

# 臺灣不降雨日趨勢分析

陳圭宏 鄭月娥  
中央氣象局

## 摘要

選取臺灣環島 7 個局屬平地氣象站和 1 個外島氣象站(澎湖)之 1 至 3 月每日雨量資料，進行 1950-2007 年共 58 年之不降雨日數的線性趨勢分析，結果每個氣象站之不降雨日都呈增加趨勢，其中有恆春、花蓮及台東等 3 個氣象站通過 95%可信賴機率檢定。而這種不降雨日的增加趨勢，主要是由第 2 階段時期(1979-2007 年)之不降雨日明顯的增加所致。1 月至 3 月是強東北季風季節，迎風面的基隆、花蓮之不降雨日相對較少，而背風面的台南、恆春相對較多，但較多不降雨日的台南和恆春之標準差反而小，顯示其不降雨日數較穩定，年際變化小；而基隆和花蓮雖有較少的不降雨日，卻有較大的年際變化，這現象使得對水資源規劃困難度較高。

由馬可夫晴雨天矩陣，可直觀看到天氣系統的持續性，晴天後晴天，雨天後雨天的機率都比較大。再由串連數(Run)檢定晴天、雨天出現的隨機性，除了恆春氣象站由於雨天後雨天的持續性不足，沒有通過 95%的持續性檢定外，其他氣象站都強烈拒絕晴天、雨天隨機出現的假設。

恆春、台東、花蓮之連續 10 天以上不降雨日事件，於第 2 階段時期大幅增加。台中、台南、恆春、澎湖等冬季不易降雨的氣象站，其連續 20 天以上不降雨日事件的次數也都一致增多，隱含乾旱發生的機會增加。

關鍵字：不降雨日、線性趨勢、馬可夫矩陣、串連數

## 一、前言

聯合國官方文獻曾預測到2050年全球人口將超過100億人，屆時將有20%的人口會面臨缺水問題。聯合國氣象組織(WMO)和環境規劃署(UNEP)也警告，除非找到全球性的解決方案，否則水資源匱乏問題，將成21世紀的災難，部分地區可能引發「水的戰爭」，所以水資源問題將越來越重要。臺灣隨著工商業發展，國民生活品質提升，需水量大增。又經濟活動增多，集水區濫墾情況嚴重，不僅破壞水土環境及水源涵養能力，且污染水源水質，因此臺灣未來水資源供應也將會越來越緊迫。分析百年來臺灣的雨量趨勢無顯著變化(李，2007)，但降雨日的減少趨勢卻有顯著性(陳，2003)。臺灣有中央山脈地形特徵，河流短且坡度大，雖有大雨量降水，大部分的雨水都急速流往大海，很難留住有效利用。反而如果遇到比較多天的不降雨，旱災發生的機會就大增。因為每年1月至3月是臺灣地區由南到北第一期稻作插秧時期，需水較殷切。雖然目前大部分地區已都有水庫調節供水，正常氣候情況下，供水不成問題。但仍然會發生前一年的夏季降雨不足，再歷經10月至12月的枯水期，水庫的水資源就顯得很緊迫，插秧時期常迫切期待即時雨來解決缺水窘境，如果期待落空，常要宣布休耕措施。所以本文

先嘗試分析1月至3月之不降雨日數，是否有隨全球溫暖化而跟著變化的趨勢。

## 二、資料處理

選取臺灣環島7個局屬平地氣象站(台北、台中、台南、恆春、台東、花蓮、基隆)及1個外島局屬氣象站澎湖。其每日雨量資料取自本局第三組的氣象資料庫，年份自1950年至2007年共58年。

根據氣象局降雨日的普遍定義為日降雨量達0.1毫米(含)以上的日子。反過來說，不降雨日定義為日降雨量小於0.1毫米的日子，不過不降雨日的定義仍可隨著研究需要調整定義的量，本文中如果無特別說明，直接使用廣泛日雨量小於0.1毫米的日子為不降雨日。

## 三、結果與討論

表1顯示，1950年至2007年1月至3月之不降雨日數趨勢分析，8個氣象站的斜率(b1)都是正值，表示1950年至2007年1月至3月之不降雨日，每個氣象站都呈增加趨勢。由趨勢檢定看出有恆春、花蓮及台東3個氣象站達99%以上的可信賴機率，表示此3個氣象站不降雨日在此段時期，增加的趨勢明顯，有通過95%可信賴度的統計檢定。另外，由平均值及標準差的數值，1月至3月90天當中，以台南平均75.47天

不降雨日最多，恆春71.36天次之；基隆的30.59天最少，花蓮的42.12天次之，彰顯出1月至3月強東北季風季節，所造成背風面和迎風面的不降雨日明顯差異。又台南和恆春雖有較多的不降雨日數，但其標準差(6.63和6.87)卻相對的小，表示其不降雨的氣候型態相對穩定，年際變化小。反而基隆和花蓮較少的不降雨日數，卻有相對較大的標準差(9.54和9.09)，顯示其不降雨日的氣候型態年際變化較大，這大大增加水資源準備的困難度。

表 1，1950-2007 年之不降雨日的趨勢分析

站名	統計年份	斜率	可信賴度	平均值	標準差
台北	1950-2007	0.13	92.38%	45.05	9.06
台中	1950-2007	0.02	25.01%	62.79	8.41
台南	1950-2007	0.07	79.46%	75.47	6.63
恆春	1950-2007	0.19	99.98%	71.36	6.87
花蓮	1950-2007	0.28	99.99%	42.12	9.09
台東	1950-2007	0.20	99.81%	59.43	8.43
澎湖	1950-2007	0.05	63.74%	68.34	7.34
基隆	1950-2007	0.08	70.83%	30.59	9.54

檢視臺灣的溫暖化趨勢，近百年約為攝氏 1.5 度，近 50 年趨勢增為攝氏 2.4 度/百年，甚至再統計近 30 年的溫度趨勢更達到攝氏 3.6 度/百年(李，2007)，顯示臺灣的溫暖化趨勢越來越陡峭，越來越明顯。而對於不降雨日的趨勢變化可能也有類似的情形，所以自 1950 年至 2007 年 58 年期間，再平均分為兩階段，第 1 階段 1950 年至 1978 年，第 2 階段 1979 年至 2007 年，兩階段各有 29 年，檢視兩階段不降雨日的趨勢，是否也有較明顯的變化。一樣做 1 月至 3 月之不降雨日數的線性趨勢分析(表 2、表 3)。比較表 2 和表 3，第 1 階段表 2 中，斜率值 8 個氣象站正負值各有 4 個氣象站，斜率正值有台北、台中、花蓮及基隆；斜率負值有台南、恆春、台東及澎湖，8 個氣象站的趨勢檢定都沒有通過 95%的可信賴度，顯示全臺灣之不降雨日數在第 1 階段期間沒有顯著趨勢變化；第 2 階段(表 3)則顯示每個氣象站一致且強的正斜率，其中台北、恆春、花蓮、台東及基隆等 5 個氣象站通過 95%可信賴度的統計檢定，表示全台於第 2 階段時期不降雨日數呈明顯增加的趨勢。

表 2，1950-1978 年之不降雨日的趨勢分析

站名	統計年份	斜率	可信賴度	平均值	標準差
台北	1950-1978	0.29	85.15%	44.48	9.04
台中	1950-1978	0.09	38.74%	63.41	7.91
台南	1950-1978	-0.02	11.83%	74.62	6.24
恆春	1950-1978	-0.04	21.30%	68.72	6.00
花蓮	1950-1978	0.08	36.13%	38.45	7.14
台東	1950-1978	-0.25	87.22%	55.93	7.46
澎湖	1950-1978	-0.01	2.65%	68.07	6.51
基隆	1950-1978	0.22	72.76%	31.03	8.93

表 3，1979-2007 年之不降雨日的趨勢分析

站名	統計年份	斜率	可信賴度	平均值	標準差
台北	1979-2007	0.48	98.42%	45.62	9.21
台中	1979-2007	0.34	90.87%	62.17	8.97
台南	1979-2007	0.20	80.04%	76.31	7.01
恆春	1979-2007	0.49	99.96%	74	6.76
花蓮	1979-2007	0.62	99.84%	45.79	9.45
台東	1979-2007	0.40	97.77%	62.93	7.97
澎湖	1979-2007	0.31	91.63%	68.62	8.19
基隆	1979-2007	0.60	99.42%	30.14	10.25

不降雨日的平均值方面，第 1 階段到第 2 階段，除了台中及基隆呈小幅度的減少外，其他 6 個氣象站都是增加的情況，尤其花蓮增加 7.34 天(45.79-38.45)最明顯；台東增加 7 天(62.93-55.93)次之。表 2 至表 3 的標準差，每個氣象站都是增大的，表示第 2 階段不降雨日的年際變率增大，其每年不降雨日的不確定性增大。

表 4 是各氣象站 1950 年至 2007 年之 1 月至 3 月晴雨發生之馬可夫矩陣(Markov Matrix)，每格中 4 個數目排成方陣型式，為 2 階矩陣。

$$\begin{matrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{matrix}$$

下標 0 表示晴天(無雨日)，下標 1 表示雨天(有雨日)，所以表 4 中第 3 欄台北的相對應之機率方格中， $P_{00}=0.691$ ，意思是今天晴天，明天也是晴天的機率； $P_{01}=0.309$  是今天晴天，明天是雨天的機率，其餘類推。相對應的觀測數於第 2 欄所示，晴天後是晴天的個數為 1782 天( $N_{00}$ )，晴天後是雨天的個數為 800 天( $N_{01}$ )，換算為機率  $P_{00}=N_{00}/(N_{00}+N_{01})=0.691$ ， $P_{01}=N_{01}/(N_{00}+N_{01})=0.309$ ， $P_{10}$  和  $P_{11}$  用同樣的算法，其餘類推。必須注意每一列所有機率和等於 1，即

$P_{00}+P_{01}=1$ ,  $P_{10}+P_{11}=1$ , 至於第 4 欄的氣候機率是指馬可夫矩陣可以經多次的 Chapman-Kolmogorov 轉換後, 會得到各行的機率值趨於一致, 此時矩陣的第 1 行是指今天不管是晴天或雨天, 經過很多天後接著是晴天的機率, 也就是不管之前的天氣為何, 很多天後出現晴天的機率, 相當於晴天的氣候機率。同理, 矩陣第 2 行是指今天不管是晴天或雨天, 經過很多天後接著是雨天的機率, 相當於雨天的氣候機率。對照台北氣象站 1950 年至 2007 年 1 月至 3 月晴天(無雨日)的天數為 2613 天, 雨天(有雨日)的天數 2621 天, 則晴天氣候機率為  $2613/(2613+2621)=0.499$ , 雨天氣候機率為  $2621/(2613+2621)=0.501$ , 都非常接近表 4 第 4 欄的晴天氣候機率 0.497 和雨天氣候機率 0.503。所以由氣候機率看, 台南無雨日的機率達 0.835 最高, 相對有雨日的氣候機率才 0.165, 有雨日、無雨日的氣候機率相差 0.67。其次為恆春無雨日氣候機率為 0.792, 有雨日氣候機率為 0.208。相對的, 無雨日氣候機率最小的是基隆, 只有 0.338, 有雨日氣候機率為 0.662。台北無雨日和有雨日的氣候機率幾乎相等, 幾乎各佔一半(取小數點以下 2 位, 都是 0.50)。

表 4, 各氣象站 1950-2007 年之 1-3 月晴雨發生之馬可夫矩陣

站名	觀測數	相對應之機率		經轉換後的氣候機率	
台北	1782 800	0.691	0.309	0.497	0.503
	792 1797	0.306	0.694	0.497	0.503
台中	2945 662	0.817	0.184	0.694	0.306
	654 915	0.417	0.583	0.694	0.306
台南	3843 488	0.887	0.113	0.835	0.165
	483 362	0.572	0.428	0.835	0.165
恆春	3431 665	0.838	0.162	0.792	0.208
	666 414	0.617	0.383	0.792	0.208
花蓮	1495 923	0.618	0.382	0.466	0.535
	917 1841	0.333	0.668	0.466	0.535
台東	2539 871	0.745	0.255	0.658	0.342
	868 898	0.492	0.509	0.658	0.342
澎湖	3297 629	0.840	0.160	0.756	0.244
	619 631	0.495	0.505	0.756	0.245
基隆	1078 677	0.614	0.386	0.338	0.662
	674 2747	0.197	0.803	0.338	0.662

表 4 第 3 欄晴天後晴天的機率( $P_{00}$ ), 每個氣象站都明顯比晴天後雨天的機率( $P_{01}$ )大很多。尤其台南氣象站的  $P_{00}$  高達 0.887, 而  $P_{01}$  只有 0.113, 相差最多, 這顯示台南晴天後晴天的持續性非常強。甚至雨天氣候

機率幾乎是晴天氣候機率兩倍的基隆氣象站,  $P_{00}=0.614$ ,  $P_{01}=0.386$ , 也顯示晴天後晴天的持續性夠強, 這表示晴天天氣系統的影響, 很少只影響 1 天就結束, 而是持續影響多天以上才結束, 可見晴天轉為雨天並不是隨機轉變, 而是要有不同的天氣系統來臨, 帶來降雨, 使天氣轉變。至於雨天後雨天的持續性也不錯, 大部分氣象站雨天後雨天的機率還是大於雨天後晴天的機率( $P_{11}>P_{10}$ ), 只有台南和恆春的( $P_{11}<P_{10}$ ), 可能原因是強東北季風季節, 很難造成台南和恆春降雨, 就是有降雨系統促成降雨發生, 也很快的結束, 較難累積雨天後雨天的次數, 機率因而偏小。相對的基隆氣象站,  $P_{11}=0.803$  明顯的比  $P_{10}=0.197$  大很多, 甚至比晴天後晴天  $P_{00}=0.614$  大, 表示強東北季風季節很容易造成迎風面的基隆降雨, 而且造成基隆降雨的天氣系統, 不會很快結束, 絕大部分持續 2 天以上。

同樣再比較第 1 階段和第 2 階段時期持續性的變化情形(沒顯示), 發現第 3 欄, 晴天後晴天的機率( $P_{00}$ ), 除台中非常小幅度的減少 0.003 外, 其他氣象站都是增加的, 以花蓮增加 0.080(0.655-0.575) 最多。雖然增加幅度不大, 但已可看出第 2 階段期間, 晴天後晴天的持續性有普遍性的增強。雨天後雨天的機率( $P_{11}$ ), 第 1 階段到第 2 階段期間, 8 個氣象站有 5 個增加 3 個減少, 沒有像  $P_{00}$  那麼有一致性。有趣的是東部氣象站花蓮、台東都是呈減少的, 似乎和區域性地形有關, 是否跟東北季風的減弱有關, 值得再探討。第 4 欄的氣候機率, 除台中和基隆無雨日機率呈微幅減少外, 其他 6 個氣象站都是增加的, 其中以花蓮增加 0.083 最明顯。

持續性問題也可用正負值(晴天或雨天)之間, 隨機出現性質檢定, 如果某一序列雨天或晴天的串連數(run)過多或過少都代表著正負值之間, 出現的隨機性質不存在, 而有持續性影響著, 所以又稱串連數檢定。而串連數過少, 相當於同符號(同性質)連續發生的個數多, 顯示持續性強烈。當晴天、雨天的個數夠大時(大於 10 就夠了), 串連數的分配會近似常態分配, 平均數  $E=2n_1n_2/(n_1+n_2)+1$

變異數  $Var=2n_1n_2(2n_1n_2-n_1-n_2)/(n_1+n_2)^2(n_1+n_2-1)$

則常態分配值  $Z=(R-E)/\sqrt{Var}$  公式中 R 是出現的串連數,  $\sqrt{()}$  是開根號的意思。

表 5 是 8 個氣象站串連數檢定的平均常態分配 Z 值, 當 Z 值小於 -1.96 時, 即可通過 95% 的可信賴度檢定, 拒絕  $H_0$ : 晴天、雨天是隨機出現的虛無假設。即晴天或雨天不隨機出現, 而是有持續性的出現。表 5 顯示 8 個氣象站各個時期的平均 Z 值, 都是明顯的負值, 除恆春氣象站的 Z 值沒有小於 -1.96 (沒有通過 95% 的可信賴度檢定) 外, 其他 7 個氣象站都強烈通過 95% 可信賴度檢定。即這 7 個氣象站, 其晴天後晴天, 或雨天後雨天的持續性都很強烈。檢查恆春氣象站沒有通過檢定的原因, 主要是因為恆春氣象站雨天後雨天

的機率  $P_{11}$  值太小，把整個持續性性質減低所致。

表 5，各氣象站 1-3 月不降雨日的串連數檢定  $Z$ (平均值)

	台北	台中	台南	恆春	花蓮	台東	澎湖
1950-2007	-3.39	-3.50	-2.54	-1.75	-2.41	-2.06	-2.95
1950-1978	-3.19	-3.43	-2.32	-1.85	-2.31	-2.31	-2.68
1979-2007	-3.58	-3.57	-2.76	-1.54	-2.51	-1.81	-3.22

表 6 是 1 月至 3 月的不降雨日，每 7 年時期的分布是否為接近期望值均勻分布的適合度檢定。一般用卡方 ( $\chi^2$ ) 檢定，取觀測值與期望值差的平方，再除以期望值是為  $\chi^2$ ，

$$\chi^2 = \sum (O_i - E_i)^2 / E_i$$

當觀測值  $O_i$  和期望值  $E_i$  相差大，加上平方的放大效應，會有效的加大  $\chi^2$  值，而進入臨界區域，拒絕  $H_0$  均勻分布的虛無假設。

表 6，1-3 月不降雨天數(日雨量 < 0.1 毫米)的  $\chi^2$  檢定

統計年份	台北	台中	台南	恆春	花蓮	台東	澎湖	基隆
1951-1957	37.6	61.7	74.6	68.7	36.1	60.0	69.1	23.1
1958-1964	46.9	63.1	75.3	70.9	39.1	55.7	66.4	36.9
1965-1971	42.4	63.0	74.4	70.1	36.7	55.3	66.4	30.3
1972-1978	49.7	65.4	74.1	66.1	41.0	52.9	70.0	33.1
1979-1985	39.4	58.9	73.6	68.3	38.6	59.7	64.3	22.7
1986-1992	41.1	60.1	74.7	70.7	40.4	57.1	68.3	26.9
1993-1999	46.1	60.3	77.6	77.9	50.6	66.7	67.3	31.4
2000-2006	51.4	69.3	79.0	78.6	52.0	68.3	73.7	37.9
期望值	44.7	62.7	75.4	71.4	41.8	59.5	68.2	30.4
$\chi^2$	3.61	1.26	0.32	1.96	6.19	3.55	0.84	7.32
可信賴機率	17.6%	1.1%	0.0%	3.8%	48.2%	17.0%	0.3%	60.4%

為方便計，自 1951 年至 2006 年，56 年期間，平均分 8 段時期，每時期 7 年。表 6 第 2 欄為各氣象站於每時期每年 1 月至 3 月的平均不降雨天數，是為觀測值，期望值為 8 時期的平均數，計算出來的  $\chi^2$  值所對應之可信賴機率皆顯示於表 6。皆顯示沒有氣象站通過 95% 的可信賴機率，必須接受虛無假設  $H_0$ ，即各時期不降雨日的分布屬合理的均勻分布。如果提高不降雨的定義為日雨量小於 1.0 毫米及日雨量小於 5.0 毫米，可信賴機率逐漸趨近於 0%，表示提高不降雨日量的定義，各 7 年時期發生不降雨日的平均數非常接近於期望值，變化很小。

表 7 是利用 Mann-Whitney 檢定法，檢定第 1 和第 2 階段的不降雨日數列是否屬同一母體(同平均數、同標準差)。基本原理是將 2 組數列混合再依大小順序排

列，如果兩數列來自同一母體，則兩數列的數值會交錯混合排列，否則會各偏向兩端。 $H_0$  的虛無假設是兩數列來自同母體。表 7 第 2 欄顯示恆春、花蓮及台東的有意義水準小於 0.05，即此 3 個氣象站兩階段(1950-1978 及 1979-2007)不降雨日時間數列差異大，性質不一樣。再回去看表 1，該 3 個氣象站兩階段間有較強的趨勢變化，平均值、標準差也都有明顯的增加。其他氣象站以 Mann-Whitney 方法檢定不出兩階段間不降雨日數列的不一樣有顯著性。再提高不降雨日量的定義至小於 1.0 毫米，東部的花蓮和台東仍可看到兩階段間不降雨日數列的不一樣。再提高不降雨日量的定義至小於 5 毫米，則所有氣象站都檢定不出兩階段不降雨日數列的不一樣。

表 7，各氣象站 1-3 月不降雨日 2 階段之 Mann-Whitney 檢定有意義水平機率

站名	日雨量 < 0.1 毫米	日雨量 < 1 毫米	日雨量 < 5 毫米
台北	0.305	0.439	0.167
台中	0.300	0.064	0.094
台南	0.139	0.494	0.193
恆春	<b>0.003</b>	0.402	0.105
花蓮	<b>0.001</b>	<b>0.045</b>	0.139
台東	<b>0.001</b>	<b>0.039</b>	0.494
澎湖	0.322	0.350	0.239
基隆	0.300	0.206	0.439

表 8 連續 10 天以上不降雨次數統計，合併第 1 階段 4 個時期及第 2 階段 4 個時期成 2 個方格，做  $\chi^2$  檢定，則恆春和台東通過 95% 不均勻分布的可信賴機率。花蓮 94.1% 也可說幾乎通過  $\chi^2$  檢定假設，而這 3 個氣象站都是於第 2 階段發生次數明顯的比第 1 階段增加很多所致。也就是第 2 階段時期比較容易發生連續 10 天以上的不降雨事件。至於連續 20 天以上不降雨事件(表 9)，花蓮沒有出現過，台北、基隆及台東發生次數也都太少。台中、台南、恆春及澎湖雖然都沒通過  $\chi^2$  檢定(95%)，但可直接看到共同特徵是第 2 階段時期發生連續 20 天以上不降雨事件的次數明顯比第 1 階段多。如果再檢查連續 30 天以上不降雨事件次數，台南兩階段的發生次數由 9 次增加到 15 次，恆春由 0 次增加到 5 次最明顯，其他氣象站發生次數都太少或沒發生連續 30 天以上不降雨事件。而連續多天不降雨事件是旱災的基本條件，是否也意味著發生旱災的機率有隨著全球溫暖化的趨勢也在增加中，是巧合亦或有關連，值得再進一步尋找證據探討。

表 8，1951-2006 年 2 階段之連續 10 天以上不降雨日之  $\chi^2$  檢定

統計年份	台北	台中	台南	恆春	花蓮	台東	澎湖	基隆
1951-1978	13	57	82	56	5	26	67	7
1979-2006	20	46	75	79	13	43	59	6
$\chi^2$ 機率%	77.7	72.2	42.3	95.2	94.1	95.9	52.4	20.4

表 9，1951-2006 年 2 階段之連續 20 天以上不降雨日之  $\chi^2$  檢定

統計年份	台北	台中	台南	恆春	花蓮	台東	澎湖	基隆
1951-1978	1	10	25	13	0	2	9	0
1979-2006	1	13	33	20	0	3	16	1
$\chi^2$ 機率%	X	46.8	70.6	77.7	X	34.5	83.8	X

#### 四、結論

自1950年至2007年共58年，每年1月至3月臺灣之不降雨日趨勢分析，結果不降雨日呈增加趨勢，而此增加趨勢主要是第2階段時期(1979-2007年)的不降雨日大量增加的貢獻所致。臺灣近30年溫暖化也有加速的趨勢，兩者是否有物理上的關連性，值得探討。

由馬可夫晴雨天距陣，可看出第2階段相較於第1階段時期，晴天後晴天的持續性全面性的增強，但雨天後雨天的持續性不明顯。由串連數隨機性檢定，顯示晴天或雨天的天氣系統都有強烈持續性，不是隨機發生。

恆春、台東、花蓮之連續10天以上不降雨日事件，於第2階段時期大幅增加。台中、台南、恆春、澎湖等冬季不易降雨的氣象站，其連續20天以上不

降雨日事件的次數也都一致增多，隱含乾旱發生的機會增加。

#### 參考文獻：

- 李清勝，2007：全球暖化趨勢與臺灣氣候變化關係之探討，中央氣象局研究發展專題，CWB96-1A-05
- 陳圭宏，2001：研究以馬可夫模式(Markov Model)客觀顯示臺灣地區季節氣候機率，中央氣象局研究發展專題，CWB90-1A-03
- 陳圭宏，2003：臺灣地區降雨強度分析，中央氣象局研究發展專題，CWB92-1A-05
- 陳圭宏，2004：臺灣地區降雨強度分析-降雨和溫暖化的關係，中央氣象局研究發展專題，CWB93-1A-01
- 陳圭宏，2007：95年臺灣地區農業氣象災害調查分析，中央氣象局研究發展專題，CWB96-1A-01
- 經濟部水資源局，2001：從氣象、海洋、水文觀點談水資源
- 許乃紅譯，1982：初等機率論，國立編譯館主編，五南圖書出版有限公司出版
- 陳耀茂譯，2000：機率過程導論，五南圖書出版有限公司出版
- 顏月珠著，1988：應用數理統計學，三民書局印行
- Climate change 2007:The physical science basis,Summary for policymakers, Contribution of working group I to the Fourth assessment report of the intergovernment panel on climate change.
- IMSL, FORTRAN subroutines for statistical analysis.