

侵台颱風強度變化分析及定量預報

王 時 鼎

中央氣象局

一、前 言

台灣中央山脈走向略為自北偏東 20° ，即自北北東向南南西走向。長度約300公里。其型式呈紡錘型，中間部分平均寬約70公里。高於3000公尺高度之山峯，北自大霸尖山(24.5°N)，南至卑南主山(23.8°N)，各重要主峯並均在其間，計南北長度約170公里(參見圖1)。中央山脈尺度(scale)略與一般西太平洋之颱風尺度相若。故中央山脈對侵台颱風，無論路徑、環流結構、強度及其所伴隨之風雨分布，均遭受複雜之衝擊。有關侵台颱風環流及強度之研究，筆者曾耗多年之精力，重要研究按序有王，1954,1963；王、林、俞，1975；王、徐1960；王，1980,1989。另外有關本問題研究有曲，1976,1977；劉、俞，1986；蔡、周、陳1981；Brand等1974；Chang, 1982, Ishijima, 1987。筆者本項研究最大特色為，將過去所整理各颱風地面逐時資料與詳圖，暨各颱風台灣地區之探空資料，並根據筆者過去研究所得各自由過山颱風、分裂過山颱風及沿山脈北行颱風等，分別研究其三度空間颱風環流及強度變化。並進一步期望初步求出侵台颱風強度預報方法。颱風侵襲台灣，中央山脈對強度與環流變化之衝擊，為除路徑之外，最重要之研究專題，因其直接影響一地之風、雨等災害因素之預報。有關本項研究，牽涉問題甚多，希望本項研究分析，對專家學者進一步研究，及預報應用有所裨益。

二、台灣颱風強度預報問題，研究方法 及資料

台灣颱風強度與環流分析遭遇甚多問題，包括：
(1) 颱風登陸台灣，由於平均高度達三千公尺之

中央山脈阻擋，其環流結構在其低層主要部分將遭遇完全破壞，而使風場劇烈調整。作者(1989)研究中，已指出：在中央山脈迎風面颱風氣流受阻每出現弱風區(wake zone)並伴隨有高壓脊。同時在山脈南北兩側在彭佳嶼與蘭嶼一帶，因氣流之山角作用(corner effect)而出現強風區或稱次環流區或噴流(jet)區。但由颱風中心登陸之處仍可見集中之風速。例如作者1989文中之圖5-3a Elsie 颱風風速時間剖面圖與圖4-12 Joan 颱風過境時成功風速之自記紀錄。這些風速中心相互調整究為如何，又各中心風速之比值又如何。垂直方向究作如何調整，此又端賴探空資料之應用。

(2) 通常表示颱風強度方法有三，即：中心最大平均風(maximum sustained wind)，中心氣壓及30與50 kt 風半徑。上經述及中心風速，如中心正對山脈，幾已完全破壞，故以此作為侵台颱風強度判定，已難作一定標準。應如何解決，顯然必須包括副環流中心及上層風速分布變化之問題。此為有關中心最大風研究方面。至於有關中心氣壓方面，因牽涉中心分裂過山，路徑不連續，故顯然必須將自由過山及分裂過山兩類颱風分別研究。另外，由於登陸之處相對於山脈位置之不同，其中心氣壓變化及環流變化，應分別處理，故個案愈多愈佳。而有關風力半徑變化，可藉環流理論以作量度，或以同值等壓線之時間變化表出，這些均將是本文研究問題。

(3) 以言颱風強度及結構變化，不能不考慮颱風副中心之生成與發展機制。筆者在1980年文中已指出副中心有兩類即：深厚副中心(deep secondary low)與平淺(shallow)副中心。並指出氣流繞山作用，山脈背風面分流邊界層(separated boundary layer)生成，均與副中心生成有關，但

其發展則涉及副中心與主颱風氣流動能之交互作用，此有待解決。另外，氣流爬山理論是否可說明副中心之生成發展，有待研究。

(4)上經述及，山脈迎風面有氣流弱風區(wake zone)。但其重要性似乎僅涉及一地風力之預報問題。另一方面，山脈背風面因遮蔽作用(sheltering effect)可造成更重要的弱風區。經發現可分兩類弱風區。其中一類同迎風面者。另一類在分流邊界層內所形成弱風區每與背風面副低壓中心相連，並有機取代原颱風，是為關鍵問題，此與上述(3)中副中心為同一問題。

(5)可發現沿中央山脈兩側北行颱風，在強度變化上亦出現甚多有興趣問題(王,1963)，就本研究之例，其強度最後均減至為輕度颱風。並同樣出現有副中心之發展及取代原颱風中心問題。另外，此顯然又牽涉颱風中心距山脈遠近問題，即臨界距離問題。

在本研究中將就這些與侵台颱風強度變化之極有興趣問題，試求作初步解答或作嘗試，其研究方法完全為就對侵台颱風個案之整理與分析，包括：

(1)侵台颱風地面逐時詳圖之填製與分析。

(2)以各地所出現之最大陣風及最大風速作有系統分析與認定，作出分類及觀念模式，此在筆者1989年文中已有了起步。

(3)不同路徑侵台颱風過境時各地最低氣壓值及出現時間分析，包括自由過山及分裂過山兩種情形。目的在作出台灣地形對侵台颱風過境時，中心氣壓變化值之定量分析。

(4)不同路徑侵台颱風(含副中心取代原颱風者)三度空間氣象參數(風、溫度、等壓面高度、濕度)之變化分析。此為分析颱風強度變化所必需。

(5)雷達密集觀測資料對1977年賽洛瑪(The-lma)颱風強度異常變化之指示。

(6)旋流經過浸物(immersed body)水工模擬之新的資料討論。

(7)台灣中央山脈對侵台颱風環流變化型式之觀念模式之建立，包括過山前後、或沿山前進主中心最大風力之變化、以及因地形產生強風中心與弱風中心之變化。

(8)颱風副中心生成發展，包括山脈背風面分流邊界層的生成發展，及取代原颱風中心之預報研究。

(9)分裂及自由過山颱風過山前後，中心最大風速及氣壓變化之客觀預測圖之製作。

(10)藉本項研究對過去侵台颱風最佳路徑及強度變化圖之修正。

此處研究資料包括歷來所整理自1949以來各地颱風地面資料及逐時詳圖分析，高密度觀測之雷達颱風圖，以及從自空軍(羅1986)1962至1981年桃園、東港與馬公之探空資料。

三、結果討論

(一)利用探空及地面資料對各型侵台颱風強度及環流變化三維分析

1 過山西行颱風

(1)中央山脈中部自由過山颱風——以1959年8月29~31日Joan與1969年9月26~27日Elsie颱風為例，兩颱風為歷來侵台最強者(參見表1)。所用資料參見圖2至圖5及表2。

圖2為兩颱風路徑詳圖，圖3為Elsie颱風路徑所經各地花蓮、台中、嘉義、澎湖、金門五地的氣壓時間變化圖。Joan颱風中心未經適當測站，故未製圖。圖4a-d為Joan颱風過境時桃園各等壓面資料時間剖面圖，含：(a)氣溫($^{\circ}\text{C}$)，(b)相對濕度(%)，(c)風向(度)及(d)風速(kt)。圖5a-d同圖4a-d但為Elsie者。圖6為兩颱風之各等壓高度值(H)與颱風未侵襲前3天高度值平均值(\bar{H})間距平值 $\Delta H(H-\bar{H})$ 及 $\Delta T(T-\bar{T})$ 。其中(a)(b)各為Elsie與Joan之 ΔH ，(c)(d)各為該兩颱風之 ΔT ，均為桃園資料。表2為颱風過山資料之說明。藉該各圖及表2略可見與颱風強度有關之各項變化，包括：

- 颱風經過中央山脈前後之地面氣壓變化值。
- 熱力場結構變化。
- 濕度場結構變化。
- 風場(含風向、風速)垂直變化及時間變化。
- 颱風氣壓場垂直變化。

由上各圖可見：

a. 兩颱風過境時，Elsie 125 mb 及以下，Joan 175 mb 及以下各層溫度顯著增高。最高溫中心均在 300 mb 層上，均增至 6.0°C 以上。

b. 兩颱風在 250 mb 層下之各等壓面高度值均有明顯下降，最低值中心均在 950 mb 層。高度下降均達 250 m 以上。

c. 兩颱風均在未過山前（見箭頭所示，其表最接近之時），有最大強度，惟在垂直方向有數個最大風速中心，最大者略在 500 至 600 mb 高度。惟中心過境後最大風中心之高度均為升高，Elsie 特為顯著（至 300 mb 層上）。與一般海上颱風迥異。

d. 兩颱風於過山後均示，台灣在颱風南來氣流時，相對濕度均為減少。因此時桃園屬山脈下風面。

(2) 分裂過山颱風——以型式各異，此處計取三例。

a. 例一：1961 年 5 月 Betty 颱風。屬分裂 A 型類（參見王，1980）

本次颱風最特殊之點，不單為分裂過山。分裂中心經過馬公以南，馬公探空資料可供進一步研究之需。另外三探空站資料齊全，可作三度空間變化之分析。所附資料包括：圖 7 逐時路徑圖；圖 8a 中心所過各地之氣壓逐時變化圖；另外圖 8b 為分裂中心所經嘉義與澎湖兩地氣壓與風力逐時變化；圖 9a-c、10a-c、11a-c、12a-c、13a-c 及 14a-c 各為桃園（697）、馬公（734）及東港（747）三探空站之颱風過境各等壓面溫度、風向、風速（kt）、相對濕度、 ΔH 、 ΔT （說明參見圖 6）時間剖面圖與圖 15 於 26 日 18 Z（27 日 02 L）副中心顯著發展時之地面圖，以及表 2 摘要表。由各圖及表 2 可見：

(a) 馬公東南副中心顯著發展之時（26 日 18 Z），低層溫度顯著升高。900 mb ΔT 達 9.2°C ， ΔH 達 -133 m。均為三地中之最大值。風力則見兩中心：一在約 950 mb 層，另一中心在 500 mb 層，甚值注意。但由圖 12b 之 R.H. 值則甚低。

(b) 該颱風主中心顯見在成功以南登陸後並未消失，而係沿山脈東側北行（圖 7-8 及圖 15），於移至

基隆後才併入繞山之氣流中。

(c) 從桃園資料可見於中心登陸前有最大風速，最大風在 800 至 700 mb 層之間（圖 11a），顯見最大風中心高度有升高現象。東港亦然（圖 11c）。

(d) 本次颱風之厚度（升壓區）最高達 125 mb（圖 10 及 13）。

(e) 本次颱風取代之副中心與原颱風中心氣壓最低值之差達 27 mb 以上（圖 8）。

(f) 本次颱風 - ΔH 中心（圖 13）與風速中心（圖 11），不相配合。- ΔH 中心係在 950 mb 層上。

b. 例二：1959 年 9 月 Louise 颱風。屬分裂 B 型類（參見王，1980）

本次颱風路徑極形特殊，係由其相對位置偏南之副中心以取代，見圖 16 之 3 月 16 Z 天氣圖。此處所附資料，包括圖 17 路徑詳圖，圖 18 所經各地氣壓時間變化圖。圖 19a-d 桃園探空站之溫度、相對濕度、風向、風速時間剖面圖，圖 20a-d 同圖 19 但為東港者，圖 21a-d 兩地 ΔH 與 ΔT 圖（說明同圖 6），及其摘要見表 2。由各圖及表可見：

(a) 風力中心均為偏高，桃園在 750 mb，東港在 500 mb， ΔH 則為在對流層下層。

(b) 本次颱風 ΔT 變化不著。

(c) 東港高空風向、風速、資料顯示，在登陸前對流層下層與中、上層風向有甚大不同，風速亦然（註：箭頭示登陸時間）。

(d) 於 9 月 3 日 00 Z 時，桃園 650 mb 層上下，極為乾燥（R.H. 曾至 21%）。東港無此現象。

c. 例三：1960 年 8 月 Agnes 颱風

本次颱風特殊之點，山脈西側之副中心取代原颱風中心，並沿西海岸南移，在馬公以南西移進入台灣海峽。因桃園、馬公、東港均有探空，頗可研究其三度空間環流與強度變化，特以該副中心之變化。圖 22 為逐時路徑圖，圖 23 為中心所經各地氣壓時間變化剖面圖，圖 24a-c、25a-c、26a-c、27a-c、28a-c、29a-c 各為桃園、馬公、東港三探空站各等壓面層溫度、風向、風速（kt）、相對濕度、 ΔH 以及 ΔT 時間剖面圖，及表 2 中資料摘要。

由各圖及表可見：

(a) 該颱風中心強度弱，梯度小。故中心過境

各測站之氣壓值仍大致相若。

(b) 中心最大風速略在 800 mb 層，另其上仍可見多個風速副中心。

(c) 副中心轉為環流主中心後於 8 月 14 日 19 Z 過馬公之南。由 18 Z 探空資料中可見，該中心漸已轉為暖心。於 900 mb 層增溫，最多 12 小時增加近 3.1°C 。惟低層風向為東南與地面中心不能配合。

(d) 就 ΔH 可見，中心最低在 950 mb 層，三站均然。以馬公之 ΔH 值最大，與前數例均同，風速中心為偏高層，不相配合。已 13 日 12 Z 至 14 日 00 Z 之間在上對流層有一顯著降高中心出現，深值注意。

(3) 在山脈南端過境颱風——以 1961 年 9 月 28 日過境之 Sally 颱風為例。

本類颱風特徵為，其中心之北之氣流均受山脈影響，爬山作用與繞山作用均著。最有興趣者，該颱風雖中心氣流暢行無阻，而且已過台灣，但最後仍為馬公附近之副中心所取代。圖 30 為該颱風各階段之詳圖，圖 31 為中心所經各地氣壓時間變化圖。圖 32a-d 為桃園各等壓面層溫度、相對濕度、風向、風速 (kt) 時間剖面圖。圖 33a-d 為桃園、馬公之 ΔH 及 ΔT ，其資料摘要見表 2。由各圖及表可見：

a. 由桃園資料可見： ΔH 中心在 950 mb，風力中心則在 850 至 600 mb 之間，不相一致。以上各例幾均如此。此顯係風力中心受地形影響而升高之故。

b. 中心侵台時，600 mb 桃園溫度增高最著，達 4.2°C 。

本例馬公於颱風過境時，均未施放探空，討論缺。

2. 沿山北行颱風

(1) 在中央山脈東側北行颱風

此處計作出三例，各為：1957 年 6 月之 Virginia、1962 年 7 月之 Kate 及 1965 年 6 月之 Dinah。該三例在桃園一帶均有副中心之發展。但極有興趣的，該三例颱風中心均未受阻於山脈，然而 Kate 颱風的主中心被副中心吞噬，並由副中心取代為

主環流中心。

有關對該三颱風之討論，此處所作圖表，包括各颱風之路徑及中心所過之處各測站氣壓時間剖面圖，各見圖 34a-b、35a-b 與 36a-b。Virginia 颱風與 Kate 颱風過境時桃園各等壓面資料，包括氣溫、相對濕度、風向與風速 (kt)，各見圖 37a-d 與 38a-d。以及三颱風桃園各等壓面層之 ΔT 、 ΔH ，各見圖 39 (說明見圖 6 者)。其沿山北行之有關要素變化參見表 2。至各颱風各階段之風場變化各見圖 43-45 (有關此一方面之較詳細討論，則參見下述「台灣各類颱風地面風場結構變化」一節)。由上各圖及表可見：

a. 此處所述三例之沿山脈東側之北行颱風，開始均屬強烈颱風，但最後均減弱成輕度，深值注意。(圖 34-36)。此相信均與颱風中心貼近山脈北行受地形破壞時間過長，最有關係。此亦可參見作者 (1980) 水工模擬之研究結果。

b. 由桃園兩颱風高空資料 (圖 37-39) 可見，桃園中下對流層溫度均見顯著增高，此與氣流過山下沉作用有關，由相對濕度變化 (偏低) 及風向、風速變化 (風向為東南示氣流有爬山，且風速均大) 均支持該項事實。

c. 該三颱風在桃園區一帶均有明顯副中心之生成 (圖 34-36 及圖 43-45) 此為本類颱風特徵，因類此北行颱風氣流進入角 (incident angle, 參見王, 1980, 1989) 必大 (進入氣流與台灣中央山脈長軸 (約 20°) 方向之夾角，可以彭佳嶼之風以測定)，必將造成分流邊界層 (separated boundary layer) 之發展，其內並含副中心。關於此在副中心發展一節再行討論。

d. 深值注意的，就 Virginia 與 Kate 颱風桃園風速垂直分布 (圖 37d, 38d) 可見，Kate 颱風時，桃園均在背風面「分流邊界層」內，故 450 mb 以下風力均弱。而於該層內副中心發展，有西南氣流進入後，風力增強 (圖 38d, 7 月 23 日 00 Z, 與 12 Z)。相反地，Virginia 颱風因「分流邊界層」在桃園之南，故桃園風力甚大，950 mb 於 6 月 25 日 00 Z 有 54 kt 之風速。其分流邊界層內雖亦有副中心之生成，最後並未獲發展，故桃園風力

分布，恰與 Kate 者異趣。

e. 比較 Kate 與 Virginia 之桃園各等壓層所示之風力中心及 ΔH 分布 (圖 36-38) 可見, Virginia 颶風有風力中心在 950 mb, 但無 ΔH 中心相配合。Kate 於副中心發展後, 出現有大風中心, 於 23 日 00Z 時在 700 mb 層 (圖 38d), ΔH 亦見有顯著中心, 出現於 500 與 550 mb 層之間。

f. Virginia 與 Dinah 型式相若, 副中心雖生成但未取代原颶風中心。核驗其 ΔH 與 ΔT 分布, 基本上甚為一致。

(2) 在中央山脈西側北行颶風

因探空資料缺, 討論略去。

(一) 侵台颶風強度變化特殊問題之一——風力因山脈影響重分布

此處僅討論因中央山脈存在, 對颶風氣旋式流場的重分布問題。特討論三者:

a. 颶風中心處最大風中心對山脈之回應 (response)。

b. 颶風因山脈所造成之近地層噴流 (jet) 分布。

c. 颶風因山脈阻擋及遮蔽影響之弱風區 (wake zone) 分布。

有關上述各項問題在筆者 1989 年之文中已就各颶風各地風力自記紀錄, 加以確認。各類颶風情形下, 就各地風場並配合氣壓場, 作了詳細分析。此處期望就上述不同過山型式颶風建立觀念模式 (conceptual models), 藉供進一步研究及預報應用參考。

1. 自由過山颶風——主要係以此處所述之 Elsie 與 Joan 颶風及筆者 1989 年之文中各颶風地面風場資料為依據以作出。其觀念模式圖見圖 40 a - e。圖中計包括三項最主要特徵, 即: (1) 地形性之噴流, 見圖中附有箭頭之斷線, (2) 地形性弱風區, 及 (3) 弱風型 (wake type) 颶風中心。由圖可見:

a. 台灣進入颶風環流後, 仍出現有弱風區 (此處定義為風速 ≤ 10 kt)。先見於台灣之西南部平地 (a 圖)。但並非必有, 此與颶風中心運行位置有關。

b. 第二階段, 弱風尾流區出現於山脈東南側, 此時颶風中心運行係在其北 (b 圖)。

c. 極有興趣的, 雖然強烈颶風過山, 當中心進入山脈西側時, 其中心區風場仍將完全破壞, 而如 c 圖型式, 參見圖 5 - 18 b (王, 1989), 並見圖 41 Elsie 颶風實際地面天氣圖。本次強烈颶風之例, 弱風型中心 (直徑達 100 公里) 維持達 3 小時 (1969 年 9 月 26 日 20 - 22 Z)。

d. 迨中心移入海峽, 中心風速因快速調整而增大, 弱風尾流區 (wake zone) 移至中心東北之新竹一帶 (d 圖), 而後擴至桃園區 (e 圖), 並參見王 (1989) 之圖 5 - 3 b 與 5 - 4 b。

e. 地面層之噴流 (jet wind), 均出現於山角, 或中心過山後之台灣西南部。

2. 分裂過山颶風——參見本文所述 Betty, Louise 颶風。其觀念模式圖參見圖 42 a - c。包含參數同圖 40。由圖可見:

a. 颶風侵襲後其弱風尾流區, 同時見於山脈東西兩側如圖 a。山脈西側之副中心係在分流邊界層 (separated boundary layer) 中, 並參見王 (1989) 之圖 5 - 19 a - b。

b. 颶風中心接近山脈, 西側之分流邊界層區縮小 (圖 b)。

c. 本型颶風, 在一般情形副中心均獲發展。由弱風型 (wake type) 副中心轉為發展型 (developing type) 之主環流中心 (圖 c)。

d. 其噴流分布見各圖中附有箭頭之斷線, 均屬地形因素所造成。

3. 山脈東側沿山北上之颶風——又分兩類, 其一山脈西北側雖有副中心, 但未取代原颶風 (參見圖 34 之 Virginia 與圖 36 之 dinah)。另一類為山脈西北側之副中心取代山脈東側之主颶風。雖然主颶風中心並未撞山 (參見圖 35 之 Kate)。該兩類颶風之觀念模式圖各見圖 43 a - b 與圖 44 a - b。由該各圖可見:

a. 該兩類颶風第一階段型式均為相同。山脈東西兩側均可見弱風尾流區, 同為山脈迎風面之阻擋 (blocking) 及背風面之遮蔽 (sheltering) 效應之結果。本階段之圖亦同分裂過山颶風第一階段之圖 (圖 42 a)。

b. 在第二階段時, 兩颶風環流型式為分道揚

鐵。一為副中心消失(圖43 b)，另一為副中心增強取代原颱風中心(圖44 b)。增強時之副中心範圍已非為弱風區。

c、其噴流型式各見圖中附有箭頭之斷線。

4. 山脈西側沿山北上之颱風——此處僅有一類。可參見圖45 Thelma之圖，其模式圖見圖46。由圖可見：

a、於第一階段，在主中心之北均為弱風尾流區，副中心在尾流區內(圖a)。

b、於第二階段，主颱風中心已減弱消滅，副中心增強並取而代之(圖b)。

c、其噴流型式各見圖中附有箭頭之斷線。

(三) 侵台颱風強度變化特殊問題之二——山脈背風面副中心之發展取代原颱風

此為台灣颱風強度變化中最有興問題。有關副中心之生成與發展問題包括：

a、副中心在侵台颱風中扮演之角色——其重要性在將颱風環流不連續的蛻變至副中心中。

b、副中心如何生成——因其屬中尺度系統，其中心氣壓較低僅有三種可能：(a)氣流下沉增溫，(b)暖氣平流，或(c)凝結絕熱釋放(此係與 R.

Smith 討論，並為其觀點，因滿足流體靜力關係，氣壓低必須溫度較四周為高)。

c、副中心是如何發展與消失。

d、副中心之風場結構又如何。

有關此處所述問題，筆者於1980及1989之文中均曾有論文，此處係繼續其前之討論。

1. 副中心生成發展之例——1962年7月22~23日Kate颱風之例。參見圖47 a - c 所示之副中心所在地桃園探空曲線圖及圖38、39。由各圖可見：

a、22日12 Z 下沉作用最為明顯，最著在850 - 800 mb 層之間。同時由圖38 b 可見，800mb層相對濕度僅達45%。此時風之來向為東南，顯係由於越山氣流之結果。另外由圖39 Dinah 颱風該時 ΔT ，在750mb增高達3.6℃之多。與12小時之前相較，850mb增溫達3.6℃，800mb達3.4℃(圖38 a)，故顯見該副中心之生成係與氣流越山下沉增溫有關。並由該時之地面天氣詳圖(圖48 a)可見，在四圍地區地面風力均小，氣壓梯度亦小。同時

亦可見係在邊界層。(separated boundary layer)內。

b、至23日00 Z 時，顯見低層相對濕度已達飽和，下沉逆溫已完全消失。風力亦轉為西南，750mb層並到達50 kt (圖38 d)。再核驗該時之地面詳圖，該副中心已轉為主環流中心，地面氣壓梯度及風力均明顯增加。顯見已轉為動力性質。或稱「動力副中心」(dynamic secondary low)；而22日1200 Z 者或稱「熱力副中心」(thermal secondary low)。

故由此處討論可見副中心之發展乃為如何在結構上由「熱力副中心」轉為「動力副中心」的問題。中間牽涉有分流邊界層之消失。經核驗風力，分流邊界層內與分流氣流線(dividing streamline)以外颱風氣流間並無動量交換，故該熱力低壓均未見發展，且位置亦無顯變化，係處於準穩定狀態(quasi-steady state)。自22日04 Z 開始(該時該區開始有分流邊界層之形成，最著變化為台北區風力增大至20 kt 以上，而桃園新竹區一帶，風力仍在10 kt 以下)迄至20 Z 為止。另外核驗桃園逐時氣壓變化(參見圖49北部各地逐時天氣一覽圖)亦可見在熱力副低壓階段，氣壓變化均小，僅因颱風主中心趨近，而使氣壓緩慢下降。但於19 Z 以後新竹氣壓開始明顯下降，至23 Z 海峽沿岸各測站風力普遍增加，分流邊界層消失。原颱風氣流進入副中心至是成為「動力副低壓」，而後再成為颱風主環流中心，並伴隨原颱風中心之消失。

2. 正對中央山脈移行颱風在山脈背風面副中心生成與發展之例。

此處之例包括1961年Betty，1959年Louise，與1961年Sally(各見圖7、17及30)均為副中心增強取代原颱風之例。可發現，此三颱風在接近時之氣流進入角(incident angle)均大過70°(參見王，1989)，故中央山脈西側均有分流邊界層(separated boundary layer)之發展，其內之弱風尾流區(wake zone)並均出現副低壓。圖50 a - b 至52 a - b 各為該三颱風副中心在生成階段與發展階段之地面詳圖，

藉該各圖可見：

a、在山脈西側之分流邊界層中無論風力與氣壓梯度均小，其外並由分流氣流線（dividing streamline）與颱風主流場隔離。見各圖中之(a)圖均屬此類情形，並可見有副中心之存在。此處定義分流邊界層係風向不定，風力均在 10 kt 及以下。而分流氣流線以外為颱風繞山氣流，風速均在 15 kt 及以上。

b、核驗各副中心生成之時天氣詳圖，可發展山脈兩側相同緯度測站之氣壓差均甚大（在 5 至 10 mb 之間），迎風脊與背風槽之型式極著。該背風副中心之生成，颱風氣流越山可能亦扮演重要角色。

c、核驗各副中心發展之時天氣圖（各圖中 b 圖），可發現環繞副中心已有明顯環流，反觀生成時則反是。此處認為同前，對 Kate 颱風者之討論，與分流邊界層之破壞，颱風氣流與副中心間有動量交換（momentum transfer）有關。此可透過兩種過程已達成，即：(a)此時分流邊界層因颱風趨近，天氣圖形態漸變。副中心之南，風向由不定而漸轉西，再轉西南，形成明顯之氣旋式環流。該西南氣流出現似與中心漸近山脈及登陸，因而山脈西側，流場改變造成，(b)副中心發展之時，其位置變化甚緩，而使外圍氣旋式氣流進入低壓中心，導使該低壓之發展。

d、副中心發展之另一問題，是否原颱風過山後再向下發展，與副中心合併，因而增強。此處三例均未明顯支持此項觀點。例如：Betty 颱風之原中心仍續沿山脈東側向北移去（圖 7）。Louise 颱風主中心為偏北，Sally 颱風中心在恒春處移過，未過山脈。

(四)侵台颱風強度變化定量預報問題之一——風力中心強度定量預報

於筆者 1989 年文中，已分別就各類颱風，包括對山而行之自由過山，分裂過山颱風，及沿山而行之東側北上颱風與西側北上颱風之各地最大陣風（peak gust）與最大平均風（maximum sustained wind），均曾製圖作出其風力中心分布之定量分析（參見該文之圖 6-1 (a)至(i)及圖 6-2 (a)至(i)）。計最大陣風與最大平均風分布均各作 9 次之例之分

析。惟侵台颱風以過山型式不同，類別甚多。每類颱風仍嫌個案不足。無法就情形異同，作出分類分析，並進而求出有代表性之客觀預測圖，以下仍係為初步結論：

(1)首選山脈自由過山颱風——除中心所經處之外，風力主要中心有三。一在蘭嶼，一在彭佳嶼，一在海峽北部。其中，除海峽北部無測站可供核驗外，蘭嶼與彭佳嶼風力中心之風力強度略為中心所經風力強度之 80-100%（為 Elsie 與 Joan 強烈颱風之例）。

(2)分裂過山颱風——本類颱風與其移動方向密切相關，此處之例均為自東南方向接近中央山脈，故蘭嶼風力中心同颱風中心者。可發現蘭嶼風力中心特強，平均風均有超過 100 kt 以上者。例如：1961 年之 Betty（該文之圖 6-2 (c)）及 1969 年之 Iris（見該文之圖 6-2 (d)），此因颱風中心風力與風力山角效應（corner effect）同相之故。另外，可發現本類颱風彭佳嶼風力中心強度則頗小。其強度略為蘭嶼風力中心強度之二分之一。

(3)沿山脈東側北行颱風——略同上述分裂過山颱風。惟本類颱風為沿山北上，故彭佳嶼風力中心強度較強，可為蘭嶼中心風力強度之三分之二。另外可發現沿山而行颱風，台灣西南部亦有一風力次中心（見該文之圖 6-1 (g)及 6-2 (g)）。

(4)沿山脈西側北行颱風——略同東側北上者。惟台灣西南部之風力中心有最大強度。三中心比較，彭佳嶼者強度最小（見該文之圖 6-1 (h)與 6-2 (h)）。

(五)侵台颱風強度變化定量預報問題之二——颱風中心氣壓變化定量預報

以言侵台颱風或更確切言颱風過山強度變化預報，在過去所述三因子中（中心氣壓、中心最大風速、風力半徑）最適當之因子，自然應推颱風中心之氣壓為最佳及最有代表性（惟不若後兩者之與颱風破壞力及其影響範圍直接相關）。故本研究曾蒐集氣象局及空軍測站各颱風過境時最低氣壓值與出現時間之資料，並加以分析。目的則在求得颱風侵台時，中心過境之處之氣壓隨時間之變化，並進一步研究求出各類颱風過境時，中心氣壓之變化率，以

作為侵台颱風強度變化預報之參考。有關該項資料，此處特作有系統之整理，分為七類，各為颱風自東向西經過台灣北部（圖53），中部（又分兩類，即：自由過山，圖54；分裂過山，圖55），南部（圖56），巴士海峽（圖57），沿山脈北行（圖58）及轉向自西向東通過中央山脈（圖59）等。各類均取兩例，藉使彼此比較。並更進一步將此處所分析資料綜合成表3。以下則為根據上述各圖及表對侵台颱風，以中心氣壓變化所代表之強度變化，所作對預報應用上之討論。必須說明，此處係以台灣各測站所測得之氣壓值，外推或內插以求颱風中心之氣壓值，故必將有其誤差，但已別無其他選擇。

a、通過台灣中央山脈北段西行颱風——此處係以1980年8月之Norris與1960年7月Shirley颱風為代表，參見圖53 a - b。藉圖可見，中心氣壓之升高，略為4 mb / 每時。兩者均屬強烈颱風。

b、通過中央山脈中段自由過山颱風——此處係以1969年9月Elsie與1953年7月之Kit為代表，參見圖54 a - b。藉圖可見，過山前後中心氣壓升高略為8 - 10 mb / 每時。兩者均屬強烈颱風。

c、通過中央山脈中段分裂過山颱風——係以1961年5月Betty與1961年8月之June為代表，參見圖55 a - b。藉圖可見，氣壓變化為，無論強烈或中度颱風均轉為輕度颱風，則中心氣壓轉為在990mb以上。

d、經過中央山脈南段自由過山颱風——係以1975年9月之Betty與1982年7月之Andy颱風為代表，參見圖56 a - b。藉圖可見，氣壓變化以其略偏北（山脈較高）或偏南（山脈較低）有極大分別。偏南時，變化僅每時1 - 3 mb。偏北時，則甚大（見Andy颱風）。該兩者均屬強烈颱風。

e、自巴士海峽向西北移行颱風——係以1952年11月Bess與1987年7月Gerald兩強烈颱風為例。由圖57 a - b可見，兩颱風均經過澎湖附近。比較恆春與澎湖之氣壓變化，一為33mb，一為21mb。均略相當於強烈轉中度、或中度轉輕度颱風。因類此路徑颱風，雖中心未登陸，但其環流仍強烈受到山脈之影響。

f、自中央山脈東西兩側北上颱風——各以1965年6月Dinah（東側北上）與1977年7月Thelma（西側北上）颱風為例。由圖58 a - b可見，兩颱風之強度均由強烈轉為輕度。平均約升高7 - 8mb / 每時。類此路徑颱風受山脈影響時間最長，故其強度變化至劇。

g、自西向東通過中央山脈颱風——係以1949年7月Irma與1986年8月Wayne颱風為例。由圖59 a - b可見，如穿過山脈中部，任何強度颱風均轉為輕度（如：Wayne由澎湖951.3mb轉為蘇澳992.3mb。如經南部山區再轉東北向移動亦然。

以上已就7類颱風受中央山脈影響之強度變化，經作初步之定量變化討論，相信該項結論可供侵台颱風強度變化預報之參考。另此處並就對此項氣壓變化調查，較重要颱風個案資料輯如表3。計共28次颱風，且主要均屬中心最大風速達100kt以上之強烈級颱風（較弱颱風僅列少數個案，因不重要）。表中資料包括：中心強度、路徑分類（可參見王，1980，其中第一號碼2表中心過北部；3，中部；4，南部。又A為自由過山，B、C為分裂過山），過山前後氣壓變化及氣壓變化率。藉供颱風預報及進一步研究之參考。

四、問題及結論

侵台颱風強度變化分析及定量預報牽涉甚多問題。首先此處定義之所謂颱風強度即根據：(a)中心氣壓值、(b)中心最大風速值及(c)大風半徑值，在台灣均有其特殊意義。因中央山脈之存在，對颱風的回應（response）極其敏感。甚多侵台颱風預報失敗，則因未能了解該項「回應」所造成。此處所用颱風資料，幾乎包括了政府遷台以來1949年（因自該年開始大量空軍氣象測站參與觀測）開始，迄至1987年之重要侵台颱風。因為此項問題，均脫離不了中央山脈影響，故勢需作不同颱風路徑之分類研究，否則殊無意義可言。故此處對本問題研究係分兩大類進行，即第一類為通過中央山脈西進，或轉向後通過山脈之颱風，第二類為沿中央山脈東側或西側北上之颱風。過去研究（作者，1954，1963，1980，1989）發現無論越山或沿山而行

表3 本研究中藉作颶風過山氣壓強度變化分析之各颶風資料一覽表。

年	月	日	名稱	中心風速 (kts)	編號	分類	過山前後氣壓 (mb) 變化
1949	7	27-29	IRMA	80	1	93A	970-977 7/2h
1949	9	13-15	NELLY	120	2	32A	959-979 20/2
1952	11	13-14	BESS	125	17	71B	962-978 16/5
1953	7	3- 4	KIT	110	20	31A	954-972 18/3h
1957	6	24-26	VIRGINIA	130	38	610	956-997 41/15
1958	7	14-16	WINNIE	130	41	31A	963-972 9/3h
1959	8	29-31	JOAN	140	45	32A	940-960 20/2h
1959	9	3- 4	LOUISE	110	46	22C	978-985 7/3h
1960	7	30-01	SHIRLEY	125	50	22B	969-986 17/8h
1961	5	25-28	BETTY	120	54	32B	966-992 2h/1h
1961	8	6- 8	JUNE	150	57	32B	986-1000 14/17h
1962	7	21-23	KATE	70	61	61B	971-986 15/13h
1965	6	17-19	DINAH	130	74	610	955-999 /5
1969	9	26-27	ELSIE	110	92	31A	944-965 21/4h
1971	9	21-23	BESS	120	101	21A	955-965 10/1h
1974	9	23-30	WENDY	(60)	109	21A	993-996 3/6h
1975	8	1- 4	NINA	105	110	22A	945-979 34/5h
1975	9	21-23	BETTY	95	111	41A	953-972 19/2h
1976	8	7-11	BILLIE	90	114	21A	955-965 10/3h
1977	7	24-26	THELMA	80	116	71B	954-988 34/4h
1980	8	20-28	NORRIS	90	129	21A	961-980 19/5h
1980	9	14-19	PERCY	115	130	510	
1981	6	12-15	IKE	65	132	93A	972-978 6/4
1981	6	19-22	JUNE	50	133	21B	968-988 20/2h
1982	7	27-30	ANDY	105	138	41A	937-963 /2
1982	8	14-15	DOT	60	140	42A	989-991 2/1h
1986	8	21-22 24-25 29-30	WAYNE		159	9X	963-992 29/7h
1987	7	8-10	GERALD		164	510	958-972 14/14

之颶風，均有自由通過及分裂通過之問題，顯然在研究其強度變化時，應分開處理。本研究則依據此一理念執行。在過去研究中，主要均以地面圖資料為主，但顯然討論颶風過山時強度變化，高空資料轉為極端重要。分析颶風路徑變化，主要為依賴地面圖資料。台灣地面氣象站不下五十處之多，故對

侵台颶風路徑變化可無所遁形。但對颶風強度變化言，可允許三度空間的不同，譬如說，地面最大風減弱，說不定却調整至地面層上之任一層。故對探空資料之分析，為所必需。在過去台灣僅有四探空站，且東部均無，但至少西部尚稱可以。因颶風強度變化最大，係在過山之後也。此處係敘述侵台颶

風強度研究之有關問題，以下最簡單對本研究作一總結。

基於以上之考慮，本研究係分五部份，分別各為：

(一)利用探空及地面資料對各型侵台颱風強度及環流變化之三維分析。重點係置於(a)最大風中心因山脈造成之三維變化，(b)副中心發展取代原颱風中心情形下環流場變化。基於(b)之考慮，此處取樣儘量以副中心之發展靠近有探空站之地為主。幾乎五次分裂中心取代原颱風之例，均為如此。該五例各為：1959年之Louise，1961年之Betty，1960年之Agnes，1961年之Sally（以上四例為西向接近中央山脈之者），及1962年之Kate（沿山北行颱風副中心發展之例），因此故可得較過去研究之進一步認識。因文中均為摘要性討論，故不再贅述。

(二)侵台颱風強度變化問題之一一因山脈影響颱風風場回應，亦即風場重分布問題，此在筆者1989年文中已作研究。故此處着重觀念模式（conceptual models）之建立。該項模式計包括：(a)自由過山，(b)分裂過山，(c)沿山東側北行，(d)沿山東側北行中心分裂，副中心增強取代原颱風，(e)沿山西側北行，副中心取代原颱風等五類。該各風場模式所用參數為：(a)地形性噴流，(b)弱風尾流區（wake zone），(c)中心運動。主文均屬條列式之結論，不另贅述。

(三)侵台颱風強度變化問題之二一副中心的生成與發展之問題。提出：在生成時屬「熱力副中心」（thermal low）性質，發展時則屬「動力副中心」（dynamic low），其發展關鍵在副中心南側顯著西南流之出現，及副中心與颱風氣流間動量傳輸（momentum transfer）。並指出副中心生成與分層邊界層（separated boundary layer）間之依存關係。氣流過山下沉亦扮演副中心生成之重要角色，並作各個例間之比較研究。

(四)侵台颱風強度變化定量預警問題之一一颱風中心過山各地形性大風中心強度變化定量預報。有關於此，筆者已於1989年之文中，加以研究。此處

為對各類颱風除與中心相連大風區以外，作出有關地形性大風中心出現之認定。例如對山而行與沿山而行之地形性大風區中心位置遠為不同。分裂過山與自由過山者亦然。各地形性大風中心強度相對於颱風中心最大風強度定量關係，經作初步認定（係以百分數表出），將有助於進一步研究與預報應用。

(五)侵台颱風強度變化定量預警問題之二一颱風中心過山中心氣壓變化定量預報。此處經就侵台28次重要颱風（極大部分均屬強烈級颱風）個例，作出台灣所有氣象局測站及部分空軍測站之最低氣壓值及其出現時間圖，並分為七類加以分析。各為：(a)通過山脈北段颱風，(b)通過山脈中段且為自由過山颱風，(c)山脈中段分裂過山颱風，(d)山脈南段過山颱風，(e)巴士海峽西北行颱風，(f)沿山脈兩側北行颱風，及(g)轉向後自西向東過山颱風。其過山前後之氣壓變化關係均經作出。最重要結論有二：一為凡分裂過山及沿山脈兩側北行颱風，無論其強度原始值為何，最後均轉為輕度颱風。而自由過山颱風，則視其過山時間久暫及過山部位而定。其平均之氣壓升高率已經初步求出。相信將有助於過台颱風強度變化預警問題之解決。

參考文獻

- 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，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，1989：台灣颱風風力特性及其預報研究，行政院防災科技研究報告，76-28號。
- 曲克恭，1977：中央山脈對颱風影響之分析研究。氣象預報與分析，第七十二期。
- 徐應璽、王時鼎，1960：台灣近海颱風預報問題。氣象預報與分析，第二期。

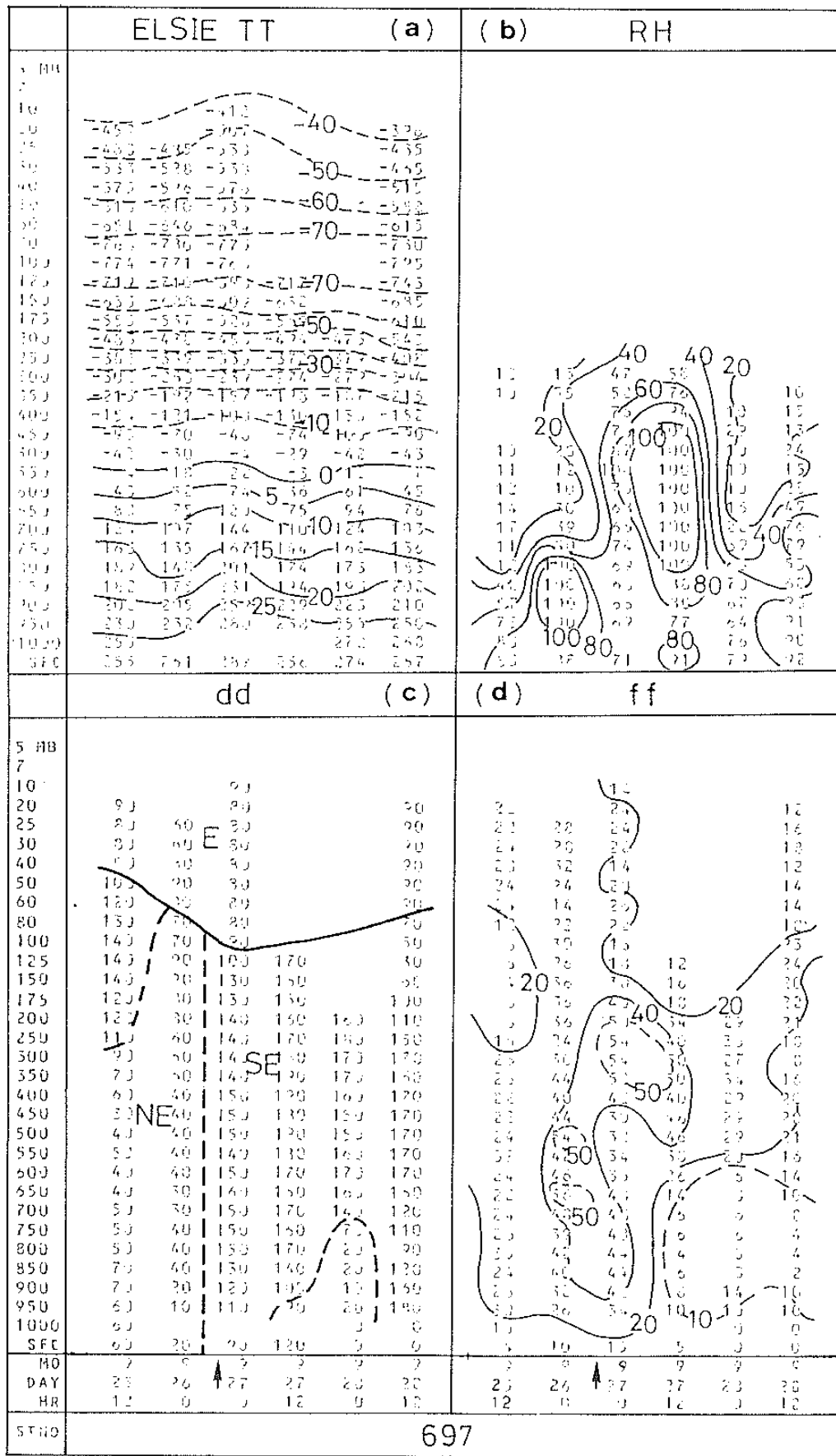


圖5 1969年9月Elsie颶風過境時桃園各等壓面資料時間剖面圖。(a)氣溫(°C)，(b)相對濕度(%)，(c)風向，(d)風速(kt)。

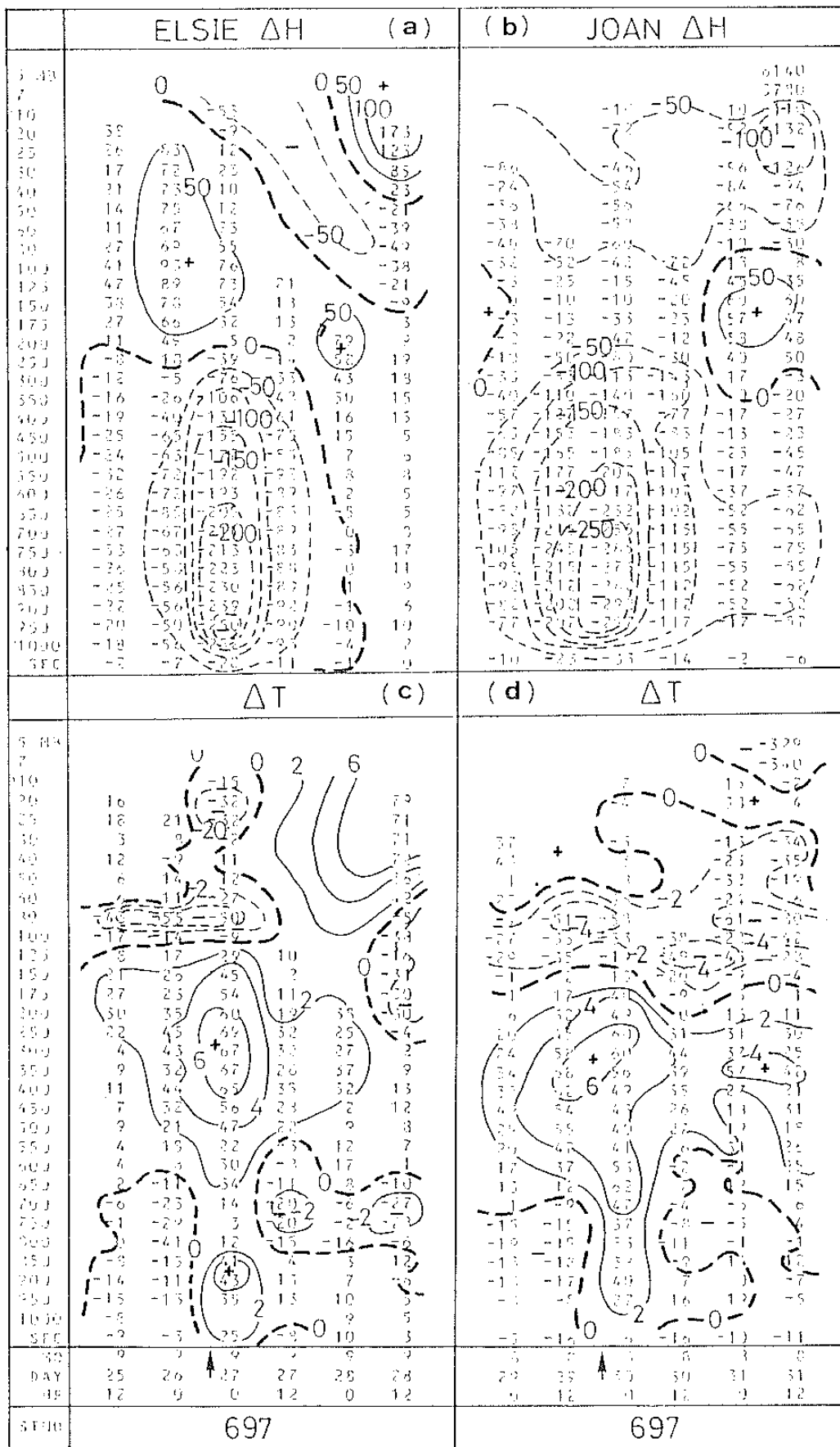
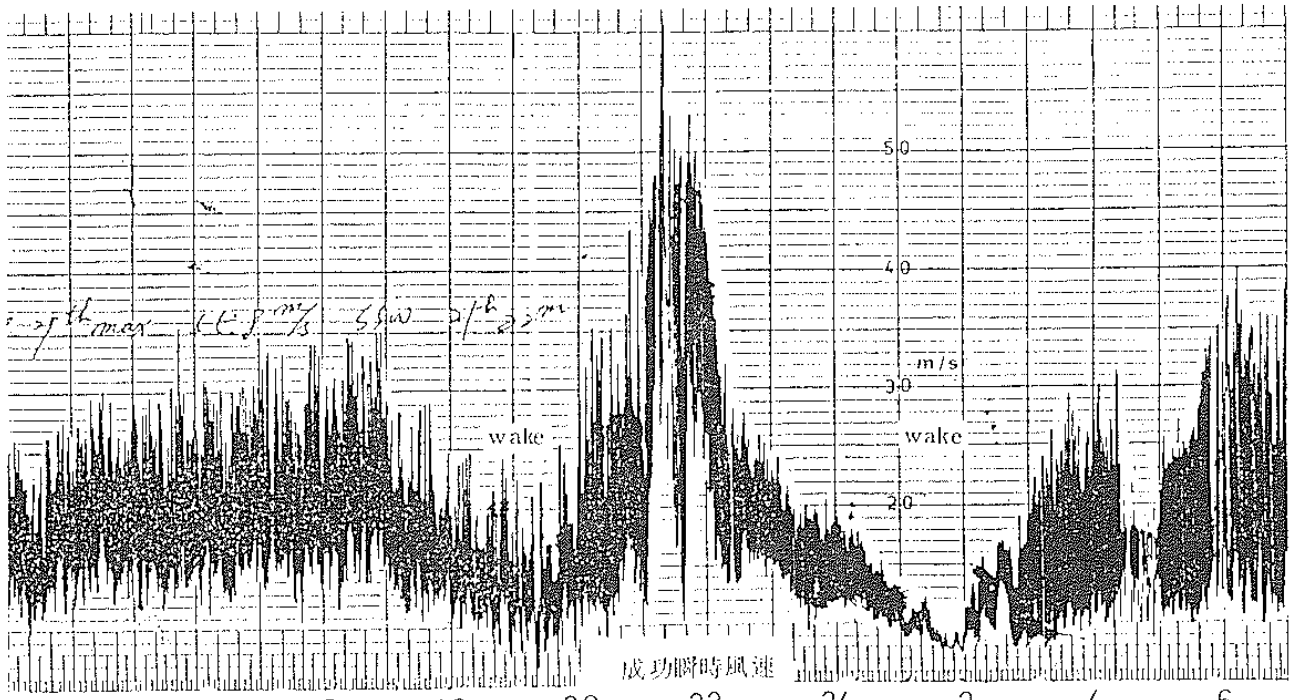
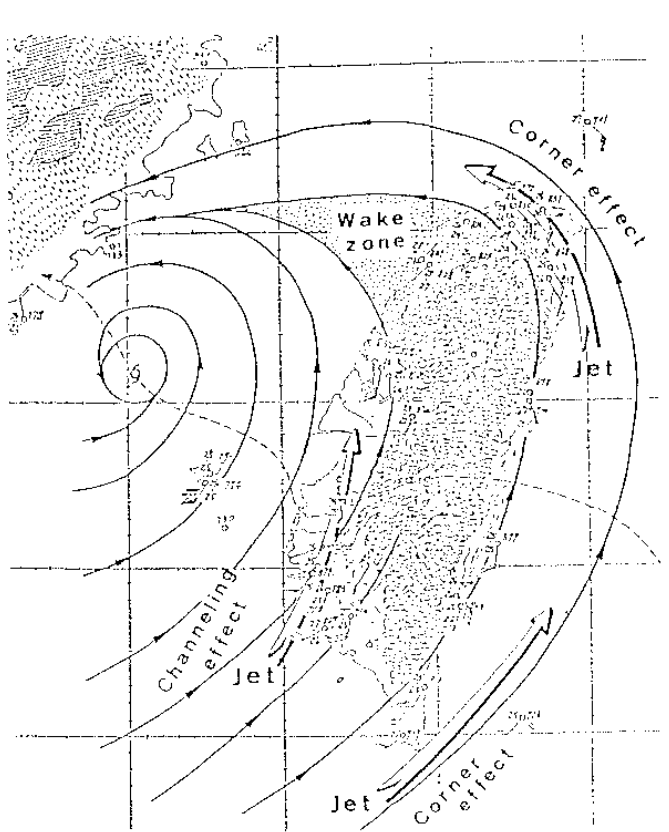


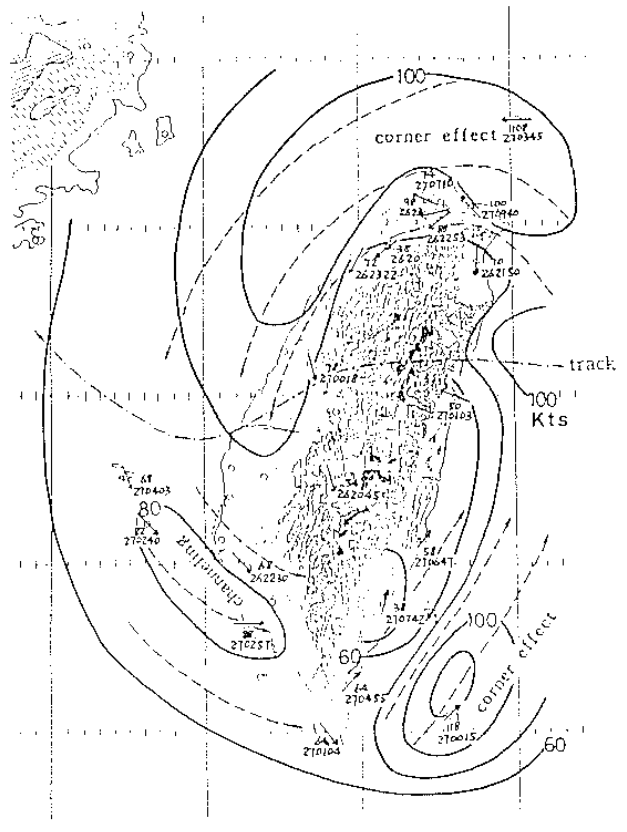
圖 6 1969 年 Elsie 與 1959 年 Joan 颶風過台時，桃園 (697) 各等壓面高度值 (H) 與颶風未侵襲前三天高度平均值 (\bar{H}) 間距平值 ΔH ($H - \bar{H}$) 及溫度距平值 ΔT ($T - \bar{T}$) 時間剖面圖。(a)、(b) 為兩颶風之 ΔH ，(c)、(d) 為 ΔT 。



1959年8月29日 Joan 颶風自成功以北登陸過山時，(a)成功瞬時風速自記紀錄，示氣流受 sheltering 效應造成弱風 wake 區



1959年8月30日10時(L)自由過山 Joan 颶風過境時之流場變化。



1969年9月自由過山之 Elsie 颶風侵襲時，臺灣地區最大陣風分布圖。

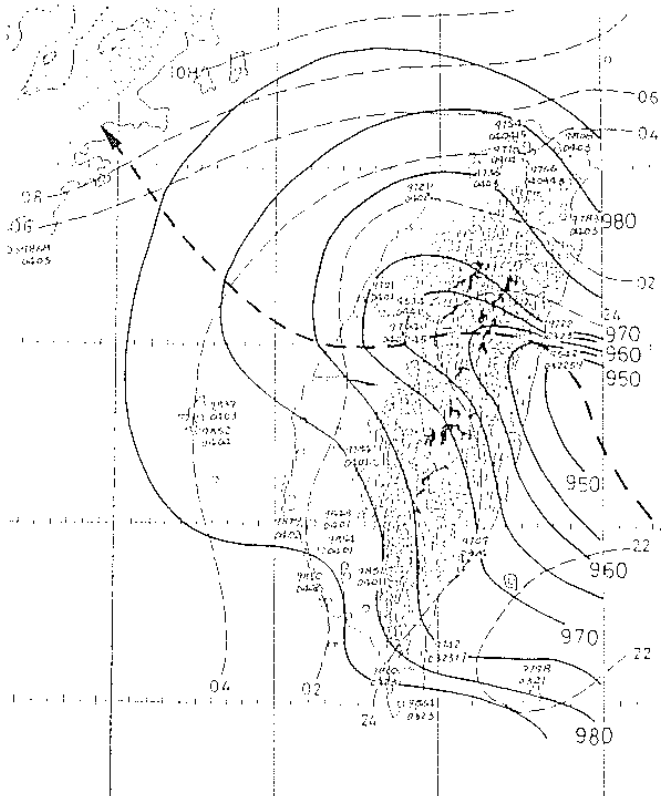


圖54 通過中央山脈中段颶風，相對於颶風中心氣壓變化分布圖——1969年9月Elsie之例。

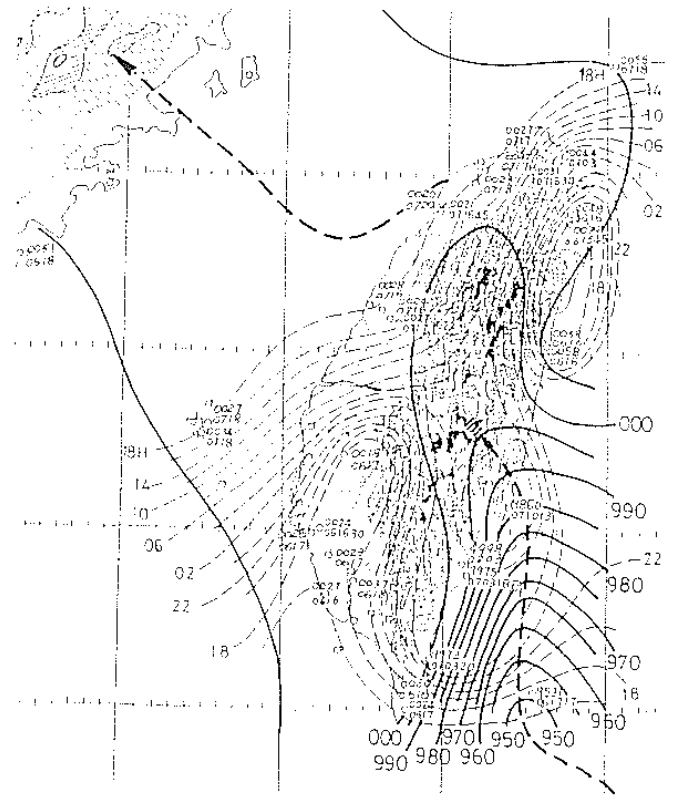


圖55 通過中央山脈中段之分裂颶風，相對於颶風中心氣壓變化分布圖——1961年8月June之例。

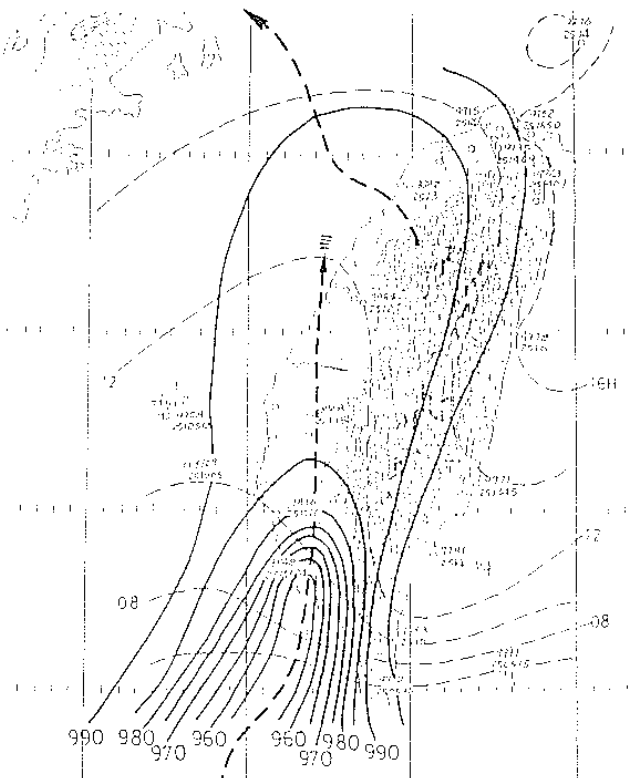


圖58 沿中央山脈東西兩側北上颶風，相對於颶風中心氣壓變化分布圖——1977年7月The Irma之例。

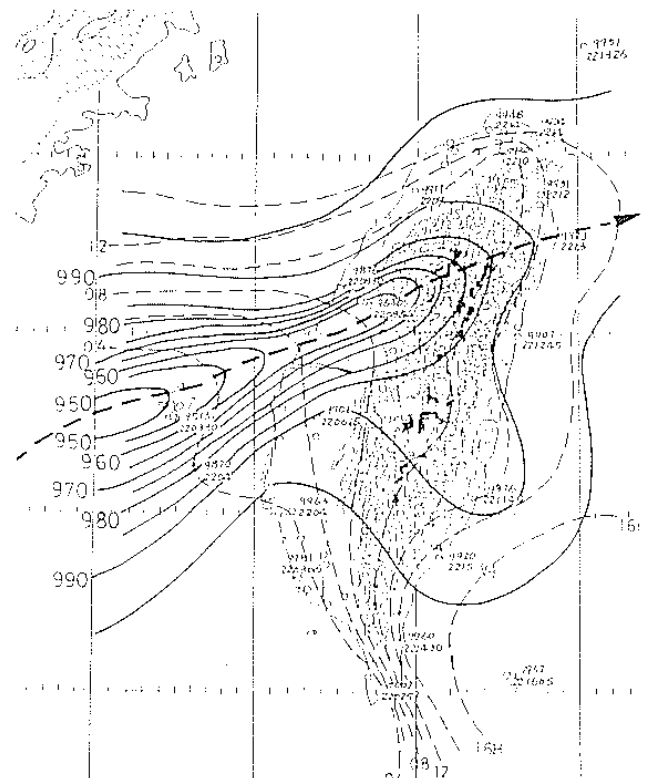


圖59 自西方東移通過中央山脈颶風，相對於颶風中心氣壓變化分布圖——1986年8月Wayne之例。