

交通部中央氣象局委託研究報告

在中央氣象局引用

系統性颱風路徑預報法之可行性研究

Feasibility of adapting the systematic approach for  
use at the Central Weather Bureau

計畫類別：國內 國外

執行期間：85年7月1日至86年6月30日

計畫主持人：R. L. Elsberry

協同研究人：葉天降 呂國臣

中華民國八十六年六月二十日

交通部中央氣象局委託研究報告

在中央氣象局引用

系統性颱風路徑預報法之可行性研究

Feasibility of adapting the systematic approach for  
use at the Central Weather Bureau

計畫類別：國內 國外

執行期間：85年7月1日至86年6月30日

計畫主持人：R. L. Elsberry

協同研究人：葉天降 呂國臣

中華民國八十六年六月二十日

## 摘 要

颱風之守視與預報是中央氣象局夏季時最重要的天氣預報作業工作之一，由於資料之短缺，使得颱風預報作業格外困難。Carr and Elsberry(1994)提出綜合系統颱風路徑預報法(Systematic and Integrated Approach to Tropical Cyclone Track Forecasting)，該法並在美國聯合颱風警報中心採用，本委託研究之主要目的即在了解在中央氣象局引進該法於作業應用之可行性。

經過相關上述方法之講授、資料之提供與研討，中央氣象局有關人員曾在 1996 年颱風季嘗試引用上述方法於環境與颱風結構和颱風移動之研判，初步認為有應用價值，我們建議未來可進一步具體的引進該方法於作業使用，而其進行方式主要在增加作業人員之訓練、分析以往預報誤差之特性以及有效的應用數值模式預報產品。

表一：賀伯颱風所處之綜觀環境結構與颱風結構。	(12)
圖 1：颱風運動之觀念模式。	
(圖 1 至圖 7 及圖說皆取自授課教材)	(13)
圖 2：標準綜觀類型時各區域之示意圖。	(14)
圖 3：北進綜觀類型時各區域之示意圖。	(15)
圖 4：季風環流綜觀類型時各區域之示意圖。	(16)
圖 5：雙颱風綜觀類型時各區域之示意圖。	(17)
圖 6：各綜觀類型與區域時颱風路徑預報之困難情形。	(18)
圖 7：颱風在各綜觀與區域類型間之轉變情形。	(19)
圖 8：賀伯颱風之移動路徑。	(20)
圖 9：7 月 24 日 12UTC 之 500hpa 氣流線分佈。	
(● 為颱風中心位置)	(21)
圖 10：(a)7 月 25 日 12UTC 與(b)26 日 00UTC 500hpa 氣流線分佈。	(22)
圖 11：(a)26 日 12UTC 與(b)29 日 00UTC 500hpa 氣流線 分佈。	(23)
圖 12：7 月 31 日 00UTC 500hpa 氣流線分佈。	(24)

## 一、前言

因為西北太平洋是全球中發生熱帶氣旋最多的地區，而此熱帶氣旋中多數將發展成威力強盛的颱風侵襲台灣地區，並因此造成嚴重的天氣災害損失，因此熱帶氣旋的預報問題成為台灣地區天氣預報業務中很重要的一項課題。而準確的熱帶氣旋路徑預報是非常重要的，其可提供足夠的時間，來準備各種防護措施，使害損失得以減少並避免人員之傷亡。

然而颱風的路徑預報相當複雜，在台灣地區一方面由於觀測資料不足，另一方面地形和環境都將影響颱風之運動，使得準確的颱風路徑預報更為困難。除了路徑預報是颱風預報工作中最重要的項目外，颱風之強度(中心最低氣壓或最大風速)和大小(如暴風半徑)變化也是預報工作中很重要的項目。而颱風移動路徑、強度和大小三預報項目也並非獨立不相關，颱風之大小會影響 beta 效應，颱風之強度往往會決定駛流厚度，而路徑也是強度變化的重要因素，如移入不同之海水溫度 and 不同之地表分佈都會對颱風之強度變化產生直接的影響。

中央氣象局現今已有各種觀測、分析和預報之工具來協助預報人員從事天氣預報。過去十幾年，由數值天氣預報系統之推展，也建立了數值天氣預報系統。然而數值天氣預報系統只有當觀測資料充足而正確時才能充分顯示其優點。對颱風之預報而言，颱風侵台往往是在廣大洋面缺乏觀測資料的地方形成，而在移動過程中，也沒有充分的觀測資料。就如前述，颱風之運動非常複雜，非線性的交互作用，包括颱風本身的因素和外界大尺度之環境都可出乎預料的改變颱風的運動和結構。完整的預報模式雖是預報這種複雜現象、非線性交互作用，最有效的工具，但其結果往往也不盡理想。在相當多的情況下，數值模式預報也產生相當大的誤差。甚而部分之不良預報導致預報人員對模式預報結果之不

信任，若能進一步知道模式預測結果在那種情況下較為可信，那種情況下較不可信，在實際作業時將會很有價值。

本研究之主要目的即在了解引進 Carr and Elsberry(1994)所發展之"Systematic and Integrated Approach"(簡稱綜合系統法)在颱風路徑預報之可行性。綜合系統颱風路徑預報法是美國海軍研究學院氣象系 Carr 和 Elsberry 兩位教授和美國關島聯合颱風警報中心(JTWC)在過去數年研究所得的一項成果，他們利用 1989-1993 年間西北太平洋之氣象資料歸納出西太平洋地區颱風存在時之綜觀天氣特性，並予以分類，同時依此發展出一套颱風運動之概念模式及路徑預報方法。這種方法目前已在關島聯合颱風警報中心試用，關島聯合颱風警報中心並認為近年其預報準確度之提高或許有部分是因為採用了這種預報方法。

本研究之進行，首先在經由授課、資料之提供和進一步之聯繫使中央氣象局之作業和相關人員能充分的了解綜合系統颱風路徑預報方法的意義，從而能應用並於 1996 年颱風季時能試行以了解此方法在中央氣象局之適用性。於後將就綜合系統法之重點、方法之試行情形和執行後之結果與建議做進一步之報告。

## 二、綜合系統颱風路徑預報法之簡介

為了能讓中央氣象局颱風預報與有關人員能對 Carr and Elsberry 所發展之 Systematic and Integrated Approach to Tropical Cyclone Track Forecasting(簡稱綜合系統颱風路徑預報方法)能有充分的了解,本研究主持人 Elsberry 教授曾在 1996 年來局講授該方法之原理、應用之情形。於後大要的摘錄一些重點。

圖 1 為 Carr and Elsberry 所歸納影響西北太平洋颱風運動的觀念模式,在圖 1 中顯示影響西北太平洋颱風運動的因素主要包括環境結構與颱風本身之結構,以颱風本身之結構而言,會影響到路徑的重要因素包括颱風強度和大小,不同強度之颱風包括熱帶擾動(TD)、輕度颱風(TS)、中度颱風(TY)和強烈颱風(IT),不同大小包括超小(M)、較小颱風(S)、平均(A)和大颱風(L)其對移動有不同之影響。

而對環境結構而言, Carr and Elsberry 歸納得到颱風綜觀環境型態主要可分標準(S)、北進(P)、季風槽(G)和多颱風(M)四大類天氣型態(pattern)。而因颱風當時所在位置之不同而有許多區域(region)的分類,如位於強盛副熱帶高壓脊(DR)或於較弱副熱帶高壓脊(WR)等。

Carr and Elsberry 並發現颱風在不同之本身結構和環境結構下有其運動的特性,然而颱風之路徑預報不是就如此簡單,因為環境和本身結構都會改變,而這些改變間都有非線性的交互作用。在圖 1 中, Carr and Elsberry 將這些改變的機制(transitional mechanisms)分為環境的效應和颱風環境交互作用兩類。舉例而言,環境駛流之平流(adv)可將颱風從某區(region)移至另一區。而季風槽之發展(MGF)或減弱(MGD)都會改變綜觀環境之天氣型態(pattern)。而颱風所產生所謂  $\beta$  效應(BEP)、颱風與季風槽(MTI)、雙颱風交互作用(DTI、STI 或 ITI)等都會影響環境之天氣型態與颱風之移動。

而有關在各綜觀天氣型態時颱風之移動特性，Carr and Elsberry 歸納得到如圖 2 至圖 5 之結果。由圖 2 可見，當環境是在標準型態時主要之特性是颱風在明顯呈東西分佈之太平洋副熱帶高壓之附近，颱風在此時主要移動之特性分為三個區域，一在強盛副熱帶高壓脊之南側(DR)、颱風移動主要受向西之明顯駛流影響。另一在副熱帶高壓脊之西北或北側(AW)，駛流也明顯一般向東加速移動。而當颱風處在於較弱之副熱帶高壓脊(WR)，駛流不明顯。在移動上，可能北轉到 AW，也可能受到副熱帶高壓脊發展而移到 DR 區，因此在 WR 區域時移動較不易掌握。

北進(PO)型天氣之特性(圖 3)是在颱風北方之副熱帶高壓脊不明顯，取而代之的是在颱風之東側有南北延伸之高壓脊。在此型態下(PO 區)，颱風之移動主要將受在其東側脊場之影響而有較明顯向北移動，而在移到脊之北側後(AW)受西風駛流影響而加速向東移動。

季風環流(G)型態之特性是在颱風附近副熱帶高壓脊南側存在很明顯的季風氣旋式環流(如圖 4)，而颱風也受此氣旋式環流之影響，而有相對季風氣旋中心做氣旋式之移動。因此颱風若在季風環流中心之東側時(PO 區)，颱風也會有較明顯之向北移。而當中心移至季風環流北方之鞍型場附近時，中心之移動則較不易掌握，可移至高壓脊與季風環流間，呈西或西南移動；也可穿過較弱之高壓帶移至高壓脊北側(AW 區)加速向東移動。

雙颱風之天氣型態(M)主要是當雙颱風同時存在時之情形(圖 5)。Carr and Elsberry 發現傳統所謂雙颱風 Fujiwhara 作用之情形並不多見，因為傳統雙颱風 Fujiwhara 作用需要兩颱風相當接近使得一颱風環流影響到另一颱風時才會發生。但他們發現，兩颱風即使相距在 10 至 20 度間，也會透過如圖 5 之非直接作用影響彼此之運動。這種非直接作用主



要是因為在高壓脊與颱風低壓間會建立壓力梯度，而使在雙颱風右側之颱風有向北(PF)之駛流，而在雙颱風左側之颱風有向南(EF)之駛流，分別造成向北與向南之移動。

而以上各綜觀天氣型態和各不同區域時颱風路徑預報之困難性(以 CLIPER 預報誤差之大小表示)如圖 6，由圖 6 可見在 DR 區域即颱風在強盛副熱高壓脊南側時之路徑預報較為簡單，誤差較小。而在 PO 區域(脊呈南北分佈)、EF 區域雙颱風左側向赤道移動、及在標準型態弱副高脊(S/WR)時之颱風路徑預報困難性稍增。而預報困難性最高的是雙颱風右側颱風向極移動(M/PF)以及脊場呈南北分布時颱風移至加速西風區(P/AW)時，這兩種情況 CLIPER 之 48 小時預報誤差皆大於 300 海哩。

由 Elsberry 等人之分析進一步顯示 JTWC(美關島聯合颱風警報中心)之官方路徑預報在各種區域下之平均皆較 CLIPER 預報好。而預報誤差最主要的來源在於綜觀環境結構轉換之時。他們由 1989 至 1995 年間颱風個案之分析發覺(如圖 7)這些綜觀環境結構轉換之情形相當多，只有相當少部分之個案，在颱風全程生命期皆處於相同一區域中，而這類颱風主要在 S/DR 環境結構下。而在各綜觀環境結構轉換裏 S/DR 與 P/PO 相互間之轉換最多，P/PO 轉換至 P/AW 居次，而後是 S/DR 與 S/WR 相互間之轉換，以及 S/WR 轉換至 S/AW。在實際從事颱風路徑預報時，若能了解當時颱風所處之綜觀天氣型態及區域，並了解各客觀預報方法在此型態與區域時之系統性預報特性，再透過如數值預報模式結果以及如  $\beta$  效應之觀念模式來研判以掌握天氣型態與區域之轉換時機，當能有效的提升颱風路徑預報之準確性。

### 三、綜合系統法之試用

在經過本研究計畫所主辦之相關課程講授後，中央氣象局預報中心同仁曾於 1996 年颱風季時嘗試依綜合系統法研判颱風之環境結構及颱風本身結構。在謝(1996)之報告關於賀伯颱風之檢討裏曾提到中央氣象局已在賀伯颱風之預報時曾經應用了 Carr and Elsberry 的綜合系統颱風路徑預報法，並且顯示此法有助於颱風預報作業。

由初期之嘗試可見，雖圖 2 至圖 5 所示之各綜觀天氣型態和各區域相當簡單而明瞭，但實際作業時有時型態或區域之判定並不如圖 2 至圖 5 簡單，而這種情況可以在預報人員再加以訓練，以多看以往之例子來培養使用人員對型態和區域識別之能力。

表一為預報中心呂國臣技正所完成關於賀伯颱風應用綜合系統颱風路徑預報法所研判的綜觀環境以及颱風本身結構資料。在此表格裏環境結構主要為綜觀類型和區域類型兩項，而颱風本身結構則為強度與範圍兩項，最後一欄影響機制是在表示當時可能影響颱風運動之機制。表中，類型和區域之代號是依據 Carr and Elsberry 之表示方法，颱風強度中 TS 表或輕度颱風、TY 表 typhoon 或中度颱風、IT 為 Intense typhoon 或強烈颱風。颱風範圍 A 為 average 為一般大小、L 為 large 為較大颱風。影響機制裏 BEP 表示  $\beta$  效應，TCI 表示受旁邊颱風之非直接影響。

賀伯颱風之移動路徑如圖 8，其在  $150^{\circ}\text{E}$  左右形成後即向西移動，在過  $140^{\circ}\text{E}$  後有明顯向南移動，直到移近  $130^{\circ}\text{E}$  後才回轉向西北移動，約於 7 月 31 日 12UTC 移至台灣東北部沿海，而後登陸通過北部地區。在此颱風影響期間台灣地區受到豪雨侵襲造成嚴重的財物損失。

7 月 24 日 12UTC 之 500hpa 氣流線(圖 9)顯示太平洋高壓脊大致在  $30^{\circ}\text{N}$ ，賀伯颱風約位於  $149^{\circ}\text{E}$ ，約在高壓脊南側

10°，在颱風之西有季風環流，主要環流中心在菲律賓東側，在 140°E 與 150°E 間則有一較弱之季風環流中心，因此研判此時颱風是在 DR 區域且受季風環流之影響較大故為 G/DR 類型。25 日 12UTC、26 日 00UTC 之氣流線(圖 10)顯示 140°E 與 150°E 間之季風環流逐漸增強而颱風賀伯仍在 DR 區域，因此颱風之移動在此段期間以較穩定的方式向西移動。

26 日 12UTC 時，颱風移至 138°E 左右，由氣流線(圖 11a)可見颱風雖然在 G/DR 區域，但位置已在季風環流之西北側，此處有較明顯之南向環流，因此導致 16 日 12UTC 後賀伯颱風向南移動。這種情形一直維持到 29 日 00UTC 左右(圖 11b)中心附近南向環流才比較不明顯。而此之後位於菲律賓東北方之季風環流再次發展，而使得賀伯颱風處於此環流中向極區之氣流(G/PO)，因此造成明顯向北移動。而此同時颱風之強度也達到強烈颱風而逐漸的可在 500hpa 上看到颱風之環流，但因為觀測資料分佈並不夠稠密，所解析之颱風環流並不一定完全正確。

到 31 日 00UTC 時(圖 12)颱風中心已移到 25°N 左右，高壓脊雖已北退至 35°N 左右，但由中國大陸長江流域之流場研判副熱帶高壓反氣旋之輻度在 35°N 以北都相對明顯，因此颱風移動也將主要受此標準型態之高壓脊影響，向西偏北移動。

#### 四、結論與建議

本研究最主要之目的在於了解 Carr and Elsberry 所謂綜合系統颱風路徑預報法(Systematic and Integrated Approach to Tropical Cyclone Track Forecasting)引進於中央氣象局作業應用之可行性。

配合這研究，主持人曾於 1996 年來局對綜合系統法之理論基礎以及應用方式做詳細之介紹，而後並和中央氣象局之配合人員做多次之資料交換和討論，這方法並曾在 1996 年颱風季時嘗試進行颱風所在天氣綜觀類型和區域類型之研判。謝(1996)在賀伯颱風之檢討報告裏也指出，賀伯颱風來襲時，部分中央氣象局同仁也嘗試應用綜合系統法來協助颱風預報，並認為有初步的成效，因此我們認為可以進一步的推廣以供作業參考。

而在研究之進行時我們也發現各類綜觀類型、區域類型以及颱風大小等之研判並不是一件簡單的工作，一方面由於海面上觀測資料較少因此對颱風本身結構之觀測分析比較不完整。另外在 500hpa 氣流分析上，有時也會包含不完全正確的颱風流場，因此研判人員須要主觀、有經驗的將此流場濾除才能得到較正確之環境流場。對無經驗之初學作業人員須要經進一步的訓練，以廣泛的接觸各種例子之後就能對環境結構有較正確的研判。

由 Elsberry 等人的研究結果顯示，應用綜合系統法之另外一種好處是在各綜觀類型和各區域類型時颱風路徑預報之困難度不同，而由美關島聯合颱風警報中心之經驗可見其對各類型各區域之颱風路徑預報有其系統性之特性，同時在天氣類型轉變時有較大之預報誤差。中央氣象局目前尚未針對這一部分做進一步了解，未來若能針對此做進一步分析，同時有效的應用數值模式結果以掌握天氣類型轉變時機，則將能對提昇颱風路徑預報準確度有所助益。

最後，我們經由此年度在綜合系統法在中央氣象局之講解以及試用後認為值得進一步的引進此法供中央氣象局作業採用，未來在引進時主要之工作要針對以上所提兩點，一方面在加強預報人員對綜觀類型、區域類型之研判，另外也要著重預報模式結果之應用以掌握類型區域轉換之時機。而對中央氣象局作業使用的各種主客觀方法若能進一步的分析其在各類型、區域之系統性誤差情形，也能在往後在引用這些方法時能對這些方法有進一步認識，對其結果予以適當之修正。

## 參考文獻

- 謝信良(1996)：嘉南地區定量降水整合型計畫總計畫（二）  
研究報告。NSC85-2621-p052-002。國家科學委員會。  
161pp。
- Carr, L.E., III and R.L. Elsberry, 1994: Systematic and  
integrated approach to tropical cyclone track forecasting.  
Part I. Approach overview and description of  
meteorological basis. Tech. Rep. NSP-MR-94-002,  
Naval Postgraduate School, Monterey, CA93943-514,  
273pp.
- Elsberry, R.L., L.E. Carr, III, M.A.Boothe, and B.H. Webb,  
1997: Systematic and integrated approach to tropical  
cyclone track forecasting. Part II. Environment structure  
characterizations of degree of difficulty and track errors.  
Wea. Forecasting (submitted).

表一：賀伯颱風所處之綜觀環境結構與颱風結構。

時間 (Z)	綜觀類型	區域類型	颱風強度	颱風範圍	影響機制
072412	G	DR	TS	A	BEP
072500	G	DR	TS	A	BEP
072512	G	DR	TS	A	BEP
072600	G	DR	TS	L	BEP
072612	G	DR	TS	L	TCI3
072700	G	DR	TY	L	TCI3
072712	G	DR	TY	L	TCI3
072800	G	DR	IT	L	TCI3
072812	G	DR	IT	L	TCI3
072900	G	DR	IT	L	TCI4
072912	G	PO	IT	L	TCI4
073000	G	PO	IT	L	BEP
073012	S	DR	IT	L	BEP
073100	S	DR	IT	L	BEP
073112	S	DR	IT	L	BEP
080100	S	DR	TY	L	BEP
080112	S	DR	TS	L	BEP
080200	S	DR	TS	A	BEP

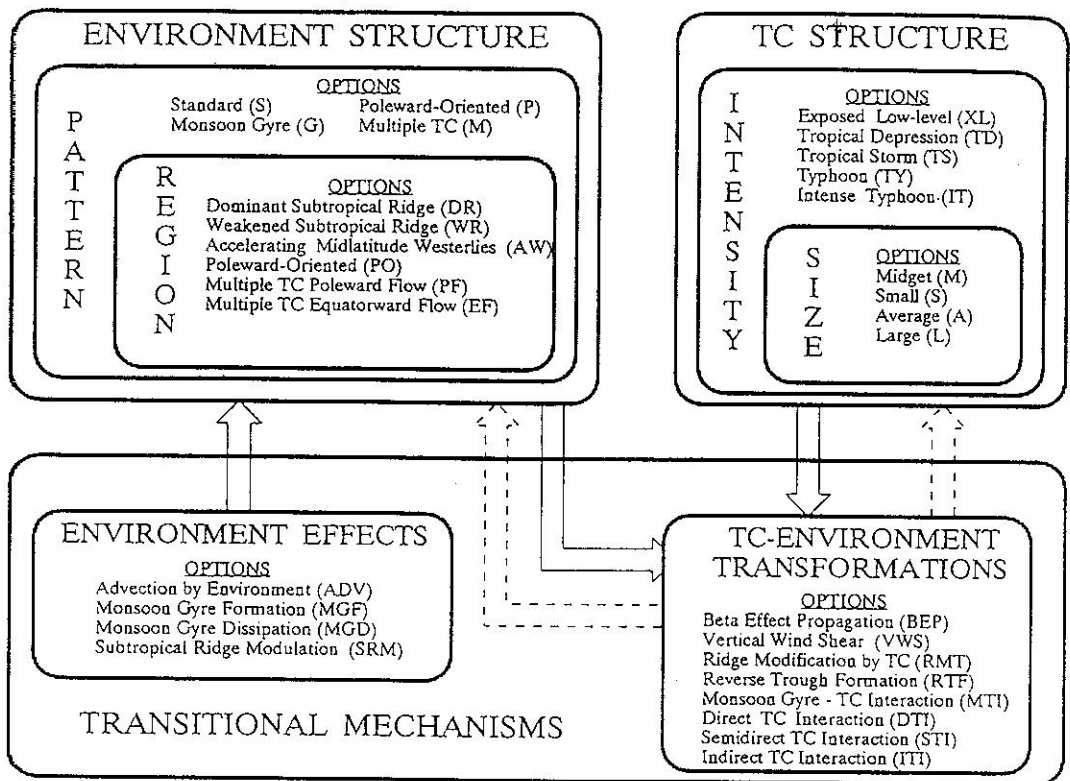


Fig. 1. Conceptual framework of TC motion effects of environmental structure (upper left), TC structure (upper right), plus TC-environment transformations (lower right), and environmental effects (lower left) as a separate subgroup of transitional mechanisms in the systematic approach.

圖 1：颱風運動之觀念模式。(圖 1 至圖 7 及圖說皆取自授課教材)



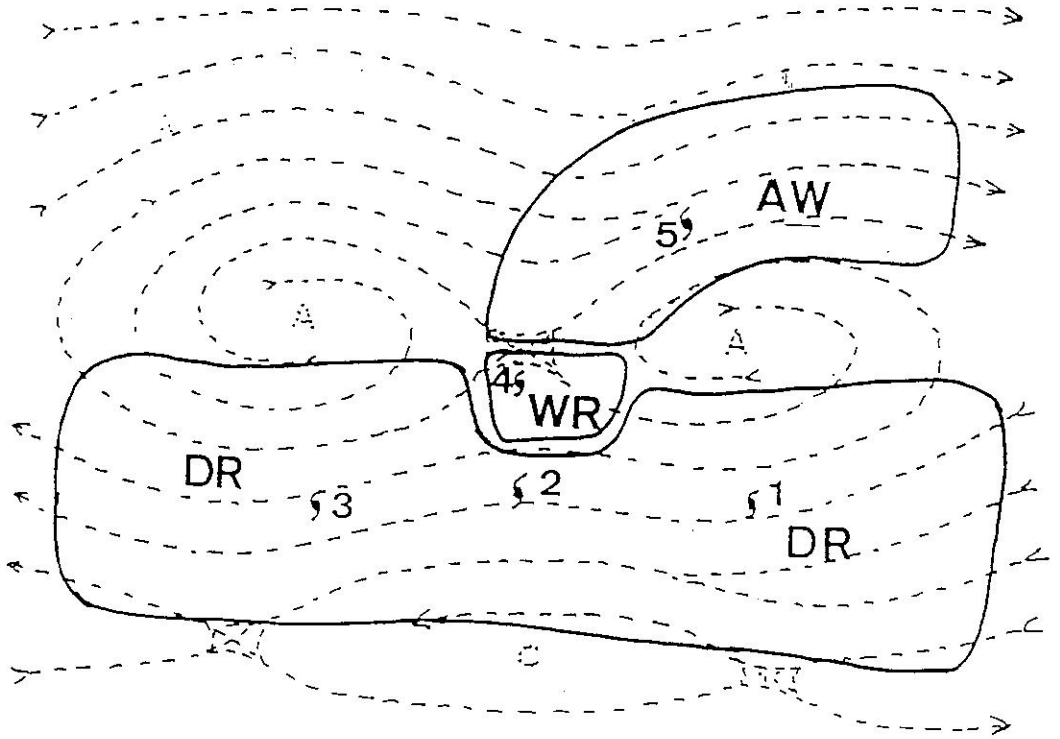


Fig. 2. Schematic of the Standard (S) synoptic pattern conceptual model with the boundaries of the associated synoptic region conceptual models added. DR denotes the Dominant Ridge region, WR the Weakened Ridge region, and AW the Accelerating Midlatitude Westerlies region. Streamlines of an appropriate layer-mean environmental flow with the TC circulation removed are indicated by dashed lines, with A and C indicating anticyclone and cyclone, respectively. The numbered TC symbols indicate possible sequences of positions.

圖 2：標準綜觀類型時各區域之示意圖。

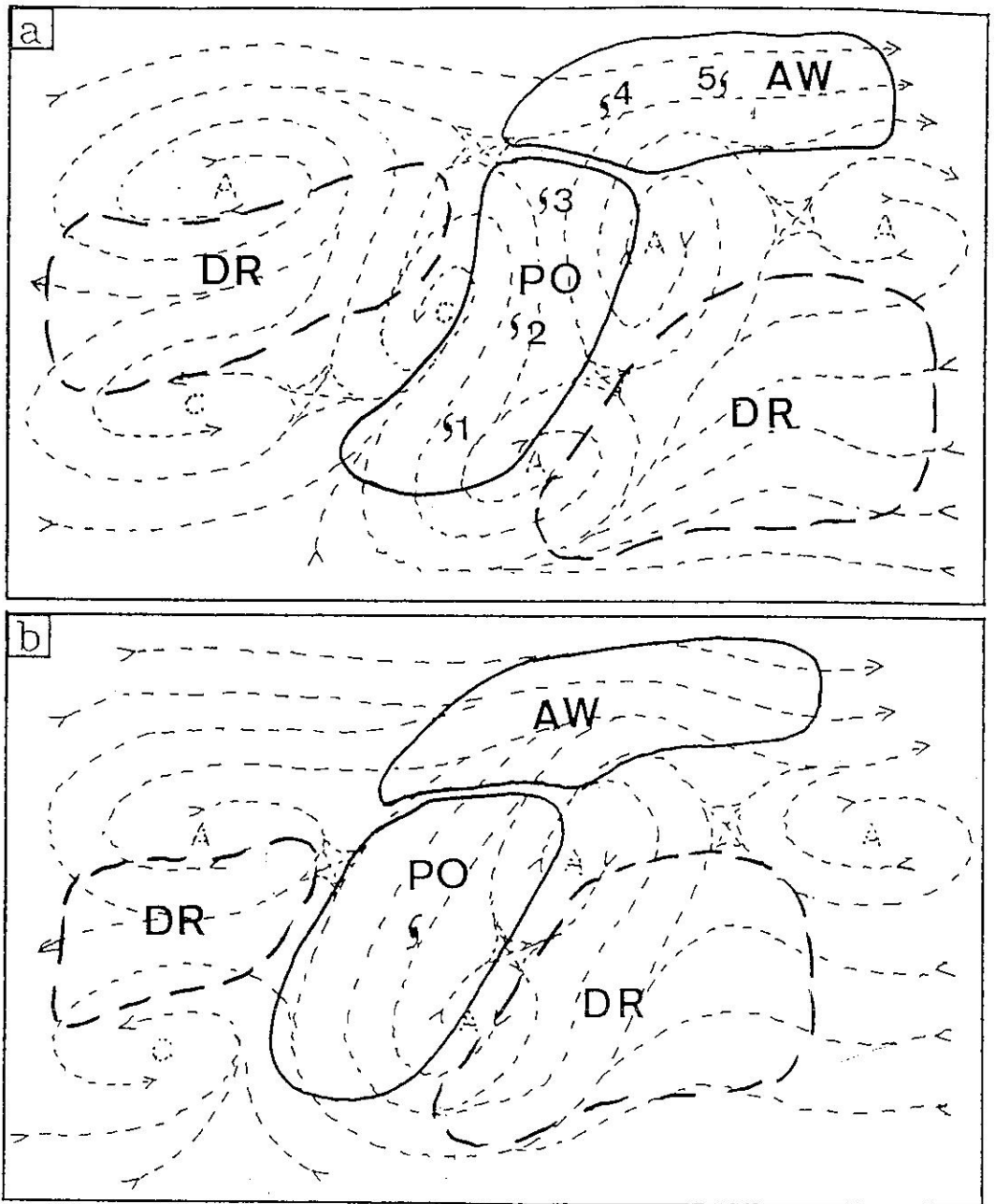


Fig. 4. As in Fig. 2, except for the Poleward-oriented (P) synoptic pattern and associated synoptic regions (solid lines), where PO denotes the Poleward-oriented synoptic region. The adjoining DR synoptic regions (heavy dashed) are not considered to be a part of the P pattern.

圖 3：北進綜觀類型時各區域之示意圖。

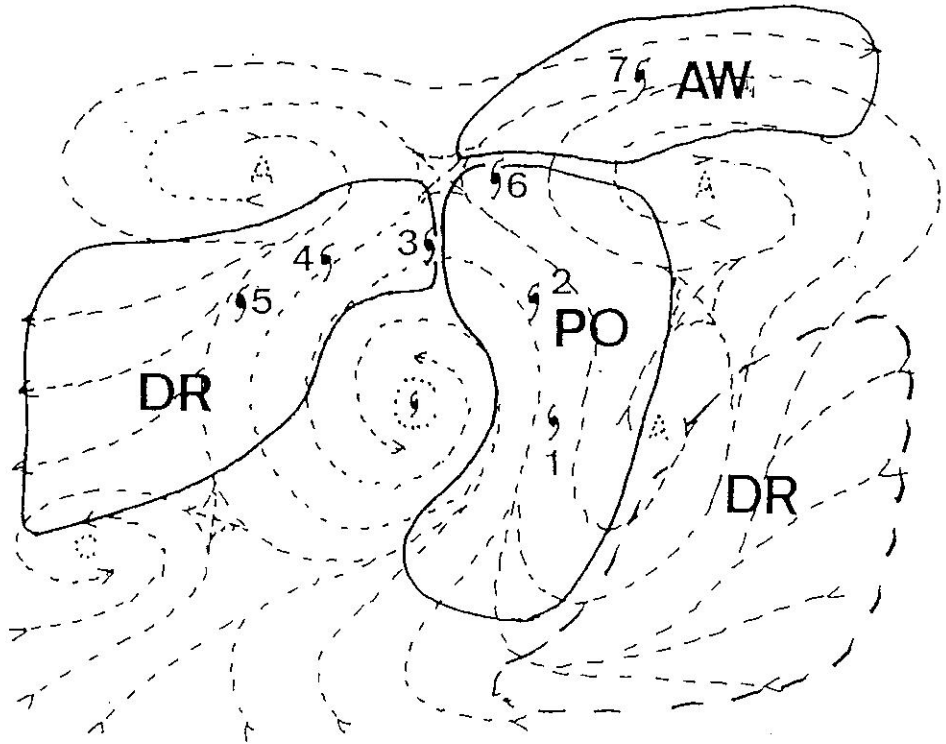


Fig. 6. As in Fig. 2, except for the monsoon Gyre (G) synoptic pattern and associated synoptic regions (solid lines). The monsoon circulation in the center of the synoptic pattern has a TC symbol superposed to indicate the special circumstance of a TC-gyre merger. The heavy dashed line has the same meaning as in Fig. 4.

圖 4：季風環流綜觀類型時各區域之示意圖。

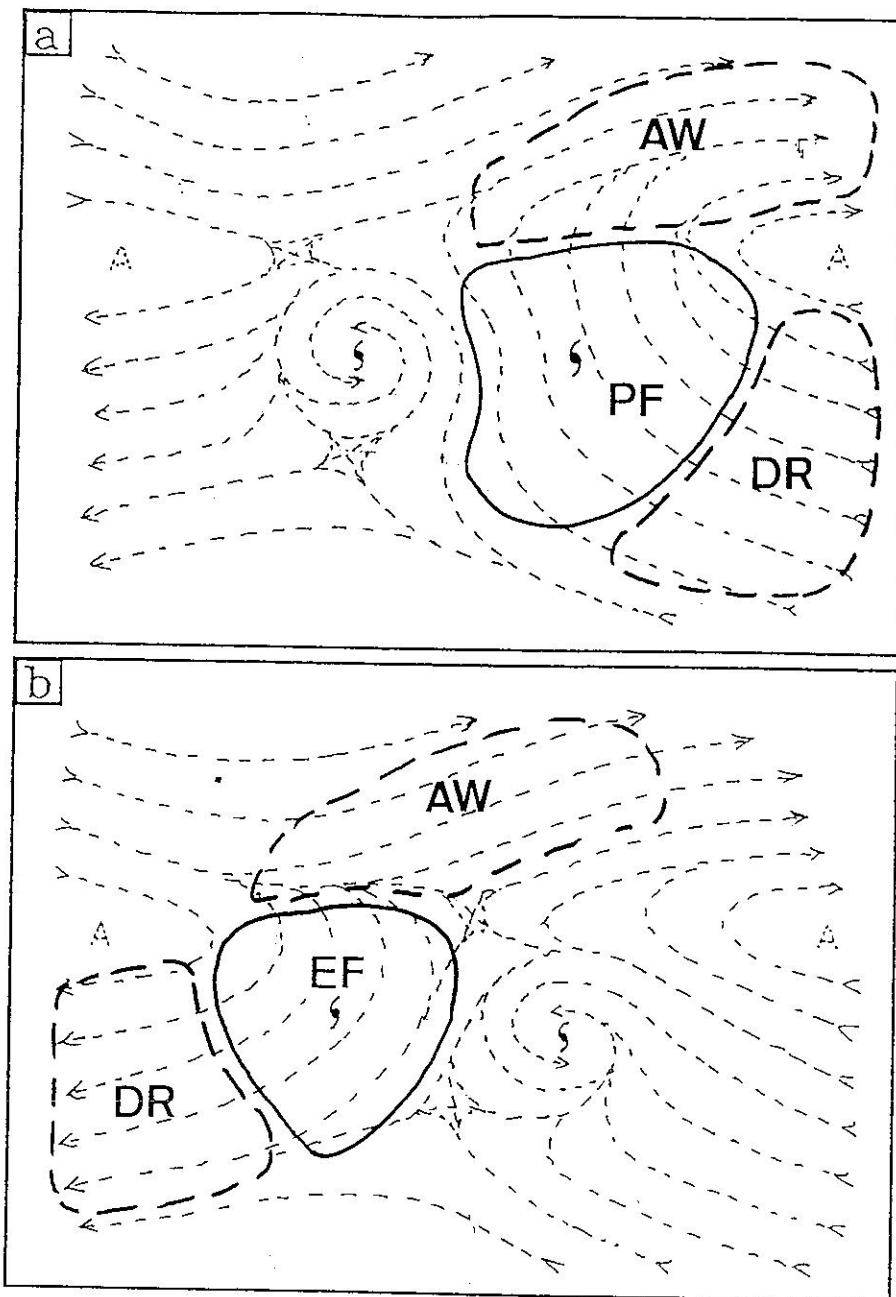


Fig. 8. As in Fig. 2, except for the Multiple (M) tropical cyclone synoptic pattern and associated synoptic regions (solid lines), where PF denotes Poleward Flow region and EF denotes the Equatorward Flow region. The adjoining DR and AW regions (heavy dashed) are not considered to be part of the M pattern.

圖 5：雙颱風綜觀類型時各區域之示意圖。

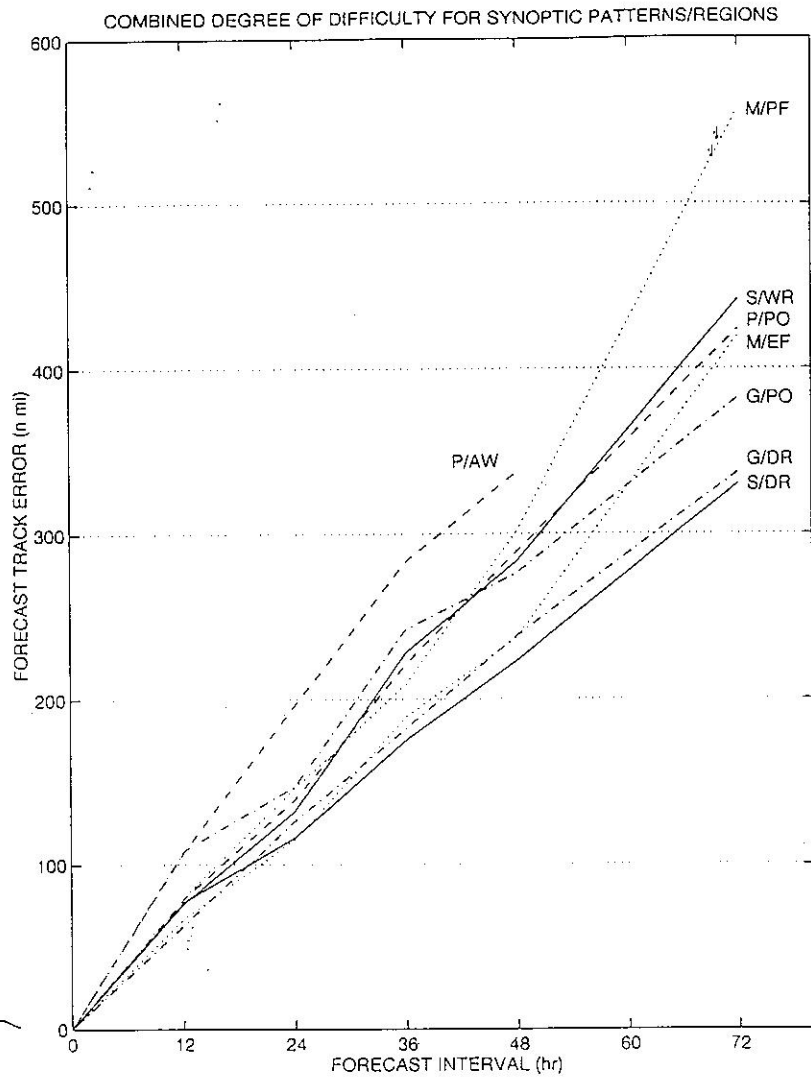


Fig. 1 Degree of track forecast difficulty for the pattern/region combinations (see Table for definitions) except for S/AW and G/AW, which had too few samples during 1989-1995. Storms in those pattern/region combinations that have larger (smaller) CLIPER FTEs are more (less) difficult to forecast.

圖 6：各綜觀類型與區域時颱風路徑預報之困難情形。

Recurring  
Environment Structure Transitions  
(7 yr)

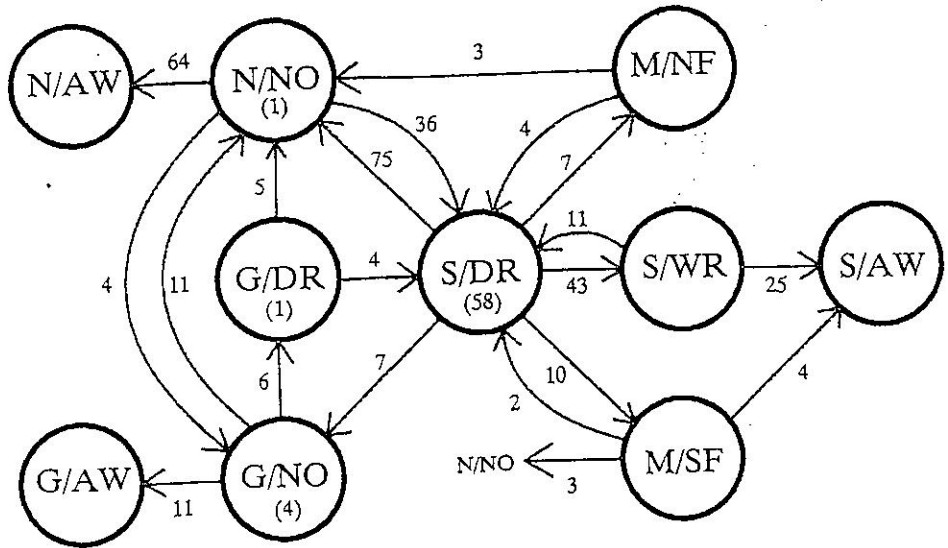


Fig. 10 Recurring environment structure transitions (numbers along arrows) during 1989-1995 between pattern/region combinations as defined in Table 1. Numbers in parentheses within the circles indicate cases in which the storm stayed in that pattern/region throughout its life cycle.

圖 7：颱風在各綜觀與區域類型間之轉變情形。

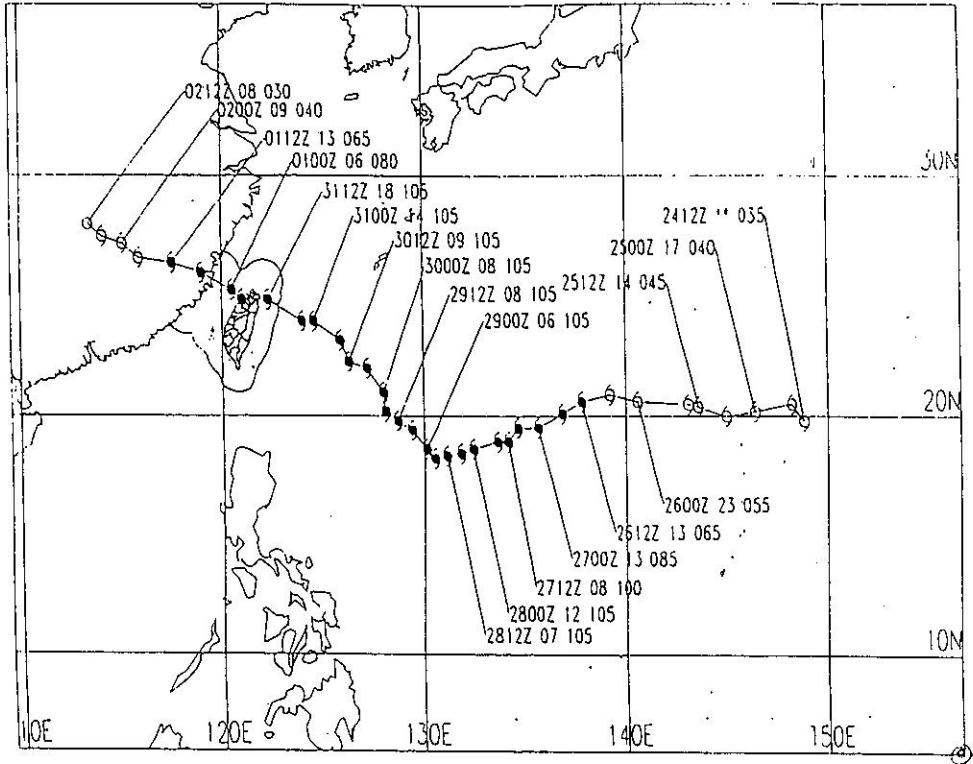


圖 8：賀伯颱風之移動路徑。

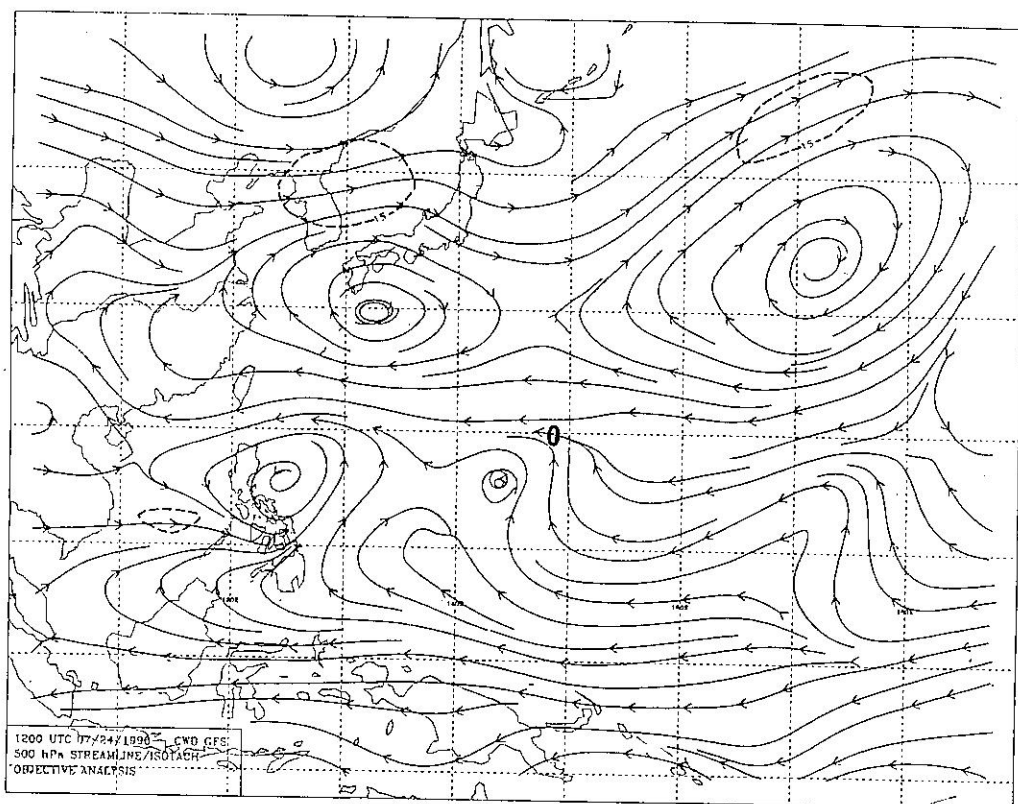


圖 9：7月24日12UTC之500hpa氣流線分佈。  
 ( 0 為颱風中心位置 )



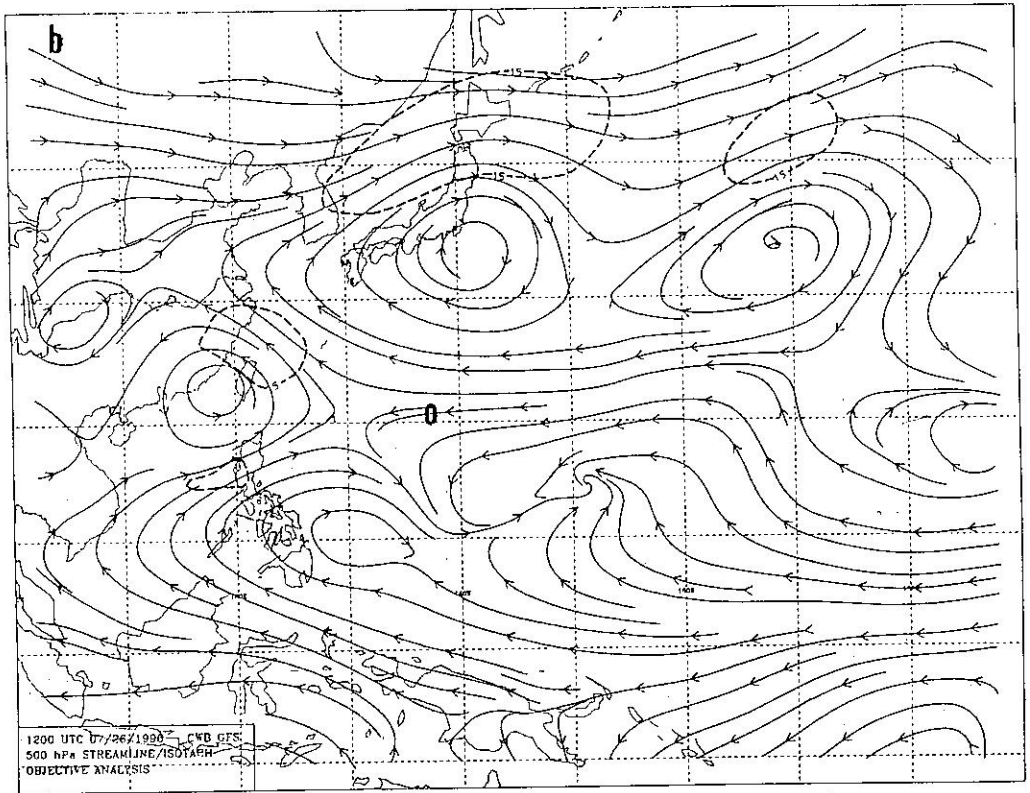
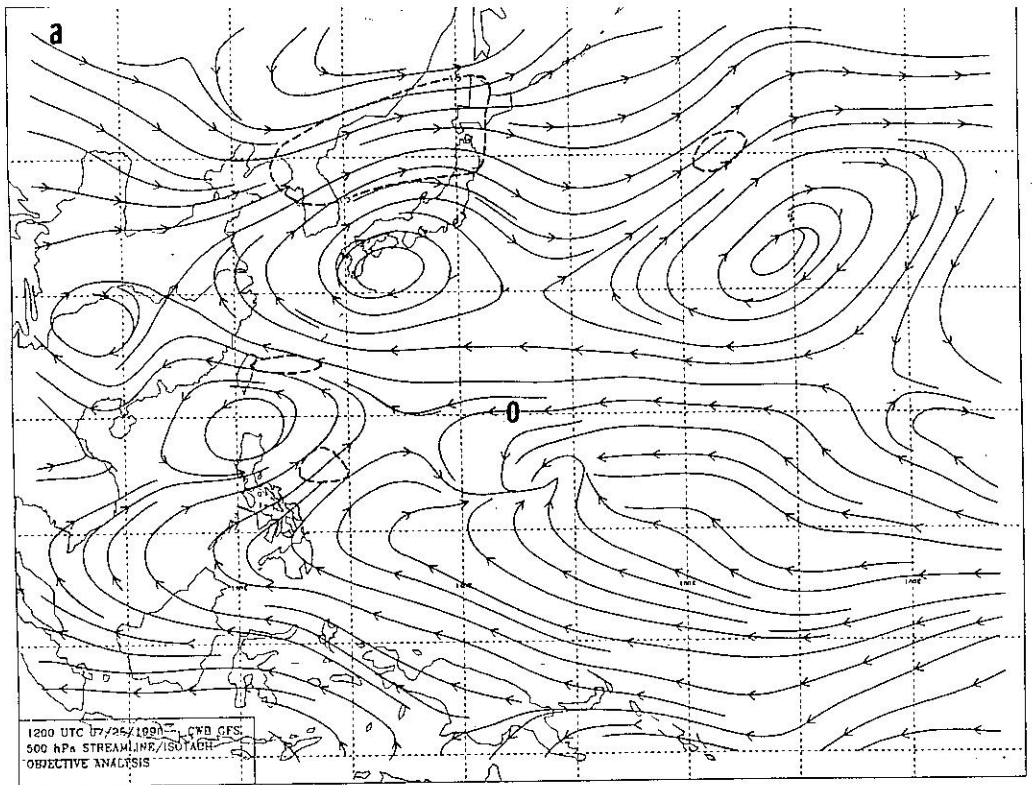


圖 10 : (a)7 月 25 日 12UTC 與 (b)26 日 00UTC 500hpa 氣流線分佈。

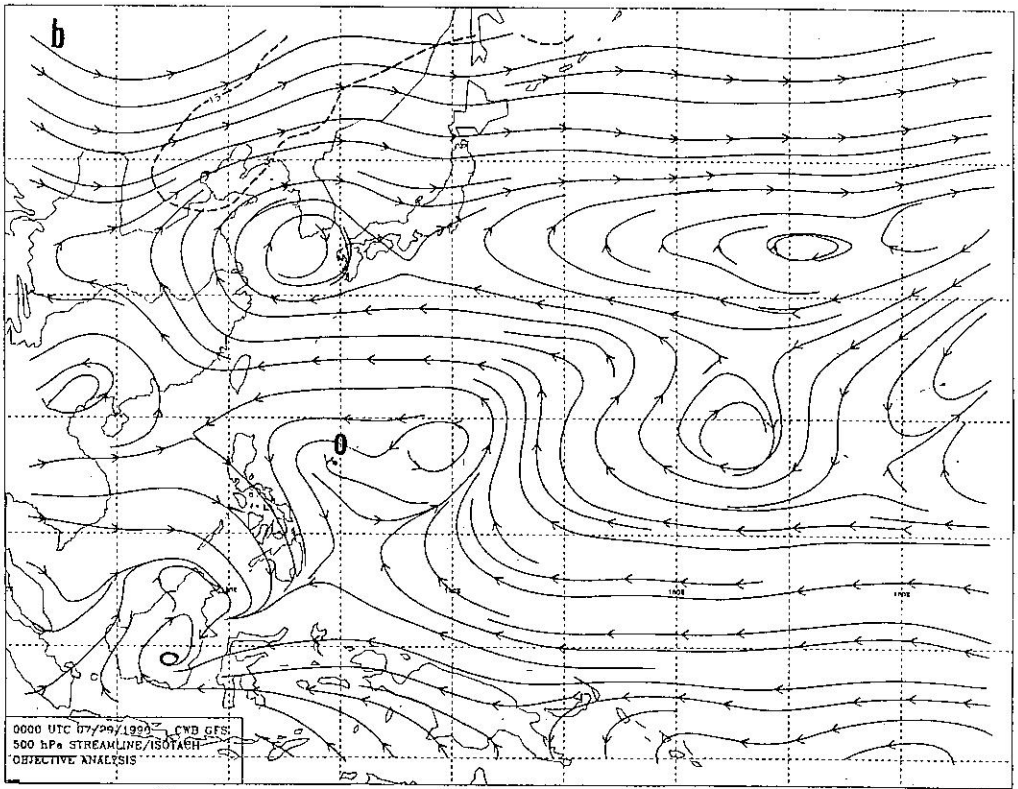
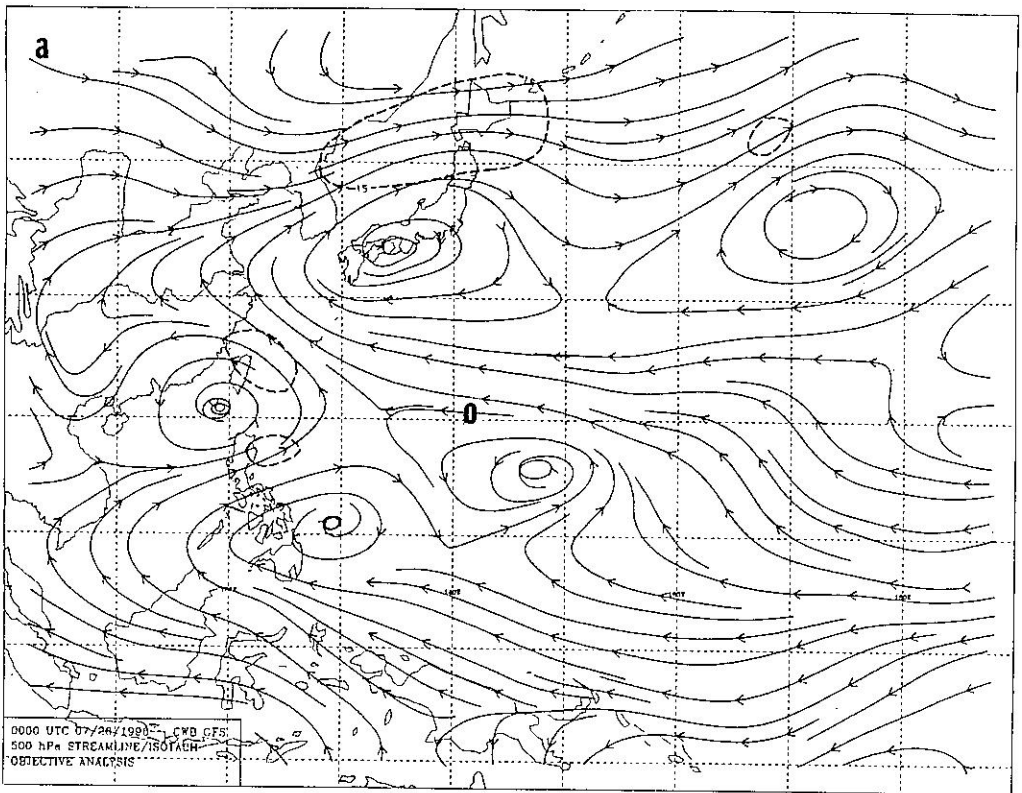


圖 11 : (a) 26 日 12UTC 與 (b) 29 日 00UTC 500hpa 氣流線分佈。

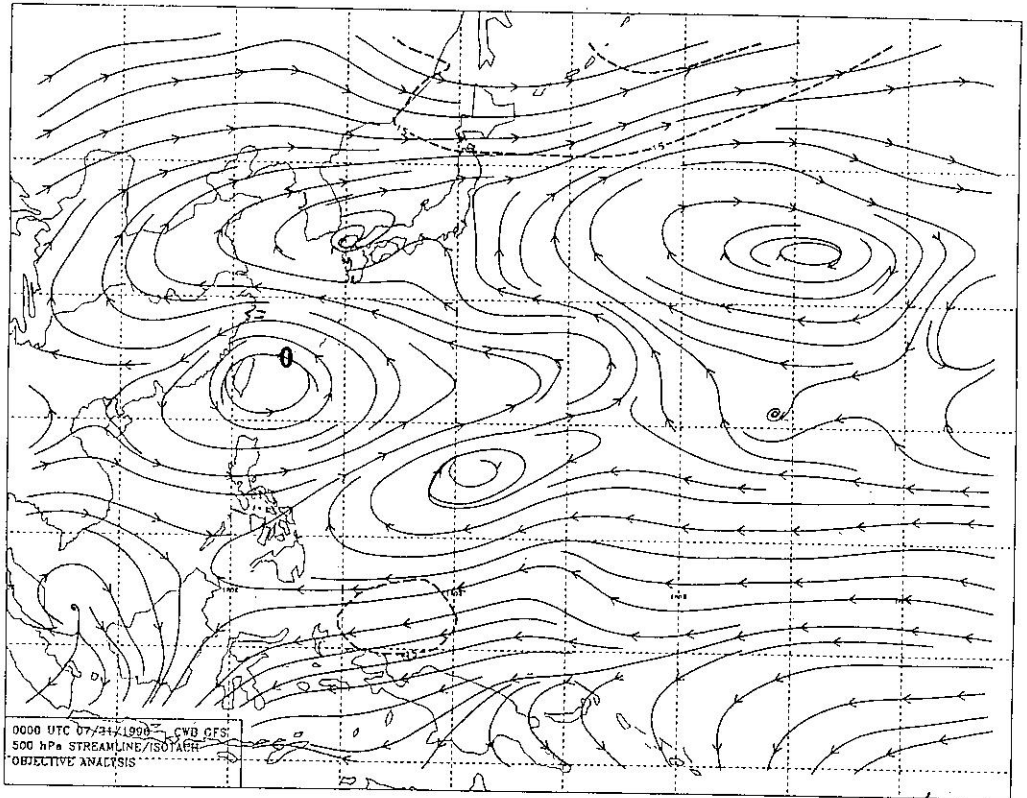


圖 12：7月31日 00UTC 500hpa 氣流線分佈。