

長期天氣預報與大氣環流診斷分析之技術評估

許 晃 雄

國立台灣大學大氣科學系

摘 要

能否準確地掌握大氣環流的低頻變化決定長期天氣預報的準確度。本文強調大氣環流診斷分析對發展長期天氣預報的重要性，並介紹三個主要發展方向：(一)統計分析，(二)診斷分析，(三)氣候數值模。在現階段，如果人力可以配合，氣象局應可進行前二項工作

壹、前 言

長期天氣預報準確與否端視是否能準確地掌握大氣環流的低頻變化。因此，在發展長期天氣預報技術過程中，我們首先必須了解影響目前及過去短期氣候變化的因子，然後據之發展預報經驗式及探討氣候數值模擬的可行性。這些工作可從三方面著手：(一)統計分析，(二)診斷分析，(三)氣候數值模擬。

貳、統計分析

數十年來，氣象觀測網不斷在同時進行觀測，收集資料。不僅讓氣象學家能夠近乎即時地知道大氣環流的瞬時結構，也累積了史無前例的龐大資料量，我們因此可以研究大氣環流的低頻變化，甚至短期氣候變化。研究結果顯示，大氣存在一些不斷重覆出現的大尺度甚至行星尺度的環流結構，我們稱為遙相關（teleconnection）系統。各地天氣的高頻變化，多受天氣及中小尺度系統影響；低頻變化（如，週期大於一週）則多受遙相關系統影響。遙相關系統的存在，顯示遙遠兩地之間的天氣變化具有高相關性。因此我們可以從某地的天氣變化，推測得知數千公里之外另一區域的天氣變化趨勢。由於遙相關系統多具低頻特性甚

至具周期性，我們一旦測知某一遙相關型式正迅速發展，就可據之做長期預報。在能夠將之運用於長期預報之前，我們必須先了解台灣氣象變數（如、氣溫、降水等）與已知的遙相關系統之間的統計關係，有許多統計方法可用來探討此一問題，但是我們至少必須知道它們彼此之間的同時及時間差相關性。以下，我們討論幾個較顯著的遙相關系統或具周期性的低頻現象：

1. 中緯度遙相關系統：

已知的中緯度遙相關系統不少，直接或間接影響世界各地短期氣候變化（圖一，取自Wallace and Gutzler, 1981）。台灣氣象學家對與本土異常氣候（如，冷暖冬，吳等(1990)；乾濕梅，陳(1987)；夏季乾旱，廖等(1991)）相關的大氣環流結構，多已有很好的描述，在此不再詳述。

2. 艾尼紐－南方振盪（ENSO）：

ENSO是截至目前已知影響範圍最大的遙相關型式。1982/83 ENSO更造成世界各地異常氣候。許多國家，如澳洲、美國、依索匹亞，都將南方振盪指數（即大溪地地面氣壓減去達爾文地面氣壓）列為長期預報的重要指標。這是因為大尺度的海洋－大氣交互作用是影響氣候的重要因素，因此海面溫度的變化是長期

預報不可或缺的指標。比如，英國氣象局就是根據全球海溫的第一個經驗正交函數預測非洲 Sahel 乾旱。台灣氣象界則尚缺乏有系統的探討台灣氣象變數與全球海溫關係的研究。最近，氣象局陳圭宏先生計算台北月平均氣溫與南方振盪指數及全球海溫的相關係數。初步結果，請見表一及圖二。表一顯示台灣地區月平均溫度，降水與南方振盪指數之間並無明顯的同時或時差相關。但是台北七月平均氣溫，則與前一年9月至12月東太平洋赤道海面溫度成高相關性（ >0.65 ）。而且此一相關型式通過99%可信度“場顯著”測試（field significance test）。上述兩個計算結果，不見得互相衝突。因為南方振盪指數只是根據兩個測站資料，有時可能無法代表大尺度環流的變化。

3. 季內振盪（Intraseasonal Oscillation）

季內振盪也稱為30~60天振盪，主要發生於低緯度地區。在冬季，為一大尺度強烈對流雲帶由印度洋向西太平洋緩慢移動。在春夏季，除了東移現象，另有一往北移動的對流雲帶。Lau and Chan(1986)認為此一北移現象與印度季風的盛行、停歇及東亞梅雨的起始，關係密切。我們最近的研究亦發現，春夏季時，在西太平洋確實有一大尺度的環流系統緩慢由赤道地區向中國大陸東岸移行（圖三），與Lau and Chan由OLR所發現的對流系統移動方向一致。若證實春夏季內振盪與台灣梅雨關係密切，只要我們能掌握該現象的現況，應能改善梅雨長期預報的能力。

4. 太陽黑子與準二年振盪（Quasi-Biennial Oscillation, QBO）

長久以來，氣象學家一直懷疑太陽輻射強弱應會影響大氣結構及現象，但苦無證據。最近，van Loon and Labitzke(1988)發現若將大氣狀況依QBO東風期及西風期分類，則太陽輻射的強弱與大氣環流結構呈現高相關性（圖四）。他們的研究結果，已經過許多學者的測試，大多認為其統計關係相當顯著。Barnston and Livezey(1990)也嘗試將之用於

長期預報。此一天文及氣象因子，是否影響台灣氣候，值得探討。

另外，Barnett et al.(1991)利用大氣環流模式模擬歐亞大陸冰雪覆蓋量對亞洲季風的影響，發現雪量較多時，夏季季風較弱且發生得較晚。同樣的，青康藏高原的冰雪覆蓋量多少，影響東亞地區的能量平衡狀態。是否影響東亞梅雨期的特性，也是值得注意的問題。

參、診斷分析

近年來，世界各大預報中心的全球數值預報模式日漸完善，產生的分析資料的可靠性也日漸提高。因為分析資料都是在網格點上，方便資料診斷分析，許多作業機構（如，美國氣候分析中心，Climate Analysis Center，利用NMC資料）及學術機構（如，U.of Reading，利用ECMWF資料）早已開始作近乎即時的大氣環流診斷分析。以CAC為例，該中心每月發行一期“氣候診斷報告”（Climate Diagnostics Bulletin），內容除了常見的氣壓場、高度場、厚度場、風場，也包括流函數、速度位、OLR、海溫，甚至海上浮球資料及對ENSO的預測。其重點，在強調全球分析及海洋大氣交互作用的重要性。英國U. of Reading氣象系則就近使用ECMWF資料，每半個月作一次大氣環流診斷分析。近乎即時大氣環流診斷分析，目的在監視短期氣候變化，除了增進我們對短期氣候變化的了解，也可隨時監視影響氣候因子的現況，或事後檢討預報成敗的因素，藉以提高長期預報能力。

肆、氣候數值模擬

氣候數值模擬的目的，在於事後了解造成特殊氣候現象的物理及動力因素。最常使用的模式為(1)大氣環流模式或預報中心數值天氣預報模式，(2)滯留行星波模式（Stationary planetary wave model）。這類研究方法，多是先由診斷分析結果，判斷造成特殊氣候現象的可能因子（比如，過暖的海水、過強的熱

帶對流系統等)，然後將這些因素植入模式當作強迫機制。1988年夏天是美國繼30年代以來最嚴重的一次乾旱。以下就以美國乾旱舉例說明：

(1)大氣環流模式

Palmer and Brankovic (1989) 利用 ECMWF 預報模式，作二次30天積分，初始日期分別為1987年5月24日及1988年5月22日，比較兩個30天平均場，發現造成1988年乾旱的主要因素可能是東太平洋赤道的異常海溫分佈。然而，Mo et al.(1991)利用NMC模式，經由較仔細的實驗設計發現，造成北美乾旱的環流結構，早在乾旱發生之前就已存在，異常的海溫只是加強乾旱而已。此一結果與Namias(1991)的診斷分析結果一致。以上互相矛盾的結果，顯示即使有相當完善的模式，也須要正確的實驗設計配合。

(2)滯留行星波模式

此類模式多為只含絕熱部分（即，沒有非絕熱參數化部分）的斜壓模式。非絕熱能量則由資料估計或根據海溫或OLR作理想化估計，將之植入模式當作強迫機制。再計算在平衡狀態下的大氣環流結構（即讓時間微分項為零）。研究過程，通常有系統的改變非絕熱能量分佈，並比較相關的大氣環流結構，嘗試去了解影響大氣環流結構最重要的因子。Trenberth et al.(1988)即採用此種方式研究造成1988年美國乾旱的原因。

伍、建議

由以上討論，我們知道即時及事後的資料及模式診斷分析，對改進長期預報有相當助益。個人的建議如下：

1.統計分析：了解、記錄台灣氣象變數與遙相關系統及周期性現象之間的統計關係，作為類比法或發展、校正經驗式的基本資料。過去的研究多著重在中緯度遙相關系統，然而台灣地區氣候變化是否受熱帶的影響，則較缺乏有系統的探討。建議氣象局建立收集即時

OLR及海面溫度資料的管道（或自行發展），便於監視熱帶地區異常現象的發展。

2.診斷分析：利用中央氣象局全球預報模式的分析資料，作大氣環流的即時診斷分析，不僅可監視重要氣候因子的變化，也可藉此定期評估長期預報的準確度。唯目前氣象局全球預報模式的初始化過程使用平衡方程，輻散場過若，因此低緯度環流較不準確。雖然使用分析資料會有某種程度的改善，但是由於熱帶地區觀測缺乏，分析場可能與預報場（即，first guess）相差不多，因此輻散場可能仍然太弱。若能知道分析場、預報場、初始場三者之間的異同，應可評估其可信度。

3.數值模擬：ECMWF固定每十五天作二次30天長期積分，每次積分的初始場相差24小時。這些平行積分，目的在評估模式的長期預報能力。待第二代模式設立完成，氣象局也可考慮作類似的工作，增強長期預報能力。

陳泰然，1987：臺灣乾濕梅雨期之平均環流特徵。大氣科學，15，1，17~30。

吳清吉、李汴軍、陳圭宏、李玉偵，1990：冷暖冬500毫巴環流之初步分析。天氣分析與預報研討會論文彙編(79)，519~526。

廖學鑑、劉復誠、徐辛欽、廖志翔，1991：台灣地區夏季乾旱之研究(II)——長期客觀技術之應用。氣象科技研究中心技術彙編，第5~1卷，185-204。

Barnett, T.P., L.Dumenil, U. Schlese, E. Roeckner, 1988: The effect of Eurasian snow cover on global climate. Science, 239, 504-407.

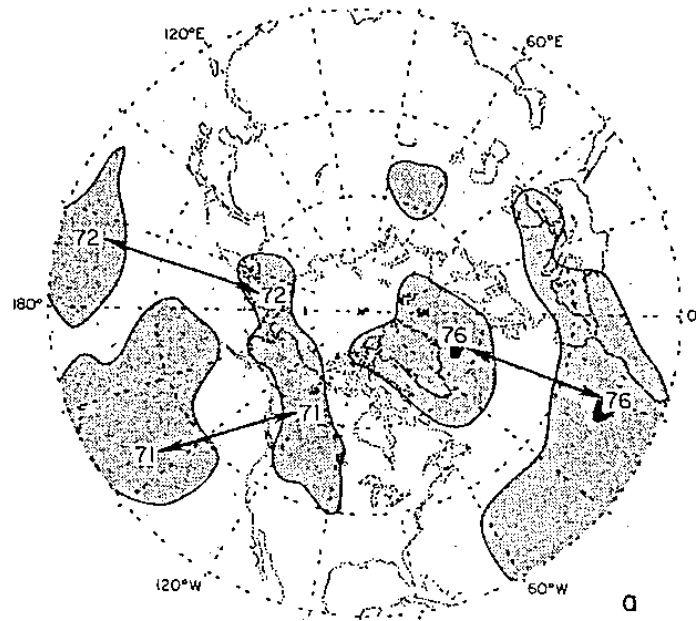
Barnston, A. G., and R. E. Livezey, 1991: Statistical prediction of January-February mean Northern Hemisphere lower tropospheric climate from the 11-year solar cycle and the Southern Oscillation for west and east QBO phases. J.Climate, 4, 249~262.

- Lau, K. M., and P. H. Chan, 1980: Aspects of the 40 ~ 60 day oscillation during the northern summer as inferred from outgoing longwaveradiation. *Mon. Wea. Rev.*, 114, 1354~1367.
- Mo, K. C., J. R. Zimmerman, E. Kalnay, and M. Kanamitsu, 1991: A GCM study of the 1988 United States drought. *Mon. Wea. Rev.*, 119, 1512~1532.
- Namias, J., 1991: Spring and Summer 1988 drought over the contiguous United States -- Causes and prediction. *J. Climate*, 4, 54~65.
- Palmer, T. N., and C. Brankovic, 1989: The 1988 US drought linked to anomalous sea surface temperature. *Nature*, 338, 54~57.
- Trenberth, K. E., G. W. Branstator, P. A. Arkin, 1988: Origin of the 1988 North American drought. *Science*, 1242, 1640~1645.
- van Loon, H., and K. Labitzke, 1988: Association between the 11-year solar cycle, the QBO, and the atmosphere. Part II: Surface and 700 mb in the Northern Hemisphere in Winter. *J. Climate*, 1, 905~920.
- Wallace, J. M., and D. S. Gutzler, 1981: Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere Winter. *Mon. Wea. Rev.*, 109, 784~812.

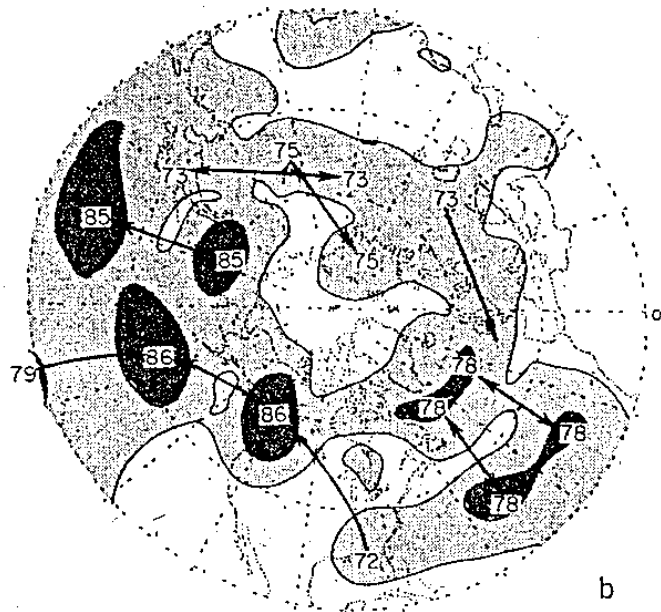
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
J													
D	-0.07	0.39	-0.10	-0.07	0.24	0.12	0.01	-0.11	0.18	-0.10	0.19	0.24	12
N	0.09	0.30	0.17	0.27	0.93	0.07	0.18	-0.16	0.19	0.06	0.09	0.14	11
O	-0.07	0.07	0.29	0.05	0.90	0.17	0.19	-0.12	0.07	-0.06	0.24	0.11	10
S	-0.25	0.30	0.08	0.09	0.08	0.00	-0.14	-0.04	0.16	-0.03	0.27	0.16	9
A	-0.18	0.04	0.16	0.14	-0.10	0.10	-0.09	-0.20	0.22	-0.02	0.19	0.20	8
J	-0.06	-0.02	0.12	0.17	-0.01	0.24	0.07	-0.03	0.02	0.13	0.29	0.06	7
J	-0.07	-0.11	0.13	0.18	-0.01	0.15	0.13	-0.08	0.28	0.07	0.06	0.00	6
M	0.01	-0.20	0.20	0.28	0.03	0.10	0.10	-0.03	0.01	0.00	0.03	0.02	5
A	-0.24	-0.06	0.17	0.40	-0.05	0.24	-0.04	-0.01	0.02	0.00	-0.15	0.05	4
M	-0.25	-0.07	0.07	0.19	-0.01	0.10	0.10	-0.15	0.23	0.16	0.00	0.04	3
F	-0.11	-0.19	0.10	0.18	-0.07	0.13	0.15	-0.19	0.18	-0.07	-0.11	-0.31	2
J	-0.03	-0.18	-0.08	0.26	-0.17	0.11	0.02	-0.12	0.08	-0.05	-0.25	-0.36	1
D	-0.13	-0.28	-0.15	0.10	0.07	0.00	-0.12	-0.20	0.23	-0.02	-0.39	-0.26	0
N	-0.18	-0.25	0.00	-0.08	0.07	0.21	0.02	-0.15	0.23	-0.08	-0.44	-0.21	-1
O	-0.24	-0.07	-0.22	-0.03	0.10	0.18	0.01	0.04	0.02	-0.11	-0.22	-0.12	-2
S	-0.07	-0.03	-0.03	-0.23	-0.08	-0.22	-0.05	-0.03	0.05	-0.17	-0.26	-0.31	-3
A	-0.18	-0.15	-0.11	-0.11	0.00	-0.04	-0.17	-0.21	0.12	-0.13	-0.31	-0.44	-4
J	-0.16	-0.14	-0.18	-0.16	-0.04	0.12	-0.17	-0.39	0.03	-0.15	-0.42	-0.24	-5
J	0.06	-0.06	-0.15	-0.09	0.05	-0.04	-0.18	-0.31	0.01	-0.02	-0.36	-0.37	-6
M	-0.13	-0.01	-0.20	-0.17	0.02	0.09	-0.42	-0.10	-0.11	-0.12	-0.24	-0.16	-7
A	0.05	-0.09	-0.30	-1.14	-0.16	-0.02	-0.17	-0.29	-0.22	-0.03	-0.10	-0.01	-8
M	0.10	-0.09	-0.25	-0.22	-0.15	0.01	-0.25	-0.10	-0.19	0.03	-0.12	-0.23	-9
F	0.20	-0.09	-0.10	-0.19	-0.18	-0.18	-0.25	-0.16	-0.13	-0.25	0.08	-0.05	-10
J	0.05	-0.12	-0.38	-0.13	0.02	-0.22	-0.40	-0.22	-0.18	-0.10	-0.17	-0.13	-11
	0.11	-0.29	-0.24	-0.09	-0.31	-0.05	-0.31	-0.18	-0.16	-0.09	-0.07	0.12	-12
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
MONTH OF TAIPEI													

表一 SOI 和台北氣溫時間差相關表，下橫軸，台北月份，上橫軸和左邊縱軸SOI 月份，但是左上右下斜線對應方格子裏的數字，淡陰影區是大於90%可信賴度，濃陰影區是大於95%可信賴度，右邊縱軸台北領先SOI的月數。

(a)

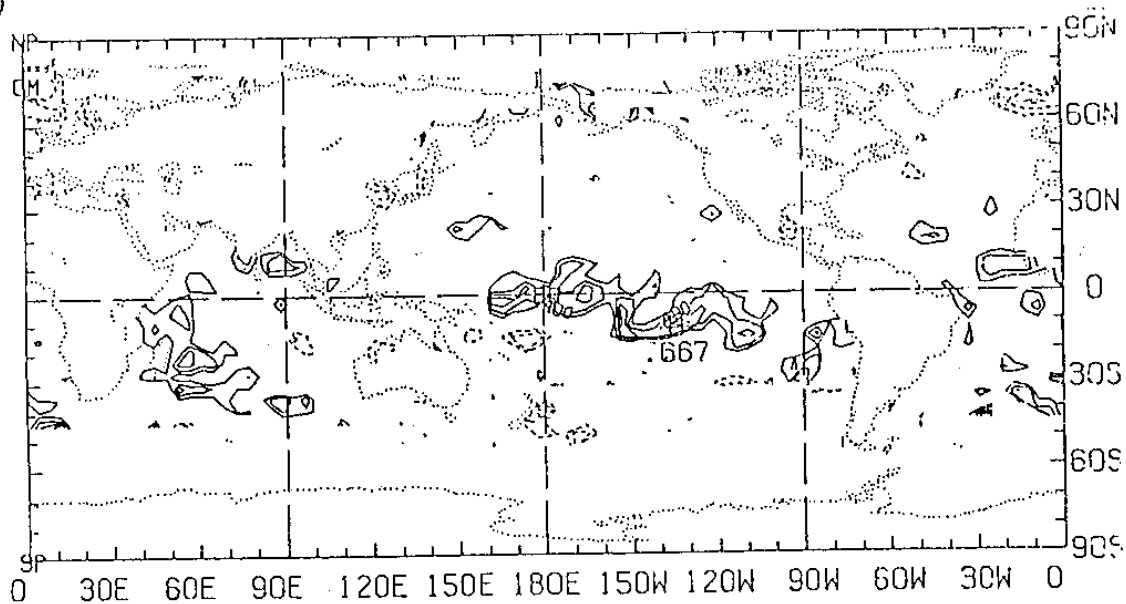


(b)

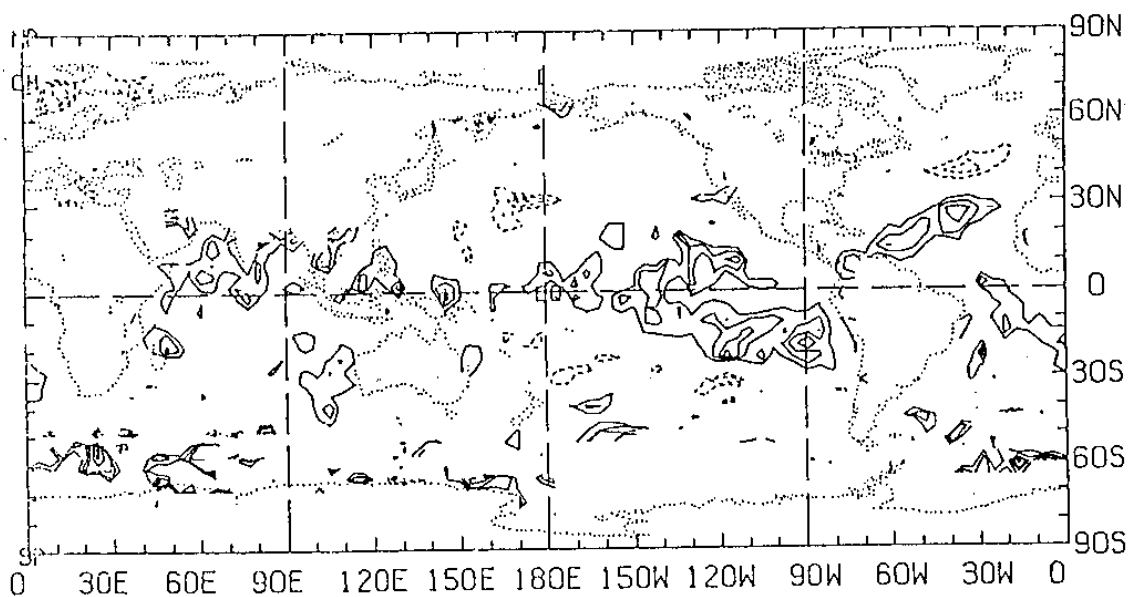


圖一. (a) 海平面氣壓, (b) 500 毫巴高度場遙相關性。(取自 Wallace and Gutzler, 1981, 圖七)

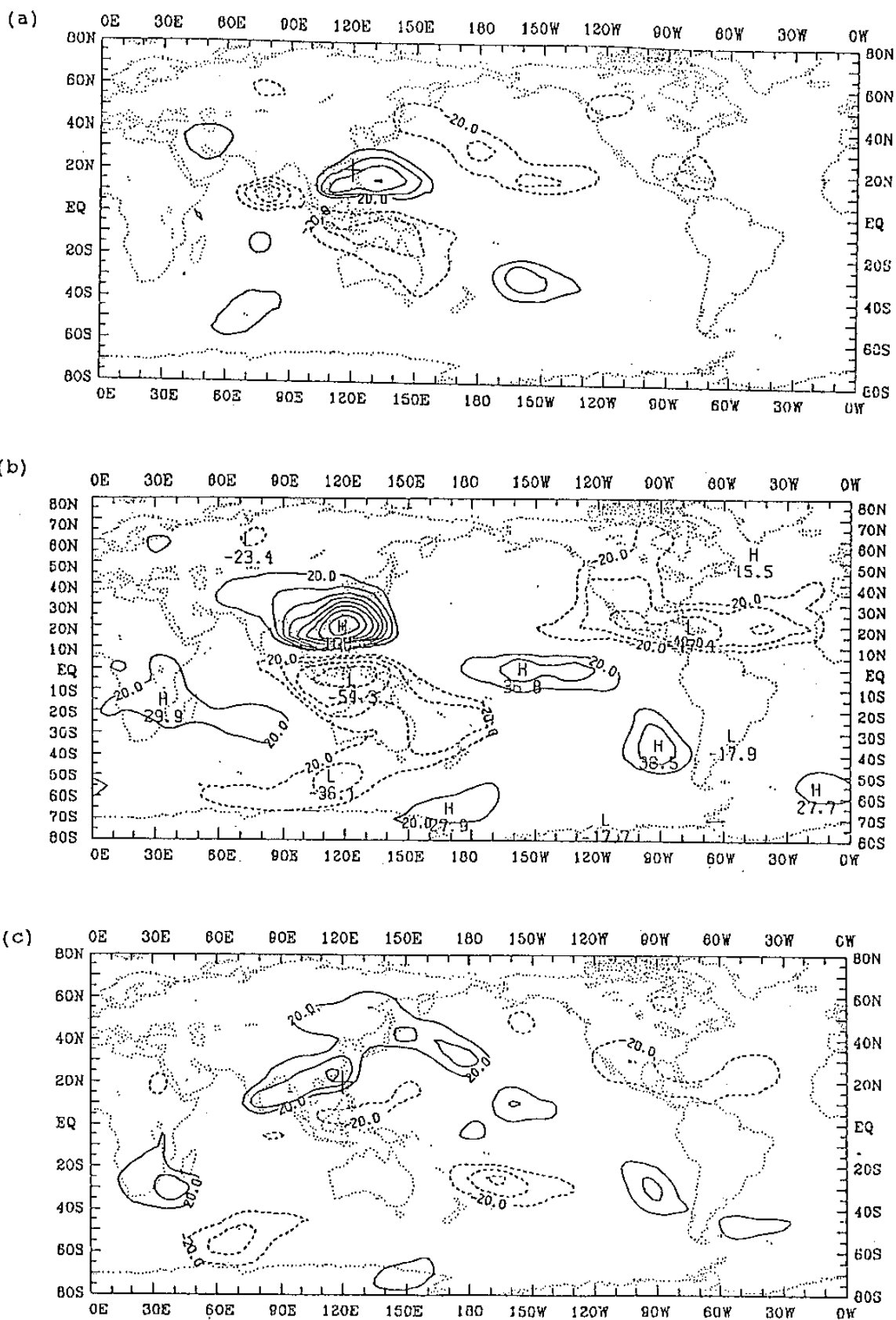
(a)



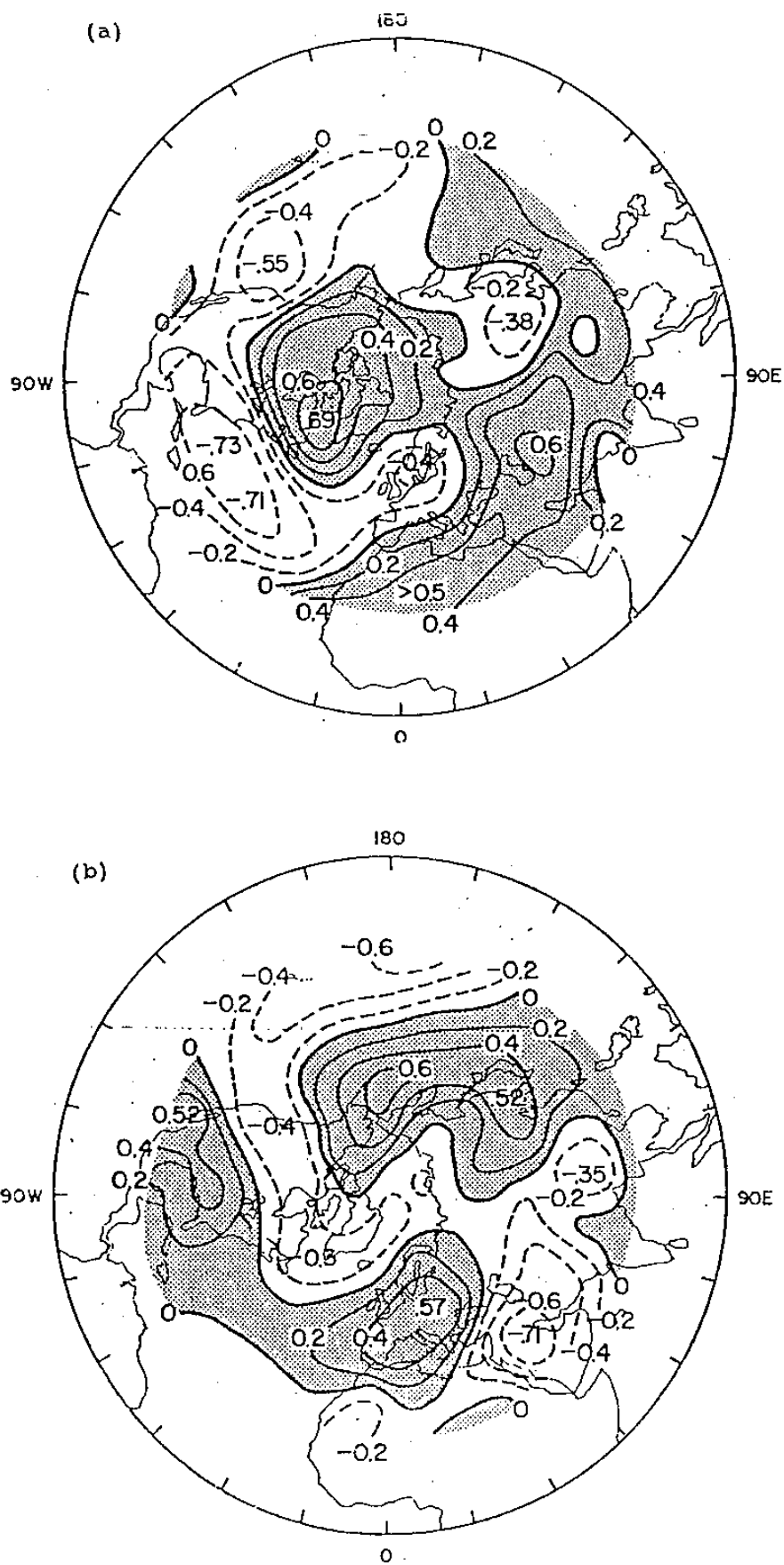
(b)



圖二．台北 7 月份氣溫與前一年 (a) 9 月及 (b) 12 月海溫時間差相關係數。
實線為正值，虛線為負值；絕對值小於 0.3 的省略。



圖三．基準點 (20 N, 120 E) 850 毫巴流函數與全球 850毫巴流函數之間的同時及時間差相關係數圖：(a) 基準點落後其他點 8天，(b) 同時，(c) 基準點領先其他點 8天。資料為 1979-1989, 11 年夏季 (5 月 - 10 月) ECMWF 分析資料。



圖四．一月及二月份 700毫巴高度場與太陽輻射強度相關係數： (a) QBO西風期， (b) QBO 東風期。