

龍捲型風暴之發展

The Evolution of Tornadoic Storms

學術發展組

摘要

為劇烈的地方性風暴之生命週期分類，業已建議可增添一第四期——半安定SR成熟期(The Quasi-Steady SR Mature Stage)於所熟知的 Byers-Braham 分類。一項將地面天氣與從三個鄰近的劇烈性地方性風暴的雷達回波聯合分析，顯出每一風暴皆經過一相似的，和其成熟階段開始的徹底變性階段。此一階段之特殊性質，乃歸因於上升氣流的旋轉特性，該上升氣流據研究發展知，僅當其變的十分活躍足以形成巨電時為然。

一、劇烈地方性風暴之生命週期分類

Byers 與 Braham (1949) 曾辨識出個體性雷雨細胞發展的三種階段：「積雲階段」(The Cumulus Stage)——僅有上升氣流之階段；「成熟階段」(The Mature Stage)——上升下降氣流同時存在之階段；及「消散階段」(The Dissipating Stage)——只有下降氣流之階段。如僅為非劇烈雷雨胞，此為一適當敘述；如將其適應於劇烈風暴細胞時，則有另加命名增加階段之需。

根據 Byers-Braham 分類，一孤立的非劇烈雷雨胞之成熟期，僅能在過渡於消散期前歷時 15—30 分鐘。更尋常者，一雷雨之組成是由一連串有進化發展能力的副細胞，給以蓬勃茁壯的發展孕育，使達更堅強或頑固的成熟階段之細胞程度，在該階段上升下降氣流以脈動式同時存在。然而如溫度，濕度與風場，原即有有利的垂直分佈，則一般的成熟階段，即將發展為一更佳的有組織機能的劇烈成熟階段。此為一由缺乏有意義副細胞結構的大量對流果胞所特性化的時期，且能在最後變為消散期前，以半安定狀態堅定維持數小時。在美國中西部之多數劇烈地方性風暴，在此階段顯異常的旅經風之右方的情形。因此種事實導致作者 (1964) 命名其為 SR 成熟階段 (S 代表 Severe, R 代表 Right)，此即信賴為龍捲可發生之時期 (或階段)。

表一、劇烈地方性雷雨生命週期分類表

階段1	積雲階段	僅有上升氣流
階段2	一般成熟階段	上升與下降氣流同時存在
階段3	SR 成熟階段	流同時存在
階段4	消散階段	僅有下降氣流

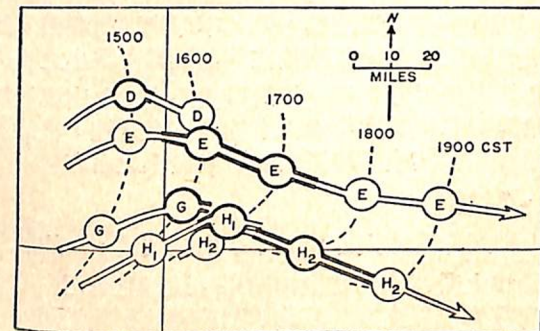
有關此種風暴進化之全分類綜合如表一，雖其階段1、2及4 在許多方面於類似於 Byers-Braham

分類表中之各階段，唯階段3 例外；此為作者敘述 (1964) 之特例，其差異性不僅與一般成熟階段有定量的不同，而在定性方面亦各異。其特性組織係由雷達透過所謂超級細胞結構 (以鉤狀回波，拱形跳躍等) 予以顯示。

此一說明之目的，乃在推陳三種雷雨細胞之研究例證，當其進化從一般成熟階段至龍捲型 SR 成熟階段，彷彿呈一特性形時。1963年5月26日所發展於 Oklahoma 的無數雷雨羣可能即被認為屬於此型。在許多其他天氣中，彼等變為當時所要瞭解研究的主題，地面天氣調查及由數種程式不同雷達，包括 WSR-57 及 FPS-6 的加強涵蓋的檢查，均極一時之盛，為更詳盡起見，讀者可參考原始的 AFC RI 報告。

二、1963年5月26日的雷雨研究特例

風暴之運行：於5月26日午後一雷雨細胞線形成於近奧克拉荷馬城低空露點不連續線之前緣。少頃，該雷雨由其合併的表面外流產生一中高之主緣，漸變為有機組織。有為數約五個此種風暴之軌跡，由圖中D至H₂有組織的顯示於圖一。所有各個風

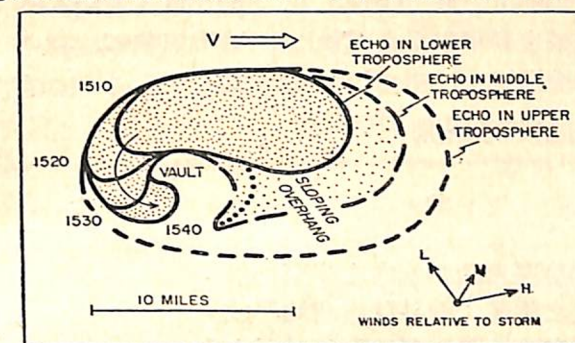


圖一：1963年5月26日風暴胞之組織及運動結構分解圖。觀測點為圖中所示交叉點 Norman 氣象雷達實驗室。成熟階段軌跡線由粗實線代表，同時之風暴位置由斷線連成。

暴在其軌跡在圖一中顯示粗線期，均以超級細胞維持着其SR成熟期。在D、G及H₁之各風暴中，由於新風暴細胞在其右側近處的強化，為爭補從南接近的溫暖低空空氣，其生命週期顯示較短。相反、風暴E及H₂却堅持一較久時間。

順轉而隨高度增強之低層南來風，在80Km高度的對流層頂變為西來風。在SR階段開始前所有在中對流層的細胞方向均旅向070°前進；在SR開始後其速度減緩方向變為110°，居對流層內垂直各層風向之右。

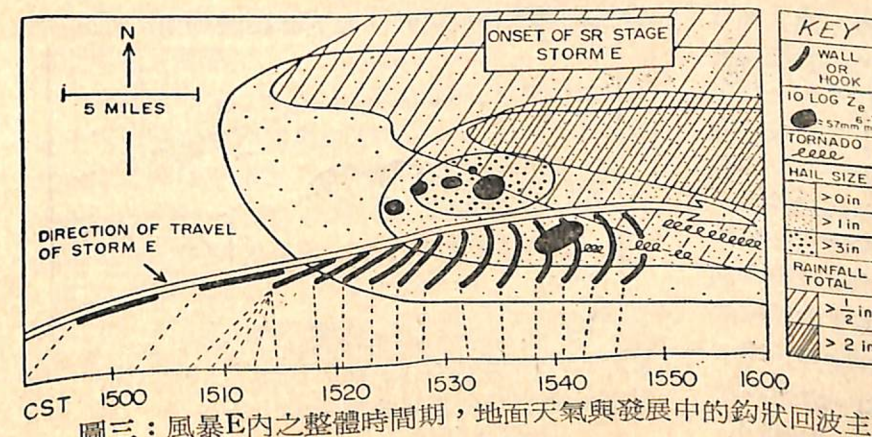
鉤形回波之發展 雷雨E及G及發展甚小之H₁被用相當好的分解法予以完成觀測。所有三雷雨中從雷雨後部所得之指狀回波由其而進化的鉤狀回波，其超級結構之特性最為明顯。其組織情形詳見圖二。



圖二：風暴E內之鉤狀回波發展結構分解圖，鉤狀之連續位置為圖中1510、1520、1530及1540cst說明。

圖中時間係主以雷雨E而言。在不足30分鐘的時間內，其指狀圈指風暴之右側，首先示一垂飾附屬物狀回波，然後即為一近似的鉤狀。垂飾物狀變為鉤狀之進化情形甚相似於龍捲型 Champaign 風暴之習性 (Fujita, 1958)，雖其不像Champaign風暴能被解得更多之詳情。

所獲之進化的鉤狀回波之三度空間結構，其情



圖三：風暴E內之整體時間期，地面天氣與發展中的鉤狀回波主緣連續位置間之關係。

形亦獲得於風暴E及G之例證中。此顯示指狀之南緣，常會形成一回波牆，該回波牆常甚光銳且偶至直立 (參見Browning與Donaldson, 1963 之圖五中的牆形)。稍後、此牆即構成一進化中的鉤狀回波前緣。

風暴E內之SR階段之開始：圖二中風暴E的發展鉤狀之連續位置之作圖，係相對該風暴本身在其階段中之旅經速度被認為係以25kt向080度進行。圖三之連續位置係相對地面，其時間係順應每一由斷線引至根據風暴速而定其相對距離的時間坐標之每一位置。

至1505 cst 其牆平行於旅行方向。從1505—1515 cst 對地面幾保持不動姿態，而和相對於運動中的風暴之垂飾狀物之向後部發展保持一致。從1515—1530牆轉形成鉤狀回波的主緣，而該鉤狀回波之最初旅行向係向080度前進，但在1600後即改變為110度。

除以形像描寫鉤狀回波之進化外，圖三亦表示地面天氣的整體分佈。顯然、當風暴進入其SR階段時，各種劇然天氣均競相極力發展。3 inches (少數甚至4 inches近球形) 直徑的含砂電，適落於鉤形形成處之北方。第一個龍捲發生於鉤形形成後不久，正如在 Champaign 中者然。但後者之此時，其電已落於有最大電區之東。此第一個龍捲及以後之其他龍捲與甚多之破壞，皆係由於發生在鉤狀回波本身路徑內之直線型強風所引起。強烈暴雨發生於最大電之稍東和稍北；其始也至為突兀，以四倍之強度，和從1/2至2 in直徑的電發生於3分鐘之短暫過程中。

約發生於1520分左右的風暴之超級細胞，被維持至1720 cst時。此期間其回波頂保持約近60,000 ft，因其在30分鐘內被雷達所測定之頂不足垂直柱寬1度，此為一可信賴之估計 (Donaldson, 1964)，且持久的保持其頂高出對流層以上20,000ft 雖此風暴於其挾25kt之強風向110度，產生破壞性風，電及暴雨的寬廣和連續幅度中，作兇猛之挺進，然其巨電仍嚴格受限於階段的開始之一瞬。(所稱「巨電」，其直徑被定義規定為2inches)。

風暴G的SR階段之開始：與風暴E有關的地面天氣資料分析，

