

利用衛星紅外線資料分析 颱風中對流之特性

李清勝

吳鳳娥

國立臺灣大學
大氣科學系

中央氣象局
衛星站

(中華民國七十八年十一月二十六日收稿；十二月二十五日定稿)

摘 要

本文之目的在利用日本地球同步氣象衛星(GMS)每3小時的紅外線數據資料，分析颱風之強度與其所伴隨之對流強度(以雲頂相當黑體溫度代表)或對流分佈的關係，紅外線數據資料乃由高解像類比(影像)資料轉換而來。本文分析了1985和1986年中位於西北太平洋海域之21個颱風，總共有593張影像資料；分析時，颱風中心位置採用衛星資料所決定之颱風中心位置而非最佳路徑。

分析結果顯示，約有百分之八十的颱風，其衛星定位中心和最佳路徑中心的差距在1度緯度(約111公里)範圍內。不同半徑環狀區之平均對流強度或強對流所佔面積和颱風強度的相關不高，但個別颱風之相關性則有很大變化。颱風強度、強度變化、所在緯度以及發生季節之不同，都可能影響相關性。此外，強對流所佔面積亦有明顯的日夜變化，最大值出現於05地區時(LT)；最小值於17LT。平均灰度值則受補償下沈無雲區之影響，其日夜變化呈相反之情形，且較不明顯。

合成結果顯示颱風南半部之對流較北半部強，此特徵不因颱風之強度或強度變化而改變；但是移動速度大於等於20 kts的颱風，其特徵改變為東半部的對流強度較西半部為強。在颱風發展初期，東半部對流增強較顯著，而西北象限對流並無明顯增強。到達中度颱風強度後，若強度增加，則西北方的對流顯著增強；而東半部兩度外對流並無明顯增強。若於分析時，採颱風移動方向為參考方位，則上述之對流特徵常變得較不明顯；此結果顯示導致颱風強度改變之物理過程似乎具有地理方位性，而與颱風之移動方向無密切關聯。

關鍵詞：颱風，颱風強度，衛星資料

一、前 言

自1987年9月關島美軍颱風飛機偵察觀測終止後，即有多數學者嘗試利用衛星觀測資料，發展客觀方法來決定颱風之特性(Zehr, 1989; Shoemaker, 1989; Holliday and Waters, 1989; 李和吳, 1988

)。而在實際作業應用上，目前大都採用Dvorak (1975)之分類分析模式或Dvorak (1984)之數據資料分析方法；在Zehr (1989)之研究中則亦嘗試改進Dvorak (1984)之方法。此外，由於同步衛星觀測資料的時間連續性，有多位學者亦利用衛星資料所提供的訊息，研究颱風之生成、強度變

化或者結構特徵改變的過程 (Rodgers and Stout, 1989; Steranka et al., 1986; Zehr, 1987; 1988); 例如, Steranka et al. (1986) 研究平均雲頂溫度和熱帶氣旋強度變化, 其統計資料顯示熱帶氣旋中心之強烈對流和 24 ~ 48 小時後的中心最大風速有強統計相關。Zehr (1988) 則發現熱帶積雲簇發展成熱帶風暴前 12 ~ 36 小時深對流常達最強後再減弱。

本文之目的在利用衛星紅外線數據資料, 分析颱風中對流分佈和強度變化的關係, 同時探討颱風強度變化之物理過程。衛星紅外線數據資料提供的是雲頂相當黑體溫度; 而應用雲頂相當黑體溫度分析颱風中之對流分佈乃是基於假設對流強度愈強則雲頂溫度愈低。至於溫度頗低的卷雲, 如底下沒有深厚雲層, 地面能量會穿透卷雲, 所以衛星會觀測到較暖之雲頂溫度。Zehr (1987) 認為 $-45 \sim -15^{\circ}\text{C}$ 為薄卷雲, 而非常冷的雲頂溫度 ($< -55^{\circ}\text{C}$) 則為深對流的指標, 亦即雲頂溫度之數值和分佈可視為對流強度及分佈的表現。

本研究處理了 1985 和 1986 年, 發生於台灣鄰近海域之 21 個颱風個案, 總計 593 張衛星影像資料, 將其轉換成數據資料後再進行分析。颱風中心位置之決定採用衛星資料所決定之位置; 至於李和吳 (1988) 之研究, 則採用最佳路徑資料 (Best Track, ATCR; JTWC 1985, 1986) 之定位中心。然而最佳路徑資料之颱風中心為事後綜合各類觀測資料, 所定出一條較平滑曲線的位置, 與實際觀測時之颱風位置稍有出入。本文中因此亦將比較兩種結果之差異。

本文在第二節敘述資料處理過程並比較衛星定位之颱風中心位置和最佳路徑資料中心之差異。第三節則分析颱風強度和軸對稱不同半徑環狀帶對流強度的相關性。第四節討論軸對稱對流特徵在不同個案之差異。第五節中則考慮颱風結構常為不對稱之特徵, 將資料以地理座標和移動方向座標劃分為東北、東南、西南和西北 (或右前、右後、左後、左前) 四個方位作合成分析, 討論各種不同狀況下, 對流的不對稱特徵。最後則為綜合討論。

二、資料搜集和處理方法

過去數年, 中央氣象局每隔三小時接收自日本

地球同步氣象衛星 GMS 廣播的紅外線高解像類比資料, 經轉換成為影像 (Image) 顯示。然而影像資料無法提供定量 (甚或定性) 研究之用, 因此須將此紅外線影像轉換為雲頂灰度值, 即雲頂相當黑體溫度 (亮度溫度)。(日本自 1988 年 3 月開始直接播放高解析數據資料, 另外低解析度類比資料仍繼續播放)。Zehr (1987) 指出由影像灰度值 (Gray scale) 轉換為亮度溫度, 誤差不大, 約為 $0.5 \sim 2.0^{\circ}\text{C}$, 不致影響本研究的結果。雖然中央氣象局衛星站從 1981 年 1 月 28 日起即錄存所有接收資料, 但在不影響正常作業下, 可借用的區域影像資料磁帶從 1985 年起。而關島颱風偵察飛行自 1987 年 9 月全面停止 (九月以後的強度估計則採 Dvorak 模式)。所以本文僅能採用 1985 和 1986 兩年, 每隔三小時一張的颱風影像資料, 其中 1985 年有 11 個颱風個案, 1986 年有 10 個颱風個案, 共有 593 張颱風影像資料。圖 1 為所有個案的路徑圖, 詳細資料時間則列於表一中; 表一中最右一行同時列出李和吳 (1988) 所用之資料, 本文中之資料個數較李和吳者多了 30 個。此些資料因儲存方式不同, 在李和吳之分析中並未處理。

將類比資料轉換成數據資料後, 須經彩色影像交替顯示系統 (COMTAL System) 處理成颱風影像。資料處理過程, 首先挑選參考點, 以便決定影像中每個點 (pixel) 的經緯度。GMS 紅外線高解像資料之解析度在衛星直下點 (0° , 140°E) 為五公里, 由於本文所採用之資料大部分在北緯 15 度到 30 度, 東經 120 度到 135 度範圍內, 平均解析度約為 6 公里且變化不大。第二步須去掉影像中日本所加的經緯線和海岸線, (加上海岸及經緯線會改變該處的灰度值, 所以須去掉), 然後才能獲得每一點之灰度值。為便於分析, 選取從颱風中心往外, 每 0.5 度 (緯度) 環狀網格內的平均灰度值。灰度值即雲頂溫度數位值 (Digital Count), 該值和雲頂相當黑體溫度成線性反比。例如灰度值 218 代表雲頂溫度為 -65°C , 252 為 -80°C , 此份資料提供了對流強度之徑向分佈情形。

在分析時, 為了瞭解對流之非軸對稱特徵, 在處理資料時亦同時以北方和颱風移動方向為參考方向, 分成東北、東南、西南和西北四方位, 以及右前、右後、左後和左前四方位。另外, 由於強對流

1985-86 WESTERN NORTH PACIFIC TROPICAL CYCLONES

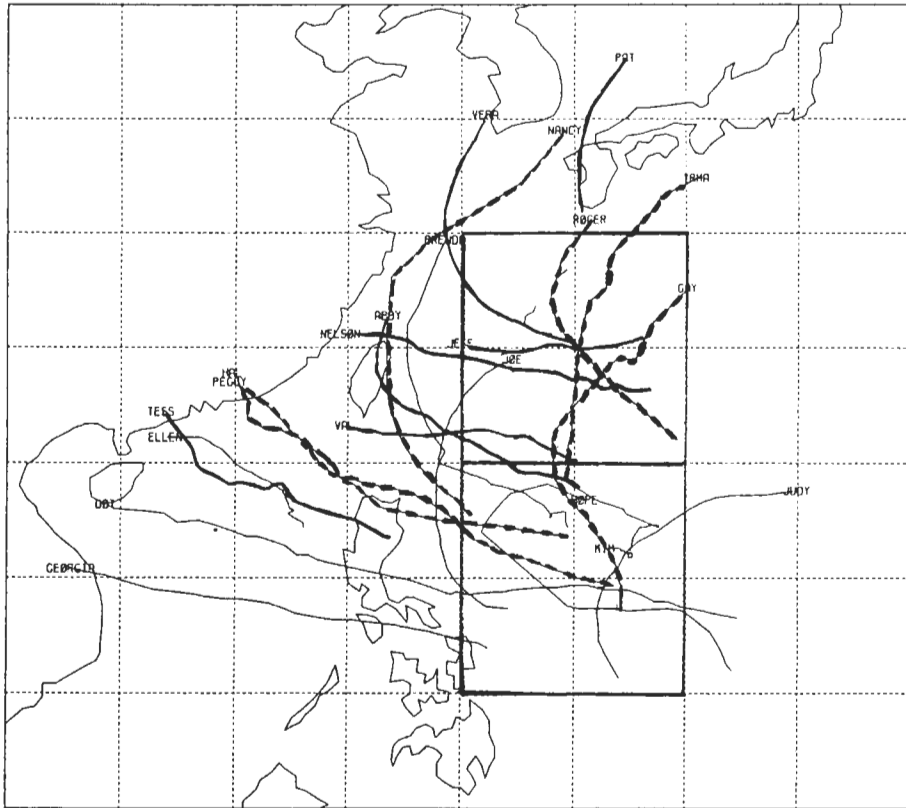


圖1 本文所採用之1985、1986年颱風個案路徑分佈。圖中同時顯示南北兩區範圍和不同季節颱風之路徑(見文中說明)。初期颱風(5,6月)為虛線；中期颱風(7,8,9月)為粗實線；末期颱風(10, 11, 12月)為細實線。

常伴隨下沉運動而有無雲區之存在，而無雲區之灰度值很低，使得平均灰度值常失代表性。因此本研究亦同時分析不同強度對流所佔之面積，意即分析時亦計算了雲頂相當黑體溫度小於和等於 -75°C 、 -65°C 和 -55°C 的點數 (pixel no.)，點數越多則所佔面積越大。

關於颱風強度或中心最大風速採用關島美軍聯合颱風警報中心每年熱帶氣旋報告 (Annual Tropical Cyclone Report, JTWC; 1985, 1986) 的最佳路徑 (Best Track) 資料；該資料每隔6小時一個，所以其它無資料時間用內插法求得最大風速。由於1985和1986年尚有飛機觀測資料，因此颱風強度的決定大都依賴飛機觀測資料，準確度頗高。至於颱

風之中心位置的決定，則採用衛星資料所決定之中心位置。當颱風眼或環流中心不明顯時，定位上頗困難，此時則以強對流雲團中心為中心。

在李和吳 (1988) 分析中，颱風中心位置係採用最佳颱風路徑資料之定位中心，然而最佳路徑之颱風中心為事後綜合各類觀測資料，所定出一條較平滑的颱風路徑之中心位置；事實上颱風移動路徑並不平滑，常成擺線運動。而於實際觀測時，最佳路徑資料根本不可得到；再者本文乃在利用衛星數據資料所提供之資訊探討颱風之特性，採用根據衛星資料所定出之颱風中心較為合理。

統計資料顯示衛星定位中心和最佳路徑中心之差異一般不大。差異在0.2度緯度 (約22公里) 內

表一 本研究所使用之1985年和1986年颱風衛星資料，最右一行則為李和吳(1988)所使用之資料個數

1985年颱風衛星資料

颱風名稱	月份	編號	資料時間	今年資料個數	缺資料時間	吳(1988)
GAY	5	3	2106 - 2512	34	2206	31
HAL	6	4	1912 - 2506	47		47
IRMA	6	6	2803 - 3012	20		17
JEFF	7	7	2703 - 2900	16		13
NELSON	8	11	2003 - 2312	28		27
PAT	8	13	3018 - 3112	6	3109	6
TESS	9	15	0309 - 0606	24		20
VAL	9	16	1509 - 1706	16		15
BRENDA	10	19	0103 - 0418	30		29
DOT	10	21	1503 - 2100	45	1506 1716 1803	40
HOPE	12	25	1809 - 2321	33	2003, 2103-2209	25
小計				299		270

1986年颱風衛星資料

颱風名稱	月份	編號	資料時間	今年資料個數	缺資料時間	吳(1988)
JUDY	5	1	0303 - 0516	21		21
NANCY	6	5	2212 - 2500	20	2316	20
PEGGY	6	7	0703 - 1112	34	1016 1021	34
ROGER	7	8	1403 - 1700	24		24
VERA	8	14	2512 - 2806	23		23
ABBY	8	15	1503 - 2000	40		39
ELEEN	9	19	1403 - 1900	39	1503	39
GEORGIA	9	21	1812 - 2200	27	1900 2116	27
JOE	10	24	1900 - 2412	43	1903 2003	43
KIM	10	25	0703 - 1000	23	1506 1716 1803	23
小計				294	0803	293
總計				593		563

的有110個，約佔百分之十九；在0.2-0.5度（55公里）的有228個，約佔百分之三十九；在0.5-1度（111公里）的有119個，約佔百分之二十一；合計差異在1度內有457個資料，佔全部之百分之七十九（約五分之四）。而差異超過1.5度（166公里），有72個，只佔百分之十二。平均差為73.4公里，標準偏差則為85.5公里。

至於兩種定位中心的相關位置，最佳路徑中心

在衛星定位中心西北方者最多，有177個，約佔百分之三十；在西南方者次之，有162個，約佔百分之二十八；在東南方有140個，約佔百分之二十四；在東北方者最少，共有102個，約佔百分之十八。很明顯的，雖然最佳路徑在衛星中心西方的個數較多，但四個方位所佔比率相差不大，且距離差異大都在1度內。因此，採用衛星定位中心之結果，應與李和吳（1988）採用最佳路徑中心之結果相似

，尤其是定性關係方面。

三、軸對稱之對流強度與颱風強度之關係

由位渦守恆，渦管拉長 (Vortex stretching) 的觀點看，颱風的強度和雲頂溫度應該呈負相關；尤其是針對個別颱風之發展過程，其相關係數值很可能會較大。表二為所有颱風之颱風強度和各不同徑向環狀範圍對流強度 (以平均灰度值表示)、或雲

頂溫度小於及等於 -55°C 、 -65°C 和 -75°C 之強對流區域所佔面積百分比 (為求方便，以 T-55, T-65, T-75 表示) 之相關係數。結果顯示，颱風強度或中心最大風速和平均灰度值的相關係數一般並不高，相關最高的是強度和 $1 \sim 2$ 度之間環狀帶的平均灰度值，但相關係數值僅為 0.37。而相關性最差的為強度和 $0 \sim 0.5$ 度之間的平均灰度值，相關係數不到 0.1，此乃因颱風眼為暖心結構，雲頂溫度較高，所以相關性較差。

颱風強度和 (T-55)、(T-65) 以及 (T-75

表二 颱風強度和平均灰度值、雲頂溫度小於等 -55°C 、 -65°C 及 -75°C (以 T-55、T-65 和 T-75 表示) 所占面積百分比，在不同徑向環狀帶 (或兩者之差) 內之相關係數。例如左邊第二行為強度和 $0-0.5^{\circ}$ 不同參數之相關係數。右下則為強度和 $(0.5-1.5^{\circ})$ 與 $(2.0-3.0^{\circ})$ 兩環狀帶參數值差之相關係數。

範圍 (度)	0.0	0.5	1.0	1.5	0.0	1.0	0.5	0.0	0.5
參數	0.5	1.0	1.5	2.0	1.0	2.0	1.5	1.5	2.0
平均灰度值	0.08	0.28	0.36	0.36	0.23	0.37	0.34	0.31	0.36
T-55	0.10	0.28	0.38	0.39	0.24	0.40	0.36	0.33	0.39
T-65	0.13	0.28	0.34	0.29	0.24	0.33	0.33	0.31	0.34
T-75	0.04	0.24	0.22	0.00	0.19	0.13	0.24	0.21	0.17
樣本大小	593	593	591	586	593	586	591	591	586

範圍 (度)	0.0	0.5	0.0	$(0.0-1.0)$	$(0.5-1.5)$	$(0.5-1.5)$
參數	-	-	-	$(1.0-2.0)$	$(1.5-2.5)$	$(2.0-3.0)$
平均灰度值	0.35	0.35	0.35	-0.11	0.02	0.04
T-55	0.38	0.36	0.36	-0.12	0.08	0.17
T-65	0.33	0.27	0.27	0.02	0.25	0.36
T-75	0.16	0.09	0.09	0.17	0.32	0.30
樣本大小	586	575	575	575	575	575

之相關性亦不高，其中和1~2度環狀帶內雲頂溫度小於及等於 -55° 的面積百分比相關較好，但線性相關係數僅為0.40；圖2為此兩者相關性之散佈圖，其散佈頗廣。表二同時顯示除 $0-0.5^{\circ}$ 區域外，於其他環狀帶，颱風強度和(T-55)之相關係數均較和(T-65)者為高，此兩者亦都較(T-75)者為高，亦即相關係數因所考慮之對流強度增加而減小。造成此結果的原因可能在於雲頂溫度低於 -65°C 或 -75°C 之情形較 -55°C 難達到，一般只在中心或眼牆附近才易出現，資料之均勻度較差，故其代表性或相關係數降低。此點可由表二中颱風強度和不同環狀帶(T-75)之相關係數中看出；例如，於 $0.5-1.0^{\circ}$ 區域相關係數為0.24，於 $1-2^{\circ}$ 區域則只有0.13；但對於(T-55)則 $0.5-1.0^{\circ}$ 區域之值為0.28，但 $1-2^{\circ}$ 區域則為0.40。颱風強度和平均灰度值之相關，則較(T-55)者稍小，但相差不大。亦即(T-55)與颱風強度之相關係數最高。

至於颱風強度和對流強度梯度之相關性，則以颱風強度和 0.5 度以外，(T-65)和(T-75)之梯度其相關係數較大；最大值0.36為強度和(T-65)之 $0.5\sim 1.5$ 度和 $2\sim 3$ 度梯度之相關係數。 $(0\sim 1$ 度)和 $(1\sim 2$ 度)之梯度和強度相關係數皆很小，當是受到颱風眼之影響。颱風強度和(T-55)或平均灰度值之徑向梯度間則幾無任何相關，至於

和(T-65)或(T-75)之相關則較高，此結果與前述關係(颱風強度和(T-55)之相關較與(T-65)、(T-75)者為高)恰相反。

a. 不同颱風分類對相關性之影響

為了瞭解不同強度颱風之強度和對流之關係，將所有颱風依強度分成強烈(中心最大風速大於100 kts)、中度(中心最大風速介於100和64 kts)和輕度(強度小於64 kts)三種。每類的個案數分別為50, 346和197。這三類颱風其強度和一些選取參數之相關係數列於表三中。表三中為易於比較只選取相關係數值較大之六種參數；在選取參數時，由表二顯示取徑向範圍 1° 或 1° 以上的環狀帶區域時有較佳之結果，故取 $0-1^{\circ}$ ， $0.5-1.5^{\circ}$ ， $1.0-2.0^{\circ}$ 等三個區域之(T-55)；此外亦取 $0.5-2.0^{\circ}$ 和 $0.5-3.0^{\circ}$ 兩個較大區域之環狀帶。至於在梯度方面，表二顯示其值均偏低，故在此只取相關係數最高之一個參數即(T-65)在 $(0.5-1.5)$ 和 $(2.0-3.0)$ 之差值。

表三列出了不同強度和強度變化颱風之颱風強度和各參數之相關係數。結果顯示，強度和(T-55)之相關係數，以輕度颱風較高，強烈颱風較低，但在梯度方面則以強烈颱風較高，其值達0.37，亦即隨著颱風強度之增加，強對流面積與強度之相關漸減，但與對流徑向梯度之關係則增加。表三之結

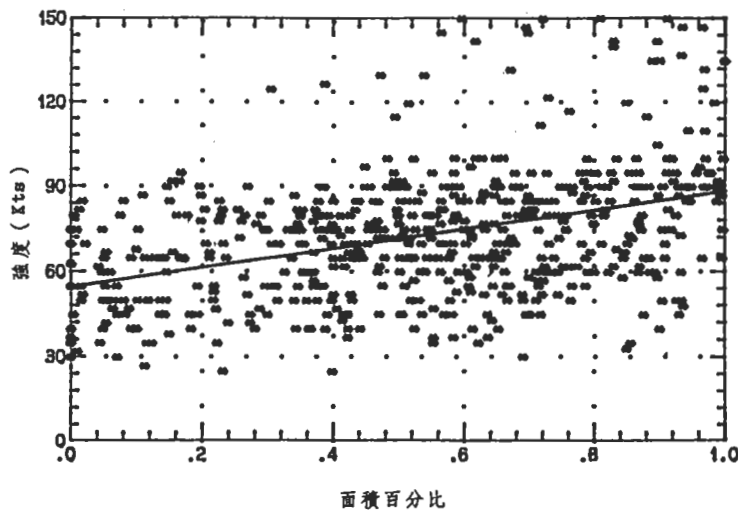


圖2 颱風強度和半徑 $1\sim 2^{\circ}$ (緯度)環狀帶內，雲頂溫度小於及等於 -55°C 所占面積百分比之散佈圖；相關係數為0.4。

表三 不同強度和強度變化的颱風，中心最大風速和強對流面積、徑向梯度之相關係數

參數	分類	強烈颱風	中度颱風	輕度颱風	增強	減弱
		0.0 ~ 1.0 度 (T-55)	-0.02	-0.04	0.25	0.14
0.5 ~ 1.5 度 (T-55)		0.05	0.13	0.29	0.31	0.43
1.0 ~ 2.0 度 (T-55)		0.10	0.22	0.28	0.35	0.49
0.5 ~ 2.0 度 (T-55)		0.09	0.19	0.29	0.34	0.49
0.5 ~ 3.0 度 (T-55)		0.05	0.19	0.24	0.31	0.49
(0.5-1.5)-(2.0-3.0) (T-65)		0.37	0.06	0.22	0.27	0.35
樣本大小		50	338	181	346	216

果亦顯示減弱階段颱風之強度與各參數之相關性較大；增強階段颱風，其值最大尚不到0.4。可能的原因為增強階段影響颱風強度變化的因素較複雜，以及颱風中心慣性穩定度較強（Holland and Merrill, 1984），導致強度增加時對流強度或強對流區域

並未緊隨著增加，故降低其相關性。

此外，亦將資料分為南北兩區以探討海溫對對流之影響；在此北區包括之颱風其中心位置落在北緯20~30度，東經125~135度之間（共121組資料），而南區則包括中心位置落在北緯10~20度

表四 不同海域和季節颱風中心最大風速和強對流面積、徑向梯之相關係數

參數	分類	北區	南區	初期 5,6月	中期 7,8,9月	末期 10,11,12月
		0.0 ~ 1.0 度 (T-55)	0.15	0.21	0.24	0.17
0.5 ~ 1.5 度 (T-55)		0.22	0.37	0.48	0.27	0.33
1.0 ~ 2.0 度 (T-55)		0.20	0.43	0.44	0.32	0.39
0.5 ~ 2.0 度 (T-55)		0.22	0.42	0.47	0.31	0.38
0.5 ~ 3.0 度 (T-55)		0.22	0.39	0.36	0.26	0.36
(0.5-1.5)-(2.0-3.0) (T-65)		-0.08	0.39	0.27	0.25	0.33
樣本大小		121	152	116	206	235

，東經125～135度間之颱風（共152組資料）（如圖1所示），很明顯的南區之海溫較北區為高；取125～135度是為避開陸地造成的影響。表四列出南北兩區颱風強度和各參數之相關係數；結果顯示，北區之相關係數值均較南區為小，可能係因其位置偏北，常受到中高層西風或高空槽線（如TUTT等）之影響而造成較複雜的狀況，使得強度和對流之關係減低。

最後，將資料依季節分為三類，分別為颱風季

初期5月和6月（共116組資料）；中期7、8及9月（共206組資料），和末期為10、11及12月（共235組資料）。圖1中亦標明了此三類颱風分佈情形；其相關係數則亦列於表四。結果顯示，颱風季初期（5、6月）發生的颱風，其強度和對流面積相關性較大；例如在0.5～1.5度環狀帶內，（T-55）和強度的相關係數為0.48，而中期和末期分別為0.27和0.33。中期颱風強度和強對流面積、或徑向梯度的相關性最低，推測可能是因為中期時海面溫

表五 颱風個案之強度與其強對流面積、徑向梯度之相關係數

參數	颱風個案				
	BRENDA 1985	HAL 1985	IRMA 1985	JEFF 1985	NELSON 1985
0.0 ~ 1.0 度 (T-55)	-0.69	-0.10	0.35	0.57	0.12
0.5 ~ 1.5 度 (T-55)	-0.28	0.28	0.52	0.55	-0.09
1.0 ~ 2.0 度 (T-55)	0.02	0.41	0.42	0.51	-0.28
0.5 ~ 2.0 度 (T-55)	-0.11	0.36	0.44	0.53	-0.24
0.5 ~ 3.0 度 (T-55)	-0.001	0.38	0.15	0.58	-0.48
(0.5-1.5)-(2.0-3.0) (T-65)	-0.36	0.08	0.23	0.41	-0.07
樣本大小	30	47	19	15	28

參數	颱風個案					
	TESS 1985	VAL 1985	ABBY 1986	JUDY 1986	ROGER 1986	VERA 1986
0.0 ~ 1.0 度 (T-55)	0.08	0.19	-0.49	0.51	0.30	0.49
0.5 ~ 1.5 度 (T-55)	0.45	0.19	-0.31	0.46	0.34	0.79
1.0 ~ 2.0 度 (T-55)	0.64	0.23	-0.11	0.58	0.50	0.89
0.5 ~ 2.0 度 (T-55)	0.57	0.22	-0.19	0.56	0.44	0.88
0.5 ~ 3.0 度 (T-55)	0.33	0.23	-0.10	0.64	0.25	0.95
(0.5-1.5)-(2.0-3.0) (T-65)	0.38	0.15	-0.14	0.19	0.09	-0.03
樣本大小	24	16	35	21	24	23

度較高，對流產生較易，所以對流面積大小和颱風強度大小之相關降低。至於颱風季末期發生的颱風，其強度和對流面積的相關性則介於初期和中期之間。表四結果亦顯示季節不同所造成的差異較緯度不同所造成的差異為小。

b. 個別颱風之相關係數

在分析了所有颱風強度和對流強度之相關性後，接下來探討個別颱風之特徵。表五為資料較完整之11個颱風個案的颱風強度和不同區域強對流面積，以及強對流面積徑向梯度的相關係數；表五中參數之選取和前面相同。

結果顯示，相關係數在不同個案間的差異很大；例如強烈颱風Vera（1986），其強度和0.5~3.0度內（T-55）之線性相關係數高達0.95，而強烈颱風Abby（1986）之相關係數則為-0.10。此外，個別颱風之強度和不同參數之相關性亦有變化；例如Abby 颱風（1985）之強度和0-1°（T-55）之相關係數為-0.49 但和1-2°（T-55）之相關係數則為-0.11。Vera 颱風（1986）則分別為0.49 和0.89，此種差異主要導源於系統之不對稱性（吳，1988；李和吳，1988）。此結果顯示颱風強度變化之複雜性，亦即可能導致颱風強度變化之物理過程，可能因系統不同而不同，亦可能因系統之強度不同而改

表六 強度變化（未來六小時強度減目前強度）和平均灰度值、雲頂溫度小於等於-55℃、-65℃及-75℃所占的面積百分比在各種不同徑向環狀帶(或兩者之差)之相關係數。

範圍 參數	0.0	0.5	1.0	1.5	0.0	1.0	0.5	0.0	0.5
	- 0.5	- 1.0	- 1.5	- 2.0	- 1.0	- 2.0	- 1.5	- 1.5	- 2.0
平均灰度值	0.09	0.15	0.13	0.13	0.12	0.14	0.14	0.14	0.15
T-55	0.10	0.15	0.13	0.15	0.12	0.15	0.14	0.14	0.15
T-65	0.12	0.16	0.15	0.19	0.15	0.18	0.16	0.16	0.18
T-75	0.09	0.16	0.18	0.18	0.15	0.19	0.18	0.17	0.19
樣本大小	572	572	570	567	572	567	570	570	567

範圍 參數	0.0	0.5	0.0	(0.0-1.0)	(0.5-1.5)	(0.5-1.5)
	- 2.0	- 3.0	- 3.0	(1.0-2.0)	(1.5-2.5)	(2.0-3.0)
平均灰度值	0.15	0.15	0.15	0.01	0.00	0.00
T-55	0.15	0.17	0.17	0.01	-0.01	0.00
T-65	0.18	0.21	0.21	0.02	0.04	0.01
T-75	0.18	0.20	0.20	0.06	0.11	0.13
樣本大小	567	558	558	558	558	558

變。

c. 颱風之強度變化和各參數之相關係數

前面之分析為颱風在某時間之強度和該時間不同強度對流所占面積百分比或其梯度等參數之相關係數；在此，則分析颱風未來強度變化與各參數之相關性（表六）；在此強度變化指未來六小時之強度減目前之強度，亦即我們希望瞭解目前的對流特徵可否反映颱風未來六小時之強度變化。結果顯示颱風未來強度變化和當時對流（平均灰度或強對流面積）之相關係數均較強度和對流者為低，前者最大值只到0.21，而後者最大值達0.40。而強度變化和強對流面積的梯度，其相關性更低，其值大都在0.1以下，可說是毫無相關。

雖然，颱風中對流之分佈和未來颱風強度變化之相關很低，但很可能颱風強度變化與對流之變化有較密切之關係，因此亦分析強度變化和同時間內對流變化之相關係數（表未示）。因颱風強度變化很可能伴隨有對流之徑向變化，分時時參數之選取除了前述六個參數外，增加了（T-65）和（T-75）之梯度兩個參數。然而結果卻顯示，相關性仍非常低，最大值僅0.18；亦即颱風中對流強度或其徑向梯度之變化和強度之變化，兩者之關係並不如預期者大。然而，若取24小時之變化，則相關性較高，最大值可達0.35。

d. 討論

在絕熱無摩擦情況下，根據渦管拉長，位渦守恆的觀念，對流強度和颱風強度應有很好的相關，但是目前結果卻顯示颱風中心最大風速和平均灰度值或雲頂溫度小於及等於-75、-65及-55°C的面積（代表對流面積）百分比相關性均不高；相關係數最高僅0.40，所以颱風的強度和對流強度不是單純的線性關係，亦即單純的渦管拉長理論並不能完全適用於颱風強度之變化（因颱風中有極強之積雲對流和加熱效應）。根據颱風強度、增強及減弱情形，中心所在位置或發生季節所作之分類分析結果，都顯示相關性依分類之不同而有不同。

本文之分析與吳（1988）之分析最大差別在於，本文採衛星定位中心，但吳則採用最佳路徑。另外，本文之資料個數593個較吳（1988）之563個為多。由於衛星定位中心和最佳路徑中心之差距

大多在1°（111公里）以內，因此目前的結果應與吳之結果類似。表七為兩結果之比較，很明顯的兩者部份的定性關係頗類似，但在0~0.5°之差距較大，當是受到定位不同之影響。然而吳之結果，其值一般較本結果為高，尤其是以緯度或季節分類後（表未示）兩者差異更大。此結果顯示，以衛星定位為颱風之中心似乎較最佳路徑為不合理；意即，衛星紅外線雲圖資料僅反應高層雲之特徵，有時較難反應颱風底層之環流或對流之特徵。因此在利用衛星資料決定颱風中心時，如何使其能代表底層環流中心則頗為重要，此點值得未來進一步研究。

表七 颱風強度和平均灰度值、雲頂溫度小於等於-55°C、-65°C及-75°C之面積百分比，在各種不同徑向環狀帶之相關係數，括弧內之值為吳(1988)之結果，其上為本文之結果。

範圍 參數	0.0	0.5	1.0	1.5
	-	-	-	-
	0.5	1.0	1.5	2.0
平均灰度值	0.08 (0.29)	0.28 (0.35)	0.36 (0.41)	0.36 (0.44)
T-55	0.10 (0.32)	0.28 (0.38)	0.38 (0.45)	0.39 (0.49)
T-65	0.13 (0.30)	0.28 (0.38)	0.34 (0.43)	0.29 (0.40)
T-75	0.04 (0.22)	0.24 (0.31)	0.22 (0.26)	0.00 (0.07)

四、個案中對流之時間序列分析

前面的分析顯示個別颱風的差異性相當大，因此本節內將分析數個個案其對流在時間上之變化情形。然而，因熱帶對流或降水常具明顯的日夜變化（Gray and Jacobson, 1977）在分析個案對流之時間序列時，需先瞭解其影響。

a. 對流之日變化

在分析對流之日夜變化時，由於使用之衛星資

料多在 $120^{\circ}E$ 到 $135^{\circ}E$ 之間，地方時差很小，所有數據資料僅依觀測時間作分類。表八中上排列出了全部颱風個案在 $0.5-2.0^{\circ}$ 平均灰度值T-55、T-65和T-75在各地方時之平均值。結果顯示，平均灰度最大值出現在地方時間(LT)下午五時，最小值則於23LT；而且白天(11~17LT)之值一般較晚上(23~05L)為大。至於強對流所占面積百分比(T-65和T-75)最大值出現在05LT，最小值在17LT，而且T-75之特徵遠較T-65為明顯；以 $0.5-2.0^{\circ}$ 為例，T-75為17.5比9.9，T-65為38.1比31.0，至於T-55則此特徵不顯。

以上結果說明了由17LT到05LT之間，強對流面積增大，即對流增強；同時導致外圍下降運動增強，使得無雲區(灰度值很小)面積變大。因此，雖然05LT強對流面積最大，但是卻具有較高的平均雲頂溫度(較小的灰度值)。此深對流的日夜變化且因對流強度之增加而變得更顯著。Zehr(1987)研究Vanessa颱風(1984年10月22日到29日)的日夜變化時亦顯示在6度內深對流(雲頂相當黑體溫

度小於 $-65^{\circ}E$)面積在早晨六點半達到最大值。吳(1988)之結果和目前相同。

熱帶海洋上大雨多出現在清晨，和冷雲面積最大值相呼應。McBride & Gray(1980)認為日夜的不同主要是因有雲和無雲區淨輻射冷卻日夜不同所致；而清晨有最大降水是因為慣性穩定度的延緩作用所造成的。颱風系統中因組織性對流佔很大面積，降水已經很強，所以降水日變化不如一般熱帶地區顯著(Frank, 1977)。然而目前的分析顯示較強的颱風(強度大於75 Kts, 共285個資料)，因其具較強之對流，T-65和T-75之日夜變化比較弱的颱風(強度小於75Kts, 共308個資料)為大，(表八中、下排)。例如 $0.5-2.0^{\circ}$ ，T-65之值較強颱風於02LT和17LT時分別為44.1和33.6；但較弱颱風則分別為32.8和28.8。

以上之分析顯示了颱風中強對流明顯之日夜變化，然而對平均灰度值和T-55來說，則變化差距很小，T-65之差距亦不大，應不致對下述之分析造成影響。至於T-75則變化較大，需特別注意。

表八 全部颱風個案、以及較強及較弱兩類颱風之 $0.5\sim 2.0^{\circ}$ 環狀帶內之平均灰度值、T-55、T-65及T-75四種參數之時間序列表。

地方時		2	5	8	11	14	17	20	23
全部個案	平均灰度值	185.8	186.9	188.0	190.2	190.0	192.0	186.6	184.9
	T - 55	55.1	57.0	57.0	57.9	57.9	58.0	55.1	54.5
	T - 65	36.3	38.1	37.8	36.3	32.0	31.0	32.0	35.4
	T - 75	16.1	17.5	17.0	12.9	9.8	9.9	14.2	15.5
較強颱風	平均灰度值	192.0	198.8	197.8	196.2	200.3	199.9	196.0	189.4
	T - 55	61.4	67.7	65.0	64.2	64.9	64.0	60.4	59.2
	T - 65	40.8	44.1	42.3	39.6	35.3	33.6	35.1	38.7
	T - 75	16.1	17.2	17.9	13.4	10.5	9.0	13.4	15.1
較弱颱風	平均灰度值	179.7	176.5	178.0	185.2	179.9	185.3	177.8	180.5
	T - 55	49.0	47.7	48.7	52.6	51.0	53.0	46.4	50.0
	T - 65	32.0	32.8	33.2	33.5	28.7	28.8	29.2	32.2
	T - 75	16.2	17.7	16.0	12.4	9.1	10.6	15.0	15.9

b. 個案中對流和強度之時間序列分析

在以下對流時間系列之分析中，對流的範圍均取 $0.5-2.0^{\circ}$ 環狀帶，取2度以內係因為（颱風環流大小不同，不宜取太大範圍）。例如圖3為1986年

Roger 颱風6月15日12Z的雲圖（強度為85 Kts），以及1985年Brenda颱風10月3日12Z的雲圖（強度為90 Kts），其雲區範圍大小相差很多。在分析平均灰度值和颱風強度的關係時發現，大部份個案

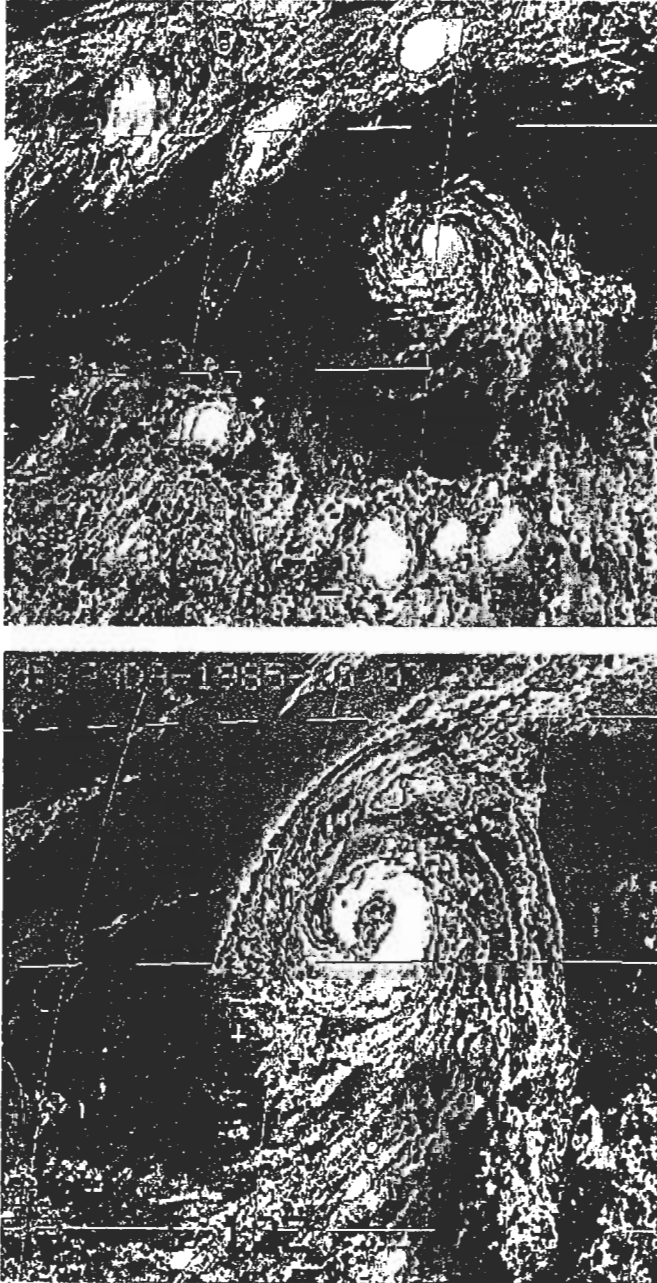


圖3 Roger 颱風(1986)6月15日12Z(上圖, 強度為85Kts), 和Brenda 颱風(1985)10月3日12Z(下圖, 強度為90 Kts)之衛星雲圖。

在中心最大風速達最大值之前，平均灰度值先達一（局部）最大值；例如1986年6月之Roger颱風（圖4）其最大強度出現時間（15日12Z），落後最大平均灰度值出現時間（15日06Z）六小時。1985年10月之Brenda颱風（圖未示），其最大強度（03日06Z）則落後最大平均灰度值（02日06Z）24小時，亦即颱風最大強度落後最大平均灰度值的時間長短不一。雖然大部份個案都顯示有落後的關係，但Nelson颱風（1985）在現有資料時段內最大平均灰度值反而落後颱風最大強度（圖5）。

當考慮 $0.5 \sim 2.0^\circ$ 內T-55時，亦有類似之結果。統計所有個案，扣除最大強度不在資料範圍內者，共有14個颱風個案，其中有此最大強度落後在對流面積最大值之關係者，計有12個颱風，約佔百分之八十五。而大部份個案落後時間都在一天以內，只有三個個案落後時間超過一天，這三個個案為1985年之Hal颱風，落後時間為45小時；Tess颱風落後27小時；及1986年之Abby颱風，落後了36小時。

另外，有兩個颱風則為超前的關係，例如Nelson颱風，其最大強度（21日18Z）超前對流面積最大值（22日09Z）15小時。

至於颱風最大強度和對流徑向梯度（T-65之 $(0.5 \sim 1.5) - (2.0 \sim 3.0)$ 值）也有相似的結果，不過14個颱風只有9個存在落後關係，約佔百分之六十四，其中Hal（1985）落後超過一天（45小時），有四個颱風則為超前的關係。這種明顯的落後關係和許多人的理論及研究結果一致；例如Rosenthal（1978）強調對流需經較大系統組織成螺旋雲帶（spiral bands）和眼牆（eye-wall）之後，熱帶氣旋才開始迅速增強，所以中心最大風速變化和對流強度變化存在一落後關係。Sadler（1978）提出高層外流對颱風發展有很大影響，Holland和Merrill（1984）及Chen和Gray（1985）也認為高對流層的外流作用可以影響颱風強度變化。若高層有外流噴流，會把颱風中心附近的質量帶走，導致對流增強，但是由於低層近中心處慣性穩定度大，

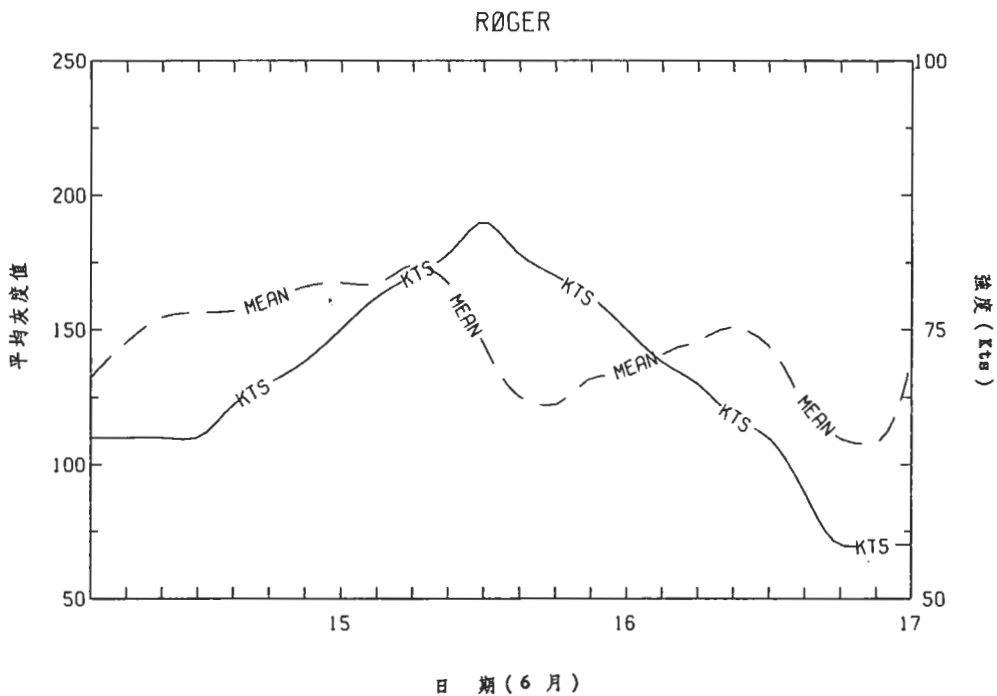


圖4 Roger颱風(1986)之 $0.5 \sim 2.0^\circ$ 環狀帶內強度與平均灰度值之時間序列圖，KTS表強度，MEAN表平均灰度值，平均灰度值取三點移動平均。

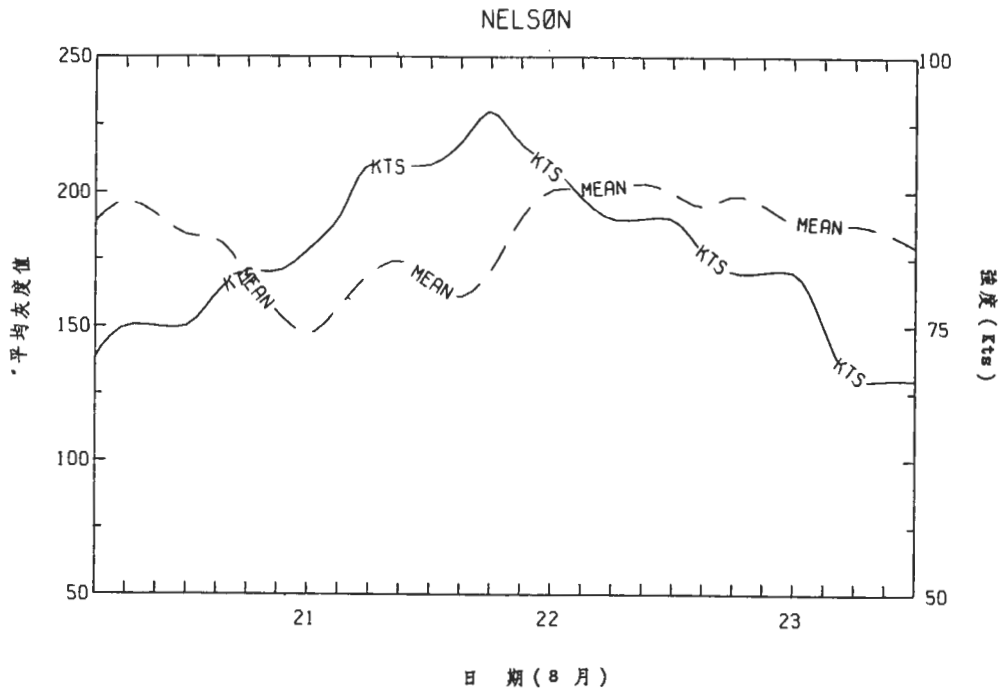


圖5 Nelson颱風(1985)之 $0.5 \sim 2.0^\circ$ 環狀帶內強度與平均灰度值之時間序列圖，KTS表強度，MEAN表平均灰度值，平均灰度值取三點移動平均。

所以產生阻抗作用，使得強度增強有落後對流增強的情形。Lee (1986) 利用 FGGE III - b 資料，計算高層外流（代表垂直速度），也發現外流最大值領先強度最大值。Steranka et al. (1986) 研究大西洋三個個案：Hurricane Faye (1975)、Fifi (1974) 和 Elaine (1974)，亦顯示在強對流發生之後，熱帶氣旋強度才開始增強；並且一般最強對流發生之後，才達到熱帶氣旋的強度最大值。

五、四方位之合成分析

由於颱風結構常具軸不對稱性，為了瞭解颱風中對流的不對稱特徵，因此以正北和移動方向為參考方向，將資料分為四個方位進行合成分析，分別是東北、東南、西南和西北或右前、右後、左後和左前四個方位。在徑向方面，則以 $0-1^\circ$ 之平均代表 0.5° 之值， $1-2^\circ$ 平均代表 1.5° 之值， 2.5° ， 3.5° 和 4.5° 之值分別為 $2-3^\circ$ ， $3-4^\circ$ 和 $4-5^\circ$ 之平均值。

首先我們比較所有颱風四方位合成之差異，圖6和圖7分別為以北方和以移動方向為參考方向所

得之合成結果。結果顯示，當以北方為參考方向時，其不同方位對流之差異較以移動方向為參考者為大；但差別以 2° 以外較明顯。亦即對流分佈稍具有地理方位性。南半部對流平均較北半部（尤其是西北象限）為大；不過在半徑 3° 以外，東北象限之對流較接近南半部，當以移動方向為參考方向時，對流以左後方為最強，前方（1, 4象限）之對流平均較後方為弱。

a. 不同強度或強度變化颱風之差異

首先比較不同強度颱風其四個方位對流的徑向分佈，圖8為強烈颱風、中度颱風和輕度颱風之四方位灰度值徑向分佈；結果顯示，在各方位，平均灰度值依颱風強度增加而增加。當以強度變化分類時，亦發現增強度中颱風之平均灰度值較減弱中者為高（圖未示）。圖8亦顯示在西半部（西北和西南象限），中度颱風和輕度颱風之值相差不大，但強烈颱風之平均灰度值則較前兩者大了約30%，且此差異存在於由中心往外至半徑 4.5° 以上。在東半部，則上述差異亦存在於 $0-1^\circ$ 區域，但隨著半徑增

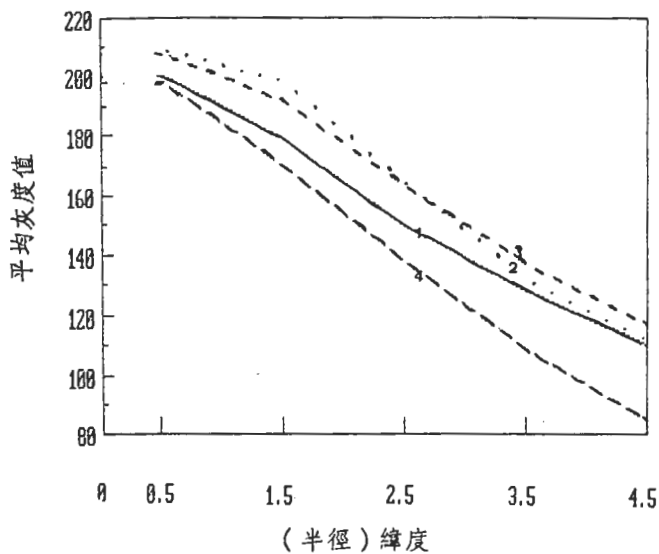


圖6 所有颱風在不同象限之平均灰度值徑向分佈。合成參考方向為正北；1為東北象限，2為東南象限，3為西南象限，4為西北象限。

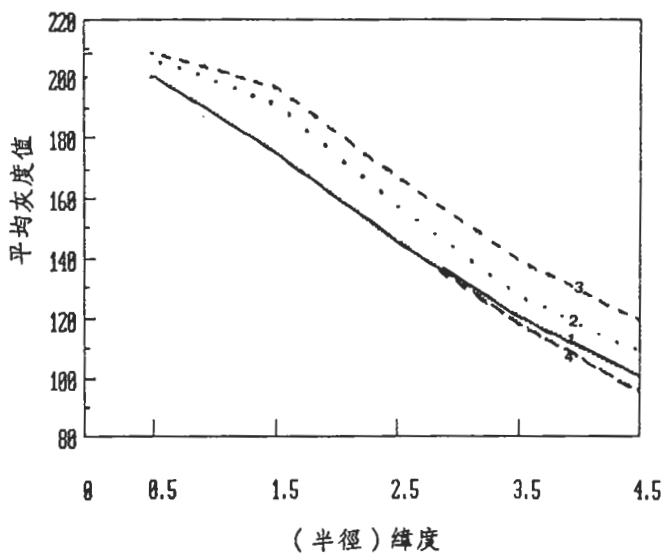


圖7 所有颱風在不同象限之平均灰度值徑向分佈。合成參考方向為颱風移動方向；1為右前象限，2為右後象限，3為左後象限，4為左前象限。

加而轉變； 2° 以外區域則強烈和中度颱風之平均灰度值差異不大，但兩者較輕度颱風之平均灰度值大了約 20 - 40%。

若以移動方向為參考方向，則結果（圖 9）和以北方為參考方向者（圖 8）大致類似；因颱風之平均移向為北北西（ 334° ），左前和右後分別對應西半部和東半部，故左前之結果和西半部相同而右後之結果和東半部相同。至於右前和左後則分別具有部份西半部和東半部之特徵，但特徵較不明顯。此結果似乎指出對流之分佈和地理方位之關係較高，而移動方向似乎對對流分佈之影響不大。推測

可能是因影響颱風對流之環流或系統具有方位性，此等環流系統包括有信風、強跨越赤道流（Lee, 1986）和熱帶高對流層槽線（TUTT）Lee, 1986；Sadler, 1978）等。

為便於比較不同強度颱風在不同方位之對流分佈之差異，圖 10 分別顯示強烈、中度和輕度颱風之四個方位（以北方為參考方向）平均灰度值之徑向分佈。結果顯示，不管颱風之強度為何，南半部（東南和西南象限）之平均灰度值均較北半部（西北和東北象限）為高，不同強度變化之颱風亦具有此明顯特徵（圖未示）。此種差異當是底層環流水汽

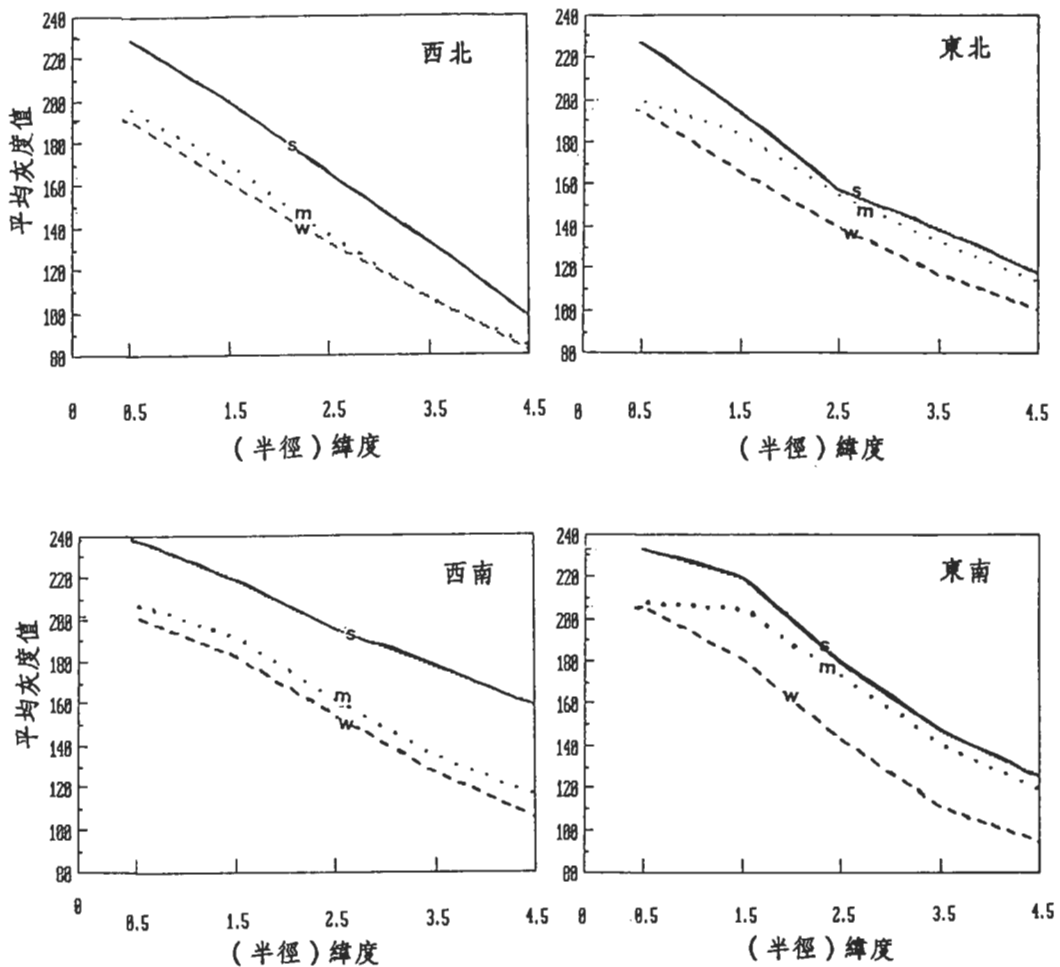


圖 8 強烈(S)、中度(M)及輕度(W)颱風四位之平均灰度值分佈。合成參考方向為正北。

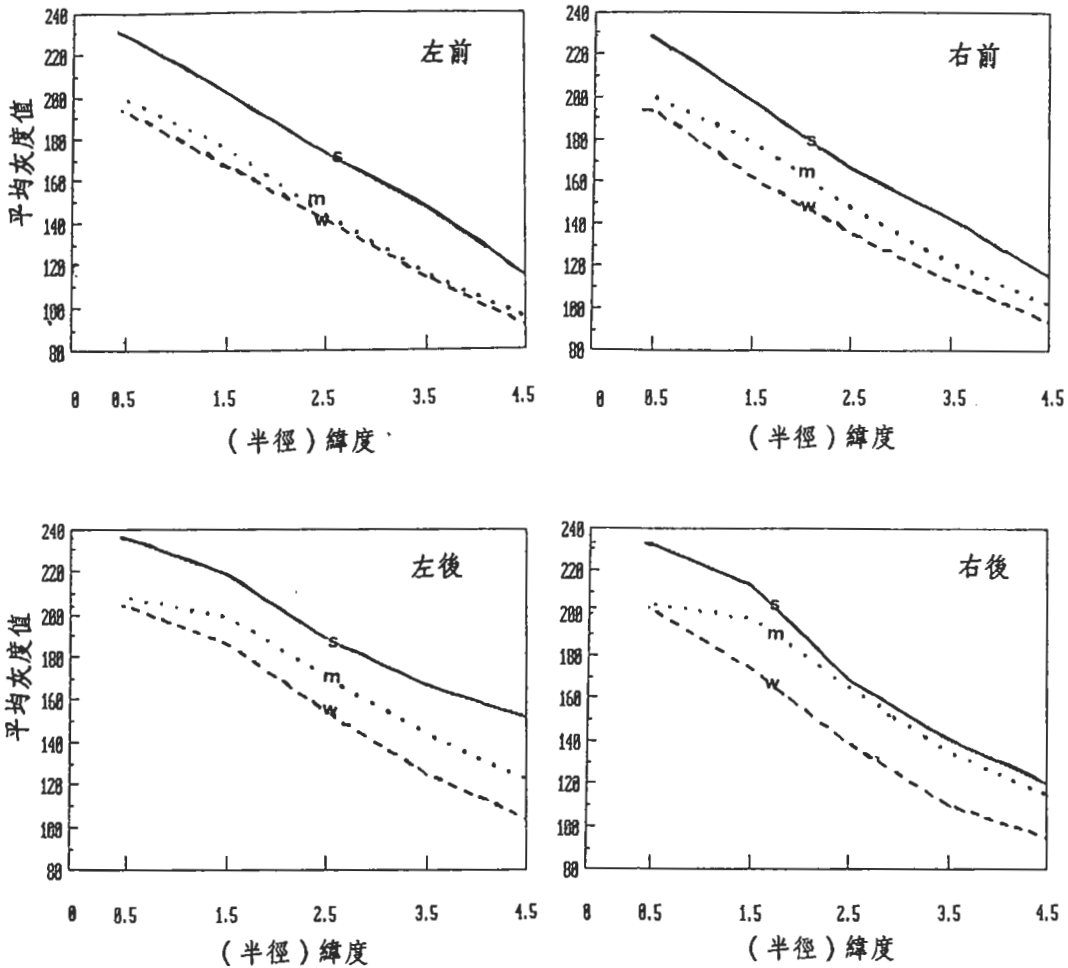


圖9 強烈(S)、中度(M)及輕度(W)颱風四位之平均灰度值分佈。合成參考方向為颱風移動方向。

來源不同之反應。圖10中亦顯示，輕度颱風中，四方位對流之差異較強烈颱風為小，至於中度颱風階段，東北象限之對流有增加之情形，而西北象限之對流明顯的最弱。若以移動方向為參考方向（圖未示），則左後象限（南方）之對流較其他方位為強。

以上結果顯示，不論強烈、中度或輕度颱風，颱風中心南方或移動方向的左後方對流最強。於颱風發展初期，東南方對流增強較顯著，東北方亦有增強情形，而西北方對流並無明顯增強。當由中度颱風增強為強烈颱風時，西北和西南象限的對流顯

著增強；而東北和東南兩象限之對流增強僅在 2° 以內， 2° 外對流並無明顯增強。此結果似乎指出颱風發展初期，由南方來的大範圍環流影響較重要，故造成東南以至東北象限對流之增強，此結果和Lee (1986；1989)之結果頗為一致。至於中度颱風以後之發展，則颱風北方之TUTT或內部動力過程之影響較重要，使得西北象限對流明顯增加 (Lee, 1986)。

b. 移動速度不同颱風之差異

在此根據颱風移速快慢分類，分別為移速快（

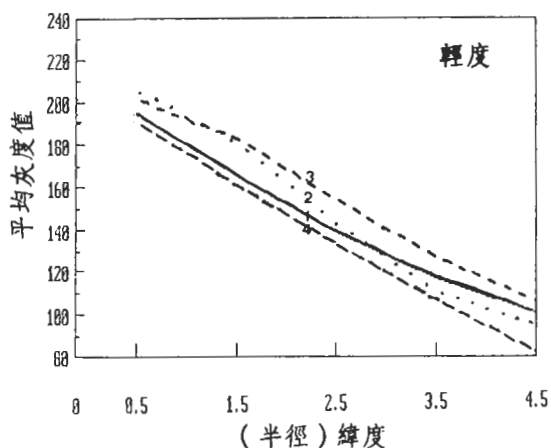
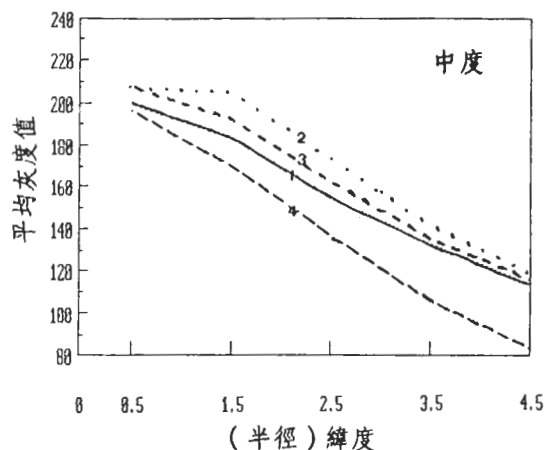
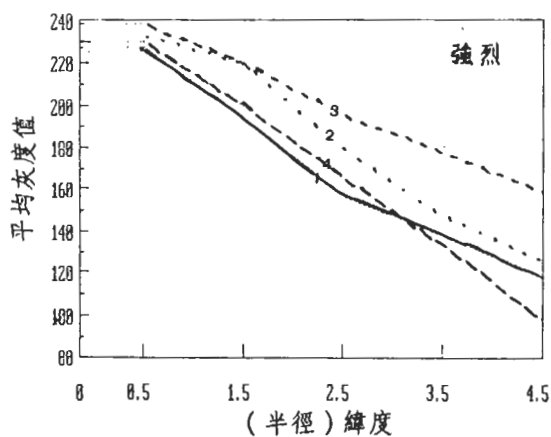
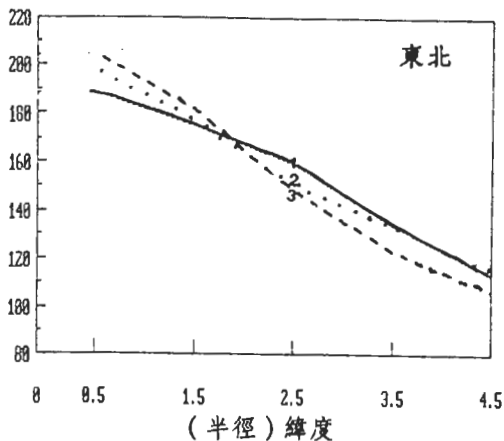
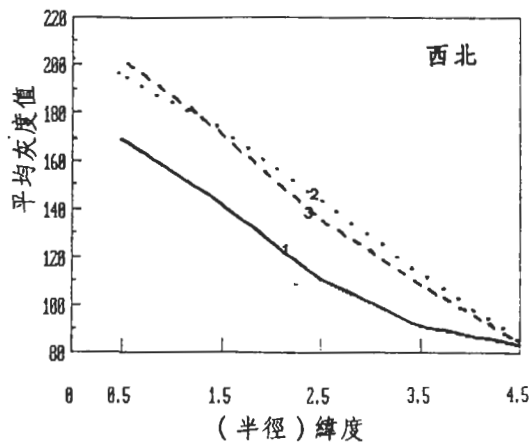


圖10 強烈(上)、中度(中)和輕度(下)颱風四方位之平均灰度值分佈。合成參考方向為正北。1,2,3和4分別代表東北、東南、西南和西北象限。

≥20 kts), 中等 (10 ~ 20 kts) 和移速慢 (≤10 kts) 等三類, 其個案數分別為33, 261 和299。以正北為參考方向之合成結果如圖 11 所示。由圖可見, 移速大於等於20 kts 的颱風, 其西南和西北方

對流明顯較弱, 其1°內平均灰度值約為170, 其他兩類則在200~210之間。東南象限移速快的颱風, 其平均灰度值在2°內亦較低, 但在東北象限則不同移速颱風之平均灰度值無明顯差異。圖 12 顯示



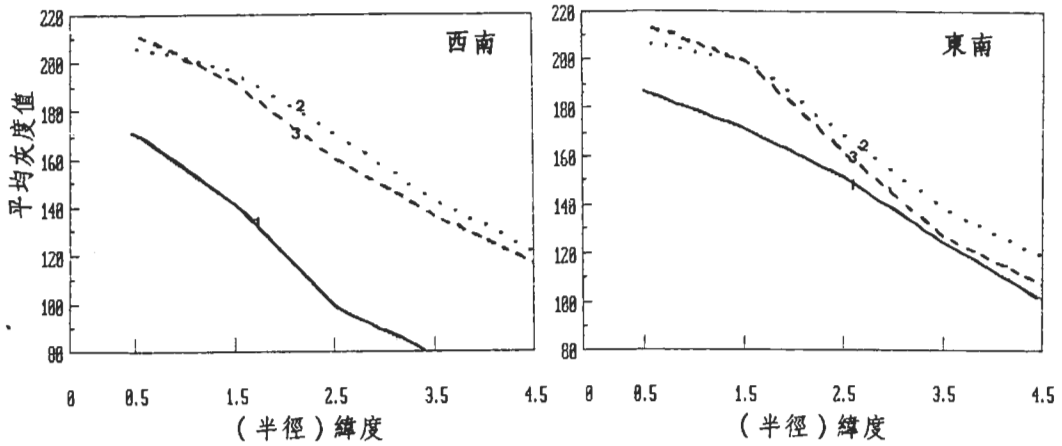


圖 11 不同移速之颱風四方位之平均灰度值分佈。合成參考方向為正北。1,2和3分別表示移速大於20kts，介於20和10kts間以及小於10 kts。

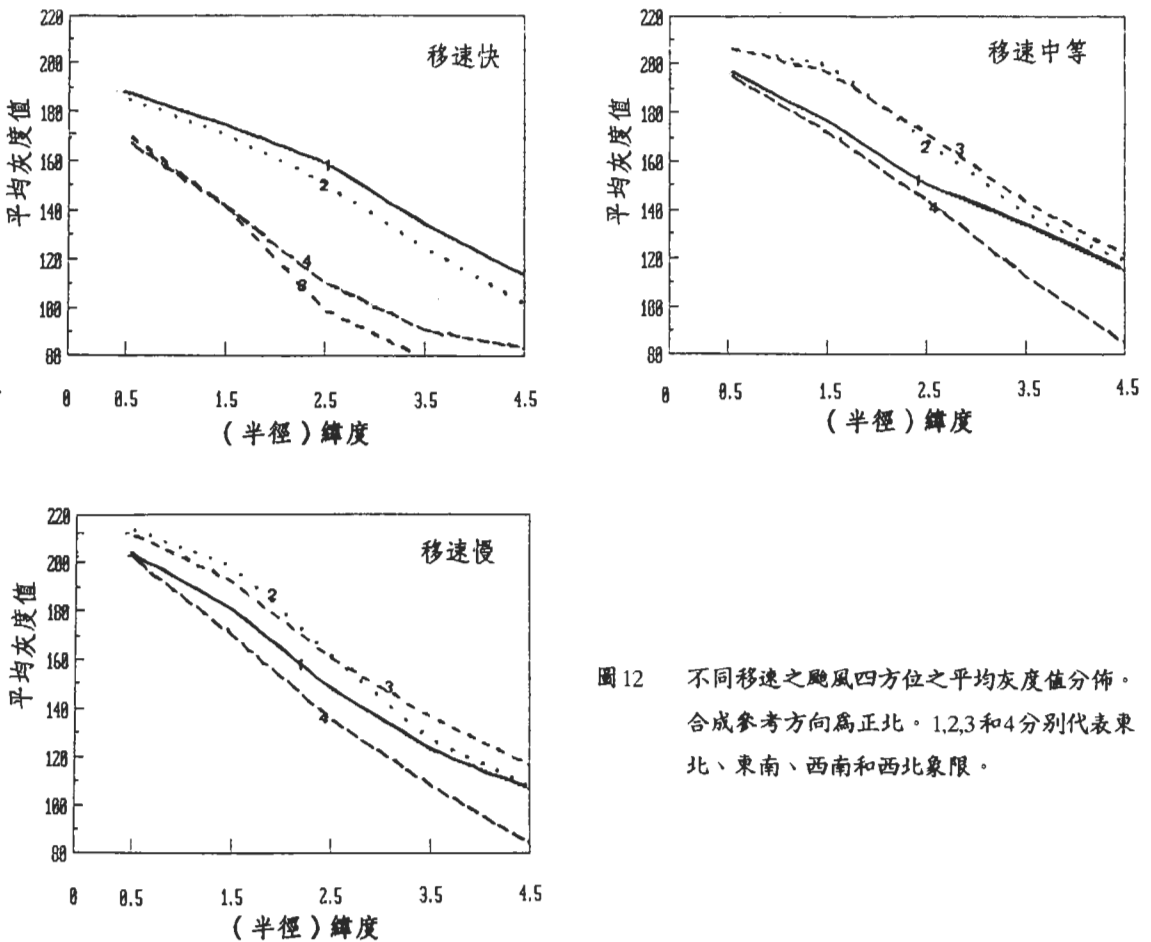


圖 12 不同移速之颱風四方位之平均灰度值分佈。合成參考方向為正北。1,2,3和4分別代表東北、東南、西南和西北象限。

了颱風移速大於等於20 kts，其東北和東南方對流強度顯著大於西北和西南；而移速小於20 kts，其東南和西南方對流較東北和西北強。

目前結果顯示，一般說來颱風南半部的對流平均比北半部強，不同的颱風強度或強度變化並不會影響此特性；移速小於20 kts之颱風亦顯現此特徵（圖12），但是移速大於20 kts之颱風很明顯有所不同，此類颱風其東半部之對流比西半部要大很多，尤其是半徑 2° 以外的區域，差異更大。有趣的是，當以移動方向為參考方向時，則此種差異減小（圖未示），亦即對流強弱所具有之地理方向性遠較移動方向之影響為大。

六、討 論

文利用衛星紅外線觀測所提供的雲頂相當黑體溫度數據資料，分析1985和1986年21個颱風個案（共計593個觀測時間），探討在不同狀況下，颱風強度和雲頂平均溫度（平均灰度值）、強對流及所占面積及其徑向梯度的相關性，以及不同狀況下，對流（或雲頂相當黑體溫度）之分佈特性。

由於考慮未來應用衛星資料進行分析之合理性，本研究採用利用衛星資料所決定的颱風中心為參考中心，李和吳（1988）以及吳（1988）均採用最佳路徑的颱風中心為中心。然而目前分析顯示，衛星定位中心和最佳路徑資料之定位中心，其差距百分之七十九皆在1度（111km）內。因此，本文所得之定性結果（相關性分析）和吳（1988）之結果類似，但吳之結果其相關係數較高；亦即，最佳路徑之颱風中心位置較衛星定位要合理；因此如何使衛星定位趨近於合理之最佳路徑為極待研究之主題。

相關性分析結果顯示，對流強度及對流徑向梯度和颱風強度的相關一般不高，颱風發展因此不是單純渦管拉長觀念所能解釋。然而發生在不同海域或不同季節的颱風，其對流特性頗有差異；不同強度或強度變化趨勢之颱風，其相關性亦稍有不同。

結果亦顯示，颱風中對流的強度或分佈和颱風未來強度變化的相關係數非常低。意即，對流並非決定颱風強度變化之唯一要素。對流徑向分佈和強度變化的相關係數雖較對流和強度變化者稍高，但值仍遠較預期者為小，此結果在未來值得特別注意

。此外，Steranka et. al.（1986）和吳（1988）分析中之convection burst和強度變化之關係，亦值得深入討論。

在分析不同颱風個案時發現，個案間之差異非常大，有些颱風其強度和強對流所占面積之相關係數高達0.89，然而有些個案其值都接近0，或者甚至為負值。此外，雖然與颱風強度相關最大的一般是 $1-2^\circ$ 雲頂溫度小於及等於 -55°C 之強對流所占面積百分比，但有些個案則出現在不同的環狀帶內。

在分析不同方位之對流分佈時，發現南半部之對流一般比北半部要強，而且此特徵不受颱風強度或強度變化之影響。然而移速大於20 kts之颱風則此特徵消失，反而是東半部之對流較西半部強，由於颱風移向平均為北北西方向，因此此種對流不對稱特徵之改變，明顯的是颱風快速移動之結果。颱風發展初期，東南方和東北方對流增強較顯著，西北方則無明顯增加。到達中度颱風後，如颱風繼續增強，則西北和西南方對流明顯增強，但東半部對流之增加僅在 2° 以內。此種對流變化的改變，很可能是影響颱風強度變化之物理機制改變的影響。例如Lee（1986）之分析即指出，颱風發生初期，強跨越赤道流常造成積雲簇南方對流增強且發展成颱風。而颱風之增強過程常導因於位於其北方高空槽線之影響。若於分析時，採颱風移動方向為參考方位，則上述之對流特徵常變得較不明顯；此結果顯示導致颱風強度改變之物理過程似乎較具有地理方位性，而與颱風之移動方向無密切關聯。

七、結 語

衛星資料在颱風之作業和研究上佔有相當重要的地位，然因個案之變化和對流之複雜性，使得應用和分析上困難重重，本研究之成果，僅能提供一些訊息，幫助瞭解颱風中之對流特性以及強度變化之物理過程，未來仍有非常多值得研究的地方。

八、誌 謝

本研究承蒙中央氣象局衛星站提供資料，以及朱曙光主任之協助，謹此致謝。此外亦感謝洪藍傳先生協助處理、分析資料以及繪圖和打字，鄧中惠

先生協助資料處理。本研究乃在國科會企劃處大型防災計劃支持下完成，計劃編號NSC-78-0414-P002-03B。

參考文獻

- 李清勝與吳鳳娥，1988：雲頂相當黑體溫度和熱帶氣旋的關係。氣象學報，第三十四卷，第一期，23-34期。
- 吳鳳娥，1988：雲頂相當黑體溫度和熱帶氣旋強度的關係。台大大氣科學系碩士論文，69pp。
- Chen, L. and W. M. Gray, 1985: Global view of the upper level outflow patterns associated with tropical cyclone intensity changes during FGGE. Dept. of Atmos. Sci. Paper No. 392, Colo. State Univ., Ft.
- Dvorak, V. F., 1975: Tropical cyclone intensity analysis and forecasting from satellite imagery., *Mon. Wea. Rev.*, 103, 420-430.
- Dvorak, V. F., 1984: Tropical cyclone intensity analysis using satellite data., NOAA Technical Report NESIDE 11,47 pp.
- Frank, W. M., 1977: The structure and energetics of the tropical cyclone I. Strom structure., *Mon. Wea. Rev.*, 105, 1119-1135.
- Holliday, C. R., and K. R. Waters, 1989: SSM/I observations of tropical cyclone gale force vicinity winds. Preprints 4th Conf. Sat. Meteor. and Ocean., San Diego, CA, Amer. Meteor. Soc., Boston. Mass., 267-270.
- Holland, G. J., and R. T. Merrill, 1984: On the dynamics of tropical cyclone structural changes., *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 110, 723-745.
- Joint Typhoon Warning Center, 1985 (JTWC) : Annual Tropical Cyclone Report. (ATCR) , Guam, 274pp.
- Joint Typhoon Warning Center, 1986 (JTWC) : Annual Tropical Cyclone Report. (ATCR) , Guam, 191pp.
- Lee, C. S. , 1986: An observational study of tropical cloud cluster evolution and cyclogenesis in the western North Pacific Dept. of Atmos. Sci. Paper No. 403 , Colo. State Univ. , Ft. Collins, CO, 250 pp.
- Lee, C. S. , 1989: Observational analysis of tropical cyclogenesis in the western North Pacific II: Budget analysis. *J. Atmos. Sci.*, 46, 16, 2599-2616.
- McBride, J. L. and W. M. Gray, 1980: Mass divergence and vertical velocity in tropical weather system, Paper I: Diurnal variation; Paper II: Large-scale controls on convection., *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 106, 501-538.
- Rodgers, E. B., and J. Stout, 1989: Upper-tropospheric influences on western Pacific tropical cyclone intensity change as inferred from satellite ozone observations. Preprints 4th Conf. Sat. Meteor. and Ocean., San Diego, CA, Amer. Meteor. Soc., Boston, Mass., J46-J47.
- Rosenthal, L., 1978: Numerical simulation of tropical cyclone development with latent heat release by the resolvable scale. I: Model description and preliminary results., *J. Atmos. Sci.*, 35, 258-271.
- Sadler, J. C., 1978: Mid-season typhoon development and intensity changes and the tropical upper tropospheric trough., *Mon. Wea. Rev.*, 106, 1137-1152.
- Shoemaker, D. N., 1989: Forecasting 30 knots wind radius in west Pacific tropical cyclones using geostationary infrared satellite data. Preprints 4th Conf. Sat. Meteor. and Ocean., San Diego, CA, Amer. Meteor. Soc., Boston, Mass., J48-J49.
- Steranka, J., E. B. Rodgers and R. C. Gentry, 1986:

the relationship between satellite measured convection bursts and tropical cyclone intensification, *Mon. Wea. Rev.*, 114, 1539-1546.

Zehr, R. M. 1987: The diurnal variation of deep convective clouds and cirrus with tropical cyclones. Ext. Abst. 17th Conf. Hurr. and Trop. Meteor., Miami, FL, Amer. Meteor. Soc., Boston, Mass., 276-279.

Zehr, R. M. 1988: Investigation of tropical cyclone

genesis using a combination of digital GMS satellite and aircraft reconnaissance data. Abst. International Conf. Trop. Meteor., Brisbane, Australia, 93.

Zehr, R. M. 1989: Improving objective satellite estimates of tropical cyclone intensity. Preprints 4th conf. Sat. Meteor. and Ocean., San Diego, CA, Amer. Meteor. Soc., Boston, Mass., J25-J28.

**The Analysis of Convective Characteristics Associated
with Typhoon Using Satellite Infrared Data**

Cheng-Shang Lee Feng-Er Wu

Department of Atmospheric Sciences
National Taiwan University Central Weather Bureau

(manuscript received November 25, 1989; in final form December 23, 1989)

Abstract

This paper analyzes the correlation between the intensity and distribution of convection associated with typhoons using three-hourly digitized Japanese GMS infrared data. The digitized data were converted from the high resolution analog data and can represent the cloud top black body temperature (or equivalently the intensity of convection). Totally, we analyzed twenty one typhoons (593 imageries) which occurred in the western North Pacific during 1985 and 1986. In the analysis, the typhoon centers were determined according to the satellite imageries instead of the best track.

Results show that the distance between the best track typhoon center and the satellite-determined center is within one degree latitude (111 Km) for about 80% of all typhoon cases. The correlations between typhoon intensity and average intensity of convection (or percentage of area occupied by deep convection) at various radial domains are generally not high. However, the case variations are large. The correlation coefficients also vary among different categories of typhoon with different intensities, intensity changes, occurring latitudes or seasons. The results also indicate a strong diurnal variation in the area occupied by the deep convection. The maximum area occurs at 05LT (Local Time) and the minimum at 17LT. The average gray scale values, however, show a weaker but opposite diurnal variation. This is likely due to the influence of the compensating subsidence.

The composite results show that the convection associated with typhoons is stronger in the southern half than that in the northern half. These characteristics do not change for typhoons with different intensities or intensity changes. However, for those typhoons with movement speed of 20 knots or greater, the convection is stronger in the eastern half than that in the western half. During the early developing stage of a typhoon, the convection strengthens in the eastern half but shows no change in the northwestern quadrant. At later stages, the convection strengthens in northwestern quadrant but shows almost no change beyond 2° latitude radius in the eastern half. The above

characteristics appear less apparent if the composite was done using the typhoon movement direction as reference. These results suggest that those physical processes influencing typhoon intensity change are more geographically oriented than associated with movement direction.

Keywords: Typhoon, Typhoon intensity, Satellite data