

# 台灣地形對侵台之中度以下颱風影響新例 ——對 2001 年潭美、桃芝、納莉、利奇馬四次颱風實例分析——

王時鼎 謝信良 鄭明典 鄧仁星 簡國基

中央氣象局

## 摘 要

此處所討論之颱風，除桃芝外，均在台灣近海一帶產生，故環境條件均限制了其發展。該四次颱風均屬中度以下之強度。

該四次颱風除潭美與桃芝外，其餘兩者，即納莉與利奇馬均屬「秋颱」。此時大規模環境為太平洋副高減弱並向東退縮，而高空極地西風帶又未移入本區，致台灣區在「鞍形」場之處，至基本上各颱風移速均極緩慢，在台灣滯留期間均破歷史紀錄。

該四次颱風在侵台時，其所產生之副中心均擔負極重要角色。其中潭美、桃芝、與利奇馬颱風，在過山之後階段均極特殊。其中，桃芝颱風原中心登陸台灣盤桓達 6 小時，至釀生花蓮與南投之豪雨與嚴重土石流成災。潭美為輕度颱風，原中心過山移向為沿山北行，及副中心蛻變至高雄區，釀生高雄區歷史上未有之水災。利奇馬颱風則原中心亦見移過中央山脈，但最後仍為副中心所取代。可發現分裂過山颱風之原颱風運動有一共同特徵，即：其移近台灣時須在特定區域，而且移向須為西北向，自 1949 年以後所有分裂過山颱風均滿足此條件，當然亦有特例。

納莉颱風侵台時，在山脈東側成功一帶外海導生副中心，且可發現當納莉颱風在台滯留時，副中心之範圍竟比原中心大過數倍，主、副易位，兩者環流轉為「非偶合」(decoupling)，竟至由原中心所誘生之「副中心」環流導引原颱風中心運動，而使之「向南」。

研究桃芝颱風路徑，在接近台灣時，移向突自北北西轉為西北西。此處根據詳細中尺度氣壓場與流場分析認為：桃芝接近台灣時，其「外圈」環流過山在中心之北之山脈迎風面造成「高壓脊」，致與颱風「內圈」氣流轉為「非偶合」，導使此中度颱風之移向轉為「西」向登陸，致造成台灣南投地區之空前土石流浩劫。

納莉颱風使台北縣市釀生嚴重空前水災。經發現，降雨先後凡兩天，略可分為三個階段與型式。第一階段為颱風中心極結實之 CDO 過境。第二階段，即由於中心環流在山區破壞後，台灣北部造成局部速度輻合場。第三階段則更奇，副低壓環流竟然在外圈釀生螺旋狀雨帶，向西北傳播，致又影響北部區之豪雨。又該三階段之降雨，均見有雷雨現象發生。

## 一、前言

2001 年之四次颱風，即 7 月份之潭美 (Tromi)，桃芝 (Toraji)，9 月份之納莉 (Nari)，利奇馬 (Lekima) 之侵台時路徑詭異，以及對台灣造成之災害均為累年所未有，而足供討論之處亦極多，本文主要係僅限討論其路徑的一些共同特徵，而間亦論及其異常之降雨。

## 二、過去一百年來(1897 年以後)台灣地形對侵台颱風路徑影響之實例

台灣地形對侵台颱風路徑之影響真是變化百出，筆者等曾作出了一百年來(自 1897 年以後)侵台颱風之詳細分析(謝等，1998)。1949 年以後者均根據逐時天氣圖，1949 年以前至 1897 年極大部分登陸台灣颱風亦均作有逐時分析。可發現，就該 100 年侵台颱風資料中，2001 年自 7 月後 4 次侵台颱風路徑，即潭美、桃芝、納莉與利奇馬之路徑在台灣區之奇特變化，均為歷史颱風所未有，宜乎侵台颱風路徑之預報為不易也。

為了確實證明 2001 年上述四次侵台颱風之路徑變化為台灣颱風具有紀錄之歷史上所未有。此處特列出侵台颱風路徑變化實例(Wang，

1980, 謝等 1998)如圖 1 與圖 2, 計共歸納成 32 種型式, 以供與 2001 年上述 4 次颱風路徑之比較。

圖 1 中之例, 為 1949 年以後之實例, 其特徵均有逐時路徑資料為基礎, 圖 2 為百年颱風圖集內(謝等, 1998)1897-1948 年中, 尚未出現在圖 1 中之特殊路徑。另外, 2001 年上 4 次颱風奇特路徑亦列於該圖之末。

### 三、2001 年潭美、桃芝、納莉及利奇馬 4 次中度以下颱風之路徑地形影響之例

為方便計, 此處僅將其逐時路徑特徵, 繪製於一圖中, 各見圖 3a-d, 以便彼此之比較及討論。為了此項路徑變化之徵信, 並作出該各路徑關鍵時間之氣壓場分布圖, 各如圖 4 至圖 7。其中圖 4a-d 為 2001 年 7 月潭美(Trami)颱風者, 圖 5a-d 為 2001 年 7 月桃芝(Toraji)颱風者, 圖 6a-d 為 2001 年 9 月納莉(Nari)颱風者, 以及圖 7a-d 為 2001 年 9 月之利奇馬(Lekima)颱風者。各颱風侵台時之特徵, 以下各節再行討論。又因氣象局已有遙測氣象站, 因各站所測報者均為場面氣壓, 而非海平面氣壓, 但各站之 $\Delta P$ 值仍可彼此比較, 此處係取各颱風侵台時各關鍵時間之  $24\Delta P$  圖, 藉以進一步佐證在台灣地區之複雜地形影響下颱風運動與強度變化。計潭美颱風者如圖 8a-d, 桃芝颱風者如圖 9a-d。另亦有作桃芝颱風各階段之風場分析圖如圖 10a-d。

有關各圖之討論, 各見有關各節。

### 四、2001 年該 4 颱風侵台時颱風「副中心」所扮演角色

以上由圖 3a-d 之 4 颱風在台灣區域時路徑之變化可見, 除納莉颱風外, 其餘潭美、桃芝、利奇馬在最後階段均為在台灣山脈西側之副中心取代原來之颱風中心。同時可知該由副中心取代之颱風, 當其接近台灣時, 移向均有自「東南」向「西北」之路徑, 而在過去之統計中類此走向颱風, 且近台灣時, 其位置均在圖 11a 之範圍內。由 1949-1996 年內之分裂颱風路徑統計(圖 11b), 無論其強度大小, 均為接近時有副中心之產生, 最後並由副中心所取代, 與該 3 例均同。

此項「取代」之事實, 其理亦甚明, 即: 類此接近台灣時其路徑向西北之颱風, 根據流

型圖(謝等, 1998), 係屬流型 II, 即在「阻擋流」之時。此項流型之最著特徵為氣流進入角,  $\alpha$ , 係  $> 70^\circ$ , 另一參數無論夫如數  $Fr$ ,  $< 0.5$  或  $\geq 0.5$ , 均為使台灣中央山脈之氣流背風面產生背風副低壓或背風低壓槽(如為平直之氣流)。因如當  $Fr < 0.5$  時(例如 Smolarkiewics 與 Rotunno, 1989), 氣流無能力爬山, 遇山氣流係繞山而過, 山脈背風面出現弱風尾流(wake)以及低壓區。如為  $Fr \geq 0.5$ , 山脈迎風面氣流有能力爬山, 亦即屬流型 III 之「爬山流」, 此時背風面下坡氣流絕熱增溫, 所產生者亦為「焚風低壓」也。

有關於此, Peng (2001)曾就 1949-1996 年全部計共 35 次自由過山(即過山時原中心可順利爬山而過者)及同一時間 18 次分裂過山之颱風(見此處之圖 11), 根據該兩類颱風在台灣及其四圍海域  $1^\circ \times 1^\circ$  經度、緯度內之颱風逐時位置與相對各颱風位置之氣象局共 25 個測站逐時地面氣象資料作了合成圖研究。此處僅就其各經緯度方格之 5 及 15 區之兩類合成圖如圖 12a、b 與 13a、b。圖 12b 與 13b 亦可見分裂颱風之實例之合成圖, 氣流進入角(以彭佳嶼之風為代表)略均在  $70^\circ$  以上, 而且背風面因氣流之阻擋均為無風(參見台中、梧棲、嘉義、台南、新竹等處之風)並均可在山脈西側分析出「副低壓」。而此項實例, 在颱風接近階段(圖 11a)均為西北走向也。

本次該三颱風, 如圖 3a、b 與 d, 均滿足上述如圖 11a 之二條件, 即: 其一, 在颱風接近台灣時為須在該圖之範圍內, 其二為即颱風移向均為西北方向。且由上討論, 即: 只要侵台颱風滿足此兩條件, 無論其強度為何(可參見謝等 1998), 均轉為中央山脈西側之副中心取代原颱風中心。又 Lin 等(1996)之數值模擬研究及 Chang 等(1993)之統計研究, 亦均有指出此項事實。

另外此處尚未述及另一颱風納莉, 其副中心之情形及其對主颱風動態影響, 亦為歷史上所未見(謝等, 1998), 其討論見第八節。

### 五、2001 年該 4 次颱風「原中心」過山時之動態變化

上所述之三颱風, 即潭美、桃芝、利奇馬, 最後均為山脈西側之副中心所取代。但真正對風、雨預報而言, 則主要在原中心的動態變化。可發現 2001 年該三次原中心過山時之變化均為不同, 且均為過去所未有, 以下即為其討論。

#### (一) 桃芝颱風

原為北北西行進, 但於 7 月 29 日 12 UTC

後中心約近台灣 50 公里時突見轉向西北西，但登陸後仍為轉向北北西。該原颱風在花蓮之南秀姑巒溪一帶登陸後，原中心在陸上山中仍存在達 6 小時才為副中心所取代(見圖 3b)。因中心過境花蓮光復鄉與南投信義一帶，均有下數小時之豪雨，至引起嚴重之土石流災害(見後述)。桃芝原中心在登陸後之移向及強度變化，及至為副中心所取代，在圖 9 之地面 24 $\Delta$ P 變化圖可一目了然。

#### (二) 潭美颱風

潭美颱風生成於台灣東方近海，迄至移近台灣，仍保持輕度颱風(見圖 3a)，中心氣壓仍僅 985 百帕(見圖 3a)。由花蓮之高空風分布(圖 13a)，其厚度尚不及 700hPa，即 3000 公尺。而由地面等壓線圖分析(圖 4a-d)及各時之 24 小時 $\Delta$ P 圖之演變(圖 8a-d)，均可見該颱風原中心過山時方向突轉向為北，而係沿山脈之東側北行，因由花蓮之高空風分布，其厚度尚不及 3000 公尺，可參見 7 月 11 日 06 UTC 之花蓮探空圖(圖略)，故山脈可充分阻擋其移動，並迫使其轉向「沿山北行」(並參見圖 3a)。

#### (三) 利奇馬颱風

利奇馬颱風之「原中心」過山時之動態與桃芝及潭美者又不同。而且類此之運動，在 1949 年以後之颱風中為首見(1925 年曾有一次，但位置不同，見圖 2c)，即：當副中心在  $L_1$  之處發展時，原中心亦見順利過山。因其登陸及過山之處是在台東以南，該處山脈平均高度略在 2500 公尺及以下，且其寬度平均不足 40 公里，故原中心得順利過山(圖 7a-d)。越山後中心並在嘉義以西平地一帶維持達 20 多小時，而後方為苗栗一帶之副中所取代(圖 7d)。由圖 7a-b 亦可見該颱風在台灣之時(圖 7a)，其北之山脈之東西兩側有甚大之氣壓差。如以花蓮(迎風脊處)與台中(背風槽處)兩者比較，計 26 日 09 UTC 差達 7.0 hPa(97.1-90.1)，26 日 15UTC 時兩地之差達 6.9hPa。但及後，過山之原中心以南之西風上坡流較大，而使台東處一帶背風副低壓，在三低壓中心中(另兩者即在嘉義之西之原中心，及苗栗一帶之副低壓，此時已均減弱為低壓強度)有最低之氣壓值。(前兩者內圈之封閉等壓線均為 999 hPa，而後者為 998 hPa)。

#### (四) 納莉颱風

其原中心動態極見特殊，亦為過去所未見，詳可參見第 8 節討論。

## 六、各副中心(低壓)處風、雨分布比較

颱風預報之最終目的，在風與雨之預報。在過去甚多觀測研究中，例如 Wang(1980)，謝等(1996)副中心(低壓)所在之處，基本上既無風亦無雨，是指  $L_1$ (山脈西北部者)及  $L_2$ (山脈西側靠中部一帶者)兩副中心。因類此之副中心均係在台灣颱風之流型 II 或 IV，即在「阻擋流」之背風面之「弱風尾流區」，或在阻擋流與焚風下坡流「兩者組合成」之低壓區之故。

檢查本次三颱風之副低壓所在地之風與雨分布，可見桃芝與利奇馬者均係在上述兩種「流型」(flow regime)影響下產生，故中心區一帶均無風亦無雨。此可參見圖 10a-d 桃芝颱風之流場圖，由圖可見至 7 月 29 日 22 UTC(圖 10d)，副中心均在弱風尾流區中，均無風與無雨，該區降雨發生約在取代後之 30 日 01UTC 之後(詳見第 7 節)。

利奇馬颱風亦同(圖 7b-d)。但必須特別注意者，在「阻擋流型」時，係以「繞山流」為其特徵，故台灣北部近海(彭佳嶼)、新竹及澎湖、東吉島仍可有甚大之風力。

特別一提的為潭美颱風「 $L_3$ 」副中心，即位置在高雄一帶之副中心。

首先要說明，該處亦為中央山脈西側之背風面三處最易產生副中心之處，此可參見圖 10a、b 三處低壓發生位置圖及實例(例如謝等 1998 之文 464 頁之表 2)。但必須再說明者，該處副中心之成因，絕非如上述之  $L_1$  及  $L_2$  之台灣颱風之有關「阻擋流型」(blocked flow regime)情形之下生成者。此 Wang(1980)在 1967 年吉達之例中經已指出，該低壓實際為「中尺度渦旋」型，主要為颱風氣流受山影響，由於颱風中心在適當位置時，對該處所造成之曲率渦度，再加颱風過山後期該處「西南流」於過山成脊作用(ridging effect)，亦即迎風脊之前氣旋式之風切有關。換言之非為背風面之副低壓，而為因山脈南段影響流場而造成。此在簡(2001)及 Yeh and Elsberry(1993)數值模擬中亦已指出。

而此次造成高雄嚴重水災之潭美颱風之  $L_3$ ，除上述之效應外與該輕度颱風環流內南側之尺度約 100 公里之「中尺度對流系統」之演化(evolution)有關。此可參見謝(2001)。另外，洪秀雄教授亦就本例指出，MCS 之凝結潛熱釋放所造成空氣柱之增溫，甚至半小時即可生成低壓，並因「非地轉式流場」(ageostrophic flow field)而生成中尺度渦旋。

類此  $L_3$  取代原中心之例，除上已述及 1967 年吉達之例外，1952 年 5260 號風暴(謝等 1996，P153-158)亦提供一極佳之例。該風暴，國際未命名，但岡山與高雄之平均風曾達 35kt。

## 七、本次三例取代原中心之副中心在取代後之發展

必須特別說明的，取代後山脈西側之副中心，其本身風場結構及成因係完全不同於其原中心，見上述及見 Smith and Smith(1994)之數值模擬之例，其存在基本上完全依賴原颱風環流之過山效應。故當副中心取代後，除非另有能量來源是不會發展的。

### (一) 副中心之發展因素推論

此處推論，約有下述數種因素或其聯合控制了「取代副中心」之發展。

(1) 與原颱風環流之耦合：因取代後副中心係完全在原颱風之環流內，當颱風環流隨大規模導引氣流移出台灣後，必須與颱風外圈環流產生交互作用，而獲得發展。常見者為颱風「外圈」環流過山後以「西南氣流」方式引入。

(2) 與上層未經破壞之颱風原中心耦合：此亦非短時間能使副中心本身發展，因副中心為「非地轉流」，而颱風中心為完全不同之「準梯度風流」，此兩者之交互作用之過程及使副中心增強之物理機制，尙未見有何討論，僅有與洪秀雄教授交換意見時洪教授有提及。

(3) 副中心結構改變，由中心一帶普遍空氣下沉區(指  $L_1$ 、 $L_2$ ，參見圖 11a)漸轉為因西南潮濕氣流引入，而使近中心一帶引發中尺度系統降雨(例如 1998 年之 Otto)，而使副中心獲得發展。

(4) 以上討論均僅適用於  $L_1$ 、 $L_2$  之副中心發展。而  $L_3$ (台灣西南部)發展與上述者有基本上之不同。就過去颱風紀錄，能取代原中心之例僅有三，即上已述及 1967 年之吉達(Gilda)(Wang, 1980)，1952 年 5260 風暴(謝等 1996)及此次之潭美颱風。主要均為颱風過後潮濕之「西南氣流」引入所造成猛烈降雨所致。另外，可發現類此以  $L_3$  取代之颱風，除 1967 年之吉達外，其餘均是較小之颱風，且中心登陸台東及以南者。

以下為此處所述三項取代原中心之副中心之發展情形之討論。綜觀此處三颱風，利奇馬颱風之副中心並未獲得發展，相反的潭美副中心  $L_3$  及桃芝  $L_1$  均見有增強，故僅就該兩副中心之發展作一討論。

### (二) 潭美颱風

有關潭美颱風高雄區引起嚴重豪雨與水災的  $L_3$  副中心之發展，其動態可參見謝文(2001)。此處僅引用  $L_3$  副渦旋流場圖如圖 14a-b。圖 14a 為 11 日 12 UTC 副中心在台南以北附近(並參見

圖 3c-d)，似仍呈「副低壓」之型式。至 11 日 15 UTC 中心已移至高雄並產生猛烈降雨(圖 14b)。此顯見有顯著颱風過山後期「西南氣流」之移入，並明顯見有氣旋式環流，此似示該副渦旋因降雨凝結潛熱釋放所造成渦旋之發展，在該時間似可分析出氣流之風切線。有關潭美颱風僅討論至此為止。

### (三) 桃芝颱風

分析桃芝颱風副中心之發展略可得兩因素：

1. 雖然桃芝颱風原中心破壞而由副中心取代，但外圈環流仍續向西北移動。故雖近中心風場結構不同(參見圖 5a-d，及圖 10c-d)，其副中心移出新竹時台灣中部一帶又復有明顯風速(圖 5c-d 及圖 10c-d)。

2. 桃芝颱風約於 29 日 18 UTC 前後(圖 10c)在中部一帶開始形成氣流輻合線(圖 10c-d)，並伴隨有顯著降雨，及後並形成顯著螺旋狀雨帶，顯見有助於副中心之發展，此可參見雷達回波圖(略)。

## 八、本次侵台桃芝與納莉兩颱風之獨特路徑地形影響之預報問題

桃芝颱風所以造成花蓮光復鄉及南投信義等嚴重豪雨與土石流，主要因素即在 7 月 29 日 12 UTC 後，桃芝颱風移向之由西北偏北轉為西北偏西，使登陸地點偏南所造成(中央氣象局，2001，並參見圖 3b)。此處為試圖解釋該項路徑偏向之問題。

由於桃芝颱風土石流肆虐，此間有關單位有請喬文義教授(2001)專從普渡大學回來討論。於 8 月 15 日他有來局與筆者等討論此項問題。渠認為至少有四項途徑以研究類此桃芝颱風之突然轉向問題，即：淺水方程，白努利方程(Bernoulli's eq.)，迎風山區凝結潛熱釋放(用多層模式)，及滯留點(stagnation point)理論等。而此處我們認為任一途徑均必須滿足下列之論述，而此項初步論述即為聽喬教授宏論之後及與洪秀雄教授討論此項問題後所得出者。以下之討論計分三部分：

(一) 颱風遭遇中央山脈內、外圈流場及其交互作用

颱風環流遭遇台灣山脈，謝等(1998)在討論台灣地形影響颱風流場之「流型」(flow regime)觀念時，已說到颱風過山影響必須分為颱風之外圈(outer part)及內圈(inner part)兩部分。而該項「流型」觀念，即：(I)沿山流，(II)阻擋流(繞山流)，(III)非阻擋流(爬山流)，(IV)上述(II)與(III)

之組合流，僅能應用於颱風之「外圈」。而「外圈」與「內圈」之分野，即：約距颱風中心 100 公里，略相當於中央山脈寬度，以內之範圍，即屬颱風之「內圈」。「內圈」之最大特徵為，氣流軌跡曲率大，風速變化亦大，故不像「外圈」可作侵台颱風「流型」的分劃與應用。例如：內圈氣流基本上自成系統而無所謂上述之四項「流型」。

至此，一極重要的觀念可以引申，即颱風侵台時，颱風「外圈」氣流有最著之與山脈之「交互作用」，例如颱風侵襲時之「迎風脊」，「背風槽」，「副低壓」等均僅為「外圈」之現象。故侵台颱風初期地形對其影響之最大特徵為，使「內圈」「外圈」在動力上彼此不作偶合(decoupling)，在某一觀念而言，而有若兩「相互獨立」之系統，而引發出「外圈」流場可以導引「內圈」颱風部分之運動。此在「水工模擬」(例如 Wang, 1980)及「數值模擬」(例如黃、黃, 2000)均已實際指出此項事實。例如颱風遇山，氣流可分為兩部分，一為繞山(外圈)，一為繞中心(內圈)。而颱風遇山變化主要即為「內」「外」圈可「不偶合」(decoupling)，而且是尺度較大的「外圈」氣流主導在山脈區附近之颱風之運動，包括自由過山颱風路徑之彎曲，減速與加速等等；以及分裂過山颱風，副中心之取代原颱風之理論基礎亦均在此，即：此時颱風「內」「外」圈可彼此被認為兩個系統，在「外圈」環流中之山脈背風面產生副低壓；而「內圈」環流之原中心最後為趨於消失，而為「副低壓中心」所取代。

### (二) 上述觀念對桃芝颱風路徑變化之應用

上經述及桃芝颱風於 7 月 29 日 12 UTC 後其移向突由北北西轉為西北西，而登陸後又復回復北北西方向(圖 3b)。該項登陸前路徑之「突變」才釀生台灣中區嚴重降雨與土石流。究其原因，亦即此時「外圈」氣流之變化而導使颱風轉向之故。此可在圖 5a-b 中之等壓線分析圖中明顯可看出。由圖 5a 可見此時(29 日 14 UTC)「外圈」氣流已明顯受山脈影響，而有「迎風脊」與「背風副低壓」之形成。花蓮與台中之氣壓差達 9.4hPa(99.4-90.0)。但內圈部分氣流雖過山仍略呈對稱之等壓線型式，其半徑約 100 公里。此時「外圈」與「內圈」由於彼此間已不偶合(decoupling)，而其北方「外圈」中由於「迎風脊」之出現，近山處氣壓升高，而使「外圈」該處之流場明顯有偏西分量，故「內圈」區颱風受其導引，亦轉向西行，至 17 UTC(圖 5b)情形仍同。亦即言「內圈」區颱風之偏向西行，乃由於其北有局部之「高壓脊」存在之故。颱

風登陸後內圈部分之半徑已不足 50 公里，而外圈流型之長軸又轉為東南至西北方向，山脈東側之「迎風脊」已不存在，故颱風又復轉為北北西方向(圖 5c 及 d)。

由上分析可見藉此項尺度較大，半獨立之外圈流場形式，造成之此次颱風接近山脈時之向西「轉向」。

以上為就出現之事實所作之論述。而真正預報時，似乎颱風之強度、範圍、導引氣流之大小、颱風接近山脈時之相對位置均為有關。但至少類此中度颱風，且係在山脈中段接近山脈，為「外圈」流場導生「內圈」部分颱風轉向之甚佳形勢。1989 年莎拉(Sarah)颱風似亦與本次颱風情形甚為相近(謝等, 1998)。

### (三) 納莉颱風之例

納莉颱風之例更為特殊，即其在台灣時之向南移行，可謂為受其山脈東側廣大副中心環流導流之結果。此可分別自圖 6a-d，當其侵台期間各階段之地面等壓線之圖獲得指示。首先由圖 6a 之 16 日 13 UTC 之圖可見，納莉颱風中心已在三貂角登陸。等壓線呈極不對稱型式，長軸略呈南北向，在成功東南方海上出現有副低壓。由該圖型式主、副中心形勢明顯可見。主中心環流控制了副中心之形式。但至 18 UTC 後，主、副中心形式完全易勢，此可由圖 6b 之 17 日 00 UTC 之圖可見。幾乎在成功東方近海之副中心之流場已取代主中心之流場，其 1004hPa 等壓線範圍竟達約 4 個緯度以上之範圍(其中包含有「主中心」)。而主中心因在北部山區內繼續減弱，其範圍已不足半個緯度。但由於其後之演變，該主中心後又在嘉南平原轉強(圖 6c)，故可見該原中心仍保持存在。但顯見於圖 6b 之時，原如圖 6a 時「主」「副」中心之間之關係已不復存在。而且兩者之間已非保持如圖 6a 之同一系統。而該一時間，主中心已完全為副低壓環流所包圍，此處認為已轉而受「尺度更大」之該副低壓環流所「導引」，其主要方向為向南。在某種意義上，副低壓環流已可視為「外圈」環流，導引「內圈」之颱風。進一步分析，尚可發現，在此同時，副低壓係向北移。而該一時間納莉卻向南移。某一意義上，係如兩中心有藤原效應存在(圖 6a-c)。有關兩中心藤原效應之發生，亦可藉圖 6b 之流場見出。在該圖中，主、副中心均為受 1002hPa 及以上之封閉等壓線包圍，並藉該流場作為藤原效應之基本流場(初步觀點)。類此上述事實百年颱風之例均未有見也(註：該颱風在台南以南出海後，副中心形勢完全改觀，原在台灣東方海上之廣大之副中心已不復見，而此時所見者為

新竹之南之「副中心」，見圖 6d)。

## 九、納莉之豪雨與台北慘重水災

納莉颱風造成了歷史上台北區尚未有見之水災。在日據時 1911 年 8 月曾有一次台北大水災，布政司衙門街淹水，但與本次情形似仍有小巫大巫之感。納莉颱風於 9 月 6 日起，一直在黑潮路徑上久久不滅，但絕未想到於 9 月 16 日向西南行於 16 日 13 UTC 在三貂角登陸台灣，於 17 日 15 UTC 才在台南南行出海。以下僅略就台北縣市之嚴重降雨情形略作簡單探討。

探究台北區豪雨，根據雨量資料，五分山等之雷達回波(合成)資料及風場分析略可分為三個階段討論(各見圖 15-17)。

(一) 第一階段豪雨發生於 9 月 16 日 12-17 UTC 之間，計約 6 小時。其成因為發展完整(颱風來時颱風眼極見明顯)之 CDO(根據 Dvorak。CDO 之意，即颱風中心密雲區，central dense overcast)過境，亦即颱風中心侵襲，由於環流輻合造成最大垂直運動之圓形「對稱」雲區(圖 16a)。在台灣此為最重要之颱風豪雨型，可稱為 CDO 雨型，本次並伴隨有雷雨現象。此一階段降雨量分布可參見圖 15 中之(a)之部分。其流場則見圖 17a。

(二) 第二階段豪雨：發生於 9 月 16 日 19UTC 至 17 日 03 UTC 之時，約 9 小時。此時颱風中心略在雪山山脈南麓之大甲溪河谷一帶(見圖 6)。此一期間雷達回波指示颱風中心之 CDO 已破壞殆盡(圖 16b)。極為特殊的，是在台灣北部基隆河上游山區及陽明山區一帶，雷達回波略呈不規則之帶狀。其成因不明。推測乃因中心環流破壞後在其外圍一帶復又造成輻合區所致(見圖 17b)。此一期間降雨量分布參見圖 15 中之(b)之部分，並亦見有雷雨現象。

(三) 第三階段豪雨

此略在 17 日 06 UTC 時間開始，由雷達合成圖，沿石垣島基隆一帶發展有一螺旋狀回波，該回波略與中心在東方近海一帶之副低壓環流相一致(圖 6)。並可見該雷達回波穩定向西北方向傳播，台灣北區之流場又見風速輻合(圖 17c)。因此台灣北部又見出現豪大雨(參見圖 17 中之(c)部分)，惟不若第一、第二階段之大，但由圖 15 之(c)可見降雨之時台北氣壓又見明顯降低，分析當時之圖，花蓮東方近海可繪出 999 百帕之副中心。本次台灣區豪雨期間，亦伴隨有雷雨現象。

即由於以上三階段所發生之豪雨而使台北

盆地普遍淹水。特別是台北市東區，台北市捷運被洪水所灌，台北市火車站鐵路被淹，均災情慘重。此三階段之豪雨。第一階段原因明顯，台北市東區此時已遭水淹，而第二、第三階段降雨仍有待進一步研究。台灣區一帶秋颱風移速緩慢多少亦為一重要因素。

## 十、「秋颱」環流特徵

上述四次颱風，其中納莉、利奇馬均發生於 2001 年 9 月間，實際亦即所謂「秋颱」。它們運動均有一共同特徵，即：在台灣區一帶時移動均極緩慢，而納莉更在台灣東北方海上持續滯留達十天之久。究其原因，亦即為本區「秋颱」與「夏颱」外在環境所截然不同之原因所在。

在「夏颱」之時，台灣區一帶之環流甚見單純。主要均為受太平洋副高所控制，其間颱風路徑偶受「雙颱風環流」、高空「冷心低壓」影響，或西藏高壓東伸影響。然而在天氣圖上各項系統均甚明顯，故在颱風運動預報基本上均不複雜。

但在「秋颱」之時，台灣一帶之環流場已遠為不同，其特徵有：

(1) 高空極地西風帶開始南移，甚多情形已可達台灣之緯度。

(2) 夏季太平洋副熱帶高壓範圍縮小，並向東退縮。

(3) 大陸冷高壓已開始向南移動，其前緣鋒面一般均已影響台灣。

(4) 約 25° N 以南，冬季東北季風帶已開始建立並常與東來信風帶「合流」，此為與在夏季截然不同者。夏季南海及台灣一帶一般每為西南季風區。

(5) 亦許最重要的一點是，台灣區一帶此時常為冬季與夏季環流場之過渡區，而高空極地西風帶一般尚未移入本區。台灣上空常為鞍形場(col)所在，因此在此區之颱風普遍缺乏導流場，而且導流場多變。

以上幾種秋颱之環流場形勢，在夏季均不存在，故宜乎台灣秋颱之常滯留不前，且路徑亦為多變了。

綜合上述之幾項環境流場特徵，可歸結成「秋颱」之高空流場與地面流場最易出現之型式如圖 18a、b。

## 十一、結語

本文係為就 2001 年 7-9 月間四次中度以下

颱風，侵襲台灣階段時之風場、氣壓場、伴隨降雨及其路徑與移速之詭奇變化分析。該四次颱風，其中潭美、桃芝與納莉分別使台灣南、中、北部，因豪雨而造成嚴重淹水及土石流之浩劫。利奇馬颱風事前亦因台北區豪雨預報問題造成極大之震憾。相信本文對此四次颱風之分析，必可對其獲初步之認識。至本文之結論可見「摘要」部分。

## 誌謝

本文撰寫期間，蒙洪秀雄教授隨時參與討論，提供卓見，獲益良多；另並蒙鍾孝林、謝維權先生，于茜、李金蓮小姐各方面提供協助及製圖工作；特在此一併謹致謝忱。又本項研究為本局研究計畫「建立台灣地區颱風預報輔助系統之研究」第三階段工作的一部分，該計畫係由交通部支援，特在此誌謝。

## 參考文獻

- 中央氣象局，2001：颱風預報準確度討論會——由桃芝颱風談起。台灣大學大氣科學系，國家科學委員會。
- 王時鼎，1992：侵台颱風路徑、強度、結構及風雨整合研究。國科會防災科技研究報告 80-73 號，1-285。
- 商文義，2001：台灣地形對颱風路徑影響(私人間討論)。
- 謝信良、王時鼎、鄭明典、葉天降、1996：台灣地區颱風預報輔助系統建立之研究——侵台颱風路徑、強度、風力預報之應用研究。中央氣象局，專題報告 CWB84-1M-01，1-356。
- 、———、———、———，1998：百年侵台颱風路徑圖集及其應用——台

- 灣地區颱風預報輔助系統建立之研究(六)。中央氣象局專題研究報告 CWB86-1M-01，1-497。
- ，2001：七。——高雄豪雨事件之診斷分析(初稿)。
- 簡國基，2000：台灣地形對侵台颱風之影響——TCM-90 個案之模擬與分析。國立台灣大學大氣科學研究所博士論文。
- Chang, C.-P., T.-C. Yeh, and J. M. Chen, 1993: Effects of terrain on the surface structure of typhoons over Taiwan. *Mon. Wea. Rev.*, 121,734-752.
- Lin Y.-L., D. W. Hamilton, and C.-Y. Huang, 1996: Orographic influence on propagating tropical cyclones.(初稿)
- Smolarkiewicz, P., and R. Rotunno, 1989: Low-Froude number flow past three dimensional obstacles. Part I : Baroclinically generated lee vortices. *J. Atmos. Sci.*, 46, 1154-1164.
- Peng, L. 2001: A comparative study of typhoons crossing Taiwan with continuous and discontinuous tracks: -- A preliminary Report.(2001 年中央氣象局顧問報告)
- Wang, S.-T., 1980: Prediction of the movement and strength of typhoons in Taiwan and its vicinity. Res. Rep. 018. Taiwan National Science Council, Taipei, Taiwan. (in Chinese)
- Yeh, T.-C., and R. L. Elsberry, 1993: Interaction of typhoons with the Taiwan orography. Part II. Continuous and discontinuous tracks across the island. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 3213-3233.

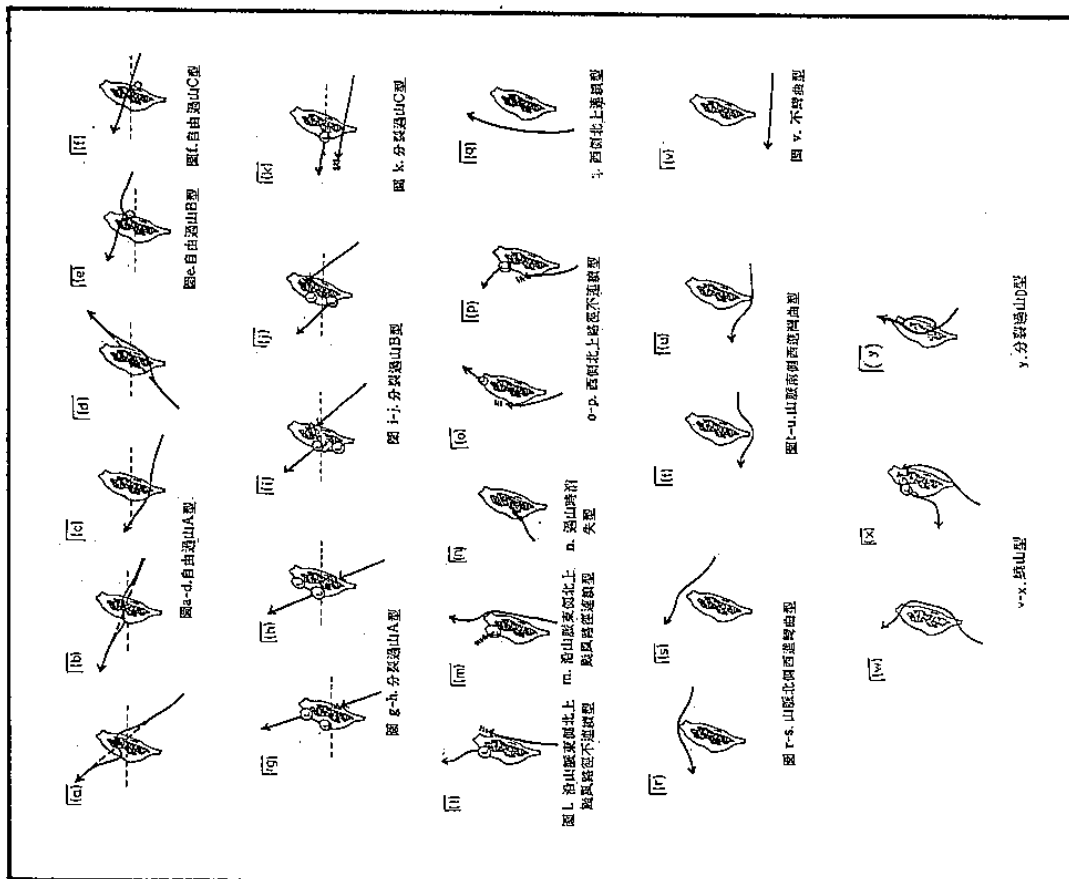


圖 1 1949-2000 年 台灣及其近海過境颱風因中央山脈影響路徑變化之模式圖。

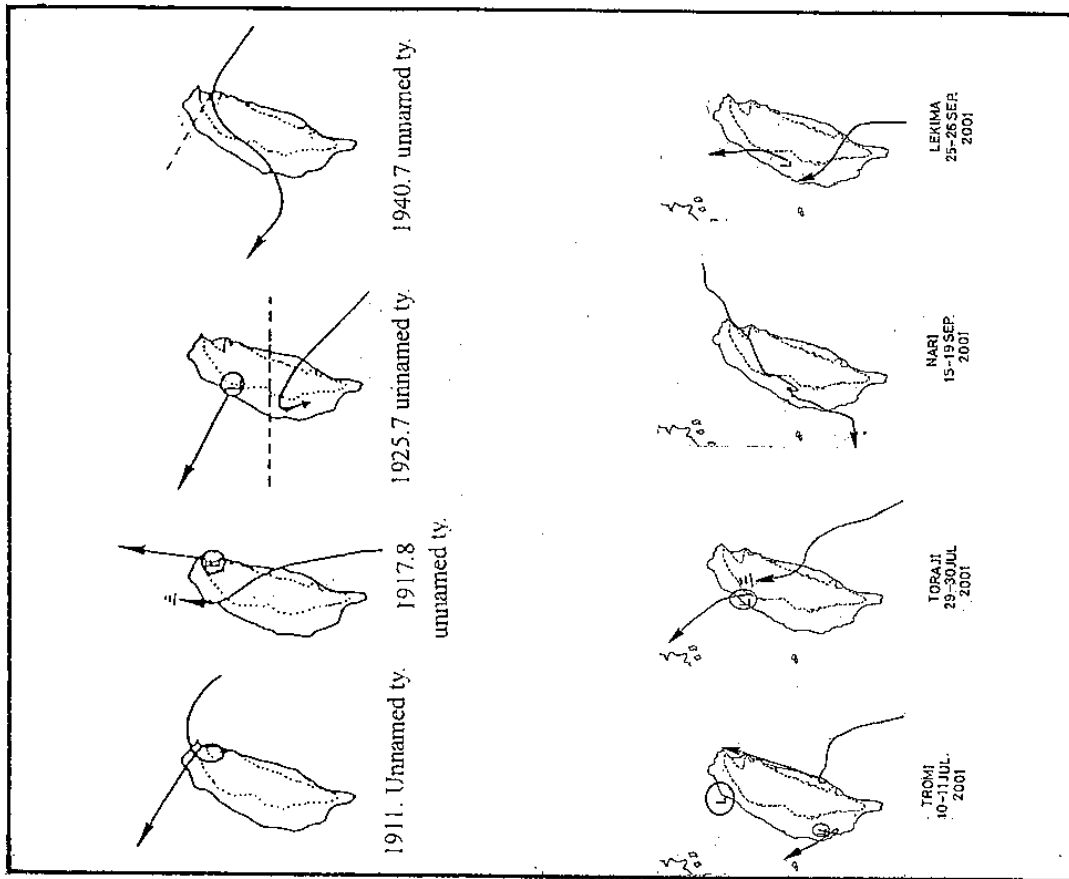


圖 2 1897-1948 年間所見較圖 1 新增之路徑變化模式。圖中並附 2001 年潭美、桃芝、納莉與利奇馬路徑奇特變化之例(該四例均為歷史上所未見)。



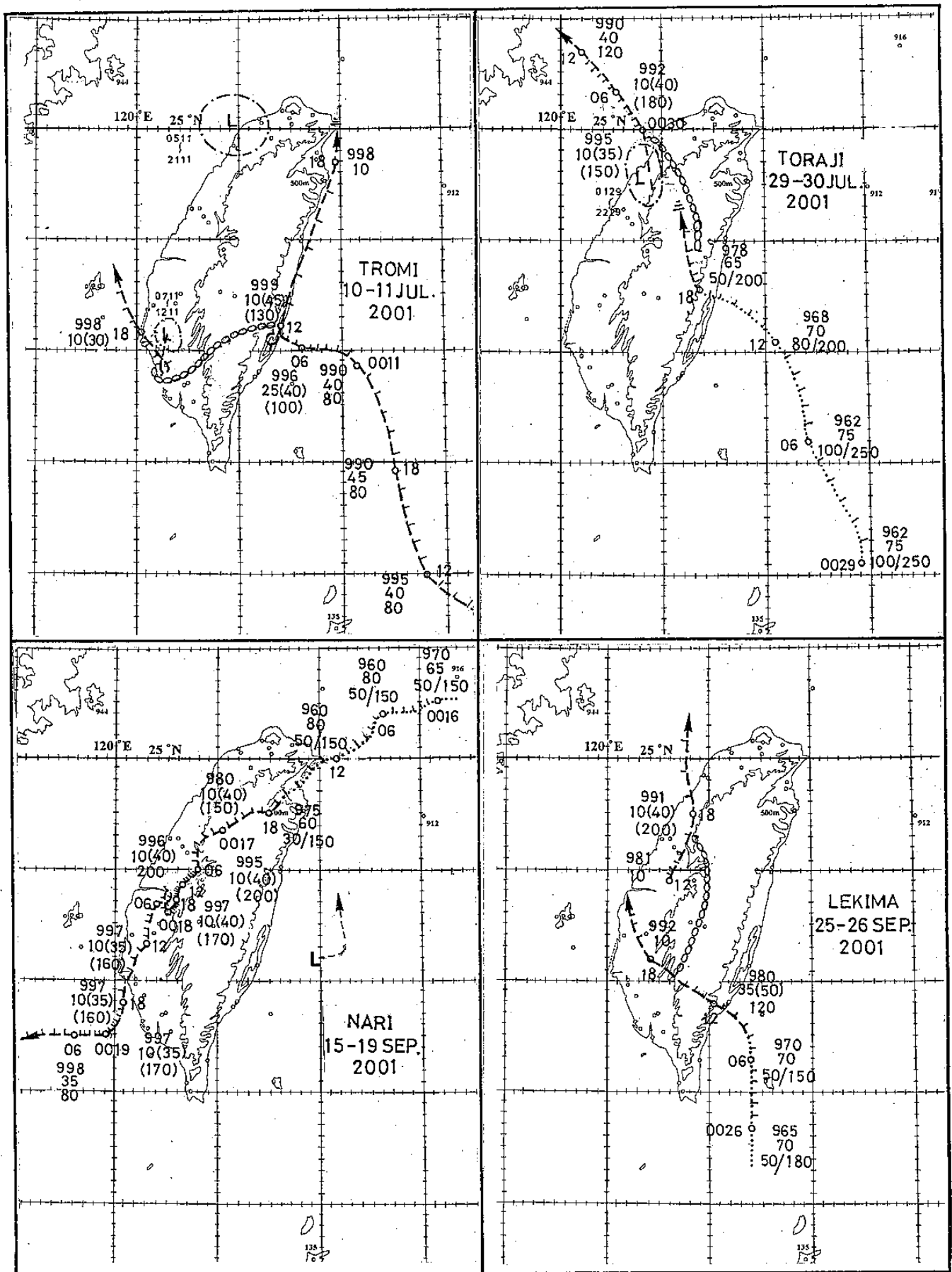


圖 3 2001 年 7-9 月間 4 次侵台颱風之逐時路徑圖，(a)7 月 10-12 日之潭美(Tromi)，(b)7 月 28-30 日之桃芝(Toraji)，(c)9 月 16-18 日之納莉(Nari)，(d)9 月 25-28 日之利奇馬(Lekima)。時間為世界標準時，UTC。

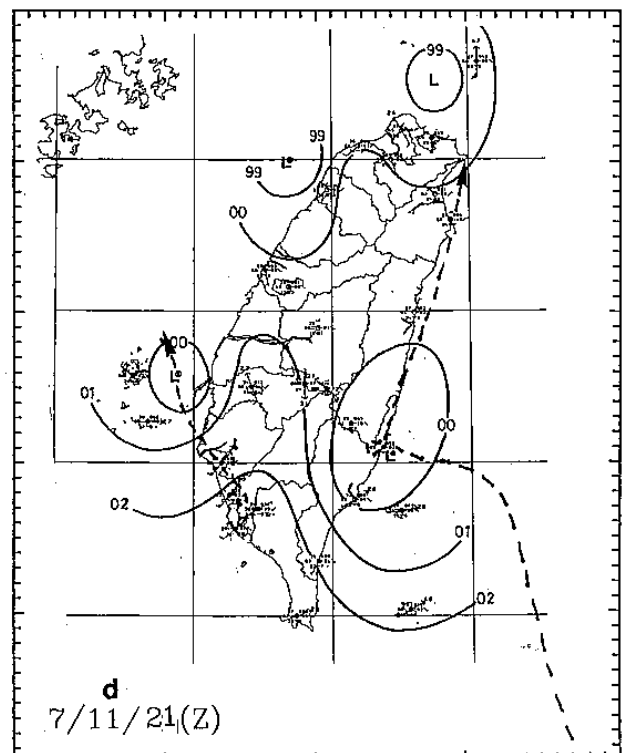
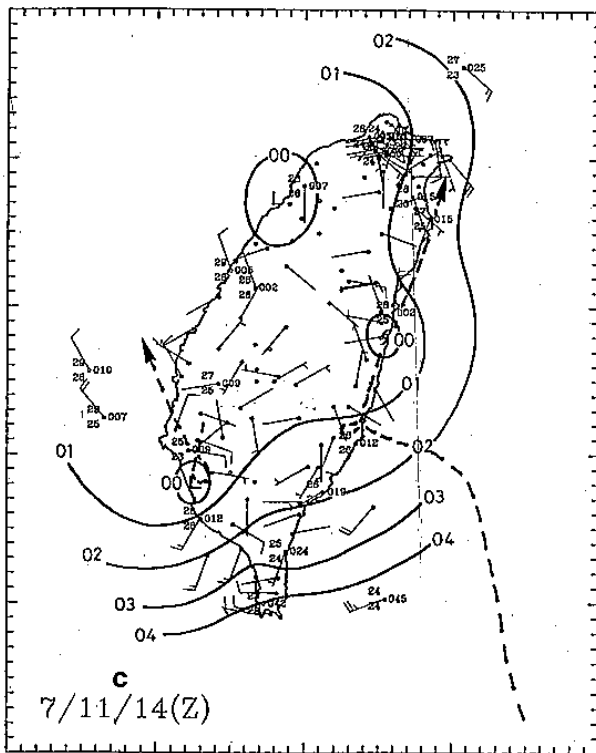
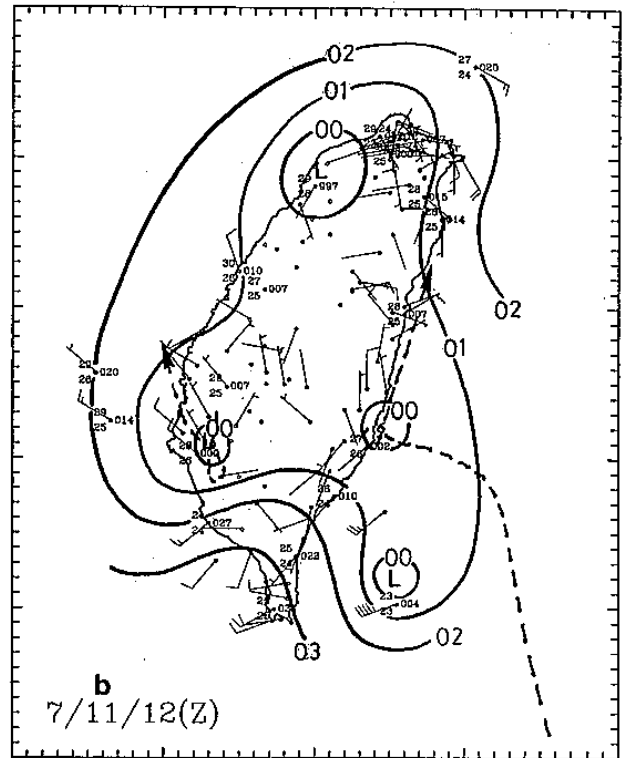
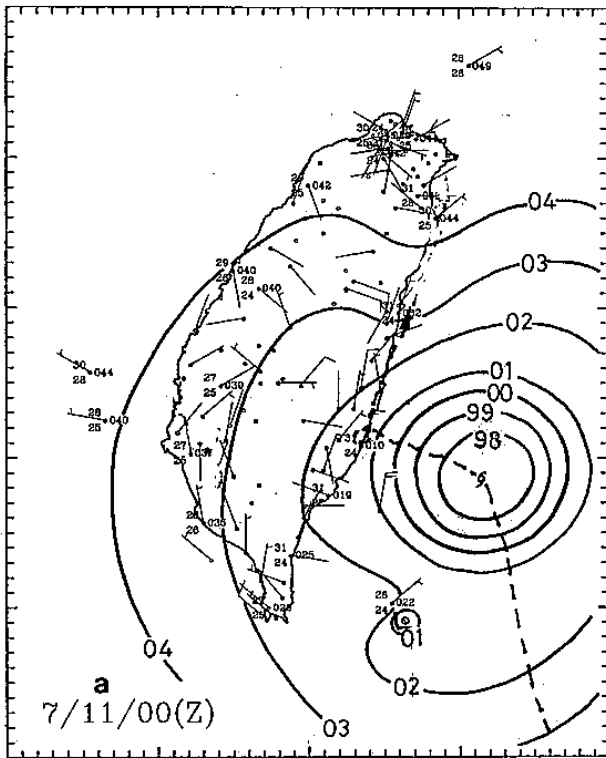


圖 4 2001 年 7 月潭美(Tromi)颱風侵台期間各階段之颱風詳圖。(a)11 日 00 UTC，(b)11 日 12 UTC，(c)11 日 14 UTC，(d)11 日 21 UTC。注意：高雄區嚴重豪雨及水災係由其之副中心所造成，主中心並為其所取代。

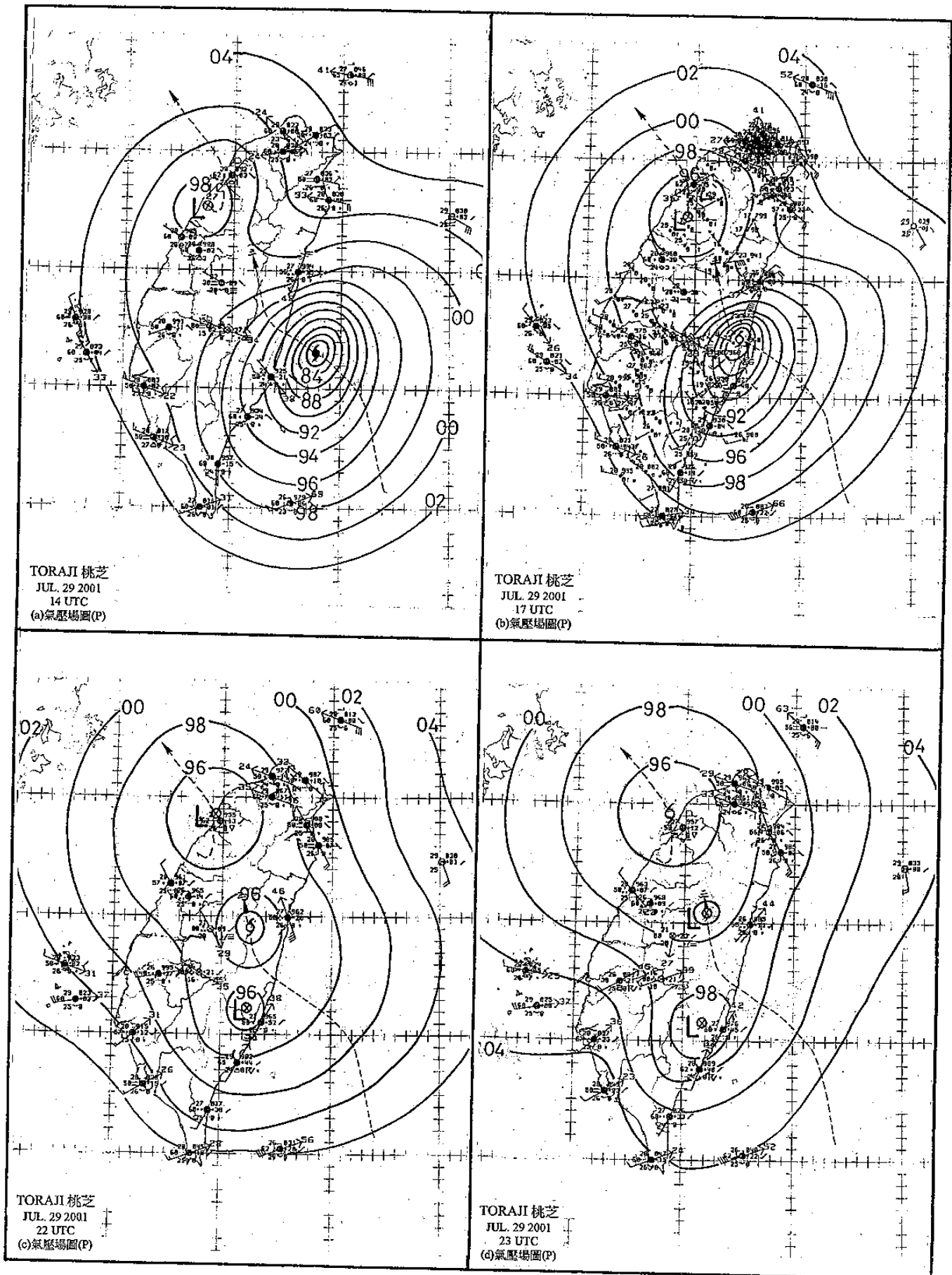


圖 5 2001 年 7 月桃芝(Toraji)颱風侵台期間各階段之颱風詳圖。(a)29 日 14 UTC，(b)29 日 17 UTC，(c)29 日 22 UTC，(d)29 日 23 UTC。注意：此處認為桃芝臨近台灣時轉為西行，係與其中心之北外圍氣流造成之「迎風脊」有關(圖(a)與(b))。另可見原中心減弱為新竹以南之副中心所取代。

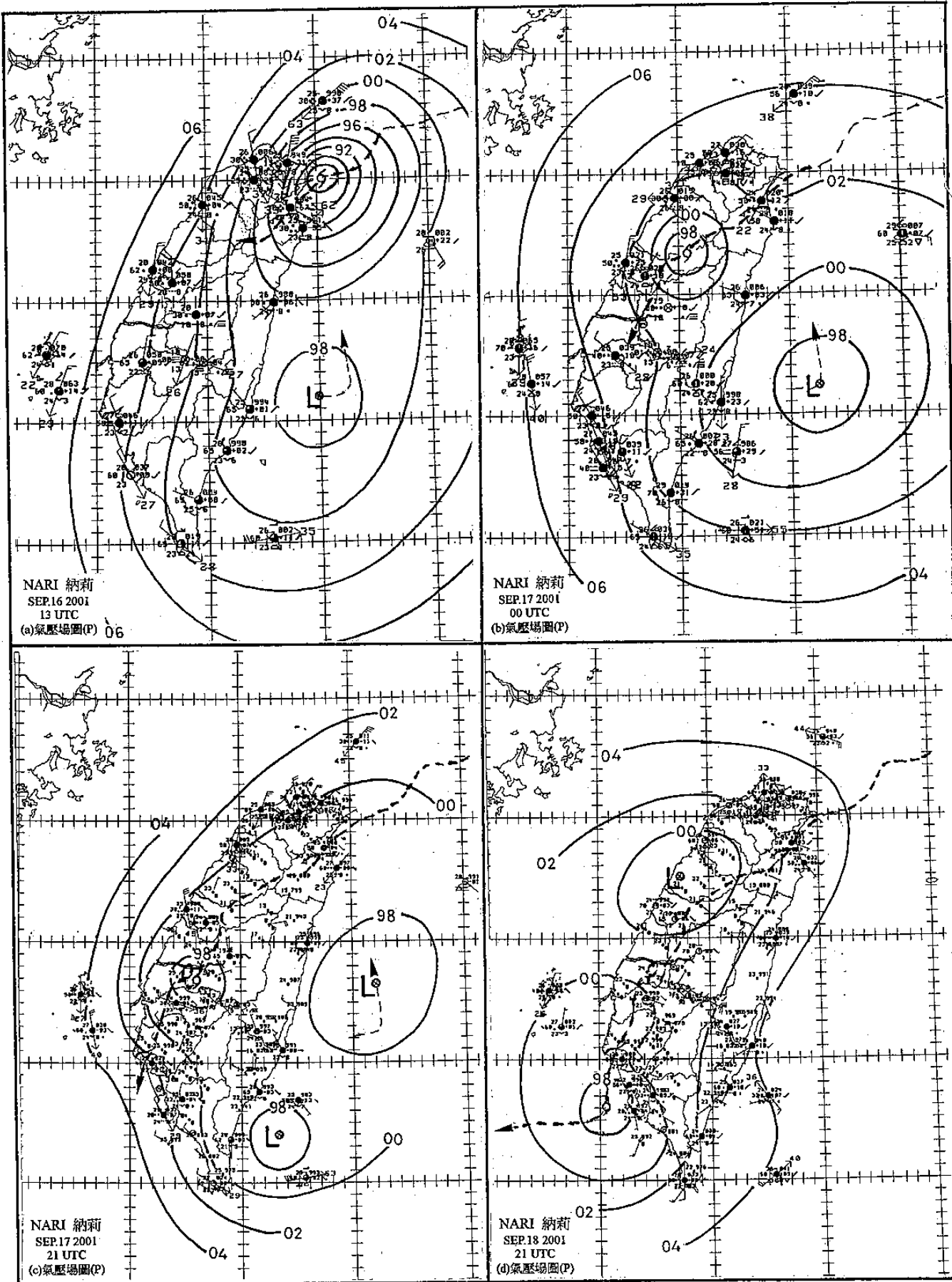


圖 6 2001 年 9 月納莉(Nari) 颱風侵台期間各階段之颱風詳圖。(a)16 日 13 UTC，(b)17 日 00 UTC，(c)17 日 21 UTC，(d)18 日 21 UTC。注意：此處認為副低壓環流已反客為主，將主中心包含於其中，並受副中心環流導引而南行。

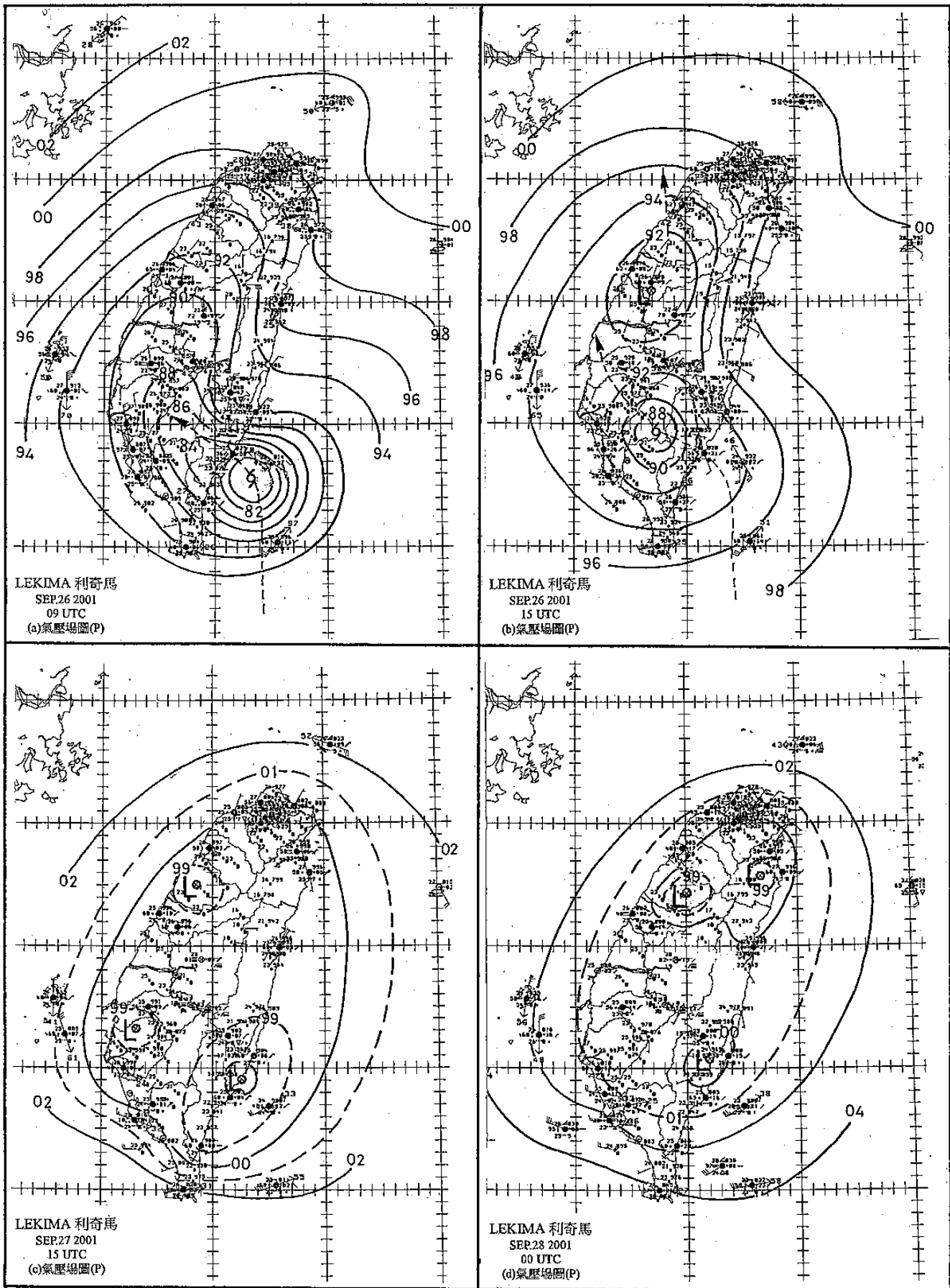


圖 7 2001 年 9 月利奇馬(Lekima) 颱風侵台期間各階段之颱風詳圖。(a)26 日 09 UTC，(b)26 日 15 UTC，(c)27 日 15 UTC，(d)28 日 00 UTC。注意原中心有過山，但仍為新竹以南之副中心所取代。

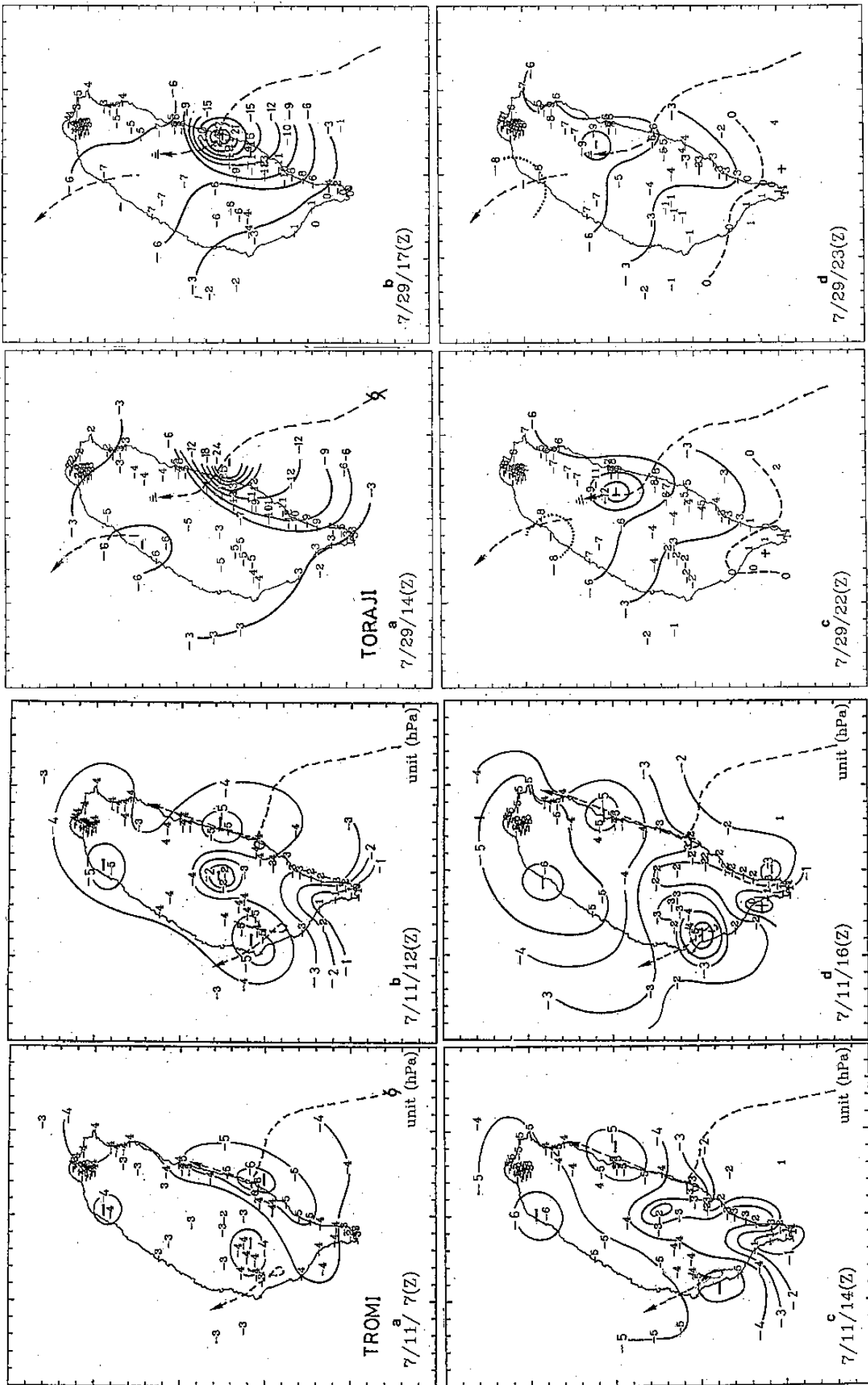


圖 8 2001 年 7 月潭美(Tromi)颱風主中心遇山動態變化與高雄區副渦旋動態變化在 24 小時  $\Delta P$  圖中之顯示。(a)11 日 07 UTC, (b)11 日 12 UTC, (c)11 日 14 UTC, (d)11 日 16 UTC。

圖 9 2001 年桃芝颱風遇山動態變化, 最後並為新竹之南副中心所取代之 24 小時  $\Delta P$  圖中之顯示。(a)29 日 14 UTC, (b)29 日 17 UTC, (c)29 日 22 UTC, (d)29 日 23 UTC。

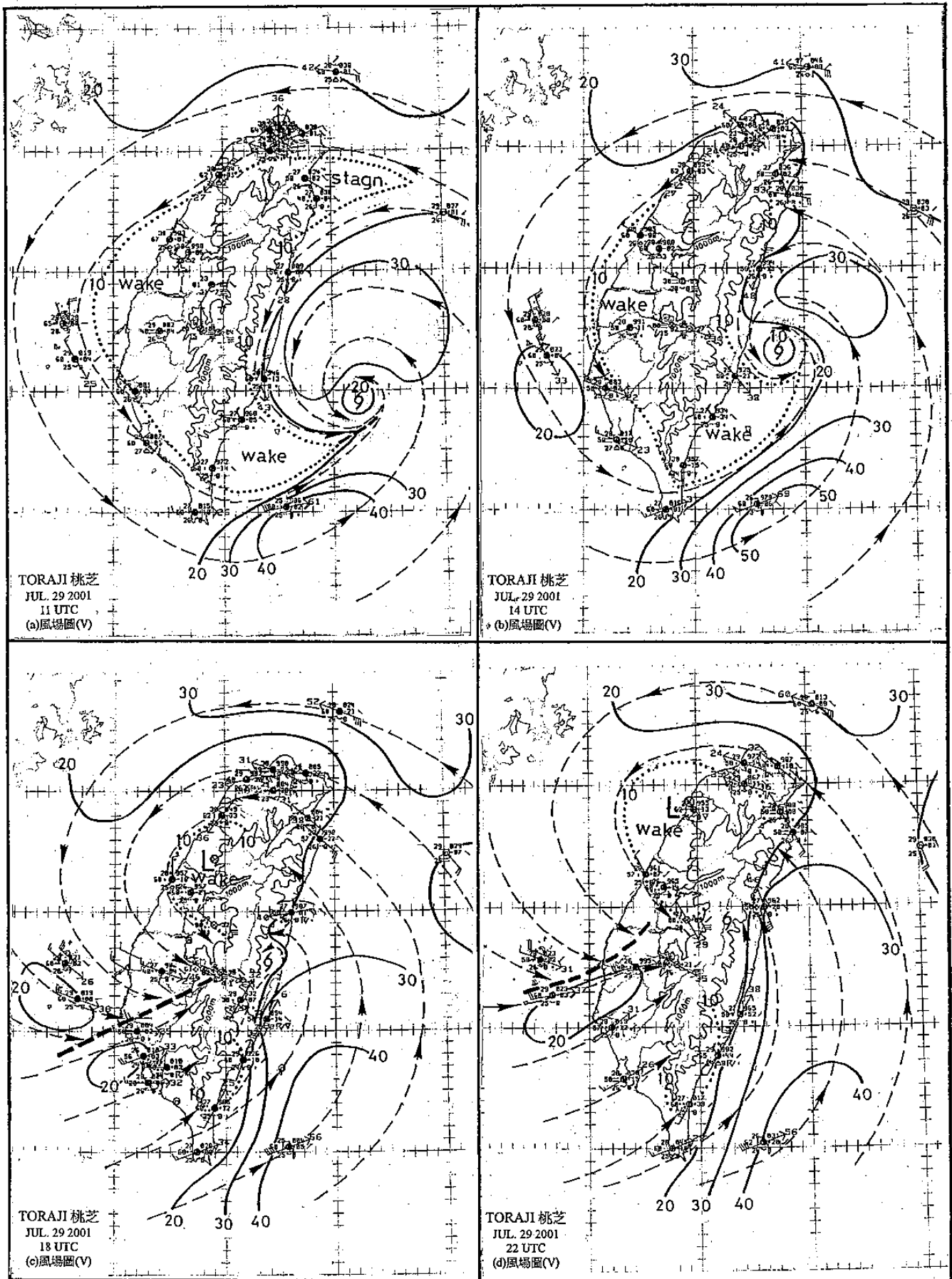


圖 10 2001 年桃芝颱風侵台時各重要階段之風場分析。(a)29 日 11 UTC·(b)29 日 14 UTC·(c)29 日 18 UTC·(d)29 日 22 UTC。

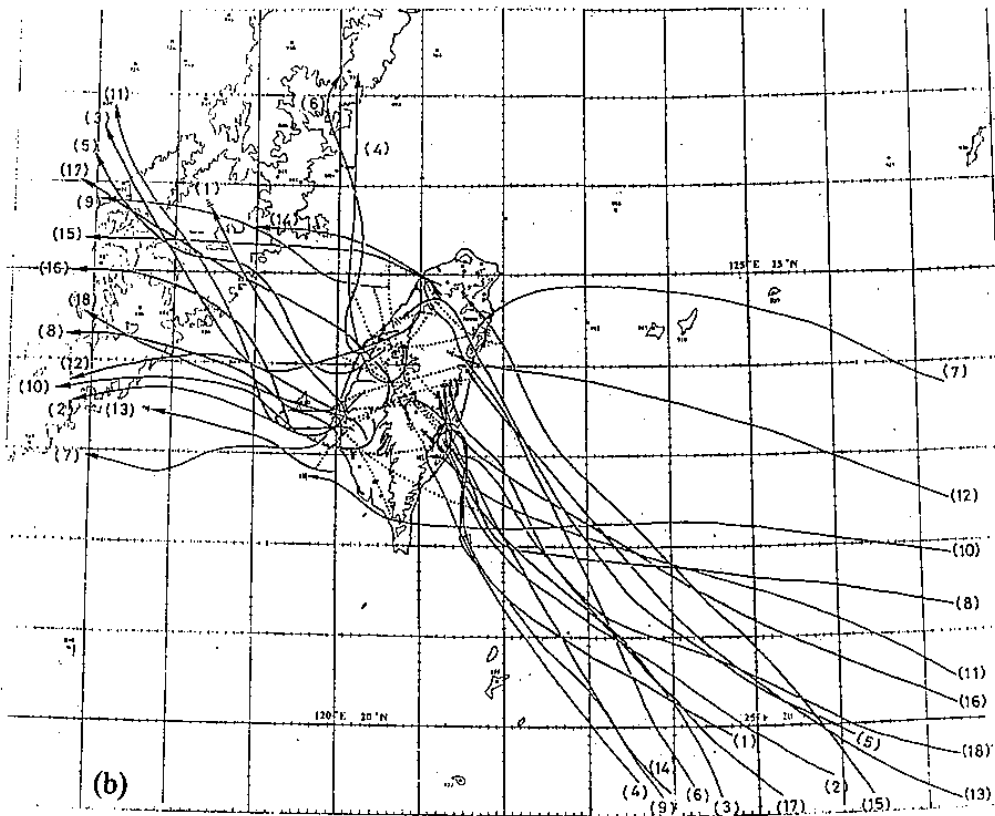
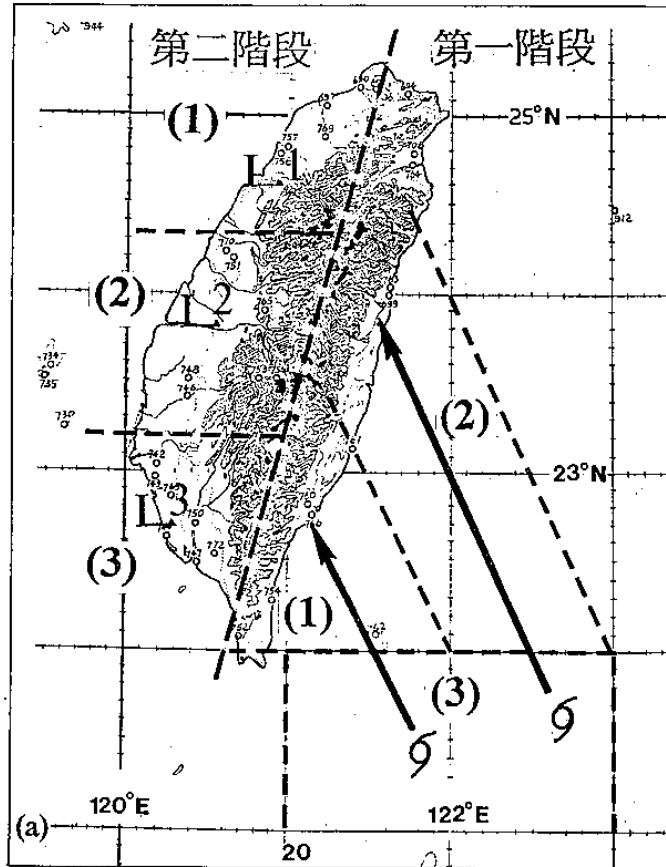


圖 11 1949-1996 年所有侵台分裂颱風路徑變化分析。(a)路徑變化模式，含發生之區域及原颱風移向特徵。(b)實例。此處所分析之潭美、桃芝、利奇馬颱風均為山脈西側分裂中心取代原颱風中心者(圖 4、5 及 7)。



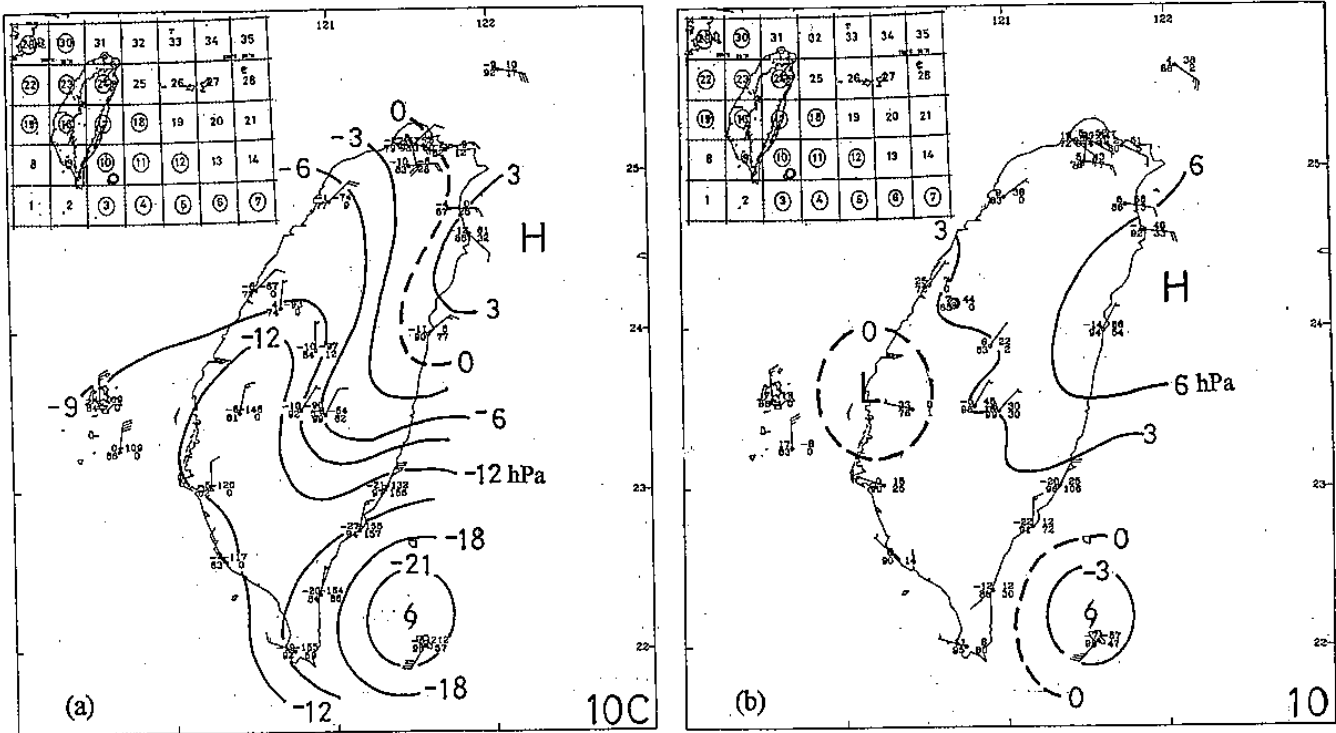


圖 12 主颱風在附圖第 10 方格中(1 個經度 × 1 個緯度) (a)自由過山颱風(27 次資料)與(b)分裂過山颱風(64 次資料)分別所求得之合成等壓線距平圖特徵。注意：不但在副中心處等壓線距平型式與自由過山者不同，而且各氣象因子分布亦為不同(圖中溫度與氣壓為距平值)。(Peng, 2001)

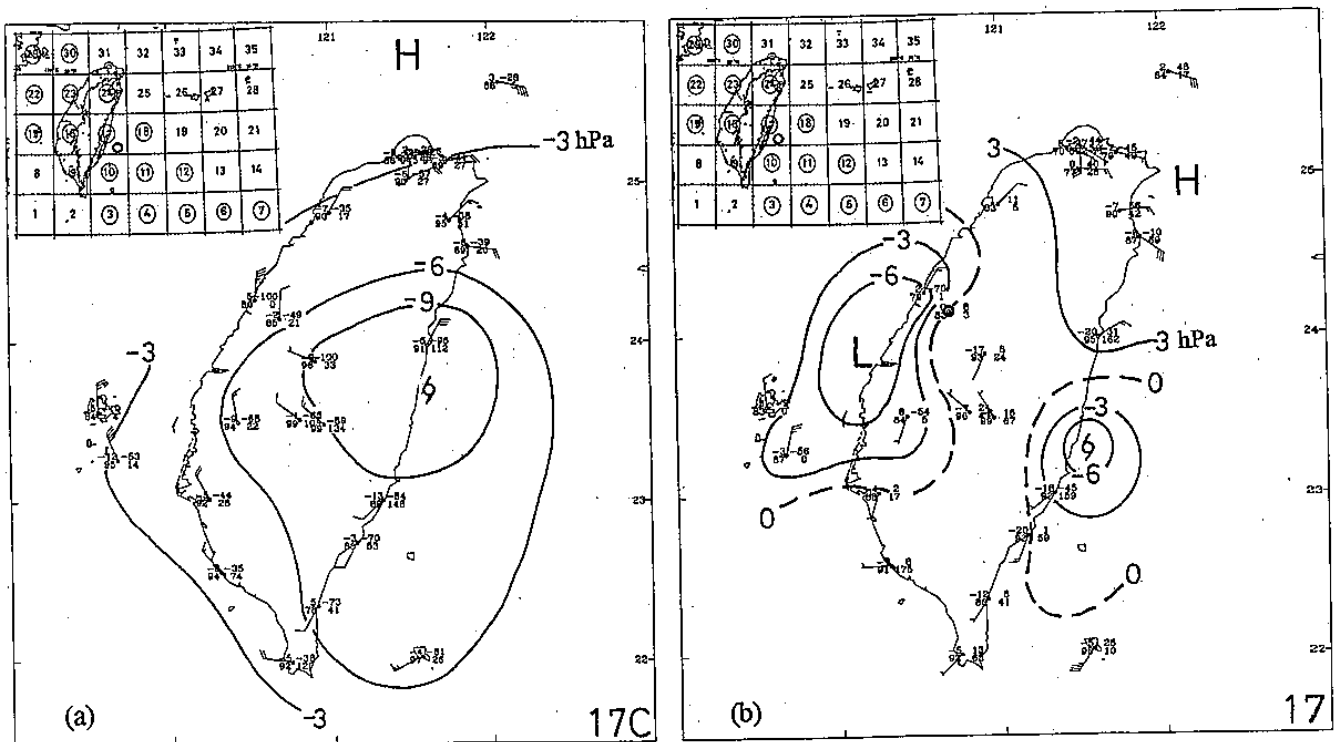


圖 13 同圖 12，但為在第 17 方格中之情形。本圖與圖 12 均指出分裂與自由過山颱風氣壓場之不同。因本報告中所引用之潭美、桃芝、利奇馬颱風均屬分裂型者。(Peng, 2001)

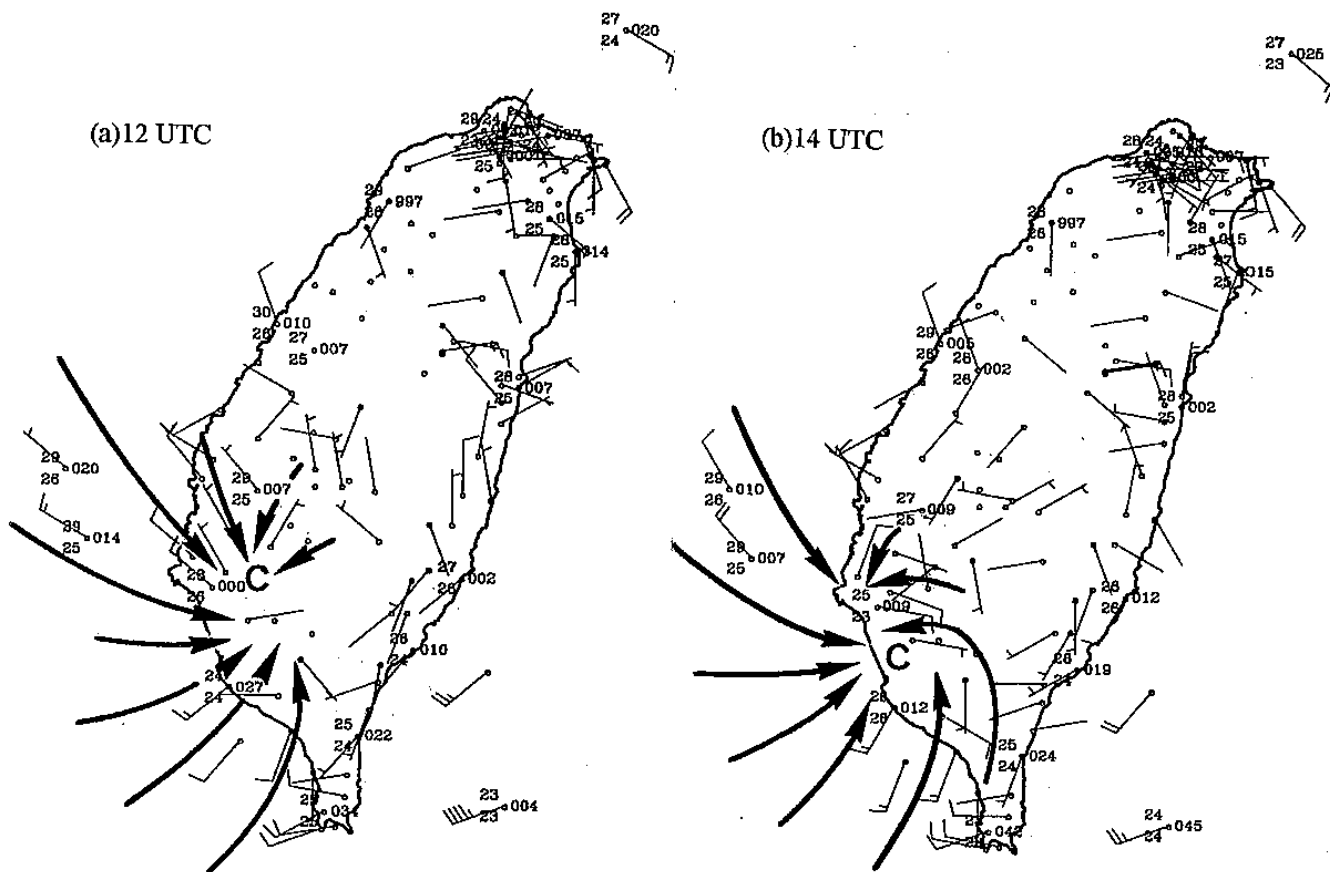


圖 14 2001 年 7 月 11 日 12、14 UTC，潭美颱風侵台期間，高雄區中尺度渦旋中心出現時之流場圖。(a)12 UTC，(b)14 UTC。

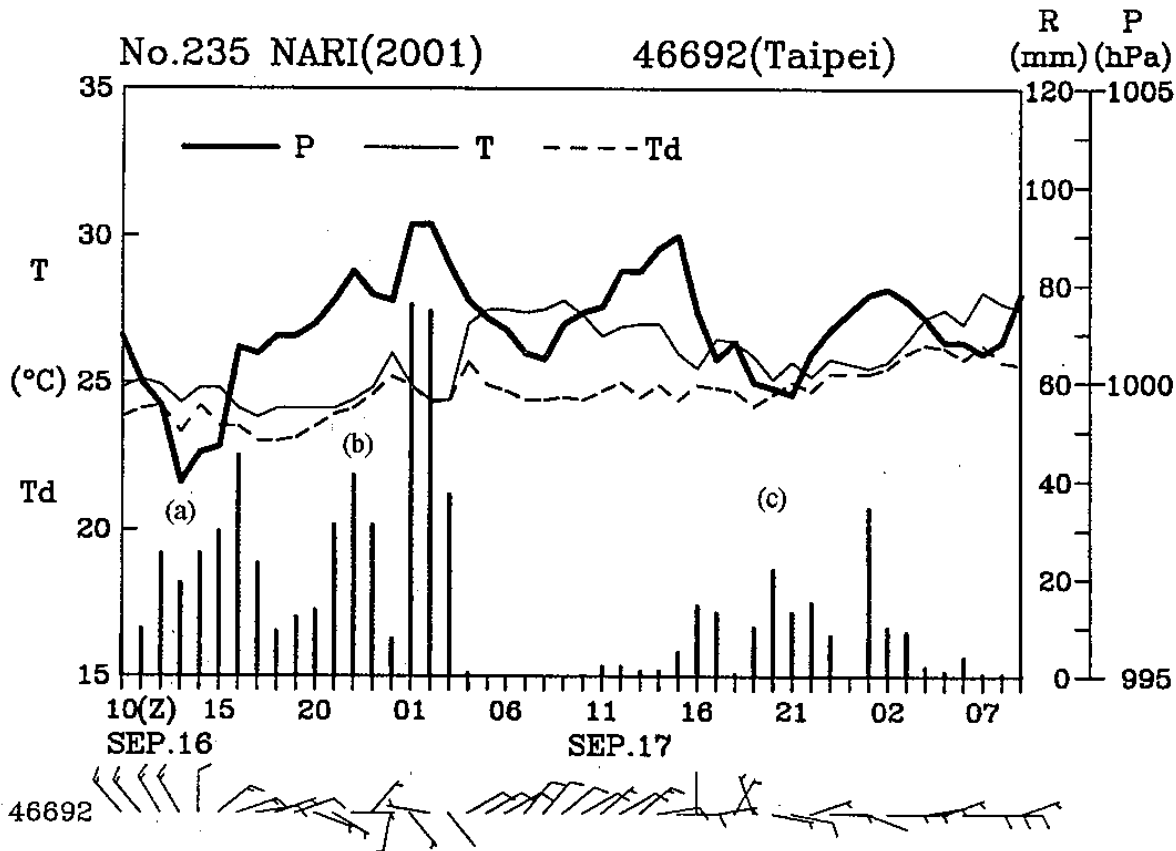


圖 15 2001 年 9 月 16 日 10 UTC 至 18 日 09 UTC 納莉颱風過境期間，台北氣象站之逐時雨量、氣壓、風向、風速及溫度與露點分布圖。其中降雨略可分如圖之(a)、(b)、(c)三階段。

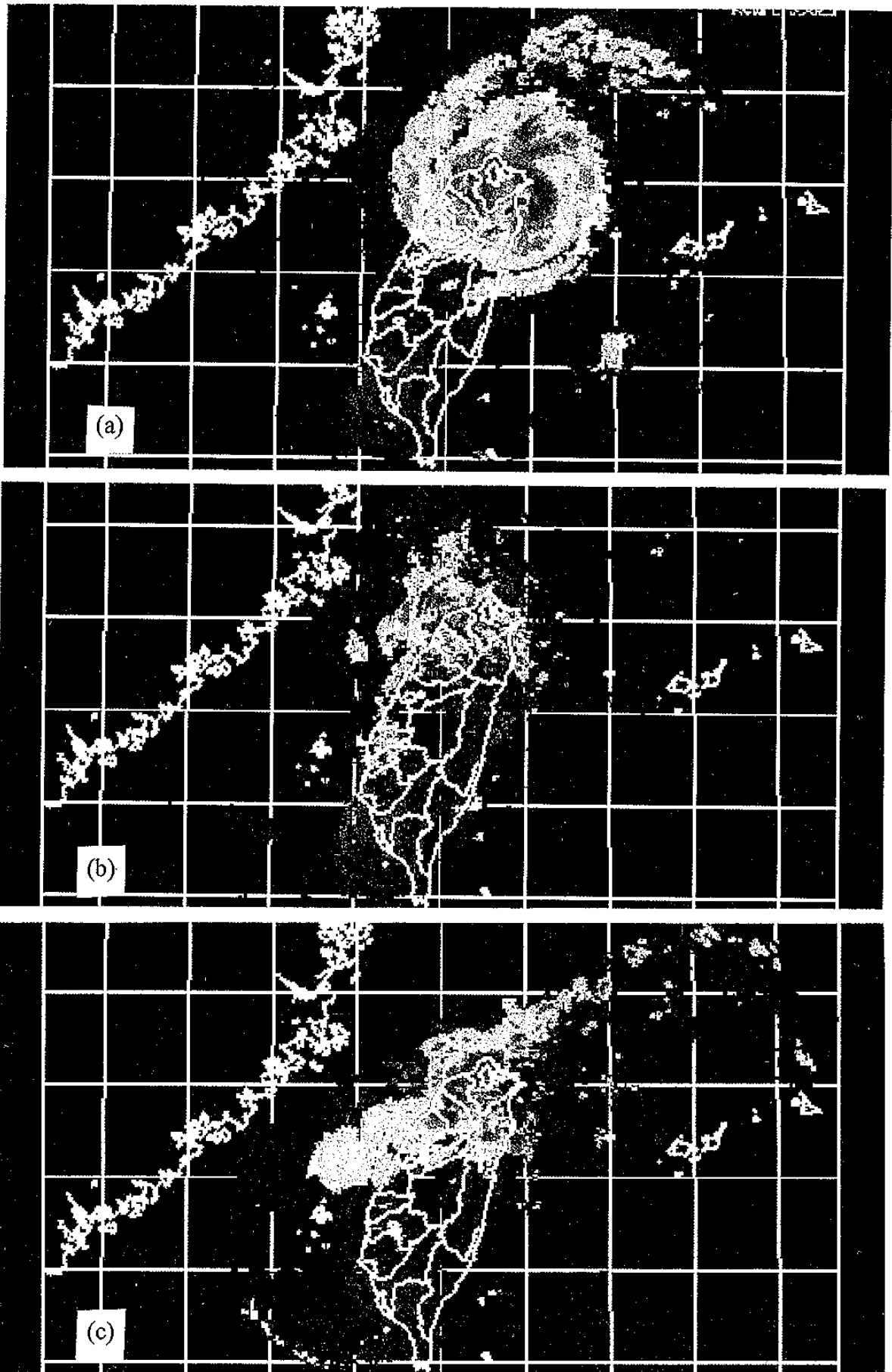


圖 16 2001 年 9 月納莉颱風過境，雷達合成回波圖所見台北區三階段之豪大雨發生時之型式。(a)9 月 16 日 14 UTC，(b)17 日 00 UTC，(c)17 日 21 UTC。

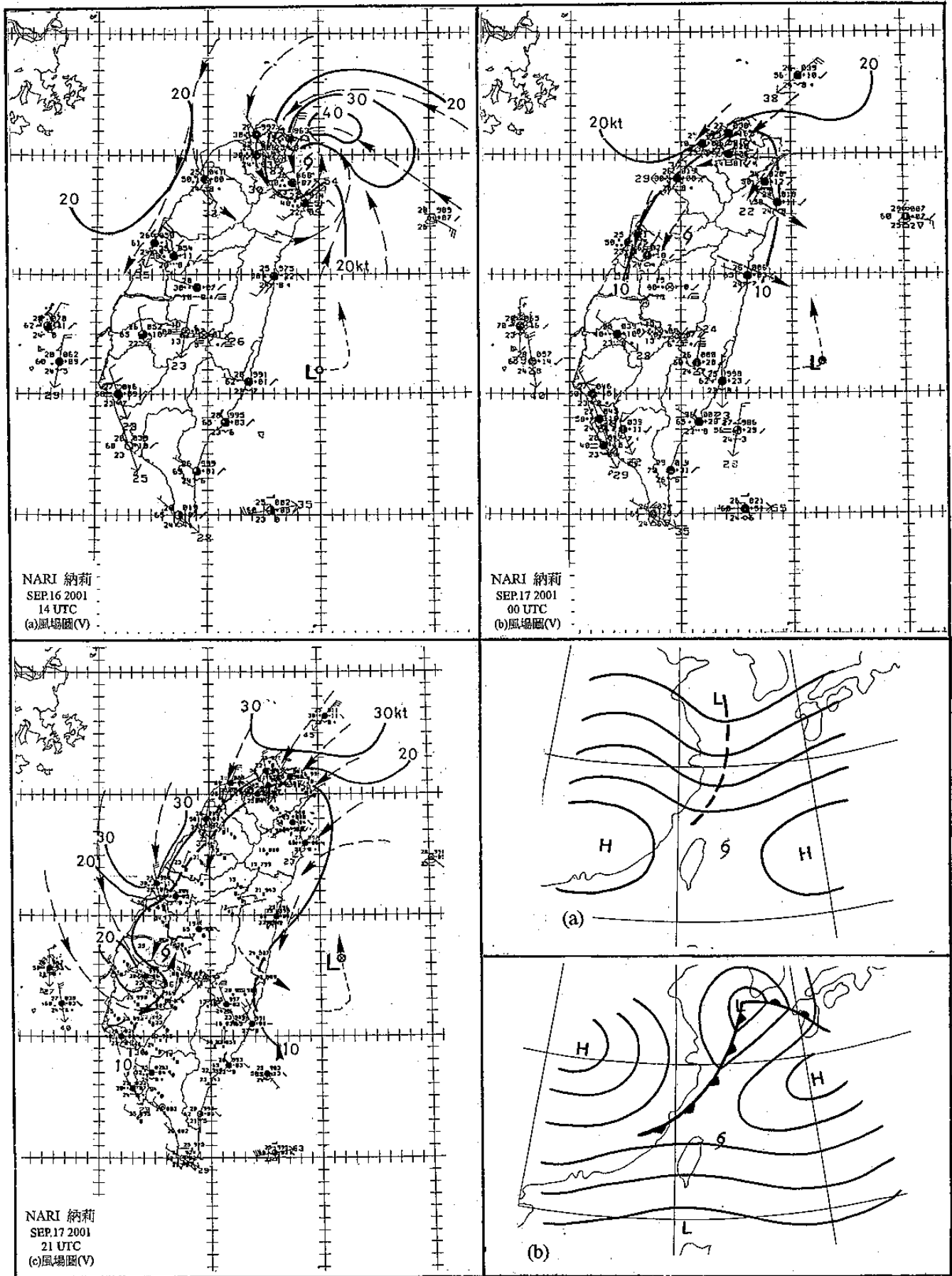


圖 17 同圖 16(a)-(c)，但為流場分析圖。圖中實線為等風速線(kt)，附有箭頭的虛線為氣流線。

圖 18 台灣區「秋颶」活動期間之(a)700 hPa 高空流場模式圖，(b)地面流場模式圖。