

# 近年來國外乾旱研究之評介

元玉璫 紀俊男

國立台灣大學 國立中央大學

## 一、引言

人類棲止於大氣之中，早已瞭解天氣變化與人類生活息息相關，惟先民對災變天氣之發生，悉委諸上天，只能逆來順受，或祝告上蒼，祈福消災。歷史中不乏因乾旱而赤地千里，野有餓殍，災民大規模逃荒，形成人口大遷移之記載。近世紀來隨大氣科學之發展，人類已能逐漸瞭解天氣，預報天氣，甚至改變天氣。但對乾旱預報，因其涉及長期天氣預報，問題錯綜複雜，無論國內國外，可謂當在起步階段，故乾旱研究論文，頗為稀少。蓋乾旱現象發生之原因，吾人固不甚了了，欲自經緯萬端中，抽絲剝繭，分析個別發生原因，已非易事，而預報乾旱，則困難倍增，因此種預報至少須在若干月以前發佈，始能有其應用價值，因之吾人更須瞭解各種有關天氣因素之長期因果關係，以及其相互影響之程度，始能言及乾旱預報。既使突破此重重困難，吾人所預報者，亦僅能期其為“定性”而非“定量”。即僅可能預報某一時期較以往之同一時期為乾旱，而難作該時期雨量減至若干之預報。雖屬為此，乾旱預報對人類仍可有莫大之貢獻。英國大氣海洋經濟研究有限公司之Ellison (1970)，估計長期天氣預報對該國之一年效益為四千萬英鎊，其最保守加以一折計之效益成本比，仍為每年四百英鎊比一百英鎊。乾旱問題為長期預中重要之一環，自將佔該項效益之頗大部份，加以我國正在積極推動各項重大建設及農業發展，既使乾旱預報僅有60%至70%之定性準確率，亦可使有關部門事先策劃及採取防範措施，其加屬於國計民生之效益，當匪淺鮮。故此項問題，縱屬艱鉅困難，仍應積極推展，本評介目的之一旨在詳覽國外對此問題之研究，以資借鏡，然後參酌國內研究情況，預擬研究計劃，逐步推展，期能自收集資料，分析研究，再由研究中發現問題，從問題中發掘真理，最後對乾旱問題獲得更深入之瞭解，進而從事乾旱預報，並不斷研究改進，增變其準確率，促使國人在乾旱可能發生之前，採

取因應措施，減低乾旱災變損失最低之限度。

## 二、乾旱之定義

乾旱為一廣泛性之稱謂，至其所代表之意義，可謂人言人殊，故討論乾旱時必先範圍其所代表之實際意義，茲就能搜集之國外文獻中較簡易之乾旱定義，縷述如下：

(一) Mather (1974) 在其所著之氣候學中，認為「當降水或儲於土壤中之含水，不足以供應作物所需水份時，即發生乾旱」。

(二) Subrahman 與 Subramaniam, Subrahmaniam 等 (1969) 研究乾旱時，運用乾旱指數 (Aridity Index) Ia，所謂乾旱指數乃指全年不足水量佔全年需水量之百分比。更以乾旱指數與中數之離差 (Departure)，決定乾旱程度，如下所示：

乾旱指數與中數之離差	乾旱程度
$< \frac{1}{2}\sigma$	中度乾旱
$\frac{1}{2}\sigma$ 至 $\sigma$	較大乾旱
$\sigma$ 至 $2\sigma$	嚴重乾旱
$> 2\sigma$	災情乾旱

(三) Tabony (1977) 將乾旱分為氣象乾旱、水文乾旱及草地 (Grassland) 乾旱三種，其範圍如下：

1 氣象乾旱 ( $D_m$ ) 為雨量 ( $R$ ) 之偏差與平均雨量  $\bar{R}$  之比值。 $D_m, 1 = (R - \bar{R}) / \bar{R}$  (1)

為顯及水平衡，乃進一步加入位蒸散 (昂水份供應無缺之蒸散)  $E_p$

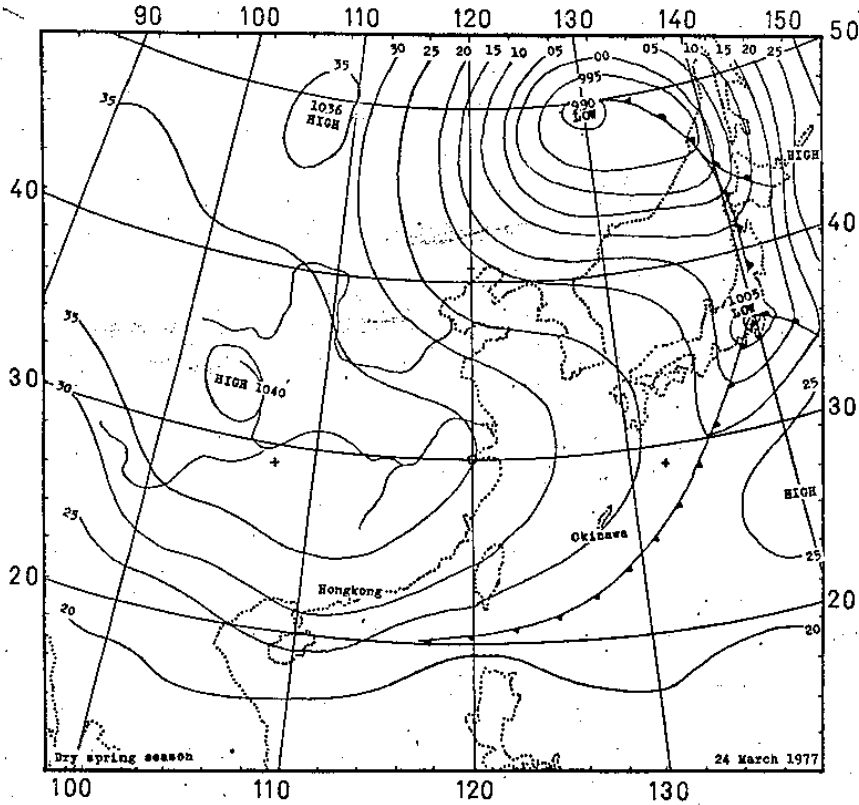
$$D_m, 2 = [(R - E_p) - (\bar{R} - \bar{E}_p)] / \bar{R} \quad (2)$$

若研究同一季節之氣象乾旱，以應用  $D_m, 2$  較佳。若比較不同季節之乾旱，以應用  $D_m, 1$  較宜。

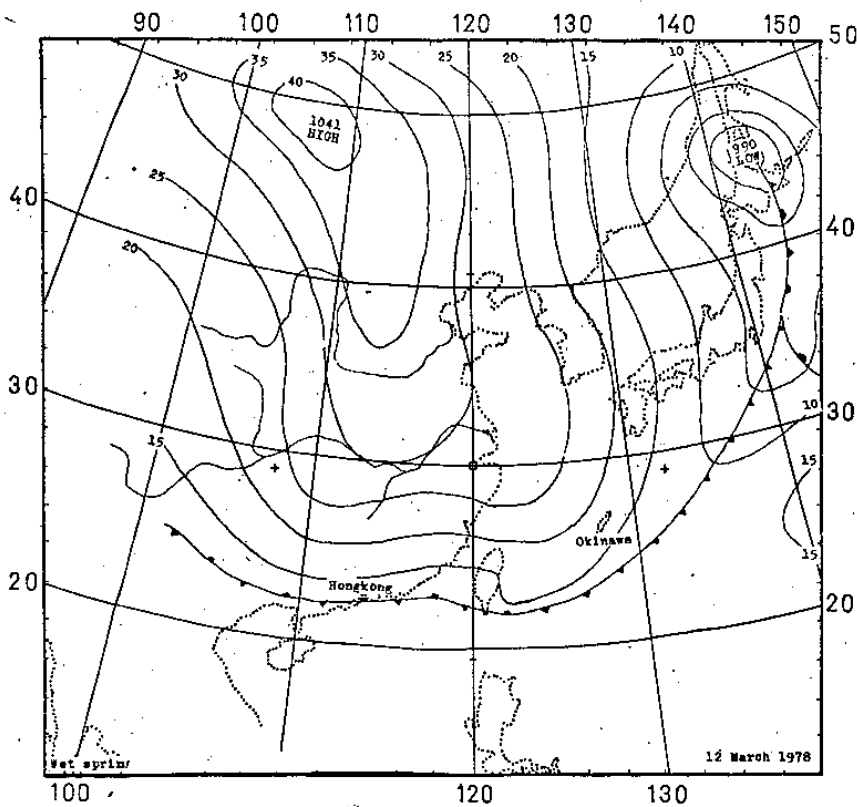
2 水文乾旱：以水文有效雨量 ( $R_e$ ) 決定水文乾旱 ( $D_h$ )。 $D_h = R_e$  (3)  
所謂水文有效雨量乃指經過雨水蒸發及供應土壤短缺之水份後所剩之水量。

王如意，1973：台灣集水區暴雨與乾旱頻率分析  
 之研究。台灣水利，  
 第二十一卷號一期，15-31  
 王博義，1976：台灣地區乾旱長期預報之研究。  
 科學發展，  
 第四卷第五期，40-57

林民生，1978：台灣梅雨前之乾旱研究（尚未發表）  
 王博義，1978：極地高壓偏西運行路徑與台灣地區雨季和乾季之關係（尚未發表）



圖一 1977年3月24日00Z  
 亞洲地面天氣圖。



圖二 1978年3月12日00Z  
 亞洲地面天氣圖。

3. 草地乾旱：由於不同農作物對乾旱之感應期不同，故未採用廣汎之農業乾旱，而以草地情形，範定草地乾旱 ( Da ) 爲

$$Da = Ep - Eg \quad (4)$$

上式中之  $Eg$  爲作物對生長之有效蒸發 ( Evaporation ( transpiration ) effective for growth )。

乾旱時，上述(1)、(2)式之  $Dm1$ 、 $Dm2$  爲負值，其絕對值愈大，乾旱愈嚴重；(3)式之  $Dh$  爲小於其平均之正值，值愈小，乾旱愈甚；(4)式之  $Da$  爲大於其平均之正值，值愈大，乾旱愈甚。

4. 旱年之其他定義：Palmer ( 1965 ) 之美國氣象局第 45 號研究報告“氣象乾旱”中，列有旱年之乾旱定義：

(1) 在某一時期內，雨量少於特定量，如 48 小時少於 0.10 in。

(2) 在特定時日內，降雨未達特定之數量。

(3) 一特定時期內，強風、高溫、低降雨量，通常相對濕度頗小 ( 稱爲大氣乾旱 )。

(4) 某日內，土壤內之水份減至其可含水份之特定低百分比。

(5) 在一段時間內，有下述一項或多項情況：a、牧草稀少，b、畜牲散亂無序，c、常須人工飼養，d、覓工償付畜牧。

(6) 月或年雨量少於正常值之特定百分比。

(7) 降雨不足供給人類活動所需量。

由以上所學可知僅稱乾旱，其間極有出入。竊認爲(三)Tabony 之範定，較爲具體。

### 三、國外各地發生乾旱概況

最近十年發生乾旱災變天氣地區，就手頭已彙集之資料，簡述如下：

#### (一) 英國

1. 1972 英國自 1972 年起，雨水不足達 36 個月，災情至爲嚴重。若考慮位蒸散  $Ep$  之影響，更能顯示其嚴重性，就乾旱時間言，長達 24 至 36 個月，歷史上已屬首屈一指。就草地乾旱而論，亦佔據記錄中之第四位。記錄中共有四年  $Re = 0$ ，1972 年至 1973 年冬季亦爲其中之一，若包括其前後之低

$Re$  時期，水文乾旱達二、三年，創最嚴重之記錄 ( Tabony 1977 )。

2. 1976 英國自 1975 年 5 月至 1976 年 8 月，雨水不足達十八個月，自同年五月起之 12 個月爲有記錄以來最乾旱之時期，部份 Midlands 及 England 中南部，雨量不及正常之 60%，其中二個夏季 ( 6 月至 8 月 )，大部地區均屬乾旱，陽光充足，天氣炎熱。1976 年春末，若干地區已遭受輪流供水之脅迫，至夏季時，南 Wales 與西南 England，數以百萬計之人民，已身受輪流停水之苦，甚至影響生活，草及短根作物大都枯萎，約至八月底，乾旱始行解除 ( Murray 1977 )。

(二) 美國 加州大部地區於 1976 至 1977 年，遭受本世紀中極嚴重之災害，季節降水偏低，情況如附圖一。該州之農業及旅遊業，均蒙受極嚴重之影響，農業及其有關行業損失達一億八千萬美元，農莊及森林因乾旱而引起火災，焚毀作物 165000 英畝，僅國家森林因樹木枯萎而死亡之損失高達一千萬美元。逕流 ( Runoff ) 較正常減少 25%，水庫儲水水位之低，創空前記錄，Union Valley 水庫乾涸情況如附圖二，因之若干城市實行節約用水管制 ( Shelton 1977 )。

(三) 蘇俄 1972 年蘇俄中亞農業區，中於乾旱，冬春兩季小麥收穫大減，蘇俄當局迫不得已乃向國外大量購買食糧，使國際麥價自 1972 年每噸 60 美元之價格，至 1974 年漲爲 240 美元 ( Newell 等 1976 )。

(四) 非洲 1972 至 1973 年，薩依 ( Sahel )、馬里 ( Mali )、毛利坦尼亞 ( Mauritania )、上伏塔 ( Uper Volta )、耐加 ( Niger )，以及車特 ( Chad ) 等地區，包括由北緯 10 度至 20 度，以及東經 30 度間之非洲大陸，東靠蘇丹 ( Sudan ) 之尼羅河盆地及依索比亞 ( Ethiopia ) 山脈，在此區域內，人口達二千五百萬，其中約四分之一，遭受乾旱災難，受影響之畜牲數自大致相若。雖有聯合國予以緊急救濟，仍有約十萬人及數千萬畜牲，因飢餓或病疫死亡 ( Glanzg 1977 )。

(五) 菲律賓 菲律賓於 1968 年逐漸感受乾旱威脅，雨水不足，作物蒙受影響，該國農業經濟局估計

農作物生產降低8%。糖業公司估計其產額將無法達成美國之配額，勢將影響其以後配額。灌溉用水減少，礦業亦因缺水而減縮開採時間。1969年1至4月情況最爲嚴重，農作物枯萎或乾死，土地缺水硬化，無法耕作(P. St-Amand等1971)。

#### 四、乾旱發生之氣象分析研究

乾旱爲重大之災變天氣，自應受氣象學家之重視與分析研究。茲仍根據手頭資料，簡述如下：

(一) 英國 英國氣象學會於1977年1月19日於Imperial College 集會(Atkins 1977)，對1975至1976年之乾旱作專題研究。主要討論分爲四部份：1 歷史背景，2 災變情況，3 災變發生原因，4 其他有關事項。就中氣象分析研究部份爲：

1 Miles分析自1975年5月至1976年6月，英國地面氣壓較準平均高5mb，500mb 氣壓面較準平均高5G.P.M.在東西經20度間，噴射氣流向北偏，移動自6至10個緯度。太平洋之溫度風較正常時強40%。

2 Green 之論文討論保持英國反氣旋之動力機制，並認爲乾旱之造成係由於噴射氣流分裂爲位於英國南北之二支，因其動能轉移而造成。

3 Ratcliff 就氣候觀點說明英國超平均氣壓與太平洋氣流偏高有關，及大西洋海面溫度與準二年振動(Quasi-biennial oscillation)西風相(Westerly phase)有關。

4 Berry (1976)根據1975年之月平均海面溫度距平看，指出北大西洋大部份爲負距平，在 $55^{\circ}$  N及 $40^{\circ}$  W附近，四月海水溫度較正常時低 $2^{\circ}$  C餘。彼引證Vinogradov 之研究結論，當五月時，西大西洋冰島之水溫較正常爲低，大不列顛(Britain)與斯堪地那維亞(Scandinavia)夏季每有高溫。六月中，海水溫度在西、中大西洋爲負距平，沿歐洲海水爲正距平，此種情況加強西大西洋之冷槽及東大西洋之暖脊，而在英國發生阻塞作用，駛引低壓遠離英國，因此形成乾旱。

5 Perry 說明乾旱期間大西洋海面溫度與地面氣壓相關之情況。

參加會議人數甚多，可見乾旱問題，極受重視，

會中認爲對1975至1976年之乾旱發生，雖已有相當解說，但對氣候及類似此極端事象之瞭解仍屬有限。主席結論亦認爲如何利用統計，提供意見，供今後實際策劃，仍有甚多不能確定之處。

(二) 巴西 Namias (1972)分析巴西北部乾旱，認爲Quixeramobim ( $W 5^{\circ} 12'$ ,  $S 39^{\circ} 18'$ )之乾旱與遠在5000英里以外Newfoundland之700mb 高度爲負相關，即當後述地區爲正距平時，前述地區可能發生乾旱。彼推論其原因爲，當Newfoundland 700mb 高度偏高時，大西洋高壓極可能削弱，因之Hadley cell 無力推動強勁東北信風，使巴西北部較難獲得充足水汽與旺盛對流，因而導致乾旱。

(三) 美國 Namias (1966)對美國東北部1962至1965年之乾旱，經過研究後，發現乾旱較嚴重時期爲春夏二季，且在該四年期內之大氣環流型式距大西洋海岸不遠處，有異常深厚之中對流層(Mid-troposphere)槽。因之不論地面或中對流層均形成較正常偏北東之合成風。在此種型態下，大西洋海岸處之氣旋活動、氣旋生成、氣旋消失較正常均多，且在未到達Newfoundland 前，較早因緬。反常之北東氣流，不但使美國東北部氣溫較低，且因沉降而乾燥，此可由Washington D.C. 之探定記錄之平均(附圖三)，以察知之。

Wagner (1977)認爲美國1976至1977年中西部乾旱，係由於1976年開始駐留之高空氣流及阻塞高壓所導致。

(四) 非洲 薩依屬熱帶地區，雨量主要係由間熱帶輻合區(I.T.C.Z.) Hadley 環流之上升支流，在夏季移至該區所致。此環流上升區於八月到達最北端，上升區移入該地區，即爲其雨季。圖四爲1964、1968及1972年八月中非雨量資料，圖四(A)中北緯以北有300、400mm 之等雨量綫，200mm等雨量綫約位於 $15^{\circ}$  N，至1972(圖四(C))，200mm等雨量綫已南移至 $10^{\circ}$  N附近， $15^{\circ}$  N附近雨量大多僅50mm左右。雨量減少原因，經Winstanley (1973)與Namias (1974)之研究，均認爲與大西洋高壓脊南移(自1961至1965之位置南移2度)有關。此外Tanaka等(1975)、Charney

等(1975)及Otterman(1974)均認為與該地區反照率增加有關(附圖五),至於反照率增加之原因,則說法不一,或謂撒哈拉沙漠南移,或謂地面農作物減少,或謂地面型態改變,導致沉降氣流。

(五) 蘇俄 蘇俄小麥產區1972年乾旱情形,可由該年8月雨量佔準平均雨量之百分比(附圖六)明白看出,該區雨量當不及正常值之50%。少雨量因,據Newell等(1976)分析乃因東經及北緯50度地區出現強烈阻塞高壓,比較1972年8月及8月長期平均700mb(附圖七),情況至為明晰,實則此種情形在一月已現端倪。更由檢視過去28年資料中,發現八次歉收,其中六次與阻塞高壓有關(Newell等1976)。

綜合上述,可知乾旱因地區不同,原因亦有所不同,但最主要者仍為大規模之大氣環流之變異,其中包括噴射氣流位置變異,等壓面高度異常,如發生阻塞高壓等,此外海面水溫及陸地情況變化,如農作物地區大量增減等,亦極應注意。

## 五、乾旱解救措施

乾旱發生之後,氣象上所能採取之措施,最重要者為雲種散播,即俗稱之人造雨,此種措施,世界各地,多曾實施,茲以菲律賓1969年4至6月中所進行之GROMETII(St-Amond 1971)為例,以說明之。

菲律賓該年乾旱情況已於三(五)段內略述,為解救乾旱災難,菲律賓政府請美國政府協助實施雲種散播。美國政府指派空軍擔任執行任務,國家天氣中心(NWC)擔任技術指導,會同菲律賓空軍、氣象局及民航界權威人士(Civil Aviation Authority)共同執行。使用Wc-130 Lockheed Hercules飛機,由空中向選定雲中發射開花散播彈(Pyrotechnic Seeding Agent),其執行任務62次,據計全部費用達434000美元,全部效益成本比約為16:1。

此外美國自1946年,Shaefer發現投乾冰於過冷雲中,立即降雪之實驗後,即不斷注事雲種散播,較受重視者(Biswas等1971)為加州之Santa Barbara與Santa Clara計劃,Arizona州之Fl-

agstaff及South Dakota州之Sky Water計劃, Missouri州之Whitetop計劃,以及Miami之StormFury計劃等。此外南美之Mexico、Peru、Colombia、Panama、Puerto Rico,非洲之Tanganyika、Kenya、Madagascar,亞洲之印度,均曾實施人造雨。目前有若干人士對人造雨效果仍表懷疑,但冷雲散播之結果,已益見使人滿意,既使雲種散播僅可使空中雨水改變降落地點,亦極有應用價值,且由於人造衛星及計算機等已更精密,可使造雨益趨科學化而加強其效果。

除氣象上之措施外,乾旱時期對於日常用水,多加限制。亦有自其他地區運水供應者,美國加州乾旱時,即曾如是(Shelton 1977)。但若旱區遼闊時,則實施不易。至於農田需水,可利用水庫或地下水,以緩和旱象,惟乾涸過甚時,仍屬杯水車薪,無濟於事。美國內華達州之沙漠研究所,分別就大氣物理(主要為雲種散播)、耐旱作物及保留水資源加以研究,非沙漠地區,若能預報乾旱,此等途徑,似可預為考慮。

## 六、乾旱預報研究

參考文獻中專門討論乾旱預報者不多,但自雨量預報及長期預報中討論旱年及濕年之論文中仍可擷取其有關部份如下:

(一) Bell(1976a)之研究指出香港夏季五至十月份雨量多寡與一月份Irkutsk東京間平均海平面氣壓差( $\Delta P$ )有關。二者隨年變化之相關情形為圖八。夏季雨量與一月份 $\Delta P$ 之散佈圖為圖九。Bell並特別指明相關係數常隨時間改變,故預報時仍應注意其變化之趨勢。

翌年Bell(1977b)又延伸上述研究,認為當一月之緯流指數為低指數時,緊接之香港夏季可能乾旱,彼由日本發佈之 $40^{\circ}N$ 至 $60^{\circ}N$ , $90^{\circ}E$ 至 $170^{\circ}E$ 一月(1948-73)緯流指數與香港雨量,求得二者之相關係數 $r = 0.46$ ( $N = 26$ ),其有意性標準(Significance level)在5%以外,此外Bell尚求出15個相關項目如附表一:

附表1 主要相關項目表

	時間	r	N	有意性標準(%)
一月 Irkutsk - 東京氣壓差. $\Delta p$ . 與香港雨量	1959 ~ 73	-0.82	15	0.1
一月 40° 至 60° N, 90° 至 170° E 500mb 指數與香港雨量	1948 ~ 73	0.46	26	5
一月 35° 至 55° N, 5° 至 175° W 700 mb 指數與香港雨量	1948 ~ 73	0.51	26	1
香港雨量與五月 40° 至 60° N, 90° 至 170° E 500mb 指數	1947 ~ 73	-0.51	27	1
一月與五月 40° N 至 60° N 180° E 至 180° W 500mb 指數	1947 ~ 73	-0.40	27	5
一月 30° 至 50° N, 120° 至 150° E 500mb 距平與香港雨量	1947 ~ 73	0.71	27	0.1
一月新加坡與 Kagoshima 200mb 風切與香港雨量	1958 ~ 73	-0.69	16	1
一月新加坡與 Kagoshima 200mb 風切與香港 4 至 10 月雨量	1958 ~ 73	-0.79	16	0.1
一月新加坡與 Kagoshima 200mb 風切與一月 90° 至 170° E 500mb 指數	1958 ~ 75	-0.74	18	0.1
一月新加坡與 Kagoshima 200mb 風切與香港 200mb 東風開始日	1958 ~ 74	-0.58	17	5
Canton 海面海水溫度趨勢與其後之香港雨量	1950 ~ 67 1971 ~ 74	0.55	19	1
Canton 海面溫度趨勢與 20° 至 35° N, 5° 至 175° W 700mb 八月前指數	1950 ~ 67 1971 ~ 74	0.55	23	5
一月 30° 至 50° N, 120 至 150° E 500 mb 距平 Tam Mayer 六月雨量	1951 ~ 73	0.59	23	5
一月 Greed land 160 至 80° N, 30° 至 60° W ) 與 Bergen 氣溫	1950 ~ 73	0.59	24	1

表中各項所代表之物理意義相差不多，歸納言之可謂若一月間中對流層之西風較弱，前述之  $\Delta p$  值較大，東北季風較強，緊隨之香港夏季趨向高指數而雨量較少，一月間東北季風旺盛代表該月東亞 Hadley cell 補償回流必強，因一月份 200mb Hadley Cell 若強，香港之夏季有趨於高指數之勢，而雨量偏少。

此外 Bell (1977) 另為文討論太陽黑子與氣壓季風及降水之關係，但對太陽黑子及降水關係仍持懷疑態度。

(二) Murry (1970) 闡述英國 Bracknell 氣象局所發展之長期預報方法係以類比選取過程 (Analogue Selection Procedure) 及物理研討 (Physicle discussion) 為基礎，物理討論之主

要項目為表二：

表二 物理討論之主要項目

- 1 海水
- 2 海面溫度距平
- 3 海海面溫度距平
- 4 半球大氣環流
- 5 綜觀氣候
- 6 統計及綜觀法則

類比選取過程之主要項目為表三：

表三 類此選取過程

- 1 Lamb 與 Ward 分類之逐日綜觀序列 (Daily synoptic sequence).
- 2 Progression Southerly bias Cyclonicity Meridionality (PSCM)

) 指數。

- 3 月平均氣壓
- 4 月平均氣溫
- 5 北大西洋 Sea surface Temperature (SST) 距平型
- 6 月平均 500mb 圖

英國氣象人員從事 12 小時 預報時，即運用此二種方法，且獲得若干長期預報法則，其簡例如下：

**附表四 月間相關情況表**

前況 (Precondition) 預報

- 1 嚴寒 (T<sub>1</sub>) 冬季 R<sub>1</sub> 三月 (2.6.9)
- 2 嚴寒 (T<sub>1</sub>) 冬季 冷三月 (5.8.2.2.1)
- 3 十月前至少有五個月之 R<sub>1</sub> 期 R<sub>1</sub> 十一月 (15/16)
- 4 七月前至少有三個月之 R<sub>1</sub> 期 R<sub>1</sub> 八月 (24/26)
- 5 R<sub>1</sub> 三月與 R<sub>2</sub> 四月 R<sub>1</sub> 五月 (17/20)
- 6 T<sub>1</sub> 十一月 T<sub>3</sub> 十二月至一月 T<sub>3</sub> 二月 (14/15)

註：雨量為三分法 (Terciles) R<sub>1</sub> (乾)，R<sub>2</sub> (平均)，R<sub>3</sub> (濕)；平均溫度採五分法 (quintiles) 自嚴寒 (T<sub>1</sub>) 至炎熱 (T<sub>5</sub>) R<sub>1</sub> 代表 R<sub>1</sub> 及 R<sub>2</sub>，括弧內數目代表各類出現之次數，分式代表出現機率。

**附表五 由 50N 500mb 槽綫位置預報月雨量 (12~3月)**

**附表七**

1954-72 年一月前半月氣溫等次 →

	A	既非 A 亦非 B	B
	75°W 以西與 20°W 至 5°E		50° 至 75° W 5° 至 25° E
	預報濕	預報平	預報乾
下月 England 及 Wales 雨量	濕 4 (3)	平 2 (1)	乾 1 (0)
	3 (2)	7 (5)	10 (8)
	4 (1)	4 (0)	

註：雨量採三分法，括弧內係按半月槽綫位置增訂標準後之頻率。照此標準之例為：槽在乃位置報乾 9 次中可命 8 次。

其季預報關係如附表六：

**附表六 季節關係**

前況	預報
1 T <sub>1</sub> 冬季與 T <sub>2</sub> 二月	T <sub>1</sub> 春季 (10.6.2.1)
2 T <sub>3</sub> 二月	T <sub>1</sub> 春季 (1.2.4.4.8)
3 T <sub>2</sub> 四月	T <sub>2</sub> 夏季 (2.6.11)
4 R <sub>3</sub> 夏季	R <sub>2</sub> 秋季 (5.11.14)
5 R <sub>3</sub> 秋季	T <sub>2</sub> 冬季 (6.8.9.4.3)
6 R <sub>3</sub> 九月與 R <sub>3</sub> 十月同	T <sub>2</sub> 冬季 (3.10.5.01)

出現於 Scotland, England 與 Wales

Mury 文中並繪有各種情況下之天氣圖，說明相關之原因。

(三) Ratcliffe (1974) 利用 500mb 距平圖從事長期預報研究，彼預報冷、暖或濕、旱。方法為以各地多年某半個月之氣溫或雨量記錄，依照多寡排列等次 (Rank)，其例如附表五：

	Bidston	Oxford	Kew	Plymouth	Cambridge	Nottingham	Durham	Sum of rankings	Ranked sum
1945	4	4	2	2	6	6	9	33	1950 193
46	18	20	18	26	22	22	23	149	1948 188
47	10	17	12	25	16	11	15	106	1957 179
48	27	27	28	27	27	27	25	188	1949 169
49	23	25	24	22	28	25	22	169	1952 164
50	28	28	27	28	26	28	28	193	1972 151
51	9	21	19	21	20	19	8	117	1965 151
52	24	24	25	24	24	24	19	164	1946 149
53	7	6	4	4	8	9	11	49	1969 127
54	22	15	16	14	18	17	21	123	1958 124
55	3	2	3	5	4	3	4	24	1954 123
56	13	9	10	12	9	14	12	79	1951 117
57	26	26	26	23	25	26	27	179	1947 106
58	19	18	21	17	21	18	10	124	1971 103
59	2	3	6	6	2	2	1	22	1964 102
60	16	12	14	9	12	16	14	93	1961 101
61	11	16	17	13	15	12	17	101	1960 93
62	17	10	13	10	11	10	13	84	1962 84
63	1	1	1	1	1	1	2	8	1956 79
64	20	14	9	7	17	15	20	102	1970 60
65	25	23	22	15	19	23	24	151	1966 55
66	12	8	7	11	5	7	5	55	1953 49
67	8	5	5	3	7	5	7	40	1968 48
68	5	7	8	18	3	4	3	48	1967 40
69	14	22	20	20	14	21	16	127	1945 33
70	6	11	11	8	10	8	6	60	1955 24
71	15	13	15	16	13	13	18	103	1959 22
72	21	19	23	19	23	20	26	151	1963 8

研究乾旱時亦可將雨量照上法列為等次，然後將之分為乾旱，正常及潮濕，設預報者為9月份乾濕，可將多年該月等次分為乾旱，正常及潮濕，然後選出旱、濕情況下之八月份500mb圖，將早年與濕年各圖分別繪出其平均圖。再以此二平均圖繪二者之差圖，並作有意性測驗，對測驗求出之有意性地區，繪於附圖中，加以注意其所用者為Welch 測驗。

$$W = \frac{|x_1 - x_2|}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

式中： $x_1$ 及 $x_2$ 為選樣之平均值  
 $s_1$ 及 $s_2$ 為選樣之標準差  
 $n_1$ 及 $n_2$ 為選樣之次數

$w$ 之5%有意性值視下式中之 $H$ 而不同

$$H = \frac{(s_1)^2}{n} \left( \frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \right)$$

當 $H > 0.8$  或  $H < 0.2$  為2.29

當 $0.6 < H \leq 0.8$  或  $0.2 \leq H < 0.4$  為2.16

當 $0.4 \leq H \leq 0.6$  為2.10

附圖十即表示濕與旱九月份前之八月份500mb平均差圖中有意性差別(5%)之地區。圖中顯亦其後將為濕九月份之符號，旱九月份者符號相反，

至此僅餘以現在之500mb距平圖與濕早年減旱濕年500mb平均差圖之比較。Ratcliffe採用之方法為在負區內求各網格點距平之和，減去正區內各網格點之距平和。在濕九月份前其值應為頗大之負數，附表八，即為求得之距平總值與旱、平濕年之比較。

附表八 八月份500mb有意性點之距平總值等次與九月份雨量比較

RANKED 500 mb ANOMALY TOTALS AT SIGNIFICANT POINTS. AUGUST FOR SEPTEMBER (RAINFALL)		
Year	500 mb anomaly Total	Rainfall category
1969	315	Dry
1947	311	Dry
1959	285	Dry
1955	251	Dry
1971	148	Dry
1948	119	Normal
1966	113	Dry
1949	112	Dry
1964	91	Dry
1970	81	Normal
1968	48	Wet
1953	23	Normal
1960	13	Wet
1967	11	Wet
1945	10	Normal
1961	-6	Normal
1952	-17	Wet
1950	-54	Wet
1958	-54	Wet
1951	-77	Normal
1965	-82	Wet
1963	-85	Normal
1954	-97	Normal
1962	-100	Wet
1957	-111	Wet
1946	-125	Wet
1956	-145	Normal

Lee與Rutcliffe( )復利用地面氣壓距平從事冷暖旱濕報報，其最主要之改進為並非使用歷年記錄，而係將各年記錄列入T/R(氣溫/雨量)圖(附圖十一)，選定與當年類似之各年(圖中虛綫圖內為與1974年類似年)為依據，其所得之結果，頗能支持使用500mb距平之作法。

## 七、結語

由前述之文獻中可看出，乾旱問題雖早受人注意

，但從事研究者不多，研究結果亦尚未達滿意程序。此項問題與大規模大氣環流攸關，初認為可自大氣最重要能源太陽變化窺其端覽，惟迄難作完論。最近轉而重視地球上之變異，其重要者如海水溫度，陸地之反照率等，前者與海冰雪域之變化有極大之關係，後者與植物蓋覆面積及沙漠移動有關。此外空氣中成份改變，如污濁度二氧化碳增加等，當亦有其影響。故吾人欲研究有關本國之乾旱問題時，絕不能忽略此等問題。但更應注意季風變化之研究，以及以往乾旱資



料之分析，亦即併同重視地域性，分析乾旱形成之因素，以統計或模式方法，試圖預報，期望假以時日，累積知識，能漸具應用效果。

本文因限於時間，資料彙集，難免掛一漏萬，尚請讀者對疏漏者不吝賜教，俾加增補為感。

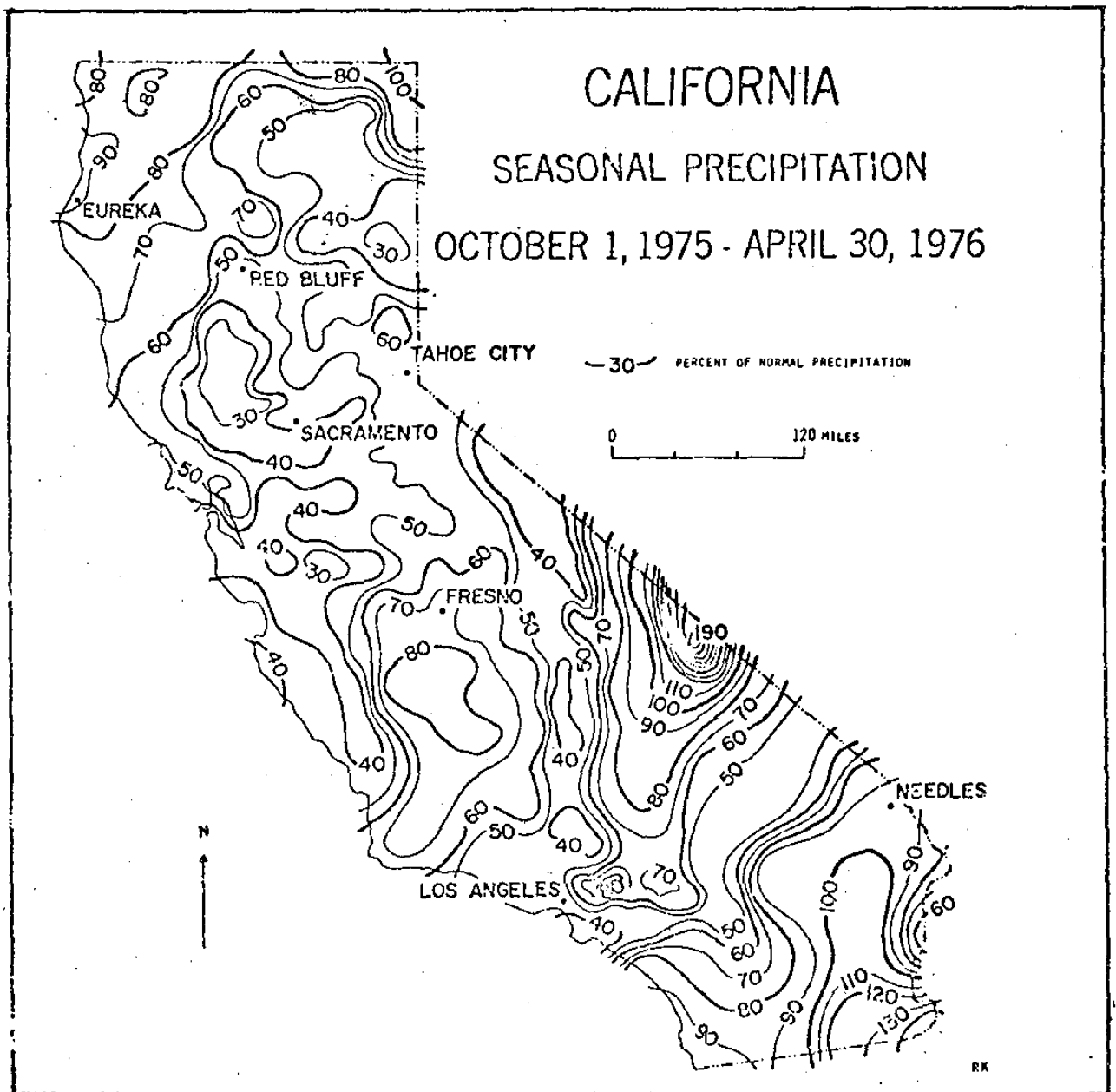
### 參考文獻

- Atkans Margaret J. (1977) Royal Meteo. Soc. Meeting report—The Drought of 1975-76 Weather.
- Bell B.J. (1976 a): Seasonal Forecasts of Hong Kong Summer Rainfall, Weather Vol. 31 PP. 208-212.
- Bell B. J. (1976): Seasonal forecast and Northern Hemisphere Circulation Anomalies Ibid, 31 pp. 282-291.
- Bell (1977): Changes in sign of the Relationship between sunspot and pressure, Rainfall and the Monsoon, Weather Vol. 32 PP. 26-32.
- Biswas K. R. and Dennis A. S. (1971): Meteorological observation for further Weather modification programs. Report 71-5 Institute of Atmospheric Science. South Dakota School of Mines and Technology.
- Charney J. P.H. Stone, and W.J. Quirk (1975) Science, 187 (4175) 434-435.
- Ellison T. H. (1970): Introductory remarks, Discussion meeting on long range fore-casting Quart J. R. Met. Soc. 96 pp. 326-328.
- Father John R. (1974): Climatology: Fundamentals and Application p.p. 167 McGraw-Hill Book Co. New York.
- Lee D. R. A. S. Ratcliffe (1976): Objective methods long range forecasting.
- Lurray R. (1970): Recent development in long range forecasting in the Meteorological office Quart J. R. Met. Soc. 96, pp. 329-336.
- Lurray R. (1977): The 1975/76 Drought over the United Kingdom—Meteorological Aspect. The Meteorological Magazine Vol. 106, No. 1258, pp. 129-145.
- Namias J. (1966): Nature and possible causes of the northeastern United States drought during 1962-65. Monthly Weather Review Vol. 94, No. 9, pp. 543-554.
- Namias Jerome (1972): Influence of north hemisphere general circulation and drought in northeast Brazil Tellus XXIV 4 pp. 336-342.
- Namias J. (1974): Preprint Volume (Part 1) International Tropical Meteo. Meeting 141-144.
- Newell R. E. J. W. Kindom, D. G. Vincent, and B. J. Boer (1974): The General Circulation of the Tropical Atmosphere and Interactions with Extratropical Latitude Vol. 2, Cambridge MIT Press pp. 371.
- Newell R. E. and M. Tanaka (1976): Bull A. M. S. Vol. 75, No. 2, pp. 192-198.
- Palmer Wayne C. (1965): Meteorological Drought Research Paper No. 45, U. S. Depart of Commerce, Weather Bureau, pp. 2.
- Rurray A. H. (1976): The Long Drought of 1975-76 Weather. Vol. 31, No. 10, pp. 328-334.
- Ramage C. (1971): Monsoon Meteorology, Academic Press, pp. 124.
- Ratcliffe R.A.S. (1974) The Use of 500 mb Anomalies in Long Range Forecasting, Quart J. R. Met. Soc. pp. 234-244.

- Schelon Marlyn (1977): The 1976 and 1977 drought in California: Extent and Severity Weatherwise Vol. 30, No. 4, pp. 139-146, pp. 153.
- St-Amant P.D. W. Reed, J. L. Wright and S. D. Elliott (1977): GROMET II Fainfall Augmentation in the Philippine Island. Naval Weapons Center China Lake. California.
- Subrahmanyon V. P. (1969): Some Aspect of Drought Climatology of the Subhumid Zones of South India. Journal of Met Society of Japan. Vol. 47, No. 4, pp. 239-244.
- Tanaka M. B. C. Weare A. R. Navat and R. Z. Newell (1975): Nature Vol. 255, Mag. 201-204.
- Wagner J. (1977): The General Meeting of the American Geophysical Union.
- Winstanley D. (1973): Nature Vol. 243, 464-465.

### 附加參考文獻

- Davy E. G. (1974): WMO Bull 23(1), 18-23.
- Ebdon R.A. (1975): Meteo. Magazine 104, 282-297.
- Duckhan A.N. (1974) Weather 29, 242-251
- Glantz M. (1977) Bull A.M.S. Vol. 58 #2150-158.
- Grindly J. (1976): Meteo. Magazine, Vol. 96. #1137, 97-108.
- Katz R. W. & M. H. Glantz (1977): Westview Press Boulder, Vol. in press.
- Manson B. J. (1976): Quart J. R. M. S. Vol. 102, No. 433, 473-498.
- Mules M. K. (1977): Meteo. Magazine Vol. 106, #2258, 155-164.
- Namias J. (1960) IA S.T. Publication #51 Commission of Surface water 81-94.
- Namias J. (1970): J. Geophys Rev. 75, 565-582.
- Namias (1975): Science Vol. 187, 434-435
- Otterman (1974): Ibid Vol. 186, 531.
- Ratcliffe R. A. S. (1977): Meteo. Magazine, Vol 106, #1258, 145-155.
- Smithson P.A. (1976): Weather Vol. 31, #8, 246-254.

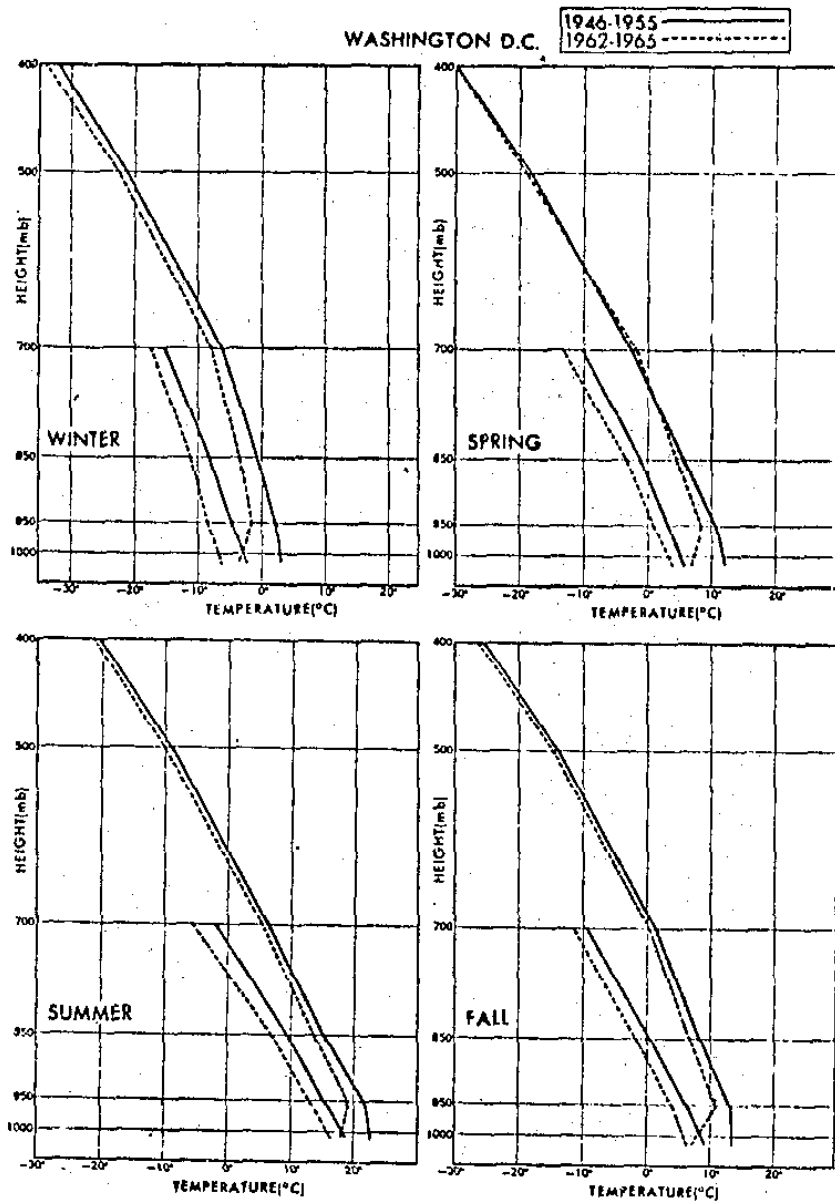


Seasonal precipitation for 1976 as a percentage of normal. From California Cooperative Snow Surveys.

圖一 美國加州 1976 年季降水量佔正常降水量之百分比

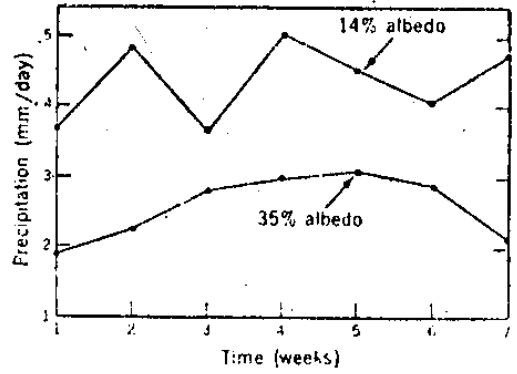
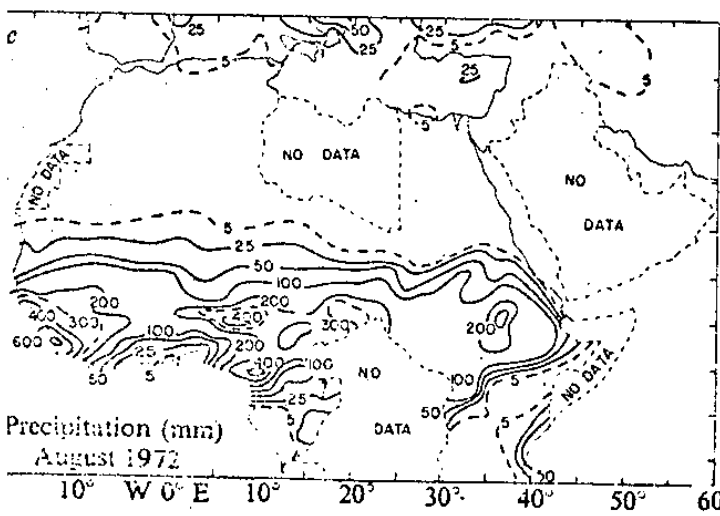
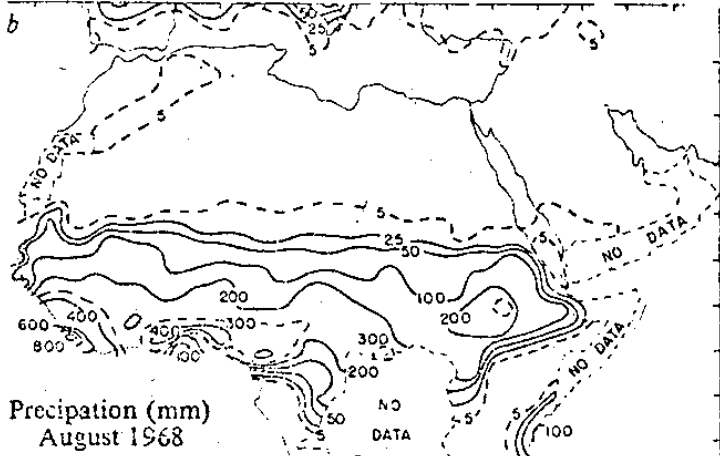
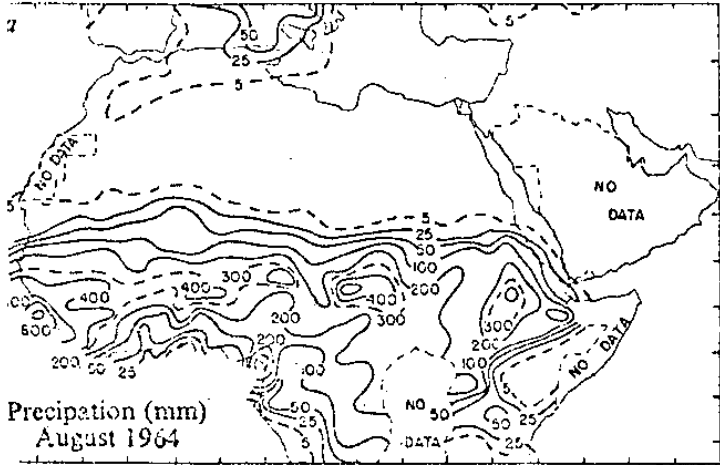


Effect of drought on bed of Union Valley Reservoir.  
圖二 乾旱對 Union Valley 水庫床之影響。



圖三 美國華盛頓 1962 — 65 四年之平均氣溫遞減率與露點高度曲綫（虛綫）與 1946 — 55 期內平均（實綫）之比較。探空時間為 1200Z。

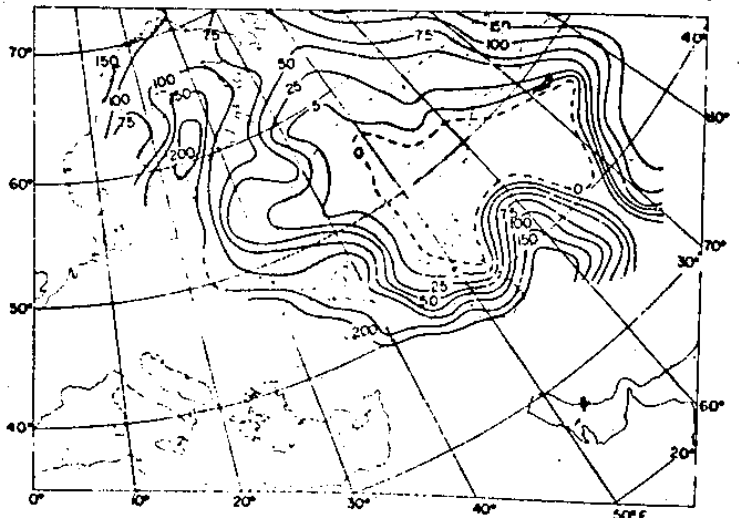
Analyses of August precipitation data for 1964 (a), 1968 (b), and 1972 (c) for the African region.



Weekly mean rainfall rates in the Sahara during the 7 weeks of the experiments.

圖五 非洲 Sahara 地區於實驗之七個星期

期間之週平均雨量。

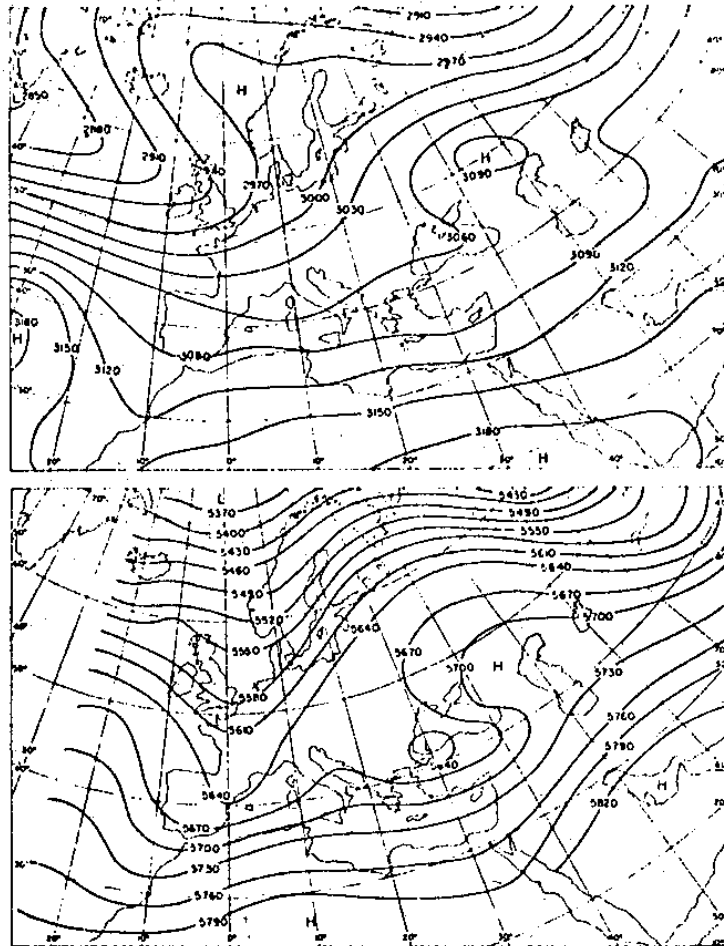


Percent of normal precipitation for August 1972. Spring wheat area is shaded.

圖六 1972 年 8 月雨量佔其正常值之百

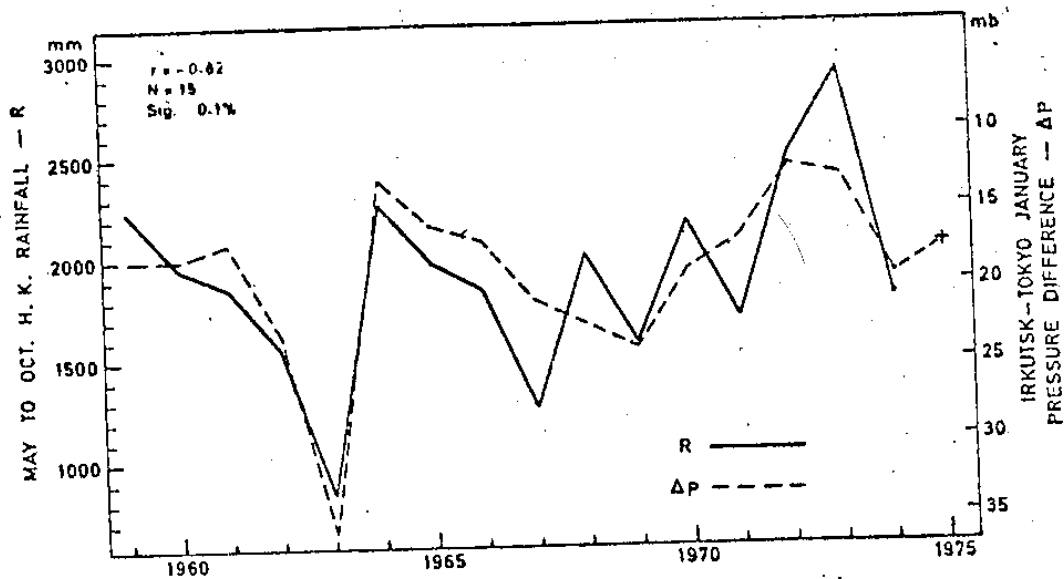
分比。春麥區以陰影標示。

1 非洲地區 1964(a) · 1968(b) 與 1972(c) 八月雨量分析。



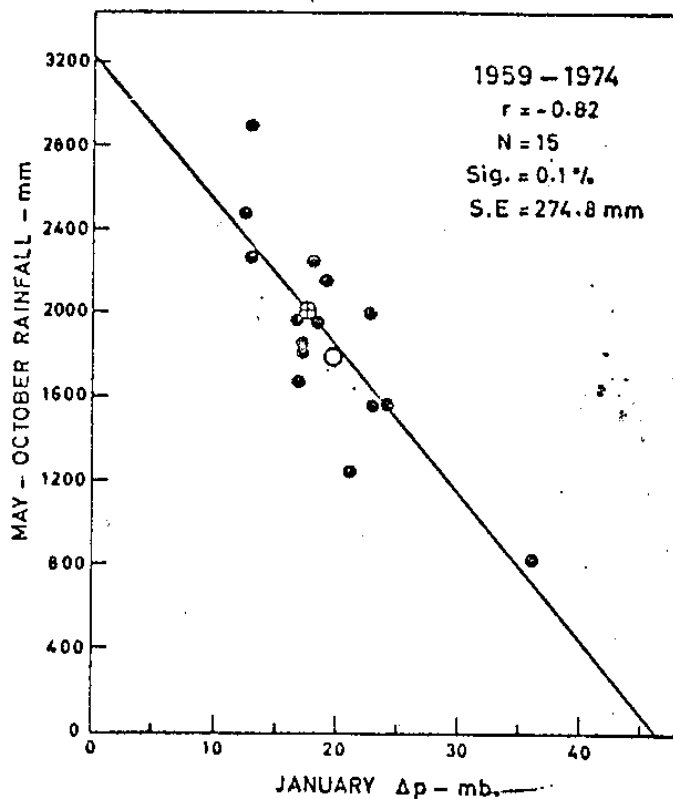
(Upper) 700 mb height for May 1972. (Lower) 700 mb height for May 1975. Units: geopotential meters.

圖七 1972年5月700mb高度圖(上)及1975年  
700mb高度圖(下) • 單位 gpm •



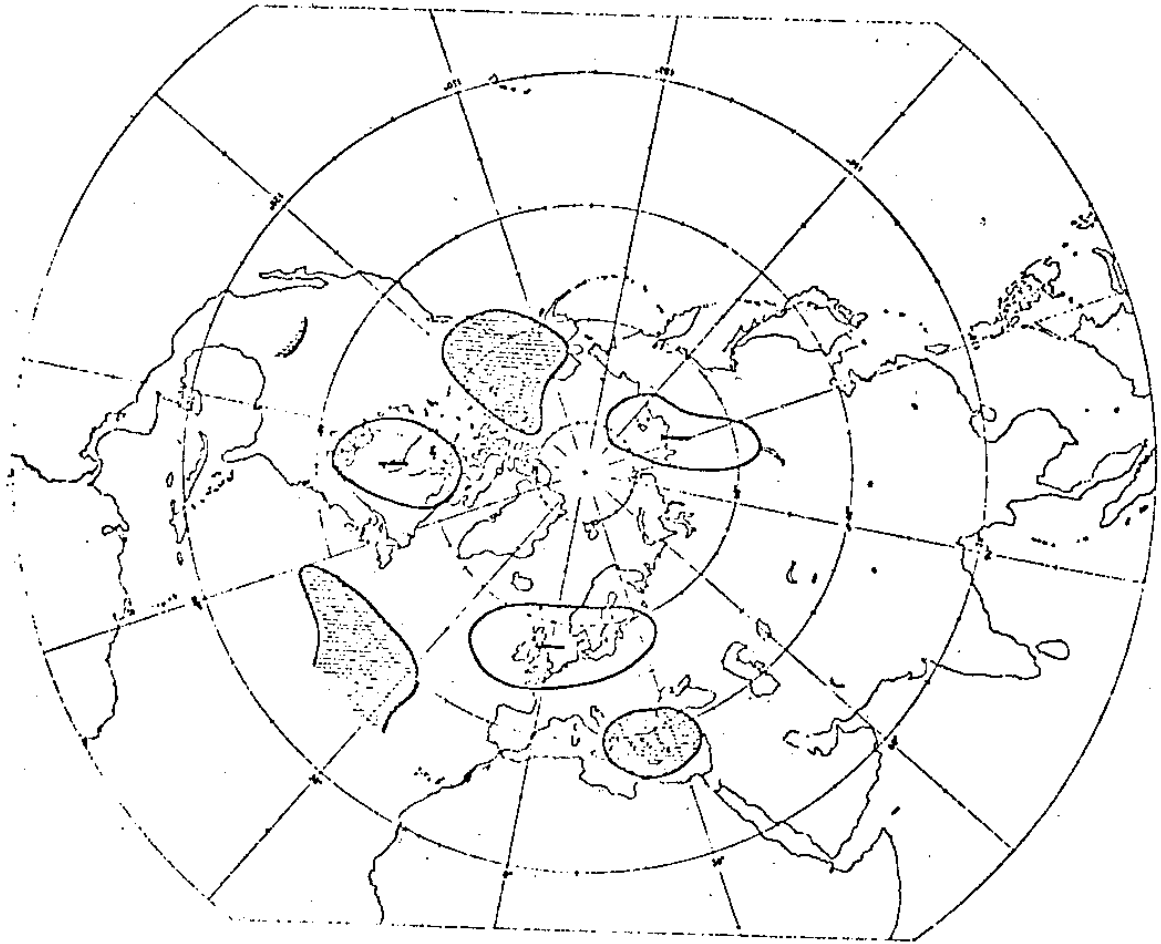
The variation of Hong Kong rainfall and the difference in mean sea-level pressure between Irkutsk (52°16'N, 104°21'E) and Tokyo (35°41'N, 139°46'E) in the previous January during the past 16 years (1974 not included in the calculation of  $r$ ). The cross refers to the 1975 value of  $\Delta p$

圖八 香港雨量變化與Irkutsk 東京間過去一月間16年海平面氣壓差之關係。有×處代表1975年之 $\Delta P$ 。(計算 $r$ 時未包括1975資料)。



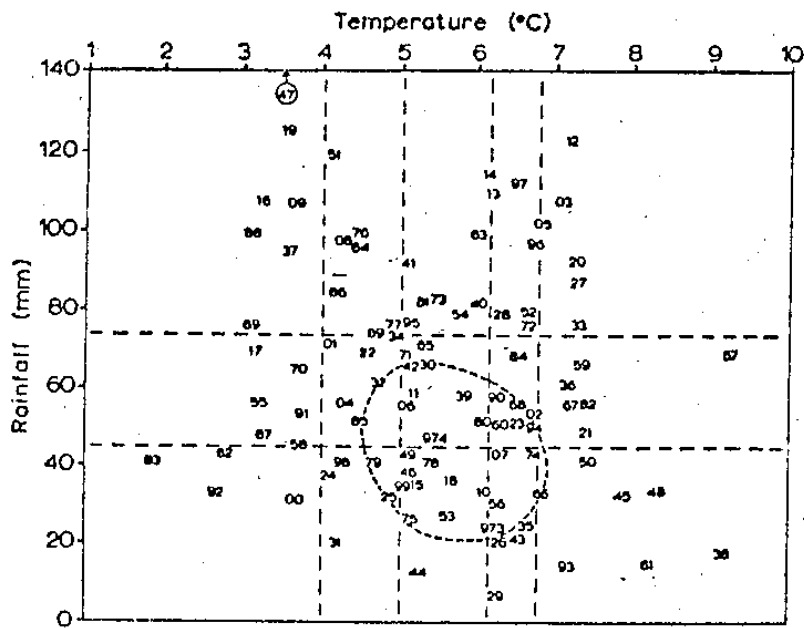
The data of Fig. 8 plotted as a scatter diagram. The open circle refers to the 1974 values which were not included in the calculation of  $r$ . The cross corresponds to the 1975 value of  $\Delta p$ , 17.4 mb, indicates a rainfall for 1975 of about 2000 mm

圖九 以圖八資料繪製之散佈者。○指計算 $r$ 時未包括之1974值。⊗為1975  $\Delta P$  為 17.4mb。指示1975年雨量約為2000mm。



Areas where mean 500 mb contour heights were significantly anomalous (5 per cent level) in Augusts preceding wet Septembers. Areas of positive anomaly cross-hatched.

圖十. 潮濕九月前八月 500mb 高度線圖有顯著性距平 (5% 標準) 地區. 蔭影區為正距平區.



T/R (Temperature/Rainfall) diagram for Marches 1873-1974. Area defined by dashed line encloses 25 years with most similar conditions

圖十 - 1873 - 1974 三月之 T / R (溫度 / 雨量). 虛線區內包括情況極為近似之 25 個年份.