

颱風眼與風的偏向角

薛鍾彝

L' étude des yeux des typhons et leur déviation du vent.

Chong-I Hsueh

Resumé

1. *La variation du temps dans les yeux des typhons.*
2. *L' introduction de formation des yeux des typhons.*
3. *La variation des éléments météorologiques dans les yeux des typhons.*
4. *La formation des yeux des typhons en formules dynamiques.*
5. *L'étude des rayons des yeux des typhons.*
6. *L'étude de la déviation du vent dans les typhons.*

颱風眼是一個非常神秘而且有興趣的現象，在颱風的中心部，其直徑約自數公里至數十公里，在此範圍內，一切現象和颱風的其他部份完全不同，風很小甚至無風、無雨或僅有斷續的微雨，雲層甚薄可見藍天及日月星光，一離颱風眼近界，便是狂風豪雨，茲將

- I 颱風眼之現象
- II 颱風眼之成因
- III 颱風眼內各氣象要素之變化
- IV 颱風眼形成之動力式
- V 颱風眼半徑之測算
- VI 颱風內風的偏向角之測算。

等分述如下：

I 颱風眼之現象

颱風範圍很大，普通半徑自二百至五百公里，無法直接觀測其全部，從火箭及人造衛星上攝得的照相中，可以看出颱風頂上大致為螺旋狀雲，在北半球因地球自轉偏向力偏右的作用，是沿反時鐘方向旋轉，並在中央可以明顯的看出少雲的靜風區域，即颱風上部所見之颱風眼。若以氣象偵察飛機，從各不同高度及不同方向飛入颱風內部觀測，測得內部大致為一半徑甚大的雲柱，自頂端到地面的高度不等，最高曾達一萬八千公尺以上，愈近中央部分，雲愈厚愈密，風雨也愈大，漸向外雲層漸高，風雨也漸弱，但其最中心部，無雲或雲很薄，沒有風雨的現象，這就是颱風內部所見的颱風眼。如在地面上，颱風逐漸接近，並且颱風眼通過測站，這時我們可以先看到風雨逐漸增強，然後風雨驟然停止，短時間後風雨再行強烈，風向與前相反，這就是地面所見之颱風眼。

II 颱風眼之成因

熱帶氣旋最初形成之時，雖有鋒之存在，但一經發展而成為颱風，則因急速之旋轉運動，易將空氣混

合，鋒即消滅，颱風之範圍較溫帶氣旋為小，其中部氣流向上急升，故中心氣壓甚低，最低可至九百毫巴以下，上升氣流，漸至高空，漸向四週分散，在颱風之外圍且有下降氣流，故氣壓反較平均略高，因此颱風區域內之氣壓梯度 (Gradient) 甚大，等壓線之分佈，愈近中心愈密，等壓線之形狀，在外圍略成橢圓形，在內圍則成正圓形，中心氣壓愈低風速愈大，最大風速可達每秒五十公尺以上，普通風速超過六級之區域，其半徑自一二百公里至五六百公里，在颱風之中心部，氣流旋轉之速度最大，曲率半徑最短，故發生極大之離心力，與氣壓梯度所生之向心力相抵消，因之造成一靜風區域，即颱風眼。又根據摩擦力對於風向關係之理論，亦為颱風眼構成之另一原因。摩擦力愈大，風向對於等壓線之偏角愈大，摩擦力愈小，風向對等壓線之偏角愈小，在颱風範圍內，愈近中心，風速愈大，摩擦力愈小，至極限時，即摩擦力為零時，風向與等壓線平行，亦即重合，形成劇烈旋轉運動，成孤立之管壁，上大下小如漏斗形，隨高度向外傾斜，其底層範圍，直徑約為數公里至數十公里，在此區域內，風雨停止，雲層消散，溫度發生不連續現象，即颱風眼，茲將颱風眼通過測站時之氣象狀況，舉例如下：

(1) 1942年9月11日，颱風經本省東方海面，向西北進行，通過宜蘭南方，宜蘭於11日22時測得最低氣壓為 723mm，風速達每秒 30公尺，22時5分時，暴風雨停止，進入無風狀態約 30分鐘，天氣悶熱，黑暗之曠野視程漸次良好，可透視至一百公尺，東北方上空有數星出現，西北方時有發光現象，22時40分，風雨再作，繼續增強，風向轉南南東，23時測得南南東風，每秒風速達 20餘公尺，颱風眼中氣溫上

註：西村傳三為臺灣在日據時代氣象台台長

升。

(2)1947年 7 月 18 日，颱風自那霸南方海上向西進行，通過彭佳嶼南側，彭佳嶼於 1 時 45 分測得風向為西北，風速每秒 30 餘公尺，1 時 55 分風速計吹毀，2 時 40 分起，風速激急低降，2 時 55 分至 3 時呈無風狀態，3 時 3 分起風雨再作，氣壓於三時達最低為 710mm，天空現象因濃霧不明，3 時 50 分為南南東風，風速每秒達二十餘公尺，暴風雨又趨猛烈，據上所述，確定颱風眼通過彭佳嶼之南側。

III 颱風眼內各氣象要素之變化

(1)氣壓 不論颱風眼的範圍大小，在眼內各部份的氣壓，是大致相同，但自颱風眼的邊緣向外，氣壓急劇上昇，眼內有時前部氣壓略有降低現象，後部稍稍漸次升高，至於颱風內的最低氣壓，大都是在颱風眼內，但不一定在正中心。

(2)氣溫 根據地面實測紀錄統計，颱風眼內外的溫度相差甚微，眼內較眼外約高二二度，大概係由颱風內雲層稀薄日光可以穿透之故，利用無線電探空儀測得眼內高空溫度常較眼外高空溫度高十餘度。

(3)濕度 颱風眼內雲雨較少，自應比較乾燥，偶由無線電探空儀測得低處濕度仍頗大，愈向高空濕度漸小，可能係因高空有下降氣流。

(4)風 在颱風眼內寂靜無風，或僅有微弱之風，方向不定，當颱風眼通過某測站時，在通過前後，風的方向常相反。

(5)雲 在颱風眼內，常發現有成塊小山狀雲，中央突起，四週漸薄，並有裂隙，與眼外的雲，似不連接，在雲的裂隙中，可以看到藍天或日月星光。

VI 颱風眼形成之動力式

若以流體力學之運動公式，討論颱風理論上之構造，顯然極為簡便，船隻上之記錄，並無多大價值，因其位於大風中，位置必時有變動，大陸的地形，影響颱風，使之失去其位於海洋上有規律之運動，而使颱風變形，不能適用於運動公式，例如當颱風經過臺灣或琉球時，其等壓線大多數變為不規則形，故獨立小島之數據，實較為應用。在本省六十年颱風記錄中，獲得颱風中心經過本省各測站時，因溫度之變化，得知地面有圓形之不連續現象存在。V. Bjerknes 曾提出該項不連續現象傾度之公式為：

$$\frac{dz}{dr} = \frac{1}{r} \frac{\rho_1 V_1 - \rho_2 V_2}{g(\rho_1 - \rho_2)} + 2\omega \sin\varphi \times \frac{\rho_1 V_1 - \rho_2 V_2}{g(\rho_1 - \rho_2)}$$

1 與 2 表示外部及中心平靜之部。

D. Brant 提出之公式為：

$$\frac{dz}{dr} = \left(\frac{\partial P_1}{\partial r} + \frac{\partial P_2}{\partial r} \right) / \left(\frac{\partial P_1}{\partial z} - \frac{\partial P_2}{\partial z} \right)$$

Dr. Haurwitz 提出之公式為：

$$\frac{dz}{dr} = \frac{R}{g} \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \frac{1}{P_1} \frac{\partial P_1}{\partial r}$$

此等近似公式，係由水力學公式導出，關於中心之定理，係根據中心風之近似報告而得。因中心部之實際情形，現尚未能詳盡瞭解，故關於中心部份，暫可假設 $V_2 = 0$ 與 $\frac{\partial P_2}{\partial r} = 0$ 。中心圓之不連續性，經過多次研究，有關颱風眼中之空氣運動與氣壓梯度，因缺乏確實之自記記錄，仍未能確定。欲測定中心至邊緣之距離，必需利用溫度與風之自記記錄，過去六十年中，颱風中心，通過本省各測站時，風及溫度同時常有突然之改變，溫度曲線有時與通常鋒面通過時相同。

那霸彭佳嶼等地為島嶼，基隆、宜蘭等地位於沿海，幾完全不受陸地影響，可代表颱風位於海洋時之特性，颱風中心通過上列各測站時，溫度多偏高，最高可偏高三度以上，相對濕度雖未達飽和，但多在 95% 以上。因此可假設颱風眼邊緣之空氣運動，幾與圓形等壓線相切，垂直運動極微，西村傳三曾提出設以 Z 為軸，對稱轉動之球體，其運動公式，以柱坐標表之如下：

$$u \frac{\partial u}{\partial r} - \frac{V^2}{r} + \omega \frac{\partial u}{\partial z} - \ell v = Rr - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} \dots\dots\dots ①$$

$$u \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{uv}{r} + \omega \frac{\partial v}{\partial z} + \ell u = -R\theta \dots\dots\dots ②$$

式中 u, v, ω 各值，當 θ, z, r 增加時為止，P 為壓力， ρ 為密度，R 為摩擦力， ℓ 為 $2\omega \sin\varphi$ ，此中 ω 為地球轉動之角速度， φ 為緯度。

設 $u = -V \sin\psi$

$$v = V \cos\psi$$

式中 V 為風速， ψ 為風向與切線所成之角，代入方程式後，再各乘以 $\sin\psi$ 或 $\cos\psi$ 相加相減得：

$$V_2 \frac{\partial \psi}{\partial r} \sin\psi + \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} - \frac{V_2}{r} \right) \cos\psi = R \sin\beta + \ell V + \omega V \frac{\partial \psi}{\partial z} \dots\dots\dots ③$$

$$\left(V \frac{\partial V}{\partial r} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} \right) \sin\psi = R \cos\beta + \omega \frac{\partial V}{\partial z} \dots\dots\dots ④$$

$$\left. \begin{aligned} R \sin\beta &= Rr \cos\psi - R\theta \sin\psi \\ R \cos\beta &= Rr \sin\psi + R\theta \cos\psi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ⑤$$

根據上述假設，可設想颱風眼邊緣，離中心距離為 r_0 處，其偏向角趨於零，則可於④式中，令 $\psi = 0$

$$\text{則 } R \cdot \cos\beta + \omega \frac{\partial V}{\partial Z} = 0$$

若垂直速度 ω 為零，則

$$\cos\beta = 0 \quad \beta = \frac{\pi}{2} \dots\dots\dots ⑥$$

由式③式⑥可得：

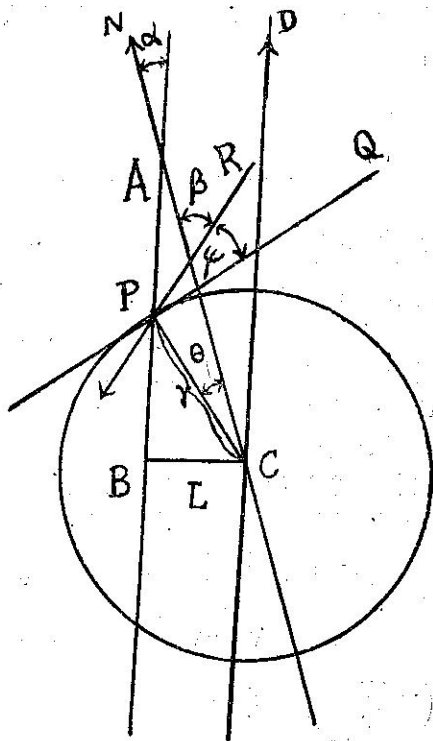
$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} - \frac{V^2}{r} = R + \ell V \dots\dots\dots ⑦$$

V 颱風眼半徑之測算

根據式⑦，颱風眼半徑 r_0 可寫成下式：

$$r_0 = \frac{V^2}{\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} - \ell V - R} \dots\dots\dots ⑧$$

從式⑧可知颱風眼半徑，隨風速氣壓梯度及摩擦三項而定，陸地 R 較大，但風速常較海洋為小，故半徑必小，但尚須注意外部空氣之傾入及內流運動而造成之上升過程，可使其氣壓梯度改變。



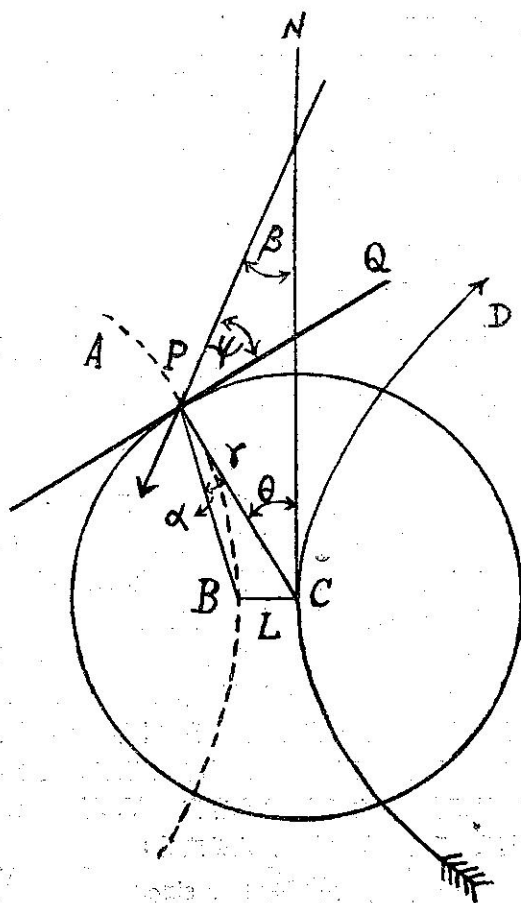
(圖 1)

根據六十年颱風侵襲臺灣統計，颱風眼半徑，在海上時大至 25 公里以上，在陸上時小至 10 公里以下。其平均值，在陸上約為 13 公里，在海上約為 20 公里。其差別多因摩擦與風速之不同而造成。

IV 颱風內風的偏向角之測算

設 ψ 角為風向與等壓線構成之角，自式④可測定 ψ 角，但方程式中右邊各項未知數如 $\cos\beta$ 及 W 等，不易自觀測值求得，故不易解，且式③之微分方程亦極複雜，西村傳三曾提出實用法則，以測定 ψ 角，如圖 1； C 為颱風中心，該颱風沿 CD 直線前進， AB 與 CD 線平行， BC 為離 C 點之最短距離， PQ 為 P 點之切線， PR 為風向， CA 為子午線， β 為風向之角度

$$\begin{aligned} \psi &= \angle QPR \quad \text{風向與切線之偏角} \\ \theta &= \angle ACP \quad CP = r \\ \angle ABC &= \frac{\pi}{2} \quad \angle BAC = \alpha \end{aligned}$$



(圖 2)

設某測站以某速度與颱風作相對運動，並設某時該站位於某等壓線之 P 點，則可得下列關係式

$$\psi + \theta + \beta = \frac{\pi}{2}$$

$$\frac{L}{r} = \sin(\theta + \alpha) = \sin\left(\frac{\pi}{2} + \alpha - \psi - \beta\right)$$

$$\text{得 } \psi = \frac{\pi}{2} + \alpha - \beta - \sin^{-1}\left(\frac{L}{r}\right) \dots\dots\dots \textcircled{9}$$

β 為風向，可自觀測值直接獲得， α 可自颱風進行之進路求得，通常 β 幾為常數，當中心非常接近時，始有改變。其次尚需測定颱風進路為曲線時之 ψ 角，當颱風經過臺灣沿海常有此種情形，如圖 2，設 CD 曲線，為颱風之進路，APB 為設想中測站以某速度與颱風中心作相對之運動，以上述相同之方法，可求 ψ 角

$$\theta + \beta + \psi = \frac{\pi}{2}$$

$$\frac{L}{\sin\alpha} = \frac{r}{\sin(\beta + \psi + \alpha)}$$

$$\psi = \sin^{-1}\left(\frac{r}{L} \sin\alpha\right) - (\alpha + \beta) \dots\dots\dots \textcircled{10}$$

α 隨測站之位置而改變，可自觀測值計算得之。由此可推算摩擦力 R 及上升速度 W。

關於移動颱風外部數百公里地區風之偏向角 Y. Horiguchi 曾作討論，該報告中，認為該角度平均約為 38°，前部為 30°，後部為 45°，兩側為 38°，又 Y. Ishimaru 則認為當颱風中心接近時，風向角常減小。上列兩種討論，均多合於六十年來，侵襲臺灣的颱風，風向偏角之實際情形。

近十年來，由於氣象儀器與觀測方法之進步，如雷達偵察，人造衛星偵察等，對於颱風眼之結構，將逐漸詳細明瞭，當更有利於研究。(完)

氣象學報徵稿簡則

- 一、本刊以促進氣象學術之研究為目的，凡有關氣象理論之分析，應用問題之探討，不論創作或譯述均所歡迎。
- 二、本刊文字務求簡明，文體以白話或淺近文言為主體，每篇以五千字為佳，如長篇巨著內容特佳者亦所歡迎。
- 三、稿件請註明作者真實姓名、住址及服務機關，但發表時得用筆名。
- 四、譯稿請附原文，如確有困難亦請註明作者姓名暨原文出版年月及地點。
- 五、稿中引用之文獻請註明作者姓名、書名、頁數及出版年月。
- 六、惠稿請用稿紙繕寫清楚，並加標點。如屬創作論著稿，請附撰英文或法、德、西文摘要。
- 七、本刊對來稿有刪改權，如作者不願刪改時請聲明。
- 八、惠稿如有附圖務請用墨筆描繪，以便製版。
- 九、來稿無論刊登與否概不退還，如須退還者請預先聲明，並附足額退稿郵資。
- 十、來稿一經刊載即致稿酬，每千字按三十元至四十元計算。創作論著稿之特具價值者另議。
- 十一、惠稿文責自負。
- 十二、惠稿請寄臺北市公園路六十四號臺灣省氣象所氣象學報社收。