

利用衛星雲圖分析預報颱風強度

陳毓雷 摘譯

Analysis and Prediction of Tropical Cyclone Intensities Based on Satellite Pictures

Yulei Chen

Abstract

A detailed technique developed originally by NESS for the analysis and forecasting of tropical cyclones by using satellite pictures alone is described. Its main purpose is to identify the past and current intensities of typhoons so that the prediction may be made by means of a model in code form. Relevant terms in satellite meteorology about tropical cyclones are introduced and well illustrated in the last part of this paper.

一、前言

一九六〇年四月一日晨人類第一枚專為氣象觀測而發射之泰洛一號順利昇空，不久飛越美國東岸即攝下一個颶風之完整雲貌，當場傳送回來，令守候於地面之工作人員振奮不已。對氣象人員而言，此乃期待已久一個新觀測世紀之開端。過去在廣袤熱帶地區，尤其在洋面上傳統觀測極少，熱帶風暴往往不易被發現。即使發現後，除非有飛機偵察亦難予確定其位置、強度及範圍。衛星雲圖問世後，氣象學家如獲至寶，立刻利用雲圖與地面資料對照研究，希冀由颶風（經指一切熱帶風暴系統，本文以後均指此義）在雲圖上所顯示之雲貌來推斷其地面上所不易觀測到的發展階段，最大風速等資料。

該項工作由美國環境衛星局（NESS）內氣象人員所主持，根據四年之熱帶氣旋實際資料而建立起衛星雲圖上颶風分類標準，並且獲得如何估計中心最大風速之經驗公式。〔1〕

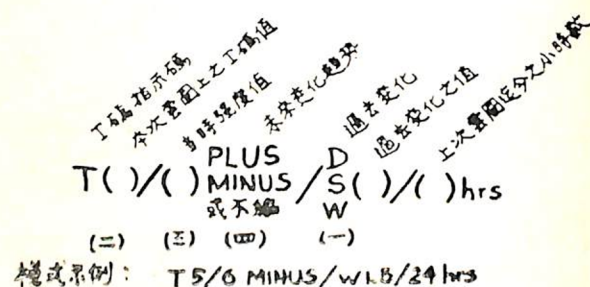
本軍氣象中心一向負責臺灣區颶風預報，對預報準確率之提高不遺餘力。他們一方面試用 NESS 公式驗證其在本地理區域內之使用效果〔2〕，一方面利用該中心自行接收之衛星雲圖從事研判分析，對颶風強度之決定及移動之預測獲得極具價值之結論。〔3〕

迄今氣象衛星之歷史雖不過十四年，然其發展

一日千里，成就非凡。今日之衛星雲圖與初期相鑑，無論質或量方面均有極大之進步。因此從早期雲圖研究所得結論亦有修正之必要。Dvorak 氏〔4〕在 NESS 分析組工作有年，累積經驗甚豐；對熱帶雲系潛心研究結果，將以前颶風分類標準作一徹底修訂。由於氏所運用之資料技術均經創新，堪稱為分析及預報颶風之最新方法。益以其方法比較具體、客觀、系統化而預報效果高，故筆者認為值得我國預報工作者參酌採用。爰將其詳細內容分五節介紹如下：

二、分析步驟

本方法之主體可以綜合在一起以類似電碼形式的一種模式表達之（見圖一）。其中包含以下四大



圖一、描述颶風強度及其發展趨勢之一種模式
Fig 1. The code form describing the Typhoon and its development

項目。分析時應有先後次序，但相互間又各有關連，合之成一個整體。本節先敘述四大項目之分析步驟及其要點，至於涉及技術細節或規定等將分在以下各節補充之，免使本節內容過於龐雜。

(一)過去變化——上次觀測（雲圖）迄今之颶風變化情形。

以本次圖與上次圖比較，颶風可能繼續發展（D），保持不變（S），或逐漸減弱（W）。然判斷之準則及變化之計量非三言兩語所可描述，請另見第五節之（一）。

(二)鑑定 T 碼——選擇一適當之 T 碼以描述目前之颶風。

T 代表颶風或熱帶風暴（或氣旋）均無不可。其後所隨之數碼自 1 至 8 不等，指目前從雲圖判讀該颶風應屬何一等級。

決定 T 碼有一客觀程序可循。先以昨日之 T 碼聯合上述之過去變化用第三節內（一）之附表推測目前之 T 碼。（該表本為由今日預報明日之用，但亦可用作由昨日推導今日之 T 碼，見表首另加括號內之說明。）其次直接根據本次雲圖上資料利用第四節流程圖內 CF 及 BF 之和作為目前 T 碼數值之初步鑑定。然後將兩種估計值協調折衷，最好使其互相符合，而最後鑑定之 T 碼不可令其大於推測值一個數碼以上（T 碼具有 0.5 之級差）。

T 碼數值一旦鑑定，過去變化之具體數值亦可用 T 碼單位填入 D 或 W 之後。

(三)當時強度——當時強度（C.I.）之決定。當時強度之大小亦以數碼表示之，其對應之中心最大風速及最低海面氣壓之值詳見第六節之（一）表二。

C.I. 值與 T 值之關係如下：

1. 若過去變化已採用 D 或 S 字頭，則 C.I. 與 T 碼相同。
2. 若已採用 W 字頭，則 C.I. 往往較 T 碼為大。在此又可分為兩種情況。

當時強度值 (或昨日 T 碼值)	1	(1.5)	2	3	4	5	(5.5)	6	(6.5)	7	8
預報廿四小時後 C.I. 值 (或今日 T 碼值)	D 1.5 S 1 W 1	(2) (1.5) (1)	3 2 1	4 3 2	5 4 3	6 5 4	(6) (5.5) (4.5)	6.5 6 5	(6.5) (6.0) (5.5)	7 6.5 6	8 7 7

(1) 若今日之 T 碼小於昨日者 1 個數碼以上，則令 C.I. 較 T 碼大 1。

(2) 若今日之 T 碼小於昨日者僅 0.5，則令 C.I. 較 T 碼大 0.5。

(四)未來趨勢——本次雲圖上所顯示之未來變化趨勢。

颶風究將增強抑減弱，一般均可從雲圖上尋其徵兆，詳細說明請見第五節之（二）。

純就電碼而言，趨勢僅分 PLUS 或 MINUS 兩種。其採擇依據下述三原則進行之。

1. 未來趨勢與過去變化互相矛盾時方有需要採用 PLUS 或 MINUS 於電碼中。易言之，模式中未來趨勢一項不一定編配電碼。

2. 採擇 PLUS 之時機有二：

(1) 過去變化已經採用 W 或 S 碼，然未來趨勢顯然有增強之徵兆時。例如某颶風或因暫時穿越陸地，或因垂直風切增大而有減弱於一時之現象時，通常均有再度轉強之趨勢，故而有編入 PLUS 碼之必要。

(2) 未來趨勢有明顯之增強徵兆，且過去四十八小時內實際發展平均而言已超過電碼模式所示之發展率時。

3. 採擇 MINUS 之時機亦有二：

(1) 過去變化已經採用 D 或 S 碼，然未來趨勢顯然表示減弱徵兆時。例如颶風即將進入不利發展之環境，或可看出其已達全盛時期之時，通常即應採 MINUS 碼編入之。

其他有關 MINUS 用法應注意之細節在第五節之（二）最後一段尚有說明。

(2) 未來趨勢有明顯之減弱徵兆，且過去四十八小時內實際減弱平均而言已超過電碼模式所示之減弱率時。

三、預報廿四小時後之強度變化

按上述步驟依次完成分析後，即可運用該模式以求廿四小時後之強度變化。以下分兩種情況敘述

預報之程序。

(一)模式中既無PLUS亦無MINUS字樣時，按上表預報之。

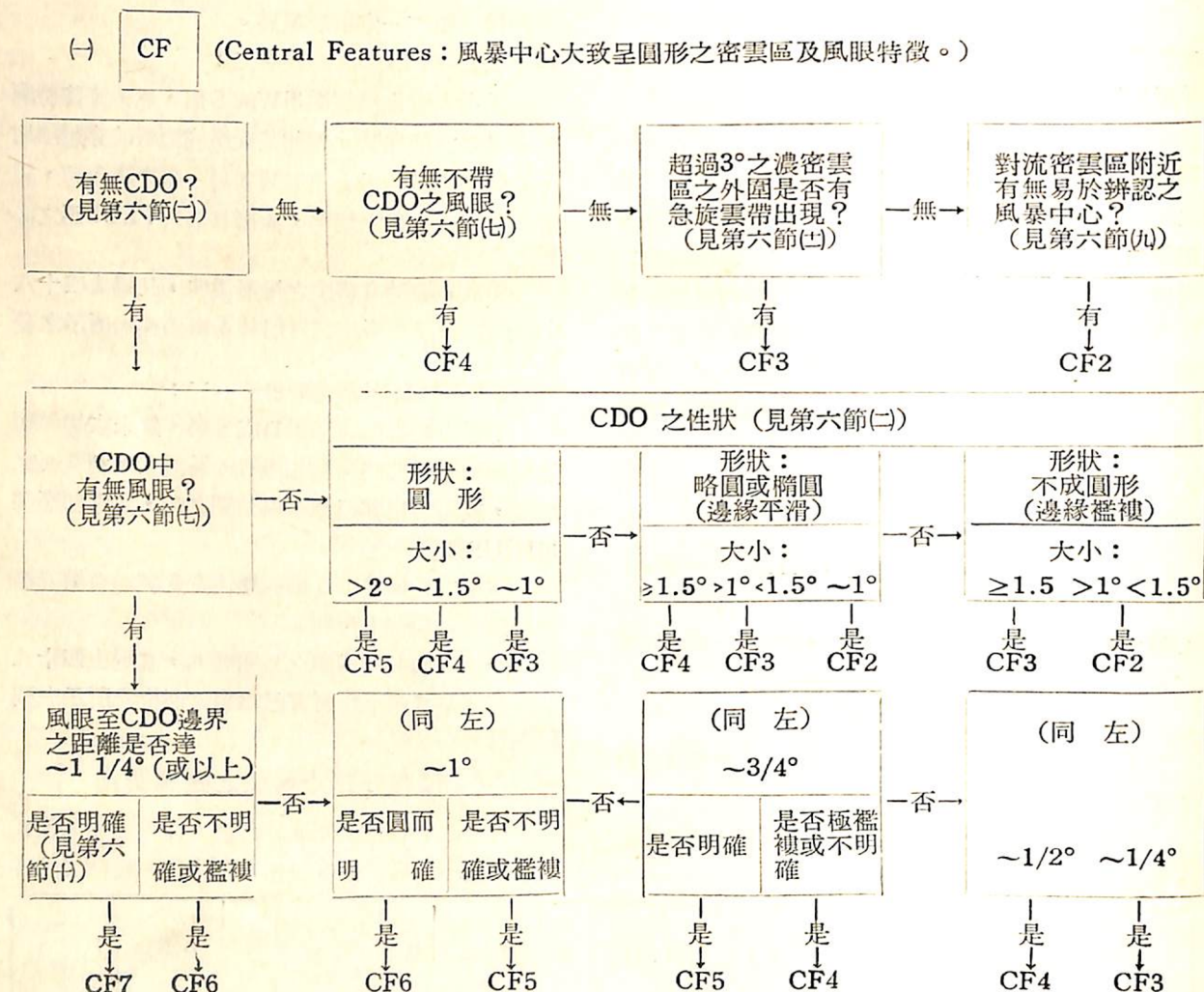
(前曾提及本表亦可用作推測當時強度之用，是以「預報廿四小時後C.I.值」，亦可改標為「今日T碼值」，而「當時強度值」則成為「昨日T碼值」。

(二)模式中已採用PLUS或MINUS 兩者之一時，上表預報值應按下表予以修正。

請注意本節所述預報方法應不適用於颱風在廿四小時內可能登陸之情況。又本節內容為預報颱風之強度，電碼格式中則並無本項在內。

模式中出現之電碼格式	修正值
+ D	+0.5
+ S	+0.5
+ W	+1.0
- D	-1.0
- S	-0.5
- W	-0.5

四、流程圖——初步鑑定T碼之過程



(二) BF (Band Features: 圍繞在中心雲區周圍 (不超出中心以外 4°) 之雲帶特徵，BF值主

要以雲帶遮蔽區域之大小定之。)

BF=0: 幾無旋入中心之雲帶，或有而不顯。

BF=1: 1/2° 寬雲帶圍繞中心四周二匝；或1°以上寬之雲帶圍繞中心半圈以上。

BF=2: 1/2° 寬雲帶圍繞中心四周二匝，或1°以上寬之雲帶圍繞中心一匝。介於上述標準之間者，得用BF0.5或BF1.5表示之。(參閱第六節(一)，圖二)

(三) $T = CF + BF$ → 根據本次雲圖資料直接判定之T碼初步鑑定值。

五、變化之徵狀

如第二節之(一)及(四)所述，變化有兩種：一為過去變化，一為未來變化 (趨勢)，如有其徵狀或徵兆可資判定其變化之方向及大小。茲在本節內進一步作更具體之描述如下。

(一)過去變化——

指上次圖迄本次圖時間內已發生之變化，用字母D、W或S表之，其適用情形分別敘述於次。

1.適用D之情形：

又可分為三方面從事判斷之。

(1)風暴中心 (或風眼) 雲系。

①中心雲系變成更清晰，更渾圓，或周圍之雲帶圍繞更緊時。

②靠近中心雲系之密雲區更顯濃密。易言之，中心雲系似有陷身重圍之感。

(2)中心雲系上空另有濃密雲區掩蔽時。

①中央濃密雲區 (CDO) 之形狀已由不規則而略呈圓形，或由略呈圓形變成渾圓形。

②CDO 面積擴張，但其前提條件為形狀須保持不變。

(3)雲帶出現時。

①中心雲系周圍之雲帶變多或變寬。

②雲帶圍繞中心之形狀更似同心圓。

2.適用W之情形：

正好與上述情形相反時用W碼。

3.適用S之情形：

前後兩圖上之雲貌並無顯著變化，或雖有變化而增強、減弱之徵狀互見時用S碼。

(二)未來變化——

指本次雲圖上所呈顯之當前變化徵兆，可用PLUS或MINUS 兩者之一編入模式中央。如無徵兆則不編。

1.未來趨勢將增強 (PLUS) 之徵兆可分四方面判斷之，即代表(1)低空內流，(2)高空外流，(3)垂直運動之雲貌以及(4)綜合性之整體雲貌。

(1)低空內流：

所謂「對流性侵入雲帶」(見第六節之(四))乃

旋向中心之雲帶，可以代表內流之強烈與否。凡雲帶既白且厚，顯見其屬積性雲為主，雲帶邊緣具戛然而止之姿態，旋入中心之角度又甚大時，乃表示內流強烈之徵兆；亦即低空輻合，系統中心之水汽 (能量) 來源不虞匱乏之跡象。

(2)高空外流：

颱風頂部氣流屬輻散而外流，該高度之卷雲亦應作輻散狀。卷雲雲貌雖朦朧難辨，然細察之仍可見其反氣旋式之外旋雲帶。當三個象限以上均有此種外流現象時，表示外流程度強烈。

(3)垂直運動：

應可由CDO代表其強烈程度，其徵兆與(1)所述略同，白亮厚實，至少有一個象限之邊緣削然如切，此乃上升氣流劇烈之跡象。

(4)整體雲貌：

以整個系統之型態言，大都呈雲逗狀而非渾圓形。對流性密雲區大部均集中於靠赤道一邊或東邊。

2.未來趨勢將減弱之徵兆同樣可分為四方面判斷之，分述如下。

(1)低空內流：

對流性侵入雲帶不明顯或在中心雲系四周平行圍繞，皆表示無劇烈對流性雲存在。所謂不明顯乃指雖有雲帶而其亮度灰黯、雲層不厚、邊緣模糊之謂。所謂平行圍繞乃指雲帶未向中心切入之謂。

(2)高空外流：

卷雲亮度灰黯且乏反氣旋式曲率。或者卷雲之型態一邊截然，一邊朦朧，表示其係向一個方向吹出時，亦為減弱之象徵。蓋此乃說明颱風上空有強烈氣流貫穿整個系統之情形，自不利於繼續發展。

(3)垂直運動：

中央密雲區之頂部並無濃密卷雲之存在 (不够白亮)。中心附近在上次雲圖中尚有厚實雲蔽而本次則呈裂隙或作粒狀雲 (發展不盛之積雲場) 時均示減弱之兆。

(4)整體雲貌：

整個系統之型態呈圓形而缺乏積性雲之成份。(T碼達 4.5及以上，颱風發展達顯狀狀態時，本

項特別有助。)

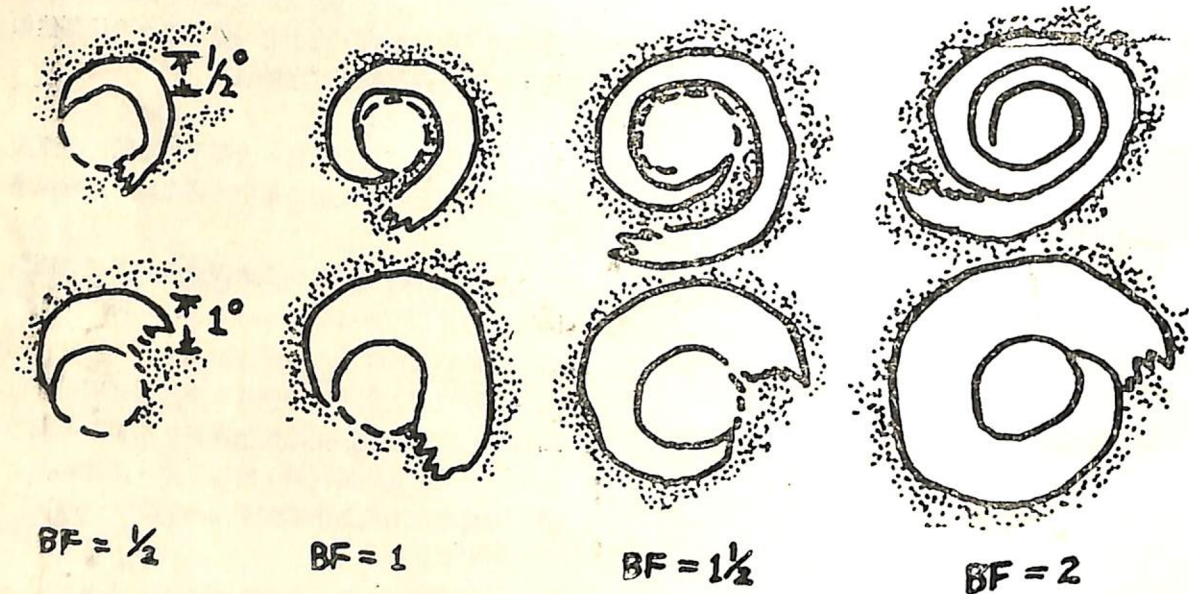
此外尚有下列五點，雖已包含在上述四項原則以內，然不加細察，每可忽略其減弱之趨勢。故再加以補充說明。

(1)發展中之颱風已接近巔峯強度時（一般而言，T2後約四天應達巔峯狀態），應注意上述(4)之缺乏大量積性雲之性質是否出現俾決定此颱風是否已屆盛極而衰之階段，而編入MINUS。

(2)颱風進入強烈高空風區域內時，上述(2)之卷雲雲貌亦易被忽略。此時雲圖上所顯示之整個雲系似有一頭被堵住之感覺，並有朝下風方向拉長之外貌。

(3)颱風直趨北行時，表示即將轉向。是時亦宜詳察有無減弱之跡象。

(4)颱風進入大片層積雲區域，而層性雲狀竟與風暴系統內之對流性雲底鄰而居時，亦屬減弱之兆。



圖二、準圓形雲帶之型態及其BF值
Fig 2. The quasi-circular bands and their BF values

凡雲帶已併入系統中心無法析離者，距中心不足半個緯度或超出四個緯度者，即不再視為「雲帶特徵」分析。又雖具準圓形雲帶型態而BF值不足0.5者視同BF=0。

(二)中央濃密雲區 (Central dense overcast, CDO)

雲圖上看來濃密厚實之大片雲區，位居雲帶旋入之焦點或風眼之四圍。若風暴雖已形成一系統，而系統中心所在並無濃厚之密雲區出現時，即不

(5)颱風即將登陸（小島不算）時，必然減弱。此乃衆所週知之事實，自可編入MINUS電碼。

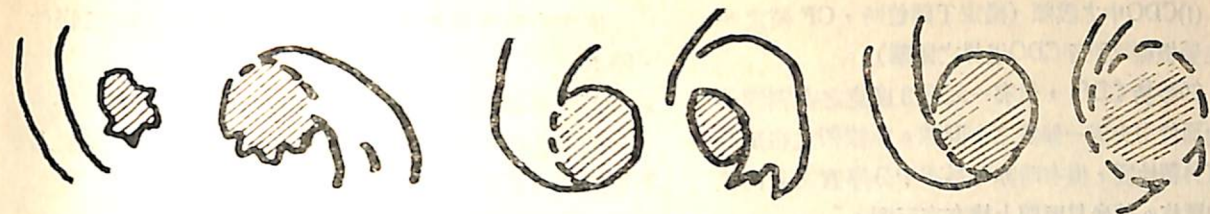
六、有關術語之定義及詮釋

上文已提及之衛星氣象有關術語中屬於一般性常用者，例如雲帶、雲逗、粒狀雲等請參閱拙著「衛星氣象學」[5]；其他專門為本文目的而使用之術語計十二條雖均已在前文中出現，其詳細、具體之內容則綜合置於本節一一詳予詮釋，俾據以利用衛星雲圖分析及預報颱風之強度變化。

(一)準圓形雲帶 (Quasi-circular bands)

圍繞風暴中心大致呈環狀之雲帶，其寬度不等。作為「雲帶特徵」(Banding Features)用於鑑定T碼數值時，可根據其寬度（以緯度單位計值）賦予自0.5至2之BF值。

圖二可供參考，並對照第四節(二)之說明決定T碼中BF部份之值。



圖三、隨颱風發展而CDO之形狀趨向更圓

Fig 3. The central dense overcast (CDO) shape showing different stages of development.

強度，其詳情已列於第四節之CF流程圖中，請參閱。最具關鍵性之大小有二：直徑1.5°之不規則形狀(CF3)及直徑大於2°之渾圓形狀(CF5)。

3.CDO之邊緣：

增強中之CDO大都邊界清晰，至少有一個象限不但清晰而且削然若切。其餘之邊界則可沿楔狀之無（或極少）雲區順曲度描出（參照圖三中虛線部份）。

颱風增強時，邊界通常由襤褸、不規則變為明確而圓滑。開始減弱時，則邊界又變成模糊不清。

4. CDO之紋理：

發展初期之CDO可能在雲圖上顯示較崎不平之紋理(texture)。然當風眼形成後，則CDO雲區之崎嶇雲貌即不復見，蓋其上已有卷雲覆蔽，紋理隨呈平坦之貌，而是時CDO之界定亦應以此平滑卷雲之範圍為準。

(三)雲系

廣義之雲系指任何天氣系統相關連，具有特定型態之雲貌。而颱風雲系則指在同一雲旋(vortex)內之所有雲貌，通常與其他雲系隔離而自成一系統。

若稱「雲系中心」，有風眼時即指風眼，否則指雲旋之中心。

同一系統中可見兩個中心時，以較低雲帶旋入之焦點為準。實難分辨時，以偏西者為中心。

(四)發展中各種型態

參閱圖五及其說明。

(五)對流性饋入雲帶(convective feeder bands)

切入雲系中心之雲帶，其主要部份由對流性發狀雲(Cb)所構成，可參閱圖三最右一幀圖中之雲帶姿態。凡有此種雲帶時表示未來增強趨勢，須編入PLUS字樣，但不必改動已經妥之T碼值。

(六)當時強度 (current intensity)

表一為當時強度(C.I.)數碼與中心最大風速(MWS)，中心最低海面氣壓(MSLP)值之對照表。此表大部份由過去北太平洋颱風資料整理而得。大西洋之颶風中心氣壓平均較太平洋者高出6毫巴，因與臺灣地區無關故未予列入該表。

當時強度 (C.I. 數碼)	最大風速 (哩/時) (MWS)	最低氣壓(毫巴) (北太平洋適用) (MSLP)
1.5	25	1004
2	30	1001
2.5	35	997
3	40	992
3.5	50	987
4	60	982
4.5	72	973
5	85	964
5.5	97	954
6	110	942
6.5	122	928
7	135	914
7.5	150	900
8	170	885

註：C.I.=1時，MWS視風暴類型而不同。

表一、C.I., MWS, MSLP對照表

若在颱風區域繪製等風速線，則上表所列之最大風速等值線與準圓形雲帶，CDO及風眼有相當之關係。就一般正常之颱風言，40哩之等風速線可將以上所有三種颱風特徵勾於其內，而30哩之等風速線又可將饋入雲帶勾入其範圍之內。

(七)颱風眼 (eye)

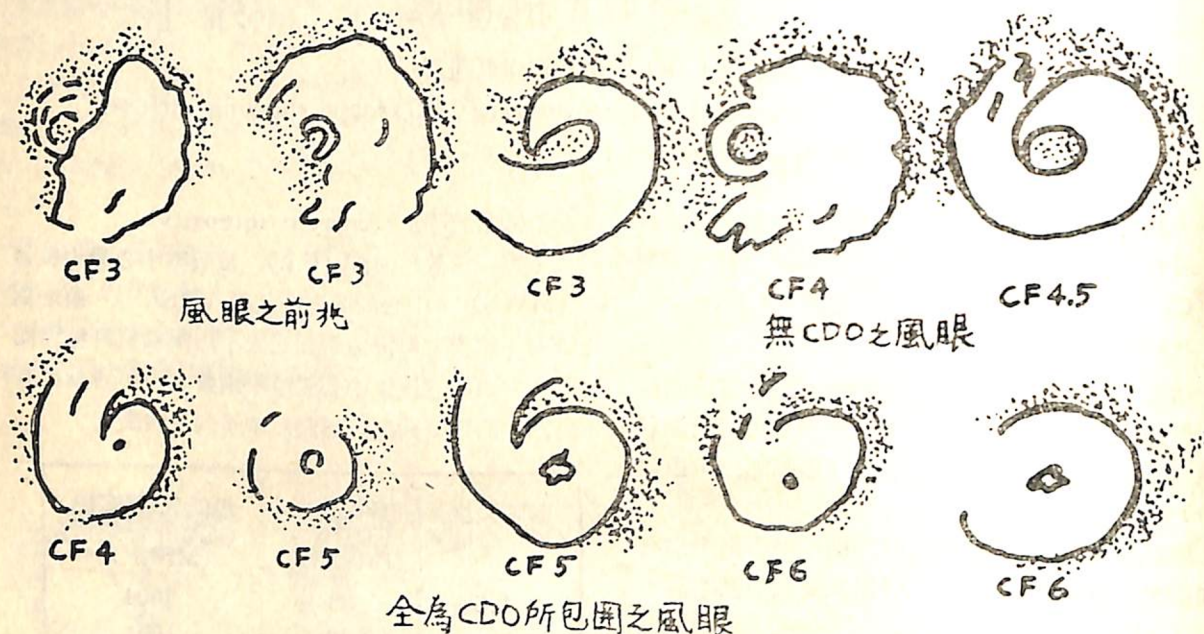
1.衛星雲圖上風眼之定義有兩種情形：

(1)CDO中之雲隙(鑑定T碼值時,CF值之決定主要根據風眼至CDO邊界之距離)。

(2)雖無CDO,但有一超過3度寬之密雲雲帶捲曲而使中央成一無雲之小圓隙。該雲帶之組成分子可為積性雲,但有時亦可為不十分厚實之灰白色級中雲族。請參見圖四上排右方三圖。

依本方法之觀點言,風眼亦須符合下列二條件,即:

- (1)風眼必須在所有雲帶之輻輳點上。
- (2)若廿四小時前颱風不足T2,則本次雲圖上不可能產生正式之風眼。



圖四、風眼之不同型式及其CF值

Fig 4. Imbedded-eye types and their code values

2. 巨大風眼 (large eyes) :

風眼直徑超過 $\frac{3}{4}$ 度時稱為巨大風眼,其T碼之鑑定標準如下,

- (1)眼之周界模糊不明確, T碼最高可定為5。
- (2)眼之周界明確圓整, T碼最高可定為6。

3. 風眼至CDO邊界之距離:

第四節之流程圖內CF值之決定與此關係甚大。巨大風眼以內壁循最短距離量至CDO邊界,小風眼(不足 $\frac{1}{4}$ 度者)則自中心量起。

(A)雲帶聚合點 (focal point of banding)

兩條以上之雲帶聚合之點(或區域)稱之。其聚合之方式不一,或輻輳,或作螺旋狀旋入,或鉤入,或圍繞於該點均可稱之。若實際並未聚合至一起,則依雲帶曲率中心定之。

(B)「種眼」發展——颱風之前身 (Seedling development)

雲貌已表現有內流(對流性彎曲雲帶)、外流(反氣旋式曲率之卷雲),上升氣流(CDO)之跡象時,已有可能成為颱風,故稱之為「種眼」,

猶言植物之種子也。以上三種跡象聯合出現時,或其中之一特別明顯時,皆可判定其已屬「種眼」而編碼為T2。

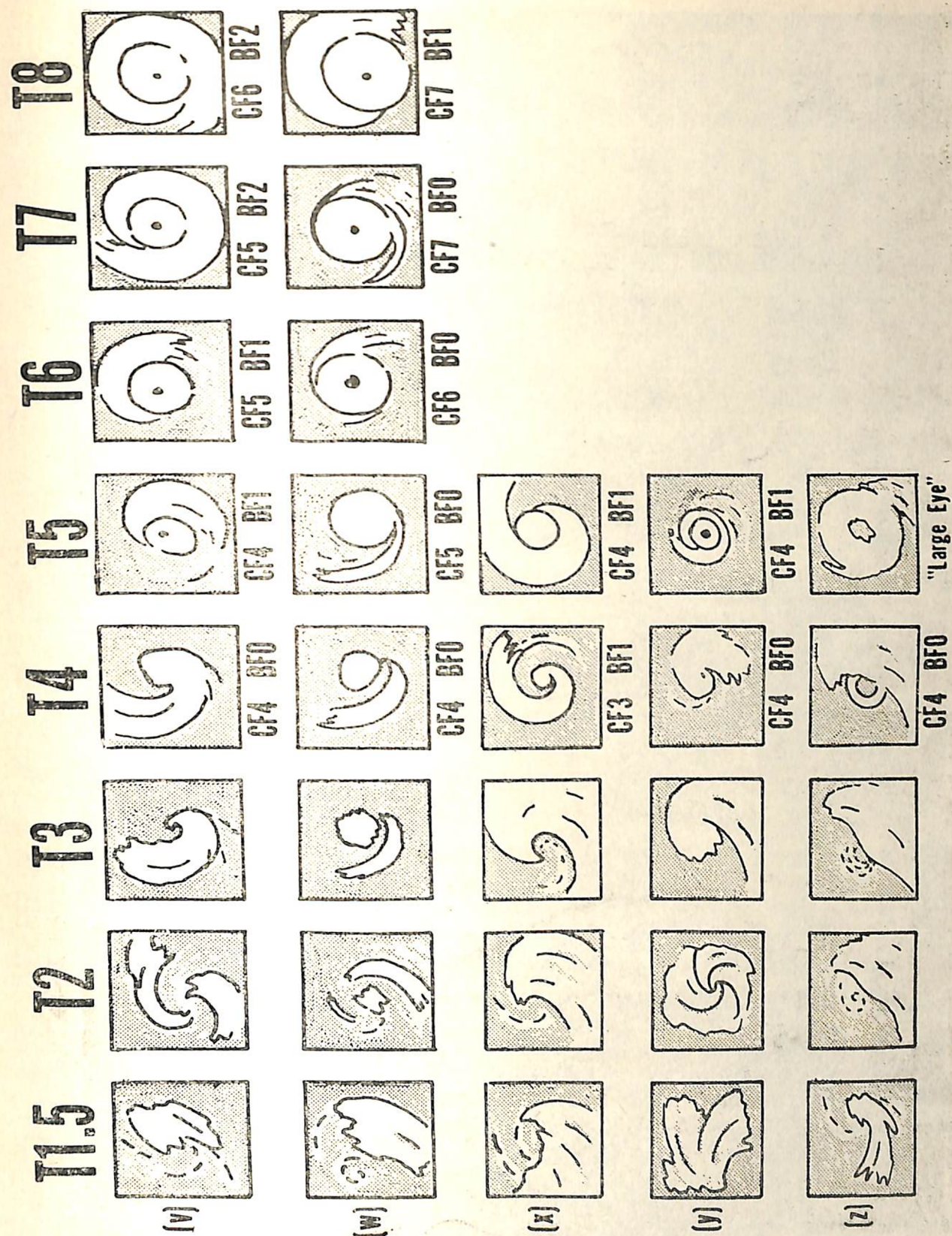
若在颱風季節內發現雲貌有擾動現象而又不够上述標準時,可考慮編T1或T1.5。

下列三種情形下,種眼之發展一般均甚緩慢,亦即1.緯度已高, 2.南有陸塊, 3.颱風季尚未開始之情形。遇此情形,除非上述跡象十分明確,不應率爾編為T2。

又當種眼發展階段,強度未臻穩定,常有忽強忽弱之現象發生。故對T1.5, T2之熱帶擾動言,除非過去變化,未來變化一致確認其在減弱時,不必急於採用W碼,而以編為S碼較為妥當。

(H)「超眼」之指標 (Superstorm)

已編為T5、T6之大型颱風,若其CDO繼續擴張範圍,或其雲帶繼續盤繞,則廿四小時後可能變成T7、T8級之「超眼」。堪作超眼之明確指標有下述三者,不論三者之一或全部出現時均足引為已達超眼之標準。



圖五、各T碼值應具之雲貌結構示意圖



圖六、相當於T碼各值之實際雲圖示例



圖七、太平洋颱風發展實例三則

1. 滾圓之 CDO 中具明確、圓整之風眼，上覆紋理細緻，外貌平坦之雲盾，如華蓋然。

2. 巨大風眼中另有風眼，較小之風眼係低空之「雲牆」，主要之高大雲牆則構成外圍之風眼。

3. 風眼非常明確，而其內則有拉長而斷續之螺旋形雲牆。但其前提為該颱風必須已達 T5、T6 等級在先者。

(四) 急旋雲帶 (tight curvature)

雲帶之曲率半徑不足 $\frac{1}{2}$ 度緯度者稱之。此時可編 T3，但附帶條件為該雲帶必須連接一直徑超過 3 度之密雲區。然密雲區外繞有準圓形雲帶時又可不必考慮此 3 度之條件。

(五) T 碼 (T T-number)

T 碼係利用衛星雲圖上雲貌之不同特性作為熱帶氣旋發展（或減弱）過程予以分等級之一種方法。T 碼之範圍自 T1 至 T8 不等（並可用 0.5 之級差）。該 T 碼等級之鑑定有一套相當客觀之程序可資遵循，已在第二節之（一）及（二）內敘述，並在第四節內用流程圖表示其鑑定程序。

T 碼編定之着眼既在發展，故並不一定與當時強度（C.I.）符合。蓋雲貌特性縱屬相同，其最大風速（強度）並不見得一致，須視其究在增強抑在減弱中而定，此可參閱第二節之（三）。

為輔文字敘述之不足，茲以圖五、圖六及圖七附刊於本文之末，俾予讀者具體真實之印象。讀者

並可依此範例而判定 T 碼數值，進一步作颱風強度變化之預報。圖五為自「種颱」至「超颱」發展過程中系統中心（雲系）在各不同強度上（T 碼）所表現之雲型結構示意圖。圖六則為衛星雲圖上所見之實例，表示各 T 碼值之典型雲貌，然前後相連之各幀圖片並不一定屬於一個颱風之發展過程。故另以圖七將有連續性之發展範例三則刊出，以供參考。該三颱風當時均曾威脅本省，肇致風災而受密切注意，分別為五八年九月之艾爾西、六一年八月之貝蒂及五七年十月之葛樂禮。

參考文獻

1. Anderson et. al., 1969, "Applications of Meteorological Satellite data in Analysis and Forecasting," USAF TR-212
2. 空軍氣象中心，1969 「氣象衛星雲圖之分析應用——颱風」 p.12
3. 王時鼎，1971 「利用衛星雲圖決定颱風運動與強度」，氣象預報與分析 No.48, pp. 5-21
4. Dvorak, V.F., 1973, "A Technique for the Analysis and Forecasting of Tropical Cyclone Intensities from Satellite Pictures," NOAA TM NESS 45
5. 陳毓雷，1973，「衛星氣象學」空訓部，第三章。