

侵台颱風風力預報及其問題

王時鼎 蔡清彥 林民生

中央氣象局

摘 要

本文為有關颱風風力結構及其預報之應用與學術性研究。本文開始檢討了我們1949~1989年共180個颱風資料檔之品質，重新作了颱風來襲時，30kt風半徑之分析（R 30kt），建立了颱風中心之 V_{max} ， P_{min} ，R 30kt，及R 1000 hPa等相互間之統計關係。就重要個案比較了關島JTWC與我們所建立颱風路徑異同。並提出了颱風過山後，颱風強度與風場結構問題，及我們對這些問題的初步解決方法。我們亦嘗試以桃園中正機場Doppler 雷達資料探索在山區之颱風運動與其環流分裂。有關侵台颱風風力預報，係分兩方面來接觸問題。其一為單站風力預報，我們主要之努力，為如何進一步修正作者之一藉統計途徑所建立之各地客觀風力預報法。包括：局部區域颱風樣本資本不足問題，颱風強度與半徑變化問題，自由過山與分裂過山颱風風場變化問題，沿山北行颱風風場變化問題之處理等。另一為侵台颱風風力之區域預報。主要研究內容包括：旋流繞山與爬山，弱風尾流與局部噴流，各地颱風侵襲機率，侵台50次大颱風分析，以及台灣西部破壞性風力（ ≥ 9 級風）分析與預報等。藉此項研究，期使對侵台颱風風場特性，單站風力預報及風力區域預報問題及其解決有一全般性之認識。

一、前言

台灣氣象問題中，無論以災害觀點或問題本身重要性觀點，厥推侵台颱風之預報。更具體言，為侵台颱風破壞性風力，豪雨及其所引起暴潮之預測。本研究則為就侵台颱風風力預報之研究，提出當前仍存在之問題，並提出我們就此一方面的意見，以供進一步研究及實際颱風風力預報之應用參考。

有關侵台颱風風力預報之研究，主要均以國科會支援下之研究為主流，且幾乎較有系統之有關研究，作者之一均為參與（林、曲、俞、王等，1992；王，1987，1988，1989；王，1992）。最近兩年

來，作者等並就台灣地形與颱風旋流結構交互作用作過頗為深入之調查分析（王，1991；王、蔡、林1992），及後作者等並更以「颱風預報輔助作業系統」為題（蔡、王、林，1992，1993）對侵台颱風影響下氣象局各測站造成颱風強風之物理因素，各地風力客觀預測圖（王，1987，1988）之進一步預報修正，作出有系統研究分析。本文則為根據上述各研究所作更進一步對台灣颱風風力預報及其問題之討論。

二、資料及研究方法

(一) 研究資料

1. 1949—1989年侵台 180次颱風路徑，該項路徑為依據各颱風侵台期間，逐時天氣詳圖分析得出(王，1992)。

2. 上述 180次颱風之台灣各地空軍及氣象局共 50處測站之最大平均風速、最大陣風、最低氣壓紀錄。

3. 上述 180次颱風侵台期間之台灣軍民氣象測站平均風逐時變化圖，係分四等級作出，即： $V < 20kt$ ， $20kt \leq V \leq 33kt$ ， $34kt \leq V \leq 49kt$ ， $V \geq 50kt$ 。該項資料本身即可作甚佳之預報應用參考資料。因台灣地形對各類颱風風場影響，包括侵襲時間久暫，弱風尾流區(wake zone)，局部噴流(local jet)區等發生，可一覽無遺。

4. 上述 180次颱風侵台期間氣象局各測站逐時風向、風速、氣壓、溫度、雨量之時間變化圖。

5. 颱風侵襲時氣象局各測站各氣象要素之自記紀錄。

6. 上述 180次颱風侵台時逐時天氣圖。圖中已儘量蒐集空軍及氣象局近50處測站資料。

7. 侵台颱風台灣各地之探空資料。

以上各種資料中，除上述之(5)係利用科技研究中心之小型研究計畫，請氣象局局外各測站蒐集外，其餘各項資料主要均為作者之一，前在空軍及氣象局期間，在國科會有關颱風研究計畫支援下，所蒐集及製作者。

(二) 研究方法

本文內容主要有二。其一為提升上述本項颱風資料檔的品質。將 180次颱風在台灣附近時之中心最大風速(V_{max})，最低氣壓(P_{min})，30kt風半徑(R_{30})，及1000 hPa封閉等壓線半徑，求其 V_{max} 與 P_{min} ， R_{30} 與 V_{max} ， R_{30} 與 R_{1000} hPa之相關，主要以散布圖(scattered diagram)技術作出。

R_{30} 與 R_{1000} hPa值均為根據日本歷史天氣圖資料做出。另外我們利用 Doppler雷達資料及EVAD技術應用於颱風風場個案分析，重新校驗我們對颱風在台灣山區運動及環流分裂的分析技術。其二為有關侵台颱風風力預報研究，又分兩部分：第一部分為單站風力預報研究，目的在修正過去作者之一(王，1987，1988)台灣各地颱風風力客觀預報法。研究方法主要為結合颱風本身路徑位置、強度及風場結構等參數與中尺度風場分析技術。該風場分析技術主要係以流體力學中邊界層理論為基礎。第二部分為颱風風力區域預報，主要係利用台灣區各測站大量颱風風力資料的統計分析，配合 180個颱風資料以進行。中尺度風場分析技術再次被有效應用。

三、本項颱風風力研究資料檔之品質及問題

此處特別強調說明，本項1949~1989年共 180次侵台颱風資料均為作者等，主要係藉助於歷年國科會研究計畫下，所親自建立。並不斷改正。雖然並未臻完全理想，但我們已儘最大之努力。蓋以言對台灣地區颱風參數之預報，其有關颱風資料首應達準確範圍以內也。

以下在討論台灣颱風風力預報之前，謹先討論本項資料檔之品質，我們所作之努力，及猶待解決問題。

(一) 侵台颱風路徑資料檔之建立及與關島發布最佳路徑之比較

此項努力已達20年以上。我們建立了1949年以來侵台期間 180個颱風以逐時位置為基礎的颱風路徑。係分析具有近50處測站資料之逐時天氣詳圖得出。在過去我們從未發表本項侵台颱風路徑與關島聯合警報中心(JTWC)所發布之「最佳路徑」間之比

較。以下願就此一方面作一討論。因台灣颱風之特性，以漸引起國內、外氣象學家之注意 (Bender 等, 1987; Brand 等, 1974; Chang, 1982, Ishijima 等, 1987; Hwang 等, 1977)。迄至現在為止，尚未見有任何專家對台灣颱風逐時實測路徑有系統之分析。早期徐應璟氏 (Hsu, 1960)、李炳支氏 (Li, 1963) (均為作者之一之軍中長官) 在亞美軍事氣象會議發表有關論文，均為本文作者之一著作 (徐、王, 1960; 王, 1963)。且 Brand 等 (1974) 有關台灣颱風過山研究資料，亦為根據該兩文及其來台灣與本文作者之一之討論所得 (該三文均可參見葉, 1993, Ph.D 論文, 該三文中均未提及作者本人, 故在此附帶及之)。

圖1 為我們侵台颱風路徑資料與關島 JTWC 最佳路徑八次個案之比較。必須特別說明，我們颱風路徑資料在遠海部分主要係根據關島 JTWC 者 (另亦參考日本氣象廳天氣圖及上海颱風研究所颱風路徑, 1984)。但當颱風移至台灣地區時，關島路徑與我們根據逐時資料得出者，則有甚大之差別。圖中之八次颱風均屬極為重要之颱風 (見王, 1980, 文中均作有詳細天氣圖)。其中，又可分為兩類，即：

a. 自由過山颱風。包括：(a) 1969 年 ELISE, (b) 1959 年 JOAN, (c) 1961 年 PAMELA, 及 (d) 1960 年 SHIRLEY。該四颱風中，(b) 與 (c) 屬超級颱風。(a) 為 1949 年以來侵台 180 個颱風中各地出現風力最大者，(b) 為次大者，(c) 為排名第 7, (d) 為排名第 29, 均參見後述。

b. 分裂過山颱風。包括：(e) 1959 年 LOUISE, (f) 1961 年 BETTY, (g) 1961 年 SALLY, 及 (h) 1962 年 KATE。該四颱風中，前面 (e)、(f)、(g) 分別代表颱風在中央山脈北部、中部、與南端分裂過山，亦即由山脈西側生成之颱風副中心取代原颱風中心者。另外，(h) 為颱風中心沿中央山脈東側北行，中

心並未過山，但最後仍為山脈西側副中心所取代者 (王, 1993)。

以下為就該八次颱風，就作者得出之颱風逐時路徑與關島 JTWC 之最佳路徑之比較討論：

(a) 就自由過山四次颱風而言，JTWC 者均未見有因中央山脈及台灣海峽影響所造成路徑彎曲現象。一般言，過山前為偏北，過山後為偏南。又因為過山後颱風有向西南 (或西) 偏向現象，故特以在山脈西側，兩者路徑差距最大。由逐時路徑可見，颱風在過山前移速有見增加 (加速)，在過山後反轉向期間有明顯減速現象。而關島 JTWC 路徑，僅有 6 小時間隔位置，故無法辨出。

(b) 就分裂過山四次颱風而言，關島 JTWC 路徑均無山脈西側副中心取代原颱風中心之事實。亦即因此，在颱風過山以後之階段中，兩者路徑位置差距甚大。極有興趣的為 (g)、(h) 兩颱風，中心均未過山，仍有副中心取代之事實。其中 (g) 例之 SALLY 颱風動態，葉 (1993) 曾作數值模擬，甚見一致。

因任何一地颱風風雨預報與颱風路徑之關係最為密切，故在此先行討論。

(二) 登陸颱風路徑變化與 Doppler 雷達所得者之比較——1990 年 6 月 OFELIA 颱風之例

為了提高登陸台灣颱風路徑分析之品質，我們曾就 1990 年 6 月 OFELIA 颱風之例 (圖 2a)，特商請周仲島博士及其助理張寶亮先生代為製作根據民航局 Doppler 雷達風場資料分析。圖 2b 至 j 即為彼等利用最新發展 EVAD (extended velocity-azimuth display) 技術所求得 6 月 23 日 1505 至 2105 地方時 (L) 期間風速風向時間高度剖面圖 (圖 2b)，相同時間之東西風分量時間高度剖面圖 (圖 2c)，1650L、1720L、1750L 及 2020L 四時間 1.5 公里高度之徑向風分布圖 (圖 2d 至 g)，1750L 之 1 公里、2 公里、3 公里高度

之徑向風分布圖(圖2h至j),圖2k為相當圖2h至j時間地面等壓線分析圖。以上各圖已包括該各時間利用傳統分析方法所得颱風路徑(見圖2a,山區部分因資料缺乏路徑分析可靠度較遜),1.5公里高度各時間之徑向風變化所顯示該颱風兩中心(圖2d至g,所以用1.5公里高度,乃因該高度為上、下層環流變化關鍵高度,參見圖2b及c),該兩環流中心隨高度之變化(圖2h至j),以及在該關鍵時間之天氣圖分析,俾可與Doppler雷達分析結果之比較(圖2h至j),藉該各圖可得:

(a) 正如地面颱風路徑圖分析(圖2a),Doppler雷達徑向風分析圖中,亦可分析出兩環流中心與地面圖所分析者甚相一致(比較圖2a、k與圖2b至j)。

(b) 由圖2b與c可見,OFELIA颱風兩環流中心共同存在時間係在1650至1805地方時時間中。其變化之分界高度係在1500公尺至2000公尺之間。以上部分反映出颱風主環流中心之環流,以下部分反映低層所導生之副中心環流。

(c) 副中心係在1公里高度以下先行出現(圖2c),而後向上發展,至1820L以後,高空風已均反映副中心之環流。藉路徑圖(圖2a)可見,至2000L以後,原中心消失,已由副中心所取代(並參見圖2b與c及圖2a)。並由圖2b與c均可見,桃園近海副中心開始高度係在1公里高度以下,而後向上發展,但仍在1公里以下風力為最強,合成風達30kt(15m/s)。

(d) 比較圖2a與圖2d至g可見,主颱風中心位置在Doppler雷達徑向風圖中較傳統路徑圖之位置略為偏西,係在山區中。但兩者位置甚近,仍在觀測誤差範圍內。

(e) 比較1750L時間之垂直結構(圖2h至k)可見,原颱風中心厚度已隨高度減弱,無論其範圍及強度均然。至3公里高度,原中心之水平範圍略僅及

40公里。

由以上討論可見,Doppler雷達EVAD風場分析技術對台灣颱風之分析,極見價值。此處僅作簡要分析,至於詳細分析不在本文範圍之內。

(三)侵台颱風之風場結構及其問題

此處有關侵台颱風風場結構,僅討論近中心最大風速(V_{max})與30kt風半徑(R_{30})兩項。但實際所衍生之問題已極複雜,即:過山後 V_{max} 與 R_{30} 之表示法及其表示法的代表性。因颱風過山後,一般言,風力結構已完全破壞,且其隨時間之變化因台灣海峽中資料太少,無法了解及掌握,而倍增困難。以下討論分兩部分,即中心過山前及過山後。

1. 颱風中心接近台灣至過山之前

(1) 中心之最大風速(V_{max})

一項極為重要事實,當颱風在台灣近海時,關島JTWC所報之中心最大風速(V_{max})似乎均為偏高。因至少當颱風中心登陸或極接近某地時,其所出現之最大風速值,應與颱風中心之 V_{max} 甚為一致。就1949—1982年資料調查。基隆最大一次之 V/V_{max} 比值為63%,宜蘭為50%,花蓮為83%,台東為73%,恆春為62%。以上五地,其中花蓮與台東之值又較大,可能與地形增劇(enhancement)作用有關。又以上五地之值均為極端最大值,即以此值為準,颱風侵台實際最大風速可能僅有原報告之60~80%之值,應密切注意。可憾者,中心最大風速(V_{max}),事後幾乎無法作出核對。但至少中心侵襲之地所出現之 V_{max} ,不失為最佳之校驗資料也。

(2) 30kt風之半徑(R_{30})

R_{30} 對一地颱風風力預測的重要性,不亞於 V_{max} 。因 V_{max} 直接作為颱風強度分級的標準,而倍受重視,但實際言颱風過境開始起風時間,及一地受颱風侵襲時間之久暫,則惟 R_{30} 是賴。有

關於此，我們曾作了頗多調查，包括颱風在台灣附近時 V_{max} 與 R 30 之關係，此可參見圖3。R 30kt 與 R 1000 hPa 之相關，此可參見圖4。此外，相同颱風強度下，半徑每有甚大之差異，而直接攸關一地風力之預報，筆者等曾作出實際重要之例。此可參見圖5。

圖3 V_{max} 與 R 30kt 與圖4 R 30kt 與 R 1000 hPa 之統計相關圖，係就134個侵台颱風（均限颱風中心於侵襲前，距台灣約2個緯度附近），根據日本歷史天氣圖資料（圖中船舶資料甚見完整）作出。因發現原始所報颱風 R 30 半徑與實際天氣圖上得出者，出入很大。為使此項資料檔品質提高，故儘量重做。該兩圖可供多項目的，包括：

(a) 台灣近海區域，颱風強度及其風場結構性質。因各地風雨預報，均所必需。

(b) 資料校驗與查証之需，例如寒潮與颱風共伴風場結構性質。此時風力半徑常甚大。

(c) 因發現台灣區一帶 R 30kt（風場）與 R 1000 hPa（氣壓場）有顯著相關。例如寒潮共伴者， $R_{30} > R_{1000}$ ；而一般成熟並穩定颱風， $R_{30} \approx R_{1000}$ ；小颱風則 $R_{30} < R_{1000}$ 。故如其關係能更加確定，參考圖中之斷線，則藉 R 1000 hPa 分布可定出 R 30kt。

(d) 通過圖3 與4 之聯合運用，則可略知 V_{max} 、R 30kt 與 R 1000 hPa 三者間之關係。例： $R_{30} < R_{1000}$ 之颱風，均以強度較小（ V_{max} 較小）颱風居多。

(e) 藉上述兩圖聯合應用即立可得出本資料檔中各颱風風場結構特性。另外，圖5為上述圖4 之 V_{max} 、R 30kt 及 R 1000 hPa 關係之實際舉例。藉說明實際天氣圖上確可供確定上述三者關係之需。

2. 颱風中心移過台灣中央山脈之後

颱風中心移至台灣中央山脈之時，其原來風場與氣壓場結構完全被其大小因次相若之山脈所破壞。其所表現之型式為颱風之「自由過山」與「分裂過山」（王1980，1992）兩種。關於此，此處特以兩典型氣壓場分布之例如圖6 a、b所示。無論其中何者，颱風在空闊海上（open sea）之風場結構，即所謂 R 30kt 與 V_{max} 分布此時已完全改觀（王，1991；王、蔡、林，1992）。此可參見後述之圖13 與14 實際颱風之流場圖。因此台灣各地風雨分布型式亦完全改觀。有關於此，王（1992）之 180個颱風路徑圖中，係以下述方式，暫為解決：

(a) V_{max} 非以中心最大風速表示，而以蘭嶼或彭佳嶼因「角隅效應」（corner effect）（王，1991）所造成之最大風代表，但加以括號。例：64 號 AMY 颱風之 (90)，或其在海峽中之 35(70)。後者即謂，中心風速為 35kt 蘭嶼之風為 70kt。

(b) 30kt 與 50kt 風半徑（R 30，R 50）之觀念已完全模糊，似乎應予捨棄。但過去所做風、雨客觀預報法中之一，係以中心最大風速加以標準化（normalization），並以 30kt 風半徑作預報補助工具。此時，已完全失去意義。在王（1992）之颱風路徑圖中之 R 30 之值，此時無法解決，而間以颱風中心與最大風中心之距離之值表出。

上述過山時，特以過山後，颱風中心風速及風場結構之表示法，此處僅提出問題及初步之解決方法，進一步之研究仍有必需。

(四) 侵台颱風之中心強度

一般之颱風中心強度係同時以兩值表出，一為中心最大風速（ V_{max} ），一為中心最低氣壓（ P_{min} ）。在颱風中心未過山脈前，兩者之值均有代表性。但在颱風中心過山之後， V_{max} 值失去意義（見上述）， P_{min} 仍不失為一有用參數。此處茲作出王（1992）180個颱風，當其中心接近台灣約為 2個經度

或緯度時，中心未遭地形破壞前之 P_{min} 與 V_{max} 關係如圖7。藉供參考。

四、台灣各地颱風風力之預報

(一) 台灣各地颱風風力客觀預測圖之製作及其特性

本文作者之一，曾在國科會支援下，利用統計方法作出氣象局十四重要測站在颱風影響下之風力客觀預測圖(王，1987, 1988)。係根據1949至1982年侵台颱風逐時資料，作出颱風在 $19^{\circ} \sim 28^{\circ} N$ ， $117^{\circ} \sim 129^{\circ} E$ 區域，計共432小區 ($9^{\circ} \times 12^{\circ} \times 4$ ，即 0.5×0.5 經、緯度) 中，藉比值法(即：各地各時之實際風速 (V) 除以該各時颱風中心最大風速 (V_{max})) 求出各該14地之颱風影響下之平均風速比值 (V/V_{max})、最大值、最小值、標準偏差及樣本次數等，以為各該地颱風風力預報之參考。該客觀預測圖為颱風位置、局部地形、颱風強度(以中心最大風速表出)、及颱風移向、移速之函數。圖8a至d 即為澎湖、台中、台北、花蓮、該項風力客觀預測圖之例。圖中粗實線為各以該地為中心，30 浬/時(7級風)風半徑為300公里時之區域範圍。細實線各為颱風在各位置時，該地可能出現風力之預估，以百分比值表出 ($V/V_{max}\%$)。例：比值為30%，即，如某來襲颱風中心風速為 120kt，颱風在該位置時，該地將出現36kt ($120 \times 30\%$) 之風速。網線即為各地風速比值達20%之涵蓋區域。藉各圖明顯可見其不同之風力特性：

(a) 在過去相同颱風樣本數中，澎湖受颱風之侵襲時間為最久，其主分布區略呈三角形(見網線區，亦即 V/V_{max} 達20%區域，意即當颱風中心風速達100kt時，該地風力將達20kt，亦即 6級風)，則當颱風在花蓮東南約 550公里處時，已感受

風風力影響。颱風在該區一帶時，澎湖區出現者為東北風，亦即受台灣海峽效應之「明渠流」(open channel flow) (參見王，1991) 影響。又其風力最大達颱風中心風力50%，亦因海峽效應所致。

(b) 如以相當於颱風中心風力20%代表一地已受颱風之侵襲，則由圖8b可見，僅當颱風中心在蘇澳東方近海及中心登陸花蓮後，台中才受颱風侵襲之影響，且就平均言，風力亦僅及颱風中心風力之20%。由此亦可見中央山脈對台中市「屏障作用」(sheltering effect) 之顯著。

(c) 就颱風影響言，台北、基隆與高雄等台灣最重要之地，均非良好位置。此處僅舉台北以為例。由圖8c可見，當颱風在其南方接近，或在巴士海峽過境時，雖中心遠在 300公里之外過境，亦可出現較颱風中心直接過境為大之風速。且造成強風之因素甚多，關於此見後所述。

(d) 花蓮為侵台颱風路徑之要衝。藉圖8d可見，當其直接受侵襲時，所受風力平均僅及中心風速值之40%，極端最大值亦僅有63% (見花蓮處下方之值)。故接近台灣時颱風中心所報最大風速並不標準，僅可作為參考(另見後述)。且由花蓮風力客觀預測圖可見，颱風對其影響區域係略呈東南至西北之長廊形狀。除颱風直接侵襲可造成強風外，其他僅受颱風環流造成之「沿山流」影響。特以颱風中心在宜蘭及以北過境時，雖近在咫尺，亦可高枕無憂。

就各地颱風風力之定量預報方法而言，似乎迄未有發現如此簡單可靠而有效方法。該法已建立於本局預報中心之電腦中，且僅要颱風運動路徑與強度之預測為已知，則立可得出各地逐時風力之預測。

(二) 台灣各地颱風風力客觀預測圖在應用上之可

能修正

任何利用統計方法所得出之客觀預測圖表，基本上，必有其限制或稱缺點。在蔡、王、林(1992)之研究中，主要目的之一，則在謀求上述方法之進一步修正。在該文中應用圖表等甚多，不再在此贅述。此處僅例舉該文中最主要之侵台颱風各地風力預報修正之流程圖，如圖9。在作出各地客觀風力預估後，尚可作八項進一步修正（又該圖各步驟所用圖表編號均為蔡、王、林(1992)之文中者）。包括：統計樣本不足、颱風路徑移入關鍵區與否、是否屬強烈級以上颱風、過山時為「自由過山」或「分裂過山」、中心西行未過山、中心沿山北行等。此處茲就「步驟3」(step 3)部分為例略作說明。我們曾調查氣象局14重要測站，包括：台北、竹子湖、新竹、基隆、宜蘭、花蓮、台東、台中、嘉義、阿里山、台南、高雄、恆春與澎湖，凡因颱風風力達8級風以上，當其出現時各颱風所在位置圖，此處茲附台灣基隆與高雄兩港口之該項之圖如圖10a與b。而後再藉該各圖求出，距該站甚遠處之颱風路徑處，如該兩圖之(A)、(B)、(C)、(D)、(E)等處，作出該颱風該時間之天氣圖中之風場與氣壓場分析，以探求其所以對該地產生強風之原因。例如：是因颱風環流與冬季風共伴、特殊地形影響或超大型(指風力半徑)颱風等等(其分析之圖型可參見圖14、15等，不贅述。詳見蔡、王、林，1992，1993)。如此，即為「步驟3」之工作。並藉以修正各該地風力客觀預測圖之結果，使因特殊因素，非客觀統計預報圖表所能掌握之颱風天氣圖態勢，能藉本項步驟之執行，而獲其在風力預報上之修正。另外，圖11a與b即為台北與台中兩測站，該項用圖。藉圖可見，台北較諸台中，其因颱風造成強風因素遠為複雜。現其因素已均標明(含步驟2與3)，故

在預報時，據以參用即可。各地颱風風力準確預測，並非一蹴可及，要在減少不應有且可改正之錯誤。又該項流程圖及各步驟工作，尚未包括本文第三章所述各項問題在內，特在此說明。

五、台灣颱風風力區域預報

(一) 颱風旋流之繞山與爬山之預報

颱風旋流之繞山與爬山，直接影響各區出現強風區(jet area)與弱風區(wake zone)之預測。旋流繞山與爬山預報係與各種參數有關，以下為此一方面之討論。

1. 旋流繞山

一般言，在台灣中央山脈情形下，當氣流進入角 $\alpha < 70^\circ$ 時，颱風過山氣流為繞山(王、蔡、林，1992)。而沿山氣流之大小又與旋流之 Reynolds 數(Re)有關， $Re = UL/\nu$ ，式中U為未受山脈影響之進入氣流速度，L為山脈長度， ν 為空氣運動摩擦係數。在台灣颱風情形下，L、 ν 可均視為常數，故Re大小為進入氣流速度之函數，一般而言，當彭佳嶼之風向小於 90° ，風速 $\geq 20kt$ 時，受山脈影響之摩擦層水平闊度已甚小，台灣西部已均可有大風。

2. 旋流爬山

一般言，需要 $\alpha \geq 70^\circ$ ，以及 $Fr > 0.5$ 。當 $\alpha \geq 70^\circ$ 時，氣流已迎向山脈而行。 $Fr = U/NH$ ，式中U為進入氣流速度，N為Brunt-Vaisala頻率，H為山脈高度。一般言，N略為0.1，H為3000m，當 $U = 30kt$ 時， $Fr > 0.5$ ，地面氣流已可爬山。但上層氣流之爬山即略決定於公式： $H_s = (1 - Fr)H$ 。H_s為氣流爬山與繞山間分流氣流線(dividing streamline)之高度，該高度以上部分之氣流則為爬山。就一般情況而言，除非地面迎風氣

流在 30kt 以上，否則甚小在山脈背風面出現下坡風(焚風)，而係出現由氣流受山脈阻擋造成之弱風尾流(wake flow)。

3. 山脈迎風面颱風旋流之分流

此項氣流爬山與繞山兩者之聯合效應係與氣流爬山動力作用及與山脈側邊界有關。此處特舉 1986 年 8 月 22 日 0000UTC WAYNE 颱風之流場與氣壓場分布以為例，參見圖 12a、b。由圖 12a 可見雖迎風面氣流有能力爬山，但爬山時所產生「迎風脊」(圖 12b)作用，使中央山脈南端氣流，隨脊線有向南分量，致部分氣流係繞山而行。在圖 12a 流場圖中可明顯看出氣流之分流及分流點(splitting point)。

(二) 弱風尾流與局部噴流區出現之預報

此為旋流遇山效應最饒興趣及最富挑戰性之課題，並與風力區域預報密切相關。一般情形，弱風尾流(wake flow)與局部噴流(local jet)之出現係彼此關聯，為風力受山脈影響之機械性效應，並為風場重分布(redistribution)現象。此處定義，在颱風環流受山脈影響，地面風力 < 10kt 者稱「弱風尾流」， $\geq 40kt$ 而有局部分布性質者，稱「局部噴流」。兩者對台灣風力預報居於關鍵性地位。此處先以數次實際個例，以說明其特徵，而後再作出模式圖以供預報參考，其詳細討論從略。

圖 13 為 1959 年 8 月 30 日 0200UTC JOAN 颱風流場圖，其中並附等壓線圖(右下角)。該颱風為 1949 年以來之第二大颱風(參見表 2)，其風力半徑為 600 公里，屬最大者。藉圖可見，颱風係在台灣海峽中部。藉圖中之等風速線分析顯見，局部噴流區(風速 $\geq 40kt$)有四。各沿中央山脈兩側。最大之噴流區並非靠颱風一邊之山脈西側，而係在較遠之宜蘭與成功區。並以宜蘭區者為最大，風力極見集中，宜蘭空軍測站之風速達 90kt。而弱風尾流區則界於台

中與宜蘭兩噴流區中間，係在新竹、桃園一帶(風力均小於 10kt)，顯見因受山脈之機械式阻擋影響所造成。而噴流之發生恰為相反，而係為颱風旋流之「沿山流」效應之結果。其有興趣之處為，何以集中成「噴流」(風速集中帶)之狀。另外，圖 14 為 1949 年 9 月 14 日 1200UTC NELLY 颱風之例。藉圖可見，其出現型式與 JOAN 者頗有不同。噴流區(風速 $\geq 40kt$)有二。一在台灣海峽，係由於海峽區空氣「明渠流」(open channel flow)效應之結果；一在台灣南部岡山一帶，則由於颱風中心與中央山脈造成「通渠」(channel)效應有關。特別須提出者，其風力之增大，遠大於颱風本身氣壓場之效應。另外，尾流區係在台中一帶，與圖 13 者又略不同。但其出現型式則略同，此處稱「三角式尾流」(triangle wake)。

特別要提出的，此兩種型式，「尾流」與「噴流」均有預報價值，因其無論空間變化與時間變化均甚穩定。圖 15 為圖 13 中 JOAN 颱風之「尾流」(見網線區)與「噴流」(圖中有等風速線)空間及時間變化圖。藉圖可見圖 13 中桃園、新竹區之尾流係移自台中區。另外，圖 16 為 1975 年 BETTY 颱風「三角尾流」區隨颱風位置不同之區域分布圖。藉圖可見「三角尾流」區幾乎控制大部分之台灣西部平地區域，並隨颱風中心西移而向北移動。

因台灣颱風環流內之「尾流」與「噴流」區對台灣颱風風力區域預報有其特別意義，故此處特作出其模式圖如圖 17 與 18，以供預報應用參考。

(三) 台灣區域颱風風力新規定放假條件之機率分布

圖 19 為根據 1949~1989 年 155 次侵襲颱風中，各地合於新規定放假條件(一地平均風力到達 7 級風或最大陣風到達 11 級風時)之次數及百分頻率分布

。該圖因資料增加，已作了數次修正。藉圖可見：

(a) 東部各測站侵襲次數相對最少之地為花蓮，發生頻率僅及24.3%，最大是成功，達54.1%而東部兩島嶼，蘭嶼與彭佳嶼有最大之侵襲機率。一為98.7%，一為93.2%。

(b) 基隆、高雄兩海港，相對言，颱風侵襲機率均大，一為55.8% 一為48.3%。

(c) 侵襲機率最小是台中，僅9.3%。西部一帶，相對言，為最安全區域，正如預期。但近在咫尺之梧棲，其侵襲機率達73.7%，係由於台灣海峽風力「明渠流」影響之結果。

本圖係根據各颱風各地最大平均風力與最大陣風資料繪製(見蔡、王、林，1992)。另外，表1繪出台灣區域各測站最大風速達各種風級(7級風以上)之出現次數及百分頻率。藉表可見，台灣中南部，除梧棲與高雄外，達9級風以上之風出現機率均小。

(四)1949~1989年侵台 180次颱風中50大颱風排名及其在預報上之應用

颱風破壞性風力預報，不若颱風豪雨預報因素之複雜，係直接與颱風強度及其風力結構有關。我們有極完整之侵台颱風資料檔與極完整之侵台颱風各地出現最大風及最大陣風之資料(蔡、王、林，1992)。藉該各項資料之聯合，而求出侵台50大颱風之排名。此處茲列出前10名颱風名稱等如表2，其路徑圖如圖20，及前50次颱風路徑分類如表3。藉該三項資料可得極有價值之指示，即：

(a) 該前10名颱風中心最大風速在140kt至100kt之間。屬超級颱風者有兩次，各為序號2之1959年JOAN及序號7之1961年PAMELA。其中序號1之1969年ELSIE，計當時氣象局23測站中，即有20站到達8級風標準。

(b) 該10次颱風均為自東向西登陸台灣，且均為自由過山，亦即：遭遇中央山脈時，風場破壞為最小，路徑且為連續者。

(c) 在10大威力最強颱風中，每一颱風可發現，由於地形，仍有三站至八、九站，風力在6級風或以下，亦即不受颱風侵襲之影響。

(d) 本項資料可提供在預報上的一項極佳應用，即：該10大颱風將於其影響台灣各地風力之時，分別繪製其逐時流場分析圖，並建置於PC系統中，俾供今後強度較大颱風侵襲時，彼此比較應用之參考。

(e) 由表3可見該50次風力最大颱風，以經過北部(21與22類)為最多，佔13次。登陸台灣者共34次。其中自由過山者共23次，分裂過山者11次。未登陸台灣者有16次，其中14次中心均在距台灣二個

表3 1949~1989年間侵台颱風造成最大風速 \geq 8級最多測站之前50次颱風路徑分類統計。其路徑分類圖參見蔡、王、林(1992)，表1中之附圖。

路徑分類	自由過山(A型)	分裂過山(B型)	分裂過山(C型)	未過山	合計
11				4	4
12				1	1
21	6				6
22	7				7
31	1	1	2		4
32	2	1			3
41	3	2			5
42	2	1			3
51				5	5
52				1	1
53				2	2
61		1		2	3
71		3			3
72				1	1
92	1				1
94	1				1
總計	23	9	2	16	50

緯(經)度內過境。僅 2次較遠(53類)，係受與寒潮共伴環流之影響。

(五)台灣西部各測站出現破壞性風力颱風之研究

以言破壞性風力，通常每指出現較大風力之時，因放假條件之一之 7級風風力，猶不足以言破壞性之風。故此處係專指一站出現9級風(20.8m/s)以上時方稱之(按美空軍對破壞性風一詞 (destructive winds) 特為注意，因並非一旦發布颱風警報，必將因其出現之風力而有所損失也)。台灣西部因有中央山脈屏障，出現破壞性風力(9級風及以上)機會並不很多(參見圖19)，故此處特就本資料檔180個颱風合於西部 6地(新竹、梧棲、台中、日月潭、嘉義、台南。又高雄情形特殊，以後將另作討論)9級風條件個案作一調查。發現出現機會並不多。最多梧棲為12次(該地1976年設站，但仍居次數之冠，因有海峽風力「明渠流」效應之故)。其餘按序，新竹 7次，嘉義 5次(嘉義設站亦較遲，為1968年設站)，台南4次，台中1次，日月潭1次。此處特繪製該6地出現9級風以上之颱風路徑如圖21。並繪出各站出現達 9級風以上之颱風位置各如圖示。藉圖可得：

(a) 各地出現破壞性風力之颱風均有不同，雷同者僅有二颱風即：59號PAMELA，159號WAYNE(所有本文中提及之颱風總編號可參見王，1992，或蔡、王、林，1992)。

(b) 各地出現破壞性風力之颱風中心所在位置，均略有一定。例如梧棲測站，當颱風中心位置在台東之東南一帶海上時，最易出現強風(以B號表示)，應略與澎湖一致，因受同一地形效應之因素影響(海峽一帶之風因有「明渠流」作用)。新竹則以颱風中心接近北部陸地或在該區登陸後為最多(以A號表示)。嘉義者，則颱風中心多已在中央山脈區

中(以E號表示)。台中亦然，僅 1次(以C號表示)。而台南又不同，約均出現颱風中心在該處之時，其中2次均為颱風自巴士海峽北上接近所致(以F號表示)。

(c) 另有兩次，颱風中心均距台灣本島頗遠。一為1987年LYNN颱風之對梧棲，颱風中心係在恆春之南 2個緯度，係由於颱風環流與寒潮季風共伴造成。另外一次為1982年ANDY之對台南(E)，該颱風為近十年來登陸台灣最強之颱風。深值注意，當其中心經過台灣山脈，而後再第二次登陸大陸陸地，仍可有強大之威力。

(六)颱風中心在台灣西部時西部地區風力之預報

此時，大概有三類颱風宜特別注意。其一為南海轉向移入台灣西部之強烈級颱風。最著之例為1986年之WAYNE。該颱風曾使台灣中部多地創下最大陣風與最大風速紀錄(參見蔡、王、林，1992之表4、表5)。其二為中心經巴士海峽往西北行闖入西南部之強烈颱風。1952年之BESS與1977年之THELMA為最佳之例。其三為經過中央山脈之強烈級颱風，當其中心移至西部，中心破壞而再重新整合之後，如圖14所示1949年之NELLY，但僅限台灣西南部高雄、台南一帶。在一般情形中心移入西部之強烈颱風，低層近中心部分風場已破壞無遺，圖22所示1971年強烈級颱風NADINE(侵台180個颱風中排名為第4，見表1)，則為一甚佳之例。另外，圖23為強烈颱風1958年WINNIE(180個颱風排名中，為第12)，中心經過中央山脈前後所經之地之氣壓及風自記紀錄。藉圖可見，中心過台中後，台中即無風。中心至澎湖時，氣壓曲線已不見颱風中心漏斗狀之特性。

六、結論及問題

由以上研究，略可得以下結論：

(1) 經就1949~1989年共 180個侵台颱風，就其風場結構，包括：中心最大風速(V_{max})、中心最低氣壓(P_{min})、30kt風半徑 (R_{30})、及1000 hPa包圍等壓線半徑(R_{1000} hPa)，根據有關資料再作調查校驗，並建立侵台颱風中心未登陸前之 V_{max} 與 R_{30} ， R_{30} 與 R_{1000} hPa，及 V_{max} 與 P_{min} 間之統計關係。

(2) 颱風路徑與各地風力預報為不可分者。本研究經建立之過去四十年(1949~1989)侵台颱風「逐時」路徑，就其登陸台灣者與關島JTWC 6小時間隔之「最佳路徑」作出重要個例比較。可發現關島颱風「最佳路徑」無分別「自由過山」及「分裂過山」颱風能力。且地形對颱風路徑及運動之「解析」遠為不足。

(3) 颱風在台灣近海約二個緯(經)度時，其30kt風半徑與日本氣象廳具有頗多船舶報告之歷史天氣圖所顯示之30kt風力半徑及1000 hPa封閉等壓線半徑作出比較調查。經將30kt風半徑重加修正。並作出 R_{30} 與 R_{1000} hPa之關係圖。發現30kt風半徑(R_{30})與 R_{1000} hPa有甚佳關係。

(4) 颱風在山脈區之動態，資料不足，問題甚多。本文首次以桃園 Doppler 雷達提供對在山區颱風運動及環流分裂之研究，結果甚佳。

(5) 本文有關侵台颱風風力預報係分兩部分。第一部分為單站預報，係就過去王氏(1987, 1988)所設計之氣象局14站風力客觀預測圖，作八項修正，包括：樣本次數，颱風有否移入關鍵區，是否屬強烈颱風，「自由過山」抑或「分裂過山」，中心未過山，中心沿山北行等。最重要部分厥為對十四測站強風個案作全般討論，以彌補統計預報方法之不足。

(6) 有關風力區域預報，特著重颱風風力因地形造成之重行分布，弱風尾流與局部噴流生成，台灣區域全區颱風風力放假條件出現機率，侵台50次大颱風分析，以及台灣西部出現破壞性風力(≥ 9 級風)條件研究。期使颱風風力區域性預報，能獲有全般認識。

以下為侵台颱風風力預報的一些基本問題：

(1) 提升此處 180個台灣颱風資料檔之品質。對侵台颱風路徑變化，風場結構及颱風強度等研究，仍待進一步努力。來襲颱風之中心最大風速，大風半徑等，發現問題甚多。

(2) 受中央山脈破壞後(颱風移入台灣西部)，一切代表颱風強度及結構之參數，幾乎完全失去意義，其一致公認及有效之表示方法，有待建立。本文對此並已作了一些初步之努力。

七、誌謝

本研究之一部分為在「台灣地區颱風預報輔助系統建立之研究」計畫支援下完成。該研究計畫助理為鍾孝林先生與婁淑榮先生；另外，本研究蒙周仲島教授、張寶亮先生協助，利用民航局Doppler雷達徑向風場資料作對侵台颱風風場分析；民航局祝副總台長鴻鵬、曾主任憲環、李主任金萬協助提供各颱風 Doppler 雷達之眾多資料；以及謝維權先生、李金蓮小姐、吳春花小姐、陳慧娟小姐等各方面之協助。特在此一併謹致謝忱。

參考文獻

- 上海颱風研究所，1984：1949~1980年西北太平洋颱風基本資料集。氣象出版社出版。1-575。
- 王時鼎，1963：沿台灣中央山脈前進颱風之地形影響研究。氣象預報與分析，第十四期。

- 王時鼎、林則銘、俞家忠，1975：颱風侵襲時台灣海島對風場分析與預報之影響。大氣科學，第二期。
- 王時鼎，1980：台灣近海颱風運動及強度預報法。國科會研究計畫：NSC-67M-0202-05(01)。
- 王時鼎，1987：台灣颱風風力特性及其預報研究（一），行政院防災科技研究報告，75-46號，1-63。
- 王時鼎，1988：台灣颱風風力特性及其預報研究（二）。行政院防災科技研究報告，76-28號，1-62。
- 林則銘、曲克恭、俞家忠、王時鼎、林財旺等，1972、1973、1974：侵襲台灣颱風風力之研究。空軍氣象中心研究報告第 004、005、006號。
- 李清勝，1990：西北太平洋地區颱風之研究（Ⅲ），台灣大學大氣科學系研究報告 NSC79-0202-M002-25。
- 陳台琦，1992：都卜勒雷達風場特徵。B116-119。
陳泰然主編：梅雨季豪大雨預報指引，1992。
- 徐應璟、王時鼎，1960：台灣近海颱風預報問題。氣象預報與分析，第二期。7-12。
- 蔡清彥，1991：台灣地形對颱風運動、結構及強度影響診斷研究：（I）侵台重要颱風電腦料檔建立及分裂過山颱風研究。國科會研究計畫報告。1-65。
- 蔡清彥、王時鼎、林民生，1992：台灣颱風專家系統建立之研究。中央氣象局專題研究報告 CWB 81-1M-01號 1-177。
- Bender, M.A., R.E.Tuleya and Y.Kurihara, 1987 : A numerical study of the effect of island terrain on tropical cyclones. Mon. Wea.Rev., 115, 130-155.
- Brand.S., and J.W.Blelloch, 1974: Changes in the characteristics of typhoons crossing the island of Taiwan. Mon.Wea.Rev., 102, 708-713.
- Chang, S.W.1982: The orographic effects induced by an island mountain range on propagating tropical cyclones. Mon.Wea.Rev., 110, 1225-1270.
- Hsu, Y.C. , 1960: The problems of typhoon forecasting over Taiwan and its vicinity. Proc.U.S.Asian Military Weather Sympos., 9-12Feb.1960.
- Isnijima, S., and M. Estoque 1987: An observational study of orographic effect on westbound typhoons crossing Taiwan. J.Meteor, Soc. of Japan, 65, 455-467.
- Li, P.C., 1963: Terrain effects on typhoons approaching Taiwan. Proc. U.S. Asian Military Weather Sympos., 3-7Feb.1963.
- Pao, H.P. and Hwang, R.R., "Effects of Mountains on a Typhoon Vortex: A Laboratory Study", Annual Report of the Institute of Physics, Academia Sinica, Vol.7, 1977.
- Wang, S.T., 1991: Observation study on the mesoscale flow structures of typhoon encountering the Taiwan terrain. International conference on mesoscale meteorology and TAMEX. Taipei, Taiwan. 1991.

Wang, S.T, Tsay, C.Y and Lin, M.S 1992: An analysis of the secondary flows in the typhoon circulation introduced by the central mountain range in Taiwan. Proceedings of the 1992 NSC-NSF Joint Seminar on Prediction and Damage Mitigation of Meteorologically Induced

Natural Disasters. May 1992 Taipei, Taiwan.

Yeh, T.C, 1993: Effects of Taiwan orography on the motion and structure of typhoon Ph.D. Dissertation. Naval postgraduate school, Monterey, California.

The Wind Force Prediction of Typhoons Invading Taiwan and Its Related Problems

Shih-Ting Wang Ching-Yen Tsay Ming-Sen Lin
Central Weather Bureau

ABSTRACT

The study is separated into two parts.

The first part deals with the 180 typhoon data file in 1949~1989 established in the past 25 years. Some quality improvements about the wind structure of the typhoons are made and the problems involved are discussed.

The second part is concerned with the regional and station wind force prediction. Emphasis is on the prediction of phenomena of rotating flow moving over and around the Central Mountain Range manifested by the channeling wind, flow splitting, wake flow, and local jet in the typhoon circulation. In the past we have already established an objective forecast method of typhoon wind force for 14 stations, here, we made some necessary and substantial improvements including the eight steps in procedure for the method, so that the wind prediction scheme can be much more powerful for the operational purposes.

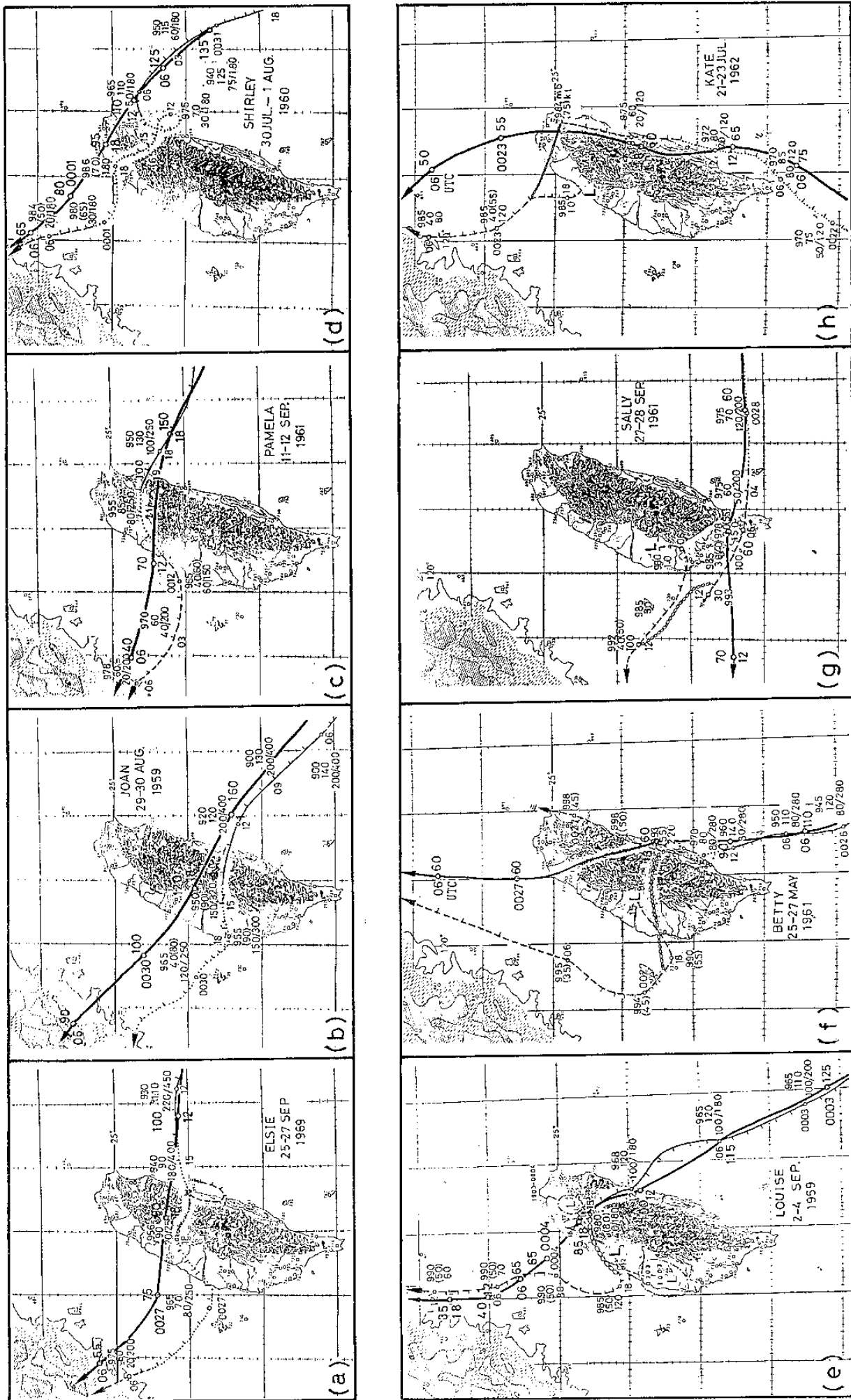


圖 1 離島JTWC之6小時間隔之「最佳路徑」(粗實線)與我們所建立侵台颱風「逐時路徑」, 在台灣部分之比較。圖中(a)至(d)為自由過山強烈級以上颱風。圖(e)至(f)為西行過山分裂颱風。圖(g)為沿山脈東側北上分裂颱風。按圖之6小時間隔颱風路徑, 甚難解析出路徑過山變化及過山分裂之颱風。

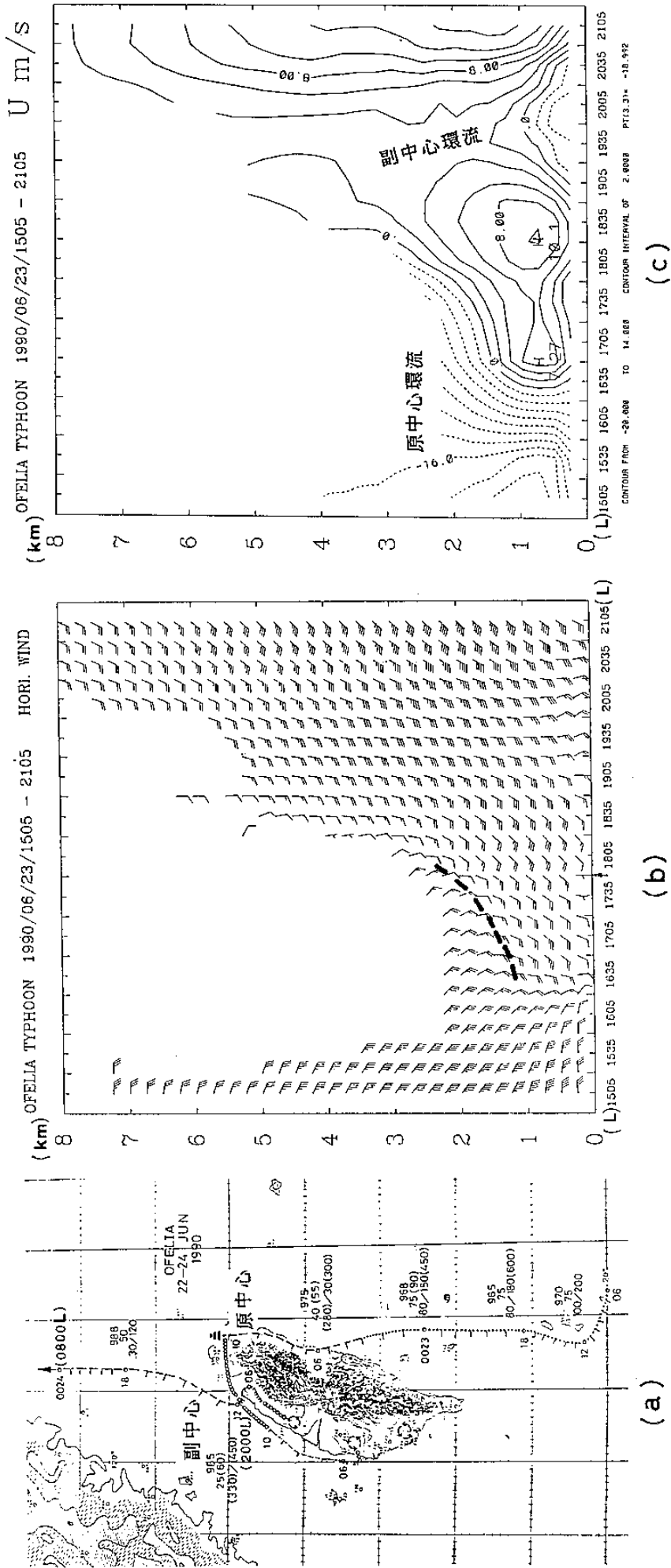
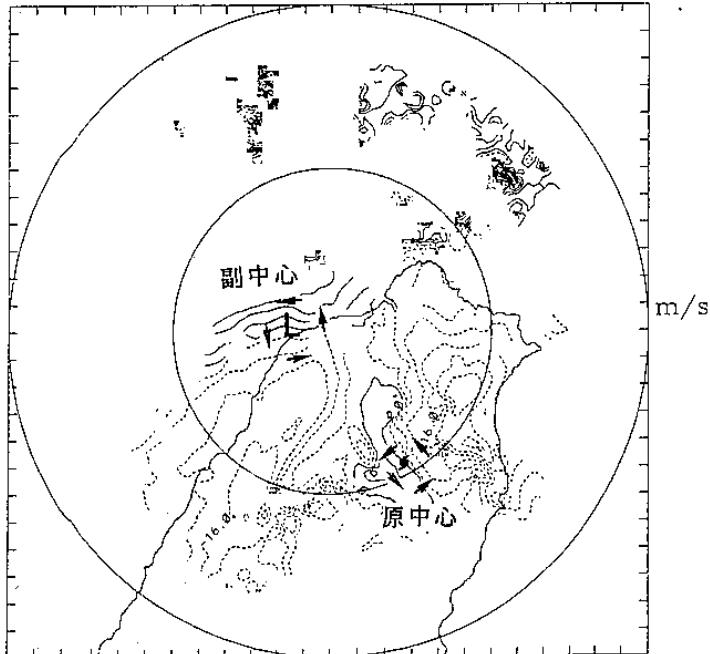


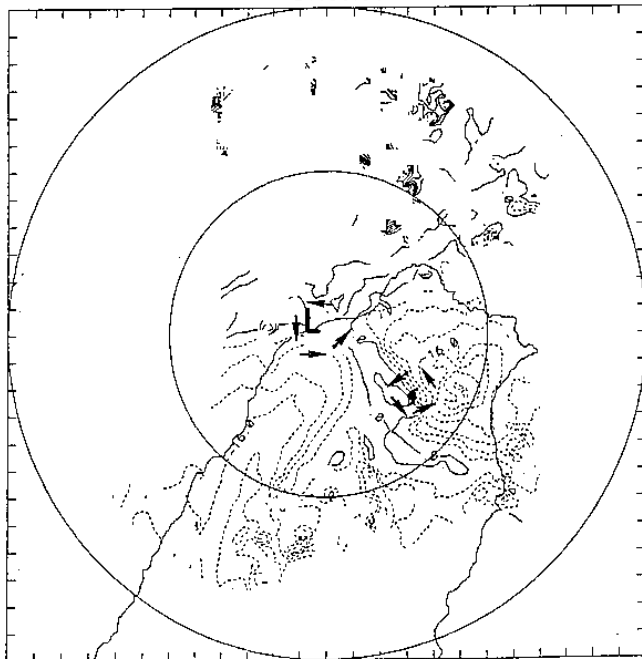
圖 2 1990年 6月23日 OFELIA 颱風中心在台灣北部山區一帶時，民航局中正機場 Doppler 雷達徑向風場資料，利用 EVAD 技術所得出之原颱風中心分裂為兩中心時，其路徑變化及環流變化分析與實際傳統分析兩者之比較。圖 (a) 為颱風逐時路徑。圖 (b) Doppler 雷達所得合成風 (kt) 時間高度剖面圖，時間為地方時 (L)。時間間隔 15 分。高度間隔 250 公尺。係以中正機場為中心 60 公里半徑之平均值。圖 (c) 為圖 (b) 中合成風之西風分量 (m/s) 時間高度剖面圖。藉圖 (b) (c) 可見桃園一帶副環流中心開始發展所及高度 (見 (b) 圖之粗斷線及 (c) 圖東、西風分量分界線)。圖 (d) 至 (g) 各為 1650L, 1720L, 1750L 及 2020L 時 1.5 公里高度之徑向風速 (m/s) 分布 (實線表向外，為正，單位為 m/s)。颱風中兩環流中心之分析法，請參考陳台琦 (1992)。圖 (h) 至 (j) 為 1750L, 1, 2, 3 公里高度之徑向風速 (m/s) 分布，示該颱風兩環流中心及其風場隨高度變化。藉圖可見主中心環流隨高度減弱，中心並見南偏。圖 (k) 為 1800L 地面等壓線圖。圖中可見兩環流中心位置，可藉以與圖 (h) 至 (j) 所示中心及其流場相比較。又此處之 Doppler 雷達資料分析，係藉助於周仲島教授與張保亮先生之力以完成。

OFELIA TYPHOON 90/06/23 16:50:00 1.5 Km CAPPI



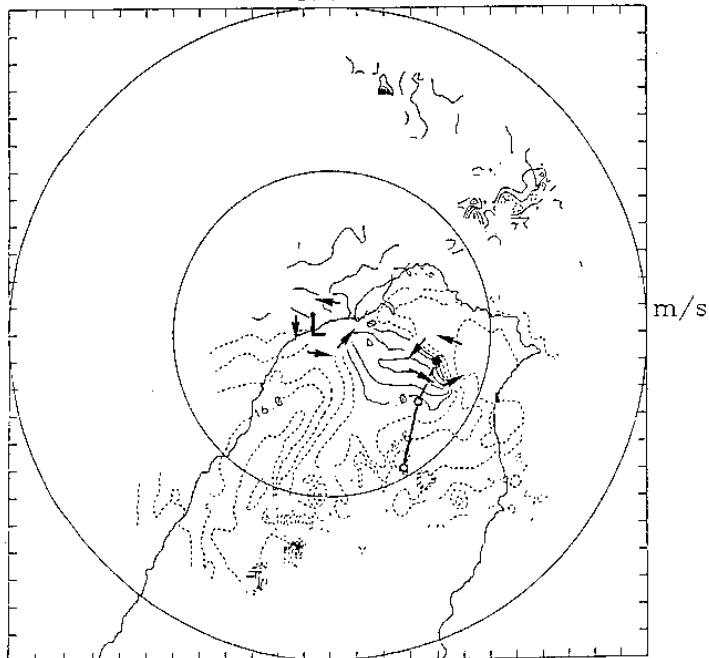
(d)

OFELIA TYPHOON 90/06/23 17:20:00 1.5 Km CAPPI



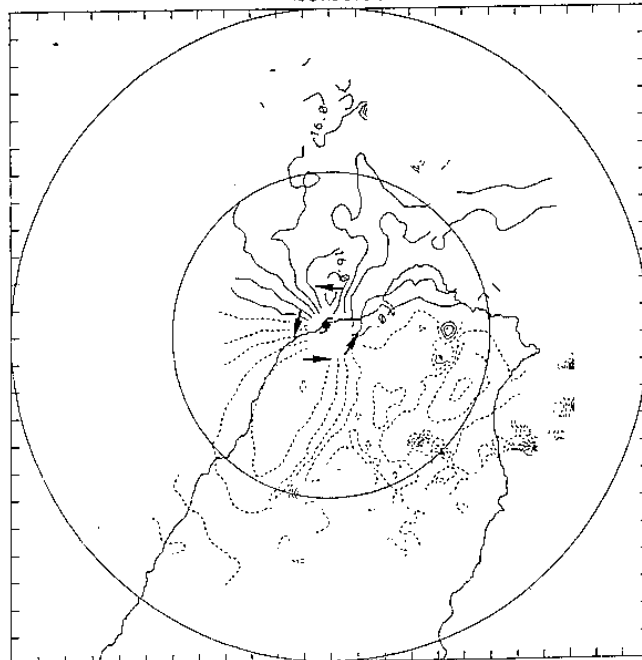
(e)

OFELIA TYPHOON 90/06/23 17:50:00 1.5 Km CAPPI



(f)

OFELIA TYPHOON 90/06/23 20:20:00 1.5 Km CAPPI

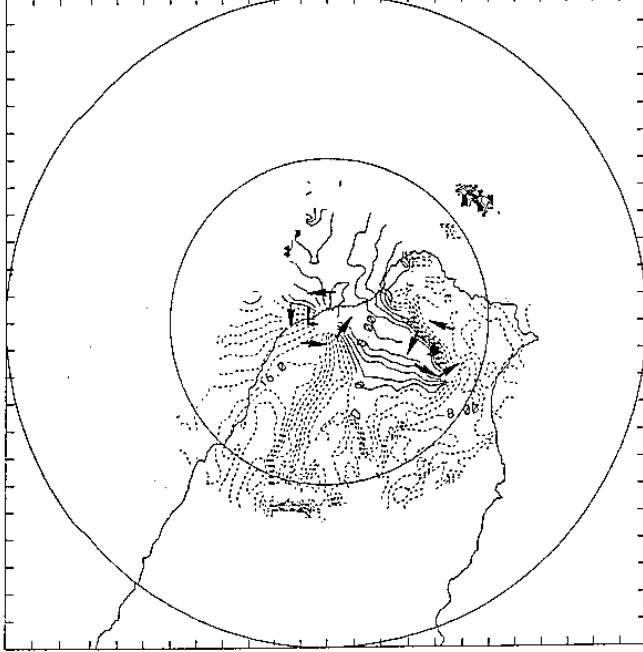


(g)

續圖 2

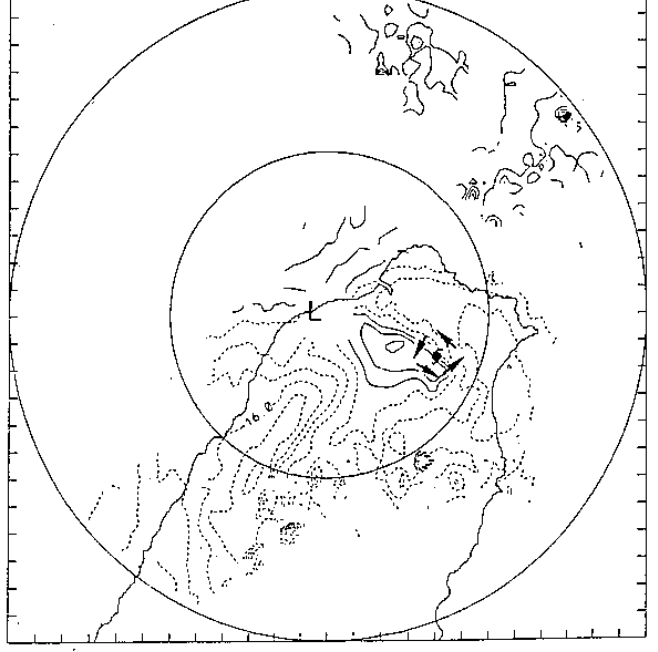
圖 (d) 至 (g) 各為 1650L, 1720L, 1750L 及 2020L 時 1.5 公里高度之徑向風速 (m/s) 分布 (實線表向外, 為正, 單位為 m/s)。颱風中兩環流中心之分析法, 請參考陳台琦 (1992)。

OFELIA TYPHOON 90/06/23 17:50:00 1.0 Km CAPPI



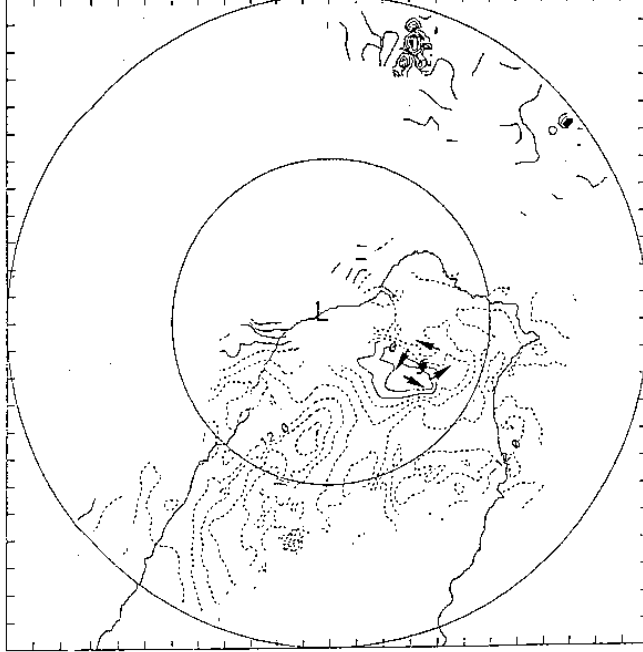
(h)

OFELIA TYPHOON 90/06/23 17:50:00 2.0 Km CAPPI

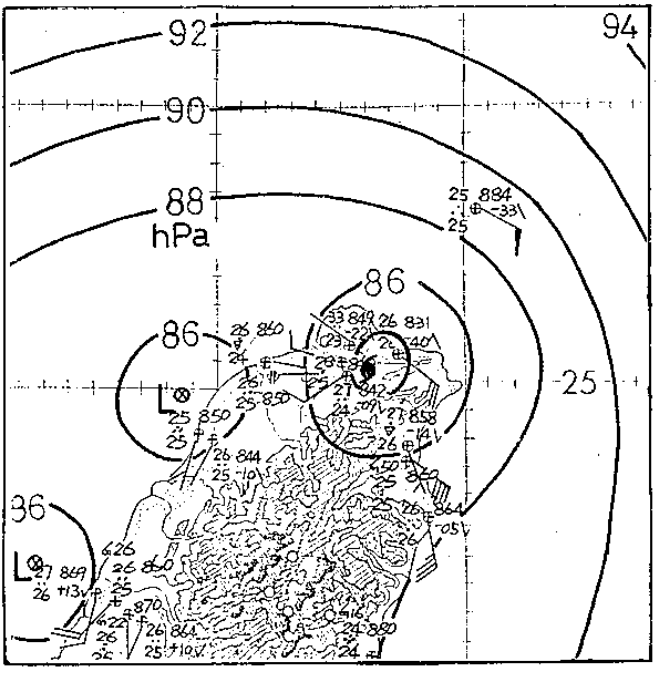


(i)

OFELIA TYPHOON 90/06/23 17:50:00 3.0 Km CAPPI



(j)



(k)

續圖 2

圖 (h) 至 (j) 為 1750L, 1, 2, 3 公里高度之徑向風速 (m/s) 分布, 示該颱風兩環流中心及其風場隨高度變化。

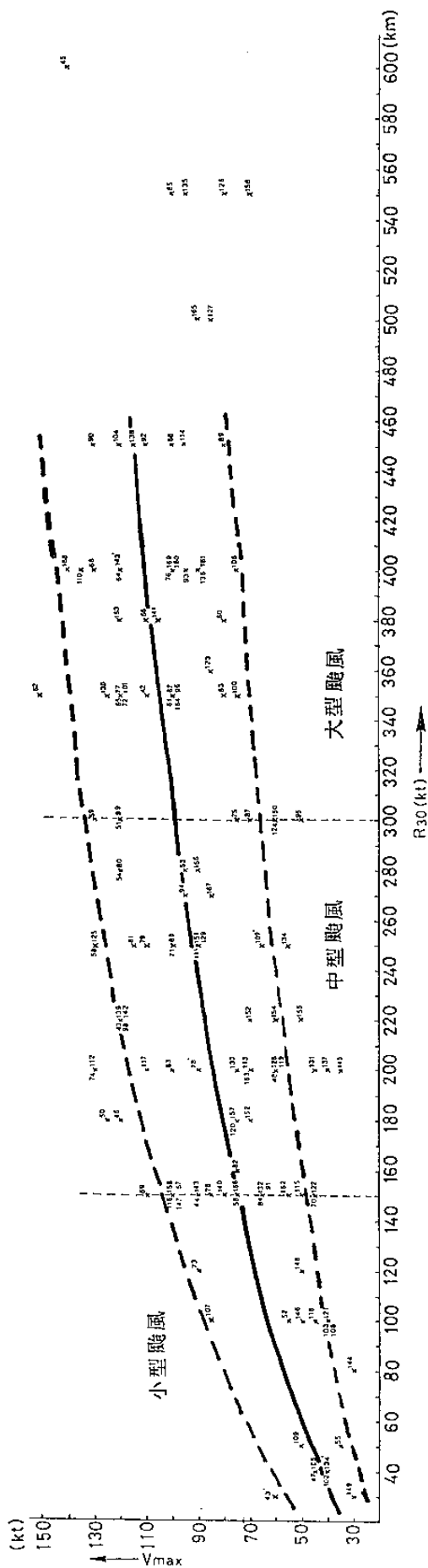


圖 3 颱風接近台灣約2個經(緯)度時，中心最大風速 (V_{max})與 30kt風半徑 (R_{30})之關係圖。圖中颱風資料時間為1958~1989年，次數共133次。各颱風均附有編號(可參見王, 1992, 或蔡、王、林, 1992)。圖中粗實線為兩者之關係線，粗斷線為包絡線。細斷線為包絡線。為定義小、中、大型颱風分界線。150公里以下為小型颱風，151~300公里為中型，以上為大型。又本圖中之 R_{30} 均已利用日本歷史天氣圖之風場分布，加以修正。

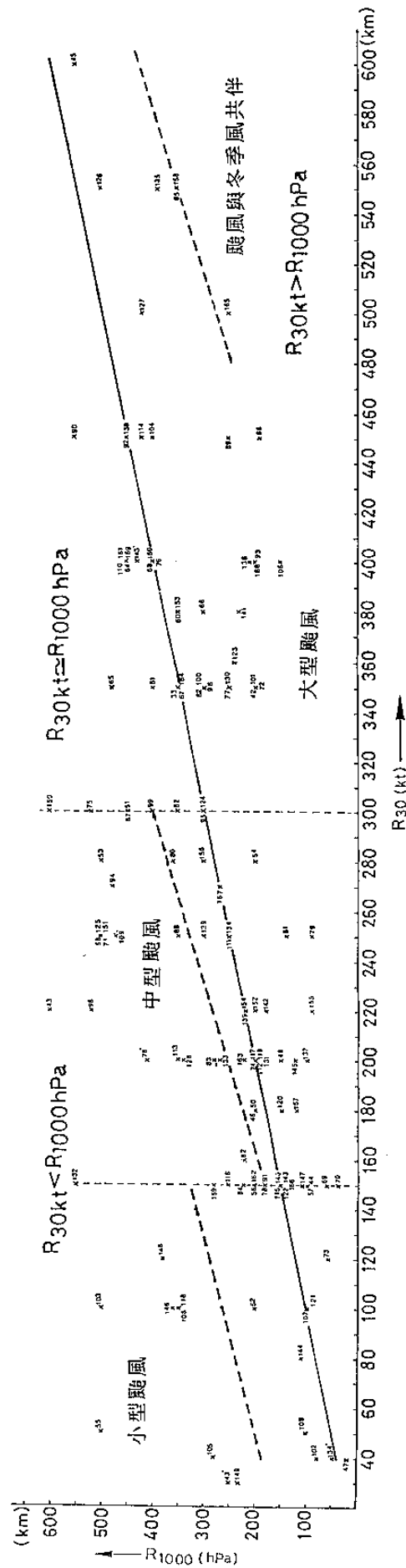
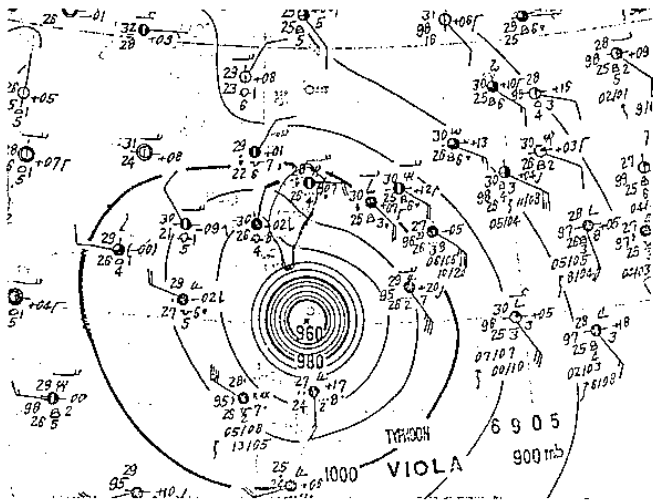
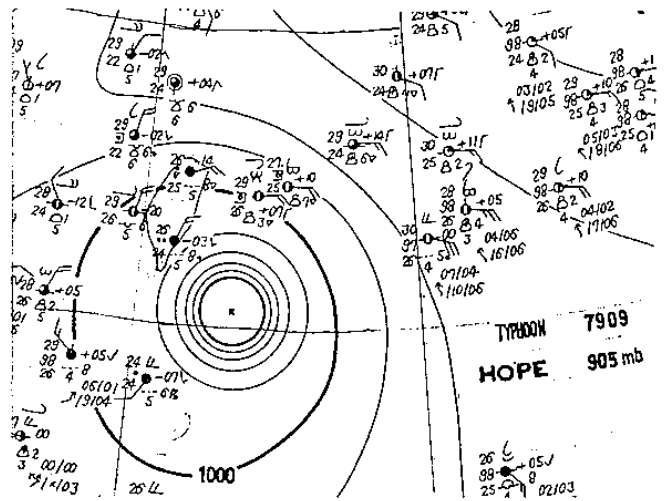


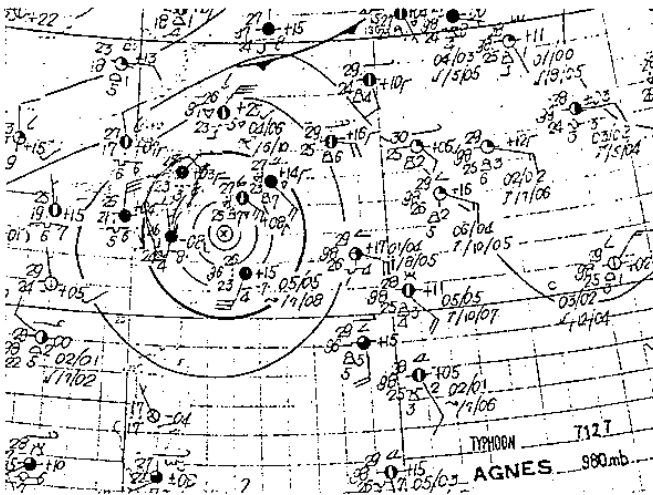
圖 4 颱風接近台灣約 2個經(緯)度時，1000hPa封閉等壓線半徑 ($R_{1000hPa}$)與 30kt風半徑 (R_{30})之關係圖。圖中颱風資料時間為1958~1989年，次數共133次。各颱風均附有編號(可參見王, 1992, 或蔡、王、林, 1992)。圖中實線表 $R_{1000 hPa}$ 與 R_{30kt} 之值完全一致之線，斷線表兩者間關係線



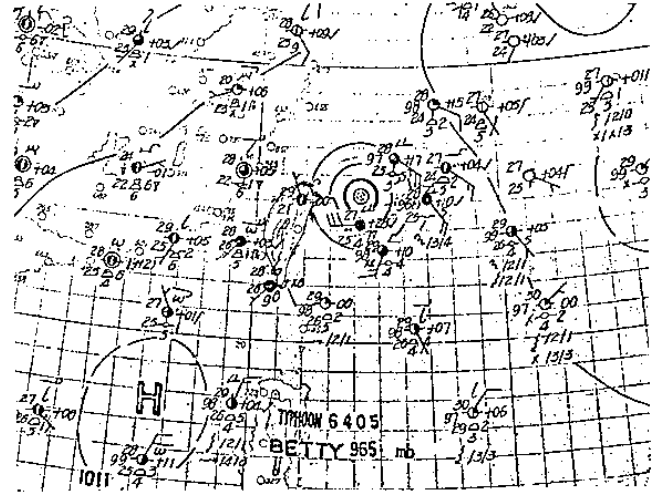
(a) 大型強烈颱風



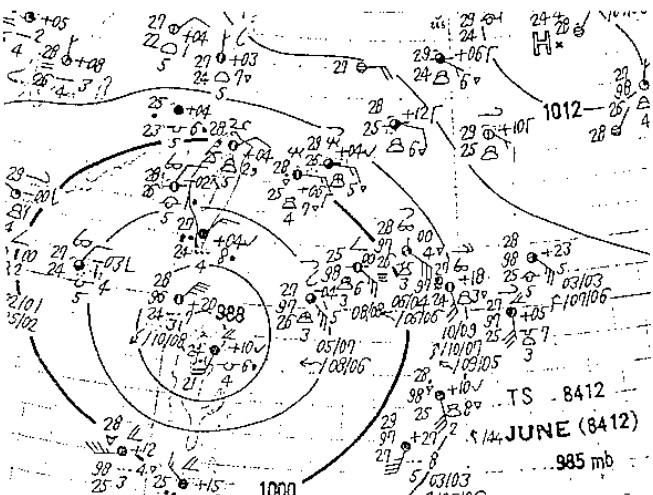
(d) 中型強烈颱風



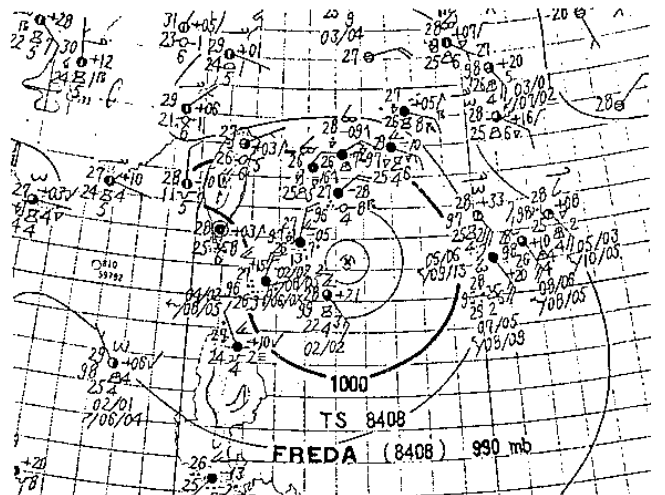
(b) 大型中度颱風



(e) 小型強烈颱風



(c) 大型輕度颱風



(f) 輕度非對稱颱風

圖 5 颱風中心最大風速 (V_{max})、30kt風半徑 (R_{30})及1000hPa封閉等壓線關係實例，(a)大型強烈颱風—1969.7.27. 00UTC VIOLA，中心風速130kt， $R_{30}=450$ 公里， $R_{1000}=600$ 公里， $R_{30} < R_{1000}$ 。(b)大型中度颱風—1971. 9.18.00UTC AGNES，350公里，300公里， $R_{30} > R_{1000}$ 。(c) 大型輕度颱風—1984. 8.29.00UTC JUNE，依次 60kt，330公里，620公里， $R_{30} < R_{1000}$ 。(d)中型強烈颱風—1979.9.1.00UTC HOPE，依次130kt，250公里， 500公里， $R_{30} < R_{1000}$ 。(e)小型強烈颱風—1964.7.4.12UTC BETTY，依次 110kt，150公里，60公里， $R_{30} > R_{1000}$ 。(f) 輕度非對稱颱風—1984.8.6.12UTC FREDa，依次50kt，120公里，380公里， $R_{30} < R_{1000}$ 。藉示 風力半徑 (R_{30})為一極重要參數。

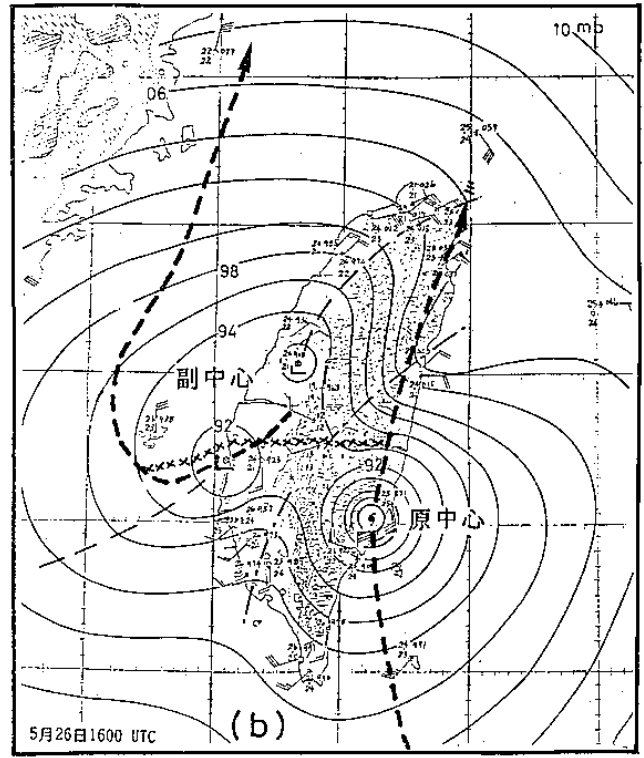
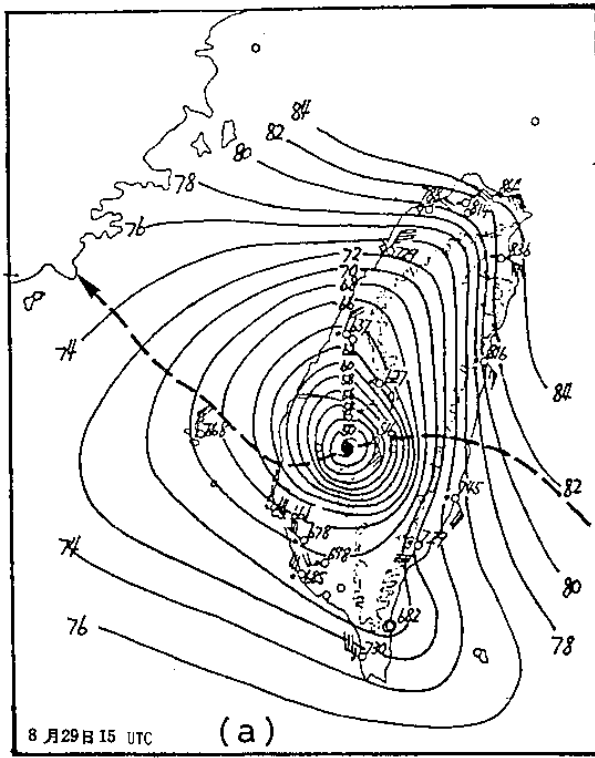


圖 6 自由過山颱風(圖a, 1959年JOAN)與分裂過山(由副中心所取代)颱風(圖b, 1961年BETTY) 氣壓場分布特徵。由圖b可見, 分裂過山颱風之氣壓場分布, 已「脫胎換骨」, 副中心完全由背風槽發展而衍生。

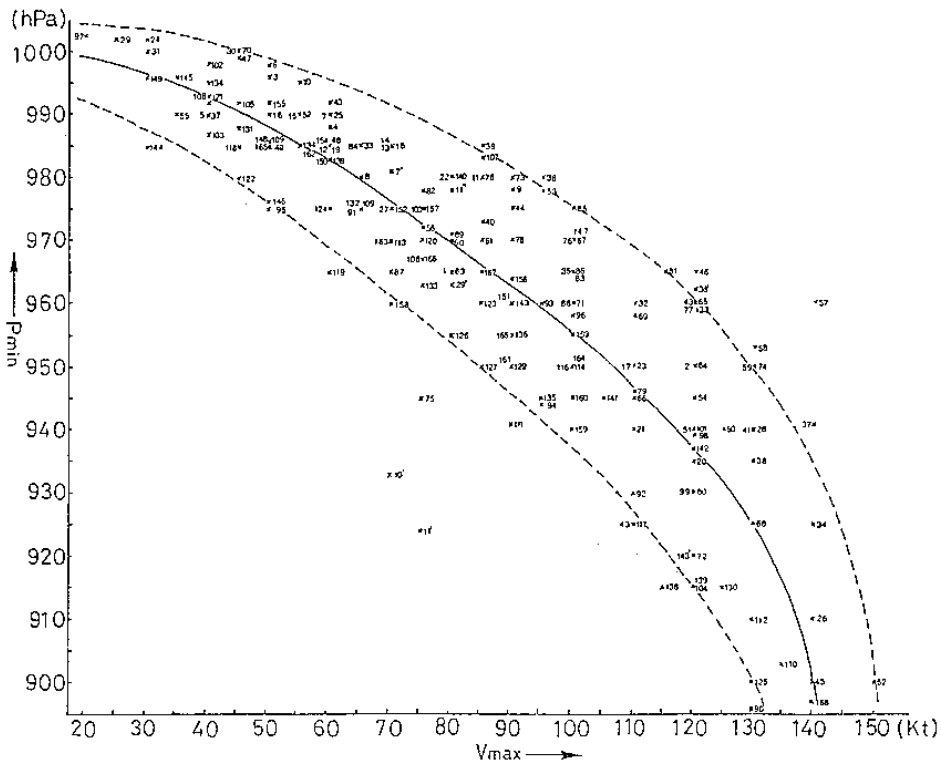


圖 7 颱風接近台灣約2個經(緯)度時, V_{max} 與中心最低氣壓(P_{min})之關係圖。圖中颱風資料時間為1949~1989年, 次數共 180次。各颱風均附有編號(可參見王, 1992, 或蔡、王、林, 1992)。圖中實線為兩者間關係線。斷線為包絡線。

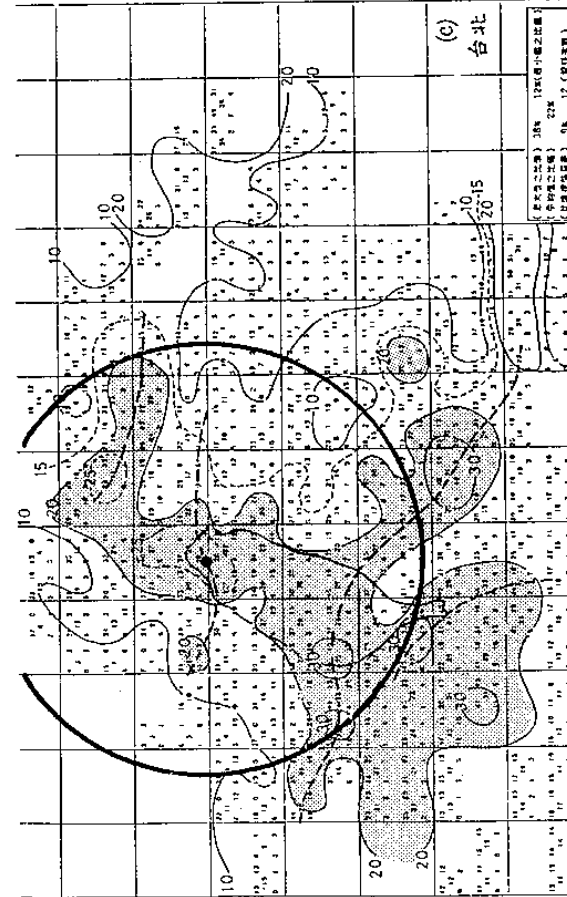
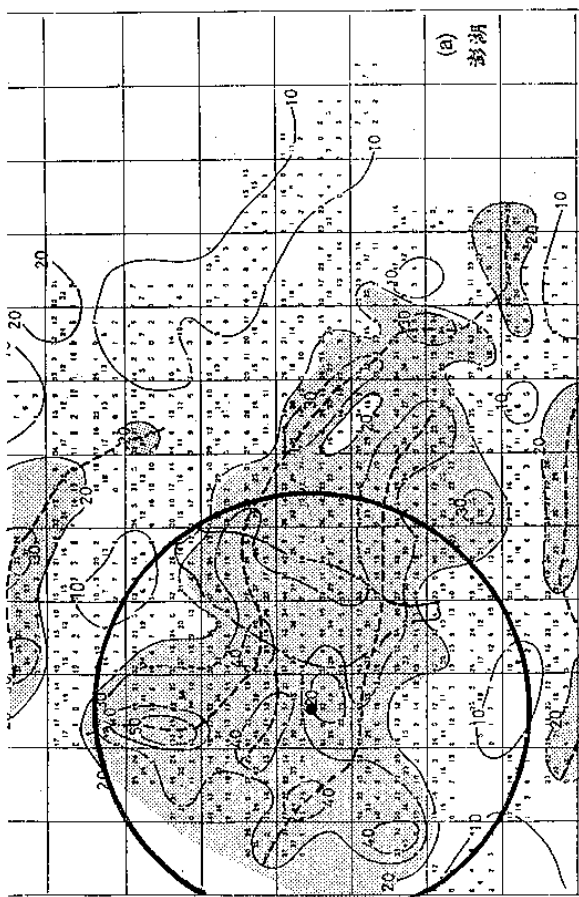
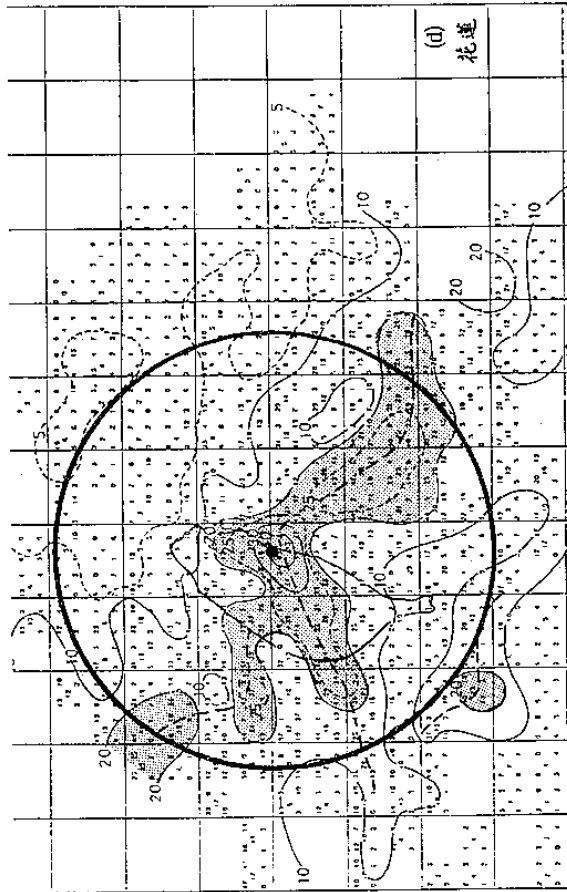
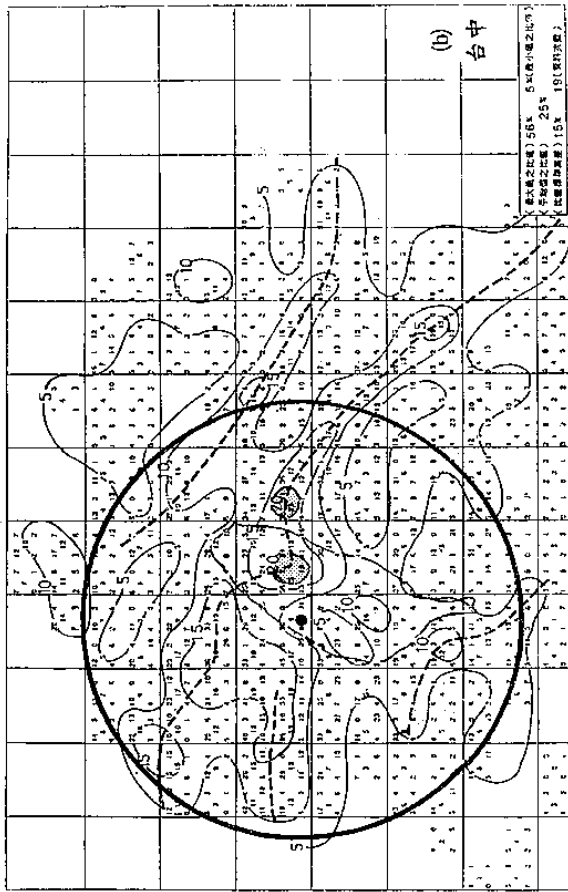


圖 8 台灣受颱風侵襲因地形影響不同，各地風力出現相當於中心最大風速值20%以上之颶風所在區域範圍圖（陰影區）。(a)澎湖，(b)台中，(c)台北，(d)花蓮。圖中粗線圓圈代表300公里之風力半徑。藉圖可見，由於地形，澎湖受颶風影響最大，台中最小。本圖依據據王(1987, 1988)西行颶風各地風力客觀預測圖調製。

註：本流程圖為本項風力定量預報應用研究之最重要部分，並已將本研究中之各重要圖表均整合在內。

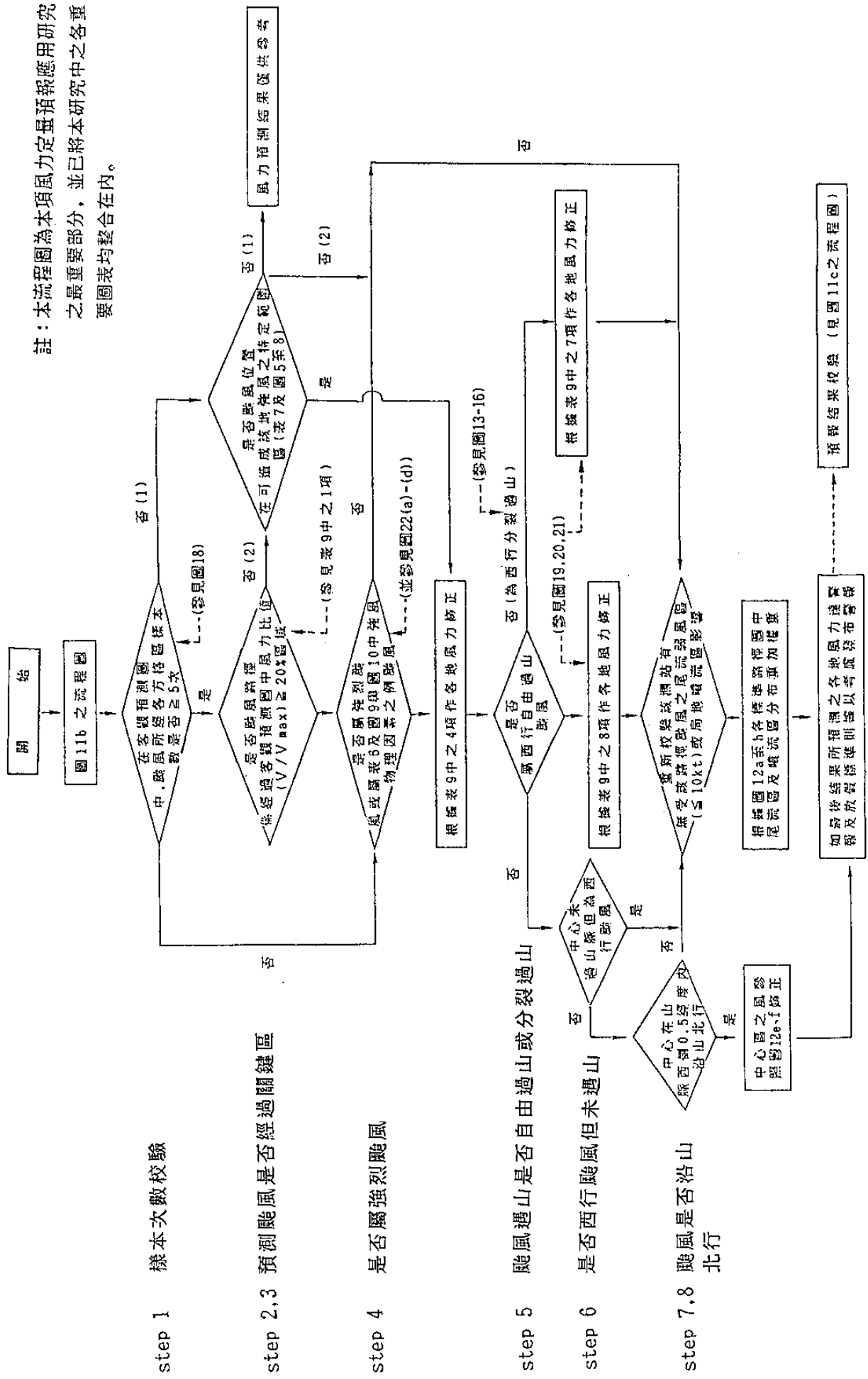
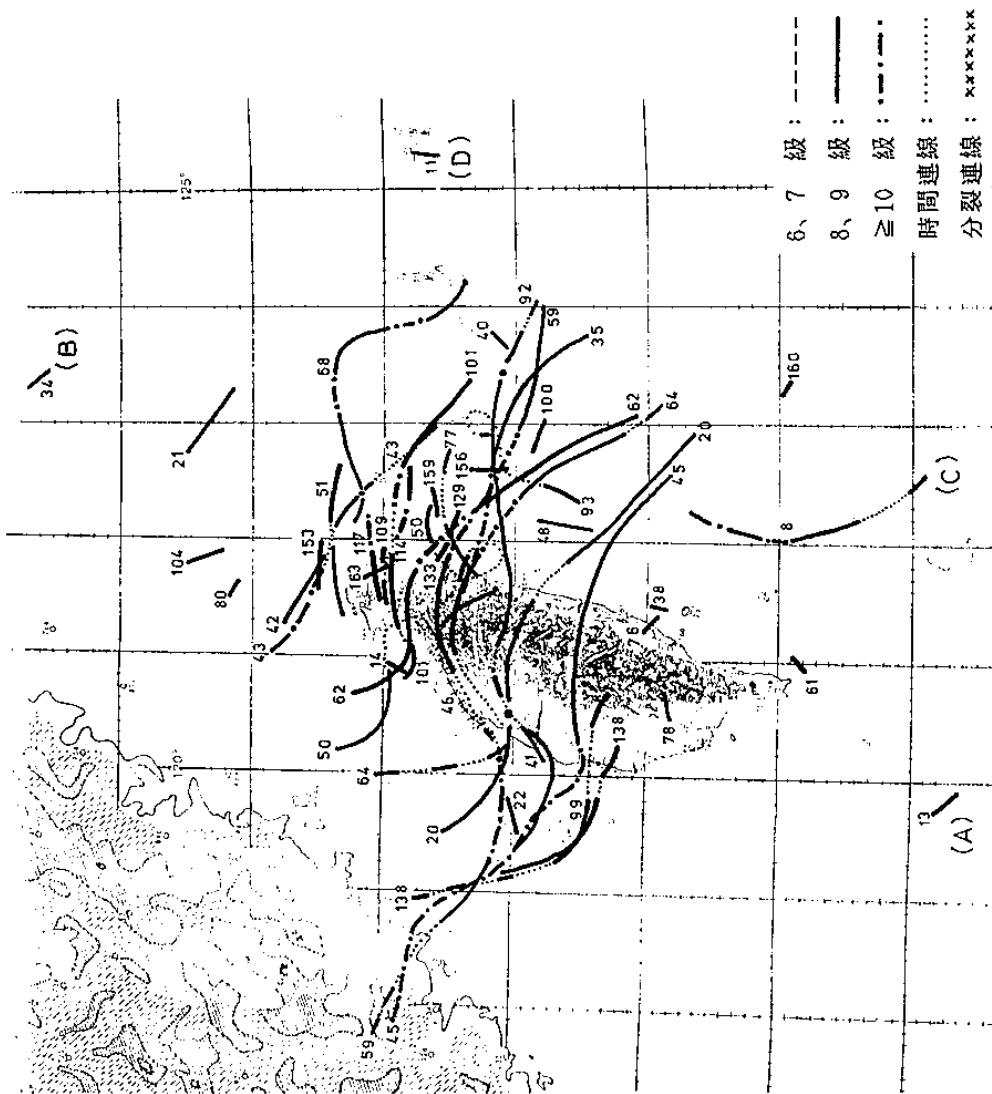
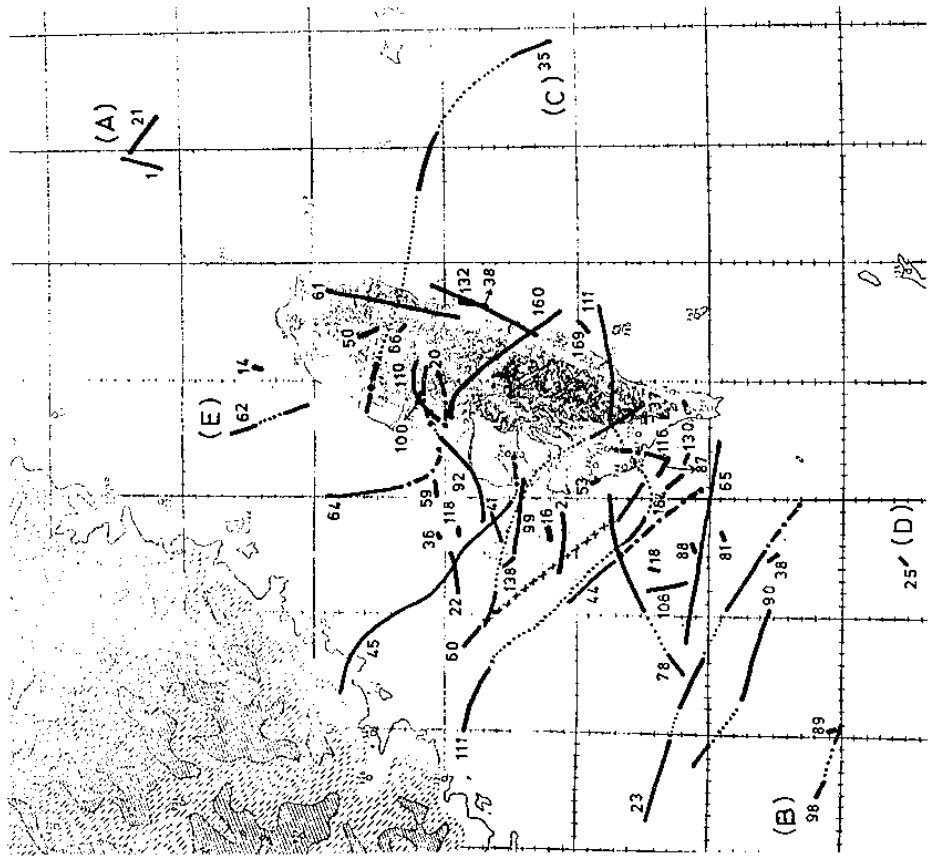


圖 9 侵台颱風各地風力預報修正之流程圖 (係以警報發布條件為設計依據)。(蔡、王、林, 1992)

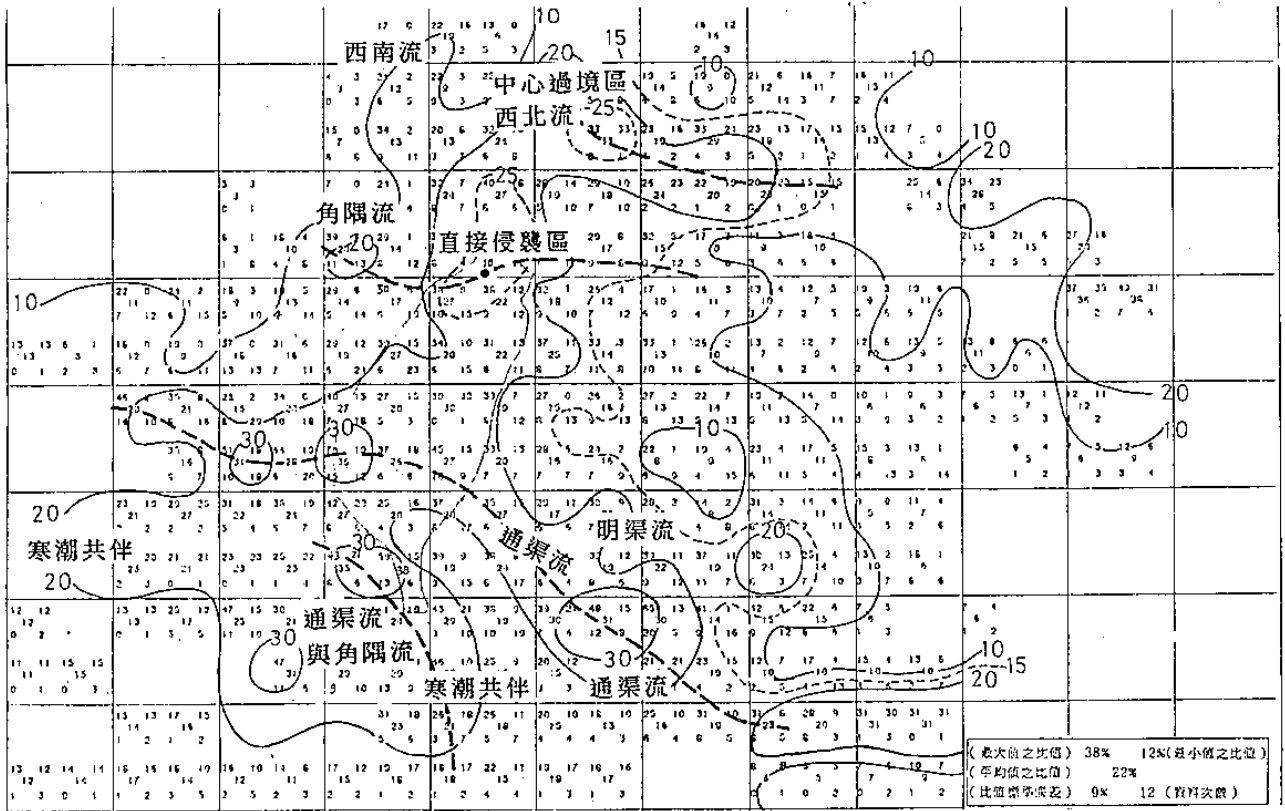


(a) 基隆

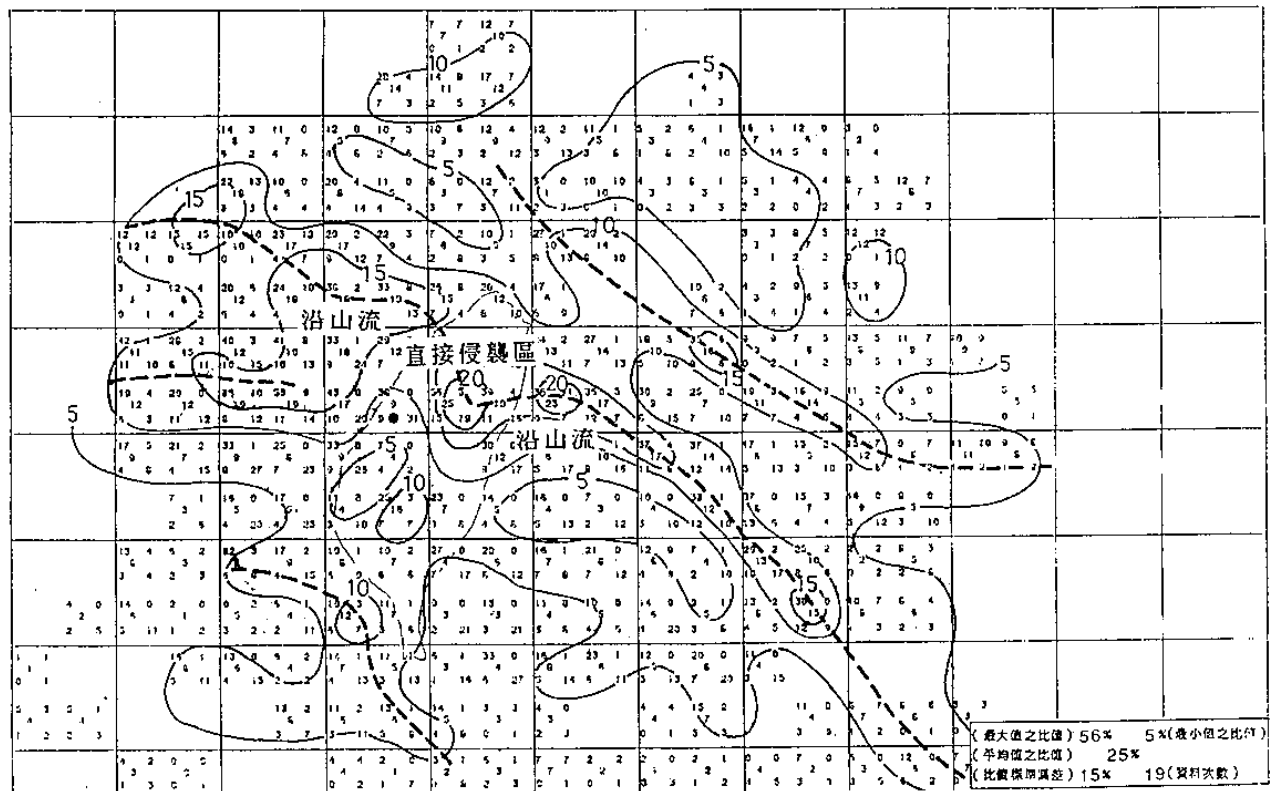


(b) 高雄

圖10 1949~1989年(a)基隆、(b)高雄兩海港，因颱風侵襲風力達8級以上之各
 颱風分布圖，風力係分三等級表出，如圖中國說。圖中各颱風之代號及全
 部路徑見王(1992)。

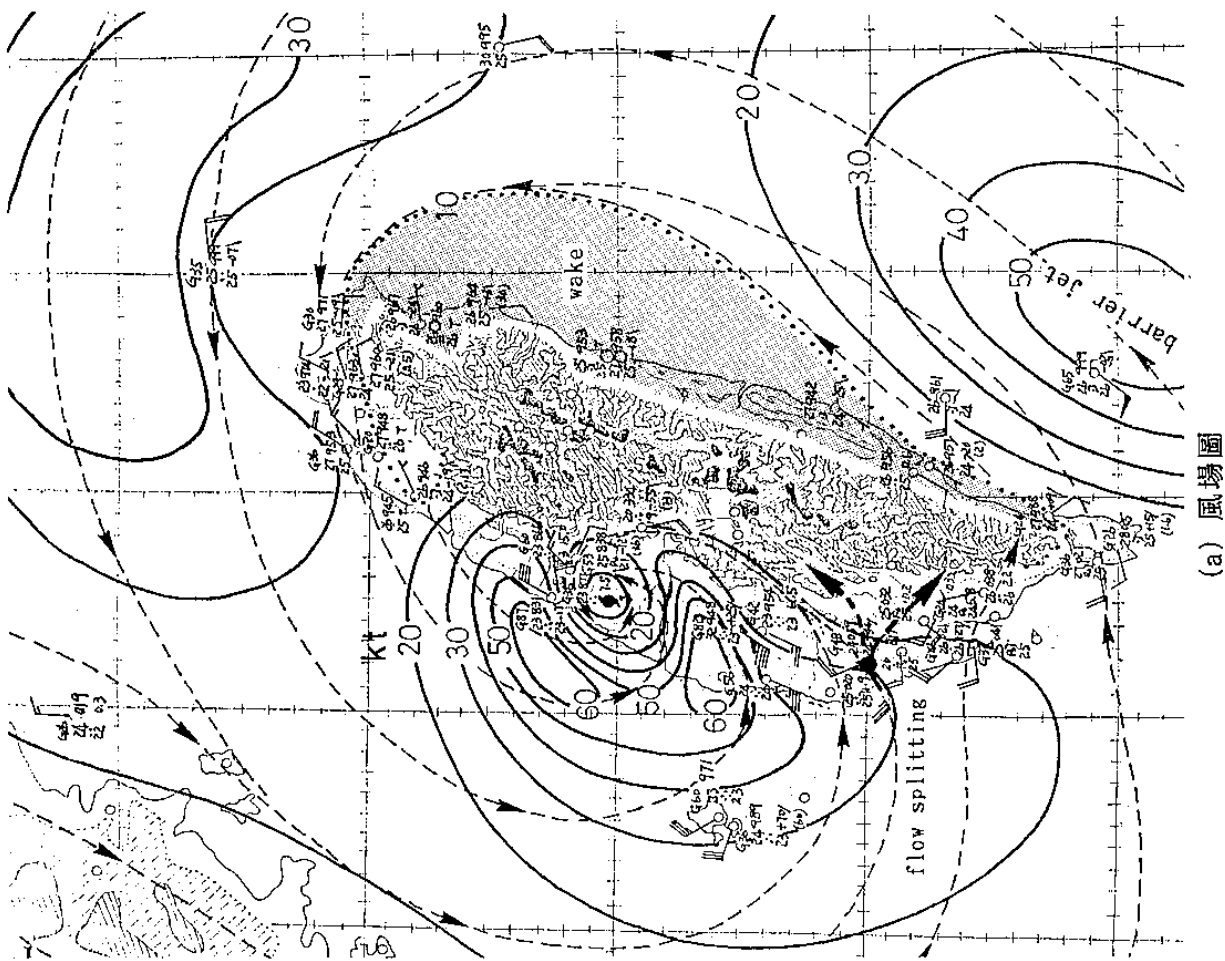


(a) 台北

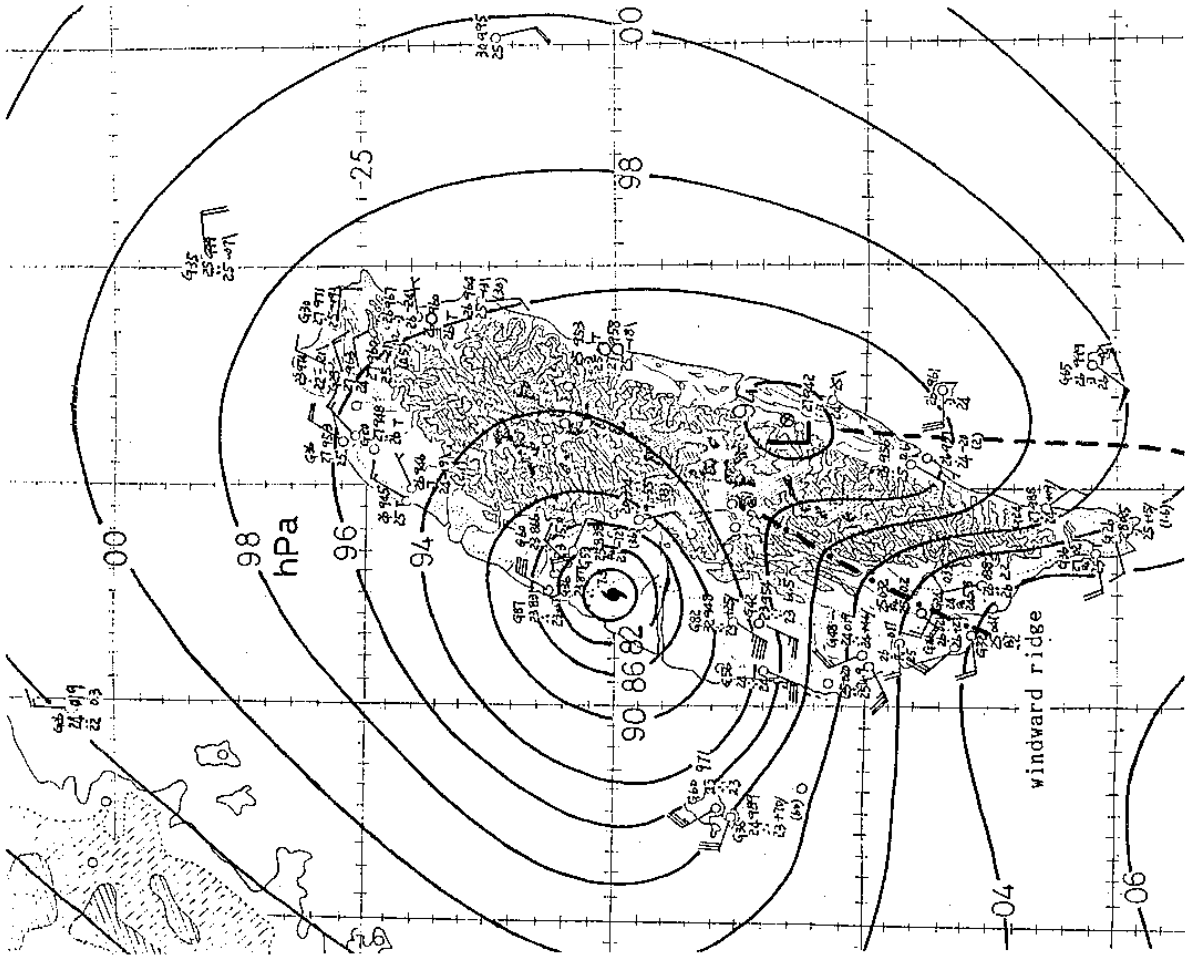


(b) 台中

圖11 西行颱風影響下，(a)台北，(b)台中兩地藉比值法所求得之平均風速客觀預測圖。圖中並作出兩地造成強風之物理因素。藉圖可見台北者極為複雜，台中則極簡單。本圖之應用參見王(1987, 1988及蔡、王、林, 1992)。



(a) 風場圖



(b) 等壓線圖

圖12 因中央山脈影響，颱風旋流遇山(中央西南部)造成氣流「分流」之1986年8月22日0000UTC WAYNE颱風實例。(a) 風場圖。圖中並作出氣流之「分流點」。 (b) 等壓線圖，注意「氣流分流」區與本圖「迎風脊」區相一致。

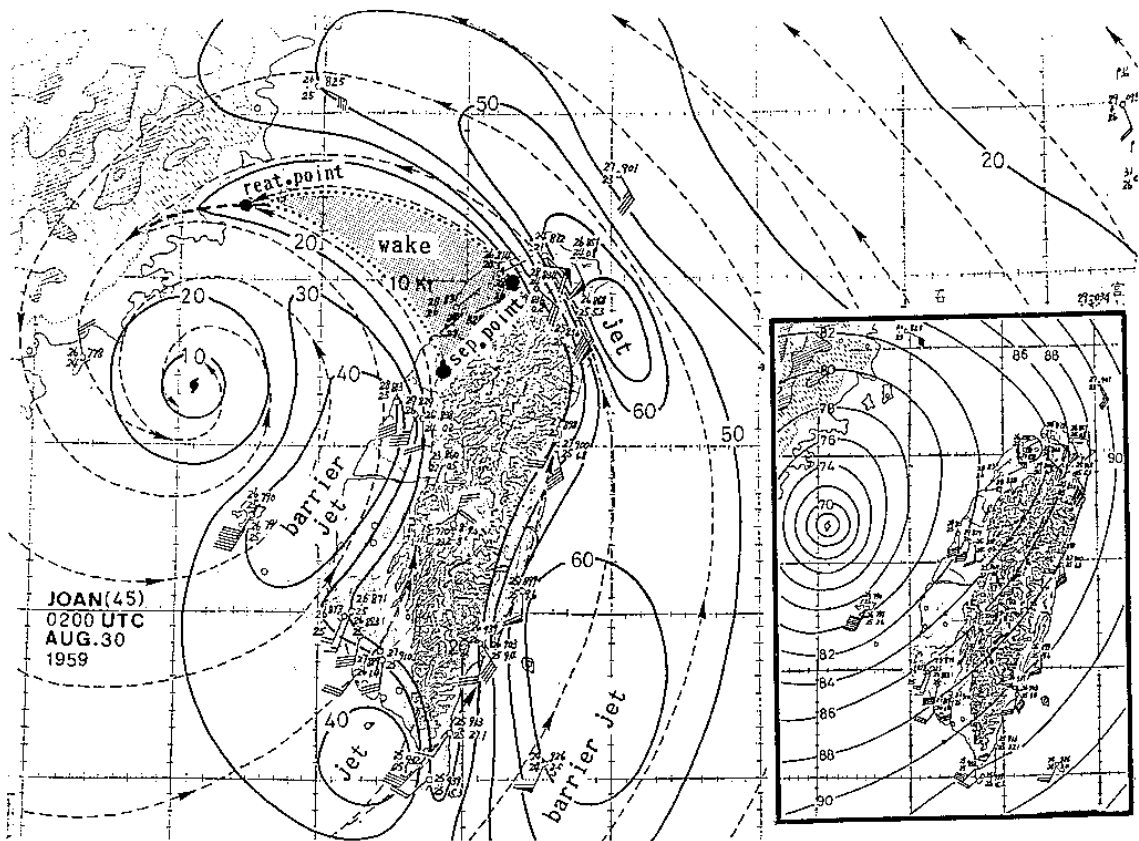


圖13 「自由過山」颱風越過中央山脈進入台灣海峽區後，台灣區域中尺度流型結構—1959年 8月30日0200UTC JOAN颱風之例。藉圖可見，風場結構已完全改變。中心 V_{max} 與 R_{30} (30kt風半徑) 等颱風風力強度參數，已完全失去意義。右下角並附氣壓分布圖。圖中最著特徵為，「弱風尾流」(wake flow) 區(見陰影區) 與「噴流」(jet flow) 區，相間出現。

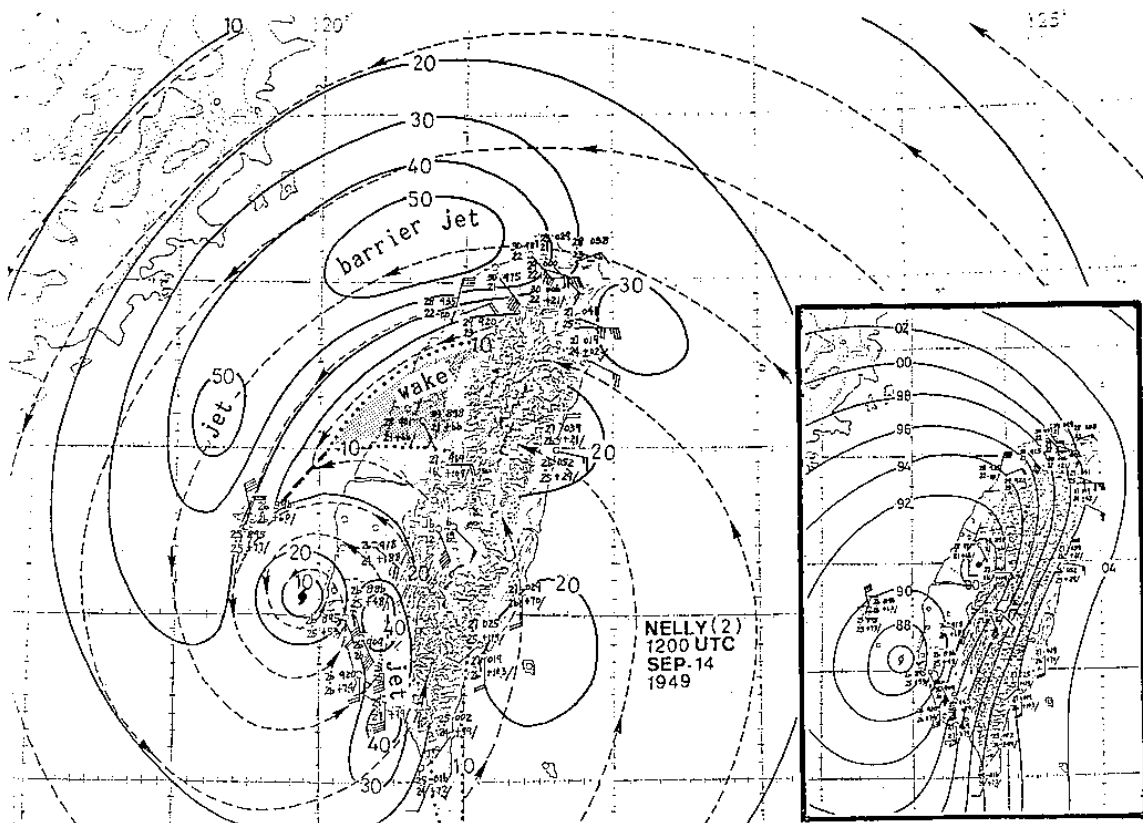


圖14 同圖13，但為1949年 9月14日1200 UTC NELLY颱風之例。兩圖最大不同為 NELLY 半徑較小，且颱風中心在海峽位置亦不同，故中尺度風場型式有極大差異。惟仍可見「尾流」區。

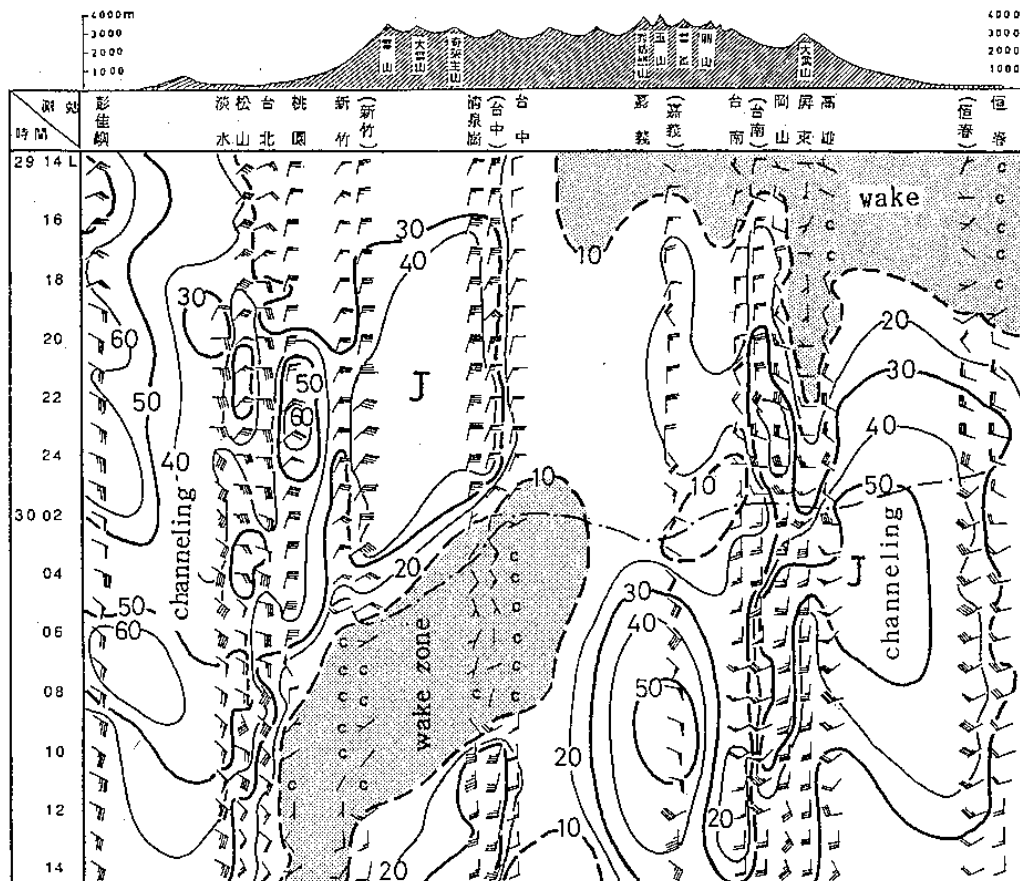


圖15 圖13中JOAN颱風在過境期間，沿中央山脈西側各測站(自北向南)平均風 (kt)時間變化圖。藉圖可見「噴流」區(40kt風及以上)與「尾流」區(見陰影區，其風速在10kt以下)均極穩定，並隨時間而移動。

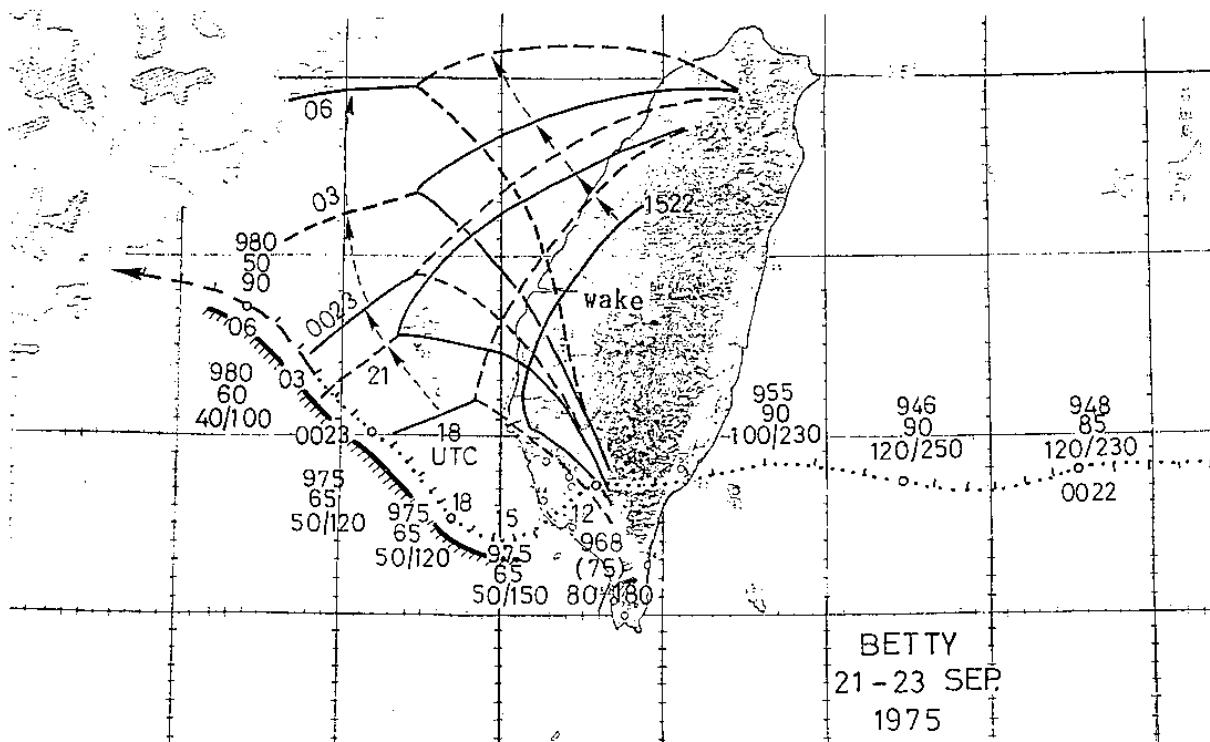


圖16 1975年9月22日BETTY颱風在台灣海峽南部向西北移動時，台灣西部出現極大之「三角尾流」(triangle wake)區，並隨颱風西移而向北移動，該區內均無風。

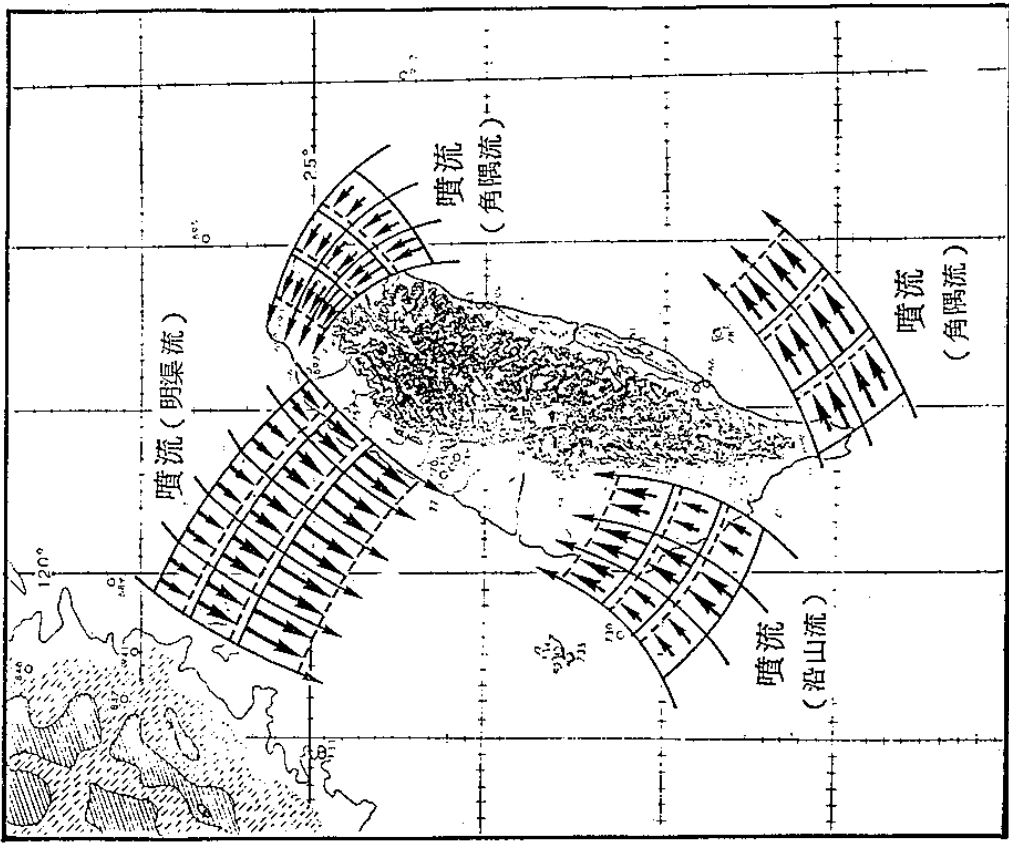


圖18 台灣區域因颱風侵襲，所出現之噴流(平均風 $\geq 40kt$)區域分布模式圖。

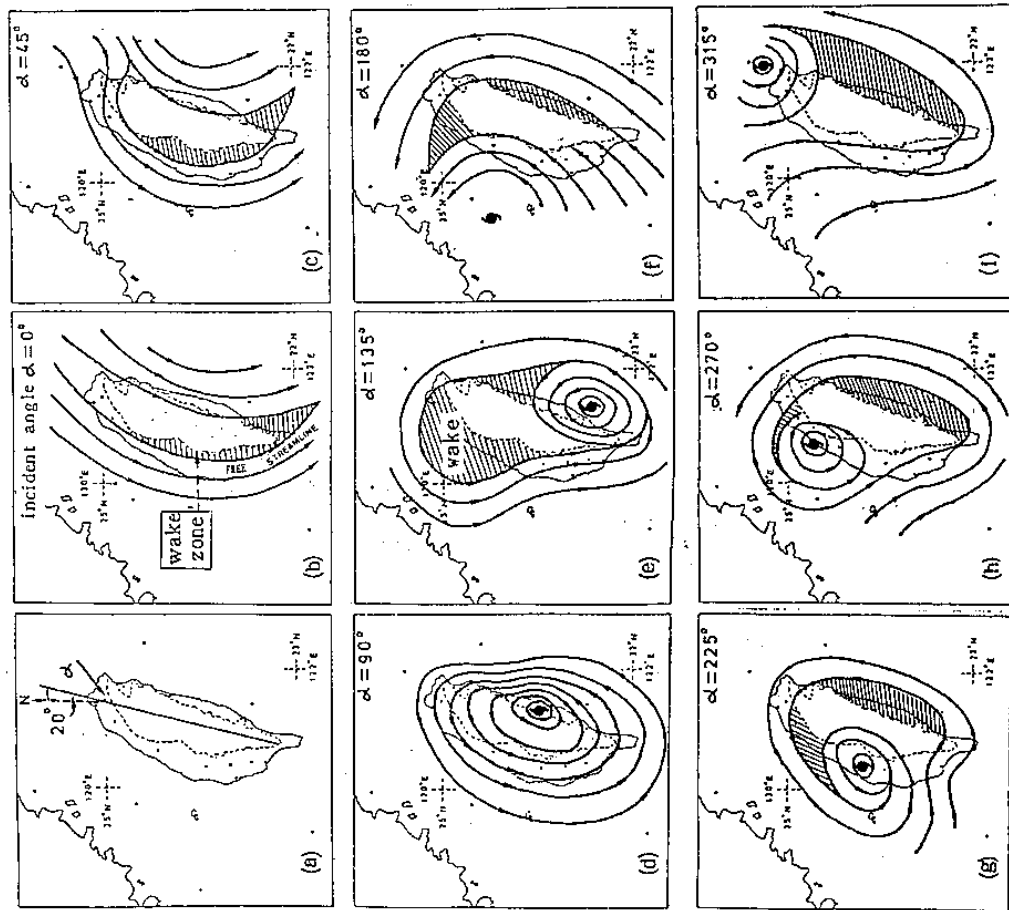


圖17 台灣區域因颱風位置不同，及氣流進入角不同(見圖a)時，「弱風尾流區」(wake zone)之分布模式圖。

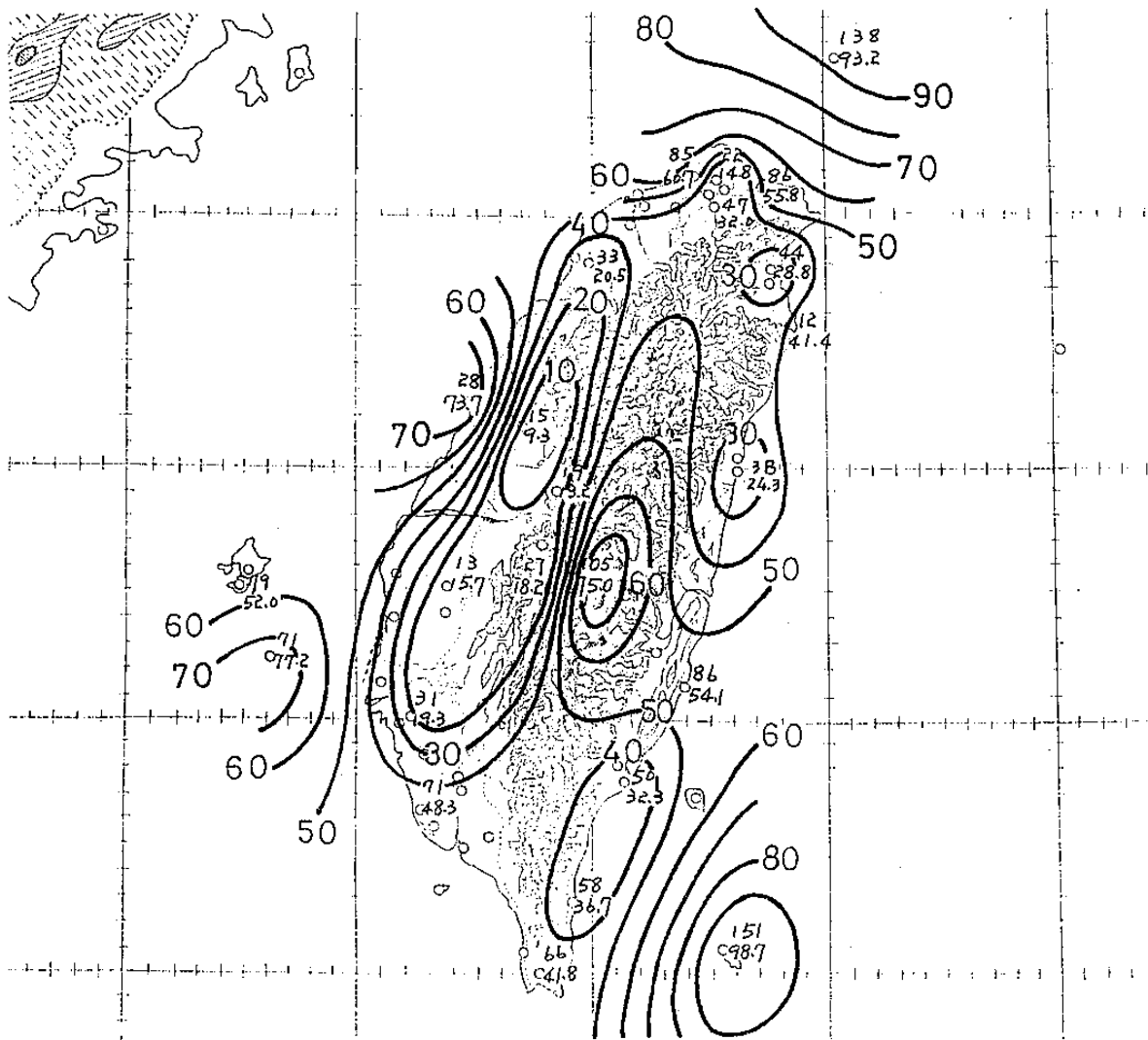


圖19 根據1949~1989年共155次颱風資料，各地合於放假條件(一地平均風到達7級風或最大陣風到達11級風時)之次數(圖中各測站上方數字)及出現百分頻率。等值線為百分頻率線。

表1 1949~1989年間侵台颱風各地最大風速達各種風級之出現次數及百分頻率表

測站 ID	風速 級別	北部										東部					中部							南部		
		彭 湖	鹿 港	竹 子 腳	淡 水	華 盛	台 北	新 竹	貢 寮	蘇 澳	花 蓮	新 港	白 東	大 武	關 山	台 中	梧 棲	日 月	關 山	嘉 義	玉 山	台 南	高 雄	恆 春	澎 湖	東 吉
颱風資料 總次數		148	151	149	140	154	147	161	153	29	156	159	155	158	153	162	38	144	148	83	140	161	147	158	152	92
Vmax	次數	138	116	20	85	85	42	33	44	11	36	86	50	55	151	15	28	17	27	13	105	29	71	64	79	70
≥ 7級	%	93.2	76.8	13.4	60.7	55.2	28.6	20.5	28.8	37.9	23.1	54.1	32.3	34.8	98.7	9.3	73.7	11.8	18.2	15.7	75.0	18.0	48.3	40.5	52.0	76.1
Vmax	次數	126	96	7	50	48	24	12	24	4	19	47	31	27	144	5	19	5	14	8	73	9	49	33	48	55
≥ 8級	%	85.1	63.6	4.7	35.7	31.2	16.3	7.5	15.7	13.8	12.2	29.6	20.0	17.1	95.4	3.1	50.0	3.5	9.5	9.6	52.1	5.6	33.3	20.9	31.6	59.8
Vmax	次數	104	55	4	28	26	14	7	14	2	14	36	12	11	136	1	12	1	5	5	46	4	21	17	19	41
≥ 9級	%	70.3	36.4	2.7	20.0	16.9	9.5	4.3	9.2	6.9	9.0	22.6	7.7	7.0	88.9	0.6	31.6	0.7	3.4	6.0	32.9	2.5	14.3	10.8	12.5	44.6
Vmax	次數	64	33	3	20	20	9	3	10	0	7	23	6	6	123	0	8	1	1	3	22	1	15	11	7	28
≥ 10級	%	43.2	21.8	2.1	14.3	13.0	6.1	1.9	6.5	0	4.5	14.5	3.9	3.8	80.4	0	21.1	0.7	0.7	3.6	15.7	0.6	10.2	7.0	4.6	30.4
Vmax	次數	43	21	2	10	11	2	1	7	0	6	14	6	1	99	0	3	0	0	0	8	1	7	3	4	15
≥ 11級	%	29.1	13.9	1.3	7.1	7.1	1.4	0.6	4.6	0	3.8	8.8	3.9	0.6	64.7	0	7.9	0	0	0	5.7	0.6	4.8	1.9	2.6	16.3
Vmax	次數	31	16	2	3	6	1	1	3	0	5	8	3	0	64	0	1	0	0	0	1	0	1	2	2	8
≥ 12級	%	20.9	10.6	1.3	2.1	3.9	0.7	0.6	2.0	0	3.2	5.0	1.9	0	41.8	0	2.6	0	0	0	0.7	0	0.7	1.3	1.3	8.7
Vmax	次數	138	117	22	85	86	47	33	44	12	38	86	50	58	151	15	28	19	27	13	105	31	71	66	79	71
W+ ≥ 11級	%	93.2	74.5	14.8	60.7	55.8	32.0	20.5	28.8	41.4	24.3	54.1	32.3	36.7	98.7	9.3	73.7	13.2	18.2	15.7	75.0	19.3	48.3	41.8	52.0	77.2

表2 1949-1989年間各類侵台颱風中，造成中央氣象局各測站最大風速達8級及以上最多測站之前10次颱風及有關資料表

序號	颱風名稱	編號	年	月	路徑類型	接近台灣時離風中心最近最大風速(kt)	風力≥8級之測站數(分任為當時有資料之測站數)	風力≥10級之測站數	風力≥10級之測站(≥24.5m/s)	風力≤6級之測站(≤13.8m/s)	台灣本島出現最大值(m/s)	
											地點	數值
1	ELSIE	92	1969	9	22A	110	20/23	10	彰化、竹子湖、基隆、新竹、宜蘭、蘭陽、嘉義、玉山、高雄、東吉島	台東、大武、日月潭	基隆 宜蘭	30.0
2	JOAN	45	1959	8	32A	140	18/21	11	彰化、宜蘭、淡水、基隆、台北、宜蘭、花蓮、成功、蘭陽、高雄、澎湖	竹子湖、台中、台南	基隆	43.0
3	DIHAH	35	1956	9	22A	100	17/21	8	彰化、宜蘭、基隆、台北、成功、蘭陽、日月潭、高雄	竹子湖、台東、大武、玉山	宜蘭	35.0
4	NADINE	99	1971	7	41A	120	17/23	8	彰化、宜蘭、淡水、成功、蘭陽、玉山、高雄、東吉島	竹子湖、大武、台中、日月潭、台南、恆春	宜蘭	43.0
5	ANDY	138	1982	7	41A	115	17/25	6	彰化、宜蘭、基隆、成功、蘭陽、東吉島	竹子湖、新竹、大武、台中、日月潭、阿里山、台南、恆春	宜蘭	41.8
6	KIT	20	1953	7	31A	120	15/21	10	彰化、宜蘭、淡水、基隆、宜蘭、花蓮、成功、台東、蘭陽、高雄	竹子湖、大武、台中、日月潭、阿里山、台南	淡水	36.0
7	PAMELA	59	1961	9	21A	130	15/21	9	彰化、宜蘭、淡水、基隆、台北、新竹、成功、蘭陽、高雄、澎湖	宜蘭、日月潭、阿里山、玉山、台南、恆春	基隆	35.0
8	AMY	64	1962	9	22A	120	14/21	9	彰化、宜蘭、基隆、台北、宜蘭、成功、蘭陽、高雄、澎湖	台東、大武、台中、阿里山、玉山、台南	高雄	29.3
9	BESS	101	1971	9	21A	120	14/23	8	彰化、宜蘭、竹子湖、淡水、基隆、蘭陽、玉山、恆春	花蓮、台東、大武、台中、日月潭、阿里山、嘉義、台南、高雄	宜蘭	36.0
10	HELLY	2	1949	9	32A	120	13/19	5	花蓮、成功、玉山、高雄、澎湖	彰化、竹子湖、台中、恆春	成功	39.2

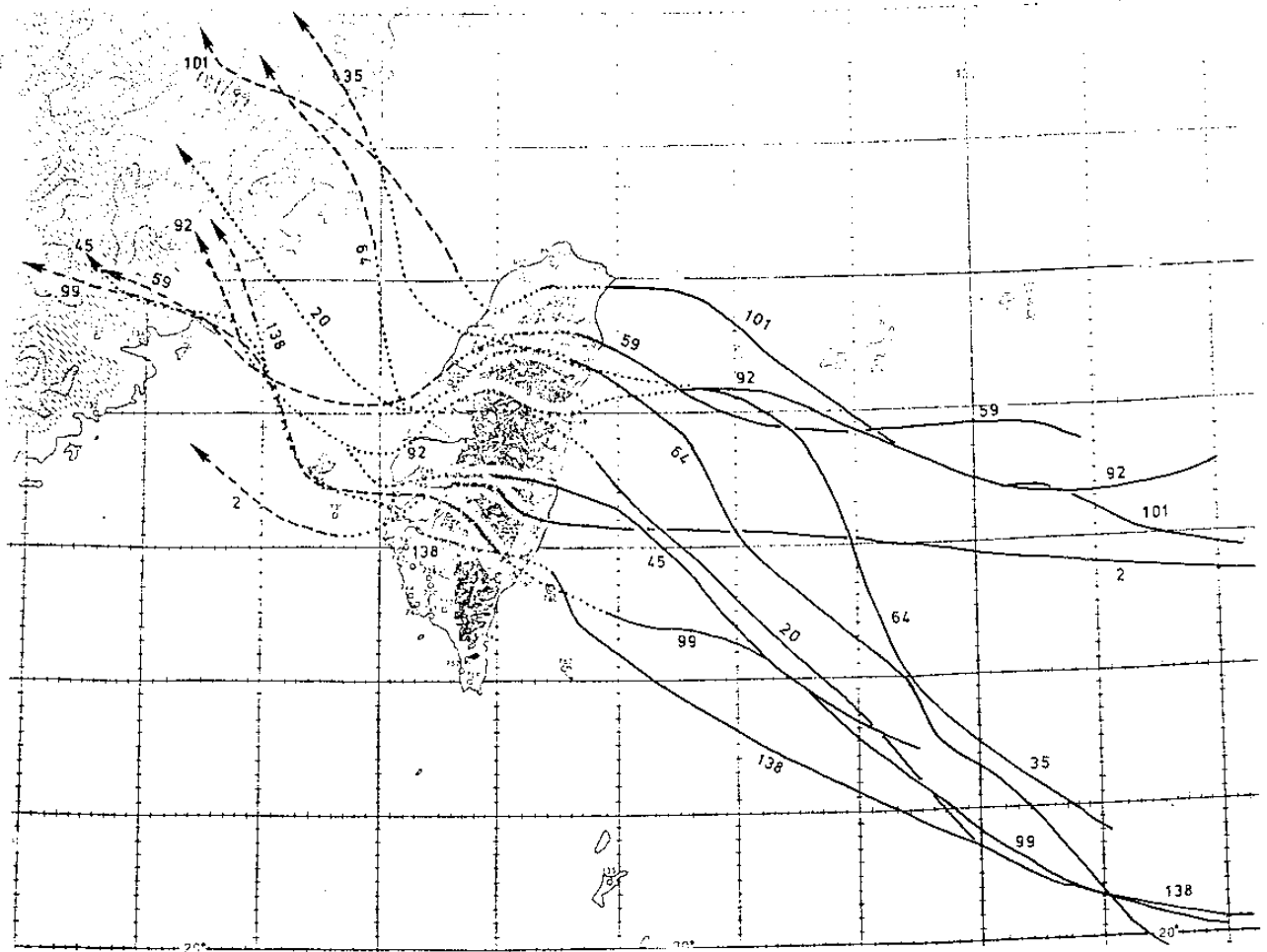


圖20 根據1949~1989年共 180次颱風中，排名前十名之颱風路徑分布圖。係根據台灣受颱風侵襲，當地風力達8級(17.2m/s)以上測站數多寡為準作出。

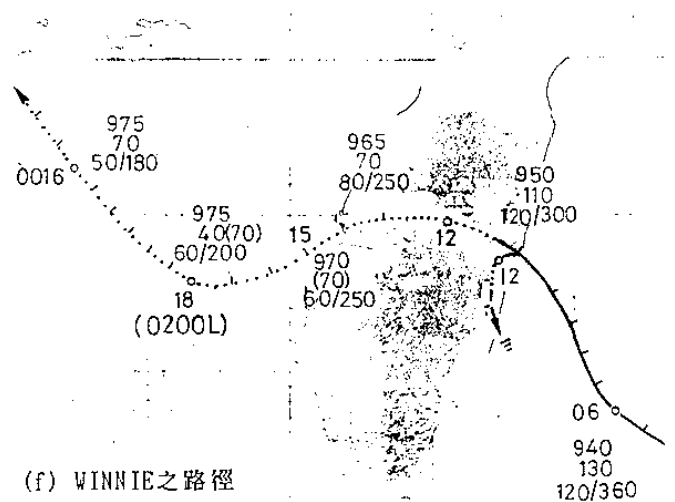
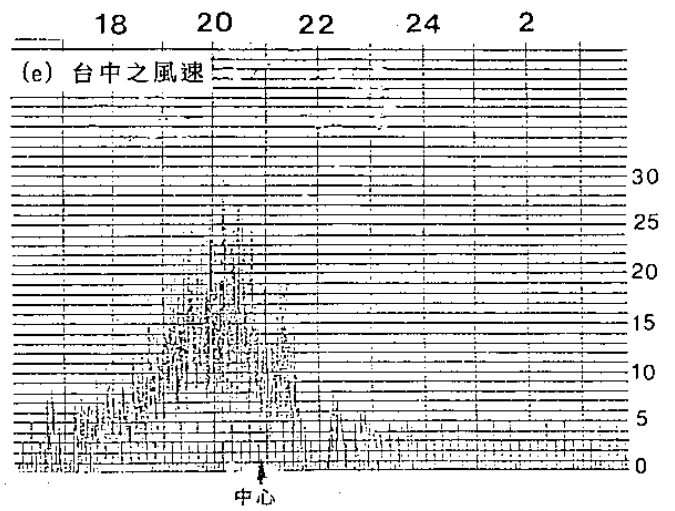
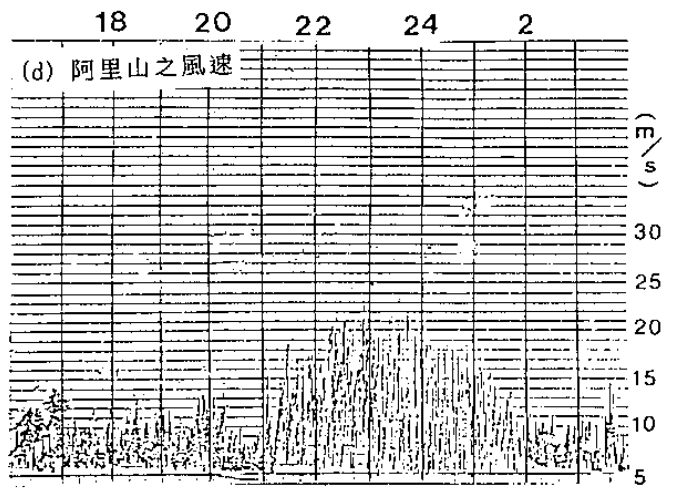
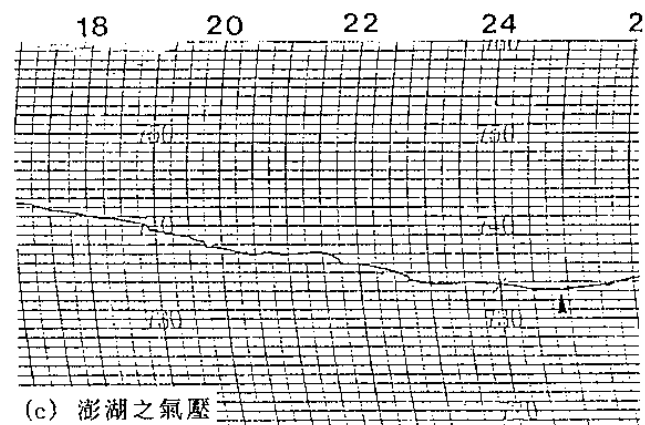
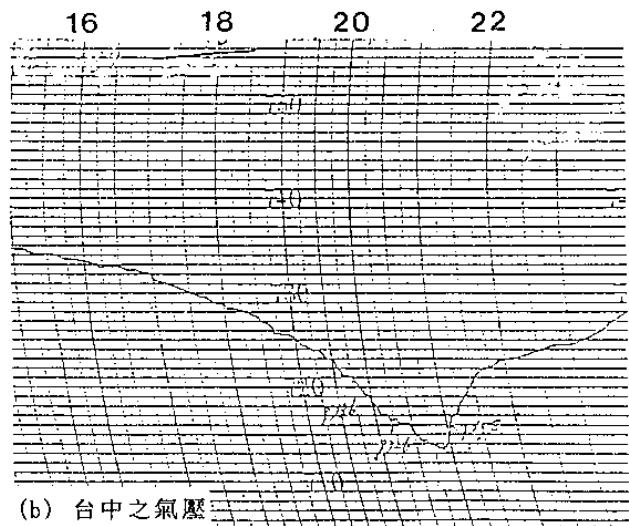
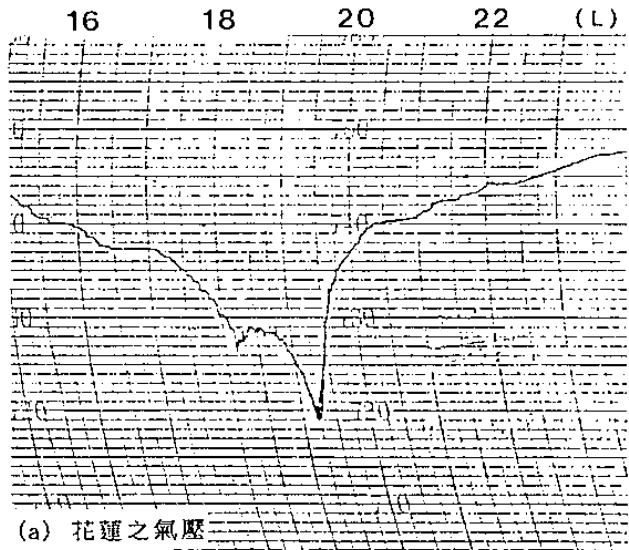


圖23 1958年 7月15日 WINNIE強烈颱風過山前後，各地氣壓及風之自記紀錄曲線分布。示過山後中心部分之氣壓特性迅速改變。颱風過山後阿里山風力仍