

大尺度氣候變化

許丕詔

美國航空及太空總署

一、前言

範圍廣大的水旱災，不時在全球各地發生。當1982 - 83的El Nino-Southern Oscillation (ENSO)出現時，印尼、澳洲北部和巴西均有苦旱。同一時期，在秘魯北部、美國西部及華南則有相當嚴重的水患。災情往往持續一兩季，隨著ENSO的消失，氣候才恢復正常。至於東非的乾旱，有時一連若干年，則不一定與ENSO有什麼關係(Nicholson, 1983)。異常大尺度降水量的變化，顯然不只一種模式。水旱災同時發生在沒有地緣關係的兩處，設非巧合，則降水分布必受某種大尺度鏈鎖反應所支配，那麼，此種現象極有可能重複出現。

熱帶降水所釋出的潛熱，力能左右大氣環流乃至全球氣候的變化。熱帶雨量的變化又與大洋表面水溫(SST)的異常有著密切的關係。許多大氣環流模式，已證實了此一效應。可是吾人對環球異常降水的情況，所知有限，只能代之以表示雲量的長波輻射(OLR，見Lau and Chan, 1983 a, b)。由於測站太少，熱帶的雨量觀測資料，不足以作為數值模式結果的參考，但長期的測站數據，仍然是大尺度降水變化訊息的最佳來源。

二、資料與分析

本文採用的資料，選自NCAR收集的每月一次全球地表氣候記錄。該記錄收有約4000個測站，少數竟可溯至17世紀中葉。本文只選用1901至

1980年的記錄，測站則限定在南北緯50度之間。首先選取資料完整性達九成以上的測站，但在每5度方圓內，只選一站。由於太平洋及華北中選的測站太少，乃補進一些欠缺資料可達四成者，如此共得155測站。本文的主要目標是用EOF(Empirical Orthogonal Function)來分析降水異常量。此量即以每月實得降水量扣除該月份正常(平均)降水量。倘遇記錄缺失，概以零計之。

三、氣候概況

根據這80年的記錄，逐站算出12個月份的年變化，然後加以調和分析(Harmonic Analysis)。圖一是第零次調和(Zeroth Harmonic)的分布，也就是長期平均降水量。大致上以西太平洋赤道附近的雨量為最豐，多雨帶沿南太平洋輻合區向東南伸展。北半球最多雨的地帶，則在亞洲大陸的海岸線，以及從南美北部經大西洋的ITCZ到西非一線。最大的乾燥地帶則在北非、中東和西亞，其次有澳洲西部和秘魯。這些結果，基本上和吾人耳熟能詳的世界氣候相合。

圖二所示者為第一調和(First Harmonic)所提供的訊息。圖中短線係從測站位置指向雨季的高峰時節(以時鐘方位代表月份，例如：正北即12月1日)。線段長度代表年雨量變化的振幅，但以該站之年雨量為單位。因此，線段愈長者，雨季愈明顯。環顧全圖，主要的夏季季風雨區一印度和東亞，其旺季在七、八月之交，明示其中。東亞季風區

且遠及緯度高達40的北緯。中國東南部與日本的雨季，則在六、七月之間，應是梅雨使然了。其它的夏季季風型雨區，則有中美及非洲西岸。冬季季風型或降水集中於一、二月之間者，主要有印尼、澳洲、南美中部及南非的內陸。在太平洋的赤道上，雨量雖多，却無顯著的雨季。而北美西岸的雨量集中於冬季，則甚明朗。凡此種種，顯示了此組雨量資料（固態降水均已換算成雨量）是相當確實和可用的。

四、ENSO型異常雨量

用全球各地年雨量異常值所求出的第一個EOF（以下簡作EOF 1），佔有總變量的11.4%。圖三乃與EOF 1相關的時間係數序列（下稱T 1），其特徵是不俱任何周期性。另觀分列在表一和表二的暖年和冷年，這是根據赤道太平洋的海溫而決定的，但與用其他方法產生的ENSO年份，大致相符（Rasmusson and Carpenter, 1982; Quinn, 1979; van Loon, 1984）。圖三中具負值的年份，與表一所列的暖年甚為相當，以本世紀初期出現的頻次較高。正值的年份與冷年，亦有相當程度的呼應。此外，T 1和達爾文的海平面氣壓，也有確切的關係，而該氣壓值幾是南方振盪強度的最佳指標。圖四明白地顯示了兩者間的反比關係。凡此種種，意味著此處所得之EOF 1，實乃一種在ENSO支配下的變化類型。圖五為此類型的分布概況，逢暖年則雨量多於常年的地區計有：

- F 1. 中太平洋楔形地帶；
- F 2. 美墨邊界；
- F 3. 智利、阿根廷中部；
- F 4. 華東、華南及日本；
- F 5. 東非、中東；
- F 6. 西歐及其大西洋岸

在相同的年份裏，雨量少於常年的區域則有：

- D 1. 從南太平洋輻合區（SPCZ），經澳洲東北角和印尼而達卡洛林群島的馬蹄形地帶；
- D 2. 印度北部的季風帶及華北；
- D 3. 委內瑞拉、哥倫比亞及亞馬遜盆地；
- D 4. 南非；
- D 5. 北非的撒哈拉和蘇丹。

對比最鮮明的F 1和D 1地區，也正是每逢ENSO發生時，異常對流現象最突出的地區（Lau and Chan, 1983a）。放眼全球，此EOF 1所展示的異常降水分布狀況，和1982-83這個ENSO期的觀測報告（Gill and Rasmusson, 1983），可互相印證。這種大尺度的異常乾濕現象，實乃並行而相抵。由此推測，雨量的異常，是源於大氣環流的錯位，而不是總能量增減的結果。

研究SST的一個重要課題，是利用環流模式來模擬熱帶SST的變化對降水量的影響。本文或可提供一個實際數值，以資比較。表一和表二的A（B）行，是三個選自D 1（F 1）地區的測站之平均值，代表某年的異常雨量，以mm/day為單位。暖年的異常量可達+6.5或-4 mm/day，較之於某些GCM的結果，相去並不遠（見Lau, 1985）。表中的最右行，可用以表示某一暖年或冷年異常的程度。一般而言，暖年具有的影響力大於冷年，而降水的盈量，又往往勝過虧量。

五、世紀型異常雨量變化

EOF 2佔總變量的7.4%。從圖六中可看出，其時間序列在前40年的變化不大，而後40年則一路下降。據Fletcher (1982)說，熱帶海洋和大氣的聯合系統中，隱藏著一個約120年的冗長變化周期。謹將他所提出的雙重證據，恭錄於圖七內：上

圖(a)是本文的時間序列T 2 並列以備比較；中圖(b)和下圖(c)則分別為東風和S S T 的異常量，但所用資料，僅限於南北緯 30 度間的太平洋上，從 b 圖可以看出，自 1900 年左右開始，洋面東風逐漸減弱 1920 到 1960 年間，太平洋一直處於“東風無力”的狀態。但自 1940 起，轉象呈現，1960 年後，東風又復盛行。這整個趨勢，和 T 2 十分相像，頗有“風雨同周”之憾。海溫的異常變化(C 圖)也大抵若此，只是其相位大約提早了 10 年。這三個參數，有著如此相似的長期變化趨勢，似非偶然。

從圖八中可以看出 E O F 2 的空間分布之概況。比重最大的地區在東半球的季風帶，正負區以東南亞，經新幾內亞，到澳洲東北角這一線，一分為二：印度、西亞、中國東北和澳洲北部同屬負區，而南海、菲律賓、所羅門群島和澳洲的西南端則均在正區內。此外，中南美洲也有零星的負區，而整個非洲大陸和中東，全屬正區。若配上 T 2 的數值來考慮，前半個世紀中，負區內的降水量不及常年，但 1960 年以後，則開始轉為有餘。這個最大的負區，恰在前述主要季風雨帶(圖三)的西側，很有可能是由於 1960—1980 年間的強力(東北及東南)信風，將水氣向西吹送而造成的。這 20 年強力東風，則又是溫暖的太平洋，加強了 Hadley 環流所產生的。

另一種長期變化，即 E O F 3 和 T 3，佔有總變量的 6.8%，周期約 60 年，從圖九中很容易可以看出來。圖八(E O F 2)的負區重心在印度洋，然而圖十(E O F 3)的負區重心則東移到了印尼，而且向多方面伸展。主要的正區有印度、亞洲內陸、中太平洋等處。印度地區的比重相當大，配同圖九的指數審之，1901 年到 1930 年間是該地區的乾期，1930 至 1960 年是濕期，而 1960 至 1980 年這一時期則又偏乾。拿 Bhalme and Mooley

(1980) 合定的 DAI (Drought-Area Index) 指數來相比，可發現其中有不少的類似之處。該指數代表印度每年偏乾地區面積的百分率(圖 11)，指出了在 1920 年以前和 1960 年以後，印度經常有規模不小的乾旱，中間的 40 年則甚少發生。此與 T 3 所顯示的趨勢，不謀而合。由於 T 3 代表的是一種全球性的轉換，以此推之，印度的乾旱，可能不只是區域性的事件了。長期的大尺度氣候變化，當以溫度為最尋常又最具代表性。圖 12 是北半球地表氣溫的年異常量(Jones et. al., 1982)，其變化趨勢也與 T 3 相似，支持了此一長期變化型存在的可能性。

六、時序重建

以上我們討論了三種全球性的降水變化型態。任何一個測站或特定地區的實際降水趨勢，可以由幾個主要 E O F 的線性組合，描繪出一個輪廓。舉例說之，印度地區的比重在 EOF1 (圖五) 中甚輕，而在 EOF2 (圖八) 和 EOF3 (圖 11) 裏則不輕。再由 T 2 的符號來看，該地區在 1960 到 1980 年間的雨量，應較常年為多，而且逐年上增。但 T3 和 EOF3 却呈現著完全相反的趨勢。若把這三個時間序列，各依其比重組合起來，這樣重新建立的時序，比之原本的降水指數序列，又將如何？圖十三中的左行是實際降水的變化指數，右行則為重建的時序。所選用的五個測站，在 EOF2 或 EOF3 中佔有相當的比重。可倫坡(a)的實際降水指數顯示了 1901 至 1920 間其降水在正常量之下，而 1950 至 1970 年間，則在常量之上。重建的時序也能表達這個趨勢，只是偏於強調長期的變化，至於短期的變化則被大而化之了。在這重建序列中，最初 20 年的乾期，顯然是源自 T 3；最後的 20 年，T 2 和 T 3 互相抵銷，以致沒有明顯的乾期或濕期。伯斯(b)自 40 年

代開始進入乾期，重建時序把這個趨勢加以明朗化，這個趨勢當然是來自 T 2。馬尼拉、所羅門群島和亞速群島的重建時序，也都很能代表它們的實際指數，這五個測站各據天涯一角，而重建時序又都與實際降水指數如此接近，足證 E O F 分析法所產生的結果，都有其真實性，而各 E O F 所表達的地區間大尺度變化之相互關係，也應當是可靠的了。

七、結論

儘管世界的雨量記錄，如此欠缺不整，吾人仍可從中分析一些頗有價值的結論。單單加以調和分析，就能清楚的把主要氣候類型，諸如熱帶的季風區，副熱帶的沙漠，或溫帶的氣旋波描繪出來。從年異常量裏，又可找出幾種環球性的變化特徵。第一種長期變化 (EOF 1) 和 ENSO 實不可分；第二種變化 (EOF 2) 的主要跡象是印度和東亞兩季風帶的西移，而以本世紀初和最近的幾個年代為最顯著；第三種變化 (EOF 3) 的周期約 60 年，此型降水變化和印度的早期及北半球的平均溫，則有亦步亦趨之勢。

海洋對氣候具有相當的影響力，已是不爭之論。 EOF 1 和 ENSO 既不可分，則其地區間的相對關係，必然是某種物理過程的結果。比如說，熱帶上的太平洋，其海溫在東西兩半出現了對比，引起了 Walker 環流，而改變了氣候。然而此一變化型的節奏，極不規律，故也有可能是大氣海洋間，存有某種固有的不穩定性質，受到一種不明因素所激發出來的 (Lau, 1985)。至於 ENSO 的持續性，每次不等，原因也是不明。一般推測，大氣與海洋表層的交互作用，總脫不了關係。

另外的兩種變化型，周期都很長，如果說它們也受著海洋的支配的話，則支配力應該是來自海洋下層。尤其是第二型，其雨量和太平洋水溫同起同

落的周期，和海洋中一種南北向對流的周期近似。至於降水與信風強度和 S S T 間，種種的長期關係，均有待解釋。

(本文為 Teleconnections Linking Worldwide Climate Anomalies, Edited by M. Glantz, R. Katz, and Nicholls. Cambridge University Press. 一書之第七章)

參考文獻

- Bhalme, H.N. & Mooley, D.A. (1980). Large scale droughts/floods and monsoon circulation. Monthly Weather Review, 108, 1197-1211.
- Fletcher, J. (1982). The difference between the Southern Oscillation and the El Niño. Proceedings of the Seventh Annual Climate Diagnostic Workshop. NTIS, PB83-208033. Washington, DC: U.S. Department of Commerce.
- Gill, A. & Rasmusson, E.M. (1983). The 1982/83 climate anomaly in the equatorial Pacific. Nature, 306, 229-34.
- Jones, P.D., Wigley, T.M.L. & Kelly, P.M. (1982). Variation in surface air temperatures: Part 1. Northern hemisphere, 1881-1980. Monthly Weather Review, 110, 59-70.
- Lau, K.M. & Chan, P.H. (1983a). Short-term climate variability and atmospheric teleconnection from satellite derived outgoing longwave radiation. Part I: simultaneous relationships. Journal of the Atmospheric Sciences. 40, 2735-50.
- Lau, K.M. & Chan, P.H. (1983b). Short-term climate variability and atmospheric teleconnection from satellite derived outgoing longwave radiation.

Part II: lagged correlations. Journal of the Atmospheric Sciences, 40, 2752-67.

Lau, K.M. (1985). Elements of a stochastic-dynamical theory of the long-term variability of the El Niño/Southern Oscillation. Journal of the Atmospheric Sciences, 42, 1552-8.

Nicholson, S.E. (1983). Sub-Saharan rainfall in the year 1976-1980: Evidence of a continued drought. Monthly Weather Review, 111, 1646-54.

Quinn, W.H. (1979). Monitoring and prediction of short-term climate changes in the south Pacific Ocean. Proceedings of the International Conference on Marine Science and Technology, Part 1. Valparaiso, Chile: Catholic University of Valparaiso, 26-30.

Rasmusson, E.M. & Carpenter, T.H. (1982). Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. Monthly Weather Review, 110, 354-84.

van Loon, H. (1984). The Southern Oscillation. Part III: Associations with the trades and with the trough in the westerlies of the South Pacific Ocean. Monthly Weather Review, 112, 947-54.

表1 暖年的降水異常量，單位：mm/day。

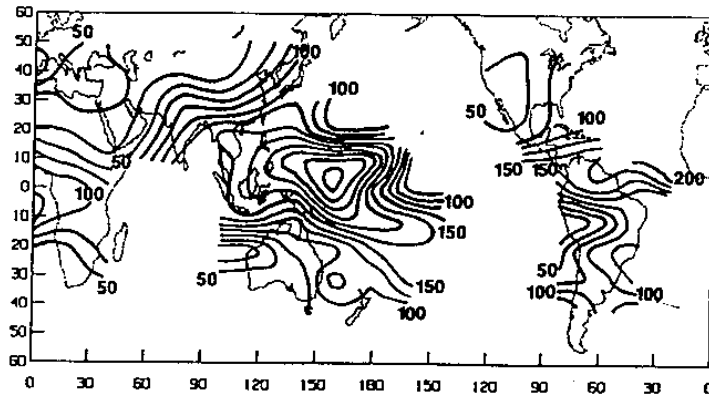
A與B為選自該地區三測站之平均。

最右行可視同暖年的強度。

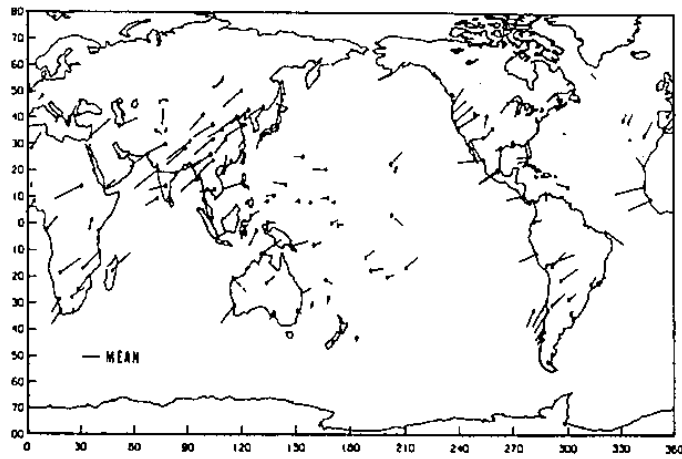
Year	Maritime continent	Central Pacific	Dipole anomaly
	A	B	(B-A)/2
1902	-3.65	-	-
1905	-3.04	6.47	4.77
1911	-2.27	4.96	3.62
1914	-4.36	5.76	5.06
1918	-1.98	1.91	1.95
1923	-2.88	1.91	2.36
1925	-0.50	1.78	1.14
1930	-2.55	3.82	3.19
1932	-2.00	0.01	1.01
1939	-0.00	0.30	0.15
1941	-2.88	5.12	4.00
1951	-1.21	1.17	1.19
1953	-0.53	4.21	2.37
1957	-0.46	3.33	1.90
1965	-5.50	2.99	4.25
1969	-1.68	5.56	3.62
1972	-	3.77	-
1976	-1.76	0.64	1.20
Average	-2.19	3.16	2.66

表2 冷年的降水異常量，餘同表一。

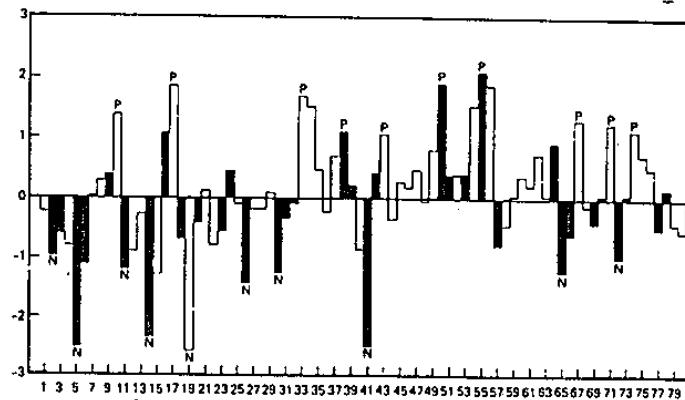
Year	Maritime continent	Central Pacific	Dipole anomaly
	A	B	(B-A)/2
1903	0.98	-	-
1906	1.19	-1.94	-1.57
1908	1.31	-1.24	-1.28
1916	8.52	-4.10	-6.31
1920	0.46	-	-
1924	5.56	-1.40	-3.48
1931	2.22	-2.01	-2.12
1938	3.14	-4.16	-3.65
1942	-	-1.15	-
1949	5.80	-1.93	-3.87
1954	5.41	-3.12	-4.27
1964	-0.92	-1.50	-0.29
1966	-1.77	0.08	0.93
1970	-1.07	-2.09	-0.51
1973	-	-2.11	-
1978	2.17	-0.85	-1.51
Average	2.76	-1.92	-2.34



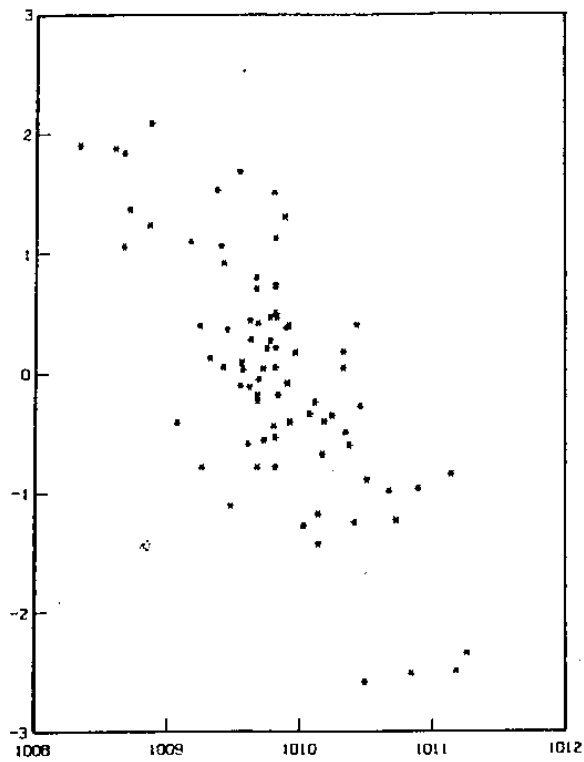
圖一 全球雨量分佈，以mm/month 為單位。



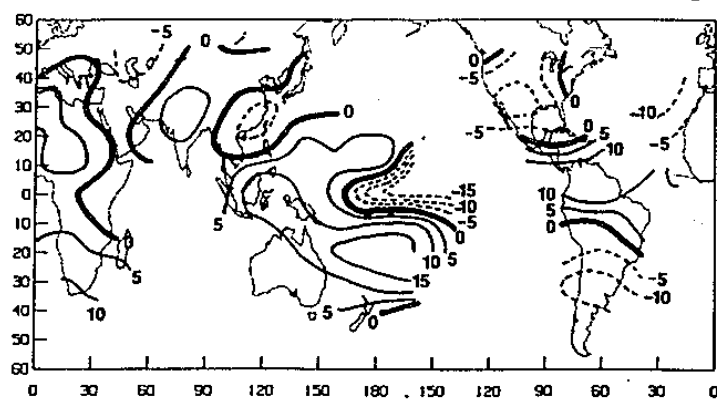
圖二 雨量的年變化，線段由測站指向雨季，12月份和時鐘方位同線段長度為年變化的振幅除以年平均雨量而得。



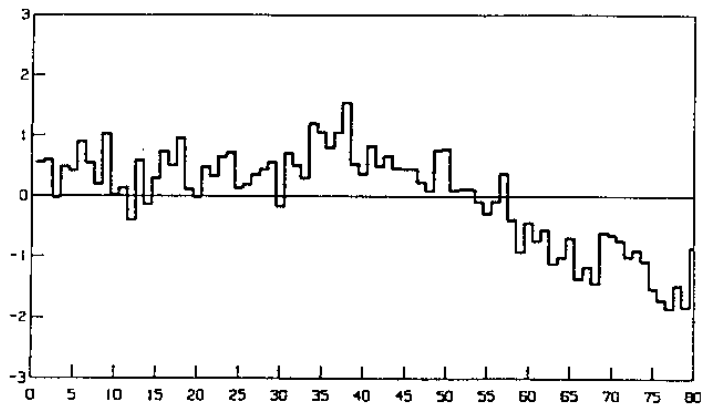
圖三 T1，即EOF1的時間係數，單位為該序列的標準差分（下同）著黑色者為暖年，有斜線者為冷年。



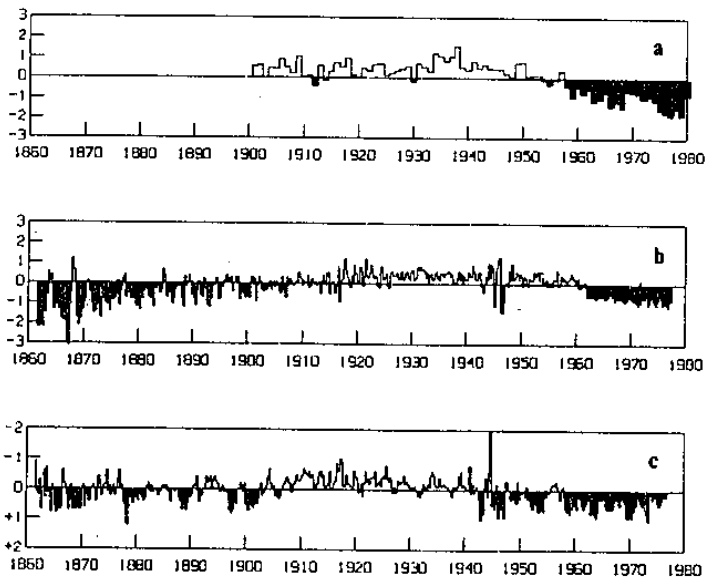
圖四 T 1 與達爾文年平均海平面氣壓之散布圖。



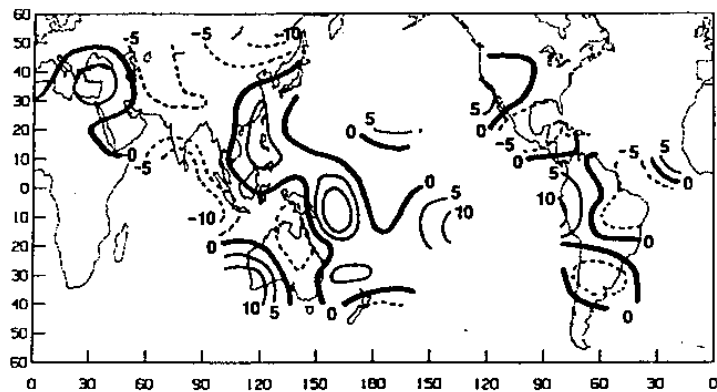
圖五 全球異常降水之 EOF 1 的空間分布。單位僅表相對量（下同）。



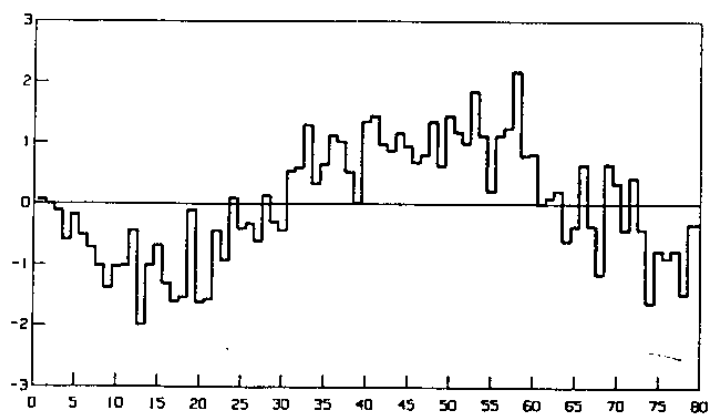
圖六 T 2，即 EOF 2 的時間係數序列。



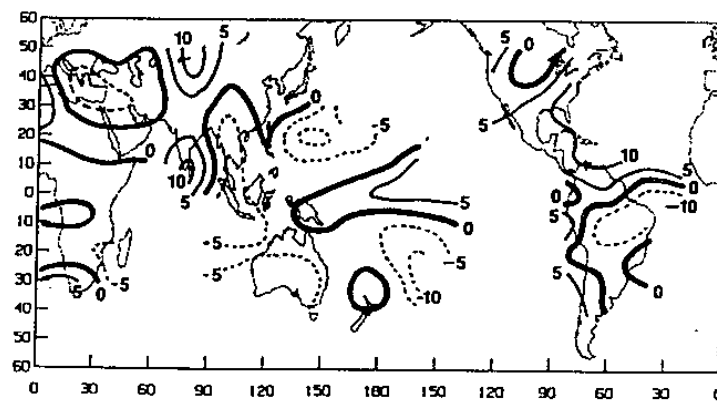
圖七 三組序列依次為(a) T 2，(b)南北緯30度間太平洋面東風（單位：m / s）與(c)水溫（單位： $^{\circ}\text{C}$ ）之異常量。



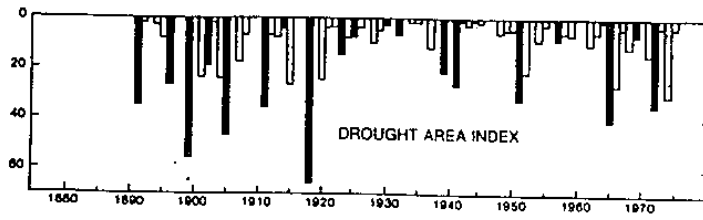
圖八 EOF 2 的空間分布。



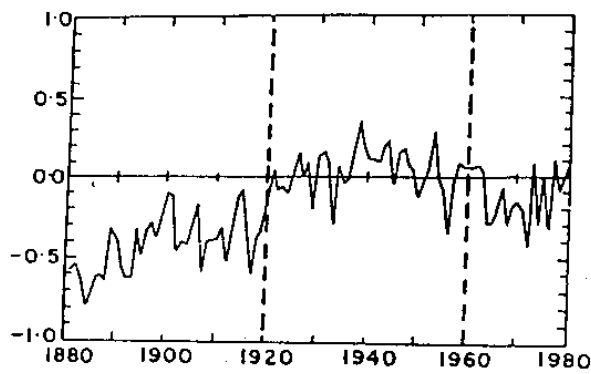
圖十 EOF 3。



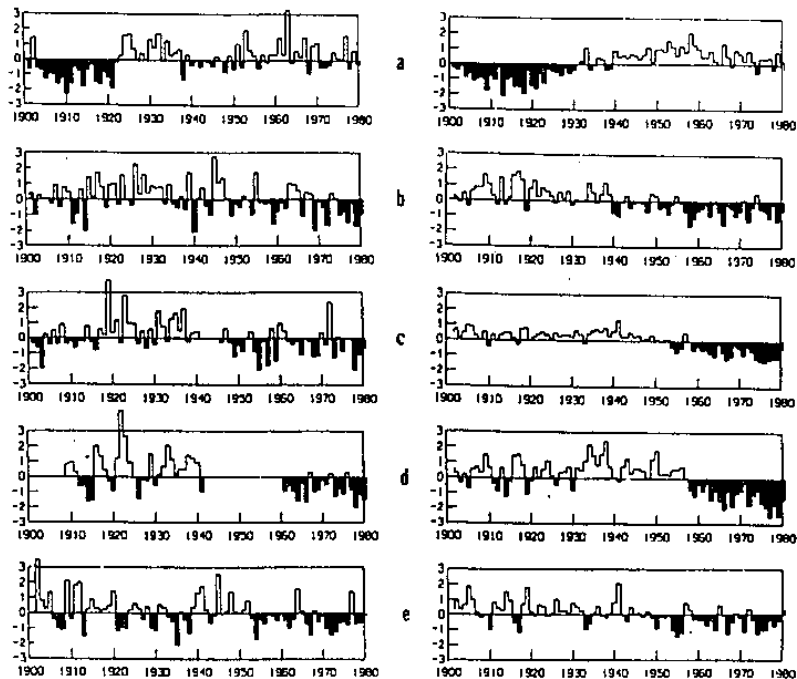
圖九 T3。



圖十一 印度地區的乾旱面積指數，表受災面積的百分比。



圖十二 北半球年平均氣溫之異常量。



圖十三 實際降水指數（左）與用三個 EOF 所重新組合（右）的指數序列。五測站為(a)可倫坡，(b)伯斯，(c)馬尼拉，(d)所羅門群島，(e)亞速群島。

