

1969年衛歐拉颱風過境期間大尺度大氣結構之研究

邱 爾 文

A Study of the Characteristics of Large-scale Atmospheric Conditions during the Passage of Typhoon Viola(1969)

Er-Woon Chiou

ABSTRACT

A diagnostic analysis is presented of the characteristics of large-scale atmospheric flow in the southeastern part of Continental China during the 3-day (27 July 1969 to 29 July 1969) period of typhoon Viola's (1969) passage.

Data used in this study consist primarily of 00GMT and 12GMT rawinsonde reports at standard pressure levels. Analysis of the following observed and computed quantities are performed: zonal and meridional wind components, temperature, equivalent potential temperature and relative humidity. Divergence, vorticity and vertical velocity fields are computed using pentagon method developed by Chien and Smith (1973) and adjusted according to a scheme by O'Brien (1970). Results have also been examined separately for Viola's mature stage and decaying stage.

Using a quasi-Lagrangian approach, various terms in the vorticity equation are computed, followed by a discussion of the contribution of each term at different layers.

It is indicated that during the passage of Viola, its circulation has an impact on the large-scale flow and it appears that deep cumulus convection associated with Viola plays an important role in the large-scale vorticity budget.

一、緒 言

熱帶氣旋所挾帶之狂風、暴雨及湧浪往往造成巨大的生命財產損失。以台灣為例，據統計1961年至1970年十年中因颱風而引起之損失，高達新台幣六十八億元，平均每年損失六億以上。前年（民國66年）的賽洛瑪颱風對台灣南部造成之風災，有形與無形的損失，可能不止一百億。

為增進吾人對颱風的瞭解，以便更有效提高颱風預報之準確度，從而減少颱風侵襲之損害，國內外許多學者專家，先後採用各種不同方法，進行有關颱風問題的研究，已經獲致顯著的成就。近年來有關颱風研究方面的論著吳氏（1978）及汪氏與張氏（1978）等曾作了詳細的介紹。

有關颱風特性及結構方面的研究，大致可分為兩種。第一種是用數值模式，來模擬颱風的特性，如Ooyama（1969）與Anthes et al.（1971）之研究。第二種則是根據實測的結果，利用地面及高空資料，分析有關颱風環流及能量之各種參數，如早期Jordan and Jordan（1954）及近年來Vincent, Gommel & Chang（1974），Vincent & Chang（1975）與Frank（1977）之研究。以上兩種研究都很重要，其研究成果均有助於增進吾人對颱風之更深入瞭解。

國內對颱風之研究最近十多年來在國科會規劃與協調下，已經有了很大的進展。可是研究內容，多半偏重於颱風路徑及其相關之風雨以及數值預報。由於西太平洋颱風內部資料不夠完整，有關颱風特性及結構方面的研究並不多見。曲氏（1975）與江氏（1976）曾利用飛機偵察報告及台灣之探空資料對颱風的某些特性進行分析。自從國科會於民國62年委託空軍氣象聯隊整理出中國大陸各測站十年（民國52年至61年）的探空資料以後，充分利用該資料，並配合亞洲天氣圖，對通過台灣附近海面並在華南沿海登陸的颱風，進行診斷分析的時機已經成熟。這種診斷分析，雖然不能像有足夠的飛機偵察資料的大西洋颶風那樣求得颱風內部的詳細構造，但是却仍然可以探討颱風附近地區的大尺度大氣環流結構及能量傳輸過程，並且能獲得極富參考價值的一些重要結果。Chang & Chiou（1979）與作者（1978）的研究，就是很好的例證。

本研究可視為上述研究工作的延續。其特點是由過去在華南沿海登陸的颱風中，選取一個入內陸甚深，在陸上移行甚久之颱風（1969年衛歐拉颱風），對颱風附近的大尺度大氣結構進行診斷分析。分析的時間共計三天，由該氣旋系統為強烈颱風階段（中心氣壓895mb）一直到逐漸減弱而轉為熱帶低壓（氣壓988mb）時為止。

二、資料與計算方法

(一) 資料

本研究使用之資料為台灣三個測站（桃園、東港及馬公）以及華南各測站 00GMT 及 12GMT 的地面及探空資料。資料來源係採用空軍氣象聯隊所整理之資料以及日本氣象廳出版之亞洲天氣圖。各測站分佈情形如圖 1。分析之時間為 1969 年 7 月 27 日至 29 日共計三天，包括六次綜觀分析時間，間隔時間為 12 小時。

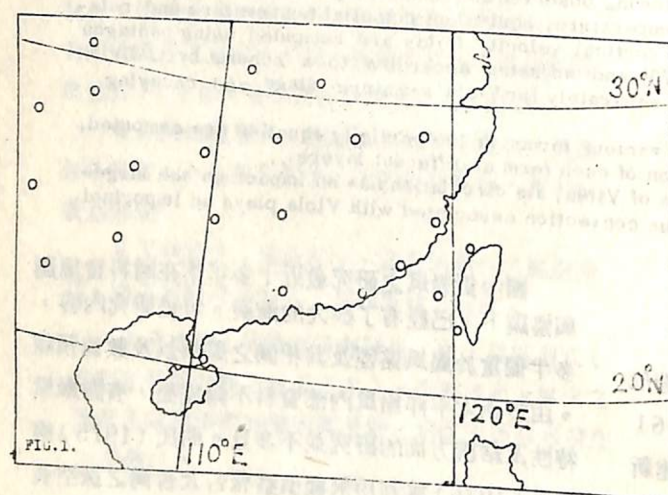


Fig. 1. Network of stations.
圖 1、測站分佈情形

在垂直方面，本研究取 850mb、700mb、500mb、400mb、300mb 及 200mb 六個等壓面，並將地面氣壓值定為 1000mb。因較高層資料欠缺太多，相對濕度僅分析到 500mb 等壓面。

(二) 計算方法

首先利用各測站觀測資料，計算各等壓面上各站之位溫，並求輻散量與渦旋度。計算該二量時所需要的一階導數係採用 Chien & Smith (1973) 所提出的二度空間泰勒展開模式 (Two-dimensional Taylor's Series model) 進行估計；然後再以運動學方法 (Kinematic method) 求垂直風速，並利用 Chang (1973) 根據 O'Brien (1970) 之方法所設計之修正程序，將垂直風速予以修正。

渦旋度收支的計算，乃根據下列渦旋度方程式：

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = \text{HADV} + \text{DIV} + \text{VADV} + \text{TWIST} + \text{RES} \quad (1)$$

(a) (b) (c) (d) (e)

該式右邊前四項均針對每一站每一次綜觀分析時間分別予以計算。然後再將同一站同一時間相鄰兩等壓面上之值平均而求得代表各有關壓力層 (pressure layers) —— 即 (1000-850mb)，(850-700mb)，(700-500mb)，(500-400mb)，(400-300mb) 及 (300-200mb) 各層之數值。

(a) 項之渦旋度隨時間變化率是由相鄰兩次綜觀分析時間之渦旋度相減，再除以間隔時間 (12 小時) 而求得。為了比較起見，右邊各項也分別由相連兩次之值求出 12 小時內的平均值。

欠缺之資料，風速及風向，乃根據 Chien & Smith (1973) 所建議之方法補齊，其餘資料則依線性內插法加以補齊。

(1) 式的 (f) 項是根據平衡該方程式的需求估計而得。因此，該項算出之值包含其他各項之誤差，以及磨擦和網格與次網格之間的各種交互作用。

三、衛歐拉颱風之發生及經過

1969 年 7 月 22 日 00GMT，由飛機偵測到中心位置在 8.2°N，143.4°E 的一低壓，中心氣壓在 1000mb 上下，向西北西進行，中心最大風速為 15m/s。12 小時後，發展為輕度颱風，最大風速增至 20m/s，中心在 9.0°N，141.3°E，以時速 10 哩走向西北。

到了 24 日 00GMT，中心附近風速經測得為 33m/s，中心位於 14.9°N，135.9°E，中心氣壓降為 970mb，進行速度很快，每小時達 20 哩。此後進行方向自西北轉為西北西，25 日前後更近

似向西，此時中心氣壓極烈下降，暴風半徑擴大，中心最大風速不斷增加。25 日 00GMT 測得中心氣壓為 934mb，中心最大風速已達 50m/s，顯然已成為一強烈颱風，中心在 16.5°N，130.1°E。

26 日 00GMT，中心氣壓降至 910mb，最大風速 60m/s。此時衛歐拉已逼近呂宋島，隨後即偏向西北進行，有走入巴士海峽之趨勢。

12 小時後，衛歐拉之中心已到達恒春東南方約 290 公里之海面上，即 19.9°N，122.7°E，以時速 12 公里走向西北西。27 日 00GMT，中心氣壓降至最低，經測得為 895mb，最大風速為 65m/s，隨後氣壓即逐漸上升。

27 日 0600 GMT，衛歐拉之中心在 20.6°N，120.3°E，即恒春南南西方約 160 公里之海面上，繼續向西北西進行。12 GMT，中心在高雄西南方約 180 公里之海面上，此時中心最大風速仍有 60m/s，中心氣壓 900mb，暴風半徑 200 公里。

28 日 00 GMT，衛歐拉到達汕頭東南方約 110 公里之海面上，中心最大風速仍保持 50m/s

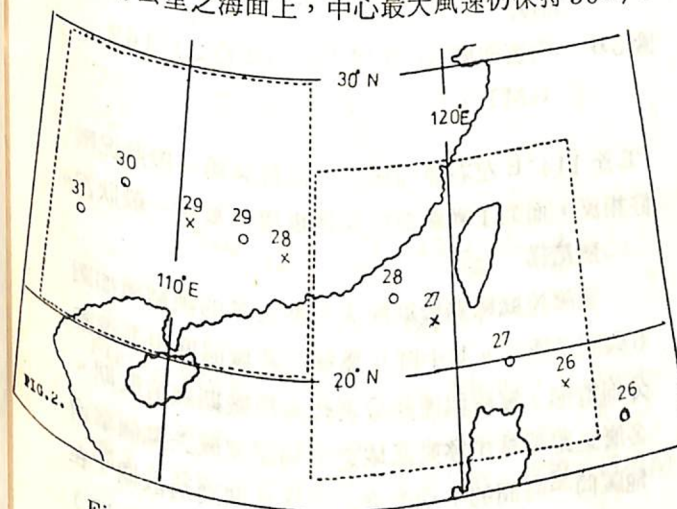


Fig. 2. Path of typhoon Viola from 26 July to 31 July, 1969. (small circles represent position at 00 GMT while crosses represent position at 12 GMT) (dotted lines represent moving areas for 12 GMT, 27 July and 12 GMT, 29 July)

圖 2、衛歐拉颱風之最佳路徑 (1969 年 7 月 26 日至 31 日) (小圓圈表示 00 GMT 所在位置，「×」符號為 12 GMT 所在位置) (虛線表示 27 日 12 GMT 及 29 日 12 GMT 之「移動區域」)

。接著在汕頭西南方登陸，繼續入內陸。暴風半徑縮減為 100 公里。29 日 12 GMT 在湘南減弱為熱帶低壓，自 30 日起轉西南方進行，31 日在雲貴交界始轉為普通之低壓。衛歐拉颱風乃入內陸甚深亦為在陸上行移甚久之颱風，其最佳路徑詳見圖 2。

根據衛歐拉颱風的中心氣壓與中心最大風速變化情形，27 日至 29 日三天當中，前一天可視為颱風的極盛期，而後兩天則可以代表颱風的消散期。

除了就圖 2 所示三天內颱風所經過之華南地區進行分析以外，另外還針對每一次綜觀分析時間，考慮以颱風中心位置為中心的長寬各為經緯度 10 度之小區域，分別進行分析。此等小區域可視為「隨颱風移動的「颱風附近區域」」(以下簡稱移動區域)。圖 2 中虛線所顯示之範圍即為 27 日 12 GMT 及 29 日 12 GMT 的移動區域。

由於 27 日 00 GMT 時，衛歐拉颱風之位置離華南沿海較遠，附近測站稀少，所以在以下討論中，將 27 日 12 GMT 的各項結果視為颱風極盛期的結果，並以 29 日 12 GMT 代表颱風消散期的特性。

四、結果與討論

(一) 緯向及經向分速

圖 3A 及 3B 分別為颱風極盛期 (27 日 12 GMT) 與消散期 (29 日 12 GMT) 沿颱風移行路徑緯向風速之垂直剖面圖。圖中底線上的箭頭表颱風中心位置，由此二圖可看出，極盛期與消散期兩個階段在颱風附近均出現極深厚之東風層。圖 4 中的實

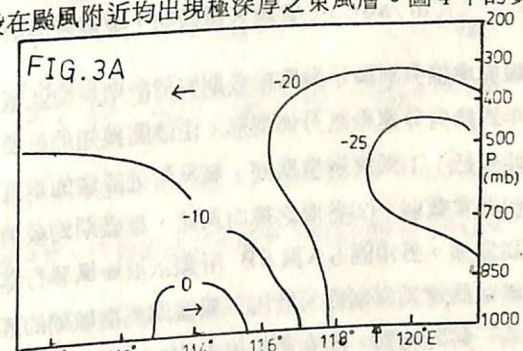


Fig. 3A. Cross section of zonal wind component (m/sec) along the path of Viola at 12 GMT (m/sec) along the path of Viola at 12 GMT. (Arrow along base line indicates Viola's surface position)

圖 3A、27 日 12 GMT 沿颱風移行路徑緯向風速 (m/sec) 剖面圖 (底線箭頭表地面之颱風位置)

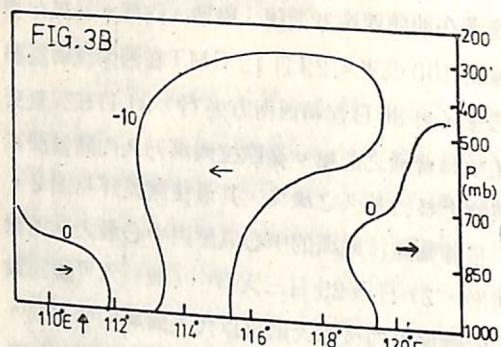


Fig. 3B. Same as Fig. 3A except for 12 GMT, 29th July.
圖 3B、內容與圖 3A 相同 (但時間為 29 日 12 GMT)

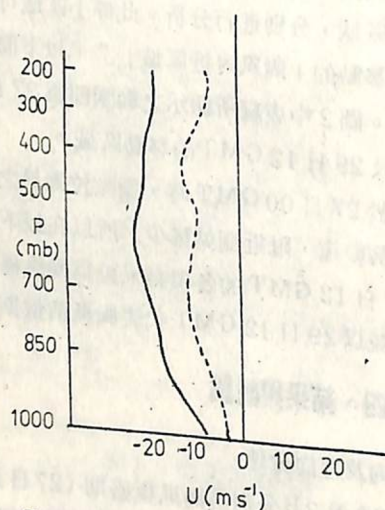


Fig. 4. Zonal wind component (m/sec) averaged over moving area for Viola's mature stage (solid line) and decaying stage (dotted line).
圖 4、颱風極盛期與消散期移動區域平均緯向分速 (m/sec) (實線表極盛期, 虛線表消散期)

線與虛線分別顯示颱風極盛期與消散期移動區域之平均緯向分速垂直分佈情形。由該圖獲知的重要特性包括：(1) 颱風過境期間，颱風附近區域的垂直風切非常微弱，(2) 各層之緯向風速，極盛期均較消散期為強。另由圖 5A 與 5B 所顯示沿颱風移行路徑經向風速垂直剖面可看出，極盛期與消散期的經流有一共同特徵，即在颱風附近約 100 公里以內，地面至 300 mb 左右均吹南風，而距颱風中心約三四百公里地方則出現比較厚的北風層。由華南地區之氣候資料得知，在夏季裡該區域的經向風速，300 mb 以下各層均為正值，而 300 mb 以上則為負值。若與圖 5A 與 5B 比較，可發現颱風極盛期 110

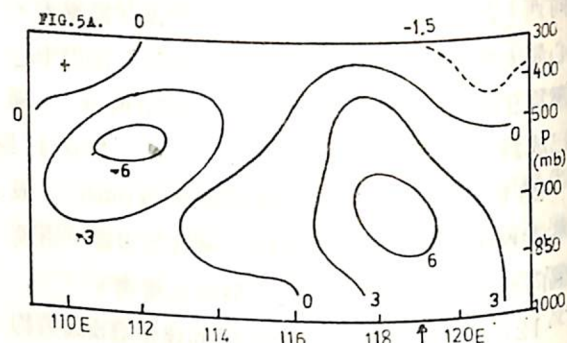


Fig. 5A. Same as Fig. 3A except for meridional wind component (m/sec).
圖 5A、內容與圖 3A 相同 (但為經向風速)

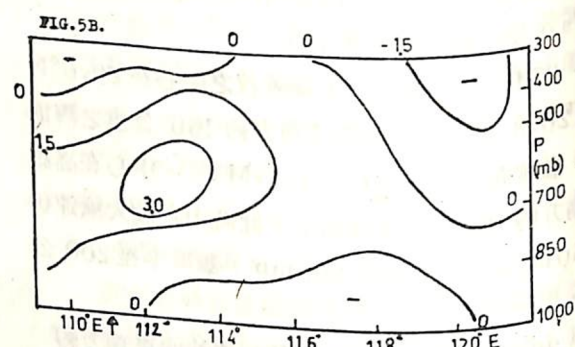


Fig. 5B. Same as Fig. 5A except for 12 GMT, 29th July.
圖 5B、內容與圖 5A 相同 (但時間為 29 日 12 GMT)

°E 至 114°E 左右經向風之方向與夏季一般狀況剛好相反，而到了颱風消散期便恢復到夏季一般狀況。

(二) 熱結構

衛歐拉颱風過境期間大尺度大氣的熱結構如圖 6 與圖 7 所示。其中圖 6 為移動區域溫度距平垂直分佈情形，實線與虛線分別代表極盛期與消散期。各層之距平是由移動區域之平均溫度減去整個華南地區同一時間的平均溫度。從極盛期到消散期，在 250 mb 以下各層，颱風附近區域 (即移動區域) 一直比整個華南地區暖，而 250 mb 以上則比較冷。由大尺度垂直風速分佈圖 8A 與 8B 獲知，在颱風附近有明顯的上升氣流，產生絕熱冷却作用。因此圖 6 所顯示中對流層 (700 mb 至 250 mb 左右) 的正距平，可能由於深積雲對流這種較小尺度 (次網格) 過程，對大尺度有暖和作用而引起。250 mb 以上的負距平可以解釋為弱絕熱上升及雲頂上的紅外線輻射冷却所導致之結果。

(三) 垂直風速與水汽

圖 8A 及 8B 為颱風極盛期與消散期沿颱風移行路徑之垂直風速剖面圖。由該二圖可看出颱風中心附近為上升氣流，而距颱風中心兩三百公里以外，颱風前後兩側均為下降氣流。圖 8A 中颱風後側下降氣流區以及圖 8B 中颱風前側下降氣流區因為在分析範圍以外，所以未能顯示於圖中。颱風極盛期與消散期的上升氣流極大值 ($5 \mu\text{bs}^{-1}$ 與 $3 \mu\text{bs}^{-1}$) 均出現在颱風中心附近 500 mb 的高度。極盛期的上升氣流與下降氣流均較消散期為強盛。

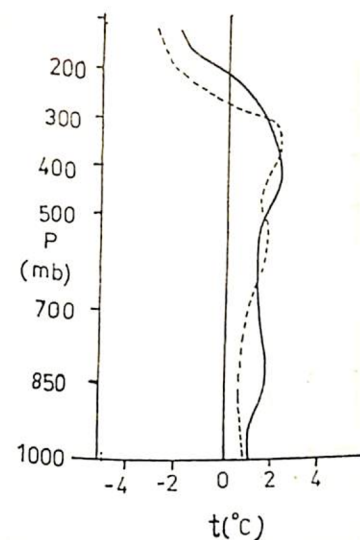


Fig. 6. Temperature anomalies for Viola's mature stage (solid line) and decaying stage (dotted line).
圖 6、移動區域溫度距平 (實線表極盛期, 虛線表消散期)

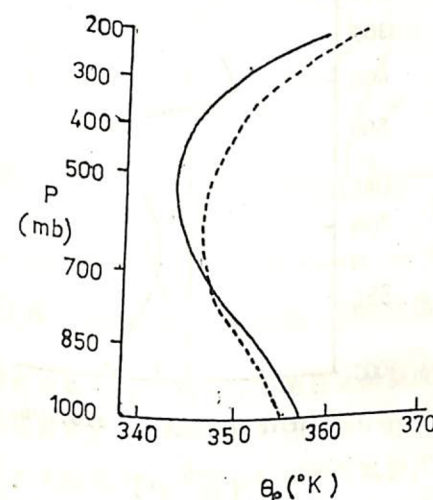


Fig. 7. Profile of equivalent potential temperature for moving area (solid line: mature stage; dotted line: decaying stage).
圖 7、移動區域相當位溫垂直分佈 (實線表極盛期, 虛線表消散期)

圖 7 中實線與虛線分別代表颱風極盛期與消散期移動區域的相當位溫垂直分佈情形。颱風附近低對流層很顯著地出現大尺度條件不穩定層。地面至 700 mb，相當位溫隨高度的遞減，颱風極盛期較消散期為快。同時也可以看出，颱風極盛期，因空氣之對流旺盛，大尺度條件不穩定層比較厚，由地面延伸至 500 mb，厚度約為 5000 公尺。

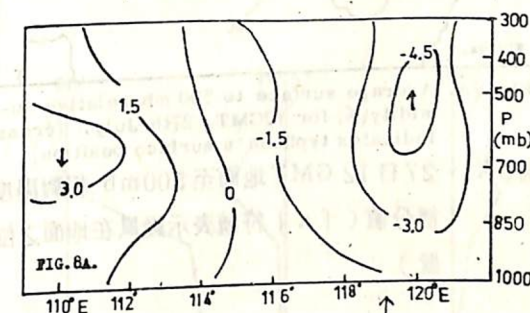


Fig. 8A. Cross section of vertical velocity ($\mu\text{b/sec}$) along Viola's path for 12 GMT, 27th July.
圖 8A、27 日 12 GMT 沿颱風移行路徑垂直風速 ($\mu\text{b/sec}$) 剖面圖 (線箭頭表地面之颱風位置)

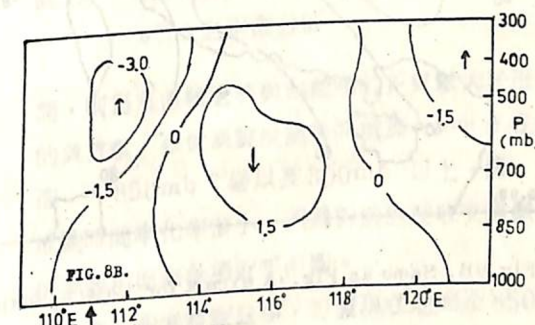


Fig. 8B. Same as fig. 8A except for 12 GMT, 29th July.
圖 8B、內容與圖 8A 相同 (但為 29 日 12 GMT)

衛歐拉颱風過境期間華南地區水汽含量分佈情形如圖 9A 與 9B 所示。該二圖中繪有地面至 500 mb 層相對濕度垂直積分之等值線。颱風中心位置也以「×」符號標明在圖中。颱風極盛期一直到消散期，整個地區均維持相當豐富的水汽。與圖 8A 及 8B 相對照，可發現較大的相對濕度所在地

曾發覺在某些熱帶系統確實有上述機制。但是也有些學者認為深積雲對流之作用應該是減少高層的大尺度渦旋度。(Pearce & Riehl, 1969)。本研究所得之結果，能夠由剩餘項之符號推測積雲對流對大尺度渦旋度有建設性貢獻。然而，由於所求出剩餘量之值，包含其他各項的誤差在內，而這些誤差很可能隨高度而增加。因此，中高對流層的剩餘項只能視為粗略的估計。尚待進一步研究才能更深入探討積雲對流在高層的渦旋度收支所扮演的角色。

五、結 論

本研究之目的在分析歐拉颱風過境期間華南地區大尺度大氣結構的特性，同時並使用移動座標系統分析颱風期間的渦旋度收支。

研究結果顯示，在颱風極盛期，大尺度大氣環流表現出某些特徵，其中包括深厚的東風層，微弱的垂直風切，低層的條件不穩定，低層輻合與高層輻散，深厚的水汽豐富層，強盛的上升氣流以及中低對流層的氣旋式渦旋度和高對流層的反氣旋式渦旋度。

颱風過境期間，颱風環流對大尺度大氣產生很大影響。若將颱風極盛期與消散期比較，大尺度大氣的經流有很大差異。在極盛期， 110°E 至 114°E 之間，300 mb 以下之經向風速為北風，直到颱風的消散期才告恢復改變為南風。

渦旋度收支之分析獲得下列各重要結果：

(1) 渦旋度方程式中，各項對渦旋度收支之貢獻，在各不同高度有很大區別。500 mb 以下主要貢獻來自輻散項與水平輸送項，兩者中前者為正貢獻而後者則為負貢獻。其餘各項之貢獻極小。

(2) 在 500 mb 以上，主要為垂直輸送項，扭轉項與剩餘項之貢獻。其中扭轉項為負貢獻，而其餘兩項則為正貢獻。

(3) 在最底下一層（地面至 850 mb）以及頂層（300-200 mb），貢獻較大的輻散項與剩餘項近乎平衡。

(4) 地面至 850 mb 的負剩餘項為磨擦效應所導致之結果，而 850 mb 以上之正剩餘項可解釋為尺度間的交互作用對大尺度渦旋度產生正貢獻。此種

解釋雖然尚待進一步證實，但是我們可以確定，積雲對流對大尺度渦旋度的盛衰扮演很重要的角色。

西太平洋颱風的觀測資料雖然不夠完整，但本研究選取在華南沿海登陸並在內陸移行較久之颱風，使用陸上各測站探空資料，採用顯及水平風速非線性變化的方法估計水平輻散量及渦旋度；而且以 O'Brien (1970) 的修正法估計垂直風速，並採用移動座標系統分析渦旋度收支。結果發現對颱風過境期間大尺度大氣結構已能作相當合理的分析與探討。今後如依此方法多分析幾個類似的颱風，並進一步與颱風動能收支及可用位能收支之研究相配合，必定能增進吾人對颱風特性的更深入瞭解。

誌 謝

本研究承張隆男教授與廖學鎰教授指點，謹致萬分謝意。此外，中研院大氣物理組汪群從博士，簡來成博士與蕭錫璋小姐，對蒐集資料熱心提供幫助；中央大學電算中心諸位先生小姐對計算機作業惠予協助；中央氣象局預報中心借予亞洲天氣圖，在此一併致謝。

參考文獻

1. 曲克恭，莊思禮，1975：颱風部份特性之分析研究，氣象預報與分析，64期，1~12。
2. 江火明，1976：妮娜颱風侵襲台灣期間之大氣結構變化，氣象學報，22卷1，2期，1~7。
3. 吳宗堯，1978：近年來國內颱風研究之評介，台灣地區災變天氣研討會論文集編，30~42，中華民國67年5月，南港中研院。
4. 汪群從、張隆男，1978：近年來國外颱風研究之評介，台灣地區災變天氣研討會論文集編，43~54，中華民國67年5月，南港中研院。
5. 邱爾文，1978：氣旋系統之動能收支研究，氣象學報，24卷4期，1~15。
6. Anthes, R.A., J.W. Trout and S.L. Rosebthal, 1971: Comparison of tropical cyclone simulations with and without the assumption of circular symmetry, Mon. Wea. Rev., 99, 759-766
7. Chang, L.N., 1973: Kinetic energy transfer

processes during an extratropical cyclone, Ph. D. Theses, Dept. of Geosciences, Purdue University, Indiana, 110 pp.

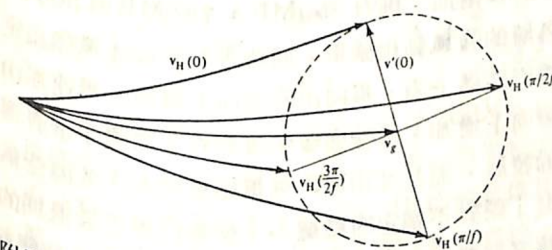
8. Chang, L.N., and E.W. Chiou, 1979: Diagnostic study of typhoon Betty, 1972. (presented at 12th. Tech. Conference on Hurricane and Tropical Meteorology, 1979, new Orleans)
9. Chien, H.H., and P.J. Smith, 1973: On the estimation of kinematic parameters in the atmosphere from radiosonde wind data, Mon. Wea. Rev., 101, 252-261.
10. Frank, W.M., 1977: The structure and energetics of the tropical cyclone (I. Storm structure), Mon. Wea. Rev., 105, 1119-1135.
11. Jordan, C.L., and E.S. Jordan, 1954: On the mean structure of tropical cyclones, J. of Meteor., 11, 440-449.
12. O'Brien, J.J., 1970: Alternative solutions to the classical vertical velocity problem, J. Appl. Meteor., 9, 197-203.

13. Ooyama, K., 1969: Numerical simulation of the life cycle of tropical cyclone, J. Atmos. Sci., 26, 3-40.
14. Pearce, R.P., and H. Riehl, 1969: Parameterisation of convective heat and momentum transfer suggested by analysis of Caribbean data. Proc. WMO/IUGG Symp. Numerical Weather Prediction, Tokyo, 75-84.
15. Reed, R.J., and R.H. Johnson, 1974: The vorticity budget of synoptic scale wave disturbances in the tropical western Pacific, J. Atmos. Sci., 31, 1784-1790.
16. Vincent, D.G., Gommel, W.R. & Chang, L.N., 1974: Kinetic energy study of hurricane Celia, 1971, Mon. Wea. Rev., 102, 35-47.
17. Vincent, D.G., and L.N. Chang, 1975: Kinetic energy budgets of moving systems, Tellus, 27, 215-233.

天晚颱風天明住，天明不住颱風倒樹

在極穩定之氣層上會產生較大的風，所以入晚以後地面輻射逆溫層上風速增大，加以夜間人靜風聲加驟，鄉居之人當秋冬之籍總有夜間風大的印象。日出後逆溫層漸失，風速應減小，否則定是系統性的強風，而非前述日變化的產物，其強度與持續性就大了！

為了深入瞭解這句有關風速日變化的諺語，我們可以看一下大氣中的慣性振動 (inertial oscillation)，這種振動是由於柯氏力與氣壓梯



附圖：圖中 $V_H(T)$ 代表 T 時間觀測到的風速向量， V 代表偏地轉風。

度力達不到平衡所引起的，也就是風不斷地「繞着」地轉風在變（見附圖），此種變化需要 $2\pi/f$ 個小時的時間才能完成一週，而

$$\frac{2\pi}{f} = \frac{2\pi}{2\Omega \sin \phi} = \frac{2\pi}{(4\pi/24 \text{ 小時}) \sin \phi} = \frac{12}{\sin \phi} \text{ 小時}$$

所以變化所需的時間隨緯度 (ϕ) 而變，各地並不相同，只有在 $\phi = 30^{\circ}$ 的地方，慣性振動的週期是 24 小時，因而風之日變化會每天都相同。

上述振動一方面受摩擦力的影響，另一方面由於一地之風因系統作用而起之變化很大，所以不易發現，但當逆溫層存在時，空氣穩定而擾流 (eddy) 傳導作用小，致摩擦力局限於地表附近振動隨之明顯。同時由熱力風方程可知，上層之地轉風等於 (低層的地轉風) $\times (T_{上}^* / T_{低}^*) + \text{熱力風}$ ，而有逆溫時，上層之虛溫 ($T_{上}^*$) 大低層之虛溫 ($T_{低}^*$) 小，即風速較無逆溫時大，亦增強了夜間的風勢。