

颱風接近中央山脈時之路徑分析與預報

王時鼎 葉文欽 張儀峯

Analysis and Forecasting of tracks of Typhoons encountering the Central Mountain Range in Taiwan

Shih-Ting Wang Wen-Chin Yeh I-Fong Chang

ABSTRACT

24 different typhoon tracks were grouped for forecasting purpose. Furthermore we attempted to explain the actual changes of typhoon tracks with the following arguments, i.e., (a) the flow around a circular cylinder with circulation, (b) the flow past an inclined plate and elliptic cylinder, (c) laboratory simulations with a free vortex encountering the orographical model of Taiwan. Concerning the forecast method we have worked out: (a) the relationship between the change of the typhoon's circulations and that of their tracks, (b) the frequency diagram for the direction of motion of typhoon in an area 1 deg. latitude by 1 deg. longitude, (c) objective forecast method for the speed of typhoon in the vicinity of Taiwan, (d) exploration of unusual changes of typhoon tracks.

前言

本研究係為國科會支援之空軍氣象中心研究報告第18號「台灣近海颱風運動及強度預報法」研究之第四部份。第一部份為「颱風移近台灣中央山脈時環流及路徑變化實例討論」，第二部份為「論台灣區域颱風環流及路徑變形中副中心所佔之地位」，第三部份為「颱風移近中央山脈時環流變形預報及實驗結果之引證」，第四部份則為本專題，第五部份為「颱風移近中央山脈時強度之分析預報」。

有關本問題，作者之一已可謂探索達二十餘年（王時鼎，1954；王時鼎、徐應環，1960；王時鼎，1963）。而本文係承繼過去各研究，主要為根據氣象中心所建立，1949至1970年之101次颱風分析，及後自1971至1979年止之另外19次侵台颱風資料，所作對台灣颱風甚為完整研究。而本篇為上述原研究報告中有關侵台颱風路徑分析與預報部份。

(-)由實例所示颱風接近山脈時之路徑模式

由於路徑變化，實際係隱含於環流變化之中，且由於副中心可以取代颱風之事實，兼之山脈西側之三處副中心 L_1 , L_2 , L_3 均可取代原颱風中心（見副中心討論部份）。故實際颱風路徑變化極為複雜。以下所歸類之颱風路徑模式，主要均為上經已引述者。

(1)走向與山脈相交之颱風

同上述有關環流變化之討論，其路徑變化型式計可分為四類，即：

(a)颱風自由過山A型類——其路徑模式參見圖5-1a。而實際之例參見上述及之圖2-1a。其路徑變化最主要之特徵為，於接近山脈時，路徑偏北，

過山後偏南，及後約移至海峽中部後又回復原來走向。其中又視走向不同，而略有出入。即移入角 γ 小時，其「轉折區」較小（圖5-1a），移入角 γ 大時，其「轉折區」亦較大（圖5-1b）。此項事實前筆者等（徐、王，1960）分析逐時路徑圖時，經已發現。及後在中研院模型實驗中亦加證實（Hwang, Pao, Wang, 1977）。以上為經過臺東以北，且原始為具有西北方向分量之颱風路徑型式（參見圖2-1a）。又如颱風在臺東以南西移時，則似無此彎曲現象（參見圖5-1c及圖2-1x 1956年 Gilda 之例）。另外，如颱風走向原自西向東。即過山時，路徑彎曲又為不同，即來時偏東，過山後偏北，而如圖5-1d所示）。

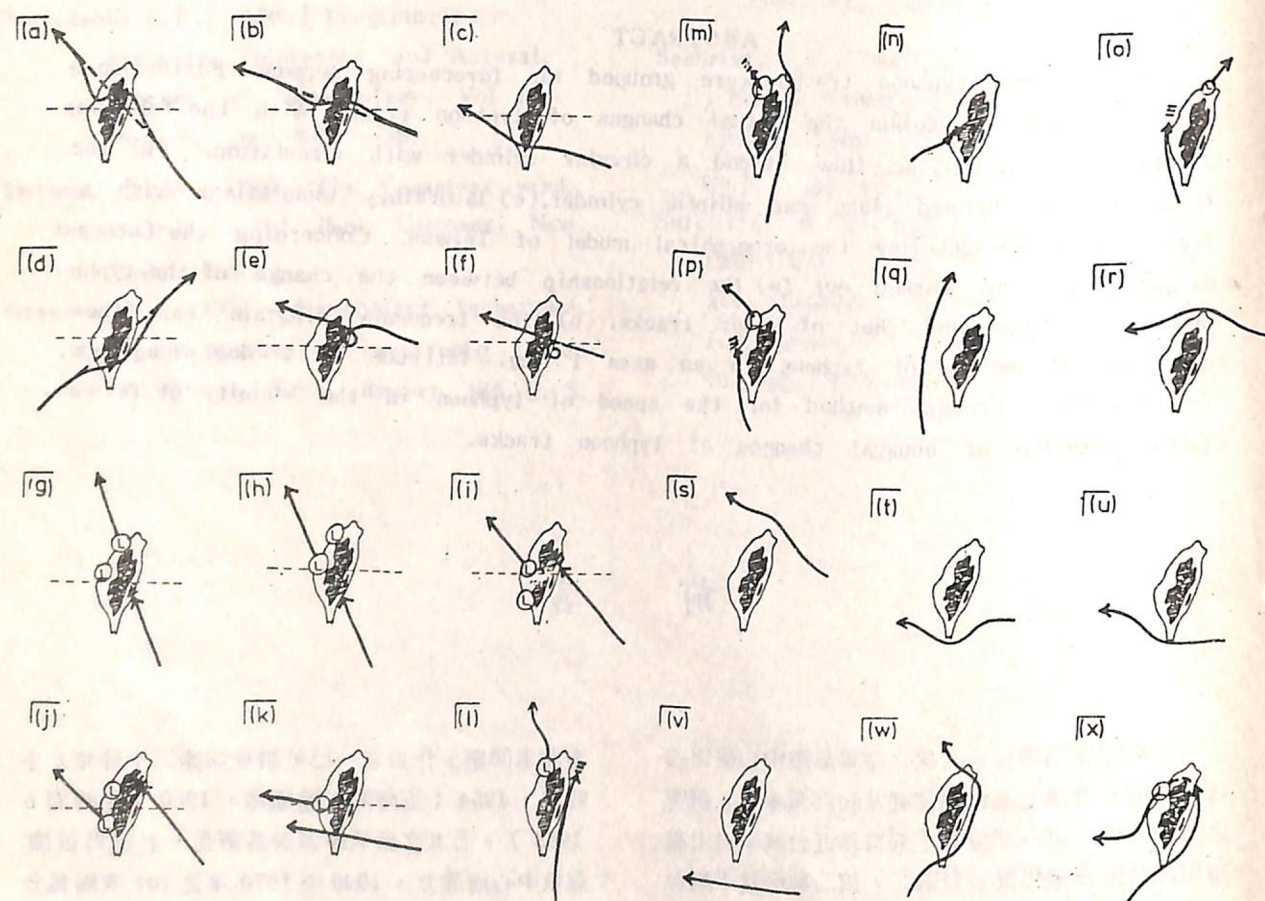


圖 5-1 侵襲台灣各類颱風之路徑模式圖。其中，圖a-d.自由過山A型。圖e.自由過山B型。圖f.自由過山C型。圖g-h.分裂過山A型。圖i-j.分裂過山B型。圖k.分裂過山C型。圖l.沿山脈東側北上颱風路徑不連續型。圖m.沿山脈東側北上颱風路徑連續型。圖n.過山時消失型。圖o-p.西側北上路徑不連續型。圖q.西側北上連續型。圖r-s.山脈北側西進彎曲型。圖t-u.山脈南側西進彎曲型。圖v.不彎曲型。圖w-x.繞山型

Fig. 5-1. Schematic models of track of typhoons in Taiwan.

(b)颱風自由過山B型類——其路徑型式見圖5-1d。實際之例見圖2-1b。本類路徑基本上同A類。所不同者為於過山前，中心在山脈東側沿山盤旋並打轉，如上述環流變化討論之例之Mary（圖2-3）及 Shirley（圖2-4）。該兩颱風之前路均無山脈阻擋，但最後仍沿山南行，並打轉而後過山。

(c)颱風自由過山C型類——其路徑模式見圖5-1f。其實際路徑圖參見圖2-1c。與B型不同者為，颱風上下層斷裂。上層者過山，下層者在山脈東側盤旋。

(d)颱風分裂過山A型類——其路徑模式見圖5-1g及k。其實際路徑圖參見圖2-1d。本類路徑最大特徵，為過山時呈不連續現象，即主中心在山脈東側趨於消失，山脈西側原已存在之副中心轉為颱風環流之旋轉中心，並循原走向移去。本類颱風視究為北部副中心 L_1 或中部之副中心 L_2 ，取代原颱風，又可分為二類。各見圖5-1g及5-1h。

(e)颱風分裂過山B型類——其路徑模式見圖5-1i與j。其實際路徑圖參見圖2-1e。本類路徑基本上同分裂過山A型，其路徑在過山時係呈不連續現象。惟過山之後所取代之副中心，其相對位置係在主颱風之南，且其路徑於山脈西側有明顯向南移動現象。本類颱風又視究以中部附近之副中心 L_2 ，或南部附近之副中心 L_3 ，取代原颱風，而分為兩類，各如圖5-1i與圖5-1j。其環流變化實例各見圖2-8, 2-9, 2-10。

(f)颱風分裂過山C型類——其路徑模式見圖5-1k。其實際路徑圖參見圖2-1f。其特徵為，雖副中心已成颱風環流之旋轉中心或稱重心。但原颱風仍久久均不消失，如圖2-11之Iris颱風。或竟亦過山，而在山脈同（西）側，呈「雙颱風」型，如圖2-12所示Sally颱風之例。

(2)南北向沿山北行之颱風

(a)颱風沿山脈東側北上型類——計可分為兩類，各如圖5-1l與m。其一，同分裂過山型。副中心取代主中心，並有繞山現象。另一，雖亦有副中心發展，但最後副中心消滅，惟全部路徑亦有繞山現象。其實例各見圖2-1g與k。其天氣圖型式則參見圖4-6與4-7，之Kate及Virginia颱風之例。

(b)颱風沿山脈西側北上型類——視其距山位置及導流計略可分為三類。第一類：見模式5-1q，最佳之例為Bess颱風（1952）。第二類：見圖5-1p，最佳之例為Thelma颱風（1977）（參見圖4-8，及水工實驗圖4-5）。以上兩類均為副中

心取代主中心者。另第三類為路徑不受影響，見圖5-1q，其實例見圖2-1h中之Moslia及Ruth颱風。

(3)在山脈南北方西行之颱風

(a)在山脈北方近海西移者——其模式圖各見圖5-1r與s。大略言均有圍繞山脈之趨勢。即：當自東方移近時，移向將見偏北，並繞過臺灣。見圖5-1r，實例見圖2-1e之Grace（1959）。其路徑甚接近陸地時，當移至基隆附近，移向每見偏南，見圖5-1s。實例各見圖2-1i所示之Billie（1976），Trix（1960），及Vera（1977）等。其中Vera颱風侵襲基隆港，為我們印象最深刻者。

(b)在山脈南方近海西移者——此可明顯分為受地形影響彎曲（避過山脈）及非彎曲兩類。彎曲者見圖5-1t與u，其實例見圖2-1j所示之Joan（1973）與Gordon（1979）等。無彎曲者，見模式圖5-1v，最著實例為Hope（1979），見圖2-1j。

(4)繞山運行之颱風

其實例有Wendy（1974），沿山約繞四分之三之邊。Elaine（1960），繞山脈幾近一週。均見圖2-1k之路徑圖。另上經引述之Kate（1962），見圖4-6，亦幾近沿山繞四分之三之邊。另其路徑模式圖則各見圖5-1w及x。

(-)影響臺灣區域颱風路徑變形之因素

由上實例及歸納之路徑模式討論，可見由於中央山脈及臺灣海峽與巴士海峽之存在，而使颱風路徑遭受極端錯綜複雜變化。除路徑彎曲外，並有路徑連續與不連續問題。因此亦直接影響颱風強度之變化。顯然，臺灣區域此項颱風路徑之複雜變化，必須由地形因素對其影響以討論之，茲分述如下：下述為其分析：

(1)旋轉流體之二維效應或稱 Taylor-Proudman theorem

即於具有明顯旋轉流場中，流動越過一障礙物主要為二維者。亦即流場不隨高度而變。故在下層言，氣流繞山效應（水平運動）大於氣流之越山效應。此項效應並不隨高度變化。在應用於實際臺灣情形，為颱風氣流及原來之導引氣流主要為「繞山」而非「爬山」。故基本上颱風移近中央山脈流場變化可視為以下所述之問題——即沿圓柱具有氣旋式環流與非旋流場（導流）複合之問題。

(2)二維無黏性非旋流動過一具有氣旋式旋轉圓柱流場之模擬

以下之討論係根據二維非旋氣流(two-dimen-

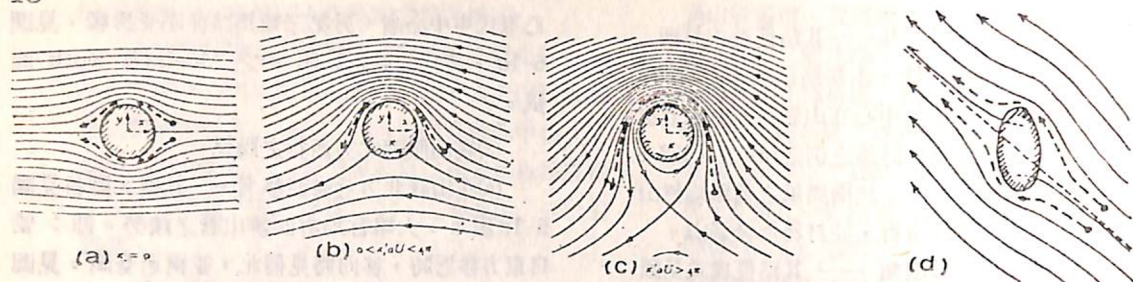


圖 5-2 (a)-(c) 為二維非旋流體過一具有氣旋式旋轉圓柱之流場模式。(a) $K=0$ 時, (b) $0 < \frac{K}{aU} < 4\pi$ 時, (c) $\frac{K}{aU} > 4\pi$ 時。(d) 平直而無環流氣流通過橢圓柱體之流線圖, 此時氣流與長軸之交角為 135° , 亦即前述之 α 角。(e) 流動以 135° 角度 (α 角) 繞過平板時之流線圖。各圖中之點線示颱風 (點渦旋) 之路徑。斷線表點渦旋之運動, 係筆者增繪。(Batchelor 1970)

Fig. 5-2. (a)-(c). Streamline for irrotational flow due to a circular cylinder held in a stream of uniform velocity $(-U, 0)$ at infinity, with circulation K round the cylinder (From Batchelor 1970). (d) for an elliptic cylinder held in a stream with $K=0$, $\gamma=135^\circ$. (e) for a flat plate in a stream with $K=0$, $\gamma=135^\circ$.

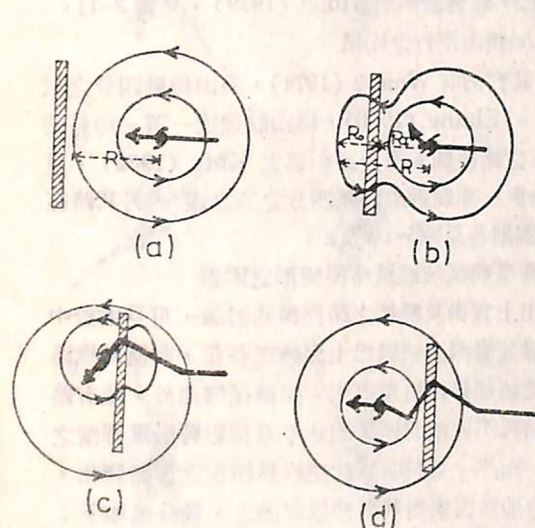


圖 5-3 颱風過山環流變形 (不對稱風場) 與路徑變形之關係模式圖。a 颱風接近山脈時, 假定其路徑為向西。b 颱風移近山脈外圈半徑 (R_0) 部份已受山脈影響時, 颱風移向轉而北偏。c 颱風過山後, 移向偏南時, 此時受西側 R_0 部份氣流導引, 並移向其幾何中心。d 颱風中心與幾何中心一致時, 路徑回復正常。

Fig. 5-3. Influence of the circulation of a Typhoon on the distortion of its track when it approaches a barrier.

sional irrotational flow) 經過一具有反鐘向旋轉環流之圓柱 (a cylinder with anti-clockwise circulation) 所造成之流場變化為基礎, 以比較實際中央山脈流場之變化, 並進一步對颱風移動之影響。因二維非旋氣流, 可視為颱風之導流。而在颱風接近中央山脈時, 並加入氣旋式 (反鐘向) 流場, 而圓柱此處係為一障礙物, 亦即氣流之內在邊界 (inner boundary), 在實際情形為中央山脈。故實際此時之流場為非旋之導流場與氣旋式環流之複合。以下所述為此項流場之主要特徵, 基本上為根據 Batchelor (1970) 者。

(a) 如 $K=0$ (圓柱無轉動), 此處 $K=2\pi a^2 \Omega$ 表圓形氣旋式環流, 且 Re 甚小 ($Re = \frac{UL}{\nu}$, 雷諾數) 時, 氣流過一圓柱之流場有如圖 5-2a。流動對稱於圓柱, 停滯點 (stagnation point) 係在沿 X 軸之圓柱面上。

(b) 如 $K \neq 0$, 即如圖 5-2b, 兩停滯點向南位變, 主要氣流均為自北方繞過圓柱。亦即在山脈東側氣流偏北, 山脈西側氣流偏南, 圖 5-2b 為 $0 < K/aU < 4\pi$ 時之情形 (符號意義, $K=2\pi a^2 \Omega$, Ω 為轉動角速度, a 為圓柱半徑, U 為導流)。

(c) 當 $K/aU > 4\pi$, 亦即 $\frac{a\Omega}{U} > 2$ 時, 其流場轉變為如圖 5-2c 所示。沿圓柱上, 已無停滯點。其流場已顯示為繞圓柱作氣旋式旋轉, 惟顯然越過北側氣流遠大過南側之氣流。

(d) 因北側氣流遠大於南側氣流, 由 Bernoulli's theorem, 可得該圓柱將遭受一側力 (side force), 亦即 Magnus 效應。側力方向與氣流垂直。其大小為 $F_y = \rho UK$, 亦即導流 (U) 愈大及環流 (K) 愈強時, 向北之側力亦愈大 (此處 ρ 為流體之密度)。用於颱風時, 則向北之加速度將愈大。

(3) 二維非旋流動過一橢圓體及平板時之流場

如圓柱體改為橢圓體或平板, 即更接近中央山脈之情形, 圖 5-2d 為平直而無環流氣流通過橢圓柱體之流線圖, 氣流線移向角度為 135° 。圖 5-2e 為氣流以相同角度繞過平板時之情形。注意該兩圖, 障礙物兩側之停滯點, 均非在其連線上。該線亦可稱分界氣流線。在迎風面該線偏南, 在背風面偏北。且此時, 可見迎風面之氣流主要均流過山脈之北緣。

(4) 「自由渦旋」過一障礙物時流場變化之實驗模擬

此可自中研院物理所為之作之模型試驗得之。詳見圖 4-1 與 4-2。其過程為:

(a) 最初階段, 此可參見圖 4-1a 至 c。由圖可見一自由渦旋首遇山脈 (內在邊界, inner boundary) 時, 旋轉環流係分二部份。外圈部份係繞山脈旋轉, 內圈部份即繞中心旋轉。愈見接近, 外圈部份之寬度愈大。

(b) 當中心接近山脈時, 其變化略可分:

(i) 當 $\alpha \geq 20^\circ$, 而 $\gamma \geq 120^\circ$ 時, 內圈半徑 R 趨近於零, 颱風旋轉氣流均繞內在邊界 (inner boundary) 旋轉, 而後逐步而過, 見圖 4-1d 至 e。實例見圖 2-2 所示 Joan 颱風之例。

(ii) 當 $\alpha > 20^\circ$ 及 $160^\circ \geq \gamma \geq 120^\circ$ 時, 颱風旋轉氣流係以背風面尾流副中心為旋轉中心 (center of rotation)。尾流副中心隨導引氣流以俱移。當移出山脈影響區後, 尾流副中心自颱風環流獲得動量而增強 (見圖 4-2c 至 g)。

(iii) 當 $160^\circ < \gamma < 180^\circ$ 時, 此時視中心距山脈距離而定。如中心距山脈之距離恰可使其內圈氣流未被破壞, 即中心將沿山而行。最後並將受外圈環流影響, 有繞山之勢 (參見圖 4-4)。另外, 如中心距山脈距離甚近, 即可見內圈氣流之動量亦為外圈者所吸收。最後同上述 (ii), 颱風環流將以背風面之副中心為旋轉中心, 副中心並隨之增強 (參見實驗圖 4-3)。

(iv) 上述以副中心為旋轉中心係自由渦旋首遇障礙物時之一項特殊現象。該項結果, 而使原颱風

中心於過山時, 自然趨於消滅, 為副中心取代, 而造成中心路徑之「不連續」現象 (參見圖 4-2, 4-3)。

(v) 當 $R_0 \geq R_1$ 時, 颱風環流 (指 R_1 部份) 除受導引氣流影響外, 顯將受 R_0 部份之氣流影響。此時 R_0 部份之有效流場 (指颱風東側者) 為偏北, 故颱風中心在未消失或過山前將向北偏向。且並可見愈近山脈, 偏向愈甚。

(5) 路徑變形因素分析與颱風路徑模式之近似

由上討論, 如視颱風為點渦旋 (point vortex) (因實際模型實驗, 颱風愈近山脈, 其渦旋範圍愈小, 大部份旋流已繞過山脈), 如此即可視點渦旋, 係隨其受有地形影響之氣流移動, 而各如圖 5-2 中點線所示。顯示各圖型式均與上所述圖 5-1 各模式圖甚相一致。即:

1. 自上繞過者, 如圖 5-1 中之 (E)。

2. 自下繞過者, 如圖 5-1 中之 (F)。

以上似宜於小颱風, 即接近圖 5-2a 中 $K=0$ 時之情形。

3. 颱風接近山脈時移向偏北, 過山後移向偏南, 如圖 5-1a 與 b。

4. 颱風有圍繞障礙物沿山旋轉情形如圖 5-1 r 至 x

由上討論, 可見圖 5-1 所示之各颱風路徑模式圖, 似可以流體過二維障礙物之流場, 予以模擬。遠時, 可認為 $K=0$ 情形, 近時, 則為 $K \neq 0$ 情形, 各如圖 5-2a 至 e 所示。

(三) 颱風移近中央山脈時路徑預報之綜合討論

(1) 颱風首遇中央山脈時, 路徑偏北及過山後偏南之定量預報問題。

由上 (二) 之討論, 可見於颱風接近山脈時, 無論氣流為向西或向西北, 路徑均將更見偏北 (因接近時加上繞山颱風環流之複合流場), 惟在數量上之決定仍為問題。此處認為可在以下途徑上以尋求解決。

其開始向北偏向之距離應與大風半徑 (此處以 30 哩/時者為代表) 大小成比例。因半徑愈大, 則於大風半徑到及山脈時, 即將因內部邊界之存在, 而使氣流分支, 造成不對稱風場, 並進而影響颱風之運動。此項關係可藉圖 5-3 模式圖說明。並討論如下:

在低緯度颱風流場可藉簡單之「旋轉風」(cyclotrophic wind) 關係以說明。即:

$$\frac{V^2}{R} = -\alpha \frac{\partial p}{\partial n}$$

上式表氣壓梯度力與離心力相平衡下之運動。式中為一般習用符號。當颱風首遇山脈時，顯而易見，至少在山脈影響下之部份流場，將不再滿足上述關係式。此時颱風之半徑可寫成下式：

$$R = R_0 + R_1$$

R_0 為外部 (outer part) 受山脈影響，繞山轉動之半徑長度。 R_1 為內部 (inner part) 仍繞

風旋轉之半徑長度，此亦即為「真正」颱風環流之有效範圍。因 R_0 部份氣流在 R_1 部份之外圍，且僅在其東側為直接有效。根據「導引氣流」觀念，則其東側 R_0 部份之向北氣流必將影響「純颱風環流」或「颱風」之移動（此處之「颱風」係指內圈部份，見圖5-3之示意圖及圖4-2與3之實驗流場）。而 $R_0 = R - R_1$ ，此表颱風愈接近山脈， R_0 部份愈大， R_1 部份愈小（見圖4-3b與c之實驗流場），颱風動態愈易受其東側向北之 R_0 部份氣流場左右（因

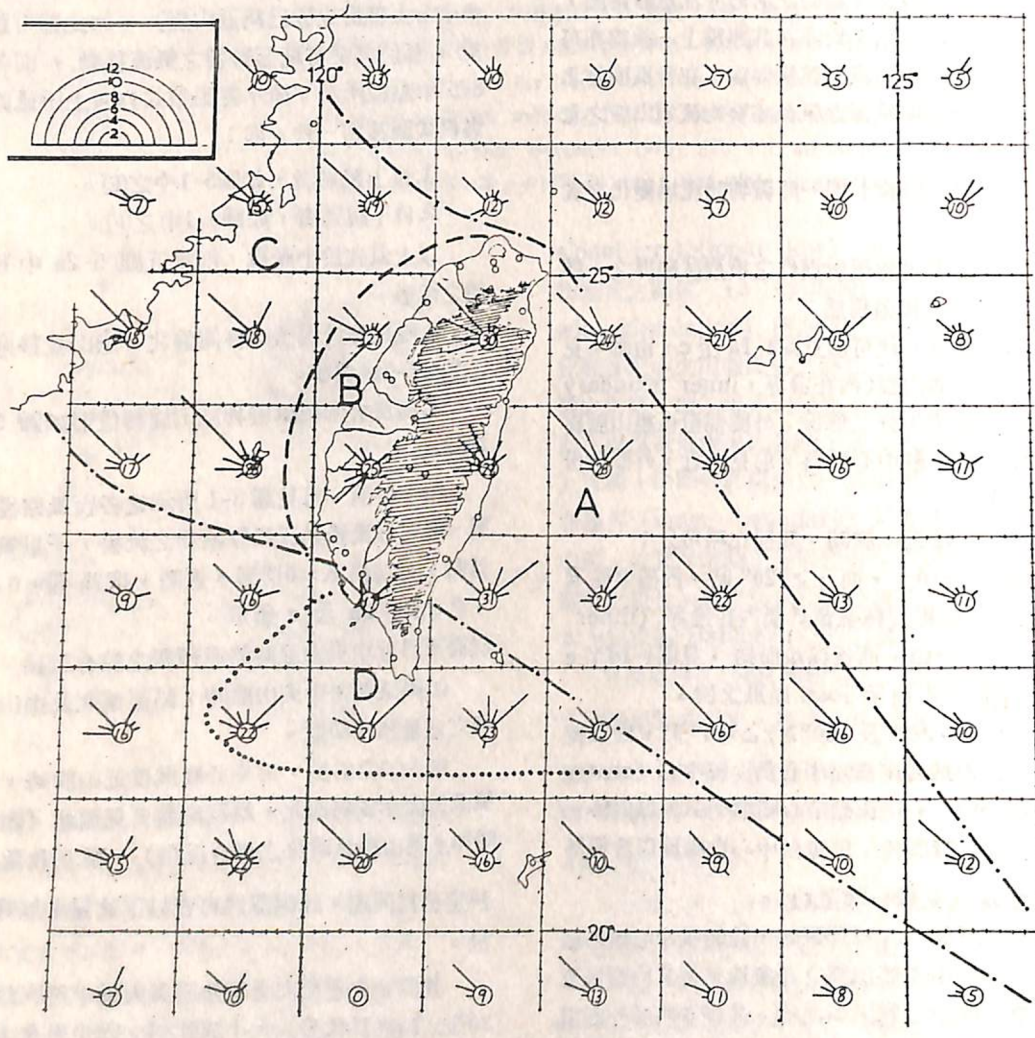


圖 5-4 台灣近海籍1959至1970年間經詳細分析所得之颱風走向頻率(次數)圖。藉示台灣地形對颱風運動影響之重要。圖中山脈東側虛線範圍(A區)為路徑偏北區，西側者(B區)為路徑偏南區，(C區)為路徑轉偏西北之區，(D區)為偏東北之區。

Fig. 5-4. Frequency distribution of the direction of motion of tropical cyclones for each 1° square

西側該 R_0 部份氣流已為山脈擾亂，且已繞山旋轉而非繞中心旋轉（見圖4-2與3之實驗流場），故必將導使颱風向北偏向（見圖5-3b中箭頭）。且愈接近山脈，此項向北偏向，將愈見顯著。圖5-4為根據1959至1970共101次颱風所作每一經度緯度內之路徑頻率統計。藉圖亦可見在山脈東側虛線範圍內均有向北偏向之分量。又圖5-5為各颱風路徑開始偏北時之距山脈脊線之垂直距離與大風半徑（30哩/時之風）大小間之關係圖。藉圖明顯可見，颱風範圍愈大，其開始北偏時距山之距離亦愈大。與以上颱風接近山脈時之非對稱流場導引颱風中心移動之推論一致。該兩圖均深足作颱風路徑所受地形影響之參考。又自由過山之颱風，在過山後，其路徑主要均為偏南，同樣亦滿足上述颱風本身非對稱氣流導引颱風中心之推論。緣由過山颱風西側之北來氣流兼受海峽影響必較颱風東側南來氣流為強（因

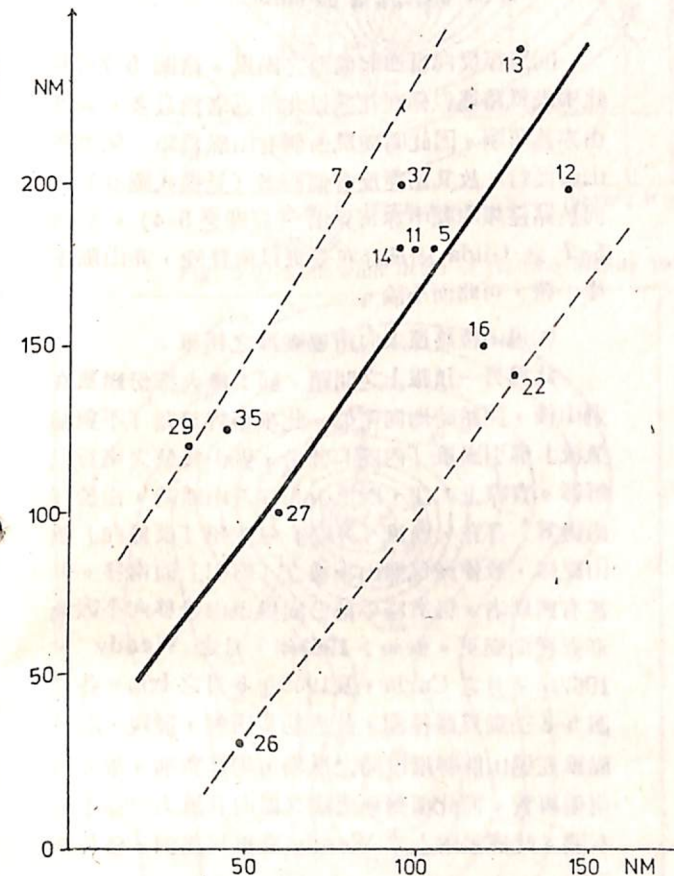


圖 5-5 颱風在中央山脈東側路徑開始偏北時之距山脈脊線距離與大風半徑(30哩/時之風)大小間之相關圖。

Fig. 5-5. Distance between the Central Mountain Range and typhoon at which its track starts to deviate to the north as a function of the magnitude of its radius of 30 kts wind.

受山脈擾亂），故過山後颱風均有偏南之移行。此藉上所述及之圖5-3c可一目了然。約在海峽中部後，復回復原來方向（圖5-3d）。又藉圖5-4可見此項效應，至23°N以南已行不彰。藉該圖可明顯見出地形影響偏北及偏南之範圍。又中研院之實驗結果亦為證實（Hwang, Pao, Wang 1977及Pao 1977）。

(2) 颱風過山路徑連續與否亦即分裂或自由過山之預報

此在以上「環流預報」中經已討論，結論為：颱風在臺東及花蓮之間中央山脈主峯所在範圍內接近時，其預報關鍵問題為：

(a) 移向(γ 角)大於120°者，為無視其強度及範圍每為分裂過山，亦即路徑不連續之颱風。

(b) 與颱風之大風半徑有關。此可藉氣流進入角 α （以彭佳嶼之風為代表）以核驗之。此時如 α 角在70°以上，亦即仍顯示導引氣流之方向時，則分裂可期。反之如半徑甚大，風向仍為東北時（ α 角小），颱風仍自由過山。

(c) 須附近無明顯氣壓系統。例如無寒潮或東北季風時，否則海峽副中心無由發展。而分裂過山颱風，此為先決條件也。

(d) 深值注意者，自由過山颱風不限強度最大者。如方向為正對山脈，則雖小颱風亦仍為「自由過山」。例見1971年9月 Agnes 颱風。其過山前最大風速僅65 kts。

(e) 移向(γ 角)在120°以上，惟颱風接近山脈之位置在花蓮以北時，每屬分裂過山之B型颱風，故與山脈位置關係甚屬重要。

由上討論有關颱風移向與自由抑分裂過山，以及接近時與山脈之相對位置關係可得模式圖如圖5-12a至d。a圖及b圖為自由過山，d圖為分裂過山A型，c圖為分裂過山B型。

(3) 過山前路徑未行偏北及路徑自西北轉而偏西之預報問題

此項實例參見圖5-6與圖5-7。圖5-6為自由過山颱風於接近山脈時，路徑似仍未受地形影響者。圖5-7為自由過山颱風於接近山脈約一個緯度以內或左近反向西偏向者。此兩者初看似均違反上述不對稱颱風之過山前「偏北」及過山後「偏南」之定則。此處之解釋為：

(a) 路徑走向不因山脈改變之颱風，以直接西行者最著，見圖5-6中 Nelly (1949)及 Sally (1968)。特以 Nelly 恰在山脈之中間部份西行。其係移

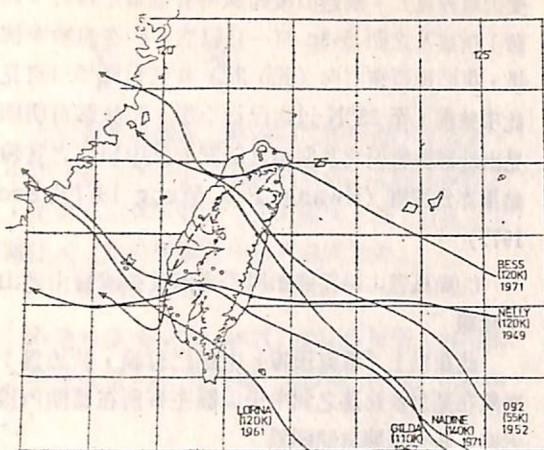


圖 5-6 自由過山颱風，於接近山脈時路徑未見北偏者之實例。

Fig. 5-6. Examples of typhoons which possess no deviation to the north at the east side of the Central Mountain Range

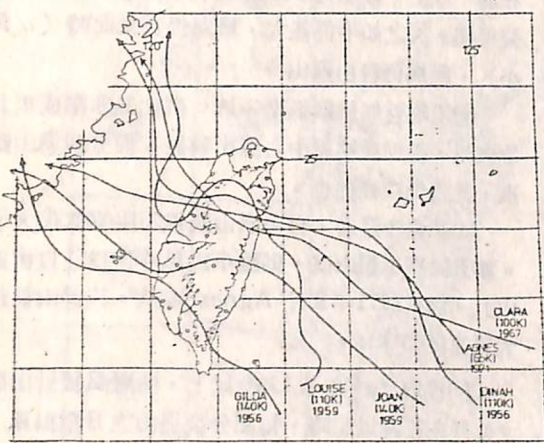


圖 5-7 自由過山颱風，於接近山脈時，路徑反向西偏者之實例。

Fig. 5-7. Examples of typhoons which tracks curve westward at the east side of the barrier

入西側面之尾流區 (wake zone)，故路徑將不影響。另如Bess (1971) 及 Lorna (1961) 係在山脈南北兩端，故路徑變化亦然。因之略可得結論為：

- (i) 直接西行颱風且向臺灣中部移動者路徑變形較少。
- (ii) 路徑偏折最著之颱風一般僅限臺東以北與蘇澳以南過境，而原始路徑有偏西北分力者。
- (iii) 直接向西北向前進之颱風，在山脈東側偏北趨勢亦不著。

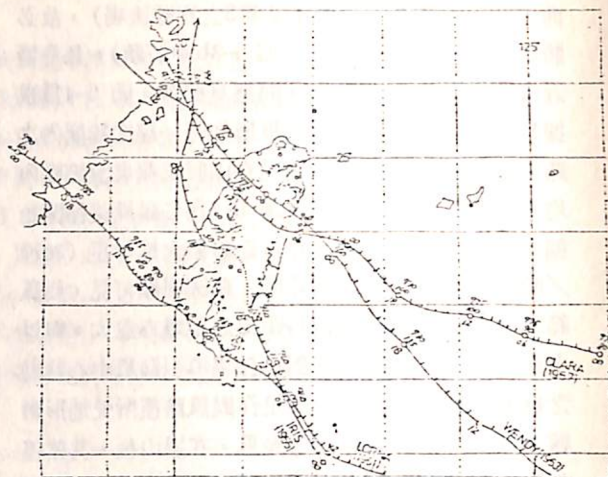


圖 5-8 颱風過山後路徑未向南偏者之路徑實例

Fig. 5-8. Examples of typhoons which did not curve to the south at the west side of the barrier

(b) 路徑反向自西北偏西之颱風。藉圖 5-7 可見此項颱風路徑似係在花蓮以北附近者為最多。其理由亦甚明顯。因此時颱風西側有山脈為障，氣流順山脈而行，故其路徑反有偏西者（見模式圖 d）。而於路徑頻率圖中亦可見出（見圖之 5-4）。另圖 5-7 之 Gilda 颱風存在臺東以南登陸，非山脈主峯一帶，可略而不論。

(4) 過山後路徑未向南偏颱風之預報

此為另一預報上之問題。即：極大部份颱風在過山後，開始時均向南偏。此項事實可藉「不對稱氣流」導引颱風「內圈」部份，過山後使之南行以解釋。實際上亦即，颱風中心移近山脈時，由於「內邊界」存在，颱風「外圈」氣流呈「反鐘向」繞山旋轉，致使颱風過山後被之「導引」而南移。但甚有與趣者，仍有極小部份颱風過山後移向不因地形影響而變更。例如：1963 年 7 月之 Wendy，1967 年 7 月之 Carla，及 1955 年 8 月之 Iris。各見圖 5-8 三颱風路徑圖，此處初步研判，發現，該各颱風在過山關鍵階段時之風場，均甚對稱。故亦無南偏事實。而此項對稱流場又似與其風力半徑不大有關。此處茲附上述 Wendy 颱風以為例，參見圖 5-9。

(5) 在山脈南北兩側西行颱風路徑變形之預報

(a) 在臺灣北方海面西行者。此似繫於下述各因素：

- i. 原始颱風走向應略偏西。
- ii. 中心位置在彭佳嶼以南，並甚接近臺灣本島。

iii. 颱風外圍繞山氣流顯著（即前述之 R₀ 部份）。

有關本類颱風之路徑模式及實例各見上經述及

之圖 5-1r 與 s 及圖 2-1i。另此處特附 1977 年自基隆港向西南移出新竹之 Vera 颱風，於西南移階段之環流圖如圖 5-10a, b。以供引證。

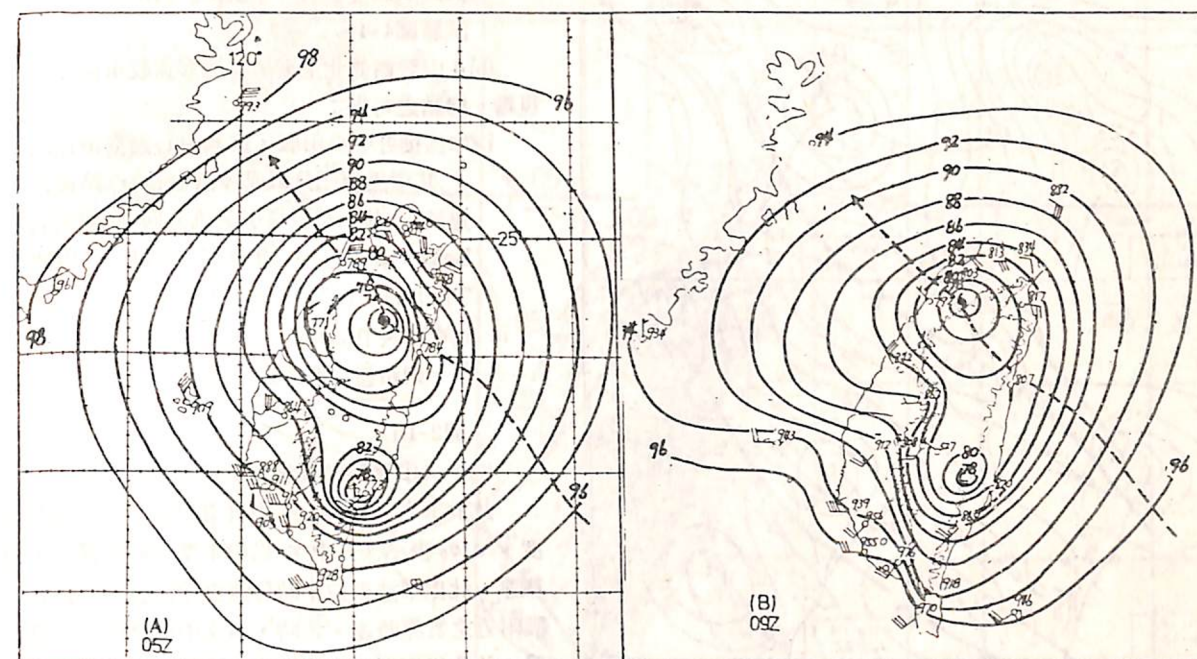


圖 5-9 颱風過山後路徑未向南偏者——1963 年 7 月 16 日 Wendy 颱風之例。圖 a 為在山中時，圖 b 為過山後。

Fig. 5-9. Sync wind fields of typhoon Wendy 1963 as an example of Fig. 5-8

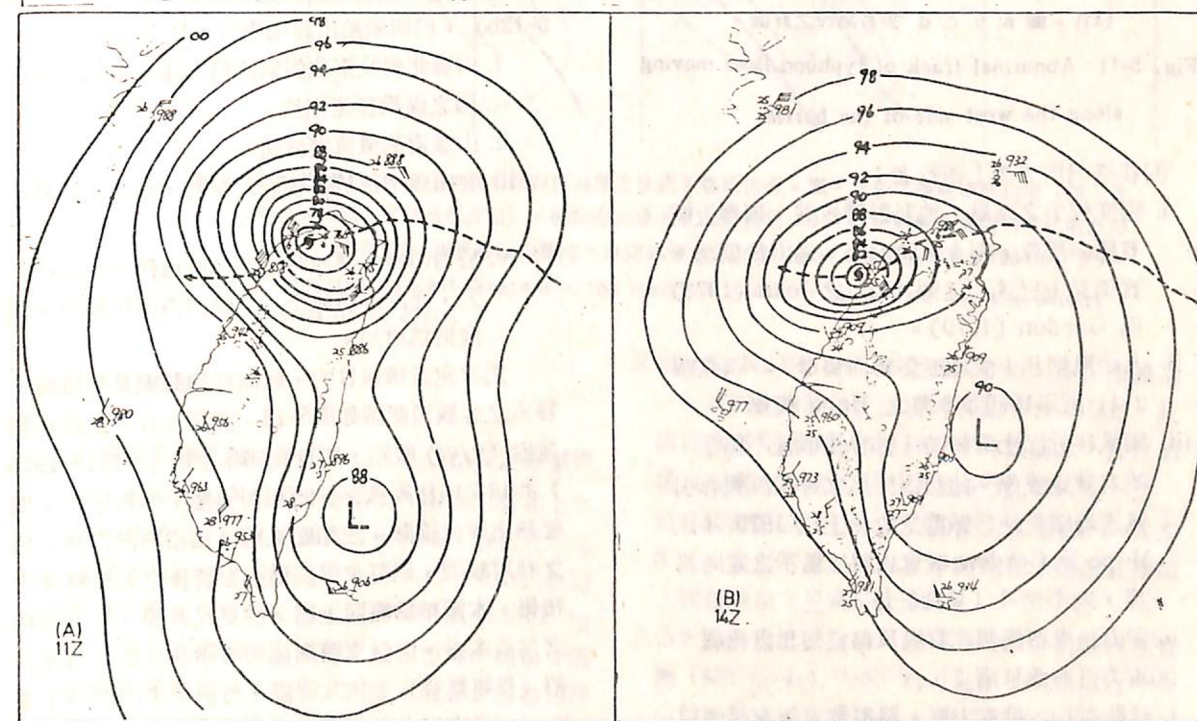


圖 5-10 自北方近海西行颱風轉向西南沿山而行之例——1977 年 7 月 31 日 Vera 颱風。圖 a, 11Z Vera 在臺北桃園之間。至圖 b, 05Z 時中心已西南移至新竹西南。

Fig. 5-10. Example of the typhoon with its track deviates to the south, but originally its track being westward at the north side of the barrier.

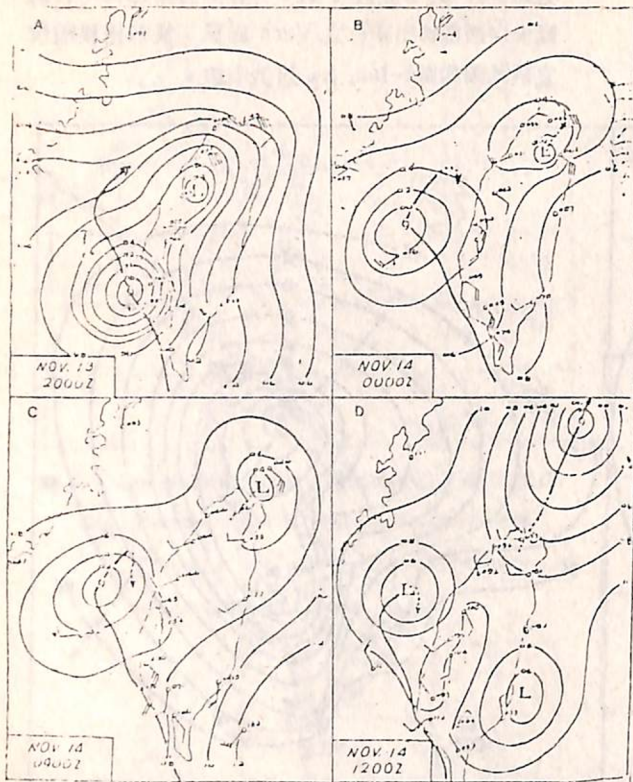


圖 5-11 在山脈西側北上強烈颱風 Bess 為其在基隆近海之副中心取代並向東北移之例。時間 1952 年 11 月 13-14 日。圖 a. b. c. d. 表各階段之詳圖。

Fig. 5-11. Abnormal track of typhoon Bess moving along the west side of the barrier

(b)在臺灣南方海上西行者：

- i. 強度較小之颱風，地形影響較著，則移近時有繞山現象，即：來時偏南，過山後偏北。實例見上已述及之圖 2-1j 之 Joan (1973) 與 Gordon (1979)。
- ii. 大颱風則甚少受地形影響而變形。例見圖 2-1j 所示 1979 年 8 月之 Hope 颱風。
- iii. 颱風移近巴士海峽時，甚移速似甚不穩定，並有減速現象。此想因颱風本身環流與導引氣流均顯受地形影響之故。上述 1979 年之 Hope 及 Gordon 颱風由雷達所示之逐時路徑，均不例外（見圖 2-1j）。

(6)在山脈東西兩側北行颱風路徑變化之預報

(a)東方近海北移者：

- i. 颱風中心愈接近山脈，路徑愈可能有不連續現象。此可參見模型試驗圖 4-3，及圖 2-1g 之實例。其與山脈距離略為 20 哩，參見圖 2-1g。

ii 由於颱風環流繞「內邊界」影響，其山脈北側颱風路徑似有「半繞山」情形，參見模型試驗圖 4-4。

(b)在山脈西側北上者，其情形遠較東側北者為複雜。歸結之可得：

- i. 如甚接近中央山脈，則其中心過臺南以北後，其環流每已分裂成多個中心，路徑為不連續。其中又視導引氣流方向。偏東者如 Bess (1952)，參見圖 5-11。偏西者 Thelma (1977)，參見圖 4-8。
- ii. 如在海峽中部北行，且颱風強度在中度及以下，則路徑及環流影響均小。參見實際路徑

圖 2-1h。

(7)中央山脈對颱風移速影響之預報問題

此於筆者 (1963) 文中曾有討論，並以相對速度， v/v_0 表示（其中 v_0 為尚未受地形影響之颱風移速，此處取連續數小時移速之平均值， v 為在山脈附近之實際時速。當時，該文中僅藉兩例以為佐證。並藉氣流網 (flow net) 概念予以說明。實際由上述 (c) 內「路徑變形因素」分析中之有關「二維非旋流體過一氣旋式旋轉圓柱之流場」討論（見圖 5-12b），已明顯給出該項事實，即：

- i. 山脈北側及東北側氣流將加速。特以北側。因之颱風移速亦然。
- ii. 山脈南側氣流將減速。
- iii. 在山脈中部於甚接近山脈時，移速亦將減小。
- iv. 於過山後反轉向時（即自西南轉向西或西北），速度亦將減小。反之向西南移動時，速度則為增加。

為求定量預報目的，此處特繪製颱風過境時，移速之客觀預測圖如圖 5-12。該圖係採取上述相對速度 (v/v_0) 觀點，將自民 38 年至 64 年 (1949-1975) 共 42 次西移颱風之逐時相對速度，均行求出，而後繪出等值線圖。故如颱風路徑預報經已作就，藉之利用該圖，則可求得經地形影響後之颱風移速之預報。本圖結論略同上述，惟更見具體。最有興趣者為基本上，山脈東西兩側均有兩狹長之「減速」帶（見粗斷線），核其位置，恰與中央山脈兩主峯區（一為南湖大山、雪山，一為玉山）位置相一致。由於山脈之阻擋 (blocking) 及遮蔽 (sheltering) 作用，其前後均可形成弱風區，致颱風移速亦然。

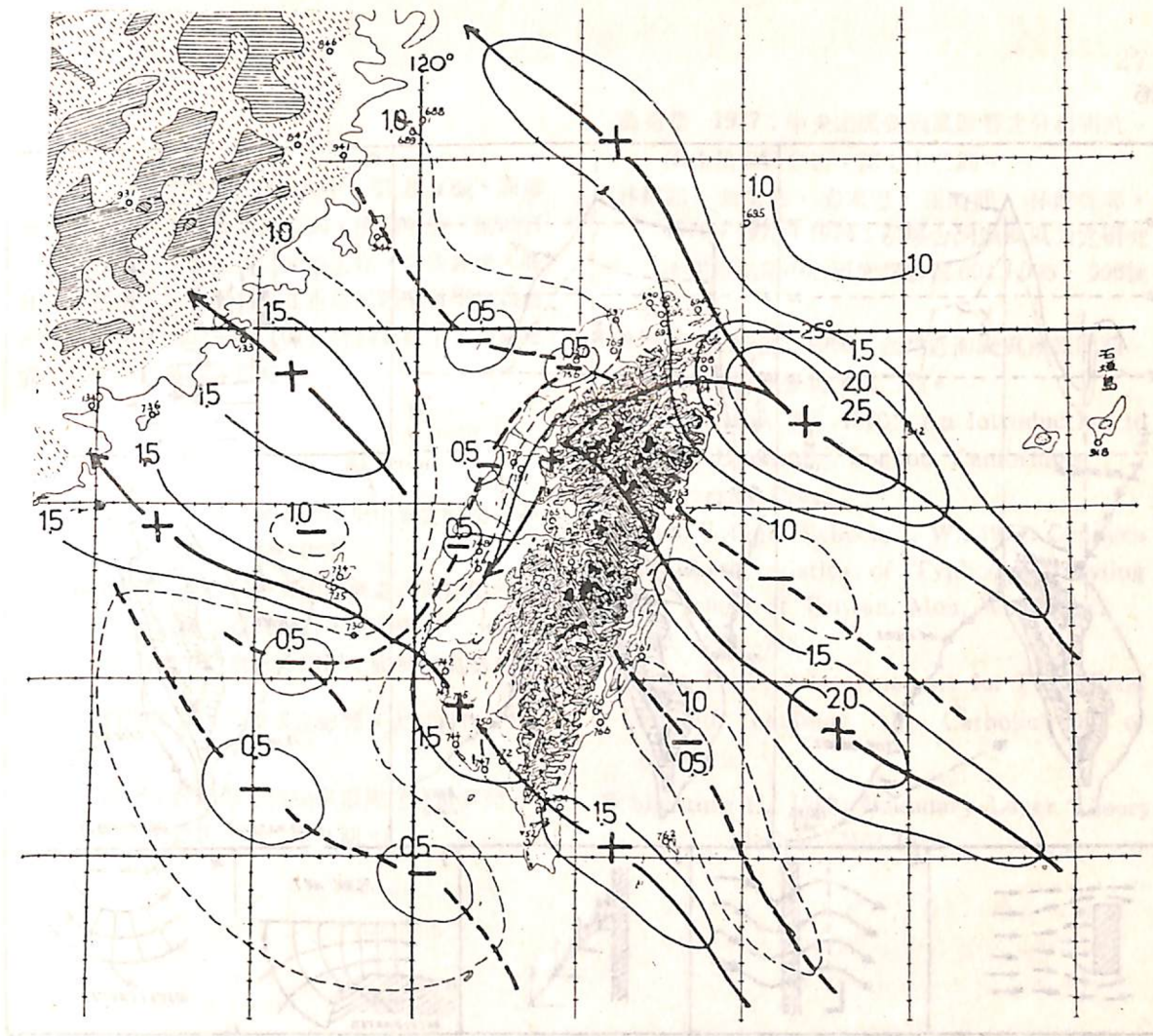


圖 5-12 a. 根據 1949-1975 年共 42 次西移颱風之移速客觀預測圖。圖中之數字係經標準化者（即：各時之值均除以其原始值作出）。例如台北東北近海之值為 2.5，即該颱風移速將為未就地形影響時之 2.5 倍。b. 颱風移近山脈時，移向移速變化之因素分析（本圖引自筆者 1963 年之文）。

Fig. 5-12. Objective forecast diagram of the speed of typhoons influenced by the barrier based on 42 cases.

摘要與結論

1. 台灣颱風路徑預報問題有二。一為路徑之連續與否，亦即自由過山或分裂過山。順沿山脈北上者，亦為類似。此牽涉對颱風接近時，環流變形之預報。關於此，上經述及。另一為中央山脈無論對導引氣流或颱風旋轉氣流均有阻擋 (Blocking) 作用，故造成颱風路徑之地形性彎曲現象。而使颱風運動預報增加極大困擾。最著者例如 1977 年南部造成嚴重損失之 Thelma 颱風路徑北偏事實中。中研院水工實驗結果則認為係由地形影響之結果。

2. 根據 G. K. Batchelor 之解析分析，非旋流體過一反鐘向旋轉圓柱之流場可示如圖 5-2a 至 c。此頗可模擬台灣颱風路徑何以來時為偏北，及過山後為偏南（參見圖 5-1a 及圖 5-3 之模式圖。另一為非旋流體過一平板及橢圓體之流場（圖 5-2c 及 d），則頗可說明何以較小颱風在山脈南北兩端之彎曲現象（見圖 5-1t, u）。

3. 由實際颱風流場分析（圖 6-1）及中研院模型實驗（圖 4-3, 4-4, 4-5）均可見出，颱風接近中央山脈時氣流係分兩部分，外圈為繞山旋轉，內圈為繞中心旋轉。故必將造成不對稱之流場。該流場復導引內圈颱風氣流運動，乃有颱風在接近時路徑偏北及過山後偏南之事實（圖 5-4）。

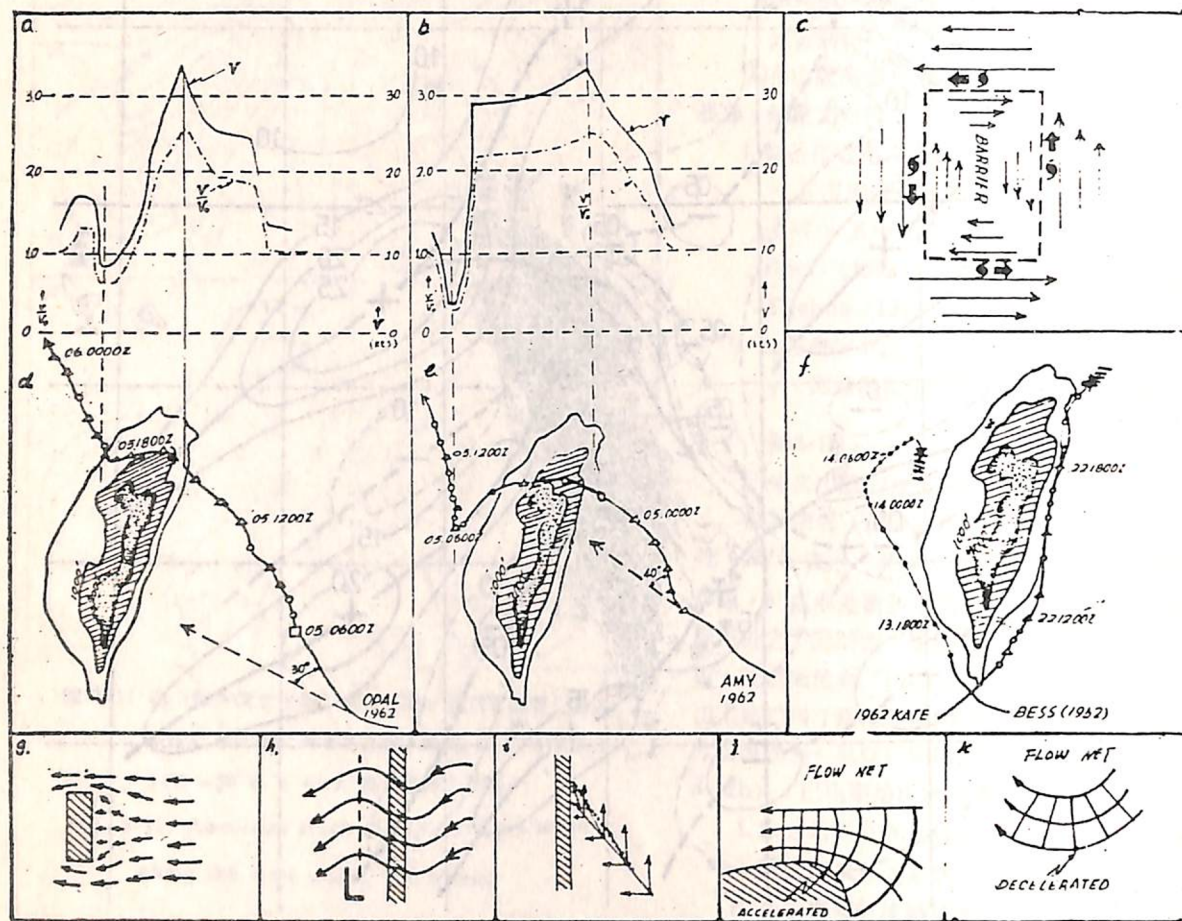


圖 5-12 b. 颱風移近山脈時，移向移速變化之因素分析（本圖引自筆者1963年之文）。

b. CHANGES OF VELOCITIES OF TYPHOONS MOVING ALONG THE MOUNTAIN RANGE.

- 由上述(2)(3)所引述之圖可見除方向外，颱風移速亦有極明顯變化，其變化約在初速2—3倍及0.5倍之間，且區域性之變化頗大。一項根據實際颱風移速變化之移速客觀預測圖經已作出，見如圖5-12。
- 由上述(2)(3)所述事實，可見颱風經過台灣時影響路徑變化之因素，甚為複雜。此處根據1949—1979共一百多次颱風路徑資料可歸納成路徑模式圖凡24類。其中自由過山者6類，分裂過山者5類，順沿山脈北行者5類。在山脈南北兩側西行者5類。繞山者2類，各見圖5-1a至x。藉此亦可見侵台颱風路徑之複雜。另並有特例，即過

山前路徑未見北偏，或竟偏向西方，以及過山後，路徑未見偏南者（各見圖5-6，及5-7之實例）。其可能因素並經作分析。

- 為使路徑之折向預報有所參考，特根據此處所應用一百餘次颱風逐時路徑資料作出各一個經度與緯度方格內之颱風移向頻率圖如圖5-4。藉圖可見距山約3個緯度內，颱風行向已受影響。藉圖亦可見各種彎曲路徑之區域範圍，藉供預報應用參考。又發現颱風風力半徑大小與過山颱風路徑開始偏向（向北）之距山距離係屬有關。其初步之關係調查已經作出（見圖5-5）。

本研究在進行過程中，蒙趙友慶、謝維權、游本麟、王邦蜀、蕭德興、焦曉平等，協助資料統計、分析、製圖及繕寫等工作，均所銘感。在此一併誌謝。又本研究係在行政院國家科學委員會 NSC—67M—0202—05 (01) 計劃支援下，方克完成，在此謹致最高之敬意。

參考文獻

- 王時鼎 1954：颱風橫越台灣中央山脈之研究。中國天氣分析月刊，4卷10期
- 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
- 曲克恭 1976：台灣地形與颱風環流之分析研究。氣象預報與分析，第六十八期。

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。

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。

徐應環、王時鼎 1960：台灣近海颱風預報問題。氣象預報與分析，第二期。

Batchelor, G. K., 1970: An Introduction to Fluid Dynamic, London, Cambridge University Press.

Brand, S., and Blueloch, J. W., 1974: Changes in Characteristics of Typhoons Crossing the Island of Taiwan. Mon. Wea. Rev., 102, 708—713

Chang, P. K., 1974: Analysis for Flow Field around Buildings, the Catholic Uni. of America.

Schlichting H., 1968: Boundary-Layer Theory. McGraw-Hill Inc.