

# 氣候變遷對台灣颱風季非颱風造成之極端降雨事件影響

紀雍華 盧孟明  
氣象科技研究中心

中央氣象局

## 摘要

本文先以1951-2005年7-10月美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)重分析資料(R1)為基礎，分析颱風季之非颱風主體造成的極端降雨事件的大尺度環境場，發現850hPa渦度及風場距平和台灣極端降雨的年發生機率有關。極端事件發生年，台灣上空7、8月以西風及正渦度距平為主；9、10月以東風距平為主，同時在東海及南海上方分別有負及正渦度距平存在。接著，將這些結果應用在分析政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第四次評估報告(Fourth Assessment Report, AR4)的6組氣候模式，以3種CO<sub>2</sub>濃度情境(A2、A1B、B1)推估1961-1999年、2046-2064年及2081-2099年三段時期的極端降雨事件年發生率。結果顯示極端降雨年發生機率和CO<sub>2</sub>濃度的關係在本世紀的後期比較明顯，不論是7、8月或9、10月，極端事件在CO<sub>2</sub>濃度高(A2及A1B)比濃度低(B1)的情境更容易發生。各模式的中期模擬結果則比較紛歧，極端降雨的年發生機率和CO<sub>2</sub>濃度的關係不明顯。

關鍵字：極端降雨事件、年發生率、IPCC AR4

## 一、前言

氣候變遷對全球造成之影響已逐漸由學術界內的議題討論擴展為普羅大眾日常生活中所關注的焦點，近年來由於溫室效應造成之全球暖化現象更是備受矚目，本研究為國科會「氣候變遷對災害防治衝擊調適與因應策略整合研究」之子計畫：「氣候變遷對台灣地區降雨及海水位變異之影響」。研究中使用IPCC AR4內6組氣候模式模擬在3種不同CO<sub>2</sub>濃度增加情況下，22世紀時的全球氣候型態，分析氣候變遷對未來台灣颱風季非颱風主體造成之極端降雨事件年發生率的影響。由颱風主體造成的極端降雨變異不屬於本研究的範圍，將另撰文討論。

本文第二節介紹颱風季非颱風造成之極端降雨事件挑選法，並使用NCEP R1資料分析此些極端降雨事件發生時的氣象場特徵；第三節說明如何以風及渦度場距平建立評估極端降雨事件年發生率的環境條件，並討論此條件用於選取模式預報結果年發生率時的準確性及限制；第四節討論利用此條件分析IPCC AR4中6組氣候模式在3種CO<sub>2</sub>濃度增加的情況下(A2、A1B、B1)，模式模擬氣候變遷對台灣颱風季非颱風造成之極端降雨事件年發生率的影響；第五節為結論。

## 二、資料與分析方法

### (一)選取過去事件日期

本文考慮1951至2005年的7至10月間，颱風季內由非颱風主體造成之極端降雨事件。選取方式以林與盧(2008)提出的台灣極端降雨氣候事件辨識方法，用GPD選出此段時間內非颱風造成之極端降雨事件。使用全台25個測站，只要有一測站發生重現期距>2年及降雨延時超過24小時便視為一個事件發生；若在連續六天內全台各測站有降雨事件發生，則取六天內的第一天為代表；並剔除颱風中心在20°N~27°N、118°E~124°E內的極端降雨事件；此外即便颱風中心在上述範圍外，亦剔除發生在颱風事件前、後一天的極端降雨事件；颱風中心路徑使用日本東京隸屬世界氣象組織之區域專業氣象中心(Regional Specialized Meteorological Center, RSMC)公布之資料。由以上方法選取之極端降雨事件日期如表1所示，在7月份共有14件、8月20件、9月15件、10月16件。

### (二)發生極端降雨事件時的氣象場特徵

獲得事件日期後，使用NCEP R1資料(Kalnay et al., 1996)繪製各事件在850hPa的風場及渦度場距平合成圖，整體而言各事件結果多如圖1(a)-(h)之情況。由圖1(a)、(b)中可見7、8月台灣附近以西風及西南或西北風距平為主，9、10月(圖1(c)、(d))台灣附近以東風及東南風距平為主；圖1(e)-(h)則顯示7至10月台灣上空常籠罩於正渦度距平下，9、10月東海附近明顯

存在一負渦度距平區；由以上風場及渦度場距平成圖可見，7至10月非颱風造成之極端降雨事件發生時，需有正渦度距平(低壓氣旋)在台灣上空或周圍引發事件，但此低壓氣旋位置在各事件內則不固定出現於某區域，風場距平則因低壓氣旋中心位置不同而導致風向多變；由於7、8月及9、10月的風及渦度場距平型態相近，故之後將4個月份分為兩組討論。

### 三、建立評估事件年發生率環境條件

圖2(a)為統計7、8月份共34個事件之850hPa西風風場、正渦度場距平發生率 $\geq 75\%$ 的格點；圖2(b)為9、10月共31個事件之東風風場及正、負渦度場距平發生率 $\geq 75\%$ 的格點。圖2(a)中圓點及十字點分別為西風風場及正渦度場距平，較大符號代表發生率 $\geq 90\%$ 。圖2(a)中可見西風距平主要包含整個台灣，並由南海北部向東沿著巴士海峽延伸至菲律賓海北部、正渦度距平則落在華南一帶及整個台灣海峽和東海南部。若考慮NCEP R1資料在1951至2005年7、8月份共3410天內，完全符合在細框及粗框裡所有標示圓點及十字點的格點上，其格點距平值 $> 0$ 的天數完全符合者共有49天。

圖2(b)中圓點、十字點及 $\times$ 型點分別為東風風場、正渦度場及負渦度場距平，較大的符號代表發生率 $\geq 80\%$ 。圖2(b)中可見東風距平分佈於台灣及華東、華南一帶，負渦度距平則位於浙江省及東海，正渦度距平則在南海北部。考慮資料在1951至2005年9、10月共3355天內，完全符合在細框、粗框及點框內所有標示圓點、十字點及 $\times$ 型點的格點上，其格點距平值 $> 0$ 及距平值 $< 0$ 的天數，完全符合者共有35天。

對照由上述方法選取之事件和實際事件發生的日期及年份可整理得表2，表2顯示用風場及渦度場距平這兩項環境條件評估極端降雨事件發生率時，無法準確預測事件發生日期或維持之天數，但可以用年為單位判斷極端降雨事件是否會發生。表3為表2百分率化之結果，由上述方式選取之事件年發生率在7、8月有67.9%符合實際事件發生之年份；9、10月份則有66.7%符合實際事件發生的年份。由表3可知，使用實際極端降雨事件建立的渦度場和風場距平條件，在用於預測極端降雨事件的年發生率變化上約有7成的準確度；即當此些條件成立時，當年便極有可能發生極端降雨事件。

### 四、IPCC AR4模式結果分析

#### (一)IPCC AR4模式分析方法

本文使用之IPCC AR4 6組模式名稱如表4所示，之後分別簡稱為：BCCR、CCCMA、MK30、MK35、MIR、MPI。6組模式均使用3段模擬時間，分別為：

1961至1999年(共39年)、2046至2064年(共19年)、2081至2099年(共19年)，並統計在3種不同CO<sub>2</sub>濃度增加情況下(圖3)，6組模式在3段時期的模擬結果。在到達2100年時本文使用的3種CO<sub>2</sub>濃度情況的大小依序為A2、A1B、B1。

將6組模式在3段時期及3種濃度下的850hPa風場及渦度場模擬結果取距平值後，以第三節建立之環境條件，取出模式內7、8月及9、10月符合此些條件之天數並統計其年份得到表5，為了便於分析將表5中3段時期選取之模式發生事件隨機取10年份為1組，共1000組，各組間的年份資料不重複，統計6組模式在10年內非颱風造成之極端降雨事件的年發生率，其結果如圖4(a)-(f)所示。

#### (二)結果討論

圖4(a)-(f)為7、8月及9、10月份極端降雨事件的年發生率圖，由圖4(a)-(f)可見各模式在3段時期及3種濃度下的隨機10年發生百分率。在圖4(a)-(f)中整體而言BCCR模式在3種情況下的年發生率均較高，此外由於MIR模式無A2模擬結果，而CCCMA模式在9、10月與其餘5組模式結果差異甚大，故以下討論以其餘4組模式比較為主、MIR模式額外討論之，CCCMA則不加入討論。在圖4(a)-(f)中各模式在3種CO<sub>2</sub>濃度情況下的反應結果相當不一致，但同種模式本身在3段時期的年發生率多有所變動，顯示年發生率和CO<sub>2</sub>濃度之間存有一定程度之相關性。

表6(a)-(d)藉由將3段時間訂為過去(1961至1999年)、中期(2046至2064年)、後期(2081至2099年)以討論圖4(a)-(f)內的模式極端降雨年發生率結果，中期上升代表相對於過去而言，中期的年發生率整體是上升情況；後期的上升代表相對於中期而言，後期年發生率整體是上升情況。依據圖4(a)-(f)及表6(a)-(d)可發現4組模式及MIR模式的幾種特性：1. BCCR模式不論在何種CO<sub>2</sub>濃度情況下，在7、8月中期的劇烈降雨事件年發生率均較過去有明顯的下降趨勢(圖4(a)-(c))，而後期隨著CO<sub>2</sub>濃度的升高，模式的年發生率亦跟著提高；在CO<sub>2</sub>濃度最高的A2(圖4(a))，中期時5年的年發生率僅11.2%，到後期則可高達92.2%，相差近8倍之多；而A1B(圖4(b))的7年年發生率在中期及後期相距也達3.2倍左右，可見在BCCR模式裡CO<sub>2</sub>濃度和年發生率兩者呈現正相關的情形。2. 相較於BCCR模式，其餘3組模式及MIR模式的年發生率變化較無規律性(圖4(a)-(c)；表6(a)、(b))。整體而言當CO<sub>2</sub>濃度上升時，BCCR、MK30、MK35及MPI模式中期的年發生率不一定較過去上升；但在7、8月份後期包含BCCR的4組模式在CO<sub>2</sub>濃度較高的A2及A1B情況下普遍為年發生率上升之結果，顯示4組模式的後期年發生率和CO<sub>2</sub>濃度亦具有正相關性。

3. 在9、10月份，MK30模式和7、8月份的BCCR模式相同，中期年發生率均較過去有下降趨勢(圖4(d)-(f)；表6(c))，在後期則均為上升；但中期及後期

的年發生率差異大小和CO<sub>2</sub>濃度的多寡之間較無明顯的規律存在。而MIR模式在A1B及B1時中期及後期均為上升(圖4(e)-(f)；表6(d))，且在CO<sub>2</sub>濃度較高的A1B下，年發生率又較B1為高，中期時A1B及B1的2年年發生率差異可達2.5倍，顯示在9、10月份MIR模式的年發生率和CO<sub>2</sub>濃度具有明顯正相關性。4. 對4組模式而言，9、10月份中期CO<sub>2</sub>濃度較高時年發生率反而較過去下降(圖4(d)-(f)；表6(c))；模式後期在CO<sub>2</sub>濃度較高的A2及A1B情況下普遍為年發生率上升，顯示在9、10月份結論如同7、8月份，後期模式的年發生率和CO<sub>2</sub>濃度具有正相關性。

## 五、結論

本文目的在於研究氣候變遷對未來台灣颱風季非颱風主體造成之極端降雨事件年發生率的影響。研究中使用NCEP R1資料建立過去發生極端降雨事件時之風場及渦度場距平條件，並利用此條件分析IPCC AR4內6組氣候模式模擬在3種CO<sub>2</sub>濃度排放增加情況下，22世紀時的全球氣候型態，分析的結果整體而言當CO<sub>2</sub>濃度上升時，中期的極端降雨事件年發生率不一定較過去上升；在後期不論在7、8月份或9、10月份，模式在CO<sub>2</sub>濃度較高的A2及A1B的情況下普遍為年發生率上升的結果，這顯示在中期及後期裡，影響各組模式在極端降雨事件年發生率變化的變因為CO<sub>2</sub>濃度上升的多寡。在CO<sub>2</sub>濃度較高的A2情況下，由中期至後期模式年發生率變化普遍轉為上升，模式結果一致性較高；在CO<sub>2</sub>濃度較低的B1情況下，中期至後期模式的年發生率變化較無規律，可見對中期至後期的年發生率變化而言，年發生率變化和CO<sub>2</sub>濃度多寡的關係相當密切，且具有正相關性。

## 六、參考文獻

- 林均靜、盧孟明，2008：“台灣極端降雨氣候事件辨識方法之分析”。九十七年天氣分析與預報研討會論文集編，297-302
- Kalnay E., and Coauthors, 1996: "The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project". Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, 437-471

July	August	September	October
1955/07/21	1955/08/29	1966/09/13	1964/10/10
1973/07/23	1956/08/18	1969/09/09	1967/10/18
1974/07/06	1959/08/07	1971/09/27	1970/10/01
1976/07/03	1968/08/31	1976/09/16	1971/10/08
1981/07/23	1970/08/01	1976/09/24	1974/10/12
1982/07/05	1970/08/12	1977/09/23	1974/10/28
1988/07/27	1972/08/07	1978/09/05	1983/10/12
1989/07/17	1974/08/24	1980/09/23	1984/10/26
1989/07/26	1978/08/26	1981/09/03	1988/10/26
1990/07/10	1979/08/15	1984/09/13	1989/10/13
1992/07/05	1979/08/24	1985/09/04	1991/10/01
1995/07/25	1983/08/23	1988/09/30	1995/10/08
1997/07/01	1988/08/13	1990/09/01	1996/10/10
2004/07/04	1993/08/13	1993/09/19	1997/10/28
	1994/08/11	1996/09/28	1998/10/04
	1997/08/07		1998/10/25
	1997/08/18		
	1999/08/12		
	2002/08/04		
	2005/08/18		

表1 1951-2005年的7至10月間選取之實際事件日期

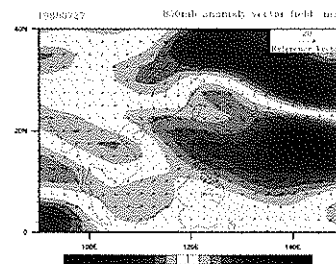


圖1(a) 1988/07/27極端降雨事件850hpa風場距平合成圖

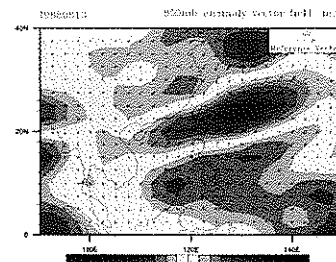


圖1(b) 1988/08/13極端降雨事件850hpa風場距平合成圖

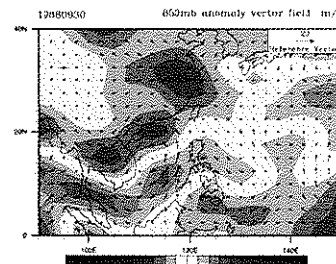


圖1(c) 1988/09/30極端降雨事件850hpa風場距平合成圖

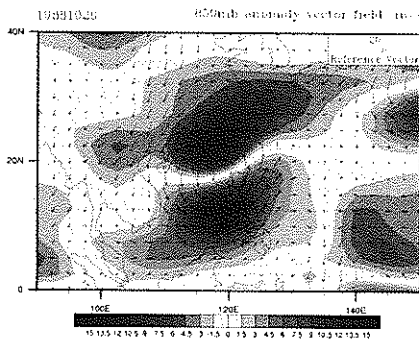


圖1(d) 1988/10/26極端降雨事件850hpa風場距平成圖

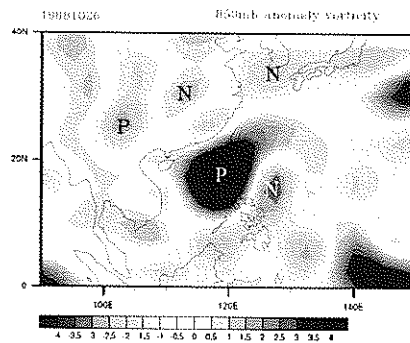


圖1(h) 1988/10/26極端降雨事件850hpa渦度場距平成圖

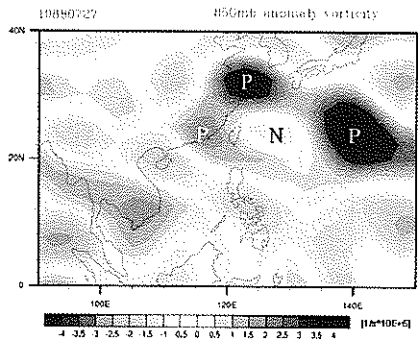


圖1(e) 1988/07/27極端降雨事件850hpa渦度場距平成圖，圖中P代表正渦度距平、N代表負渦度距平

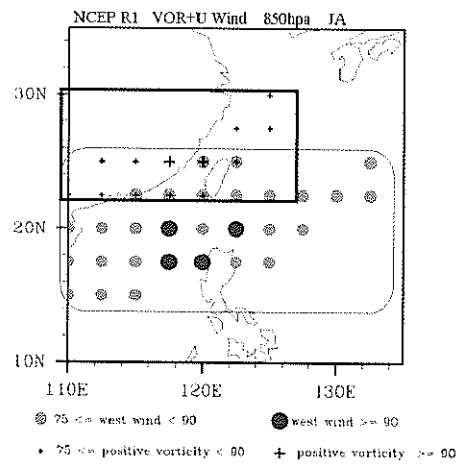


圖2(a) 7、8月極端降雨事件發生時西風風場(圓點)及正渦度場(十字點)距平成出現率達75%之格點

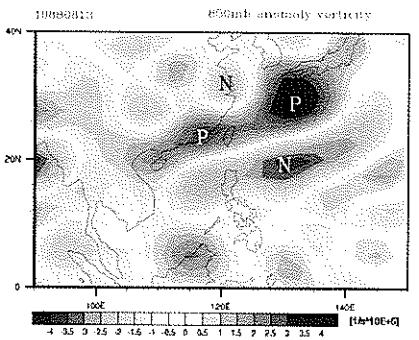


圖1(f) 1988/08/13極端降雨事件850hpa渦度場距平成圖

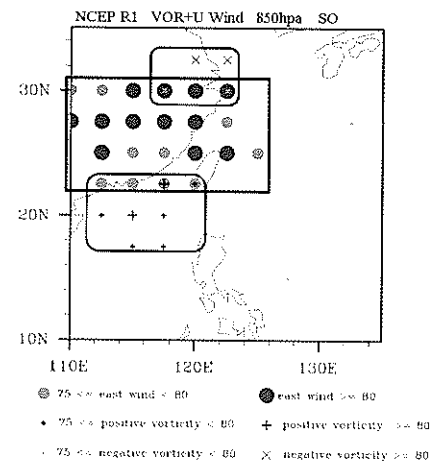


圖2(b) 9、10月極端降雨事件發生時東風風場(圓點)、正渦度場(十字點)及負渦度場(x型點)距平成出現率達75%之格點

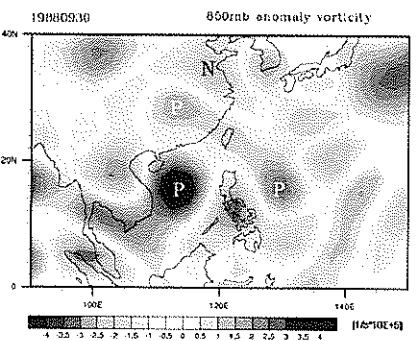


圖1(g) 1988/09/30極端降雨事件850hpa渦度場距平成圖

實際事件	選取事件	7、8月	9、10月
x	○	9年	7年
○	x	7年	9年
○	○(天數、日期不一定吻合)	19年	14年
x	x	20年	25年
○	○(日期吻合)	8天	8天

表2 統計選取和實際事件的日期及年份是否相同(如7、8月份實際有發生而選取事件亦有發生的狀況共有19年)

	7、8月	9、10月
實際發生年份裡，沒有預測中的年份	7/(7+19)=0.27 (26.5%)	9/(9+14)=0.39 (39.1%)
在所有預測年份中，有預測中的年份	19/(9+19)=0.68 (67.5%)	14/(7+14)=0.67 (66.7%)

表3 百分率化表2中選取事件之正確率

Model for Interdisciplinary Research on Climate(MIROC32_HR)	Japan
ECHAM5/MPI-OM(MPI_ECHAM5)	Germany
Bjerknes Centre for Climate Research (BCCR/Bergen Climate Model (BCM) Version 2(BCCR_BCMD0))	Norway
The third version of the Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCma) Coupled Global Climate Model (CGCM3), T63 version(CCCMA_CGCM31_T63)	Canada
CSIRO Mark 3.0 (CSIRO_MK30)	Australia
CSIRO Mark 3.5(CSIRO_MK35)	Australia

表4 使用之IPCC AR4 內6組氣候模式之全名及發展國家

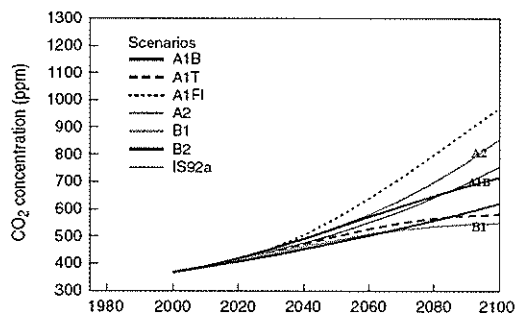


圖3 為IPCC 排放情況特別報告(Special Report on Emissions Scenarios, SRES)中，2000年至2100年的CO<sub>2</sub>濃度排放情況，各種顏色線代表不同的條件下CO<sub>2</sub>排放量增長之情況，擷取自網頁(<http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/vol4/english/wg1figs-18.htm>)

JA	MPI	MIR	BCCR	CCCMA	CSIRO_MK30	CSIRO_MK35	Real
39(1961-1999)	10	17	29	5	16	12	20
15(2046-2064)	A2	4	8	8	8	7	8
	A1B	3	9	17	3	10	4
	B1	4	10	12	4	12	3
15(2081-2099)	A2	3	13	4	8	11	8
	A1B	6	7	14	5	5	7
	B1	8	17	17	7	11	5

JO	MPI	MIR	BCCR	CCCMA	CSIRO_MK30	CSIRO_MK35	Real
20(1961-1999)	12	7	24	2	16	10	23
15(2046-2064)	A2	2	12	1	6	3	5
	A1B	11	7	11	0	7	4
	B1	6	4	12	1	6	3
15(2081-2099)	A2	3	12	1	9	9	9
	A1B	4	9	13	1	9	4
	B1	5	6	7	1	12	7

表5 在7、8月及9、10月各模式在3段時期及3種CO<sub>2</sub>濃度下的極端降雨事件總年數表，最後一欄為NCEP RI的實際事件發生年數

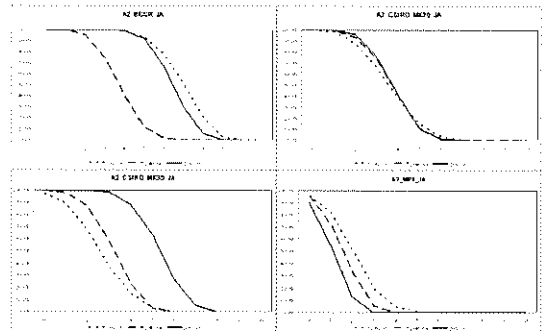


圖4(a) 7、8月份A2情況下的4組模式年發生率圖，橫軸為年、縱軸為年發生率(%)；點線、虛線、實線分別代表1961至1999年、2046至2064年、2081至2099年3段時期內極端降雨事件在10年內的年發生率

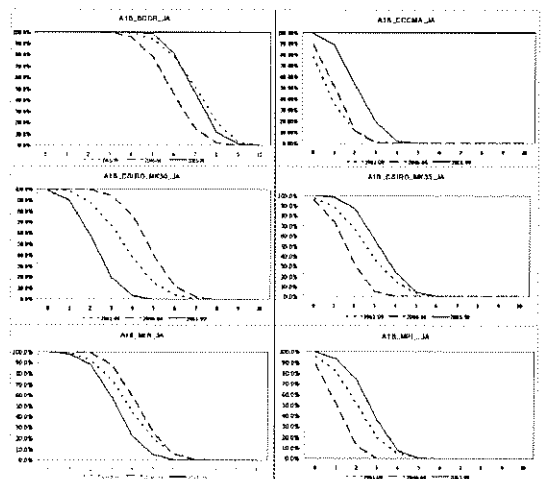


圖4(b) 7、8月份A1B情況下的6組模式年發生率圖

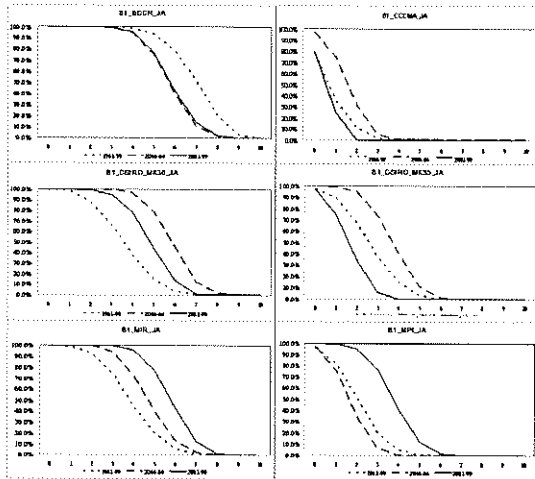


圖4(c) 7、8月份B1情況下的6組模式年發生率圖

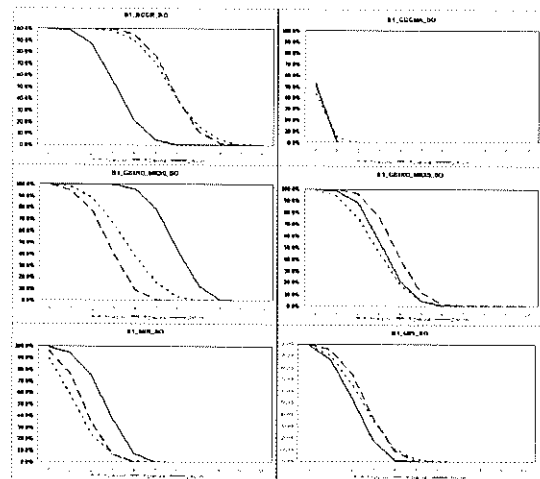


圖4(f) 9、10月份B1情況下的6組模式年發生率圖

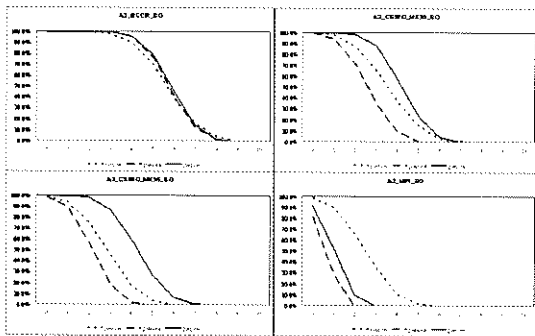


圖4(d) 9、10月份A2情況下的4組模式年發生率圖

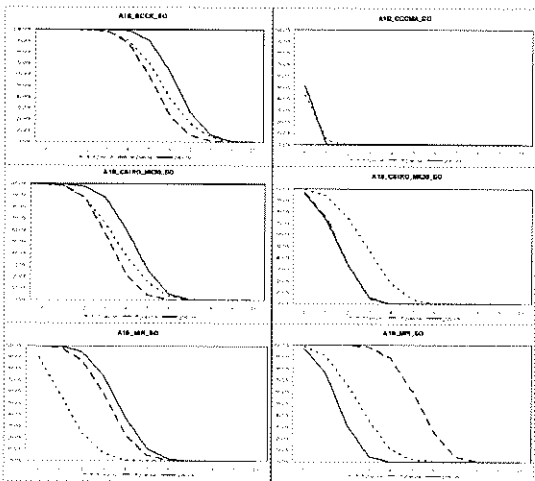


圖4(e) 9、10月份A1B情況下的4組模式年發生率圖

	7、8月 中期	7、8月 後期		9、10 月中期	9、10 月後期
A2			A2		
BCCR	下降	上升	BCCR	上升	--
MK30	上升	--	MK30	下降	上升
MK35	上升	上升	MK35	下降	上升
MPI	下降	下降	MPI	下降	上升
A1B			A1B		
BCCR	下降	上升	BCCR	下降	上升
MK30	上升	下降	MK30	下降	上升
MK35	下降	上升	MK35	下降	--
MPI	下降	上升	MPI	上升	下降
B1			B1		
BCCR	下降	--	BCCR	--	下降
MK30	上升	下降	MK30	下降	上升
MK35	上升	下降	MK35	上升	下降
MPI	下降	上升	MPI	上升	下降

(a)

(c)

	7、8月 中期	7、8月 後期		9、10 月中期	9、10 月後期
A1B			A1B		
MIR	上升	下降	MIR	上升	上升
B1			B1		
MIR	上升	上升	MIR	上升	上升

(b)

(d)

表6(a)-(d) 藉由將3段時間訂為過去、中期、後期以討論圖4(a)-(f)內的模式極端降兩年發生率結果