

國防科學—

太平洋中雙颱風交互運動實例研究

劉大年
王時鼎

A Study on the Interaction of the Typhoon Pair in the Pacific Ocean

一、前言：

1921年、藤原氏 (Sakuhei Fujiwara) 任東京中央氣象台台長期間，因注意到太平洋中，兩颱風接近時有交互運動傾向，而創立了著名之「雙氣旋式渦旋有作彼此反鐘向旋轉」效應、即所謂「藤原效應」 (The Fujiwara Effect)。由於此項古典假設具有實際應用之觀念，故歷來氣象人員均甚注意。其後、哈爾威斯 (Haurwitz)，里爾 (Riehl) 氏等著名氣象學家，並曾就此作過研究。但據1955年美空軍氣象勤務部出版之「實用熱帶氣象學」 (AWSM 105—48 The Practical Aspect of Tropical Meteorology) 一書中敘述，該項效應仍僅能作「定性上」之說明，迄今尚無人作「定量上」之應用。1964年8月間，太平洋上兩颱風凱西 (Kathy)，梅瑞 (Marie) 運動，曾給予此項假設考驗性之最佳例證。由於該兩颱風系之相互運動發生於台灣東方海面，必須對其是否影響台灣立即作出預報。當時、吾儕均參予實際預報作業，並曾就該項效應作一分析應用，結果甚見準確。並發現此項效應在作「定量上」之應用，有其可能。事後並將該兩颱風有規律之旋轉現象暨其研究心得，在空軍總司令部會報中提出專題報告。使此氣象現象之實際物理意義，獲得普遍認識。惟當時並未撰成專文發表。嗣見美海軍暨空軍聯合出版之「1964年颱風報告」 (Annual Typhoon Report 1964) 及美氣象學會出版之天氣雜誌 (Weatherwise)，亦均曾為文介紹，惟未見進一步之發揮。去年 (1965) 太平洋中亦曾出現兩次類似之例證。咸認此項效應之進一步分析有其價值。爰將該次分析結果，暨近年來類似相互旋轉之例，加以整理，草成本文。討論重點係在如何使雙颱風交互運動之所謂「藤原效應」作「定量上」之應用，藉供同業等實際預報作業時之參考。

二、藤原效應之分析

藤原定則的進一步應用，逕可視為對下述三項問題之解決，即：

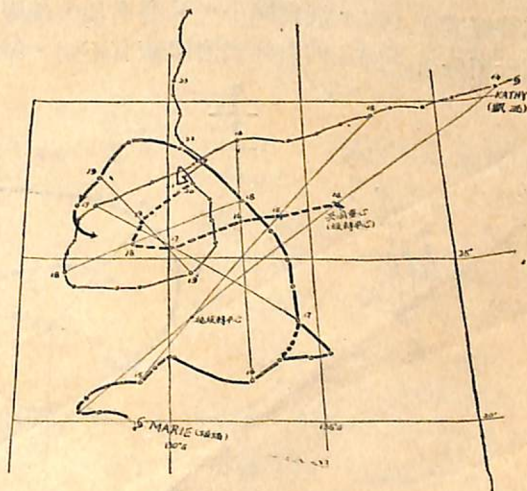
- 一、移動量。
- 二、轉動量。
- 三、吸引量。

任何雙颱風系 (Typhoon Pair) 相互運動，均可視為此三運動量之綜合。故如能對此三量在「數值上」作出決定，藤原定則之實際應用及此項運動之預報問題，即可望解決。

由於本次梅瑞，凱西兩颱風期間，無論船舶報告及飛機偵測報告等均甚充實，而使此雙颱風之動態能有詳盡之紀錄。更有進者，本次雙颱風之相互旋轉及併合現象均極標準。而使此項分析工作成為可能，並具意義。以下則為就本次梅瑞，凱西兩颱風運動期間對上述三量之分析：

(一) 移動量之決定：

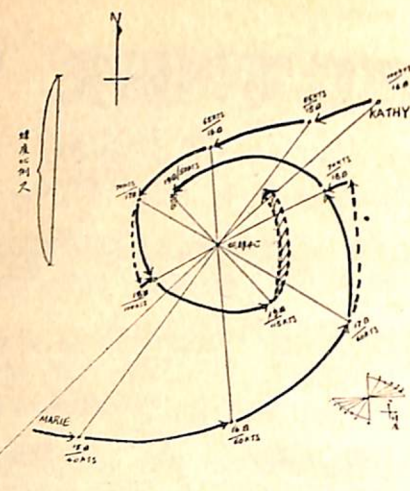
此處之所謂移動量，係指此雙颱風系相互旋轉期間其共同重心 (或稱此雙颱風系之質量中心，該點位置即為旋轉中心所在) 之位移。此可藉共同重心逐日位置變化以決定之。是以其關鍵係在「共同重心」位置之獲得 (其求法詳見後述)。而該共同重心之移動假定係受導引氣流之影響 (一般言之，如導引氣流之相對渦旋率不等於零，則導引氣流除造成兩颱風之共同重心之運動外，將同時導使兩颱風繞共同重心作相對運動。) 圖一中雙颱風運動圖上之斷線即為本次颱風系之實際移動量。



圖一：1964年8月14—23日凱西，梅瑞兩颱風路徑圖，圖中虛線為共同重心連線此代表雙颱風系之移動。

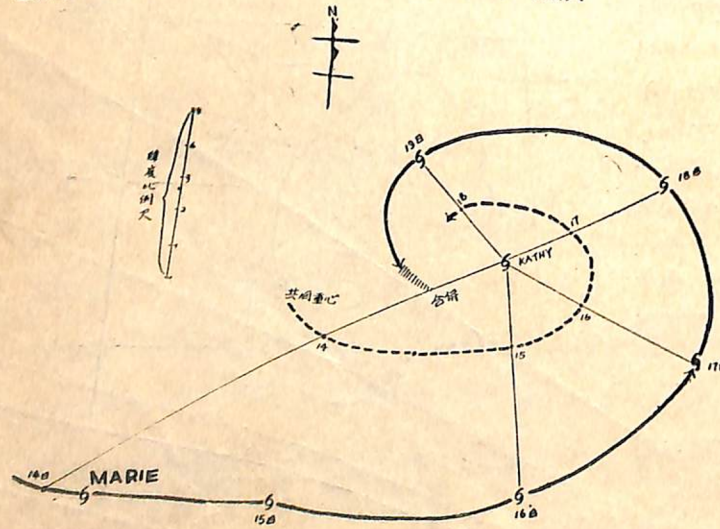
(二) 轉動量之決定：

(1) 轉動量 (相對共同重心而言) 圖二a所示即為



圖二a：1964年凱西，梅瑞兩颱風旋轉圖（附圖為1945年Riehl分析之例）

本次雙颱風系之逐日旋轉圖。其製作方法，係假定共同重心位置不動，而後將兩颱風之逐日相對位置以線相聯繪入而得。因如此則可將移動效應消除。所顯示者即為颱風彼此繞共同重心（此時即為軸心或稱旋轉中心）旋轉之轉動效應，亦即藤原效應。由該圖可見兩颱風係極為標準地彼此繞軸心作反鐘向轉動。在轉動期間中，角速度增加，旋轉半徑則減小。最後終於併合為一。上述兩項現象亦同樣見於里爾（Riehl）氏所分析之1945年8月太平洋雙颱風系之例中。惟一不同者，該次線速度增加，而本次為幾近不變。按理、兩颱風彼此旋轉並相互接近，因 $rV = \text{常數}$ （角動量不減， r 為旋轉半徑， V 為線速度），現 r 既為減小， V 應增加，而應如里爾氏所分析之例。何以此次情形顯有不同，關於

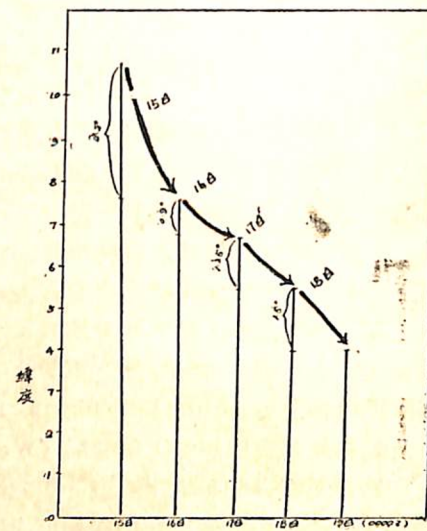


二圖b：凱西與梅瑞兩颱風相對旋轉圖

此，以下當再討論之。

(2)相對轉動量——圖二b為該兩颱風之相對旋轉速率圖。其製法係假定主颱風凱西不動，而後將梅瑞颱風之逐日相對距離及位置按原方向填入而成。藉本圖或圖二a與圖一比較，均可作對移動與轉動效應大小之「定量」決定。本例顯見此兩颱風路徑所受轉動之影響遠大過移動之影響（大略言，14—17日，每日約大逾一倍，17—18日為二倍，18—19日為四倍，均以各該日0000Z資料為依據）。是故吾人在無需借助進一步分析方法之前，在其原始颱風路徑圖中，即可顯見其相互之旋轉現象。另一項極饒興趣之事實為圖二b中，無論相對轉動路徑及相對凱西颱風中心之逐日共同重心連線等均與阿基米得螺旋線之型式（Spiral of Archimedes）甚為一致。此項事實之發現，對藤原效應「定量」應用上，有甚大助益。

(3)吸引量之決定：



圖三：凱西梅瑞兩颱風旋轉期間逐日距離變化

圖三為本次雙颱風逐日吸引量之分析。該圖資料包括兩颱風開始吸引發生旋轉作用起，至兩者合併為止。由圖可見，除8月15—16日，兩者趨近速率較大外，其餘諸日均略相若。每日吸引量約在1—1.5個緯度之間。本次兩颱風開始相互旋轉係自14日相距約1000海里起，迄至19日彼此相距180海里時併合（

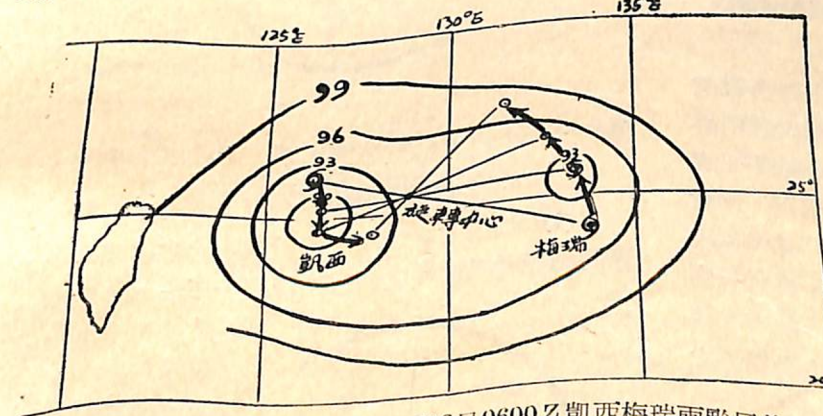
係根據兩颱風中心位置觀測報告及天氣圖分析得出）。此為事後分析，實際在作事前預測時，仍未獲解決。過去我們曾就此一問題作一統計研究，惟未獲結論。

三、雙颱風運動在應用定則上之討論

(一)共同重心（旋轉中心）位置之決定：

此為藤原定則作實際應用上之中心問題。過去認為此項定則僅可作定性之說明，而難作定量應用者，主要即因共同重心位置難作準確決定之故。重心位置如不能定出，則有關雙颱風運動中之移動量，轉動量等均無法決定。過去里爾氏所作分析之例證，係兩颱風大小相若，彼遂認定旋轉中心（共同重心）係在兩者間連線之中點，故未發生「重心」位置之決定問題。而此處之討論，期望對此一方面有所闡揚；並在此處附帶一述本次凱西，梅瑞兩颱風系共同重心之決定方法：

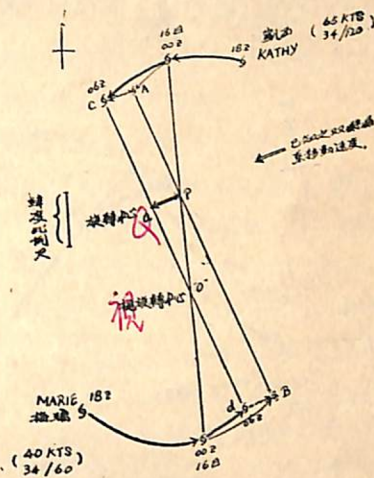
(1)無導引氣流時（亦即雙颱風系無移動分力時）在此情形下，共同重心位置應不隨時間變化。故兩不同時間颱風中心連線之交點應即為共同重心。綜觀本次凱西，梅瑞兩颱風相互旋轉期間，該兩颱風系之位移分力均少於轉動分力，特以8月17日1200Z至18日0600Z，導引氣流改變期內（自西南南向轉東北向參看圖一），該颱風系幾無移動分力可言。核驗該一期間重心位置，幾如此處假定所述，均無變化（參看圖四）。證以該時間內颱風之強度



圖四：1965年8月17日1200Z至18日0600Z凱西梅瑞兩颱風旋轉圖（本例中旋轉中心位置不動）

與範圍，亦均甚相合（即重心位置偏於強度與範圍均較大之颱風一邊）。深值注意者，此處對此問題之處理，係視颱風如固體然，即使如此粗略之假定（實際颱風係非固體，對其處理遠為複雜），其所得結果已甚滿意。

(2)有導引氣流時（亦即雙颱風系有移動分力時）——此與上述無導引氣流時最大不同點為「視旋轉中心」（Apparent Rotation Center）之出現（本名詞蒙彭立博士代為想出）。該視旋轉中心即為有導引氣流情形下，天氣圖上兩不同時間颱風中心連線之交點，乃係由於颱風系之位移效應所造成。如無颱風系之位移效應加入，則真正旋轉中心可極為便捷地藉上述(1)中之間接方法求得（因如藉公式 $M_1R_1 = M_2R_2$ 直接求之，勢將增加困難）。故如何在有導引氣流下求「旋轉中心」為藤原定則在作實際應用上之主要關鍵，下述為我們所發展之方法：



圖五：已知颱風系之移動速度求旋轉中心（共同重心）之方法（引自1964年8月16日凱西，梅瑞雙颱風系旋轉之例中）

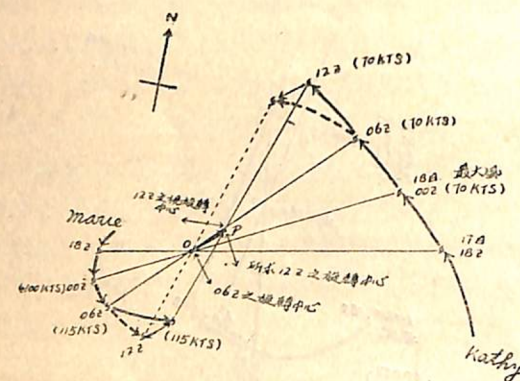
(a)已知颱風系位速度時：

此可如圖五所示將移速自轉速中藉向量法減去以求出之。該圖五係自圖一內凱西，梅瑞兩颱風運動圖中引出。圖中右側附有箭頭之實線為雙颱風系六小時之移動速度（8月16日00—06Z），00Z，06Z六小時間隔之颱風中心位置各如圖示，其連線交點“O”即為06Z之「視旋轉中心」。今將06Z颱風中心C，D處繪入與移速大小相等方向相反之線段得出二點A，B聯AB交00Z兩颱風連線於“P”。“P”即為無導引氣流（無移速）下，06Z時「旋轉中心」應有之位置。再自點P作平行於AC或DB應之線段，交06Z兩颱風

連線CD於Q。Q點即為所求實際06Z時「旋轉中心」，亦即「共同重心」之位置。PQ即為過去六小時颱風系之移動速度。

(b) 已知颱風系之移速暨原旋轉中心（共同重心）所在，則可獲得任何時間之旋轉中心位置。其法以原旋轉中心為原點，將颱風系之移速向量輸入即可。

(c) 旋轉半徑之比例法：舉例，原旋轉半徑之比例為5:3，如其他條件不變，則移至新位置時，二者距離容有變化，但旋轉半徑之比應為不變。圖六中所得18日12Z時間，凱西、梅瑞兩颱風之旋轉中心位置，則以本法求得（見圖中P點，該一時間颱風系原移向西南西之後停留，而後以每時約7哩速度轉向東北，見圖中“OP”矢線）。



圖六：藉半徑比例法求旋轉中心（共同重心），本法應先知過去旋轉中心位置（引自1964年8月17—18日凱西、梅瑞雙颱風系旋轉之例中）

(d) 颱風系移動速度大小暨原旋轉中心位置或旋轉半徑比例值均屬不知時；因此時「視旋轉中心」可藉天氣圖之助立可得出。視旋轉中心雖非「旋轉中心」，但在理論上，至少時間間隔愈短，兩者位置之差值應為愈小（視中心上已述及乃係由於颱風系移動效應影響所造成，如時間愈短，移動效應亦愈小也）。故將時間之時間縮至最短，此時之視旋轉中心可視為等於旋轉中心。（原則上颱風系之轉動速度遠大於移動速度時，最屬可靠。）

(e) 共同重心位置變化之連續性：因作用於兩者重心使之移動之導引氣流係屬連續者，是以重心位置變化亦應有其連續性，特以低緯為然。此處計發展有兩種方法：

(i) 聯接過去各時間之共同重心位置，而後順延之，與最新兩颱風中心連線相交，其交點即為所求。

(ii) 藉圖二b相對旋轉圖中，相對於較大颱風位置所作之重心連線外推得出。該圖中各時間旋轉速率及旋轉半徑長短變化等，均已包括在內。

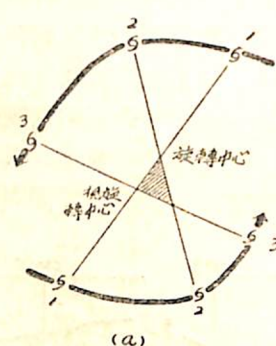
此處計發展有六類決定共同重心位置之方法。惟需注意者，以上任何方法均未考慮颱風強度與範圍（或合稱為颱風之質量）之變化在內。此亦即言，以上諸法僅在無颱風強度與範圍之變化時為準。另外並需注意導引氣流之相對渦旋率須等於零或甚小。關於當相對渦旋率不等於零時對雙颱風交互運動影響，以下再述之。

(3) 共同重心位置之突變問題——下列之兩者有任何之一種情形發生突變時，均將引起共同重心位置之突變：

(i) 導引氣流突變。

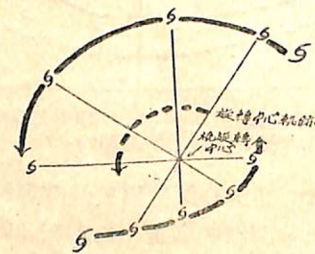
(ii) 颱風強度突變。

(4) 視旋轉中心之特性——上節已述及「視旋轉中心」之成因，並曾論及如何利用視旋轉中心以求真正旋轉中心之方法。惟某些有關視旋轉中心之特性深饒興趣並有應用價值者：



圖七：視旋轉中心特性模式圖（上述三種情形均可見凱西、梅瑞二颱風之例中）
a. 因視旋轉中心不同所構成之面積圖

(i) 如圖七a所示，由於視中心之出現，與前兩時間雙颱風連線之間每出現有一三角形，其面積大小可有助於颱風系移速大小及方向之估計。

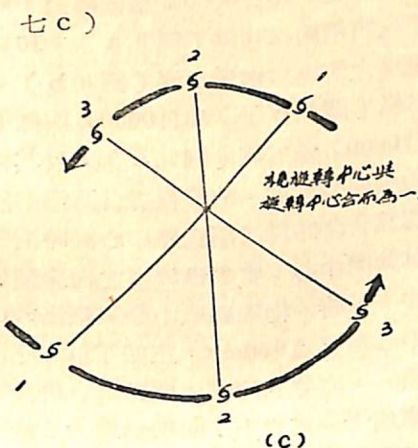


b. 視旋轉中心不動旋轉中心繞其旋轉圖

(ii) 通常視中心位置均隨時間而變化，但在特殊情形下，視中心可不隨時間變動。此即表

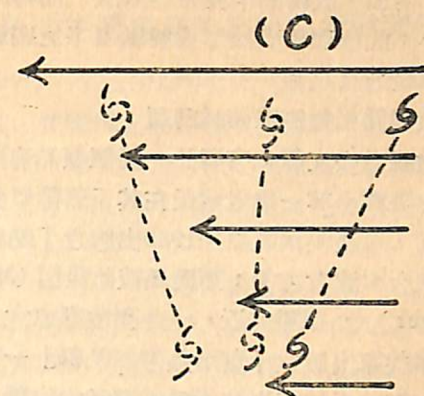
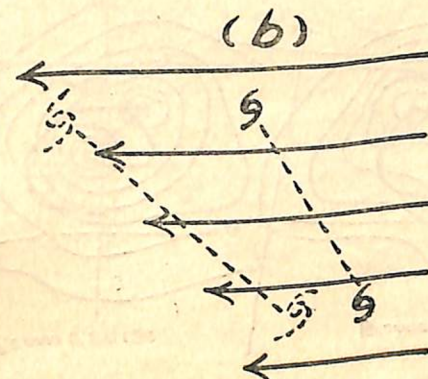
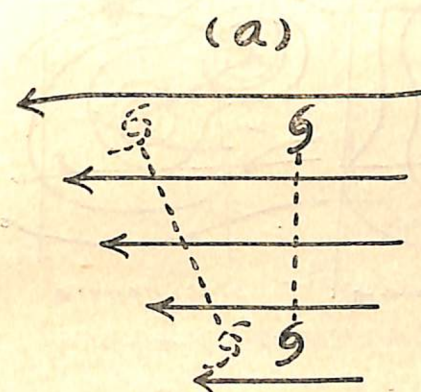
示此時颱風系「旋轉中心」繞視中心旋轉且旋轉半徑不變。故藉此項特性，可甚易定出各時間之旋轉中心，亦即共同重心位置。圖七b即示該一實例。

(iii) 颱風系無移動時，即無視旋轉中心。（圖



c. 無導引氣流時視旋轉中心合併為一

(5) 導引氣流中具有水平風切時——此為導引氣流中相對渦旋不等於零情形下之一例。在此情形下，已發生相互旋轉之兩個颱風，如作用時間充份的長，其最後結果將不併合，而將互相分離（參閱圖八a.b.c.）。a與b兩種情形為兩颱風相對距離變



圖八：具有水平風切變之導引氣流對雙渦旋交互運動之影響（最後均為分離）

隨時間而增大，（c例為先係縮短，但最後仍為分離）。是以如雙颱風系活動係在此處所述情形下時，即即可作相互分離之預測。

(二) 雙颱風旋轉與彼此間能量之變換：

本次兩颱風在旋轉期間其強度變化為：凱西颱風於8月14日開始相互旋轉時，最大風速為100Kts。但隨後最大風速減小，曾減至55Kts，而後又增強最高曾達115Kts（19日）。梅瑞颱風由熱帶低壓於開始相互旋轉之日（14—15日）晉級為颱風。最大風速最高曾增至70Kts，而後減弱，最低曾減至30Kts，及後才併入凱西颱風中。細究上述強度變化，發現一甚饒興趣問題，即在兩颱風開始旋轉之後雖強度變化甚大，但大部份時間，其兩者最大風速之和總值幾近不變，約在130—140Kts（哩/時）之間。其中又可分為三階段。在凱西者為：強→中度→強；相對地梅瑞為：弱→中度→弱。此處引起之問題，由於相互旋轉時，兩颱風中心位置之緯度變化，必將引起兩系統動量之授受，即上述強度變化情形必將存在？因此項變化可造成共同重心之位置變化，故亦將影響雙颱風系之運動。（上述兩者間之關係，先是雙颱風旋轉，引起兩者間強度之變化，而後復由強度變化影響運動，互為因果。）
(三) 兩颱風繞共同重心旋轉之速率變化：根據角動量不減定理，在旋轉中之物體（假定質量不變）當其轉動半徑縮短時，線速度（Linear Velocity）應同時增加。本次雙颱風活動期間，當其於16、17日，繞共同重心之轉動半徑縮短甚大之時，兩颱風繞共同中心之線速度反稍有減小現象。究其原因實由於當時兩颱風之強度及範圍均略增大。根據角動量不減公式 $M_1 r_1 V_1 = M_2 r_2 V_2$ （式中M為旋轉體之質量，r為轉動半徑，V為旋轉體之線速度），因當時質

量已有增加，故轉動半徑雖縮減，而轉動速率仍為減小。此種現象直接影響雙颱風之運動預報，故此處略論及之。

(四)兩颱風間相對距離縮減問題：

檢閱過去文獻，有關此一問題顯然有兩種完全不同之解釋。其一為里爾氏在其「熱帶氣象學」中所敘述，以及美國氣象局1959出版之「颶風預報」一書中所引述者，即：兩颱風彼此吸引 (Mutually Attract)，距離愈近，此項效應愈大。另一為1955年美軍出版之「實用熱帶氣象學」一書中所敘述者：氣壓系統不能被認為係帶電之物體，故無吸引現象。兩者立論完全相反。此處之討論不擬就此問題求得結論，惟就本次兩颱風系此項現象可能因素及我們觀點略作申述：

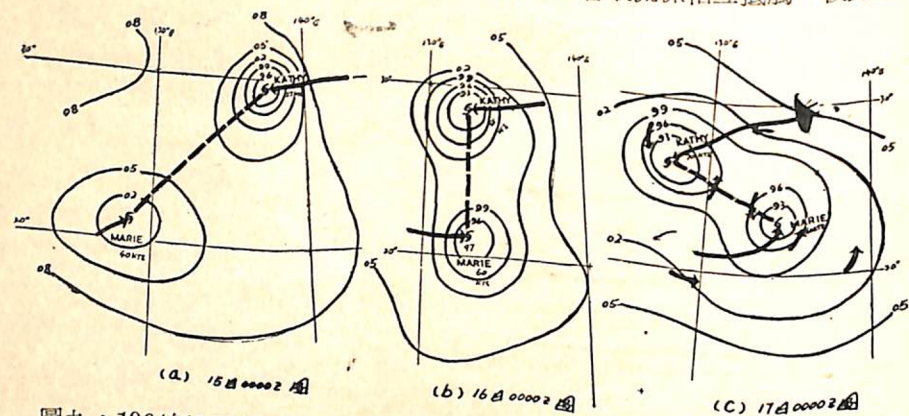
(1)相互吸引距離縮減——本次颱風系開始旋轉，除最初兩日 (14, 15日) 距離趨近速率較大外，其餘16—19日距離縮減均甚有規律。計16—17日縮減約 0.9 個緯度，17, 18日1.25個緯度，18—19日為 1.5 個緯度。按萬有引力之說，如兩物體質量不變，其相互引力能使物體作等加速度接近。印證上述16日以後颱風之彼此接近，其每日加速度幾亦可以常數視之。是則兩颱風互相吸引之說，似有可取。

(2)兩颱風系合成環流導引之結果——審視圖二 a 本次兩颱風之旋轉情形，與颱風中心不動時空氣質點之軌跡略同，即：以反氣旋式趨向中心 (而不以氣旋式互相接近，此即為最好說明)。惟應加解釋者，颱風氣流係愈近中心愈大，準此，兩颱風愈接近時，移速亦應以比例增加。但實際該數日內，其移速均略相同。此或因上述之兩颱風在最後數日強度已有變化所致。

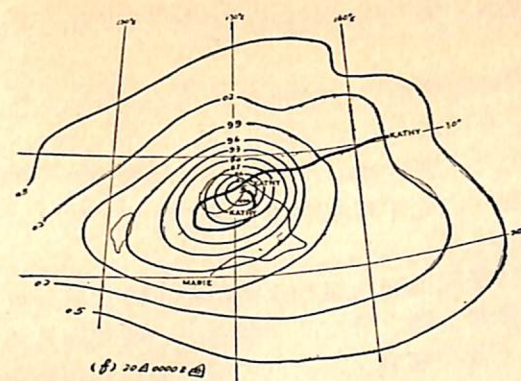
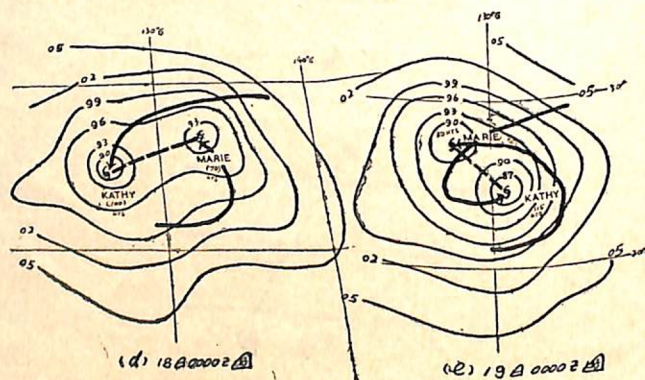
(3)合併程序：

過去論著中就所知者，均未見討論兩颱風發生相互旋轉時，其合併程序究為如何。本次以資料充實，其合併過程，明晰可見，故略作敘述。本次兩颱風於14日相距約16個緯度時，已相互吸引並相互旋轉。至19日0900 Z時，強

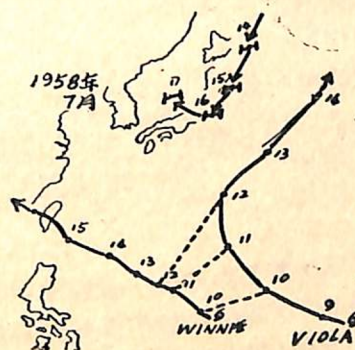
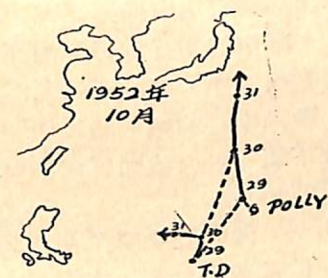
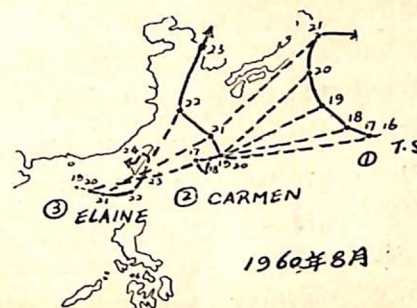
度較弱之梅瑞颱風中心消失，轉為低壓槽型式，而後漸併入凱西颱風中。至20日0000 Z時，梅瑞颱風痕跡已無徵象可尋。合併過程係循序漸進，自外圍漸至內圈，進行極為緩慢。其相互旋轉時間亦即為進行合併之時間。15日0000 Z地面圖上 1008mb 等壓線已開始將兩颱風包圍 (圖九 a)。16日0000 Z包圍二颱風之等壓線增為二條 (圖九 b)。17日0000 Z為三條 (圖九 c)。18日0000 Z四條 (圖九 d)。19日0000 Z為五條 (圖九 e)，且其相互距離已漸縮短至四個緯度。故最後合併乃為必然之事。惟當時認為合併時係兩颱風中心同時消失，而以重心為其共同中心。實際為較弱之梅瑞颱風併入凱西颱風中。當時，梅瑞颱風中心氣壓為 990mb，凱西颱風中心氣壓為 950mb，正如「以大吃小」之方式合併為一。直覺的想法，兩颱風合併後，範圍與強度均應增大。事實上，範圍為增大 (就外圍包圍等壓線言，擴展約一倍)。惟強度則反減弱 (中心氣壓由 950mb 增至 960mb；最大風速由 115kts 減至 110kts，旋又減弱為 90kts)。究其原因，乃由於兩颱風連線之間，兩者環流係相互抵觸，彼此相消



圖九：1964年8月15—20日凱西，梅瑞兩颱風交互運動圖 (間隔為24小時)



(參看圖九 c 之風向線)，致使中心強度反見減弱。而兩颱風外圍氣流未受影響，現其一中心為另一者所吸收，故範圍必將增大。

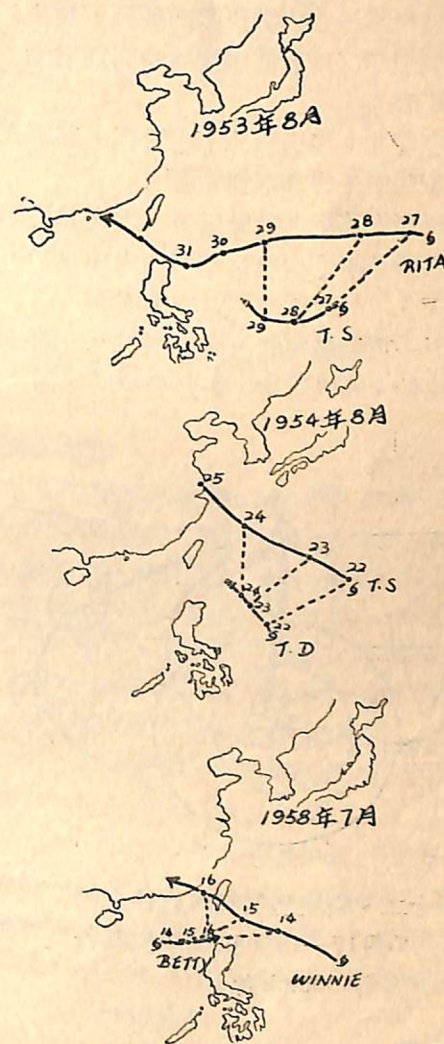


圖十、太平洋中原始為南北向移動之雙颱風交互運動之例 (此處之例最後均為分離)

四、太平洋中其他雙颱風交互運動實例

太平洋中同時出現兩颱風之實例甚多。此處係舉近年來，雙颱風之彼此發生影響者。固知兩颱風距離不遠時，均或多或少發生有藤原雙渦旋運動效應，惟若上例中凱西與梅瑞兩颱風之規則者，則鮮有出現而已。

此處所舉之例，主要分為兩類。其一為兩颱風原始移動以南北向分力較大者。另一類為東西向移動分力較大者。前者之例參看圖十。由圖可見，本類颱風當其在較低緯度時 (約在 20°N 以南) 相互



圖十一、太平洋中原始為偏東西向移動之雙颱風交互運動之例 (此處之例最後均為合併者，本文所討論之凱西，梅瑞兩颱風及1965年艾威，翠恩兩颱風情形均如此)

影響較大，但最後每為彼此脫離，甚少有合併者。特以移速較大時為尤然。圖十一為東西向移動分力較大之雙颱風系運動之例，此時如相互作用時間較長，無視兩渦旋強弱如何，最後每為併合。以上所討論之凱西，梅瑞兩颱風系及去年（1965）之艾威（Ivy），琴恩（Jean）均屬如此。此處所述至少為經驗之事實。此最後發展類多不同之原因，或由於：

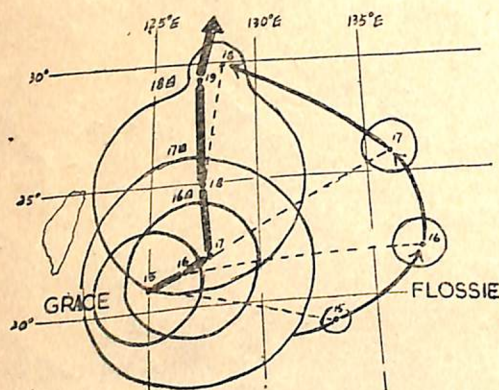
(1) 南北向移動之颱風，不若東西向移動者有穩定之信風「底流」（Basic Current）。

(2) 偏南北向之導引氣流，實際上較不均勻每有較大之水平風切（Wind Shear），故在其導引下，如雙颱風系相互影響之時間較長，最後必將如圖八模式圖所示，兩者間距離隨時間而增大，亦即彼此脫離影響。

(3) 在南北向導引氣流下之颱風，其所在緯度隨時均在變化中，當亦不無影響。

(4) 東西向移動之雙颱風系，發現其旋轉速率，每大於移動速率（信風移速平均約10哩時，或4個緯度一天），此當亦為一主要因素。

另外一項極饒興趣之例見圖十二，即一較小颱風被迫繞較大颱風旋轉，若固體情形。如月繞地球然。



圖十二、衛星型雙颱風旋轉之例（1950年7月15—19日 0000 Z 位置各日等壓線均為1000mb者）

五、總結

(一) 雙渦旋（颱風）交互運動不規則路徑之造成，乃係由於移動，轉動，及相互吸引等三種分力共

同作用之結果。此三項分力均可藉解析方法求出之。

(二) 藤原雙渦旋運動效應中，迄未能作決定之最主要之共同重心（即旋轉中心）問題，已可藉此處所發展之「視旋轉中心」概念等六類間接方法而獲得解決。因此「藤原定則」之「定量」應用，已有其可能。

(三) 雙颱風交互運動效應可藉「轉動量」及「相對轉動量」圖之分析而明顯看出。兩者均具特定之型式。此項事實，可有助於雙渦旋運動預報問題之解決。

(四) 雙颱風系相互旋轉時，必將引起兩者位置所在緯度之循環變化。因而使雙颱風間之動量彼此間發生授受。綜觀本次凱西，梅瑞雙颱風旋轉時，其強度之變化，以此說解釋，頗能滿足。

(五) 此次研判凱西，梅瑞兩颱風距離之逐日變化問題，經初步分析，藉萬有引力定理，所產生之加速度，或以兩颱風合成環流之導引，兩者均可解釋。特以後者，更可說明，何以兩者距離之縮短係同時必伴有彼此間之螺旋式相互旋轉之事實；以及藉之並可對其未來距離之縮減值，獲一明確概念。

(六) 本次所分析凱西，梅瑞兩颱風之例，就其合併程序言，發現其進行速度係極緩慢。為「漸進」而非「劇變」。其全部相互旋轉過程亦為合併過程。開始外圈等壓線相聯，而後漸延至內圈。及後強度較小之梅瑞颱風中心消滅，略呈槽形。至最後槽形等壓線亦趨不顯。併合後颱風範圍擴大幾近一倍，但中心強度則略減弱。

(七) 本次凱西，梅瑞雙颱風系相互旋轉現象與程序極有規則。但就過去之例，太平洋中兩颱風位置相距不遠時，亦均或多或少有類此現象發生。惟原始颱風移動如南北向分力較大時，最後每脫離此項旋轉影響。但如原始颱風移動呈東西者時，每有很多機會在最後階段趨於併合。其因素約有四端。其中特以在南北向導引氣流中，因其相對渦旋率每不等於零，致導使分離，實為其最主要之因素。

× × × ×

本文之成，蒙彭立博士，暨氣象中心主任蔣志才中校，副主任吳宗堯中校等疊賜寶貴意見，並為斧正。無任銘感，特此誌謝。