

應用氣候統計降尺度預報資料推估石門水庫入流量

韓宛容

簡均任

李明旭

國立中央大學水文與海洋科學研究所

摘要

水庫為台灣重要的水資源調配設施，也是幫助防範水文災害的重要緩衝器，近年來因為經濟蓬勃的發展導致民生與工業用水需求逐年遽增，石門水庫運用相當頻繁，造成相關管理單位之供水壓力尤其是乾旱時期大為增加，倘若能事先掌握未來入流量狀況，便能提供決策者進行供水操作決策與乾旱預警之參考。目前中央氣象局所提供氣候統計降尺度預報產品，為於每月月底預報未來五個月逐月雨量以及溫度狀態，本研究主要目的即為結合此預報系統，探討其可行之使用方法，並透過氣象資料產生器以繁衍未來五個月可能的日雨量及日溫度資料，投入水文模式進行集水區流量推估，進而提供流量機率預報資訊，且評估其經濟效益。本研究利用最大機率法則、機率加權法則兩種氣候統計降尺度預報產品取樣策略，以氣象資料合成模式(WGEN, Tung and Haith, 1995)繁衍水文模式所需之日溫度及日雨量資料，並以技術得分(RPSS、LEPS)評估流量機率預報能力，結果顯示兩種取樣策略皆有大於氣候預報之能力，其中以最大機率法則下有最佳的流量預報能力。在經濟效益評估中，無論是偏高或偏低區間中，皆是於6~10月有較廣的經濟效益範圍。

關鍵字：統計降尺度、氣候預報、石門水庫、流量預報

一、前言

石門水庫集水區為台灣北部地區重要的水庫，主要供應台北縣、桃園縣及新竹縣的用水，與這些地區農業的生產、工業的發展、人民的生活息息相關，水資源供需的失調往往造成這些地區的水旱災害，倘若能事先掌握未來入流量狀況，便能提供決策者進行供水操作決策與乾旱預警之參考。

本研究擬應用中央氣象局提供氣候統計降尺度之未來五個月逐月之溫度及降雨機率預報資訊，探討其可行之使用方法，透過氣象資料產生器以繁衍未來五個月可能的日雨量及日溫度資料，再運用水文模式進行集水區流量推估，最後以機率化方式呈現流量未來各區間(偏低、正常、偏高)可能發生之比例。

二、預報資料及研究區域

(一) 預報資料特性分析、使用方法

本文應用的預報資料為中央氣象局所發展氣候統計降尺度預報產品，是以 2 組大氣模式加上 2 組海溫預測，每個月上、下旬各 10 天的大氣觀測當初始場，每月均可提供 40 組模式預報，進而使用 SVD、EOF 兩種方法找出氣候模式之預報與台灣地區測站有比較好關聯的預報因子，做出 40 組氣候統計降尺

度預報，以進行台灣地區的雨量和溫度機率預報。關於氣候統計降尺度預報方法更進一步地詳細說明與意義可參閱胡志文(2008)。

本研究將採用 GSS(Gerrity Skill Score)、準確率(PC, Percent Correct)與可靠度圖(Reliability diagram)進行預報資料特性分析。整體而言，溫度和雨量於偏高、偏低兩區間準確率(PC)大致上皆超過七成，於正常區間預報準確率亦達四成五以上(圖 1)；圖 2 顯示無論是溫度或雨量之類別預報於不同預報前置期均有預報技術(GSS)，但隨著預報前置期增加，其平均值並無隨之漸減趨勢。由 Reliability diagram 來看(圖 3)，除了高溫和低溫預報於 70%以上的預報機率值有明顯低估外，大致上而言皆是具有可信賴度的，而比較不同預報前置期之可靠度圖分析結果，並無太大之差異。

綜觀上述分析，採用下述兩種取樣策略：由 GSS 和準確度分析結果顯示，溫度和雨量預報大致上皆有 0.5 以上之得分，比亂猜的可信度來的高，決定採用預報機率值最大之區間來進行氣象資料繁衍，即為最大機率法則；由可靠度圖分析結果中可以看出，各區間之機率預報值皆相近對應之歷史發生頻率(曲線接近於 45°度線)，表示預報機率值本身皆有相對發生之

可能性，決定以各區間預報機率值，當作對應各區間歷史氣象資料統計特性之加權數來進行氣象資料繁衍，即為機率加權法則。

(二) 石門水庫簡介

本研究以石門水庫集水區為研究對象，其位於龍潭鄉大漢溪中游上，水庫集水區橫跨桃園、新竹、宜蘭三縣。水庫集水面積 763.4 平方公里，最大常水位為 245 公尺，水庫面積為 8 平方公里，主要的降水時期為五月至十月，十一月至翌年一月則為枯水期。本研究選用了其中八個雨量測站，分別為鎮西堡、新白石、玉峰、巴陵、高義、石門、嘎拉賀以及霞雲站如圖 4 所示。

三、研究方法

(一) 氣象資料合成模式(WGEN)

研究中採用 1981 年至 2009 年之石門水庫集水區日溫度及日雨量資料進行分析，並區分 29 年各月之溫度及降雨情況屬分別於偏低、正常或是偏高中哪一個類別，將排序前九名之雨量(溫度)定義為偏高，後九名為偏低，中間十一名則設定為正常，接著分別分析各月份各類別溫度及降雨之統計特性，根據氣候統計降尺度預報資訊發佈未來五個月溫度及降雨各類別可能發生機率，結合上述兩種取樣策略，利用 Tung and Haith(1995)所發展之降雨及溫度合成模式為基礎之氣象資料產生器繁衍未來氣象資料，其繁衍方式說明如下。

1. 日溫度模擬模式

未來氣候條件下日溫度之模擬，由月平均溫度，透過一階馬可夫鏈做模擬，其方程式如下：

$$T_i = \mu_{Ts} + \rho_s (T_{i-1} - \mu_{Ts}) + V_i \sigma_{Ts} \sqrt{1 - \rho_s^2} \quad (1)$$

，其中 T_i 為第 i 天的溫度， μ_{Ts} 為為對應該月 s 類別之平均溫度， ρ_s 為該月份該類別 T_i 與 T_{i-1} 之一階系列相關係數。 V_i 屬於 0 到 1 之間的亂數， σ_{Ts} 為歷史資料對應該月份該類別之標準偏差。

2. 日降水量模擬模式

日降雨量之模擬，可分為降雨事件判別和降雨量。降雨事件判別以歷史降雨機率為演算依據，統計

各月中第 $I-1$ 日降雨時，第 I 日降雨的機率，表示為 $P(W|W)$ ；各月中第 $I-1$ 日不降雨時，第 I 日降雨的機率，表示為 $P(W|D)$ 。每月第一天，模擬產生(0,1)間之亂數 RN ，當 RN 小於或等於該月降雨機率 $P(W)$ 時，表示此日為降雨日；每月除第一日外，其餘日則利用前一日的降雨情形判定為降雨日或非降雨日，依照歷史資料之 $P(W|W)$ 或 $P(W|D)$ 的機率，若亂數 RN 小於或等於 $P(W|W)$ 或 $P(W|D)$ 時，判定該日為降雨日。

而降雨事件降雨量值之模擬，根據洪念民(1996)採用由指數分佈(Exponential distribution)可模擬出理想的氣候資料。指數分佈方程式如下：

$$P = \mu_{ps}(I) \times [-\ln(1 - RN)] \quad (2)$$

其中， P 為日降雨量(cm)， $\mu_{ps}(I)$ 為對應第 I 月份 s 類別雨天之平均降雨量(cm)， RN 為介於(0,1)間的隨機亂數。

(二) GWLF 水平衡收支模式

在水資源應用部分本研究採用 GWLF(Generalized Watershed Loading Functions, Haith et al., 1992)水平衡模式模擬集水區各水文量，該模式將地下含水層分為三層如圖 5。水平衡計算起始於降雨落至地表，部分降雨入滲到土壤中，另一部份降雨即形成地表逕流，直接流入河川，而過程中受到日照的影響會有蒸發散產生，使得部分水分會回到大氣中。當入滲量大於未飽和層之田間含水量時，過剩的水分會受重力影響滲漏至飽和層，最後從飽和層排出地下水出流量形成河川基流。藉由該模式之各模組的演算，便可分別推求集水區各水分子量，如蒸發散量 (ET_i)、地表逕流量 (Q_i) 及地下水出流量 (G_i) 等。各水文量詳細推估方式請參考林思達(2009)所述。

(三) 流量預報技術與評估方法

本研究仿效中央氣象局針對長期雨量、溫度機率預報方式，將對流量進行分區間之機率預報，此機率預報是利用偏低、正常以及偏高之出現機率方式來表示，其流量各區間之定義以累積機率方式作為探討。

1. 流量正常區間定義

偏高： $Q > 70\%$ ，對應於氣候分佈中最大的 30%；
正常： $30\% < Q \leq 70\%$ ，對應於氣候分佈中間的 40%；

偏低：Q ≤ 30%，對應於氣候分佈中最少的 30%。

其中，Q 為流量值，以 1981 年至 2009 年每個月之溫度及降雨情況屬分別於偏低、正常或是偏高中哪一個類別，將累積機率值 30%~70%間定義為正常範圍。

2. 技術得分

模擬流量以機率預報呈現，並評估此預報方法之技術得分，評估方法為 Ranked Probability Skill Score(RPSS)與 Linear Errors in Probability Space (LEPS)。

RPS 和 RPSS 計算公式如下(Wilks,2006):

$$RPS = \frac{1}{K-1} \sum_{m=1}^K (\sum_{j=1}^m f_j - \sum_{j=1}^m o_j)^2 \quad (3)$$

，其中 K 為觀測之分組組數（在本研究中，對於資料的事件分類，採取三等分法，偏高、正常與偏少則 K=3），m 則為模式之分類組數，通常與 K 相等。而 f_j 為第一組至第 m 組累積之預測機率； O_j 為第一組至第 m 組累積之觀測機率(命中區間機率為 1,其他區間機率則為 0)。

$$RPSS = 1 - \frac{RPS_f}{RPS_{ref}} \quad (4)$$

，其中“ref”為參考預報(reference forecast)，通常以氣候預報(climatological forecast)為代表，於本研究中，氣候預報機率為偏低 30%、正常 40%、偏低 30%，，RPS 最佳得分為 0，RPSS 最佳得分為 1。

LEPS 主要為對機率預報值命中與否給予一權重加減分，以量化預報技術優劣。Potts 等人於 1996 年研究發表中針對 LEPS 基本形式給予修正，修正前後之加權分數由表 1 可見，利用此一權重對機率預報值進行得分計算，LEPS%最佳得分為 100%。

表 1 LEPS 修正前後之權重值

LEPS 權重	Forecasts					
	修正前			修正後(Potts et al., 1996)		
Obs	A	N	B	A	N	B
A	1.0	0	-1.0	0.89	-0.11	-0.78
N	0	1.0	0	-0.11	0.22	-0.11
B	-1.0	0	1.0	-0.78	-0.11	0.89

Obs=觀測、A=偏高區間、N=正常區間、B=偏低區間

3. 經濟效益(Economic value)評估

潛在經濟效益(potential economic value)為建立在成本與損失比率(cost-loss ratio)基礎上的評估方法，於一固定事件 Y 下，當事件發生採取防護措施則有一成本 C，若無進行任何策略則事件造成一損失 L，同樣當事件 Y 沒有發生而實行防護則有一成本 C，若無進行任何行動則沒有花費為 0。並配合 2×2 列聯表(表 2)計算流量預報之 economic value 以達進行決策時最小的花費支出。

表 2 列聯表(contingency table)

		Observed		
		No	Yes	
Forecast	No	a	b	a+b
	Yes	c	d	c+d
		a+c=1- P_c	b+d= P_c	a+b+c+d=1

其中 P_c 即為選定評估事件之歷史發生機率，a、b、c、d 則為各情況發生機率，用以計算命中率(F)與誤報率(H)，計算式如下式所示：

$$H = d / P_c$$

$$F = c / (1 - P_c) \quad (5)$$

根據上述之定義進而計算流量預報之 economic value，計算公式如(6)式所示(Muluye,2011)：

$$EV = \frac{\min(k, P_c) - F(1 - P_c)k + HPc(1 - k) - P_c}{\min(k, P_c) - Pck}, \quad (6)$$

$$k = C / L$$

其 EV 最佳效益值為 1，若等於或小於 0 代表無預報技術。

四、結果與討論

(一) 不同取樣策略之流量模擬結果

本節結合氣候統氣降尺度預報系統針對石門水庫入流量進行模擬之分析，並以最大機率法則(Max Prob)、機率加權法則(Weight Prob)兩種取樣策略進行比較，比較不同水文年之流量模擬結果。

當雨量預報最大機率區間與實際流量相同時，最大機率法則有較多的繁衍資料比例落於實際流量發生區間中，而機率加權法則於不同水文年之六月至十月流量模擬結果，其繁衍資料的比例大部分皆落於正

常區間中(圖 6)。由技術得分結果顯示，於機率加權法則得分中，以偏低和偏高區間分數較低，而在正常區間則有較高之得分，主要是因為機率加權法則針對六月至十月預報時，只能繁衍出大部分的流量組數於正常範圍中，較無能力針對偏低區間做出預警；於最大機率法則中，針對各區間皆有大於氣候值機率預報的得分結果，以三區間平均值來看，兩種取樣策略於各種技術得分皆顯示有高於氣候值機率預報的能力，其中以最大機率法則有最高之得分(圖 7)。

(二) 流量預報之經濟效益

本節採用十二月底預報未來一月至五月、五月底預報未來六月至十月之歷史 29 年氣候統計降尺度預報資料，以最大機率法則(Max-)取樣策略針對 1981 年~2009 年石門水庫入流量進行模擬。

技術得分結果顯示：偏低區間有較高的得分、偏高區間則是最低分，特別於 RPSS 評估中有低於氣候值機率預報之得分結果(圖 8)；於各月份得分結果可看出，除了四月和九月有比氣候值機率預報還差的得分外，其他月份皆顯示有高於氣候值機率預報之預測能力(圖 9)。

經濟效益針對歷史入流量落於偏低區間，和歷史入流量偏高區間定義為事件發生。以偏低區間結果來看，於 6~10 月有較 1~5 月廣的經濟效益範圍(圖 10)；以偏高區間結果顯示，同樣以 6~10 月有較廣的經濟效益範圍，且較高的經濟效益值(圖 11)。若當預報雨量、溫度區間完全命中(Hit-)下，模擬結果則有明顯的改善(圖 10、圖 11)。

五、結論與建議

本研究結合氣候統計降尺度預報產品透過氣象資料合成模式(WGEN) 繁衍日溫度及雨量資料，並依此繁衍之溫度雨量投入水文模式中模擬石門水庫入流量，進而推估流量之機率預報和定量預報，本章節主要討論依據氣候統計降尺度預報對石門水庫入流量的模擬結果：

1. 評估氣候統計降尺度預報能力結果顯示雨量預報的準確度較溫度佳，兩者 GSS 皆有 0.5 以上之得分，有高於氣候值機率預報之能力，而越近的預

報前置期不一定有較高的得分，顯示不同 Lead time 對此組產品預報能力並沒有太大的關聯。

2. 模擬不同水文年之技術得分結果皆顯示，最大機率有較高的預報能力，其得分高低以雨量機率預報命中與否為最大影響要素。
3. 經濟效益評估中，無論是偏高或偏低區間中，皆是於 6~10 月有較廣的經濟效益範圍，若當預報雨量、溫度區間完全命中(Hit)下，模擬結果則有明顯的改善。
4. 目前氣候統計降尺度預報系統若針對偏低、偏高區間發布預警，皆有七成五以上的準確率，但相對也有六成的 miss rate (事件發生但無發布預警)，因此未來若能降低失誤次數，相信將可提升本研究流量預報技術。

參考文獻

- 胡志文，蕭志惠，童雅卿，任俊儒，鄭凱傑，黃文豪，施宇晴，施景峰，莊穎叡，賈愛玫，2008，中央氣象局動力統計氣候預報系統簡介，天氣分析與預報研討會。
- 林思達，2009，改良 GWLF 模式應用於翡翠水庫入流量模擬，中央大學水文與海洋科學研究所碩士論文。
- 童新茹，2011，結合季長期天氣預報與水文模式推估石門水庫入流量，中央大學水文與海洋科學研究所碩士論文。
- 經濟部水利署水文水資源資料管理供應系統網站 <http://gweb.wra.gov.tw/wrweb/>。
- Muluye, G.Y., 2011. Implications of medium-range numerical weather model output in hydrologic applications: Assessment of skill and economic value. *J. Hydrology*. 400, 448-464.
- Potts, J.M., Folland, C.K., Jolliffe, I.T., Sexton, D., 1996. Recised LEPS scores for assessing climate model simulations and long-range forecasts. *J. Climate*. 9, 34-43.
- Wilks, D.S., 2006. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press. Elsevier. Amsterdam. 627 pp.

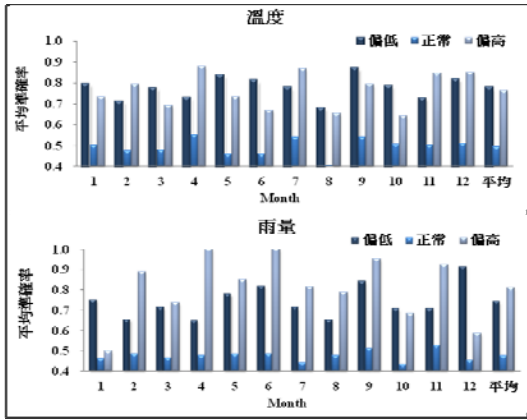


圖 1 溫度及雨量預報準確率(PC)

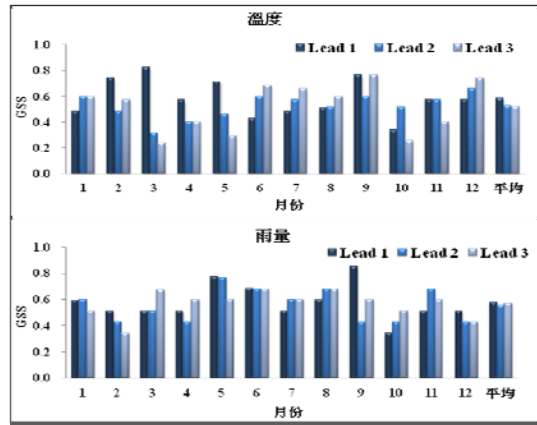


圖 2 溫度及雨量預報 GSS 得分。Lead time = 預報前置期

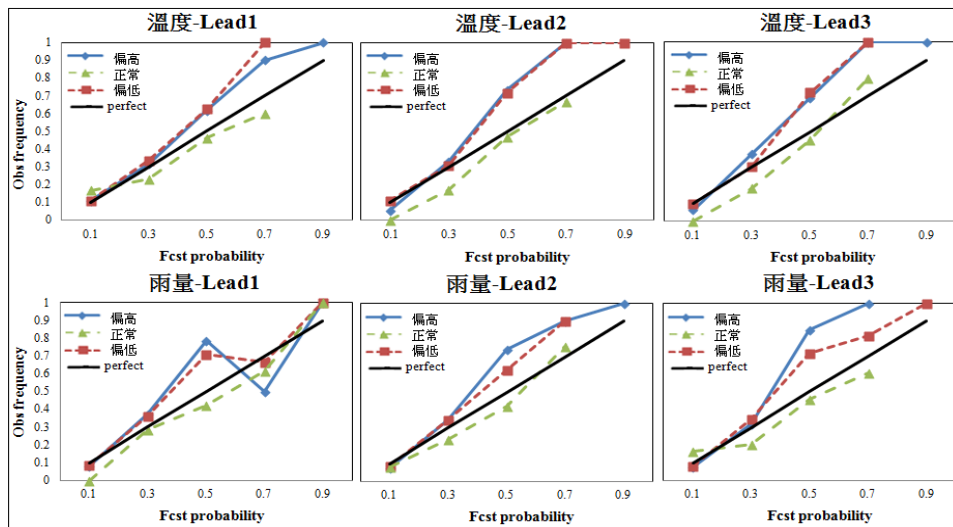


圖 3 溫度及雨量預報可靠度圖(Reliability diagram)。Lead time = 預報前置期

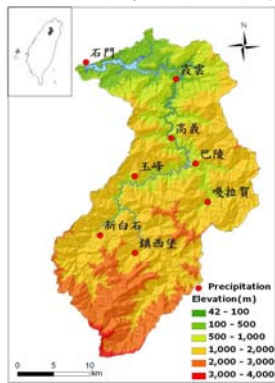


圖 4 石門水庫集水區(圓點表示本研究採用之雨量站)

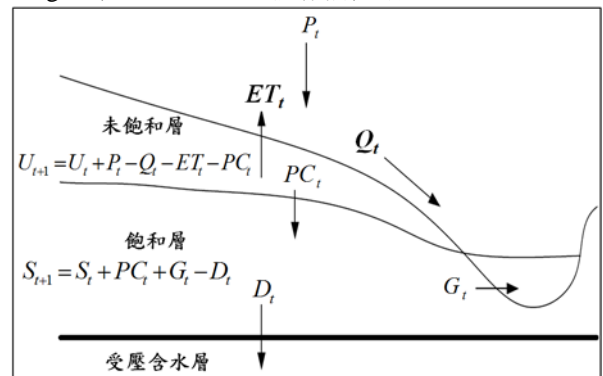


圖 5 GWLF 水平衡示意圖 (摘自 林思達, 2009)

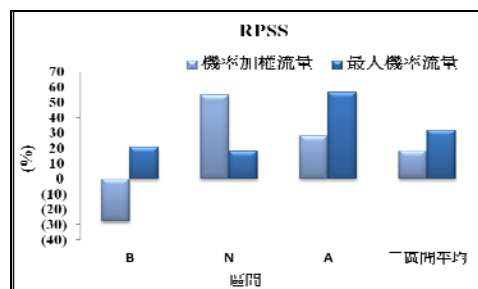
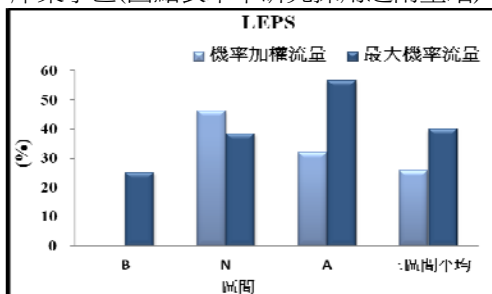


圖 7 最大機率、機率加權法則之流量機率預報技術得分

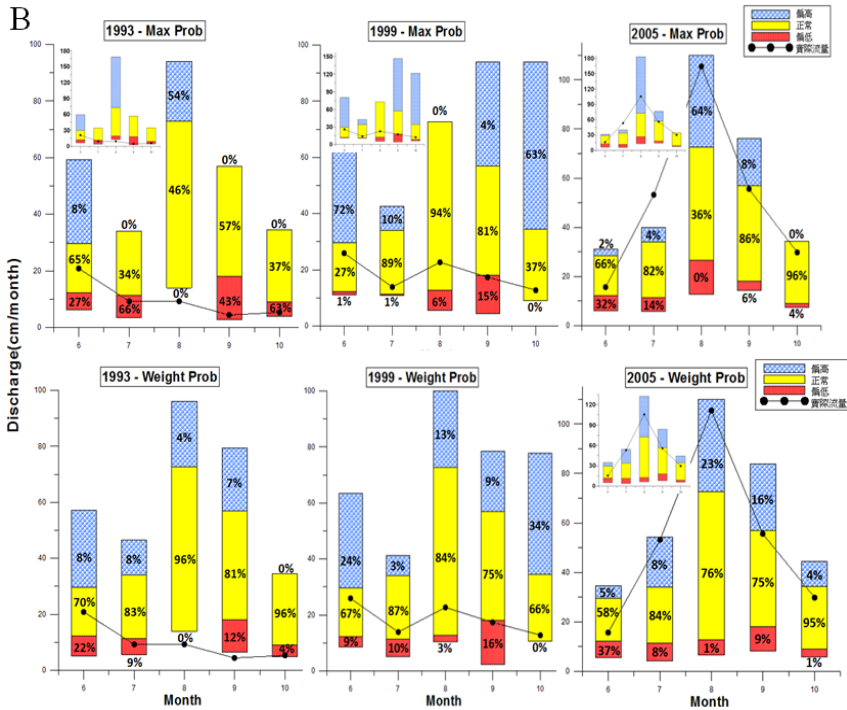
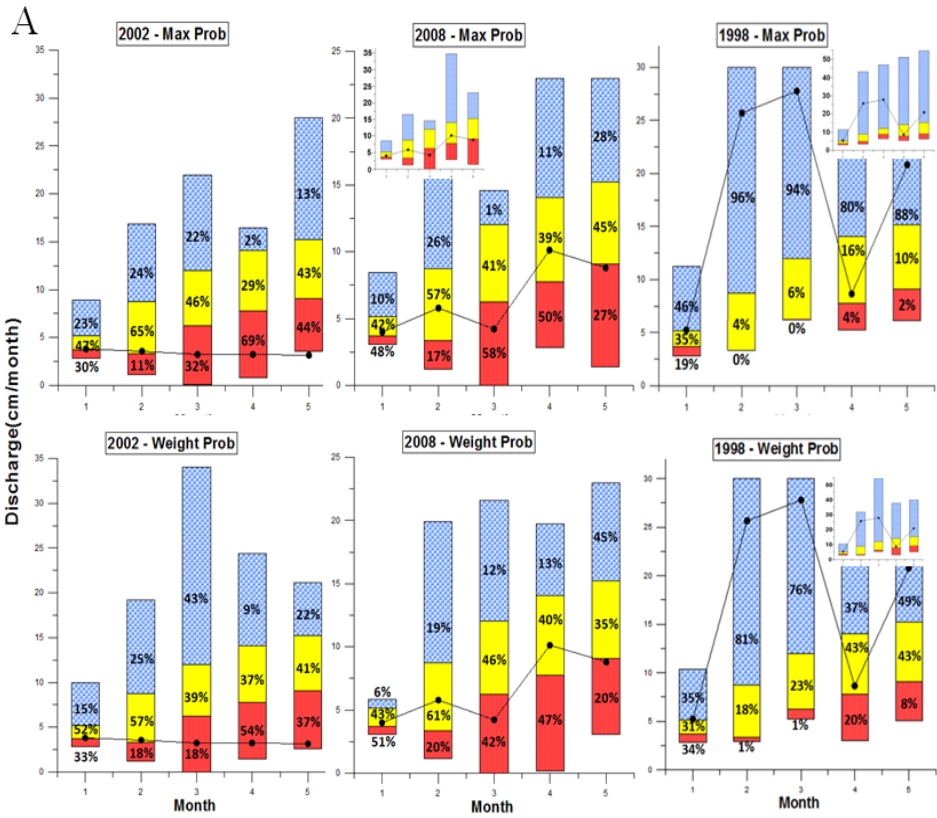


圖 6 最大機率(上)、機率加權(下)法則於(A)1~5 月流量機率預報，偏低年:2002、正常年:2008、偏高年:1998。(B) 6~10 月流量機率預報，偏低年:1993、正常年:1999、偏高年:2005。

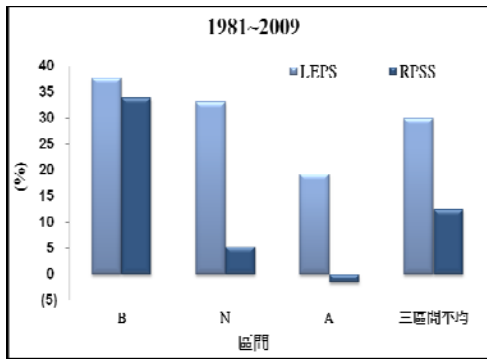


圖 8 30 年流量機率預報之各區間技術得分

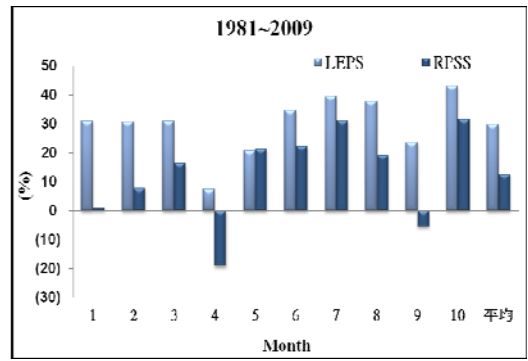


圖 9 30 年流量機率預報之各月份技術得分

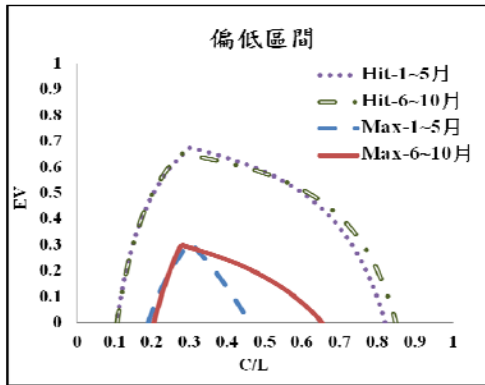


圖 10 偏低區間之經濟效益

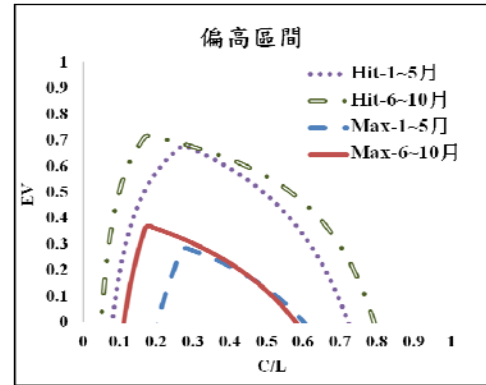


圖 11 偏高區間之經濟效益