

納莉颱風強度變化與黑潮之關係

張育綾¹ 吳朝榮² 陳陽益³

¹國立台灣師範大學地球科學系碩士生

²國立台灣師範大學地球科學系副教授

³國立中山大學海洋環境及工程學系教授

摘要

西元 2001 年 9 月，納莉颱風的侵台重創了台北市，同時也使台灣多處地方爆發土石流，災情相當慘重。在颱風發展的過程中，海洋扮演著非常重要的角色，納莉颱風在台灣東北海域逗留時間長，行進速度緩慢，其迂迴的行經路徑正好位於黑潮主流上，期間納莉颱風強度數度變化，這變化與海洋有密不可分的關係，本文利用衛星資料搭配海洋數值模式來描述納莉颱風發展過程中海表面溫度與海表面高度的變化，並探討風場與海流之間的關係。

The Interaction between Typhoon Nari and Kuroshio

Yu-Lin Chang Chau-Ron Wu Yang-Yih Chen

ABSTRACT

In September of 2001, heavy rains brought by Typhoon Nari had caused 94 dead and 10 missing in Taiwan. Typhoons mix and cool the upper ocean, as shown here in satellite observations and modeling of the Kuroshio off northeast Taiwan during the passage of Typhoon Nari. On the other hand, the upper ocean provides heat and energy to sustain a slow-moving typhoon, such as Nari. Such air-sea interaction may have important impacts on typhoon simulations and predictions.

一、前言

颱風是一種熱帶氣旋，常形成於熱帶海洋上，西太平洋颱風多於夏、秋兩季生成於菲律賓東方的海面約北緯 10 度的地方，生成後受颱風上空導引氣流及颱風環流南北兩邊科氏力不同產生的內力不平衡影響，使颱風向高緯移動，夏季時，太平洋上被高壓盤踞，颱風形成後隨著高壓的順時針環流向西、西北方或北北西方向行進，隨高壓當時氣流方向而定，行經北緯 20~30 度時進入西風帶，颱風受西風帶影響漸轉向東北。

台灣位於颱風常經的路徑上，屢受颱風侵襲之苦，每年平均有 3~4 個颱風會侵襲台灣，為台灣的四大氣象災害之一，豐沛的雨量與強烈的風速往往

對台灣造成不可小覷的影響，颱風在其發生期直至衰弱期間，大部分都位於海洋，吸收海水的熱能後，將熱能轉換為位能，再將位能轉換為動能以維持颱風發展，所以颱風與海洋之間有著密不可分的關係。

黑潮流經台灣東海岸，終年由南向北持續將高溫高鹽低緯度海水輸送至高緯度地區，以 1m/s 以上的速度向北流動，部份支流會入侵台灣北方的東海陸棚，主流則沿陸棚邊緣北達日本九州。

2001 年 9 月 6 日，納莉颱風於琉球附近海域形成，路徑變換不定，期間中央氣象局發布颱風警報次數高達 64 次，為近 50 年來最多的一次，納莉颱風由台灣東北角登陸，向西南前進，路徑貫穿台灣島，歷經 49 小時由台南安平出海，期間降下豐沛雨量，造成北台灣嚴重水患，使台北市捷運及台灣鐵

路台北站淹水，造成交通癱瘓，並在台灣各地多處引發土石流，造成全台 165 萬戶停電；逾 175 萬戶停水。共有 94 人死亡，10 人失蹤。全省有 408 所學校遭到重創，損失近 8 億元；工商部分損失超過 40 億元；農林漁牧損失約 42 億元。

海洋對於颱風發展有著深遠的影響，納莉颱風多次之強度變化更可能是受到黑潮之影響，所以本研究將利用衛星測海表面溫度、衛星所測之海表面高度、海洋數值模式及衛星風場資料探討納莉颱風與海洋之間的交互關係。

二、方法

本研究使用衛星測海表面溫度及衛星測高資料、東亞邊緣海模式 (East Asian Marginal Seas, EAMS) (Wu and Hsin, 2005) 與 QuikScat (QSCAT) 風場資料配合中央氣象局與美國天氣公司 (weather.unisys.com) 颱風資料庫中納莉颱風資料來探討熱帶氣旋的發展與海表面溫度、高度、風場及流場之關係，其中衛星測海表面溫度資料是採用 Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) 衛星中 TRMM Microwave Imager (TMI) 的 Sea Surface Temperature (SST) 資料，繪圖的解析度為 $1/4^{\circ} \times 1/4^{\circ}$ ，衛星測海平面高度資料則是採用 Archiving, Validation, and Interpretation of Satellite Data in Oceanography (AVISO, 1992) 的 Sea Surface Height Anomaly (SSHA) 資料，繪圖解析度是 $1/20^{\circ} \times 1/20^{\circ}$ ，東亞邊緣海模式是使用 Princeton Ocean Model (POM) 建構而成，POM 屬於三維動力海洋模式，模式範圍由東經 99 度到東經 140 度，北緯 0 度至北緯 42 度，邊界條件由另一個較大範圍的北太平洋模式 (North Pacific Model, NPO) 所提供，解析度為 $1/8^{\circ} \times 1/8^{\circ}$ ，而風場資料是採用 QuickBird 衛星的 QSCAT 資料，其繪圖解析度則為 $1/2^{\circ} \times 1/2^{\circ}$ 。

三、結果與討論

從納莉颱風的路徑圖中(圖 1)，我們可以看到納莉颱風由 2001 年 9 月 6 日在琉球附近海域形成，期間在附近海域打轉、以每小時時速 5~8 公里的速度緩慢前進，時而近乎滯留，在其行進的過程中，不斷從海洋獲取能量，於 9 月 9 日由輕度颱風增強為中度颱風，但是 9 月 14 日又再度由中度颱風變回輕

度颱風，繞了一圈之後，於 9 月 14 日晚間向西南方向以平均每小時時速 12 公里前進，離開原本逗留之海域，9 月 16 日，納莉颱風又再度由輕度颱風轉成中度颱風，9 月 16 日 22 時，納莉颱風由台灣東北角登陸台灣本島，以每小時時速 4~6 公里的速度向西南前進，9 月 17 日，颱風又再度減弱為輕度颱風，18 日 23 時，納莉颱風由台南安平附近出海。

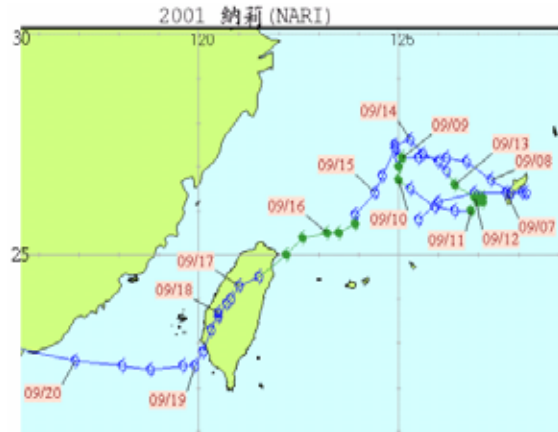


圖 1 納莉颱風路徑圖

(摘自中央氣象局, <http://61.56.13.9/data.php>)

度颱風由形成起不斷台灣東北海域緩慢前進徘徊與滯留，其中歷時達 11 天之久，在海表面溫度 (SST) 圖中，我們可以比較颱風形成前的海表面溫度及颱風形成滯留後的海表面溫度圖，我們以 9 月 5 日海表面溫度圖 (圖 2) 及 9 月 16 日海表面溫度圖為例 (圖 3)，台灣東北海域海平面溫度由颱風經過後開始溫度漸漸下降，至 9 月 16 日溫度下降量達到極大值，颱風滯留過後於此區域內溫度平均降低攝氏 3~4 度，最多則降低溫度高達攝氏 5 度，9 月 15 日納莉颱風中心位置離開此滯留區，但是此滯留區的海平面溫度仍持續下降，9 月 17 日起海表面溫度開始漸漸回升，由此得知颱風所到之處因為颱風的作用使海平面溫度下降，而溫度下降的機制為颱風將下方較冷海水帶至海水表層所致 (Lin et al., 2003)，在颱風登陸台灣本島後，時速由原本每小時 12 公里降低至每小時 4~6 公里，9 月 17 日早上 9 點左右，納莉颱風的雲帽由衛星雲圖中消失，由於在陸地上無法吸收到充足水氣，納莉颱風原本應逐漸走向衰亡，但是 17 日晚間納莉颱風又發展出旺盛的對流雲系，從 9 月 19 日的海平面溫度圖中 (圖 4)，我們可以看

到在台灣西南方海平面溫度受颱風影響較先前下降約攝氏 3 度，配合納莉颱風強度的增強，說明應是熱帶海洋提供水汽熱能供颱風發展。

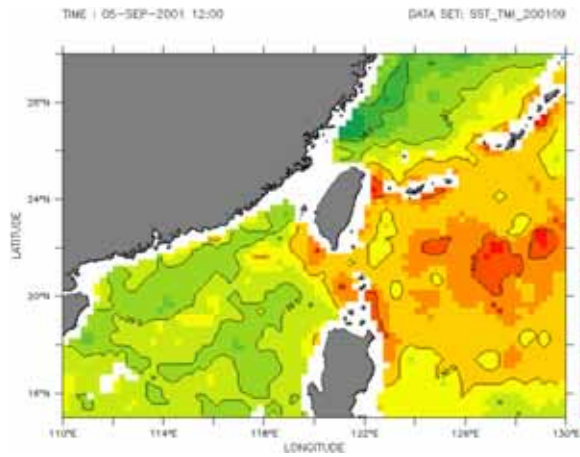


圖 2 9月5日海表面溫度圖

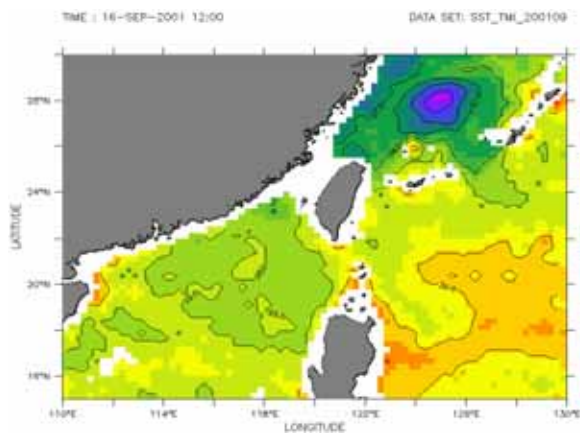


圖 3 9月16日海表面溫度圖

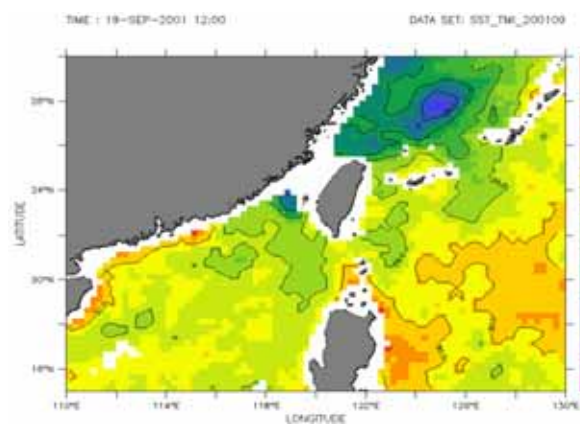


圖 4 9月19日海表面溫度圖

在海平面高度上，在颱風形成之前與颱風形成滯留一段時間，受颱風影響的範圍中其海平面平均下降約 10 公分，在 9 月 5 日海平面高度圖（圖 5）及 9 月 19 日海平面高度圖中（圖 6）比較兩者差異，雖然納莉颱風已經離開台灣東北海域超過 72 小時，但是由於其先前滯留時間長，如同圖四中海平面溫度無法回復到颱風未形成前，海平面高度也較颱風形成前稍低，而 9 月 19 日颱風中心位於台灣西南部海域，配合圖四，海平面溫度降低，且海平面高度同時也降低。

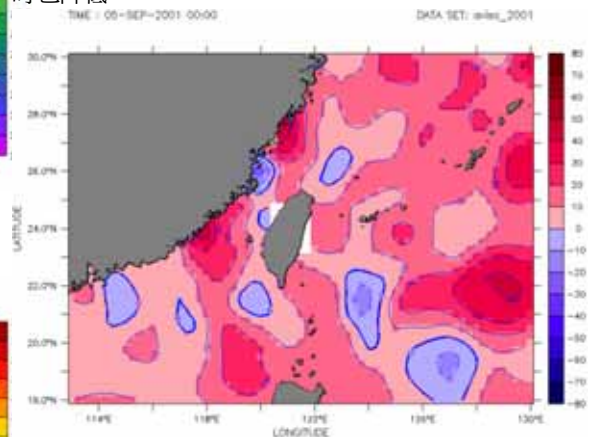


圖 5 9月5日海平面高度圖

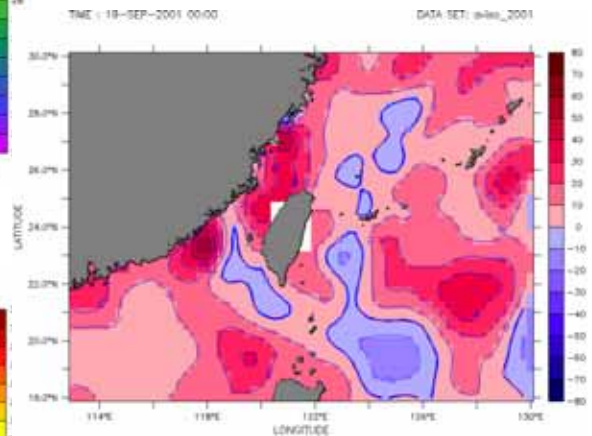


圖 6 9月19日海平面高度圖

在納莉颱風滯留與緩慢移動的過程中，颱風強度數度在輕度與中度颱風之間轉變，颱風強度與海洋之間的關係如圖中（圖 7）所示，9 月 8 日為颱風形成後第二天，此時仍為輕度颱風，期間海洋不斷提供充足水汽及熱能以供颱風發展，9 月 9 日納莉颱

風發展為中度颱風，海表面溫度再颱風行經路徑較前一天稍微下降，颱風一路緩慢前進，一路吸收海洋水汽並將熱能轉換為位能進而轉換成動能以提供其發展，由圖中我們可以清楚看到颱風所到之處的海表面改變情形，除了提供颱風充足水汽熱能外也受颱風影響將下層較冷海水帶到表層，使海水溫度不斷下降，9月14日納莉颱風繞一圈後往回走到先前受颱風影響而海溫下降之海域，海面溫度僅有攝氏 25~26 度，無法提供颱風充足的熱能，納莉颱風由中度颱風轉為輕度颱風，9月16日納莉颱風離開較冷海域，途中經過海溫高達攝氏 30 度的海域，於是由原本的輕度颱風又轉為中度颱風，16 號晚間登陸台灣本島，受地形影響轉為輕度颱風，台灣東北角海域也漸漸回溫中。

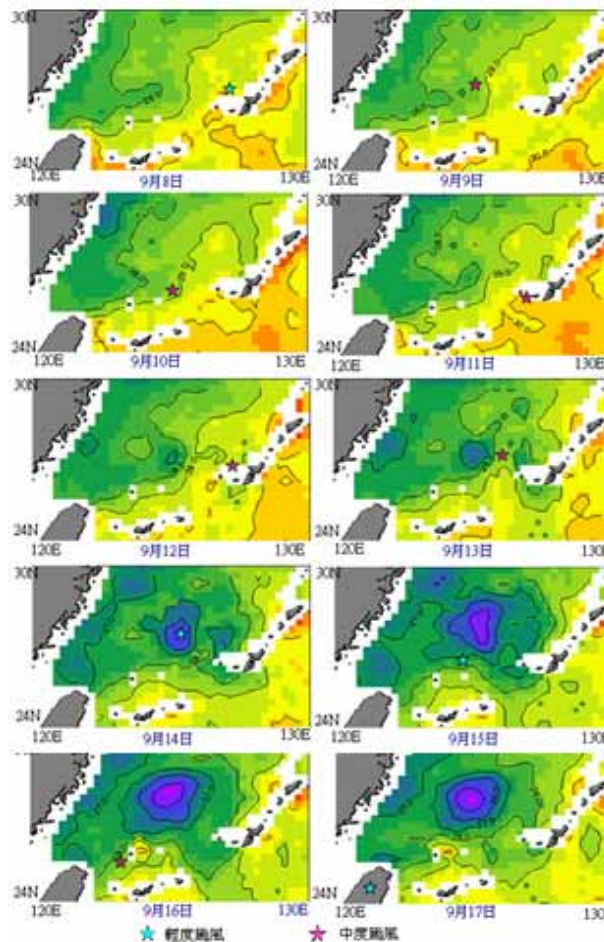


圖 7 納莉颱風路徑與海表面溫度變化圖

納莉颱風於 9 月 6 日時為一個熱帶性低氣壓，中心位置在東經 123.7 度、北緯 25.2 度，順著黑潮往東北方向前進，24 小時之後便增強為輕度颱風，9 月 8 日颱風向西北方向前進途中行經黑潮，由黑潮獲取大量熱能及水汽，遂於 9 日形成中度颱風(圖 8)，由 9 月 9 日起，納莉颱風在黑潮附近來回遊走，於 9 月 14 日三度穿越黑潮後不久竟減弱成輕度颱風，其原因是由於在先前納莉颱風徘徊其間海洋受其影響，使下層海水湧升上來(Lin et al., 2003)，造成當地海表面溫度降低，當颱風又行進回該地時，海洋無法提供足夠的熱能以供發展，於是在 14 日颱風又減弱為輕度颱風，所以我們藉由過度及海表面溫度圖來探討海水受颱風影響而湧升的現象，9 月 16 日時，颱風向西南前進走至黑潮上，颱風又增強為中度颱風，16 日晚間颱風登陸台灣本島，受地形影響，颱風又減弱為輕度颱風。

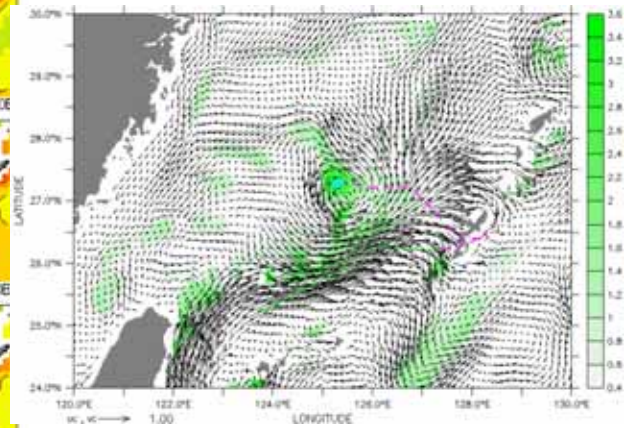


圖 8 9 月 9 日海流流速圖(底色為過度，星號為目前中心位置，虛線為颱風過去路徑，粉紅色為輕度颱風，水藍色為中度颱風)

在納莉颱風發展過程中，QSCAT 風場受颱風影響均繞颱風中心以逆時針方向旋轉，但是在海表面溫度(SST) 方面，並非颱風走過的所有地方海表面溫度都會下降，而過度及流場同樣也並非颱風中心位置都可以看到明顯的正過度伴隨逆時針流場出現，在納莉發展過程中，其地理位置與黑潮行經路徑有很大的相關性，我們將颱風發展中心位置、颱風類型、黑潮位置與相關條件整理成表 1，由表中我們歸納出當颱風位於黑潮北邊的時候，颱風中心才明顯看出正過度並伴隨逆時針流場出現，而在黑潮上或

是黑潮南邊時則沒有這個現象。

表 1 颱風發展與海洋交互關係表

日期	9月6日	9月7日
位置	123.7E,25.2N	127.4E,26.2N
颱風類型	熱帶低壓	輕度颱風
颱風最大風速	25 kt	45 kt
海表面溫度	30°C	no data
黑潮相對位置	黑潮上	黑潮南邊
海水深度	2125m	8m
產生 eddie 與否	否	否
9月8日	9月9日	9月10日
127.6E,26.5N	125.3E,27.3N	125E,27.3N
輕度颱風	中度颱風	中度颱風
67 kt	70 kt	70 kt
no data	28.5°C	28.5°C
黑潮南邊	黑潮北邊	黑潮北邊
317m	142m	101m
否	是	是
9月11日	9月12日	9月13日
126.5E,26N	127E,26.4N	126.8E,26.3N
中度颱風	中度颱風	中度颱風
90 kt	92 kt	75 kt
29.5°C	no data	no data
黑潮上	黑潮上	黑潮南邊
1607m	894m	185m
否	否	否
9月14日	9月15日	9月16日
125.5E,27.4N	124.5E,26.5N	123.4E,25.5N
輕度颱風	輕度颱風	中度颱風
67 kt	65 kt	85 kt
25.5°C	27.3°C	28°C
黑潮北邊	黑潮北邊	黑潮上
149m	146m	918m
是	是	否

由颱風位置不同與風場與流場做比較，圖 9 為颱風在黑潮南邊、黑潮北邊與黑潮上的風場與流場

對照圖，在風場上，不論颱風中心位置是否在黑潮上，都可以看到風場受颱風影響繞颱風中心呈逆時針旋轉，而風場強度從圖中很明顯看出颱風眼較弱、四周強的趨勢，在流場上，當颱風位於黑潮南邊時，因為離岸很近，受地形影響，除了沒有正渦度情形產生外，在流場上也沒有看見明顯的逆時針海流產生，當颱風位於黑潮北邊的時候，產生正渦度流場，在海流流向有繞颱風中心呈逆時針旋轉，而當颱風行經黑潮上時，受黑潮強勁流速影響，既沒有產生渦漩也沒有看見明顯逆時針海流。

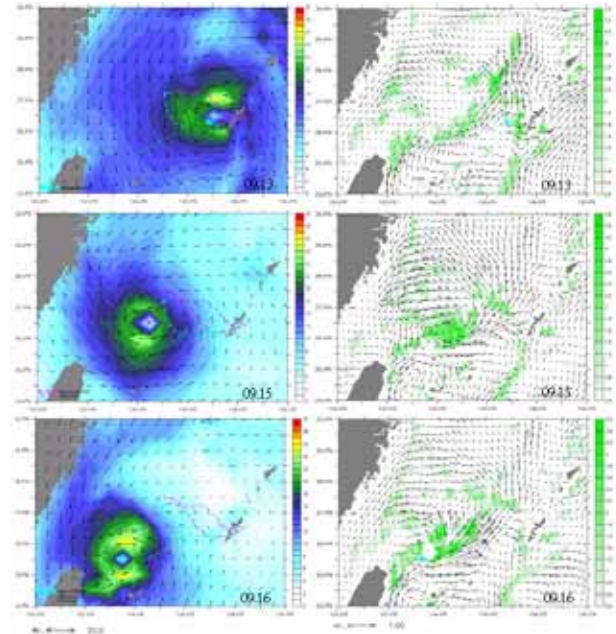


圖 9 颱風位置與風場及流場關係圖(左排為風場強度及風速風向圖，右排為渦度與海流流速流向圖，上圖颱風中心位於黑潮南邊，中圖於黑潮北邊，下圖於黑潮上，其中水藍色符號為中度颱風，粉紅色則為輕度颱風)

在黑潮北邊有產生渦漩的日期中，其中兩天為中度颱風，兩天為輕度颱風，我們比較強度較強，可影響海洋較鉅的中度颱風(表 2)，兩天同樣都是中度颱風，同樣的最大風速，但是影響深度卻產生不小的差異，9月9日納莉颱風行進速度較9月10日快，所以可以影響的深度僅至20公尺深，而9月10日行進速度緩慢，最深則可以影響到對應颱風中心

位置的海洋底部。

表 2 渦漩強度比較表

日期	9月9日	9月10日
行進速度	8km/hr	5km/hr
最大風速	70kt	70kt
海水深度	142m	101m
渦漩強度(表層)	3×10^{-5}	2.5×10^{-5}
10m	2×10^{-5}	2×10^{-5}
20m	1×10^{-5}	2×10^{-5}
30m	無渦漩	1.5×10^{-5}
50m	無渦漩	1.5×10^{-5}
75m	無渦漩	1×10^{-5}
100m	無渦漩	1×10^{-5}

在黑潮北邊受颱風影響而形成的渦漩將下層海水湧升到表層來，第一次颱風行經黑潮北邊過後冷渦開始漸漸發展，第二次颱風再重回黑潮北邊之後除原本冷渦持續發展外，受颱風影響又將原本湧升延續，如圖四所見，9月12日為颱風第一次經過之後的海水表層冷渦，呈現開始發展階段，9月16日則為颱風第二次經過之後持續發展的冷渦，中心溫度已下降至攝氏24度，下降攝氏5度之多。

四、結論

納莉颱風發展過程中，因其地理位置與黑潮在台灣東北海域所經路徑相近，時而接近黑潮甚至在黑潮上，時而稍稍遠離，所以此颱風發展便與黑潮有著深遠的關係，在風場上，由於不受黑潮影響，所以由圖中均可以看出風場受颱風影響繞颱風中心

呈逆時針旋轉，在流場方面，當颱風行經黑潮上，由於黑潮的強勁流速，使得颱風無法在其上形成渦漩與逆時針流場，當颱風離開黑潮便開始有機會形成渦漩，但納莉颱風行經黑潮南邊時恰巧都非常接近陸地，受地形影響，沒有形成渦漩與逆時針流場，當納莉颱風行經黑潮北邊時，由海表面流場圖中我們均看到渦漩伴隨逆時針流場，但是此渦漩會隨颱風強度與颱風速度影響，向下影響深度亦不相同，此渦漩會將下層的海水湧升上來，進而改變海水溫度，由海表面溫度圖中看到，伴隨著渦漩的產生，在黑潮北邊形成了冷渦，溫度最多可下降5度之多，此湧升的作用可能會將下層富營養鹽帶至表層進而提高基礎生產力。

參考文獻

1. Archiving, Validation, and Interpretation of Satellite Data in Oceanography (AVISO) (1992) "AVISO User Handbook," Merged TOPEX/Poseidon Products, Rep. AVI-NT-02 - 202 -CN, ed. 2.1, Cent. D'Etudes Spatiales, Toulouse, France.
2. Lin I. I., Timothy Liu, Wu, C. C. Wong, G. T. F., Hu, C., Chen, Z., Liang, W. D., Yang, Y. and Liu, K. K. (2003) "New evidence for enhanced ocean primary production triggered by tropical cyclone," *Geophysical Research Letters*, Vol. 30, No. 13, 1718.
3. Wu, C. R. and Hsin, Y. C. (2005) "Volume transport through the Taiwan Strait," A Numerical Study. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, Vol. 16, No. 2, pp. 377-391.