

季風合流區之颱風動力研究

楊憶婷

摘要

西北太平洋颱風生成常在季風槽區以及其東側的合流區，此區域颱風生成常有群聚且連續生成的特性。由觀測資料顯示，此現象和渦旋頻散以及西行波動進入合流區可能有關係。我們利用無輻散正壓非線性渦度方程探討(1)渦旋受到本身非線性 β 效應向西北方向移動，向東南方能量頻散與西行波動之間在輻合區附近交互作用關係；(2)背景場具有擾動渦度對於渦旋頻散及西行波動能量累積之間交互作用的影響，以及對於西行波動進入西太平洋季風合流區時，能量在下游輻合區累積造成的影響。

本研究發現：(1)透過2005年觀測資料顯示，颱風的連續生成現象與理論相似，和向西北行進的擾動能量頻散、西行波動能量在大尺度輻合區累積有關；(2)西行波動與渦旋能量頻散之間的交互作用有利於颱風連續生成；(3)西行波動的振幅越大、背景場具有弱輻合以及擾動渦度的強度越強或半徑越大等因子，有利於新正渦度生成並加強其強度。

一、前言

Lau and Lau (1990) 指出西北太平洋夏季綜觀氣候場是夏季季風環流南支西風風場與太平洋副熱帶高壓南支東風風場輻合之後形成一東南氣流。並且此區域具有較大的渦度均方差。他們發現此區有明顯向西北方向前進之波列，波長約2500km、週期約6天。Briegel and Frank (1997) 針對此區域颱風生成特性，發現1989年35個颱風有29個與季風環流有關，其中有17個颱風生成於季風槽東側邊緣的合流區內。Ritchie and Holland (1999) 分析1984~1992年的颱風生成環境條件，發現在東西風交界輻合區和季風風切處具有較高比例的颱風生成。

正壓羅士比波能量方程可以寫成：

$$\frac{\partial E}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(C_g E) + E \frac{d\bar{u}}{dx} \frac{k^2 - l^2}{k^2 + l^2} \quad (1)$$

Holland (1995) 指出渦旋向西北前進，向東南方的能量頻散透過非絕熱作用得以連續生成颱風，並且波動向西的群速在接近季風合流區時將會減慢，能量得以在季風槽東側累積進而旋生（透過 (1) 式右側第一項）。但 Kuo et al. (2001) 則修正了 Holland (1995) 的線性理論，他們指出線性動力會因為 Reynold stress 將能量轉至平均流（透過 (1) 式右側第二項），不會在輻合區累積。他們提出了非線性動力理論：波動靠近輻合區時的尺度壓縮，非線性動力變的重要，因此渦度梯度變大， β 效應使得波動槽西北東南分離，使緯向波長增加，導致能量在下游累積。另外，他們以波動及平均流之間交互作用的解釋了熱帶擾動連續生成的機制：其原理為季風合流區波動尺度壓縮與非線性波動能量在下游累積，以及波動能量頻散和大尺度背景場交互作用透過軸對稱化過程形成渦旋。但是 Kuo et al. (2001) 未提到波動能量累積與渦旋能量頻散交互作用，因此本研究利用無輻散正壓非線性渦度方程，在似季風環流背景場下，探討在西行波動與渦旋頻散之間的交互作用。另外，我們探討在背景場具有擾動渦度區情形下，對於波動能量在下游累積的影響。

二、觀測資料分析

透過 2005 年衛星雲圖可以注意到，向西北前進的颱風右後方相距約 2500km 常有新生擾動生成（如圖一）。圖二為 2005 年 7 月中旬至 9 月中旬 QuikSCAT 海表面風場 V^2 的時間序列發現，颱風向西北前進時，向右後方的能量頻散可能有利於下一個擾動生成，並且颱風有每隔七、八天連續生成的特性。透過 NCEP 絕對渦度的時間序列發現，中太平洋有西行波動進入東西風輻合區時，常有利於

颱風生成(如圖三)。而這樣的現象即使秋季可以發生，圖四為 1990 年 10 月底天氣圖及 QickSCAT 海表面風 V^2 的時間序列，中太平洋有西行波動進入東西風輻合區時，導致象神颱風及貝碧加颱風生成。意即西太平洋颱風連續生成的現象與西行波動、渦旋頻散與大尺度背景場之間交互作用有關。另外，本研究分析 1996~2005 年 7~9 月衛星雲圖的時間序列(缺 1998 年 7 月、1999 年 8 月及 2003 年 7 月，共分析 27 個月份)其結果如表一。一個月內每隔 6~10 天之有 4 個新的熱帶氣旋連續生成分別為 1996 年 7 月、2000 年 8 月及 2004 年 8 月共 3 個月，有 3 個熱帶氣旋連續生成分別為 1997 年 9 月、2003 年 9 月及 2005 年 9 月共 3 個月，有 2 個熱帶氣旋連續生成分別為 1996 年 8 月、1997 年 8 月、1998 年 9 月、2000 年 7 月、2002 年 8 月、2005 年 7 月及 2005 年 8 月共 7 個月。其中，2005 年連續 3 個月均有出現熱帶氣旋連續生成的現象，1996 年、1997 年及 2000 年則分別有 2 個月有出現熱帶氣旋連續生成的現象，也就是說，熱帶氣旋連續生成的現象也有顯著的年際變化。

三、模式介紹

本研究使用似季風環流背景場，以無輻散非線性正壓渦度方程作為研究工具，控制方程如下：

$$\frac{\partial \zeta'}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} [\zeta' \bar{u} + \bar{\zeta} u' + \zeta' u'] - \frac{\partial}{\partial y} [\zeta' \bar{v} + \bar{\zeta} v' + \zeta' v'] - \beta v' - \alpha \zeta' - F' \quad (2)$$

其中的 F' 為外在羅士比波製造器，在 $|y - y_0| \leq \frac{\pi}{2l}$ 時：

$$F' = A \cdot \cos^2 [l(y - y_0)] \cdot \sin(\omega t) \cdot \exp\left(-\frac{|x - x_0|}{x_d}\right) \quad (3)$$

四、數值實驗

4.1 渦旋頻散與西行波動交互作用探討

我們以似季風環流背景場並植入渦旋及加入羅士比波，分別探討渦旋頻散與西行波動之間交互作用，圖五為實驗示意圖。

a. 西行波動、波動振幅強度及背景場具有弱輻合對渦旋頻散的影響

圖六為加入西行波動對於原渦旋頻散出新正渦度區影響的實驗比較。第 13 天時，加入西行波動的實驗（圖六（b））頻散出第 3 個正渦度區，而未加入西行波動的實驗（圖六（a））沒有出現，第 17 天時，圖六（b）出現第 4 個正渦度區，而圖六（a）只出現 3 個正渦度區，另外，其第 3 個正渦度區強度比圖六（a）的相比約強 4 倍，到了第 21 天，圖六（b）的第 3 個正渦度區強度比圖六（a）強約 5 倍，圖六（a）仍只有 3 個正渦度區。另外，波動振幅強度較強、背景場具有弱輻合的情形下，實驗結果與圖六相似。意即有西行波動、波動振幅強度較強、背景場具有弱輻合的情形下越有利於原渦旋右後方新正渦度區的生成，並加強新正渦度區的強度。

b. 背景場強度與波動強度具週期變化

圖七為背景場強度具有 10 天週期變化的實驗比較。在第 6 天，有背景場 10 天強度週期變化的實驗（圖七（a））出現了第 2 個正渦度區，無背景場 10 天強度週期變化的實驗（圖七（b））

則沒有出現。到了第11天，圖七（b）的第2個正渦度強度比圖七（a）的要強約1.4倍，因此圖七（a）右後方新正渦度區強度稍微減弱，在第16天時，圖七（a）第4個正渦度區的強度比圖七（b）要強約1.4倍，因此圖七（a）比（b）的模擬結果新正渦度區強度略為增強，到了第21天，圖七（a）只出現3個正渦區，第4個正渦度區消失，但是在圖七（b）中，仍可以看到明顯的4個正渦度區向西北前進的波列。波動強度具有週期變化實驗結果與圖七相似。也就是說，在背景場或波動強度具有週期變化時，新正渦度區的強度也有週期性的變化，因此，背景場或波動強度在增強時，有利於新正渦度的增強，當背景場或波動強度在減弱時，新正渦度區強度也會減弱。

4.2 背景場具擾動渦度與西行波動交互作用的影響

衛星雲圖常可發現，在季風合流區雲簇此起彼落，背景場具有擾動渦度可能對於渦旋頻散與西行波動之間交互作用產生影響，也可能會對波動能量在下游累積有影響，因此，我們在模式中加入不規則的擾動渦度區，依據擾動動渦度的半徑及強度進行敏感度測試。

本實驗植入的渦旋半徑為150km，強度為 $6.4 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ 。我們定義：

$$\alpha = \frac{\text{擾動渦度強度}}{\text{渦旋強度}} \quad (4)$$

$$r = \frac{\text{擾動渦度半徑}}{\text{渦旋半徑}} \quad (5)$$

圖八為固定 $r = \frac{1}{3} \sim \frac{2}{3}$ ， $\alpha = \frac{1}{8} \sim -\frac{1}{8}$ 及 $\alpha = \frac{1}{32} \sim -\frac{1}{32}$ 的比較，在第9天

時，擾動渦度強度較強的實驗（圖八（a））的第二個正渦度區強度約比擾動渦度較弱的實驗（圖八（b））的強度約強1.4倍，到了第13天，圖八（a）的第2個正渦度區強度約比圖八（b）的強度約強1.3倍，而圖八（a）的第3個正渦度區強度比圖八（b）要強約1.5倍。第17天時，圖八（a）的第4個正渦度區強度比圖八（b）要強約4倍。也就是說，給定的背景場擾動渦度強度越強，越有利於加強原渦旋右後方新正渦度區的強度。另外，固定 α ，在不同 r 情形下的比較與圖八相似。也就是說，我們發現在擾動渦度強度較大或半徑較大的情形下，越有利於原渦旋右後方新正渦度區的生成，並有助於能量在下游輻合區累積。

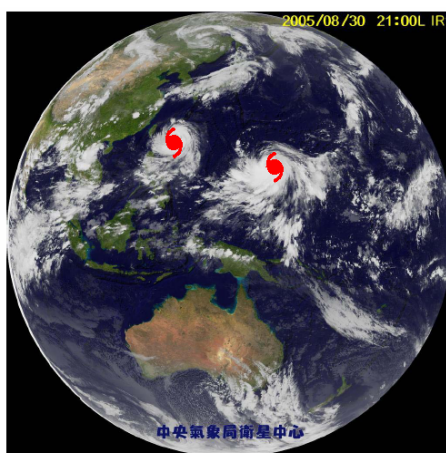
五、結論

由 2005 年的觀測資料分析，我們發現颱風有群聚且連續生成的特性。向西北方向行進的颱風向東南方（右後方）有能量頻散的現象，有助於下一個擾動生成。透過 NCEP 絕對渦度時間序列發現，中平洋的波動進入東西風輻合的區域時，有利於颱風生成。也就是說，颱風連續生成的現象和大尺度背景場、中太平洋的西行波動及西北前進颱風向東南方能量頻散有關。我們利用無輻散正壓渦度方程，探討渦旋能量頻散與西行波動之間交互作用的關係，以及背景場具有擾動渦度時，對於能量在下游輻合區累積的影響。我們發現，在有西行波動、西行波動振幅越大以及背景場具有弱輻合的情形下，越有利於新正渦度區的生成，並且加強其強度。背景場或

是波動具有強度週期變化時，新正渦度區強度也會有週期性變化。另外，背景場具有擾動渦度時，擾動渦度的強度越強或是半徑越大，越有利於新正渦度區的生成，並且加強其強度。在擾動渦度對於能量在輻合區累積影響的實驗中，擾動渦度強度越強，越有利於能量在下游輻合區累積。

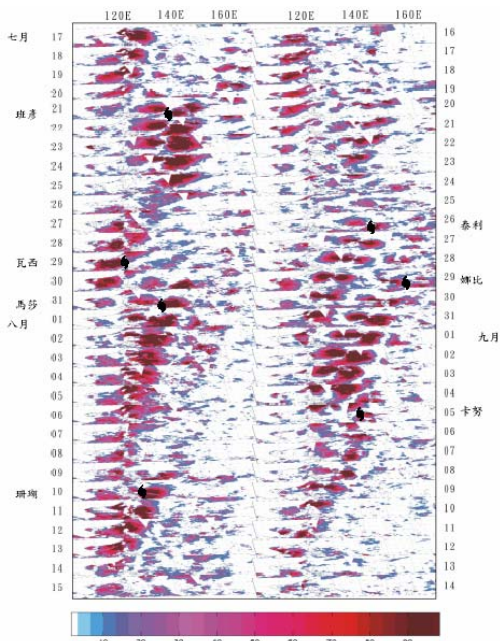
六、參考文獻

- Biegel, L. M., and W. M. Frank, 1997: Large-scale influences on tropical cyclogenesis in the Western Northern Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 1397-1413.
- Holland, G. J., 1995: Scale interaction in the Western Pacific monsoon. *Meteorol. Atmos. Phys.*, **56**, 57-79.
- Kuo, H.C., J. H. Chen, R. T. Williams, and C. P. Chang, 2001: Rossby waves in Zonally opposing mean flow: behavior in Northwest Pacific summer monsoon. *J. Atmos. Sci.*, **58**, 1035-1050.
- Lau K. H., and N. C. Lau, 1990: Observed structure and propagation characteristics of tropical summertime synoptic scale disturbances. *Mon. Wea. Rev.*, **118**, 1888-1913.
- Ritchie, E. A., and G. J. Holland, 1999: Large-scale patterns associated with tropical cyclogenesis in the Western Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, **127**, 2027-2043.

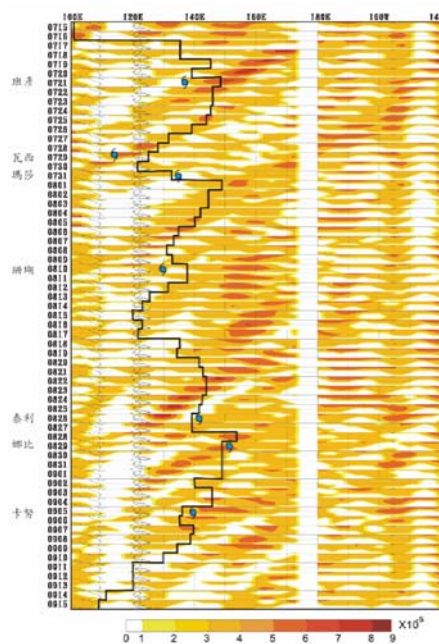


圖一：2005年8月30日衛星雲圖。離台灣較近為泰利颱風，其右後方為娜比颱風。

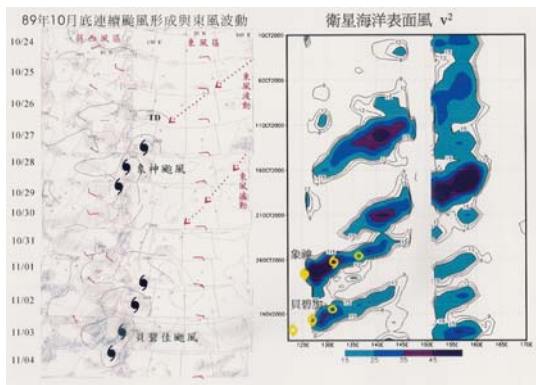
作者為松山航空氣象臺觀測員



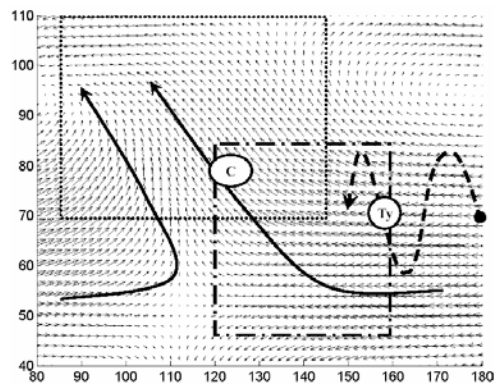
圖二：2005年7月17日至9月14日QickSCAT衛星海表面風 V^2 的時間序列。颱風向西北前進時，向右後方的能量頻散可能有利於下一個擾動生成，並且颱風有連續生成的特性。



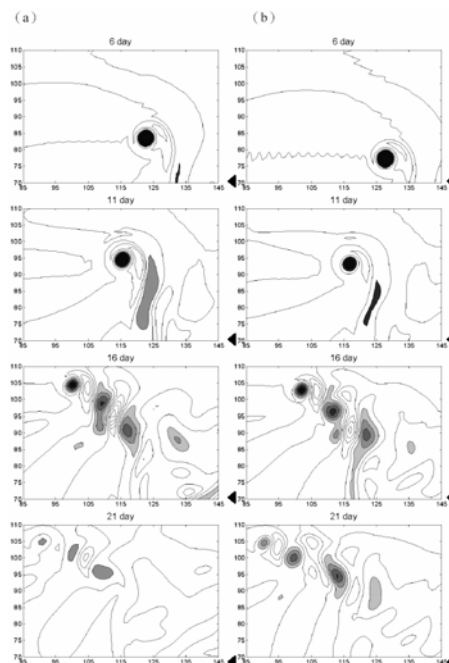
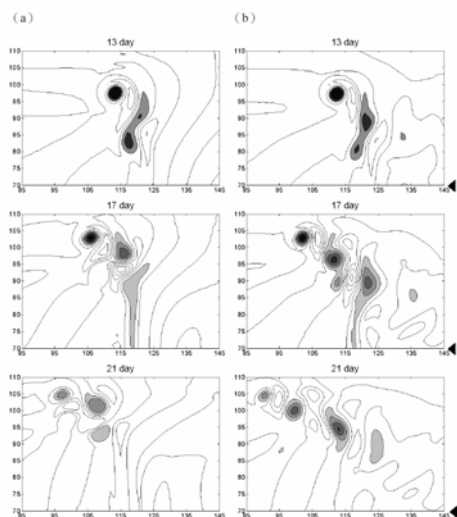
圖三：2005年7月15日至9月15日NCEP絕對渦度的時間序列。黑實線為 $10^{\circ}N\sim 20^{\circ}N$ 平均東西風交界，颱風標記為颱風生成的時間及經度。中太平洋波動進入東西風合流區時，可能有利颱風生成。



圖四：1990年10月底天氣圖及QickSCAT海表面風 V^2 的時間序列，中太平洋有西行波動進入東西風輻合區時，導致象神颱風及貝碧佳颱風生成。

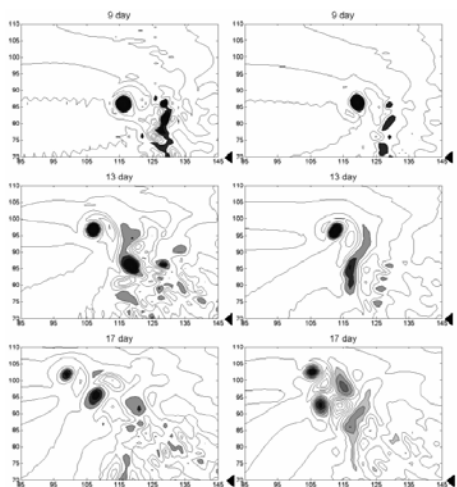


圖五：似季風環流背景場下，渦旋頻散與西行波動交互作用實驗示意圖。標記Ty圓形符號表植入渦旋位置；標記C橢圓形符號表背景場輻合位置；實心圓表波動源位置；虛線箭頭表波動移行方向；實線箭頭表大尺度流場；虛點線方框表擾動渦度區的範圍；點線方框表實驗結果所顯示的範圍。



圖六：似季風環流背景場下，(a) 植入渦旋；(b) 植入渦旋並加入波動 之第13天、第17天及第21天渦度場模擬。波源在 $x=18000\text{km}$ 、 $y=7000\text{km}$ ，三角形符號表示波動進入在 $y=7000\text{km}$ 位置。

圖七：似季風環流背景場下 (a) 具有10天強度週期性變化；(b) 不具有10天強度週期性變化 之第6



圖八：似季風環流背景場下，固定擾動渦度 $r = \frac{1}{3} \sim \frac{2}{3}$ ，(a) $\alpha = \frac{1}{8} \sim -\frac{1}{8}$ ；(b) $\alpha = \frac{1}{32} \sim -\frac{1}{32}$ 的情形下，植入渦旋以及波動 之第9天、第13天、第17天及第21天渦度場模擬實驗結果。

表一：分析 1996~2005 年 7~9 月衛星雲圖的時間序列中，往西北移動的熱帶氣旋每隔 6~10 天之內，相距 3000km 連續生成的個數、『×』表示無法辨識、『缺』表示缺當月資料。

年 月	199 6	199 7	199 8	199 9	200 0	200 1	200 2	200 3	200 4	200 5
7	4	0	缺	0	2	×	0	缺	0	2
8	2	2	0	缺	4	0	2	0	4	2
9	×	3	2	0	0	0	0	3	0	3
總 和	6	5	2	0	6	0	2	3	4	7