究將透過 Bias correction 的降尺度方法，建立模式與地面測站的關係，以減少模式應用到地面測站時的誤差。Bias correction(BC)的目的是為了利用修正模式與測站間的機率分佈的誤差，進而增加模式的可利用性所提出的一種修正方式。由示意圖 3-4 中假定 ECHAM 與測站的分佈對應值是一樣的，在 CDF 中以 ECHAM 的橫軸對應 CDF 上的累積機率再由測站之累積機率對應到測站的橫軸值。

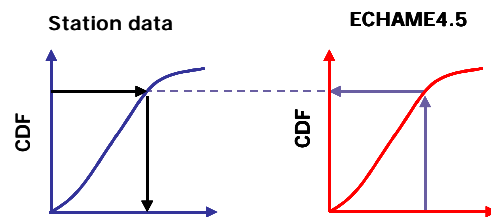


圖 3-4 Bias correction 示意圖

其主要原理在於假設模式的氣象資料累積機率分佈曲線與地面測站一致，由此關係建立模式與地面測站的轉換式。而經由降尺度之後將可減少模式與地面測站之間的誤差，如圖 3-5、3-6 所示，圖中為淡水站與 member12 與 member12(bias correction)於 1981-2000 旬雨量的機率密度函數(PDF)與累積

機率密度函數(CDF)，藍線為淡水站、粉紅線為 member12、綠線為經過 bias correction 修正後的結果，由結果中發現，PDF 中，經過 bias correction 後低雨量(<0.1mm)有明顯的修正到測站值；CDF 中累積機率分佈也有大幅的改善。由此可得知透過 Bias Correction 建立模式與地面測站關係的降尺度方法，可以減少模式應用的誤差，降低預報資料應用的不確定性。

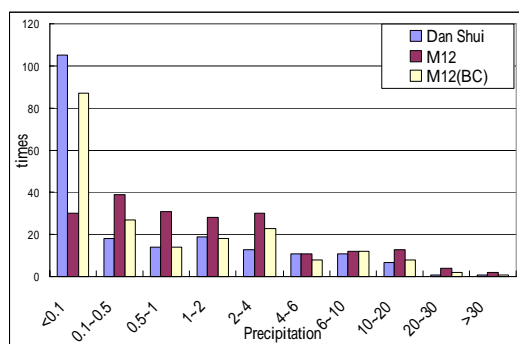


圖 3-5 淡水站與 member12 與 member12(bias correction)於 1981-2000 旬雨量的機率密度函數(PDF)

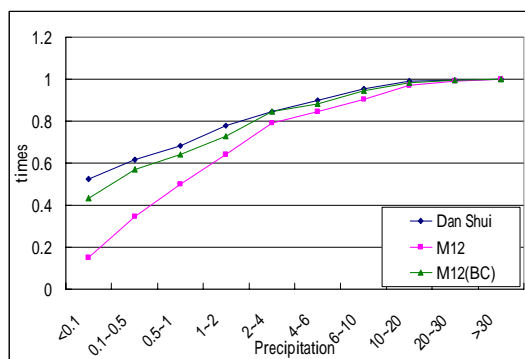


圖 3-6 淡水站與 member12 與 member12(bias correction)於 1981-2000 旬雨量的累積機率密度函數(CDF)

3.2 櫻花鉤吻鮭生態預警系統

本研究利用季節性氣候預報資料，進行河川流量與水溫的評估工作，透過模式的分析盡早預知未來 3 個月之內是否有可能發生極端氣候事

件，例如洪水或是乾旱。以櫻花鉤吻鮭的保育來說，若是我們可以掌握未來 3 個月棲地物理特性之變動，透過族群模式我們將有能力預估未來三個月之族群數變動，透過水溫與流量模式我們將可以幫助櫻花鉤吻鮭渡過天然的災害。整個季節性預警系統之預警流程如圖 3-7 所示。

櫻花鉤吻鮭棲地水溫模式

本模式為國科會生物處支持本研究主持人 2001~2003 年推動「環境變遷對櫻花鉤吻鮭棲地水溫之影響評估 (NSC 90-2313-B-002-328-)」之研究成果。為了考慮河段兩岸高山可能之遮蔽效應，本研究利用 DTM 數值高程模型建立河川網絡，並進而計算分析河段上每個網格點受到兩岸高山遮蔽之情形，將考量遮蔽效應後，河段所接受之能量輸入水溫模擬模式後，得到河川水溫。圖 3-8 為七家灣溪一號壩的模式檢定結果。

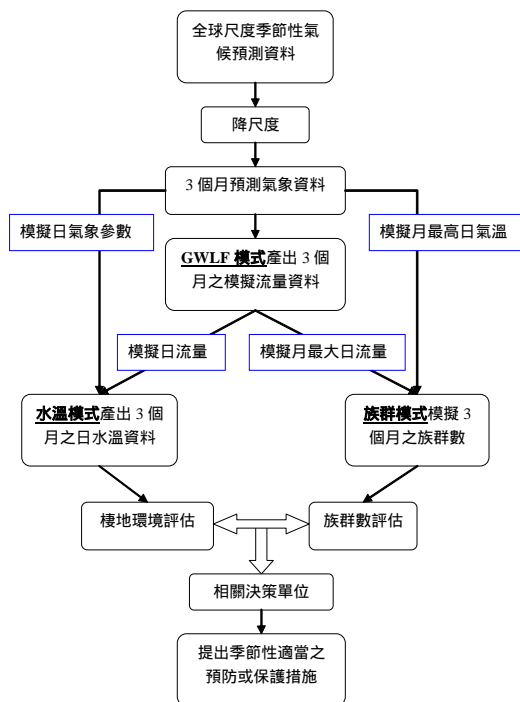


圖 3-7 季節性生態預警系統流程圖

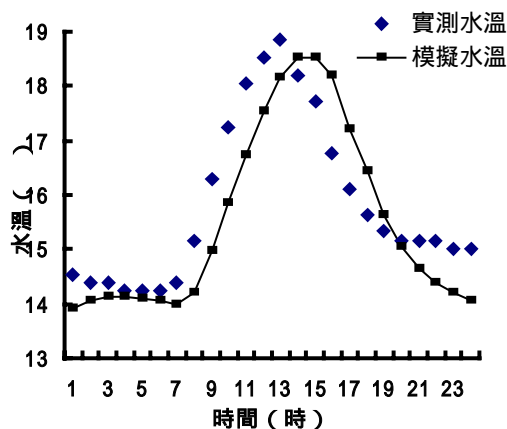


圖 3-8 七家灣溪一號壩模式檢定結果

櫻花鉤吻鮭族群生態模式

本研究的目的是希望能透過遺傳規劃法建立櫻花鉤吻鮭族群模式，進一步了解環境條件改變對櫻花鉤吻鮭族群的影響。藉由櫻花鉤吻鮭族群數量及影響其族群數量之環境因子的蒐集，分析魚群數量與環境因子間的關係，並建立以環境因子預測魚群數量的模式。藉由適當模式的建立，將可應用於預測氣候變遷下的魚群數量。

本研究之模擬將環境影響因子分成「高溫高流量」、「高溫低流量」、「低溫高流量」與「低溫低流量」等四組。但是由於台灣氣候特性之緣故，因此在做資料分類時，並沒有資料分到「低溫高流量」這一組，所以經過資料分類之後所有的資料被分為三組進行模擬，待三組均模擬完畢之後，再將模擬之結果結合在一起。得到之最佳解如下圖 3-9、3-10 所示，從圖中的結果看出，儘管模擬與實際值間仍有些誤差，但以能掌握大部分的趨勢，若能再進一步的修正，將可以更合理反應出環境因子對魚群數目的影響。

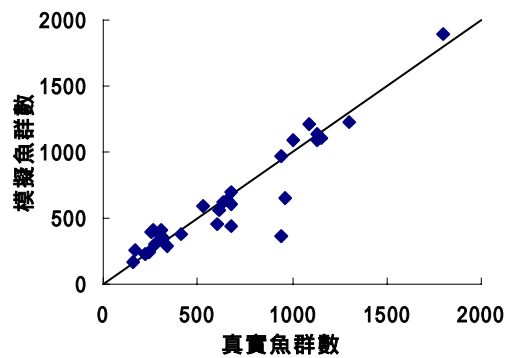


圖 3-9 模擬魚群數與真實魚群數比較圖

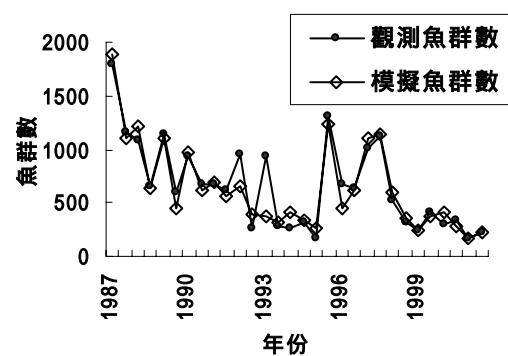


圖 3-10 模擬與真實魚群數變化圖

一般台灣地區的氣候型態在夏季為河川之豐水期，因此夏季之水溫雖然比其他季節要高，但是由於有高流量的調節，將可以降低水溫所帶來的影響。可是如果根據本研究所提出之季節性生態預警系統，預測未來三個月可能有反常的乾旱出現或其他極端環境條件（例如在四月時已經預測到七月的流量將低於一般平均值）此時，夏季的高水溫有可能對櫻花鉤吻鮭的生存造成嚴重的衝擊，我們便可以盡早做一些預防的措施，例如增加一些臨時搭建的人工水塘以固定的溫度提供鮭魚避難的場所，或是增加一些人工的遮蔽物用以降滴河川之水溫。

櫻花鉤吻鮭之產卵期大約在每年

之 11 月左右，水溫與流量之環境因子都將適於卵是否可能成功孵化的關鍵因素。以水溫而言，根據曾晴賢(1999)的研究指出，鮭魚卵孵化的最高水溫今年的 11 月因為氣候與流量上界為 12℃，因此透過水溫模式之模擬，若是我們在 8 月時已經預知到今年 11 月，原本適合櫻花鉤吻鮭產卵之棲地，其水溫會超過 12℃，將可以提供相關資訊給予決策者，進行櫻花鉤吻鮭之風險管理，並可以藉此提升櫻花鉤吻鮭之生存機會。

季節性生態預警系統還有一個重要的功能，就是可以提供相關單位在進行櫻花鉤吻鮭「人工放流」工作時之參考依據。雪壩國家公園為了進行櫻花鉤吻鮭的復育工作，近年來均在七家灣溪流域實施人工放流之工作，希望幫助櫻花鉤吻鮭建立穩定之族群。透過季節性生態預警系統，我們可已逾之未來三個月之內的棲地狀況是否適合放流魚苗之生存，若是經過評估發現未來三個月之棲地並不適合，則可以將放流工作延後實行，以提高魚苗之存活率。

3.3 乾旱預警系統

本研究中所探討的乾旱是以水庫系統的乾旱為主。也就是當整個水庫系統的水資源調度失調，無法滿足需求者造成衝擊與損失。利用氣象預測資料與水資源系統模式分析，提早預知乾旱的來臨，並透過乾旱操作規線的調適，將可以減少乾旱損失。

目前受限於預測長度，並無法完整的掌握乾旱事件。不過，可以透過有限的預測資料，獲知未來水庫蓄水量逐漸降低，可能會發生乾旱事件的

現象而需要採用特殊乾旱操作規線。另一方面，若未來入流量增加，可以恢復正常水庫運作。利用這些未來氣象資料的『前兆』，將可以協助決定是否啟動乾旱規線。本研究採用預測缺水量為啟動或結束乾旱規線的判定根據，也就是上述的『前兆』，以決定轉換水庫操作規線的時機。此判定根據稱為--預測臨界缺水量。

預測臨界缺水量應用的方法如下：

1. 啟動乾旱操作規線：在未來預測的時期內，其累積缺水量（預測累積需水量減預測累積可供水量）大於預測臨界缺水量，則啟動乾旱規線，同時代表準備進入乾旱事件。
2. 停止乾旱操作規線：隨著乾旱事件末期入流量的補充，當累積缺水量小於臨界缺水量時，就恢復為一般操作規線，同時也代表乾旱事件已經結束，其為未來乾旱事件開始與結束的預測指標。

缺水指數

因水庫操作規線制訂為以旬為單位，因此考慮之時間單位為旬，即以每旬作為缺水情形的評估，旬缺水指數計算公式如下。

$$SI = \frac{100}{N} \sum \left(\frac{\text{旬缺水量}}{\text{旬計畫供水量}} \right)^2$$

其中 SI 即為缺水指數，而 N 為總旬數。將上一段產生的預測流量資料配合水庫水資源系統模式，可以計算每一組操作規線與預測臨界缺水量值所產生的缺水指數。預測流量資料配合水庫系統、操作規線與預測臨界缺水量值，計算缺水指數的運算過程，與過去單純採用歷史資料優選有所不同，需要在這裡提出說明。假設以旬為水

庫時間操作單位，氣象預測資料的預測長度為 10 旬，預測臨界缺水量為 CL。在該操作時期，首先以每旬為單位，循序的將預測流量資料配合水資源系統推估未來 10 旬以內的累積缺水量（需水量-可供水量）是否低於預測臨界缺水量 CL。當累積缺水量（需水量-可供水量）低於預測臨界缺水量，就採用乾旱時期操作規線，如果沒超過，就採用一般時期操作規線。以所採用的操作規線與歷史資料進行水資源系統模擬，會得到該旬的旬缺水量。下一旬開始則重新推估 10 旬內的未來累積缺水量，不斷的反覆之前的過程，一直到歷史資料結束，利用整個時期求得的旬缺水量與計畫旬需水量，即可求得在這一組解（預測臨界缺水量 CL 以及操作規線）的缺水指數。

遺傳演算法優選方法與水資源系統

在遺傳演算法的設定上，本研究實例的目標函數也就是合適度，為缺水指數最小，以旬為時間單位，即以每旬作為缺水情形的評估，旬缺水指數計算公式如下。其中 SI 即為缺水指數，而 N 為總旬數，本研究之平均旬計畫供水量在 90 萬噸上下，因此取其平均 90 萬噸作為旬計畫供水量進行計算。在水庫水平衡條件上，透過鯉魚潭水資源模擬模式(詳情請參考 Tung et al. (2001))，模擬系統內各水資源的供需，即可求出每一旬的缺水量，將其模擬時間累積後可以得到整個時期的缺水指數。進一步經過轉換可以為遺傳演算法的適合度。本實例的編碼方式為實數編碼；而選取方式為輪盤式選取法；交配方式採取基本之線性交配，即為將兩選取出之不同母代

之各變數，予以兩兩做線性內差，而交配機率為 100%；突變機率訂為 1%；除此外，其餘遺傳演算法的機制設定，如族群大小本研究設定為 150 組，一組解包括、演算代數設定為 200 代。

此外，為了配合實際水庫操作的可行性，在一般規線組方面，保持目前鯉魚潭水庫所公告的折扣供水方案，而乾旱規線採用更嚴格的折扣方案，以凸顯乾旱規線的作用。此次優選將供水折扣率設為定值，分別如下：一般規線組：下限與嚴重下限之間：85%，嚴重下限以下：70%。乾旱規線組：下限與嚴重下限之間：60%，嚴重下限以下：40%。

優選與驗證

本次研究採用 1969~1988 年 30 年的水庫入流量歷史資料為基礎，產生一組流量預測資料。將此預測流量資料配合水庫水資源系統模式，可以計算每一組解（操作規線與預測臨界缺水量值）模擬 30 年後所求得的缺水指數，即可給予遺傳演算法的合適度值。經過遺傳演算法，可以優選出最佳的一組解。

結果

優選出的一般時期操作規線如圖 3-11 所示，乾旱時期操作規線如圖 3-12 所示。將優選出來的解與目前鯉魚潭所公告的操作規線，以西元 1969~1988 年的歷史流量資料進行模擬，比較兩者的優劣。此次優選出的雙操作規線與缺水預警值應用於西元 1989~1988 年結果如下表 3-1。

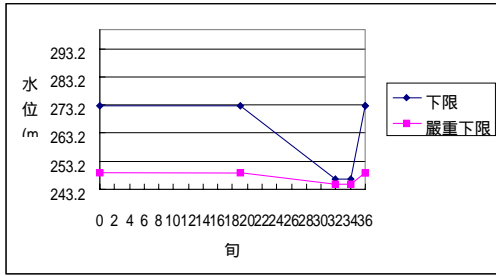


圖 3-11 優選出的一般時期操作規線

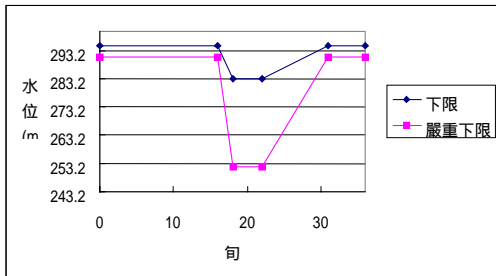


圖 3-12 優選出的乾旱時期操作規線

表 3-1 優選規線與公告規線之比較

總時期	雙規線 (缺水預警值-389.8CM)	公告規線
SI(旬)	6.58	13.92

結果顯示以新的兩組操作規線方式可以大量降低缺水指數，在未來累積缺水量（缺水預警值）為-389.8 立方公尺時，就建議開始採用乾旱規線。而從一般規線與乾旱規線圖中我們也可以看出兩規線下限與嚴重下限在水位上有極大的差距。如此也突顯出，一般時期可以採取比較寬鬆的操作規線。只有當預警系統發現乾旱可能發生時，才需要採取嚴苛的操作規線。此結果可以很明顯的說明本研究的一再強調的，在水庫操作過程中，應該針對一般正常時期與特殊乾旱事件，採用不同的操作方法。如此不但可以避免過渡的節水造成無謂的缺水損失，也可以針對特殊的缺水時期進行特殊的水量控制，更進一步的提高水資源運用效益。而此次研究所求得的

缺水預警值也反映出以目前預測技術，在有限的預測長度下，對於未來的預測缺水量，不能等到有缺水現象時才開始調整水庫操作方式。當然，每個不同的水資源系統，有不同的水文特性，但就本研究對象鯉魚潭水庫系統而言，其結果顯示 8 旬的預測長度搭配其預測誤差，必須在預測供水超過需水量低於 389.8 立方公尺時，就必須採取乾旱規線。

四、結論與建議

本研究為了利用長期氣候預報資料建立生態以及乾旱預警系統，分別建立了長期預報資料降尺度方法、櫻花鉤吻鮭生態預警系統以及水庫雙操作規線的乾旱預警與管理系統。

長期氣候預報資料乃利用 Bias Correction 的方法，建立大氣模式與地面測站之間的轉換關係。由結果顯示經過 Bias Correction 之後的大氣模式與地面測站之間的誤差變小，如此將能降低未來應用長期預報資料於生態與乾旱預警系統的不確定性。此降尺度方法建立之後，未來將可實際套用在已建立的生態與乾旱預警系統，並建立風險管理制度與方法。

生態預警系統乃以櫻花鉤吻鮭作為生態預警指標。建立櫻花鉤吻鮭族群模式並結合過去已完成的水溫模式，作為預警系統的評估模式。未來結合長期預報資料以及透過以建立的降尺度方法，將可即早預知可能發生危及櫻花鉤吻鮭的自然生態危機事件，並提出相關的預防措施與儘早準備。

利用遺傳演算法建立乾旱預警系統與水庫雙操作規線。在經過本研究

之闡述與實際驗證後，的確證明了以兩組規線方法操作水庫之可行性，結合了規線操作之簡便有效性與即時操作之時變隨機性，並達成了一般時期供水低折扣、有效控制嚴重缺水時期狀況與整體時期低缺水指數之種種優勢。在鯉魚潭水庫地區成功測試之後，未來進一步之工作為以其他地域再加以驗證其適用性，但相信由於本研究之水庫操作方法乃根據水資源特性之實質所發展，應可用於其他地域而無困難。

五、參考文獻

- Bradford, Michael J. and Irvine, James R., Land use, fishing, climate change, and the decline of Thompson River, British Columbia, coho salmon, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57: 13-16, 2000
- Cattaneo, Frank, Lamouroux Nicolas, Breil Pascal, and Capra Herve, The influence of hydrological and biotic process on brown trout (*Salmo trutta*) population dynamics, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, Vol. 59., 2002
- Chen, D. G., Hargreaves, N. B., Ware, D. M., and Liu, Y., A fuzzy logic model with genetic algorithm for analyzing fish stock-recruitment relationships, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57: 1878-1887, 2000.
- Forrest, S., Genetic algorithms: principles of natural selection applied to computation. *Science*, 261: 872-878, 1993
- Gen, M., and Cheng, R., Genetic Algorithms And Engineering Optimization. John Wiley & Sons, Inc, New York, 2000.
- Hamlet, A.F. & Lettenmaier, D.P., Columbia River Streamflow Forecasting Based on ENSO and PDO Climate Signals. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol.125, No.6, pp.333-341, 1999.
- Hamlet, A.F. Huppert, D. & Lettenmaier, D.P., Economic Value of Long-Lead Streamflow Forecasts for Columbia River Hydropower. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol.128, No.2, pp.91-101, 1999.
- Holland, J. H., *Adaptation in Natural and Artificial System*. Ann Arbor, MI: The University of Michigan Press, 1975.
- Shaw E. Al and Richardson John S., Direct and indirect effects of sediment pulse duration on stream invertebrate assemblages and rainbow trout growth and survival, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58: 2213-2221, 2001
- Tung, C. P., Pan, H. H., and Lee, T. Y. 2001. Modelling Climate Change Impacts on Stream Temperature for Taiwan Salmon's Habitat. *Modsim2001*, Canberra, Australia, December 10~13, 2001. pp.703~708.
- Wang, Q. J., The genetic algorithms and its application to calibrating conceptual rainfall-runoff models. *Water Resources Research*, 27(9): 2467-2471, 1991.
- Wardlaw, R., and Sharif, M., Evaluation of genetic algorithms for optimal reservoir system operation. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 125(1): 25-33, 1999.
- 曾晴賢，「櫻花鉤吻鮭族群監測與生態調查(二)」，內政部營建署雪壩國家公園管理處，1999
- 陳莉，『以物件導向之遺傳演算法優選水庫運用規線之研究』，國立台灣大學農業工程研究所博士論文，1995。