

# 臺灣地形與颱風環流之分析研究※

曲 克 恭

## A Diagnostic Study of Typhoon Circulation Affected by Taiwan Island

### Abstract

- 1366 surface wind field maps of 53 typhoons which have affected Taiwan from 1952 to 1975 and some of the rawinsonde data from 1955 to 1975 were analysed in order to study the horizontal and vertical characteristics of the topographical affected typhoon wind field.
- Typhoon circulation was affected significantly by the special feature of Taiwan Island. The main result of this study is knowing the separation vortex and local terrain vortex and the Typhoon Jet named by this study also were discovered and some of its patterns were preliminarily analysed.
- Different pattern of wind field over Taiwan and Taiwan Strait will be associated with different location and strength of typhoon in the vicinity of Taiwan or the center of typhoon has landed over Taiwan. Based on the stream line maps of 58 individual typhoons composition stream line maps were made and the related occurrence frequency of separation vortex also computed.
4. Local topographical vortex is a special phenomenon near Yilan and Tawu and most of the separation vortices were found in the west side and north of the Central Mountain Range. Much less of the separation vortices in east side of the mountain may be due to the terrain feature and lack of data in that area.
5. From the vertical profiles of wind of Taoyuan, Makung and Tungkang significant strong wind layers were found and good indications are both on the horizontal and time cross-section charts. So we name it as "Typhoon Jet." Its height varies considerably from about 300m to 20,000m in low level and from 40,000m to 50,000m in middle level. Sometimes the strong vertical wind shear of it is about two orders larger than the horizontal wind shear of the strong typhoons. The rolling current may be formed near the Jet and causes different rainfall distribution over Taiwan.

※ 本文之完成曾獲行政院國家科學委員會獎助。



# 一、前言

臺灣中央山脈與臺灣海峽所形成之特殊地形，對颱風風場有重大之影響，因而不同之颱風路徑，可在某些區域造成洪水與風災。關於此項研究，在1963年以前，王時鼎與徐應璦二人曾分別研究中央山脈影響颱風之行進，副低壓之產生與颱風橫越中央山脈之情形等。從1972年1974年，在國科會之輔導下，空軍氣象中心又完成侵襲臺灣颱風風力之研究，針對實際預報颱風風力之需要而用平均統計之方法，製成圖表，以資作業時使用。以上之各種研究成果業已開啓對臺灣地形特殊颱風風場之初步瞭解，為更進一步之研究，以探求此特殊風場之結構，與促成之原因，乃蒐集所需之資料，配合鮑威平及汪羣從二位教授之研究，以實際資料驗證實驗室與數值模擬之結果，而瞭解自由渦旋與山脈間之一般相互作用，結果尚稱良好。

地形對颱風之影響為一複雜問題，尤其當颱風中心接近臺灣時，除有限的地面報告外，飛機不可偵察，探空氣球無法升空，地面雷達因仰角增大而有較大之誤差，氣象衛星資料尚未改進到可準確的獲知大氣之垂直結構，所以對颱風之垂直結構瞭解最為困難。我們認為唯一可行之方法為詳細分析現有之颱風觀測資料，以證實實驗室之模擬現象，再以此接近實際情況之模式以測定其垂直部份之結構，或可補救資料不足之缺失，而能更進一步探求到某些未曾發現之特徵，除瞭解風場狀況外，更能涉及颱風雨量之困擾問題。

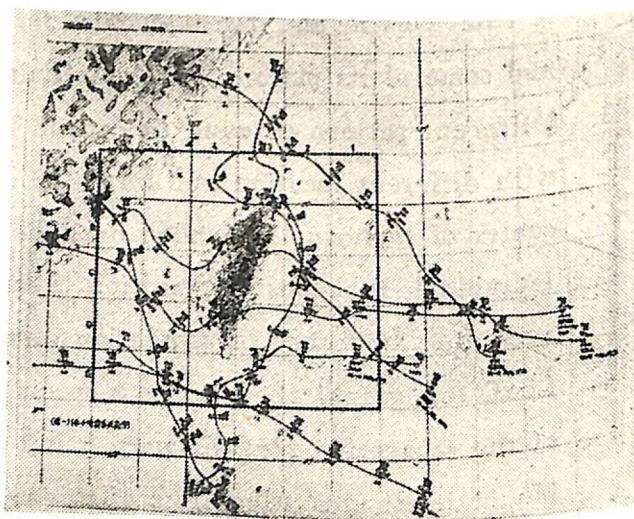
本研究所分析之部份風場特性已經實驗室之模擬證明，但是因為實驗室之模型簡單，未能與實際地形相配合，而且未加入臺灣島四周之地形，如大陸沿海地形，非島北部呂宋地形等，故更接近於實際狀況之現象無法模擬，希望實驗室之研究更能改進以證實本研究之初步發現事實及其詳細之特徵。同時可以利用儀器測量受地形影響後之風場強度，包括低層及垂直部份，如此才能獲得完美之結果。

對整個颱風之範圍與其垂直高度相比，颱風固然近似於二度空間之結構，但是以颱風受中央山脈破壞及影響之部份，以及促成最大雨量之因素而論，則在此一部份之垂直結構最為重要。不同型式之

地面氣流場必有不同型式之雨量分佈。假定在某一段時間內颱風空氣柱中之可降水量近於常數，但根據過去初步之分析，相同之可降雨量在臺灣各地之雨量分佈極不均勻，其最大原因端在垂直運動及高層之風場分佈，而此種資料缺少且計算不易，所以每小時臺灣地區之颱風地面風場之分析研究也許可以間接發現與垂直運動之關係，或者至少可能發現與雨量之關係，當然此一部份之研究尚未進行，但希望今後能繼續盡棉力而探討。

# 二、資料分析

本研究所應用之資料可分為三部份：地面資料、無線電探空資料及無線電測風資料。所研究的颱風共有五十三個，如附表一所示，其路徑參閱圖一至圖四，有關資料部份簡述如下：



圖一、每小時繪氣流線圖

## (一)地面資料

五十三個颱風之臺灣地區及金門馬祖每小時地面觀測資料，其中八個颱風繪每小時氣流線圖，十二個颱風每三小時繪氣流線圖，另三十三個已填每小時資料，以做參考。

## (二)無線電探空資料

從1955年至1975年，有關颱風之探空資料皆已蒐集，部份並繪成時間剖面圖及空間剖面圖，以資研究，其中以1972年至1974年者最為完整，為國科會輔助特別蒐集者。

## (三)無線電測風資料

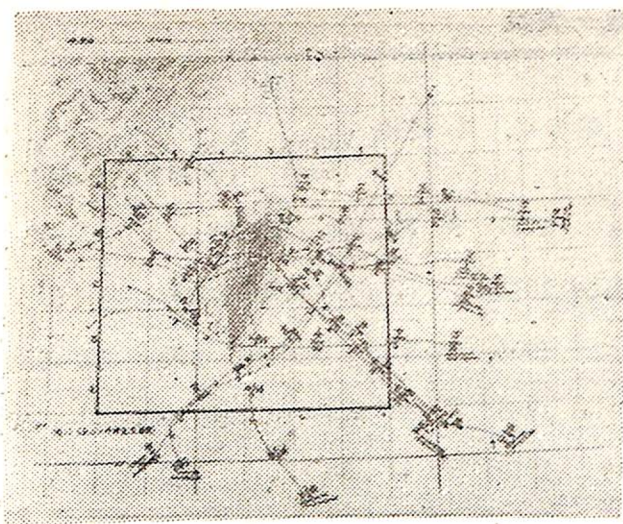
(表一)

研究風場所用颱風一覽表

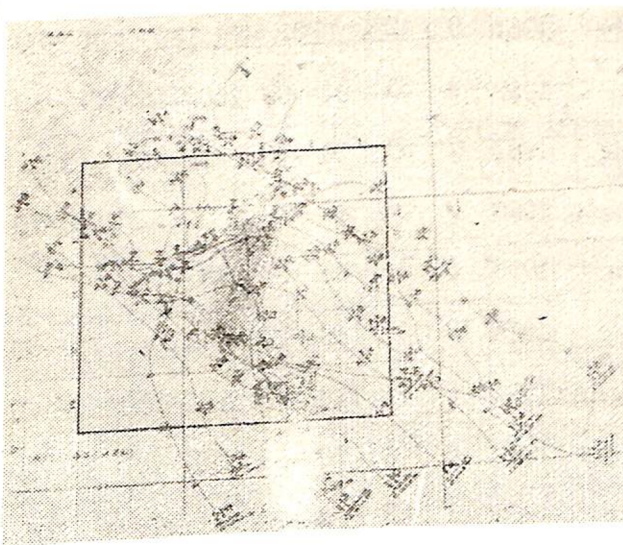
| 名稱      | 年    | 月  | 路徑 | 強 度        |               |               | 名稱       | 年    | 月  | 路徑    | 強 度        |               |               |
|---------|------|----|----|------------|---------------|---------------|----------|------|----|-------|------------|---------------|---------------|
|         |      |    |    | Vmax (kts) | 34kt. R (N.M) | 50kt. R (N.M) |          |      |    |       | Vmax (kts) | 34kt. R (N.M) | 50kt. R (N.M) |
| Grace   | 1958 | 9  | 11 | 120        | 130→120       | 70→60         | June     | 1961 | 8  | 32    | 100→115    | 125→70        | 80→40         |
| Billie  | 1959 | 7  | 11 | 100        | 250→150       | 60→50         | Nadine   | 1971 | 7  | 32    | 130→100    | 200           | 150           |
| Trix    | 1960 | 8  | 11 | 120→110    | 250           | 100→70        | Iris     | 1955 | 8  | 41    | 100        | 120           | 50→60         |
| Gloria  | 1963 | 9  | 11 | 130→110    | 240           | 150→120       | Harriet  | 1963 | 7  | 41    | 100→95     | 350→300       | 200→150       |
| Betty   | 1969 | 8  | 11 | 70→65      | 200→150       | 50→25         | Betty    | 1973 | 9  | 41    | 85→90      | 130           | 75            |
| Betty   | 1972 | 8  | 12 | 120→85     | 200→150       | 150→60        | Gilda    | 1965 | 9  | 42    | 140→100    | 150           | 100→60        |
| Freda   | 1956 | 9  | 21 | 85→100     | 180           | 80            | Cora     | 1961 | 8  | 42    | 120        | 150           | 60            |
| Agnes   | 1960 | 8  | 21 | 55→40      | 100           | /             | Sally    | 1961 | 9  | 42    | 70         | 180           | 90→70         |
| Pamela  | 1961 | 9  | 21 | 120→150    | 120→180       | 60→120        | Iris     | 1959 | 8  | 51    | 90→65      | 200→150       | 100→60        |
| Opal    | 1962 | 8  | 21 | 130→100    | 200           | 120           | Elsie    | 1961 | 7  | 51    | 70→45      | 45→40         | 20            |
| Bess    | 1971 | 9  | 21 | 150→100    | 250→200       | 120           | Wendy    | 1968 | 9  | 51    | 85→70      | 200           | 100→75        |
| Jean    | 1974 | 7  | 21 | 50         | 40            | /             | Joan     | 1973 | 8  | 51    | 45→30      | 80→70         | /             |
| Dinah   | 1956 | 9  | 22 | 100        | 200           | 140           | Elsie    | 1975 | 10 | 51    | 140→120    | 110           | 75→60         |
| Louise  | 1959 | 9  | 22 | 110→90     | 350→200       | 150→100       | Virginia | 1957 | 6  | 61    | 130→70     | 200→150       | 100→60        |
| Shirley | 1960 | 7  | 22 | 100→110    | 200→180       | 75→50         | Elaine   | 1960 | 8  | 61→21 | 70→85      | 150→100       | 30→50         |
| Amy     | 1962 | 9  | 22 | 140→120    | 240           | 150→120       | Kate     | 1962 | 7  | 61    | 70→50      | 120           | 50            |
| Wendy   | 1963 | 7  | 22 | 135→100    | 180           | 80            | Dinah    | 1965 | 6  | 61    | 130→40     | 150           | 100           |
| Mary    | 1965 | 8  | 22 | 150→120    | 200           | 100           | Flossie  | 1969 | 10 | 61    | 60→35      | 200→100       | 50            |
| Agnes   | 1971 | 9  | 22 | 50→60      | 120           | 50            | Wendy    | 1974 | 9  | 62    | 50         | 50            | /             |
| Nina    | 1975 | 8  | 22 | 135        | 140           | 70            | Bess     | 1952 | 11 | 71    | 125→40     | 150→25        | 100→20        |
| Kit     | 1953 | 7  | 31 | 110        | /             | /             | Della    | 1952 | 11 | 72    | 80→30      | 100→40        | 40→10         |
| Winnie  | 1958 | 7  | 31 | 130→110    | 200           | 100           | Nora     | 1973 | 10 | 73    | 95→60      | 150→100       | 80→50         |
| Nora    | 1967 | 8  | 31 | 65→60      | 150           | 50            | Judy     | 1953 | 6  | 82→62 | 60→40      | 40→20         | /             |
| Gilda   | 1967 | 11 | 31 | 100→80     | 200           | 125→50        | Thelma   | 1956 | 4  | 82    | 85         | 200→150       | /             |
| Elsie   | 1969 | 9  | 31 | 105        | 250           | 125           | Judy     | 1966 | 5  | 93    | 80         | 90            | 75→65         |
| Phyllis | 1953 | 8  | 32 | 80         | /             | /             | Elsie    | 1966 | 9  | 93    | 115→65     | 200→150       | 75→40         |
| Joan    | 1959 | 8  | 32 | 170→120    | 400           | 200           |          |      |    |       |            |               |               |

(1)颱風路徑根據「侵襲臺灣颱風風力之研究」分類號碼：(11)、(12)北部近海，(21)——(42)分別為中心通過北部至南端，(51)巴士海峽，(61)、(62)東部沿海，(71)、(72)、(73)臺灣海峽，(82)、(83)南海颱風影響本省。  
(2)強度為颱風中心在124°E以西、118°E以東運行時之變化，分別為近中心最大風速及34kts與50kts大風半徑。

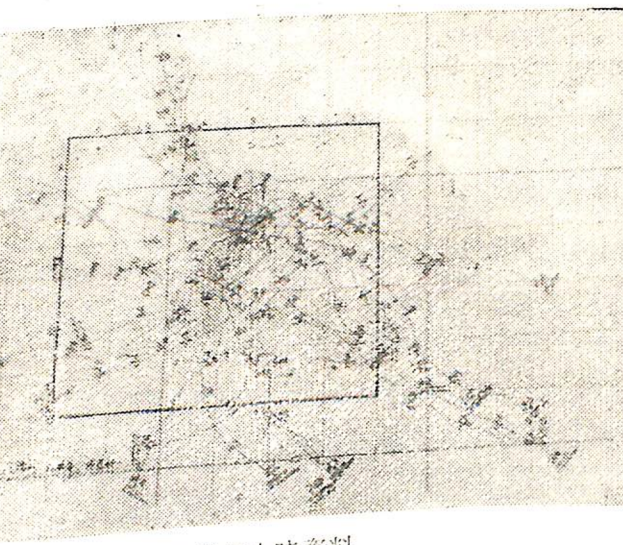




圖二、每三小時繪氣流線圖



圖三、已填每小時資料



圖四、已填每小時資料

無線電探空資料所附高空風資料皆為特性層及選擇層者，垂直間距甚大，有些分析不適用。乃蒐集空軍氣象聯隊所保存之可用資料，因為所存資

料必須與颱風侵臺日期相吻合，故從1956年至1965年止，颱風 Thelma (1956) 及 Dinah (1956) 等 23 個颱風有測風資料，其時距為每分鐘，但距離亦達約 300m，此為最佳之距離資料，但在決定高度時仍可能有最大 300m 之誤差。

此外，關於颱風之路徑、強度及範圍等亦應用「侵襲臺灣颱風風力之研究」所有之資料，因其可靠性較大。

### 三、地面風場

由於本研究純為小範圍之地形影響現象，所以特別因地形而生之風場，不可以應用均勻法而去除，否則完全喪失研究之目的。基於以上之理由，較詳細之氣流線分析似比等壓線為佳，不過明顯之分流渦旋亦常與誘導低壓區相隨而生，因為流體之分流常從分離點向下游而有漸增之氣壓梯度，使氣流反向而在尾流區 (Wake area) 產生渦旋。但有時風場中之渦旋並無相配合之低壓，其原因可能是氣壓觀測之誤差，或者渦旋區根本無明顯之低壓中心。

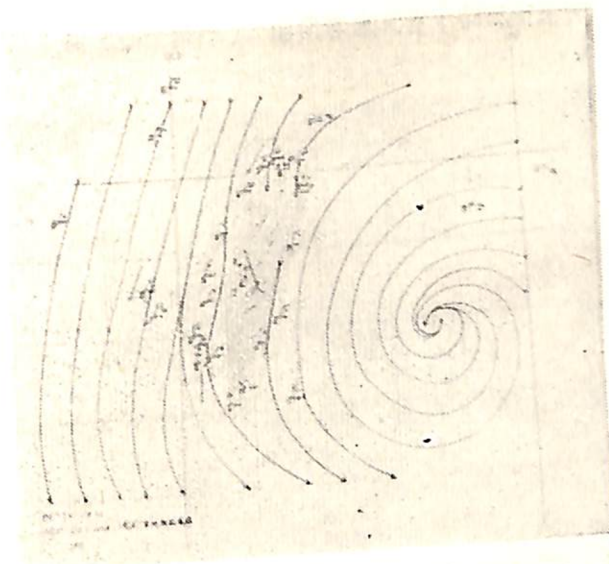
#### (一) 氣流圖

根據從 1953 年之 Judy 颱風至 1975 年之 Elsie 颱風，共計所繪 20 個颱風之氣流圖研究，不同路徑及不同強度之颱風有其特性氣流圖，在臺灣區之氣流場中大致可分為：單純颱風風場、分流渦旋風場、局部地形渦旋風場、中心登陸後之風場、山脈東側動力槽風場及下降氣流輻散風場等六種。通常除最後一種因形式特殊常單獨出現外，其他五種除第一種可單獨發生外，其他皆發生在颱風風場內受山脈影響之處。關於 20 個颱風之氣流線圖除原始底圖外，並加入路徑圖，總計 430 張，已製成幻燈片，可供研究討論及作業之用。

#### (二) 地面風場特性

##### 1. 單純颱風風場

此風場為臺灣地區無分流渦旋及局部地形風場，雖然中央山脈之影響，使西部及東部有小風區，但無明顯的渦旋存在，而且停滯點 (Stagnation point) 亦不易在圖中決定繪出，如圖五所示，在圖中粗箭矢為桃園、馬公及東港之 700mb 高空風，所標數字，前二位為風向，後二位為風速 (kts)，中央山脈上之粗箭矢為代表玉山測站 (海拔 3850.0m) 之風向，經檢查玉山測站之風向常可代表 700mb 之風向，但其風速常小於探空測站者。此外，阿里山測站 (海拔 2406.1m)，有時

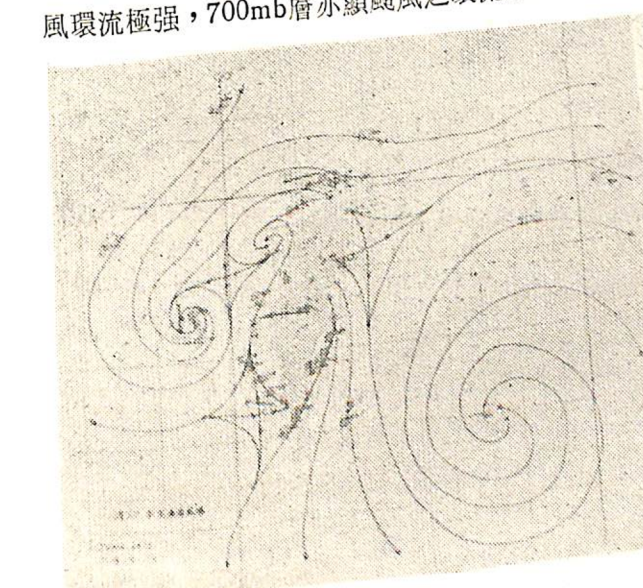


圖五、單純颱風風場

略有偏差，而日月潭測站 (海拔 1014.8m) 則甚受地形之影響。因此選用玉山測站代表中央山脈上與其他探空測站相配合之高空風，以後所用有關高空風之圖，其解釋均如以上者，在單純颱風風場中，700mb 高空風常與地面風場相一致。中央山脈對風向之改變不大。

##### 2. 分流渦旋風場

此風場之分流渦旋多因中央山脈對颱風氣流之界限效應而生<sup>(5)</sup>，中央山脈西側臺中至岡山一帶最易發生，北端桃園及西北方外海偶有發生 (且在實驗中證實)，海峽中亦有發生，而且有時為陸上渦旋移至海上者，圖六所示一例，700mb 高空風與中央山脈垂直，很似基流 (Basic flow) 與環流及地形之聯合作用。分流渦旋之形式極為複雜，但是其發生之位置多在 700mb 氣流方向之處。若颱風環流極強，700mb 層亦顯颱風之環流形式，則分

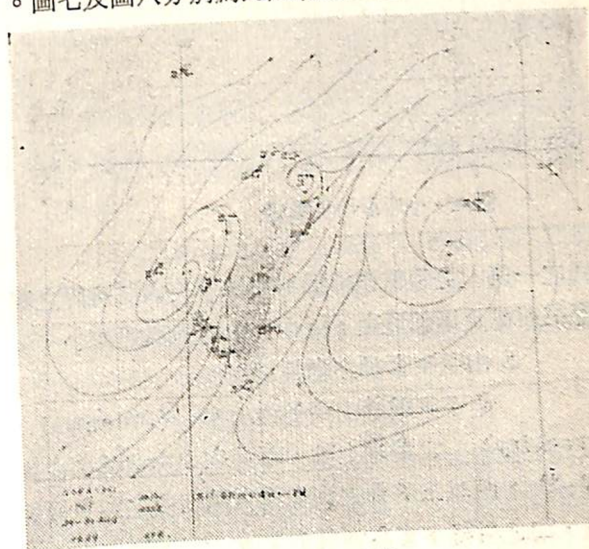


圖六、分流渦旋風場

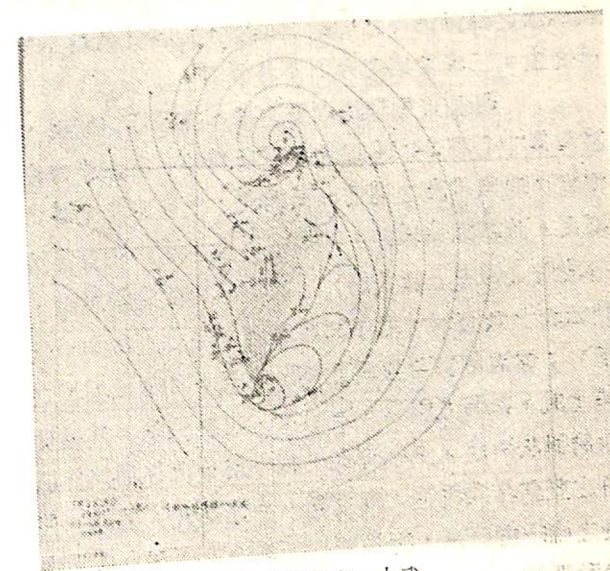
流渦旋不易發生，即使發生亦局限於陸上很小之範圍內。

##### 3. 局部地形渦旋風場

由於臺灣南端大武測站 (海拔 7.6m) 及宜蘭河谷之特殊地理位置，當颱風由臺灣東方接近時，宜蘭常發生偏西之風向，大武常生偏南向之風，兩者之風速皆小，與其四周之風場比較，彷彿有渦旋存在，此種渦旋純為局部地形之所成，似一固定之牆角，在適宜情況下，永遠發生於其附近，但此種渦旋之存在，對宜蘭及大武地區應有其重要性。圖七及圖八分別為此風場之二例。



圖七、局部地形渦旋一宜蘭



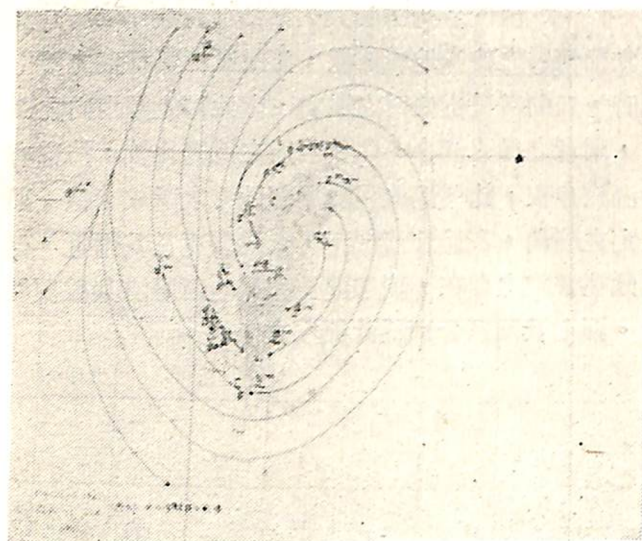
圖八、局部地形渦旋一大武

##### 4. 中心登陸後之風場

中心登陸後，在臺灣向無探空資料可用，故其性質改變到何種程度，研判最為困難，只有地面資料可供分析。一般而言，無論大小颱風，中心登陸後之風場多為單純颱風風場，大風區域繞中心



而成環狀，氣流線隨中心之登陸位置有向中央山脈輻合之趨勢，此種形式可能示知各地雨量之區別，偶有局部地形渦旋發生在宜蘭及大武。圖九為此風



圖九、中心登陸後風場

場之一例，從等風速線仍可看出中央山脈邊界之影響在西部及東部發生，近中央山脈處風速較小。

#### 5. 山脈東側動力槽風場

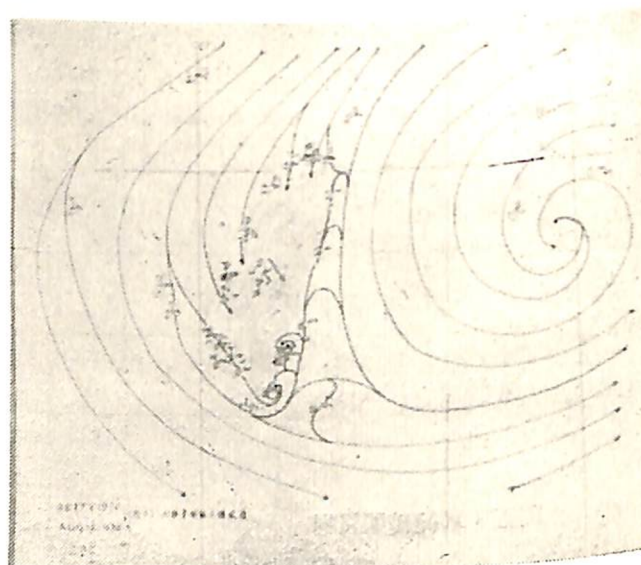
是否東風過山從勢位旋率 (Potential vorticity) 之觀點上論，不易在山之背風面產生槽<sup>(6)</sup>，但以王時鼎之研究當東風在山之迎風面堆積，山之兩側有東高西低之事實<sup>(4)</sup>同時在山之西側可以繪出低壓區，可能因空氣質量之大量堆積，在山脈之西側仍可相對於低壓，或者此低壓為分流而生，二者常相吻合而不易分辨。

但是東側背風面動力槽却為公認之事實，當颱風中心在 24°N 以北接近臺灣時，在山脈之東側有反颱風環流之偏南向風出現，而且由宜蘭直到臺東，五個測站報告，可靠性甚大，因之在東側按繪圖法（因海上無資料），有反氣旋式之弱風區，惜因海上無資料，而不知此區域之寬度（如圖十所示）；當颱風移至臺灣北端，東側有反颱風環流之偏北風，如圖八所示，有氣旋式之弱風區，其寬度由繪圖法決定，亦不可靠，似乎為分流作用與背風槽之雙重作用而生，尚待進一步之研究，但此一甚長之沿山弱風區，對預測東部風雨方面却有重大之參考價值。

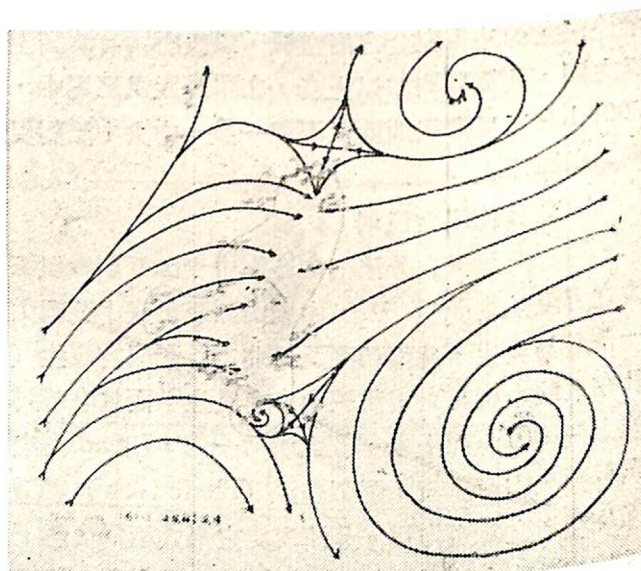
#### 6. 下降氣流輻散風場

此風場多為輕度颱風中心距臺灣尚遠時之情況，海陸風加於颱風之外圍影響，有明顯的輻合輻散現象。海陸風之特性且未為颱風所影響，此種風場屬輕度颱風者，對防颱之應用價值不大，但對

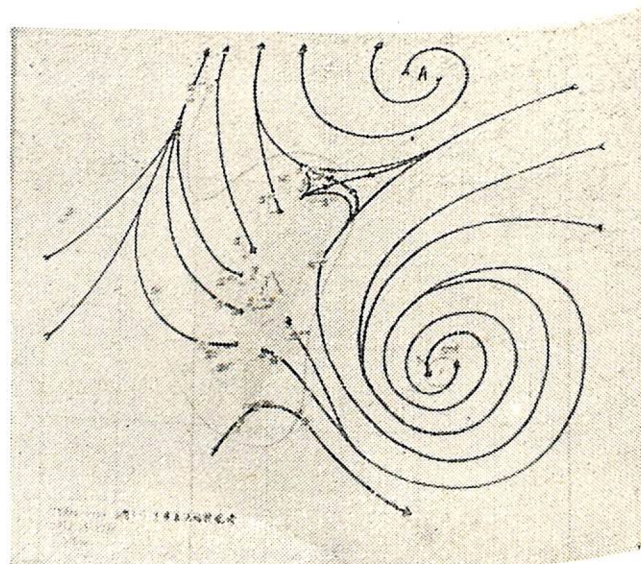
天氣預測時，有其參考價值。（如圖十一、圖十二）。



圖十、山脈東側動力槽風場



圖十一、海風輻合風場

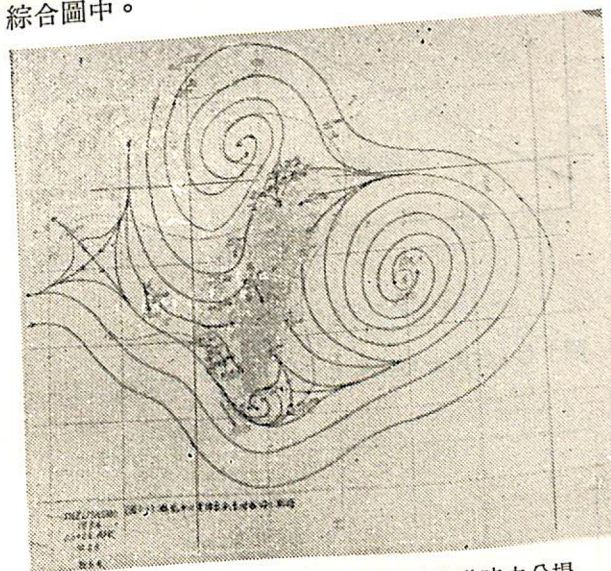


圖十二、下降氣流輻散風場

#### (三) 綜合氣流圖

以上所舉不過颱風環流受中央山脈影響後之大多數主要風場形式，如果將每一風場詳細分析，又有某些不同之處，此所以臺灣地區承受颱風侵襲時，各地風雨不同之故，每小時風場變化之分析研究，不但在事後分析時重要，以探其原因，而且在實際作業時更為重要。

為分析研究之便特別利用已繪氣流線之颱風風圖及已填資料之颱風圖（共 53 個颱風），綜合繪成 58 張氣流圖，並附以渦旋發生及不發生之頻率，以颱風中心所在經緯度為參考點，並將颱風強度分為「S」——近中心最大風速大於或等於 85kts；「W」——近中心最大風速小於 65kts。如果風速在 65 至 85kts 間，其渦旋發生及不發生之機會可能屬於「S」亦可能屬於「W」，較難決定。以統計時所用 53 個颱風，在二者間之個例亦較少，不足以討論。此外颱風中心之移動如果具有偏東之分速時，發生之渦旋有其特殊狀況，如圖十三所示，海峽北部有明顯而範圍甚大之分流渦旋，大武有明顯之局部地形渦旋。雖然有偏東分速移動之颱風個例甚少，但已在實驗室中試驗證明，故亦納入綜合圖中。



圖十三、颱風中心有偏東分速移動時之分場

颱風登陸之風場似乎強烈與微弱者區別不大，故以「SW」表之，不分強度。

本報告不附綜合氣流圖，僅將颱風中心位於特定經緯度網格內時發生及不發生分流渦旋之次數表列，如表二及表三所示。綜合圖即以 A1 (S)、A2 (S) 以及 A1 (W)、A2 (W) 等表示其颱風中心所在之位置，表中並附有經緯度，以明其相對之地理位置。

由表中之發生次數，我們可以獲得以下之初步結果：

1. 近中心最大風速小於 65kts 之颱風，除過中心正在臺灣陸上時，在表三中之任何位置皆在中央山脈西側或北端發生分流渦旋之可能。

2. 強烈及弱颱風中心在 24°N 以南向臺灣接近時，其中心越偏南，發生分離渦旋之機會越大。

3. 颱風中心登陸以後，進入臺灣海峽時，發生分流渦旋之機會仍多，以臺灣北端發生之機會最大。

4. 強烈颱風之中心在 24°N 以北向西進行時，在中央山脈西側或北端發生分流渦旋之機會最少。

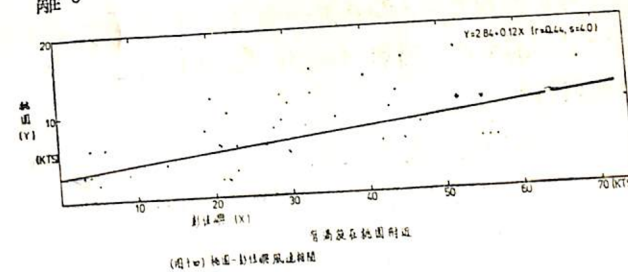
5. 颱風在臺灣東方海面有偏東之運行分速時，無論強弱，皆有發生分流渦旋之機會（見 V (SP) 之次數）。

以上之現象似皆可以流體因分流而生之渦旋解釋之，本研究純以分析實際之資料為目的，其實驗室之證明尚待中研院物理所黃榮鑑、汪羣從及鮑威平諸教授之繼續研究證實及解釋。

#### (四) 中央山脈邊側界限初步研討

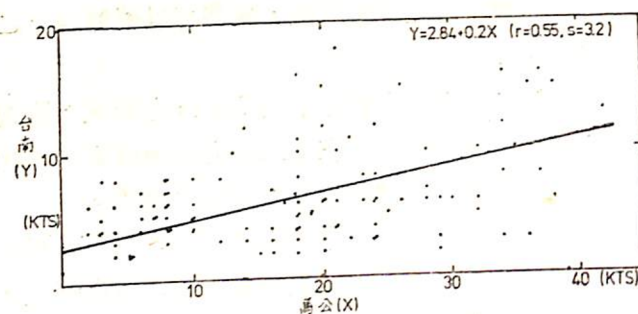
臺灣在北方有彭佳嶼，東南方有蘭嶼，海峽中有馬公，三者都有地面氣象觀測，其颱風侵襲時之風場與陸上者相異，尤其當彼此間有渦旋發生之時，風向風速皆不一致。尤其蘭嶼，其風速常常遠大於陸上者，當有其特殊地形之原因。假定以上三島嶼之風觀測可代表受地形影響最少之風場，則由三者與相近之陸上測站間由其風速之相關，求得一平均之風速梯度。

分析風場時發現分流渦旋區及局部地形渦旋區多在等風速線 10kts 之範圍之內，很少超過 20kts 者，可由圖十四、圖十六及圖十八中查知。設此 10kts 之等風速線為渦旋範圍之邊界限，則由以上三圖之迴歸線及陸上測站與島嶼測站間之距離概異求得 10kts 等風速線在有渦旋時距海岸之平均距離。

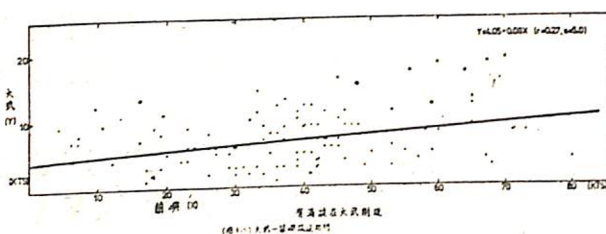


圖十四、桃園—彭佳嶼風速相關（有渦旋在桃園附近）





圖十六、台南一馬公風速相關 (有渦旋在台南附近)

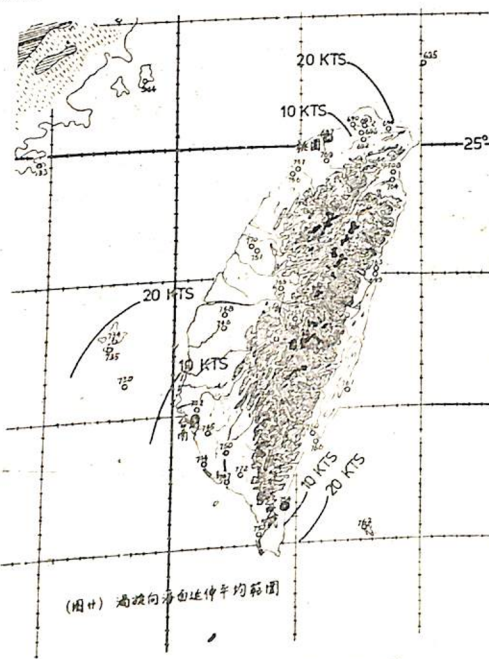


圖十八、大武一蘭嶼風速相關 (有渦旋在大武附近)

在圖十四、十六及十八中，桃園  $\bar{Y} = 6.5$ ，彭佳嶼  $\bar{Y} = 30.7$ ，臺南  $\bar{Y} = 6.2$ ，馬公  $\bar{X} = 17.6$ ，大武  $\bar{Y} = 7.3$ ，蘭嶼  $\bar{X} = 38.7$ 。

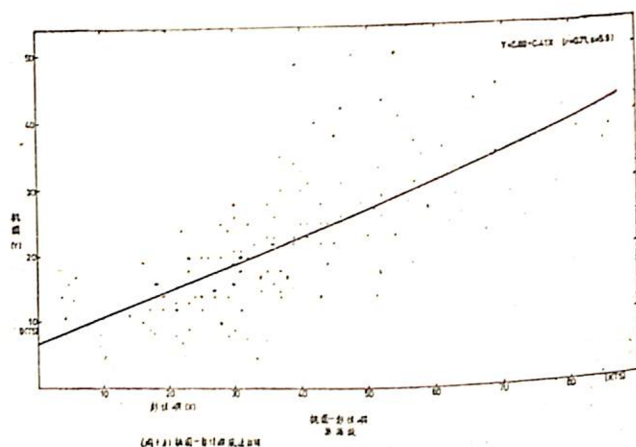
同時桃園距離彭佳嶼約 100km，臺南距馬公約 90km，大武距離蘭嶼約 70km。

由以上之關係可以求得平均梯度，因而概略計算平均 10kts 之風速，在有渦旋發生時，在三對測站間之距離，其結果為：距桃園約 15km，距臺南約 30km，距大武約 6km，若以平均 20kts 之風速為最大限度範圍，則距桃園約 56km，距臺南 109km，距大武 23km，如圖廿所示，為渦旋

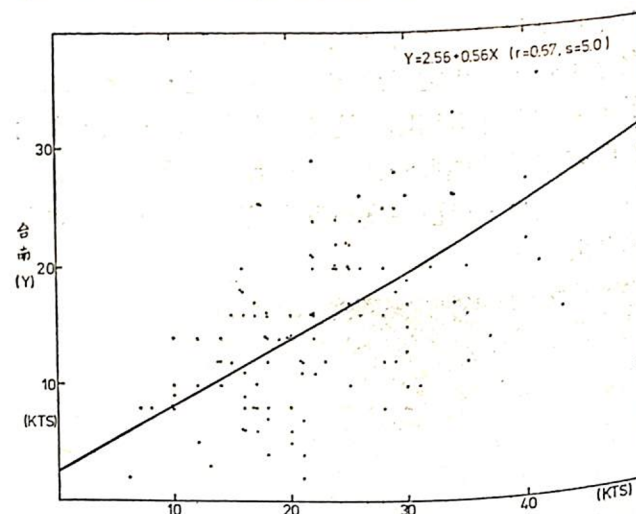


圖廿、渦旋向海面延伸平均範圍

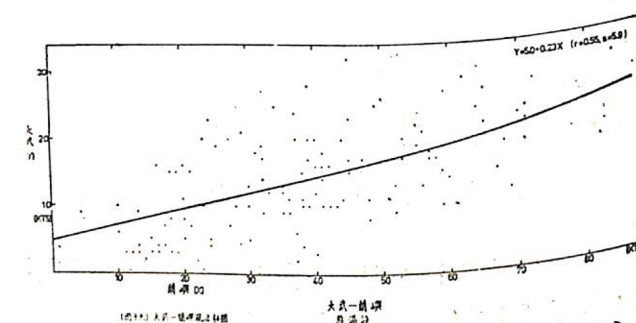
向海面延伸之平均範圍，在臺灣海峽，因分流常可越過馬公，而在北端及大武附近則局限於沿海一小範圍內，此結果與實際情況很吻合。桃園西北方分流渦旋之距離未曾計算。



圖十五、桃園一彭佳嶼風速相關 (桃一彭佳嶼無渦旋)



圖十七、台南一馬公風速相關 (台南一馬公無渦旋)



圖十九、大武一蘭嶼風速相關 (大武一蘭嶼無渦旋)

由圖十四至十九，對有渦旋與無渦旋情況下之比較，很有價值。無渦旋時，迴歸線之斜率較大，尤其桃園與彭佳嶼及臺南與馬公，相關甚佳。在有渦旋之時，迴歸線之斜率極小，彼此間之風速無大相關，尤其大武與蘭嶼其坡度為 0.08，蘭嶼之

(表二) 颱風 (S.  $V_{max} \geq 85kts$ ) 渦旋發生次數

|   |           | 6                    | 5     | 4          | 3     | 2          | 1   |      |
|---|-----------|----------------------|-------|------------|-------|------------|-----|------|
|   |           | 118°E                | 120°E | 122°E      | 124°E |            |     |      |
| A |           |                      | N9    | N33        | N18   | N25        | N12 |      |
| B | N9        | N29                  | N64   | N52        | N60   | N25        | V5  | 24°N |
| C | N8        | N17<br>V52<br>V(SP)9 | N21   | N12        | N34   | N30        | V13 |      |
| D | V14       | N9                   | N35   | N33        | N10   | N20        | V20 | 22°N |
| E | N14<br>V8 | N11<br>V15           | V43   | N14<br>V71 | V22   | N12<br>V14 |     |      |

1. 本表係根據颱風綜合氣流之位置計 53 個颱風，共 1366 時次之氣流圖而得。
2. N 表颱風中心，位於此座標網格中時，臺灣無渦旋（或僅東部有地形局部渦旋）V 表西部（包括北部）有渦旋發生。V(sp)表颱風偏東向移動之特例。
3. 雙線範圍內為颱風登陸後，包括 S 及 W 強度之颱風在內。
4. 其它參見本文。

(表三) 颱風 (W.  $V_{max} < 65kts$ ) 渦旋發生次數

|   |  | 6              | 5                     | 4                     | 3                     | 2              | 1    |  |
|---|--|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|------|--|
|   |  | 118°E          | 120°E                 | 122°E                 | 124°E                 |                |      |  |
| A |  |                | N23<br>V4             | V18                   | V3                    | V (SP) 1       |      |  |
| B |  |                |                       | N10<br>V10            | N1<br>V15             | V2<br>V (SP) 1 | 24°N |  |
| C |  |                |                       | V4<br>V (SP) 5        | N8<br>V8<br>V (SP) 11 | N2<br>V7       |      |  |
| D |  |                |                       | N3<br>V9<br>V (SP) 11 | V8<br>V (SP) 1        | N10<br>V5      | 22°N |  |
| E |  | V4<br>V (SP) 1 | N3<br>V16<br>V (SP) 5 | N2<br>V9<br>V (SP) 12 | V5                    | V5             |      |  |

說明如颱風 (S)。



(表四) 臺灣西部(包括北部)分流渦旋區厚度

| 颱風名稱               | 厚度(m)     |           | H內之平均風速(kts) | 測站 | 渦旋地區       | 日期        |
|--------------------|-----------|-----------|--------------|----|------------|-----------|
|                    | H         | H         |              |    |            |           |
| Thelma<br>(1956)   | 910-1190  | 1050      | 5.2          | 馬公 | 桃園外海, 岡山近海 | 0422-0900 |
|                    | 1820-2140 | ※<br>1980 | 5.2          | 桃園 | 桃園附近, 東港外海 | 0422-1500 |
|                    | 865-1190  | 1028      | 8.7          | 桃園 | 弱風區        | 0424-0300 |
| Freda<br>(1956)    | 640-910   | 775       | 7.2          | 恒春 | 臺南岡山間      | 0915-0100 |
|                    | 1500-1730 | 1615      | 6.1          | 桃園 | 弱風區        | 0918-0300 |
| Gilda<br>(1956)    | 1190-1640 | 1415      | 4.4          | 桃園 | 新竹外海       | 0921-0300 |
|                    | 810-1090  | 950       | 7.2          | 桃園 | 弱風區        | 0924-0300 |
| Virginia<br>(1957) | 2090-2460 | ※<br>2275 | 4.4          | 馬公 | 弱風區        | 0625-1200 |
| Winnie<br>(1958)   | 1050-1410 | 1230      | 2.4          | 馬公 | 馬公、臺南間     | 0714-1800 |
|                    | 820-1090  | 955       | 3.1          | 東港 | 臺南、岡山間     | 0715-0000 |
| Grace<br>(1958)    | 1000-1320 | 1110      | 4.8          | 東港 | 臺南、岡山間     | 0902-1200 |
|                    | 1910-2180 | 2045      | 6.6          | 馬公 | 臺南、岡山間     | 0902-1800 |
|                    | 820-1140  | 980       | 6.4          | 東港 | 臺南、岡山近海    | 0904-0000 |
| Wendy<br>(1963)    | 710-950   | 830       | 7.5          | 東港 | 岡山附近       | 0715-1200 |
|                    | 450-700   | 575       | 5.3          | 桃園 | 桃園附近       | 0717-0000 |
| Joan<br>(1973)     | 1490-1720 | ※<br>1605 | 3.6          | 東港 | 馬公附近       | 0819-1200 |
|                    | 280-520   | 400       | 8.0          | 東港 | 臺南、岡山近海    | 0820-0000 |
|                    | 810-1100  | 955       | 6.5          | 東港 | 中南部靜風區     | 0820-1200 |
| Jean<br>(1974)     | 700-920   | 810       | 6.3          | 東港 | 弱風區        | 0821-0000 |
|                    | 1500-1750 | 1625      | 5.6          | 桃園 | 基隆近海       | 0719-0000 |
| Betty<br>(1975)    | 1010-1280 | 1145      | 6.0          | 東港 | 東港近海       | 0921-1200 |
| 平                  | 均         | 1210      | 5.7          |    |            |           |

(1)厚度H度欄內第二組數為風向與上層風向開始一致之高度,第一組數為第二組高度以下之最近一點測風之高度。 $\bar{H}$ 為二者之平均。

(2)日期欄第一組為月,日,如 0422 為 4 月 22 日,第二組為時間(Z)。

(3)※為馬公、桃園、東港三測站之最大H。

(4)馬公平均 $\bar{H}=1650m$ , 桃園平均 $\bar{H}=1313m$ , 東港平均 $\bar{H}=962m$ , (恒春亦計算在內)。

(表五) 地面界限層高度

| 桃 園  |    |    | 東 港 |    |    | 恒 春 |    |    | 馬 公  |    |    |
|------|----|----|-----|----|----|-----|----|----|------|----|----|
| 高 度  | Vt | Vs | 高 度 | Vt | Vs | 高 度 | Vt | Vs | 高 度  | Vt | Vs |
| 250  | 14 | 0  | 228 | 26 | 8  | 320 | 26 | 3  | 320  | 30 | 16 |
| 500  | 33 | 20 | 229 | 14 | 6  | 386 | 18 | 8  | 320  | 31 | 19 |
| 500  | 44 | 18 | 274 | 12 | 4  | 412 | 24 | 10 | 366  | 34 | 17 |
| 549  | 35 | 16 | 274 | 21 | 8  | 640 | 30 | 7  | 500  | 8  | 2  |
| 914  | 36 | 10 | 280 | 9  | 5  | 686 | 17 | 3  | 500  | 64 | 18 |
| 1052 | 26 | 13 | 280 | 48 | 26 | 686 | 30 | 6  | 600  | 40 | 24 |
| 1500 | 40 | 10 | 290 | 13 | 3  | 731 | 23 | 5  | 640  | 44 | 34 |
| 1500 | 64 | 22 | 300 | 36 | 10 | 732 | 29 | 18 | 732  | 21 | 7  |
|      |    |    | 300 | 38 | 19 | 732 | 34 | 5  | 750  | 20 | 6  |
|      |    |    | 439 | 26 | 18 | 777 | 29 | 16 | 800  | 12 | 2  |
|      |    |    | 440 | 22 | 3  | 823 | 31 | 4  | 800  | 32 | 13 |
|      |    |    | 600 | 65 | 27 |     |    |    | 800  | 40 | 30 |
|      |    |    | 670 | 29 | 2  |     |    |    | 1300 | 48 | 40 |
|      |    |    | 810 | 50 | 18 |     |    |    |      |    |    |
|      |    |    | 950 | 36 | 8  |     |    |    |      |    |    |

單位:高度(公尺) Vt, Vs (kts)

Vt——界限層頂之風速 Vs——地面風速

高度資料有部份係由電碼換算為公尺,故個位數並非準確度。

風速在有局部地形渦旋時,幾乎與大武之風速毫無關連;而臺南與馬公在有分流渦旋時,仍有較佳之相關,因為分流之影響常可涉及馬公地區。

#### 四、垂直風場

關於颱風環流受中央山脈之影響而改變其垂直風場之分析,因受資料之限制,僅能涉及中心距探空測站較遠,地面風速不限制施放氣球之時,但是仍有一些寶貴而可用之資料足供分析。其中較滿意之發現可能是由本研究所命名之「颱風噴射氣流」,因為是初步之分析,尚待以後之繼續研究。

#### (一)渦旋厚度及地面界限層高度

由於必須選擇測站附近有渦旋,而測站又有無線電測風資料之故,使可用資料甚少。同時地面界限層之高度依鮑威平教授之建議,採用近地面風速隨高度漸減而所達一定之高度後,風速應保持不變或變化很少時,則二者之交界處可定為界限層之高度,但由於低層山脈影響所生之大風層(即低層

噴射氣流),以及渦旋之厚度影響等作用,作近於此種標準情況甚難選擇,因此可用資料亦極少,僅以表四及表五列出二者之資料,概略估計。

分流渦旋厚度之決定乃依據分流渦旋區內不但風速微弱,而且其風向隨高度之變化不定,有時順轉,有時逆轉,俟到達一定高度以後,其風向始與上層者一致,當開始一致之層定為旋渦之厚度,但因為測風資料之間距約為 300m,故開始一致之層可能低於此高度,但不可能高於此高度,其最大的誤差,為此層及其以下最近一點高度間之距離,故取此二層之高度平均之,以減少未知之誤差。

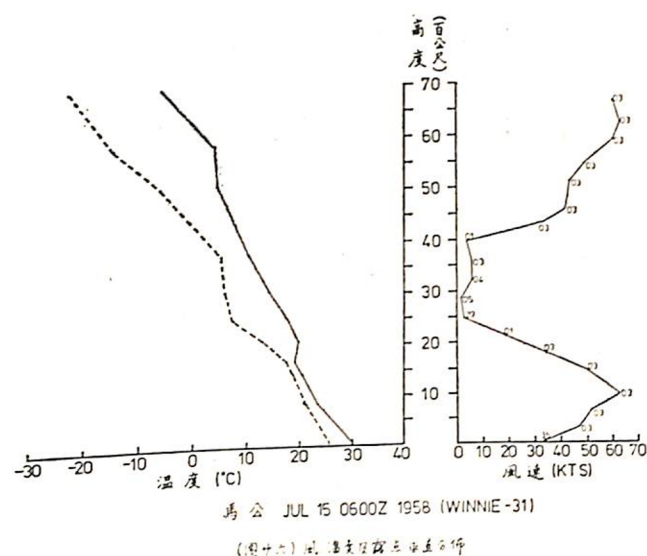
由表四中之資料略可獲知:

1.厚度以內之平均風速不超過 10kts,若假定水平向之範圍為 10kts,垂直向之平均風速亦為 10kts,則頗為合理。

2.分流渦旋之平均厚度為1210m,最大在馬公,1957年 Virginia 颱風所引起之尾流弱區度 2275m,通常皆不超過 2km。

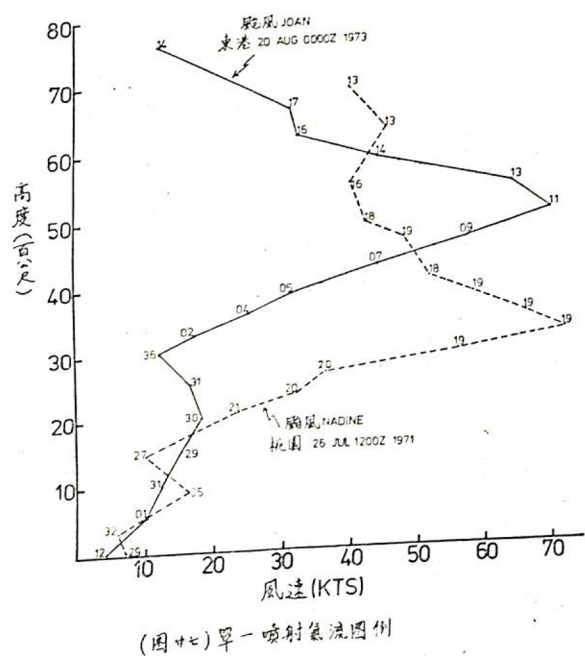


之厚度竟達 1500m。



圖廿六、WINNIE 颱風在馬公之風、溫度及露點垂直分佈 (JUL 15 0600Z 1958)

圖廿七為桃園及東港單一噴射氣流圖例，但在低層仍有二較大風層，低層之大風層可能受中央山脈之影響而因垂直輸送質量聚積於山頂以上，距山頂某一高度處形成一界限層，使山頂上必有較大之速度輸出質量，以適應物理之定律。但中層噴射氣流之發生是否由低層大風層連續之風切輸送質量及動量而形成，仰或有其他原因尚有待研究。

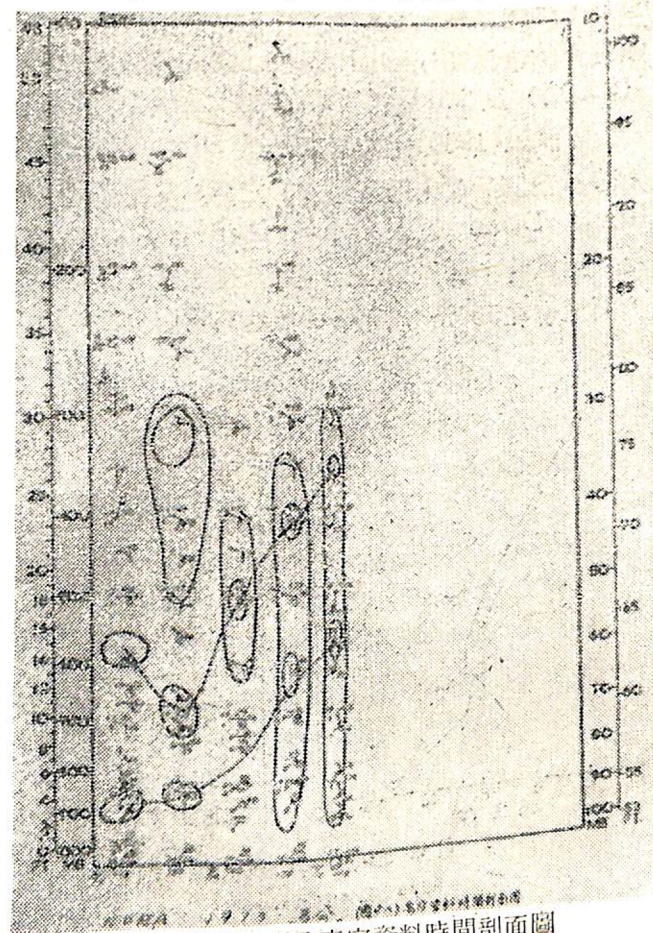


圖廿七、單一噴射氣流圖例

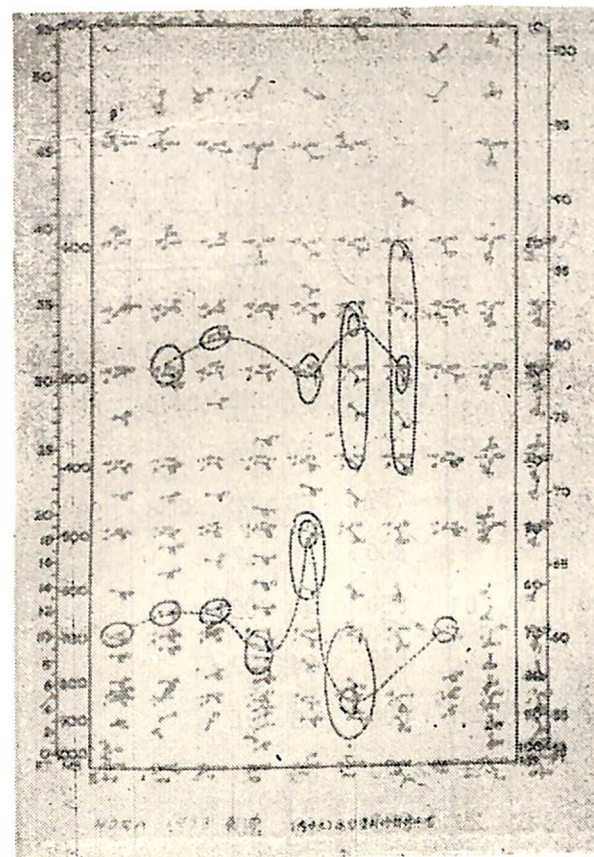
圖廿七中之資料，桃園施放探空時颱風 Nadeine 已經過臺灣海峽登上大陸。東港施放探空時颱風 Joan 之中心正在東港東南方之海上，亦即在蘭嶼西南方附近海上。

颱風噴射氣流之方向完全與颱風中心之相對位置有關，可為西風亦可為東風，當中心接近一地時，低層風速漸增，同時高層噴射氣流之動量向下輸送，使大風區逐漸擴展而佔一極厚之垂直空間，一般情形在五公里以下有一個或兩個大風帶，但是 1956 年 Dinah 颱風之中心於 9 月 3 日 0000Z 在花蓮附近登陸以前，桃園在 021500Z 有一次測風報告，5 公里以下竟有三層大風：高度 2011m，風速 130kts；高度 3246m，風速 94kts；高度 4800m，風速 171kts。與同時之探空資料相比較，並無相對應之溫度變化，因資料相距廿年前，已無法研判其正確性，僅留參考，未列入本報告中，但仍值得今後之證實。

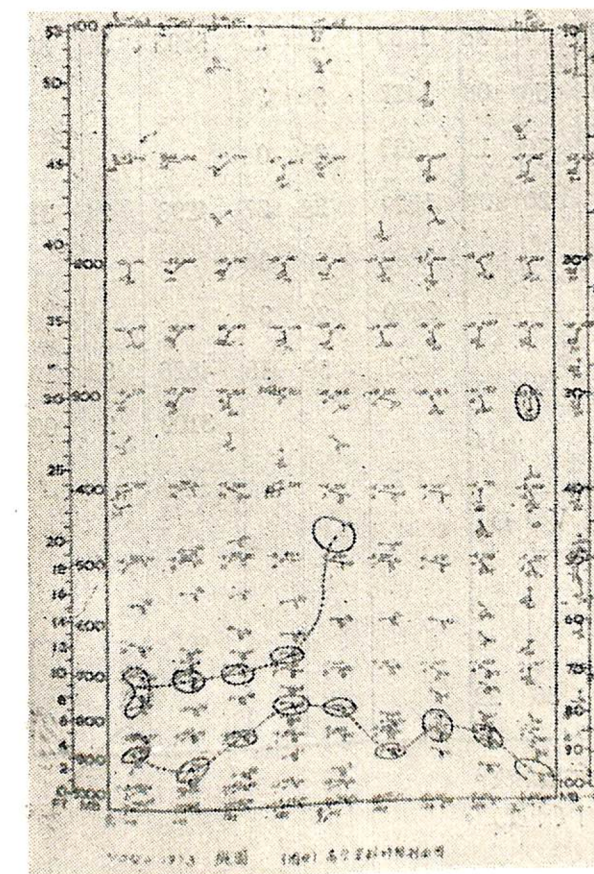
1973 年 Nora 颱風有最佳之每六小時探空及測風資料，Nora 颱風係穿越臺灣海峽南部，從金門附近登上大陸者，中心最大風速由 70kts 漸減為 50kts，34kts 風速之半徑為 120—90 哩，50kts 半徑為 80—50 哩。10 月 9 日 2100Z 中心最接近馬公，約在馬公西方約 36 哩之處，附圖廿八至卅為馬公、東港及桃園三測站之高空資料時間剖面圖，由圖可以很清晰的明瞭以上所敘述之各點，500mb 以下馬公及桃園有雙噴射氣流，而東港只有一個噴射氣流，另一在 300mb 層，不在本研究之高度內



圖廿八、馬公高空資料時間剖面圖 (NORA; OCT. 1973)

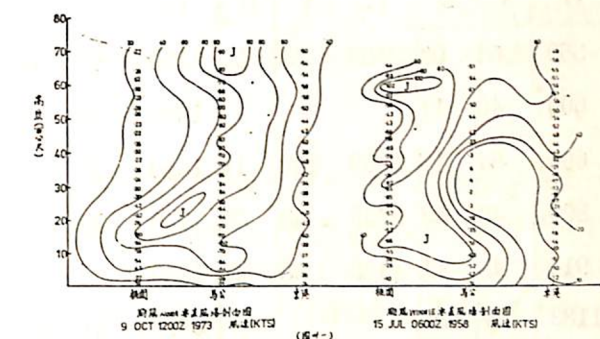


圖廿九、東港高空資料時間剖面圖 (NORA OCT. 1973)



圖卅、桃高空資料時間剖面圖 (NORA OCT. 1973)

。所有噴射氣流之風速皆較颱風近中心風速為強（當颱風在海峽時，近中心最大風速只有 (60-50kts)，此種風速之增強，以其發生高度及風之方向，中央山脈以及海峽之局部地形似有重要之影響作用。



圖卅一、颱風 Nora 垂直風場剖面圖  
9 OCT 1200Z 1973 風速 (KTS) (左)  
颱風 WINNIE 垂直風場剖面圖  
15 JUL 0600Z 1958 風速 (KTS) (右)

圖卅一為颱風 Nora 及 Winnie 之高空風空間剖面圖，Winnie 之中心正在臺灣東方近海，Nora 在海峽南部，東港之西南西方。圖中各層數字為風速。由圖可以看出颱風噴射氣流之空間分佈，根據已分析之資料研判（颱風中心最接近臺灣時不明瞭，因無高空資料），在颱風外圍時，最大風帶多發生於低層及中層，如圖卅一所示。值得注意之事實為颱風 Winnie，當時之最大速為 130kts，34kts 半徑 200 哩，50kts 半徑 120kts；中心距東港約 100 哩（東方），可能是中央山脈之影響，使馬公與東港間有一弱風區，此弱風區從東港外海一直延伸至約 4300m 處。其影響該處之颱風天氣狀況當然完全不同，在臺灣，當颱風侵襲時，所有探空測站同時施放之機會不多，如果各測站能破除困難，盡量爭取時間，在颱風影響施放氣球前，不一定在規定時間，由軍民雙方臨時決定一可行之時間，同時作業，不但對今後颱風之研究有資料可用，而且對當時颱風之預測亦有幫助。

根據 23 個有測風資料之颱風，繪成每次各測站之高空風垂直剖面圖，以決定颱風噴射氣流之存在及高度，發現風速弱時，僅有略微突出之形狀，但風速增強以後，即甚明顯，僅將各地顯著噴射氣流之高度列如表六，恒春測於 46 年 6 月以後即遷東港，故其資料僅有 46 年 6 月以前者，低層噴射氣流若受中央山脈之影響而生，則其高度應與風向有所關連，但是在有限的資料中（所有保存之過去測風資



(表六) 顯著颱風噴射氣流之高度

| 桃園   |     |    |           |     |    | 東港   |    |    |           |     |    | 馬公   |    |    |      |    |    |
|------|-----|----|-----------|-----|----|------|----|----|-----------|-----|----|------|----|----|------|----|----|
| 低層   |     |    | 中層        |     |    | 低層   |    |    | 中層        |     |    | 低層   |    |    | 中層   |    |    |
| H    | V   | D  | H         | V   | D  | H    | V  | D  | H         | V   | D  | H    | V  | D  | H    | V  | D  |
| 550  | 64  | 02 | 3300      | 58  | 05 | 1160 | 60 | 34 | 4670      | 40  | 17 | 274  | 28 | 02 | 4572 | 30 | 06 |
| 600  | 40  | 11 |           |     |    | 1600 | 60 | 34 |           |     |    | 594  | 69 | 20 | 3886 | 24 | 29 |
| 600  | 84  | 10 | 3900      | 140 | 14 | 1650 | 37 | 09 |           |     |    | 594  | 37 | 22 | 2469 | 63 | 21 |
| 800  | 46  | 02 | 2750      | 48  | 06 | 17.0 | 29 | 36 | 4710      | 46  | 02 | 600  | 30 | 36 |      |    |    |
| 914  | 48  | 11 | 4480      | 36  | 11 | 1990 | 55 | 34 |           |     |    | 777  | 53 | 02 | 3338 | 39 | 02 |
| 1188 | 67  | 36 |           |     |    | 2377 | 21 | 33 |           |     |    | 800  | 76 | 17 |      |    |    |
| 1250 | 52  | 03 |           |     |    | 2390 | 49 | 29 | 5300      | 30  | 04 | 850  | 40 | 02 |      |    |    |
| 1326 | 23  | 23 |           |     |    | 2972 | 27 | 06 |           |     |    | 869  | 94 | 27 |      |    |    |
| 1417 | 66  | 07 |           |     |    |      |    |    | ※<br>3292 | 48  | 26 | 900  | 68 | 01 |      |    |    |
| 1500 | 72  | 02 |           |     |    |      |    |    | ※<br>4892 | 56  | 29 | 900  | 48 | 36 |      |    |    |
| 1550 | 46  | 20 |           |     |    |      |    |    | 5420      | 122 | 29 | 950  | 40 | 20 |      |    |    |
| 1555 | 17  | 33 |           |     |    |      |    |    | 3200      | 58  | 07 | 960  | 63 | 03 |      |    |    |
| 1600 | 80  | 10 |           |     |    |      |    |    | 3100      | 50  | 26 | 1050 | 32 | 03 |      |    |    |
| 1700 | 68  | 08 |           |     |    |      |    |    | 4800      | 64  | 28 | 1280 | 24 | 25 | 5395 | 37 | 30 |
| 1800 | 68  | 10 |           |     |    |      |    |    | 4500      | 50  | 03 | 1417 | 33 | 36 |      |    |    |
| 1829 | 50  | 05 |           |     |    |      |    |    | 5000      | 70  | 11 | 1463 | 25 | 04 |      |    |    |
| 2011 | 130 | 05 | ※<br>3246 |     |    |      |    |    | 4700      | 20  | 07 | 1829 | 28 | 27 | 4298 | 24 | 31 |
|      |     |    | 4800      |     |    |      |    |    |           |     |    | 1850 | 56 | 36 |      |    |    |
| 2350 | 56  | 21 | 5800      | 60  | 19 | 恒 春  |    |    |           |     |    | 2200 | 26 | 32 |      |    |    |
| 2550 | 116 | 08 | 5650      | 120 | 07 |      |    |    |           |     |    | 2926 | 59 | 18 | 4526 | 82 | 19 |
| 2652 | 46  | 06 | 4892      | 46  | 05 | 低層   |    |    | 中層        |     |    |      |    |    | 3109 | 23 | 06 |
|      |     |    | 4343      | 33  | 16 | H    | V  | D  | H         | V   | D  |      |    |    |      |    |    |
|      |     |    | 3200      | 72  | 19 | 2149 | 42 | 27 |           |     |    |      |    |    |      |    |    |
|      |     |    | 3850      | 58  | 19 | 2332 | 86 | 24 |           |     |    |      |    |    |      |    |    |
|      |     |    |           |     |    |      |    |    | 3292      | 56  | 22 |      |    |    |      |    |    |

1. 低層中層資料相平行者，為同一次測風而在 6 萬公尺以下有二噴射流。
  2. H—高度 (公尺)
  3. ※表同一資料之二噴射氣流。
  4. 高度資料有部份係由電碼換算為公尺，故個位數並非準確度。
- V—風速 (kts)      D—風向 (十度)。

料在颱風期間皆已應用)，尚未能找出關係，但是以低層噴射氣流之最低高度研判，馬公之噴射氣流低，桃園次之，東港較高，若此，則中央山脈之影響已甚明顯。中層即區別不顯，多在四萬與五萬公尺間，而低層之高度亦變化甚大，可能與颱風強度，距離有關，有待進一步之研究，在表中亦可看出單一噴射氣流與雙層噴射氣流皆有發生之可能，但其原因不明。

### 五、中央山脈風場

中央山脈風場乃最難研判之問題，原因是資料過少，在中央山脈中可獲得之資料為日月潭、玉山及阿里山，其觀測之資料應以風及溫度，露點等較為代表，氣壓可代表該高度者；但在目前又不易分析等高面上氣壓，若訂正至海平面，則無意義，以三測站分析之風場固不能代表整個中央山脈之風場。因此，本段報告僅能以有限之資料初步說明一些可能之現象。

#### (一) 中央山脈測站之報告與颱風環流

經用 50 次臺灣三探空測站同時有紀錄，或至少有一測風紀錄而配合相對應之颱風環流以分析中央山脈中三地面測站風向風速之代表性，經發現玉山之風向足以配合三探空測站之 700mb 風向而代表不受山脈影響之環流方向，或分流渦旋之存在（可參考本報告所附各氣流圖中粗箭矢以做比較，僅風速比較測風者為小。玉山所觀測之風向極有價值，因為在實際作業或研究時，無探空資料，而玉山資料為唯一可以參考之高山資料。阿里山有時與玉山風向一致，但亦有不同之風向報告。而不與颱風環流及測風紀錄相符之時，日月潭所受地形影響最大，既不與西部各測站者相符合，又不與阿里山及玉山者相吻合，僅可代表日月潭當地之環流狀況，惜在該高度僅此一個報告，實無法決定日月潭地區任何之特殊地形現象。

#### (二) 氣流繞山、越山及垂直運動

若認為玉山之風向可代表中央山脈以上的氣流狀況則可將任何一次颱風影響臺灣時之氣流分為三部份：

1. 山脈以上之氣流形式。
2. 山脈以下成二度空間之氣流形式。
3. 沿山脈之垂直運動。

山脈以上之氣流形式可以三探空測站及玉山並參考阿里山之報告概略決定之，如圖五，九，十，十三，廿二及廿三，皆為以颱風環流運行之氣流。

圖六，圖八為以基流而不受颱風環流影響之形式存在，在山之背風面生成渦旋。圖十一為海風輻合場，但在山脈上對西部言有高原與低層相反之氣流，而與東部有相近似之方向，因此在低層與山脈上層之間必有不同之垂直氣流，圖十二正為相反之情況，為一標準之輻散陸風形式，但在山脈之氣流有向山脈兩側運行之趨勢，則沿山脈必有下降氣流。圖廿一為最完整之山脈上環流，配合海峽中之分流渦旋。

基於以上主觀比較之分析，由高層不受中央山脈影響之氣流形式（必須利用少數資料主觀而合理的研判），與低層氣流線形式之分析，二者之間必有一定之中間形式，亦即繞山，越山及垂直氣流。例如圖五，除過北端可沿山脈之上升氣流外，其餘低層及高層皆為沿着中央山脈運行，在此況下，二度空間之運動已足說明颱風之環流，當然環流的強度會受到影響，在目前地形影響之局部垂直運動尚無法測量及計算之時，經由分析氣流圖及中央山脈高層之環流狀況，導致一個概念，即：

由 700mb 風場（即可代表山脈以上氣流形式）與山脈底層二度空間之氣流形式（即地面氣流圖）可以間接設定一係數或指數，以每小時雨量為單位，而做為各地每小時降雨量之預測參考。

### 六、結 論

颱風環流受中央山脈影響以後之現象為一極複雜的問題，但是對臺灣承受不同之風雨災害亦為最重要之因素，若可降水量為一常數之同一颱風，或者非同一颱風，可能所造災害在程度與位置上皆不相同，即使運行方向一致。很明顯的，不同地面風場與高空風場促成不同之垂直運動氣流，此為在臺灣颱風雨量極度不均勻分佈之唯一原因。在今天數值預測法因受資料之限制，也就是客觀分析原始資料之準確性問題未獲解決前，統計方法亦有其原則上假定之限制，關於颱風雨量預測問題，也許可從另一方面獲致一些較佳之結果，即先瞭解颱風環流受中央山脈阻擋後之現象及成因，進而在實驗室中予以模擬，因為實際氣象觀測之資料仍不足以完滿的分析環流之三度空間狀況。由已知之部份模擬相似，再從實驗室中測量及觀察未知之部份。本研究及配合之實驗室模擬雖已有初步之滿意結果，但距成功尚遠。

由流力之觀點看，為一基流加環流再加一阻礙體之三度空間問題，但是已非今日可用智識所能解



決之問題。在氣流圖之分析中，業已發現某些指示，例如環流之強弱與分流渦旋之發生有關，弱環流易生渦旋，強環流不易生成，即使生成亦屬範圍極小者，此外，渦旋發生多在 700mb 風向延長之方向，而此方向必不在颱風環流之方向，似乎與基流結一阻礙體而生渦旋有關。

花蓮風速之突然增強現象，與颱風環流接近山脈之停滯點有極大之相關，近中心最大風速 130kts 之 Nina 颱風 (1975) 距花蓮東向東方 48 哩時，該處風速始增為 20kts，距花蓮東方 15 哩時，增為 43kts，距東方 8 哩時，始有 78kts 之風速。

實驗室流力試驗配合實際觀測資料之分析也許是另一條值得嘗試的途徑。

### 致 謝

本研究承國科會之經費支援；鮑咸平教授熱心指導與提供卓見，以及其實驗室模擬結果，使本研究得以順利完成。俞川心、葉立國、黃中成、馬汝安、張儀峰、葉文欽、陳明偉、傅載雄等學弟協助繪圖分析、製表、攝影等工作，日夜加班，莊思禮同學細心填繪高空風剖面圖以及其他相助於本研究工作之同學，皆一併致誠懇之謝意。

### 參 考 文 獻

1. 王時鼎 (1954) —— 颱風橫越臺灣中央山脈之研究，中國天氣分析月刊四卷十期。
2. 徐應環、王時鼎 (1960) —— 臺灣近海颱風預報問題，氣象預報與分析 (二期)。
3. 王時鼎 (1963) —— 沿臺灣中央山脈前進颱風之地形影響研究，氣象預報與分析 (十四期)。

4. 林則銘、俞家忠、曲克恭、王時鼎等 (1972, 1973, 1974) —— 侵襲臺灣颱風風力之研究，研究報告 (004, 005, 006 號)。
5. 鮑咸平 (1976) —— 山脈對颱風影響的實驗研究，大氣科學第三期。
6. Holton, J.R. (1972) — An Introduction to Dynamic Meteorology。
7. Shea, D.J. and Gray, W.M. (1973) — The Hurricane's Inner Core Region 1 and 2, J. of Atmo. Sciences, Vol. 30。
8. 朱學良 (1968) —— 新竹海陸風之研究，氣象學報第十四卷二期。
9. Fritz, S (1965) — The Significance of Mountain Lee Weave as Seen from Satellite pictures, J. of Applied Met. Vol. 4, No. 2。
10. Hoecker W.H. and Angell, J. K. — Effect of a Sudden change in Terrain Height on the Three-Dimensional Low-level air Flow, Monthly Wea Review, Vol. 93, No. 12。
11. Koteswaram, P. (1969) — The Upper tropospheric and Lower Stratosphere Structure of Severe Hurricanes, NHRL Tech. mem. IERTM-NHRL。
12. 曲克恭 (1975) —— 颱風部份特性之分析研究，氣象預報與分析六十四期。
13. Brand, S. and Blelloch (1974) — Change in the characteristics of Typhoons Crossing the Island of Taiwan, Monthly Wea. Review Vol. 102。