

# 水庫集水區季節降雨推估系統

林士堯、劉俊志、朱吟晨、朱容練、蘇元風、陳韻如、陳永明  
國家災害防救科技中心

## 摘要

國外的乾早有長期持續多年的情形，其背後往往與氣象上大尺度系統的影響有關，這樣的關聯性相對較容易分析；反觀台灣的地理位置因素，降雨多寡的影響，通常與短期氣候系統有關，此時季節預測的能力高低就顯得格外重要。然而，副熱帶地區的季節可預報度不如熱帶地區高是全世界氣候模式共通的特性，若要在季節尺度上進行台灣乾旱議題之應用研發，將無法只是仰賴季節氣候模式的預測結果即可完成，勢必輔以相對應之背景場分析方能達成。

有鑑於此，本研究利用奇值分解法(Singular Value Decomposition；簡稱SVD)之統計降尺度技術，結合氣象局以及國際氣候中心之氣候模式預測資訊進行水庫集水區之降雨預測，並且發展氣象預報因子以反映大尺度氣候場的次季節演變情形，針對未來三個月之台灣氣象以及水庫集水區水情，建立概念模式及提供分析結果，以作為水資源管理時之參考。

本研究分為二個部分，分別為氣象局氣候模式之分析及驗證以及石門水庫集水區水情預測資訊之產製。我們以氣象局的即時預測模式資料進行水庫集水區降雨與流量模式之串接工作，最後則是延伸到可供水日數之推估。

關鍵字: 水庫集水區、春季乾旱、統計降尺度

## 一、前言

乾旱是一種緩慢漸進式非即時性的災害，難以做明確的判斷，從廣義的觀點上來說就是降雨的匱乏，也就是氣象上的乾旱，針對這點，因應世界各國不同的地理環境條件，對於乾旱有著不同的定義；例如美國對乾旱的定義為 48 小時內降雨未達 2.5 公厘，在英國則是連續十五天雨量未達 0.25 公釐，位於熱帶地區的峇厘島若連續六個月沒有降水才稱為乾旱，對台灣而言，連續二十天降雨均未達 0.5 公釐，

且累積降雨量未達同期平均之 60%或是三十日的累積降雨量低於同期間第一個十分位值，即視為乾旱(chen. et al., 2013)。從狹義的觀點來看，乾旱亦可區分為氣象乾旱、農業乾旱以及水文乾旱等(WMO, World Meteorological Organization, 2006)，氣象乾旱即先前所提到以降雨量為主要的指標，農業乾旱還需考量到作物的生長，因此指標包含了土壤的溼度，而水文乾旱則是以地表逕流及地下水體的含量等做為指標。

台灣降雨特性在區域上的分布是相當不均

的，且乾濕季分明，從秋季到隔年春季為乾旱的好發期。(chen. et al., 2011)當乾旱發生時，短缺的水資源對於不易蓄水的台灣地理環境影響是極大的，首當其衝的就是農業，農業因為需水量大，在水庫蓄水量不足的情況下，就必須以停灌休耕的方式將水資源分配到民生及工業用水上，造成農業上的損失，此情況在一期作的春季尤其嚴重，因此，若能提前預期乾旱的情況，及早對水庫的水資源進行分配調度，就能減少農業損失，進一步評估災害的影響程度和衝擊。

本研究以石門水庫集水區為示範區，嘗試從氣象局的 62 組模式進行降尺度後，將結果介接到水文模組及水庫供需模組，進而推算出水庫供水日數，達到提前預警的目的。

## 二、 資料與方法

為了能夠對水庫集水區的降雨進行推估，勢必得使用模式資料，所以本研究使用中央氣象局的全球海氣模式後報(hindcast)資料，分別使用兩種不同的海溫設定 cfsr\_csfv2sst 以及 cfsr\_opgsst(以下簡稱為 CSF 以及 OPG 模組)，作為氣候模式的邊界條件，依照不同的初始時間(Jan01-Jan31)各有 31 個系集成員，共 62 組模式資料，模擬時間為 1982 年至 2011 年，時間挑選其中的 1982 年至 2009 年間共 28 年，解析度為  $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ ，變數則挑選其中的 200 百帕的東西向風場作為預報的氣象指標研究。

在比對模式大尺度環流特性時，使用美國 National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research(NCEP/NCAR)的全球網格月解析重分析資料(Kalnay et al., 1996) (簡稱 NCEP/NCAR Reanalysis 資料)，包含各標準層風場、比濕及水氣通量...等，其空間解析度為  $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ 。

臺灣地區的降雨觀測資料是使用 1982 到 2009 年間二月至四月，臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫(Taiwan Climate Change projection and Information Platform: 簡稱 TCCIP)所產製的臺灣地區 5 公里網格解析度之月降雨觀測資料。

為了達成月到季的降尺度預報技術，運用 SVD

統計降尺度方法(奇值分解法; Singular Value

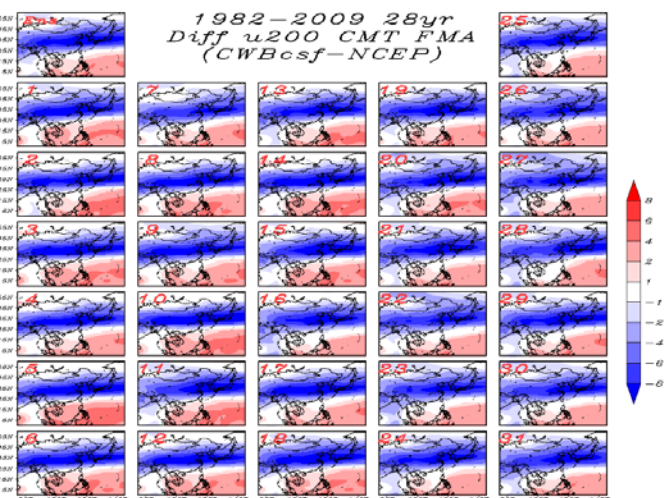
Decomposition)之降尺度技術(Chu et al., 2008)，結合氣象局模式資料及 TCCIP 5 公里網格解析度的觀測資料，將網格解析度降到 5 公里，以不同定義範圍的氣象指標變化趨勢，做為集水區降雨的區域變化特徵所進行的降尺度技術。

將經過降尺度計算後所得出的北台灣地區月總雨量，利用Wgen(Richardson. et al.,1984)技術根據集水區範圍內過去歷史的日降雨統計特性反衍成日降雨資料，再介接到水文模組GWLF(Generalized Watershed Loading Functions, Haith and Shoemaker, 1987)，把日降雨資料轉換成集水區的河川流量、地表逕流及地下水含量等，最後再換算成水庫入庫流量，輔以過去的同期用水量紀錄以及目前的水庫蓄水量即可換算出水庫供水日數。

## 三、 結果分析

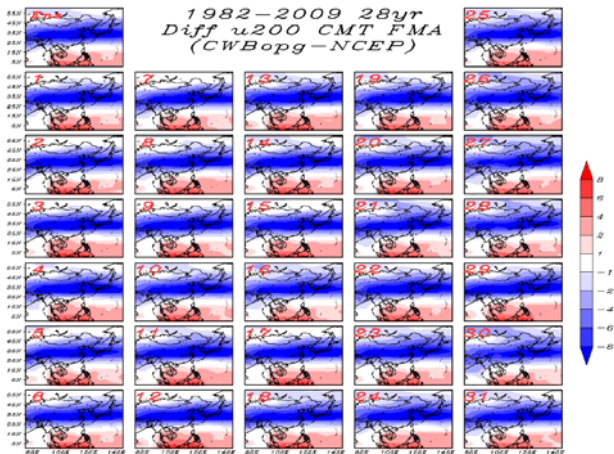
### (一)氣象局模式分析

為了瞭解推估的成效，得先評估模式對大尺度環流場變化的掌握程度如何，因此我們首先對 62 組模式在春季的模擬進行比對，圖一為 CSF 模組資料和 NCEP 資料的氣候值差異，由圖中可知 CSF 模組在北緯  $20^{\circ}$  到  $40^{\circ}$  之間的西風帶是普遍低估的，而在西南太平洋的副高位置一直延伸到中南半島之間則是高估的情況，系集成員之間的差異不大。



圖一、CSF 模組和 NCEP 資料 U200 的 28 年氣候值差異量分布。

同樣在另一個 OPG 模組與 NCEP 資料的氣候值差異上，如圖二所示，與 CSF 模組相同的是在中緯度地區有普遍低估的情況，從系集平均中可得知，低估的範圍甚至延伸到了部分高緯度地區，而在低緯度地區同樣存在有高估的情況，由系集平均可知高估最多的區域是在南海靠近赤道的部分，而系集成員間的差異也不明顯。



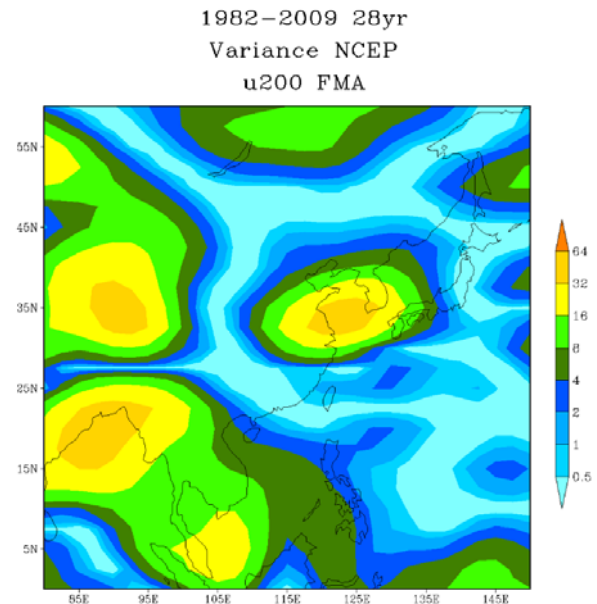
圖二、OPG 模組和 NCEP 資料 U200 的 28 年氣候值差異量分布。

藉由氣候值差異的比較可以得知模式對大尺度環流的掌握狀況，從兩模組和觀測資料的比較可發現在中高緯度及低緯度地區的模擬上是比較有明顯的誤差，而台灣所在的區域則是相對誤差較小的位置，即對台灣而言模式的準確性是高的。

若從模式和觀測的逐年距平變化來比較，從 NCEP 資料 28 年的 U200 逐年距平分布，其中在 1983 年及 1992 年在北緯 25° 的南北方向有明顯的正負距平差(25° 以北有負距平，以南則是正距平的訊號)，而在 1990 年、1999 年、2001 年、2006 年及 2008 年則是反向(北緯 25° 以北有正距平，以南則是負距平的訊號)的正負距平差。然後以同樣的方式來檢視模式是否有模擬到相同的訊號，在 1983 年及 1992 年也有相同南方正距平，北邊負距平的訊號，但訊號的強度沒有觀測值明顯，且在 1993 年、2002 年及 2007 年卻與觀測不同有出現訊號；在 1999 年、2001 年及 2008 年中反應出反向的訊號，但是在 1990 年及 2006 年則是顯示相反的訊號。同樣在 OPG 模組中可以看到在 1983 年和 1992 年亦有相同但較微弱的訊號，與觀測不同的是在 1990 年、1998 年及 2007 年也都有出現北負南正的訊號；反向訊號的年

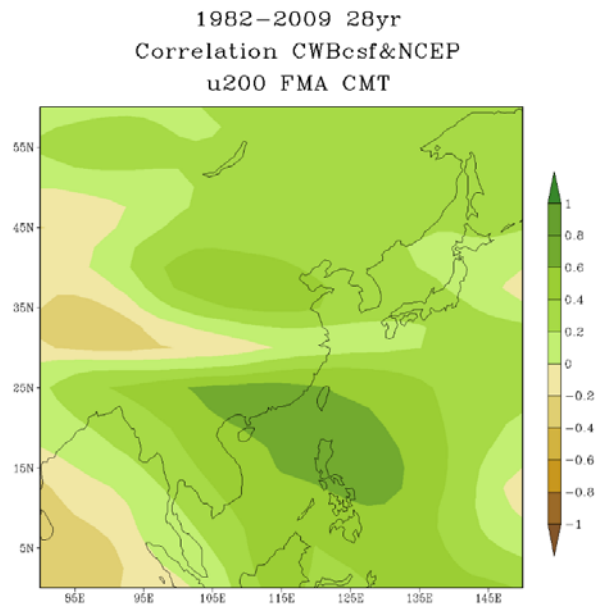
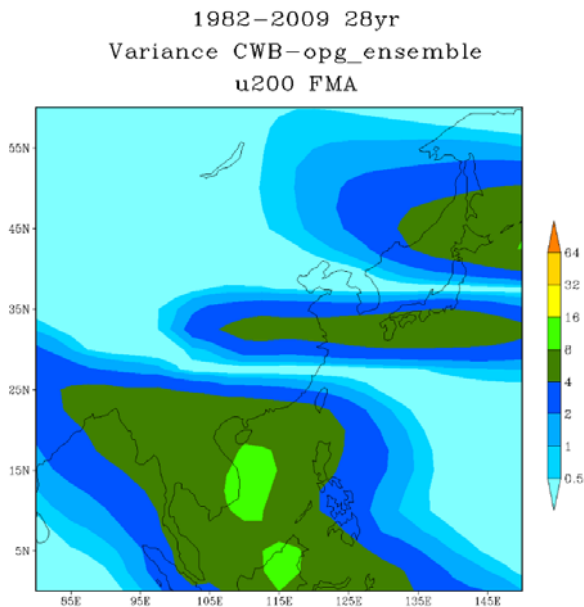
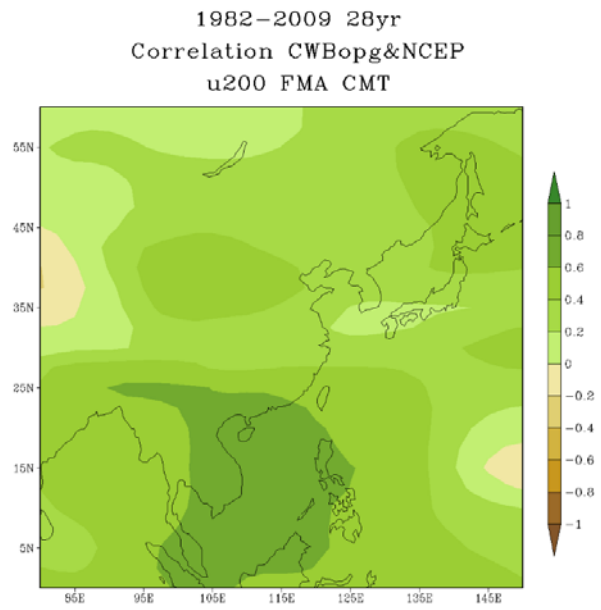
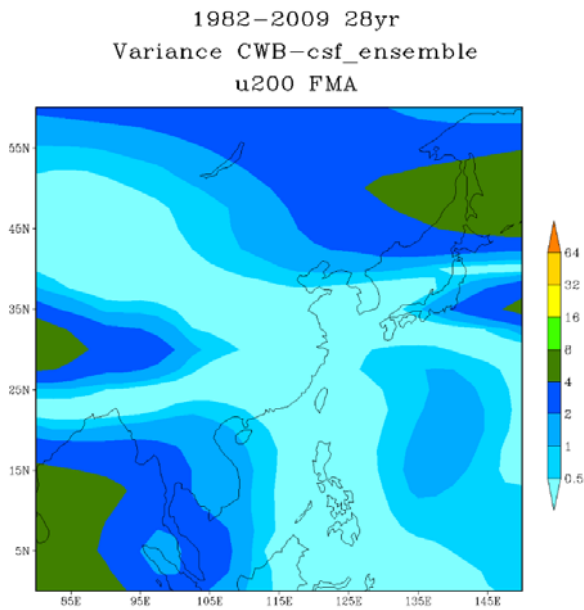
份只有 2001 年比較明顯，其他年份都不明確。

接著進一步以變異量來比較觀測在 28 年內變化最明顯的區域位置在模式中是否有掌握到。圖三為 NCEP 觀測資料 28 年的變異量分布，圖中訊號最明顯的區域分別位於東海、青藏高原、中南半島以及孟加拉灣等地。



圖三、NCEP 觀測資料在 1982 年~2009 年的變異量分布。

同樣比較兩模組系集平均的變異數分布，在圖四可看到訊號相同的位置只有在青藏高原的區域，而且變異量明顯呈現低估的情況。在 OPG 模組的系集平均則是在東海和中南半島有相同且明顯的訊號，變化量同樣是相對低估。



圖四、CSF 模組及 OPG 模組系集平均在 1982 年~2009 年的變異數分布圖。

圖五、CSF 模組及 OPG 模組系集平均和 NCEP 資料的相關性分布。

從逐年的距平分析可得知模式對大尺度環流場逐年的變化趨勢掌握程度，由先前的比較可知模式對大尺度的訊號的掌握程度並沒有很好，因此要了解台灣附近的模擬程度，則需計算模式和觀測的相關性分布。下圖五為 U200 28 年的 CSF 模組和 OPG 模組系集平均和 NCEP 的相關係數分布，由圖可知，台灣附近的相關係數可達 0.6~0.8 之間，表示 CSF 模組對台灣周遭的東西向風場變化有一定的掌握能力。同樣的在 OPG 模組可知相關性最好的區域在南海一帶，相關係數可達到 0.6~0.8 之間，台灣區域附近是相對較低的，只有 0.4~0.6 之間。

## (二)SVD 統計降尺度方法

首先運用 Empirical Orthogonal Functions (EOFs) 重建時間序列區域雨量站和大尺度變數的資料，然後以 SVDA 解析區域降雨與大尺度變數耦合的問題，方法如下：

$$Z_{predictor}(t, x) = \sum_{i=1}^m U_i(x) S_i(t) \quad (1)$$

$$Z_{predicta}(t, x) = \sum_{i=1}^m R_i(x) K_i(t) \quad (2)$$

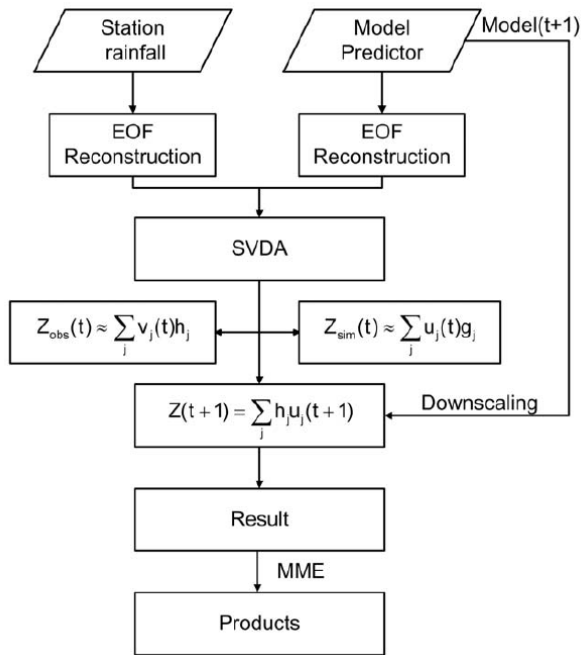
$U_i(x)$  和  $R_i(x)$  分別為奇值向量的預報因子及預報參數；

$S_i(t)$ 和 $K_i(t)$ 分別為預報因子及預報參數第 $i$ 個SVD模式的時間序列的放大係數。最後運用不同的模組資料可以得到降尺度的結果，方法如下：

$$S_i(t+1) = \sum_{j=1}^m Z_{predictor}(t+1, j)U_i(j) \quad (3)$$

$$PRJ(t+1, x) = \sum_{i=1}^m S_i(t+1)R_i(x) \quad (4)$$

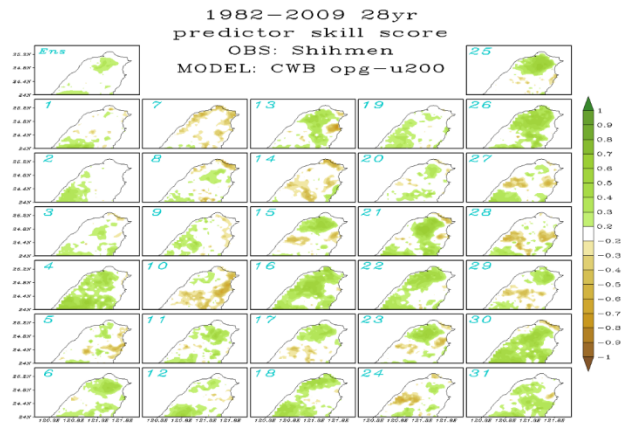
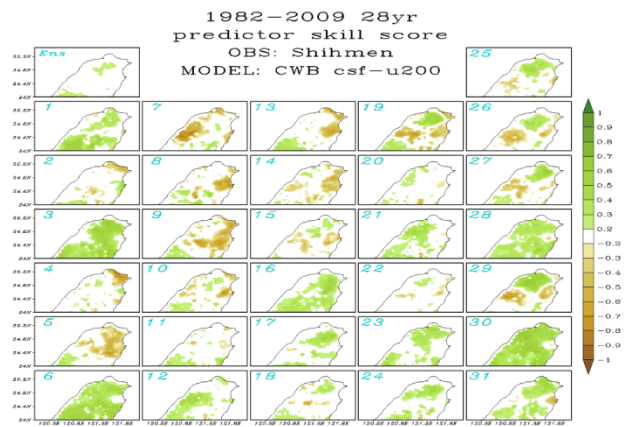
$PRJ(t, x)$ 代表降尺度的投影； $n$ 代表 SVD 模式總次數。



圖六、SVD 統計降尺度流程圖。  
(詳細降尺度方法詳見 Chu. et al.,2008)

### (三)降尺度結果

將經由統計降尺後所得到的北台灣降雨分布，與 TCCIP 觀測資料計算相關係數，可得到下圖七，從圖中可發現不同模式不同系集成員間的相關性分布皆有不同，即使在相同模式中，不同系集成員間的差異明顯，導致系集的相關性不明顯，應嘗試其他變數或選取不同區域在做進一步測試。



圖七、統計降尺度輸出 CSF 模組資料及 OPG 模組資料與觀測資料的相關係數分布。

## 四、 結語

經由本研究的方法，可以有效利用 GCM 模式及觀測資料進行降尺度，達到降雨推估的目的，之後將更進一步介接水文模組及水庫供需模組，得出水庫供水日數的估計值，作為水庫水資源分配的參考指標之一。

分別從氣候值及逐年距平分析，可以得知模式在掌握大尺度環境場的能力，其中在中高緯的 U200 是呈現低估的訊號，而在低緯則是相對高估的情形。逐年距平分析則顯示模式對個別年份的距平訊號掌握能力尚有不足。變異量分析的目的在於找出春季受到鋒面影響而有顯著變動的區域，而分析結果顯示 CFS 模組比較無法掌握到東海區域的變動，而 OPG 模組有模擬該區域的訊號，但是相對比較微弱。相關性分析可以得知模式對局部區域變化趨勢的掌握能力，結果得知 CSF 模組對南海及中南半島區域的變化有較好的掌握度，而 OPG 模組則是在台灣上方、巴士海峽及部分華南地區的模擬掌握程度最好。

根據以往的研究指出，臺灣的乾旱發生頻率平均每十年會有一次大旱，二至三年會有一次小旱，其中發生次數最多的縣市分別在北台灣的台北、桃園、新竹以及中南部的嘉義和台南，春季尤其是乾旱的好發期，且因為正值一期作的農耕時節，所造成的災損也遠多於二期作，因此，若是能提前對水庫集水區的降雨進行預報，就能藉由水資源的調度分配，有效降低災害的衝擊以及損失，達到預警的效果。

## 參考文獻

- 朱容練、陳永明、林士堯、朱吟晨，2013。月到季降雨預報統計降尺度技術發展，國家災害防救科技中心技術報告。
- 吳宜昭、黃柏誠、朱容練、張振璋，2012。2011/2012 年臺灣春雨及環流特性之比較，101 年天氣分析與預報研討會論文彙編,319-322。
- 陳韻如、朱容練、魏曉萍、陳品好、黃柏誠、游保杉，2011。台灣地區歷史乾旱特性與脆弱度之分析，國家災害防救科技中心技術報告。
- 陳韻如、董孟杰、劉俊志、朱容練，2012。歷史農業乾旱特性與水稻災損統計評估。
- 陳韻如、劉俊志、蘇元風、陳永明、林李耀、葉克家
- 陳韻如、王安翔、林士堯、劉俊志、朱吟晨、朱容練、陳永明，2013。台灣重大乾旱事件分析-以 2002/2004 年為例，國家災害防救科技中心技術

報告。

- Chu, J.-L., H. Kang, C.-Y. Tam, C.-K. Park, and C.-T. Chen (2008), Seasonal forecast for local precipitation over northern Taiwan using statistical downscaling, *J. Geophys. Res.*, 113, D12118, doi:10.1029/2007JD009424.
- Haith, D.A. , and L.L. Shoemaker, 1987. Generalized Watershed Loading Functions for Stream Flow Nutrients. *Water Resources Bulletin*, 23(3), pp.471-478.
- Jiang, Zhihong, G. T.-H. Chen, and M.-C. Wu, 2003: Large-scale circulation patterns associated with heavy spring rain events over Taiwan in strong ENSO and Non-ensO years. *Monthly Weather Review*, 131 (2), 1769-1782.
- Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, A. Leetmaa, B. Reynolds, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, R. Jenne, D. Joseph, 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-472.
- Phelps, M. W., A. Kumar, J. J. O'Brien, 2004: Potential predictability in the NCEP CPC dynamical seasonal forecast system. *Journal of climate.*, 3775-3785.
- World Meteorological Organization, 2006: Drought monitoring and early warning: concepts, progress and future challenges. WMO-No. 1006, ISBN 92-63-11006-9.