

侵台颱風環流中焚風現象之預報問題討論

——台灣地區颱風預報輔助系統建立研究之一——

謝信良 王時鼎 鄭明典

中央氣象局

摘要

本文係根據 31 次台灣各地具有焚風現象之颱風個案，利用統計驗證(empirical)方法所作颱風侵襲時台灣中央山脈東、西兩側各地焚風預報研究。結果顯示，台灣山脈東側各地有最著之焚風，花蓮、成功、台東、大武均可出現，而山脈西側，主要僅限台中與新竹。各地焚風出現之預報因子為颱風中心位置、強度(中心最大風速)與風力半徑。藉此處所設計圖表可作出上述各地於颱風侵襲時，焚風有、無，持續時間及焚風強度(以溫度值表出)之預測。颱風環流中焚風現象基本上為山脈迎風面出現有「非阻擋流制」(unblocked flow regime)時，亦即 Froude number 值較高時之山脈背風面流場現象，但對中央山脈西側而言，因山脈坡度與型式不同，且有頗大平原，發現其發生並非單純；可發現地面日中輻射增溫與夜間長波輻射冷卻等非絕熱因素亦扮演重要角色。文中並作出重要颱風示例，中央山脈東西兩側受颱風環流影響之焚風型式模式圖亦經作出。

一、前言

台灣因有平均高達三千公尺之中央山脈縱貫其間，且在颱風侵襲下，由於山脈背風面每造成強大之下坡流，致產生顯著焚風，特以台灣東部因颱風焚風造成之損失時有所聞。例如民 70 年 6 月 13 日一中度艾克颱風經過台灣北海面，在宜蘭地區誘發焚風，因時值一期水稻孕穗至抽穗期，僅數小時之中度乾熱風，使得數千公頃稻田發生白穗，損失近億元(郭、楊，1982)，而台灣東部坡地上之茶園、果園亦時因焚風，造成頗大損失，故對焚風之研究及準確預報有其重要意義。台灣颱風環流內之焚風為山脈迎風面有「非阻擋流」(unblocked flow)時，亦即有中度以上 Froude number(Fr)($Fr \geq 0.5$ ，Lin，1994)時山脈背風面的流場特徵，故在預報上關鍵問題為山脈迎風面上坡流之流速須大於某一值(可參見表 1)；但可發現山脈西側之焚風在低 Fr 時，亦即山脈東側氣流迎風面為「阻擋流制」(blocked flow regime)控制下時亦可發生(此時地面層上有「滯留區」(stagnation zone)與「氣流分流」(flow splitting)為其特徵，此可參見 Smolarkiewicz and

Rotunno(1989、1990))；又焚風亦可因山脈背風面重力波效應而產生(Hoinka，1985；洪、胡，1989)。故推想台灣颱風環流內之焚風預報並非單純。有關颱風環流內實際焚風分析研究過去就所見者有郭、楊(1982)、Liao(1979)與王(1992)等。焚風為乾而熱的空氣，由於其密度較其四周空氣者為輕，故即使被迫下降，仍可因其本身之浮力，而反抗其下沉，致有時山脈背風面雖有下沉效應，但在地面層上仍無法作出其觀測。本文第二節為討論資料與研究方法。第三節為台灣東部與西部颱風來襲時焚風有、無與持續時間長、短預測問題討論。第四節為颱風侵襲期間台灣各地焚風發生時之強度預測問題。第五節山脈東、西兩側焚風現象發生之重要性討論。第六節為作焚風預報時天空狀況上應注意之處，因山脈東、西兩側，此項因素之重要性均為不同。第七節為結論。

二、資料及研究方法

本文係根據 31 次台灣各地具有焚風現象之颱風觀測個案，利用統計驗證(empirical)方法所做颱風侵

襲時各地焚風現象之預報研究。因我們有頗為完整之颱風侵襲時各地氣象自記紀錄資料，焚風發生時通常均可自該資料中察出。一般為溫度突升，露點(或相對濕度)劇降，其程度各有不同，故必須將焚風發生分為等級。此處係將溫度變化分為 6 級以 1、2、3、……表示之，每一等級為升 2 °C(以 28 °C 開始)，溫度露點差(T-Td °C)亦同，惟變化範圍更大，可達 20 °C 及以上，分別以 a、b、c……表示之，各見表 2 中之附表所示，又表 2 為上述 31 次個案中 18 次較顯著焚風之例。本文預報研究，以颱風侵襲時曾有一地因焚風所造成溫度到達 34 °C 以上，T-Td 差達 10 °C 以上者(即 4d 級以上)為主要取樣依據。其研究方法至為單純，因我們有 1949 年以後每小時之逐時颱風路徑圖，其中含中心最大風速值(kts)及大風(≥ 30 kts)半徑(km)值，故可逕將各地合於焚風條件者，依照其焚風強度不同直接填繪於路徑圖中，即可求得颱風路徑、中心強度與風力半徑(此屬先決條件)與各地焚風發生久暫及其強度之關係。另一與颱風環流內焚風有關但為偏重理論的問題，即：颱風過山時，在「非阻擋流制」(unblocked flow regime)下，氣流才能爬越山脈，此又與 Froude 數(Froude number, $Fr=U/NH$)有關。式中 U 為過山之氣流強度(m/s)，N 為 Brunt-Vaisalla 頻率(S^{-1})，H 為山脈平均高度。式中分子表示層流(stratified flow)之動能，分母表示層流之位能。兩者比值為 ≥ 0.5 時常為層流爬山之最低條件。 < 0.5 亦即為「低 Froude 數」，氣流僅可繞山。一般情形因山脈迎風面探空資料難求，均假定 $N \approx 0.01 S^{-1}$ (例如：Lin, 1994)，如此即可約略估計 Fr 數之大小。表 1 中上游正對山脈之風速臨界值，則以上述 N 之值求出。故實際言，上述颱風各因子與一地焚風關係則隱含 Fr 數大小在內，此並可以焚風發生處山脈上游正對山脈之風速值以核對之，而且必須在「非阻擋流制」下才有可能，但實際情形，則較複雜。例如台灣西部之颱風焚風，在「阻擋流制」(blocked flow regime, 亦即氣流過山 $Fr < 0.5$ 時)時，亦有發生。因西部可發現，即使在颱風侵襲期間，風力較小，天空非為密雲，故日中輻射增溫與夜間長波輻射冷卻均扮演相當關鍵角色，詳見主文。

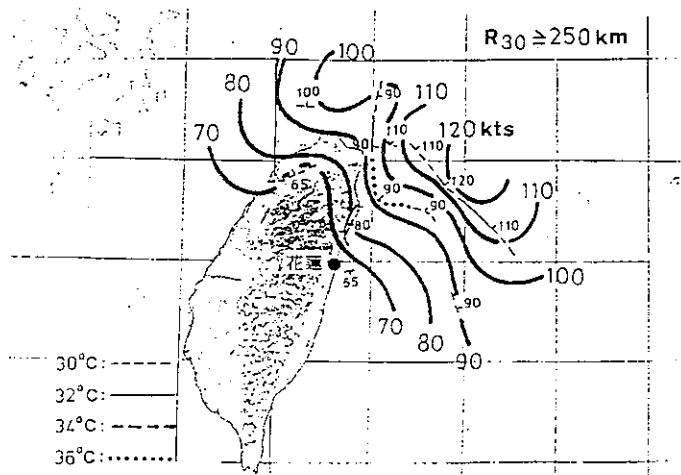
三、顯著焚風發生與侵台颱風中心位置、強度及風力半徑之關係——焚風有、無與持續時間之預測

(一)台灣東部

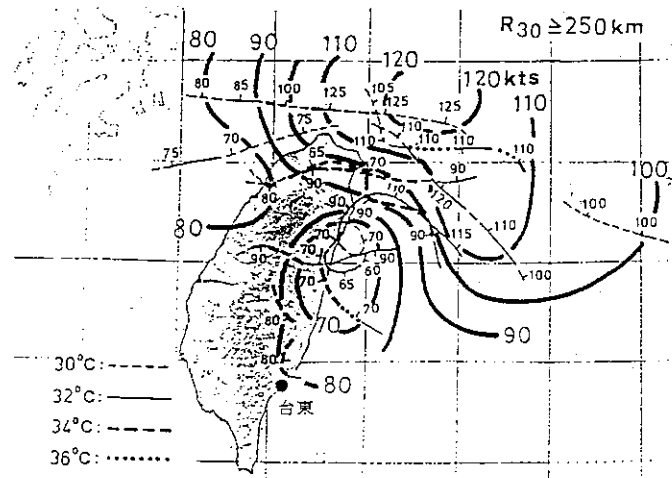
此可參見圖 1a ~ d。由圖可見，無論花蓮(圖 1a)、成功(圖 1b)、台東(圖 1c)、大武(圖 1d)，發生顯著焚風之颱風中心位置係均在台灣北部至台灣東北部近海一帶。所不同者，發生焚風之地區愈偏南，颱風中心位置可擴展至愈為偏西。例如成功、台東與大武發生焚風時，颱風中心可擴展至台灣海峽北部一帶，因此時台灣東部成功及以南將有更著之背風槽效應(圖 5)，亦即更著之焚風效應之故；以及造成焚風之颱風中心位置在山脈東側已可偏至 24° N 以南。一般言中心在該測站位置半個緯度以北即可。由上述各圖均可見颱風進入該各地所定之區域時，即可見有焚風產生，迄至颱風中心移出該圖示之範圍之外為止。

又由各圖可見各地焚風發生與颱風中心強度(以最大風速值表出)及所在位置亦有一定之關係。一般言，如颱風中心距各測站愈遠，則必須颱風中心強度愈大，各地方可望有焚風，由圖 1a 與 b 均可見出(圖中之等值線係以近中心之最大風速值表出)。因顯著焚風個案不多，但由圖仍可見有其應用價值。該圖為颱風強度最低值臨界值分布，如該區颱風之強度小於該值時，可不作將發生焚風之預報。如中心強度之值愈大，各地之焚風發生預測之信心(confidence)亦愈大。

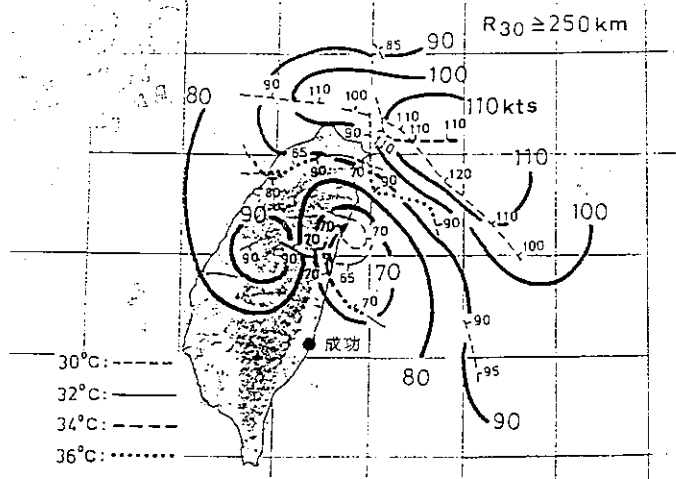
各地焚風發生與颱風大風(30 kts)半徑之關係，由此處之調查，一般言，大風半徑之最小極限值為 250 公里。各地均無例外。例如：1960 年 7 月 22 日 22 UTC 所示 TRIX 之大風半徑僅 200 公里，山脈東側未見有焚風發生，反之 GLORIA 颱風中心出現位置略同，但半徑為 350 公里，致台灣東側焚風顯著(圖 6)。必須說明，此項數據與中心最大風速值之數據，未必一定均為可靠。但再次說明者，中心臨近台灣之颱風大風半徑之值，在颱風預報專家系統第二年



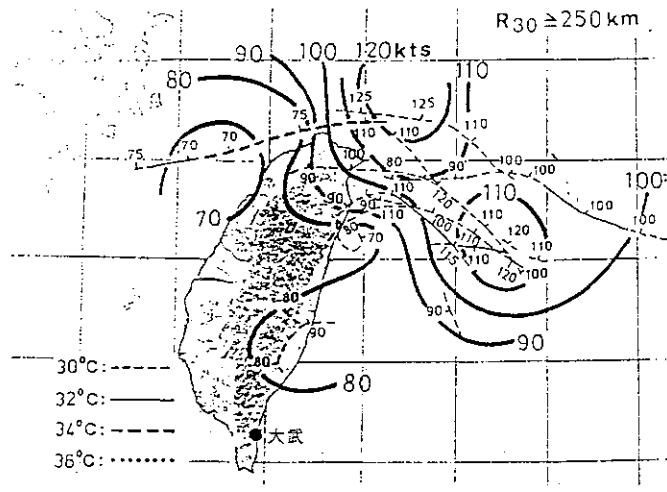
(a)花蓮



(c)台東



(b)成功



(d)大武

圖1 台灣東部出現顯著焚風時與颱風中心位置、強度(kts)及30 kts風風力半徑(公里,見右上角)等之關係圖,藉圖可供東部各地是否可發生顯著焚風之預報參考。圖中並附各地發生焚風時各颱風之最大風速(kts)資料。

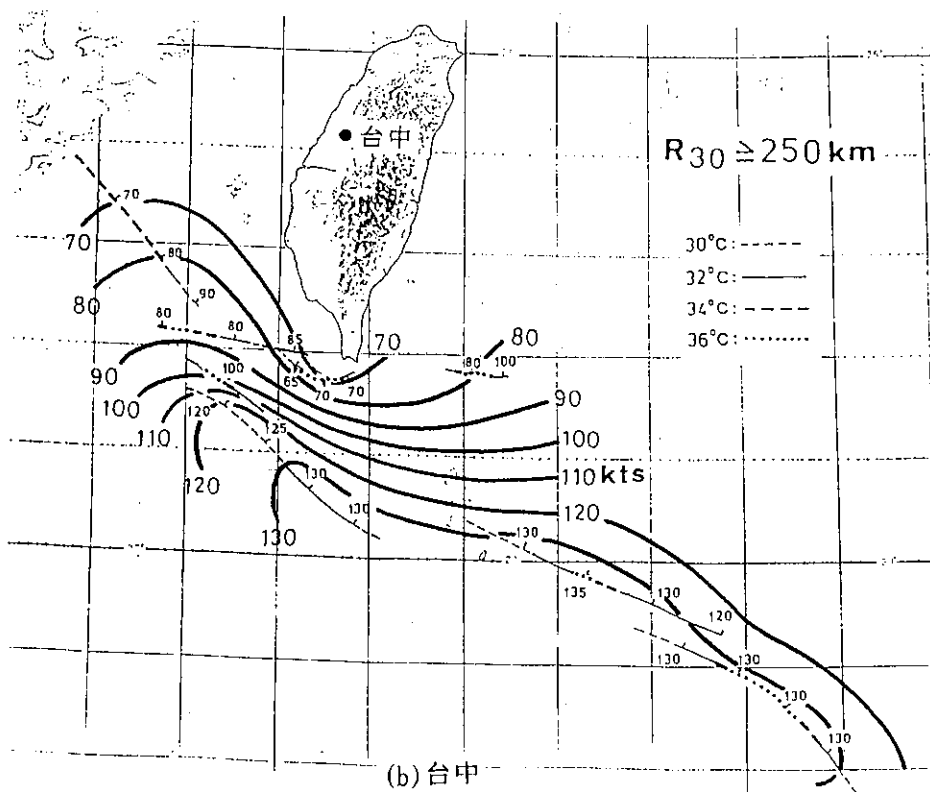
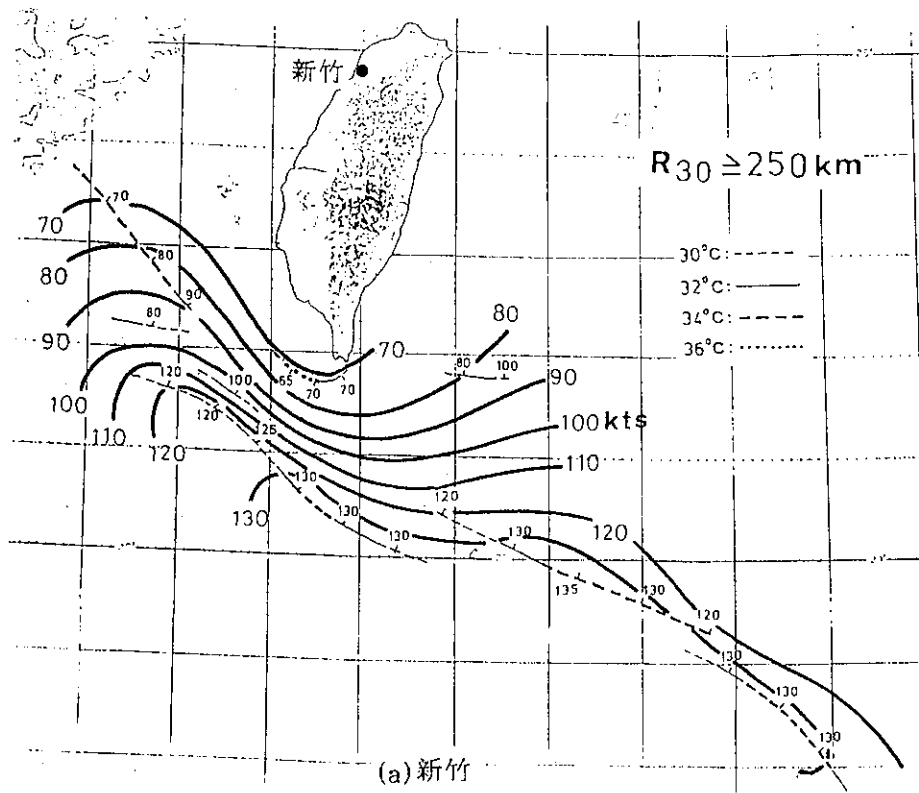


圖 2 同圖 1，但為台灣西部各地者。

(蔡、王、林，1993)計畫中，已經由對日本歷史天氣圖之調查，作過修正。

以上所述對圖 1a~d 之討論，可供台灣東部，因颱風侵襲，是否將有焚風「發生」及持續時間預報之參考。

(二)台灣西部

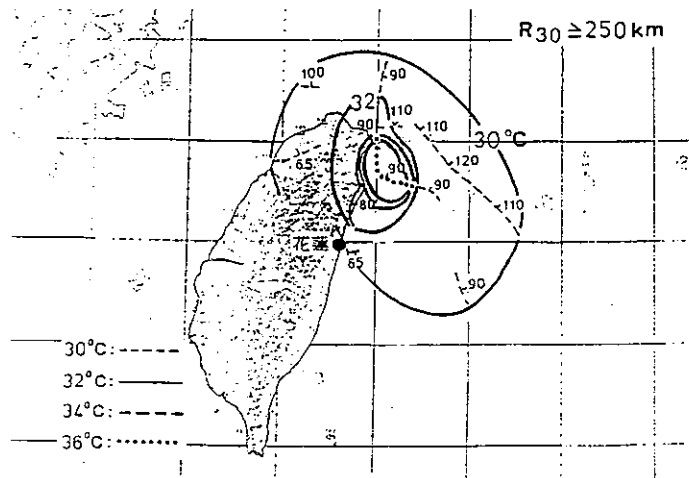
此可參見圖 2a。一般言，西部焚風發生之預報遠較東部為複雜。此在蔡、王、鄭(1995)中，已有討論。即：颱風中心位置雖在某地將會出現焚風之區域範圍中，但仍不能預報其必有，因如在夜間，長波輻射冷卻(此時主要雲系經調查常僅出現高層卷雲或無卷雲而僅有層積雲、層雲，且均非在密雲時，故仍可允許長波外射)，仍可充份抵銷氣流過山下沈所造成絕熱壓縮之增溫率(可參見圖 7，1968 年 WENDY 颱風過境時台灣西部各地所示之溫度與相對濕度自記紀錄，另外其他颱風之例略去)。此亦即言，尚必須考慮是否係在白天，因日射增溫(經調查通常下沈區主要均非為密雲)，更可增強焚風效應也。由此處各圖均可見，台灣西部各地發生焚風必須颱風中心係經巴士海峽並西行。而且亦同台灣東部各地，颱風中心愈遠需要颱風強度(以颱風中心最大風速值表出)愈大，圖中颱風中心在 123° E 以東海面時，台灣西部亦可出現焚風形式之高溫。此主要為較強颱風外圍之下沈區已影響本區，且同時有山脈背風面氣流沈降之影響之故。又由圖 2a、b 均可見，就山脈西部言：新竹與台中，為最多之焚風發生區域；嘉義、台南出現頻率遠為小；高雄僅有強颱風外圍下沈效應所造成之「焚風」，因此時仍有山脈背風面氣流沈降作用因素包含在內，故仍稱焚風。

有關風力半徑之影響，由圖 2a、b 可見，大風(30 kts) 最小半徑仍須在 250 公里以上。但可發現，颱風中心愈遠，其需要之風力半徑為愈大(見圖 1a、b)。

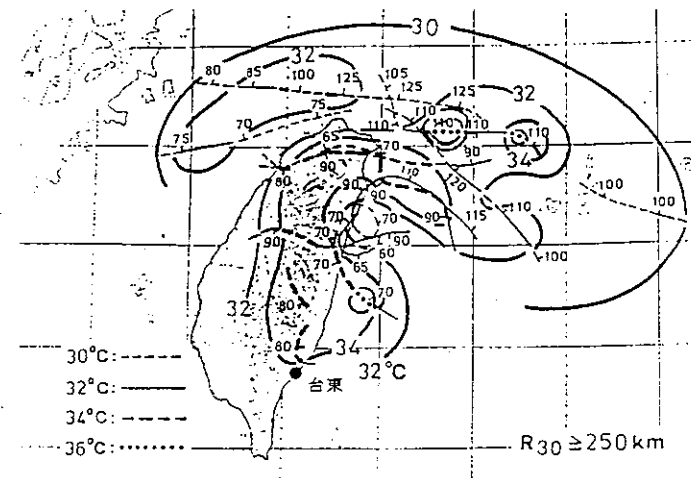
四、颱風侵襲期間焚風發生時之強度預測

(一)台灣東部

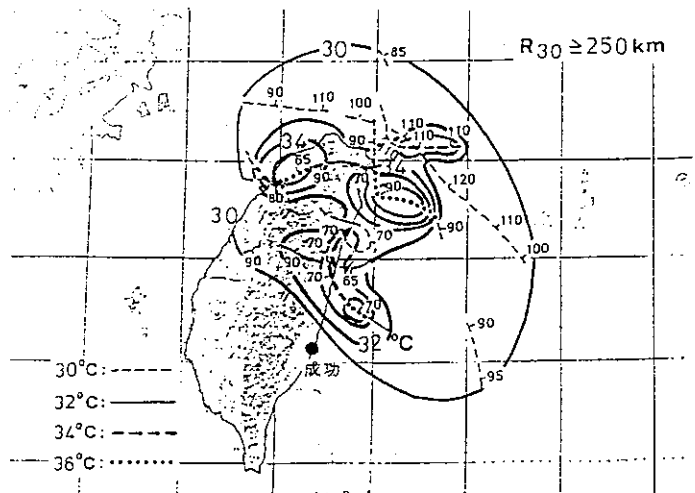
此可參見圖 3a~d 與表 1。由圖 3a~d 均可見各地出現之焚風強度，係與颱風中心位置分布有一定之相關。一般言颱風中心約在該測站東北方一個緯度左右時，有最大之焚風強度，僅大武者略有不同(參見圖 3d)。各地焚風發生強度大小有頗大不同，最大為成功，可達 38 °C 以上，花蓮與台東為 36 °C，大武最低為 32 °C 附近。其因素可藉表 1 以說明，藉表可見由歷年紀錄各地因颱風造成高溫值(焚風)，以成功與台東最高，花蓮最低(表中第(1)項)。但以其上風面山脈高度言，即以花蓮為最高，約及大武之三倍(3000 m : 1000 m)(表中第(3)項)。如以標準焚風之產生，氣流先為爬山，而後下降至地面層來算， $Fr \geq 0.5$ 時已可滿足。如此上游方向地面層之風，見表中第(2)項，花蓮上游方向應為 30kts，依次成功為 25 kts、台東為 20 kts、大武為 15 kts。如以乾、濕絕熱降(升)溫率，再考慮爬降山脈高度所得之地面溫差，即以花蓮者最大(表中第(4)項)。乾絕熱降溫率與一般大氣降溫率(0.6 °C / 100 m)比較，可代表焚風產生最高溫度與周圍大氣溫度之較差，其值見表中第(5)項。又表 2 中焚風發生之前與焚風最強時七次東部個例，平均溫差見表中第(6)項，最大溫差見表中第(7)項。比較(4)、(5)、(6)、(7)項，除花蓮外，均略相若。此指示，以花蓮西側山脈之高度(3000 公尺)，颱風焚風之發生已相對減小，且發生強度亦較弱(參見表 1 中(1)、(6)與(7)項)。又如為爬山氣流，表中第(2)項由 $Fr=0.5$ 所求得各測站上游山脈西側之臨界風速可供預報之參考。此臨界風速值，就此處所分析之七例(表 2)，略均滿足。即：無視於颱風之風力結構，僅須預報山脈西側各測站上風面有無可能到達表 1 第(2)項之風速值，即可預報東部各測站是否可能出現焚風。由此處討論，東部因颱風氣流所引發之焚風強度而言，成功與台東兩地為最重要(參見表 1 與圖 8a~c 之焚風模式圖)。



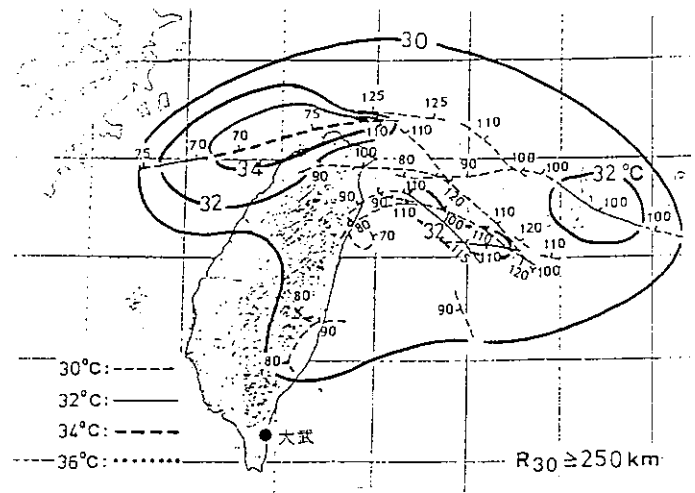
(a)花蓮



(c)台東



(b)成功



(d)大武

圖3 台灣東部各地焚風發生之強度(°C)與颱風中心所在位置與強度(kts)關係圖,藉供各地焚風觀預報之參考。圖中並附實際颱風個例與其中心強度(kts)及其焚風之強度值(見圖中之粗、細斷線及點線,並參見圖例說明)。

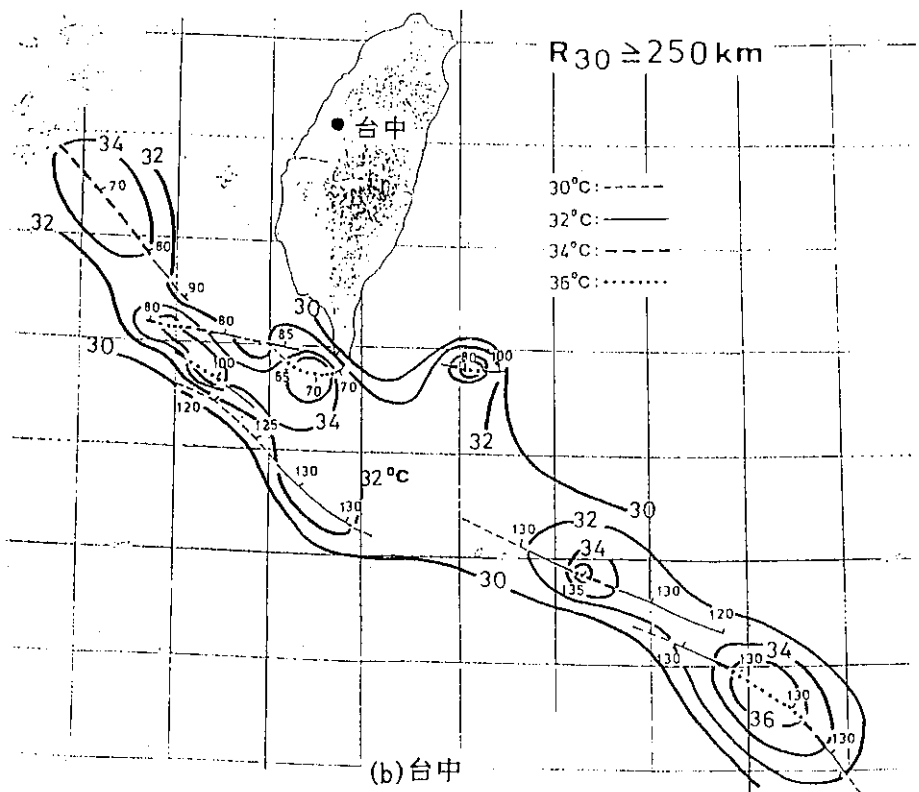
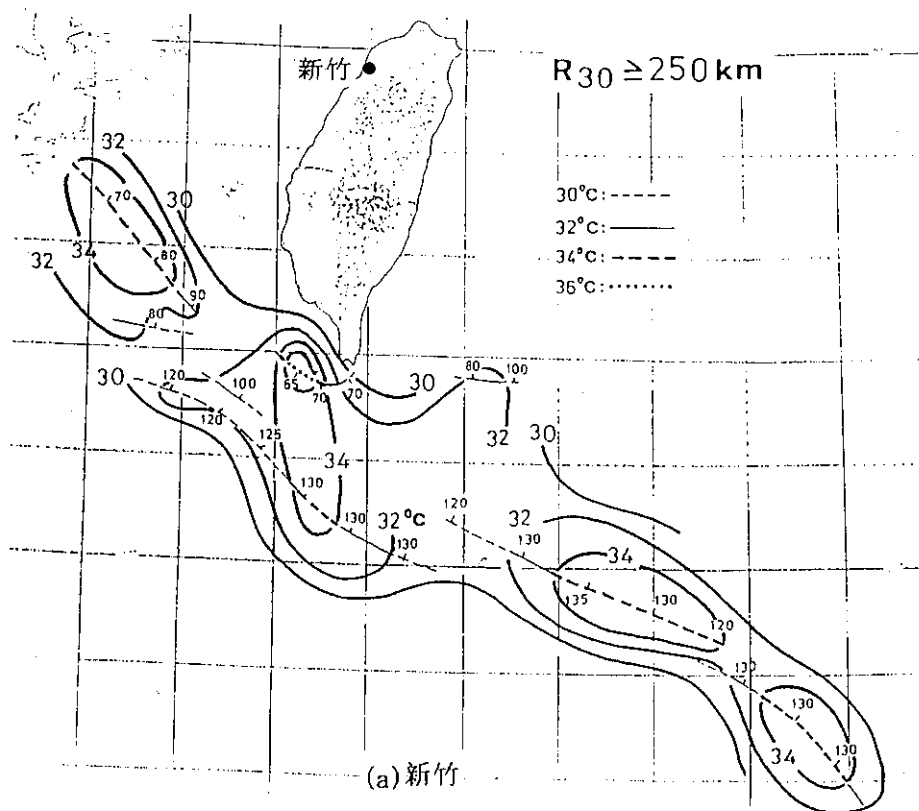


圖 4 同圖 3，但為台灣西部各地者。

表 1 台灣中央山脈東側各地絕對最高紀錄與焚風發生之臨界風速，以及所造成溫度差特性值。

項 目	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
	歷年所見絕對最大溫度值(°C)(颱風時)	上游風速臨界值 * (kts)	平均山高(H) (m)	濕絕熱(0.5 °C/100 m)與乾絕熱降(升)溫率差值(°C)	乾絕熱(1 °C/100 m)與一般大氣降(升)溫率(0.6 °C/100 m)之差值(°C)	焚風時最高溫度減去未發生時者(°C)	
						△T _干 **	△T _{max} **
花蓮	36.0	30	3000	15	12	7	11
成功	39.1	25	2500	12	10	8	11
台東	39.0	20	2000	10	8	9	11
大武	37.6	15	1000	5	4	5	8

* 該值係利用 Froude 數, $Fr=(U/NH)=0.5$ 時, 所求得之 U 值(山脈上風面正對山脈之風速值), 式中各地高度(H)值如表所示, N 以 10^{-2} 秒⁻¹ 為據, (參見, Lin, 1994)。

**△T_干 為上述表 2a 中各颱風之平均差值(°C), △T_{max} 為表 2a 中各颱風之最大差值(°C)。

(二)台灣西部

此可參見圖 4a、b。由圖可見, 西部焚風強度最著在台中與新竹。由表 2b 統計結果, 台中最強為 39 °C, 新竹為 37 °C; 嘉義、台南、高雄均不重要。但當最強颱風在台灣東南方遠海時, 其外圍下沈氣流均可造成上述五地之高溫。而颱風臨近, 如圖 2a、b, 台中、新竹出現焚風高溫時, 嘉義及以南地區已經在颱風雲系範圍中, 故均未見高溫發生(根據此處四例顯著焚風之例之統計)。

五、山脈東、西兩側焚風預報之重要性及問題

由本章上述台灣西部之焚風現象有選擇白天出現之特徵, 兼之可發現焚風發生時, 台中仍在弱風尾流區內。表 2b 中之四例, 均無例外。焚風災害在台灣西部並不重要, 因雖有高溫、低濕, 但風力均小, 水汽蒸發可不若台灣東部之嚴重也。但如以焚風所造成氣壓變化言, 因空氣柱內溫度之升高, 可造成局部地區氣壓之下降。此所以颱風侵襲時, 台灣中央山脈西側常出現颱風副低壓中心之原因。在

某些情況, 該副低壓常轉為具有氣旋式環流之渦旋, 進一步並取代原颱風之生命史, 並使颱風結構完全改變, 此為東部焚風低壓之所無特宜注意者。

台灣東部之焚風預報遠較西部為單純, 因東部山脈坡度較西部者為陡, 焚風亦較易發生, 且無西部之廣大平原區, 無上述西部之其他非絕熱增溫與減溫效應。存在颱風環流中焚風預報的一項最大挑戰, 厥在颱風風場結構資料不足。實際颱風中心強度與風力半徑等分布資料常並不一定正確, 故因此造成各地風力預報及下坡流(焚風)預報結果之若干不確定性。又本研究已盡可能就過去侵台颱風個案中找取各地顯著颱風焚風個案, 因非電腦作業, 故勢難完整, 且山脈對颱風強度及結構破壞預報問題仍多, 進一步之颱風環流中焚風預報研究, 仍有待努力。

六、山脈東、西兩側焚風預報在天空狀況上應注意之處

本研究曾就山脈東、西兩側發生焚風時, 其當地之天空狀況分布作過調查。發現東部焚風仍可在密雲狀況下出現。幾次因焚風發生而改變其原颱風路徑走向的颱風, 如: 1960 年之 SHIRLEY, 1965 年之 MARY 與 1989 年之 SARAH, 發現雖出現明顯焚風, 但當地仍為密雲天氣, 惟雲狀變化有別。例如: SHIRLEY 颱風花蓮天氣為自雨層雲(Ns)、層雲(St)(7月30日07、08 UTC)轉為高層雲(As)、層積雲(Sc), 並有雨轉為雨跡(T)(7月30日09、10 UTC)。MARY 颱風於花蓮焚風發生前及發生時, 略均為高層雲(As)、層積雲(Sc), 有微雨(焚風時為 8月18日18 UTC), 過後為雨層雲(Ns)有大雨(時雨量最多曾達 22.8 mm 於 21UTC), 成功亦為焚風發生前後均為層積雲(Sc)、碎層雲(Fs), 焚風最強時為無雨(8月18日16、17 UTC, 溫度各為 33.9 °C, 35.2 °C); SARAH 颱風於台東焚風最強時(9月11日16 UTC)為自碎層雲(Fs)轉為層積雲(Sc), 仍為陰天, 但已無雨。由上東部焚風最著之例, 均指示仍為陰天。因空氣受迫絕熱下沈雖可改變雲狀, 但不必由陰天轉為多雲。東部焚風時地面「非絕熱」(diabatic)增

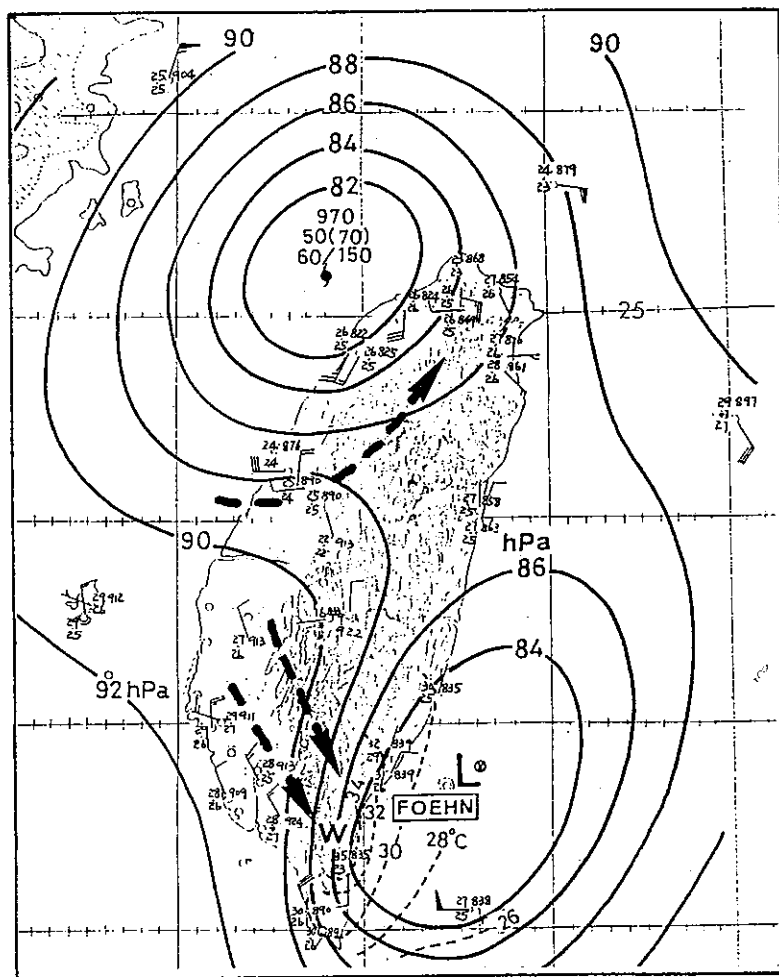


圖 5 1960 年 8 月 8 日 05 UTC 時 TRIX 之天氣詳圖。此時台灣西側盛行風為西風，氣流爬山作用明顯，致山脈東側有顯著背風低壓及焚風之發生（見圖中之細斷線等溫線值）。

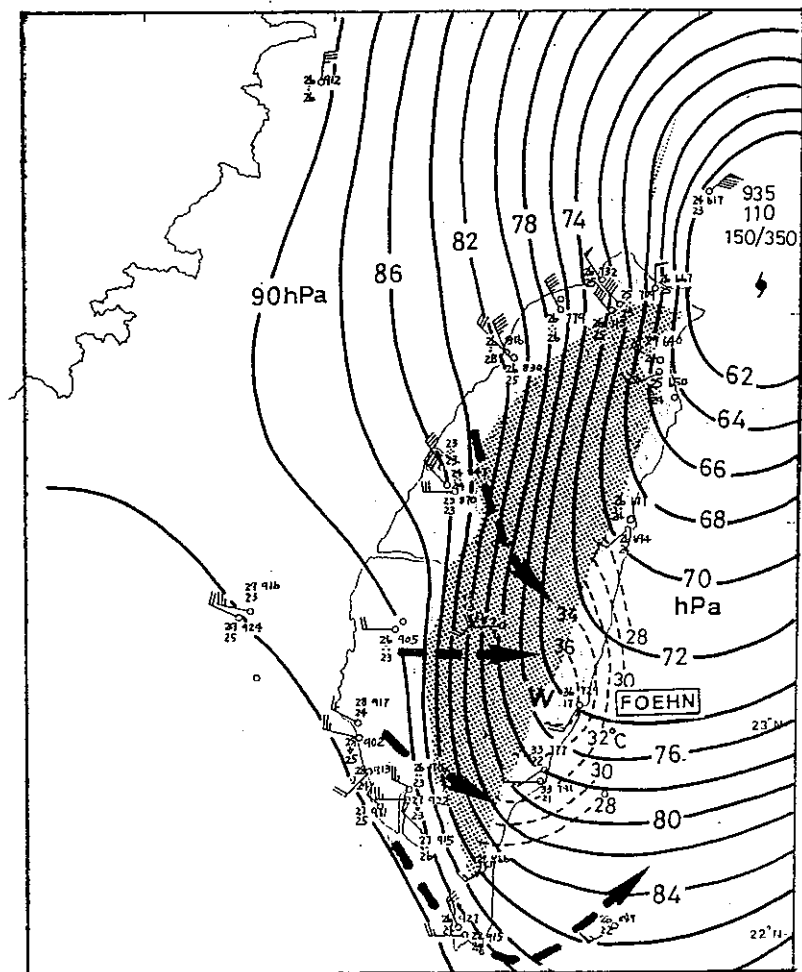
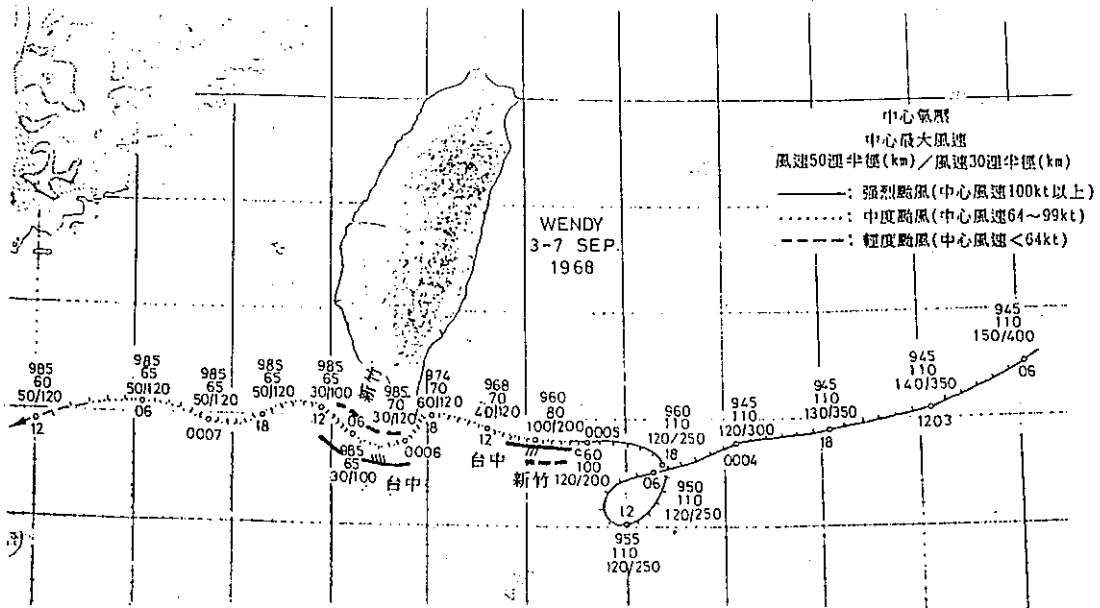
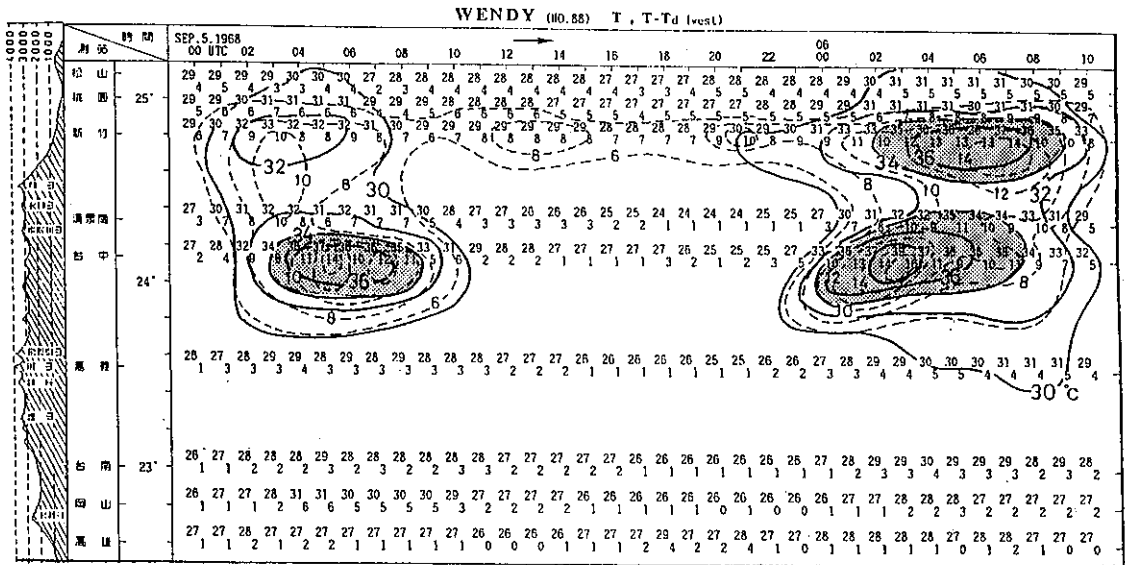


圖 6 1963 年 9 月 11 日 01 UTC 時 GLORIA 之天氣詳圖，示山脈東側焚風現象甚著，並伴隨有背風槽。圖中並有等溫線之分析（細斷線），藉示焚風之發生區域。

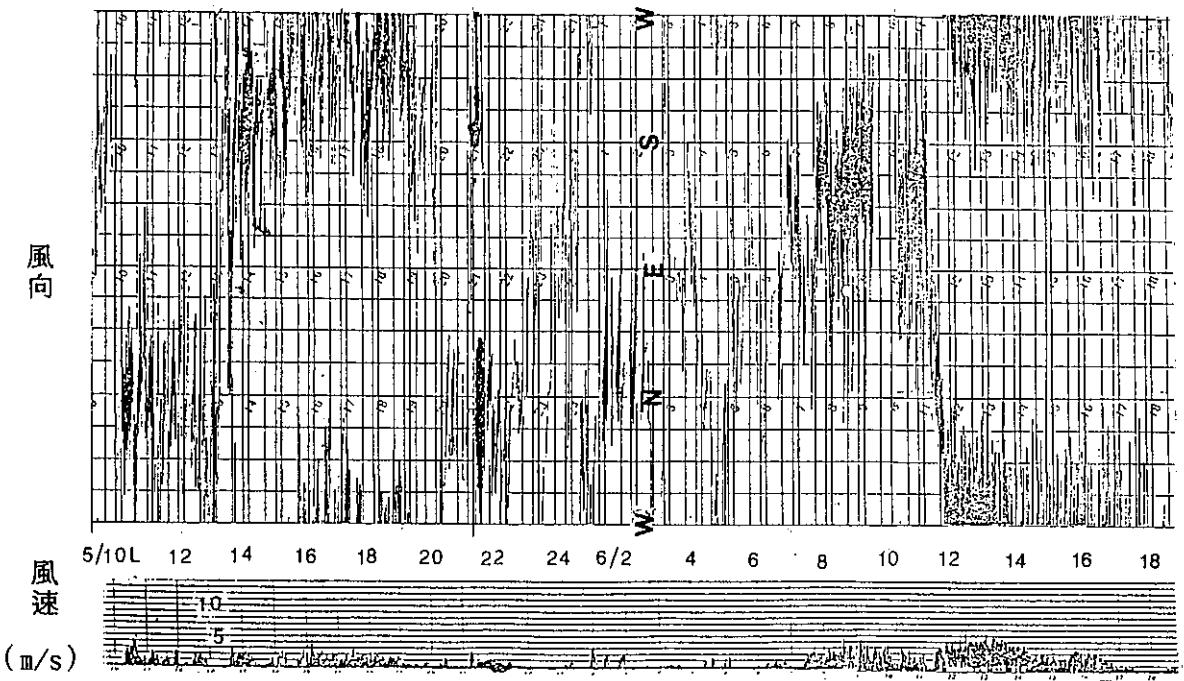
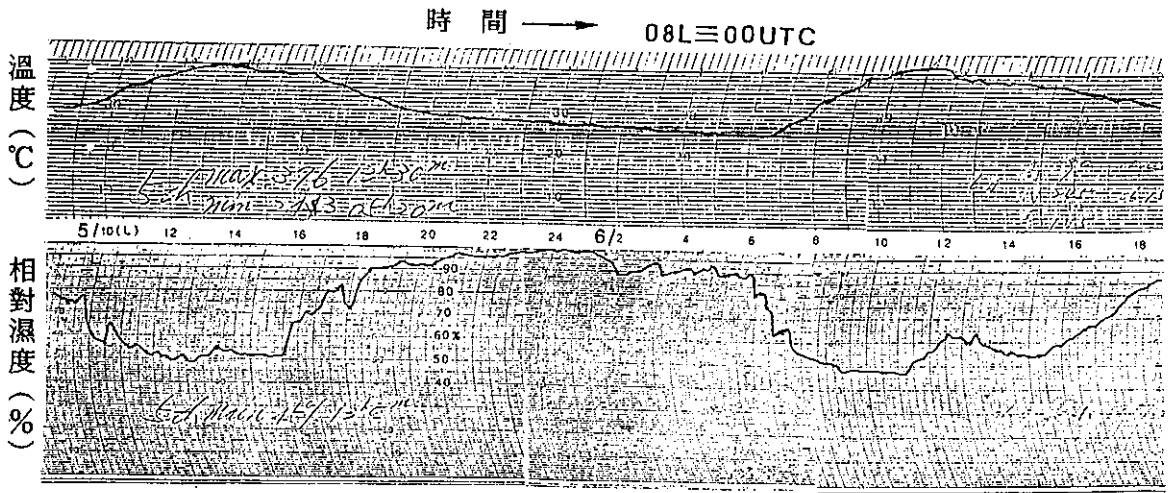


(a) 台灣中央山脈西側出現焚風時之 WENDY 颱風路徑圖。圖中各地出現焚風時颱風位置參見颱風逐時路徑側邊各種不同區分之線段(有標出地名)。特別是 |||| 形之部分示該地之溫度曾達 38°C 及以上。在颱風路徑上有標出颱風強度：中心氣壓、最大風速、50 及 30 kts 風之半徑，各見圖上附加之說明。



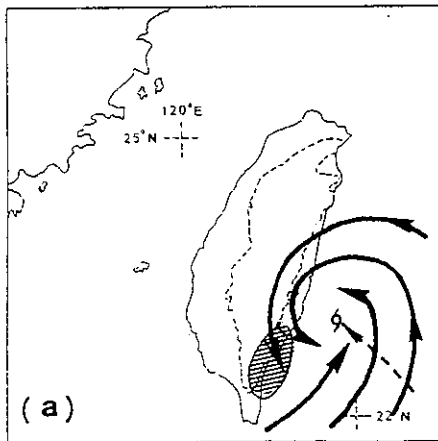
(b) WENDY 颱風過境時台灣中央山脈西部各地(自北向南)出現焚風時之溫度值(°C)(實線)及溫度與露點差值(T-Td, °C)(斷線)時間變化剖面圖。因焚風發生間為漸進者(溫度上升, 相對濕度(%)或露點 Td 為下降), 為示其起迄時間, 故凡溫度到達 28°C 以上、T-Td 差達 6°C 以上者遂認為焚風發生之時間。又影線區表 T ≥ 34°C (因颱風來時一般均有雨、溫度略均在 28°C 以下, 故以上所述之 T 及 T-Td 差值可認為焚風發生界限)。

圖 7 侵台颱風於台灣中央山脈西側(部)出現顯著焚風個案分析——1968 年 9 月 3~7 日 WENDY 颱風之例。

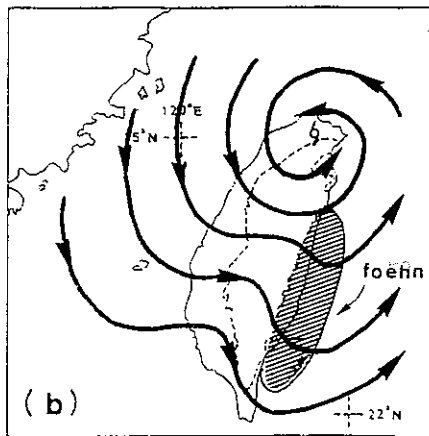


(c) WENDY 颱風誘發焚風時，在焚風區台中測站之氣象自記曲線變化圖。藉圖明顯可見，夜間無焚風，日間則與日射增溫現象伴隨。

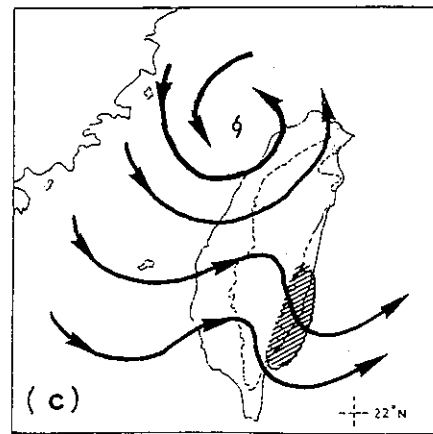
續圖 7



(a) 氣流逕自山頂下山型

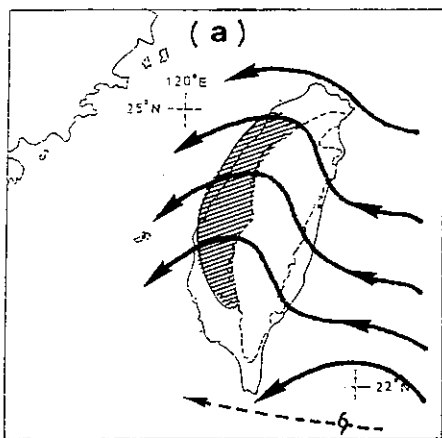


(b) 氣流爬山而後下沈(大範圍焚風型)

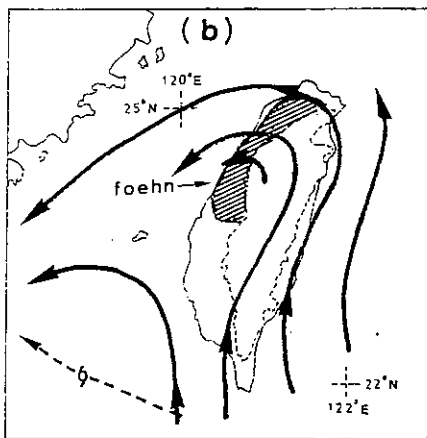


(c) 氣流爬山而後下沈(小範圍焚風型)

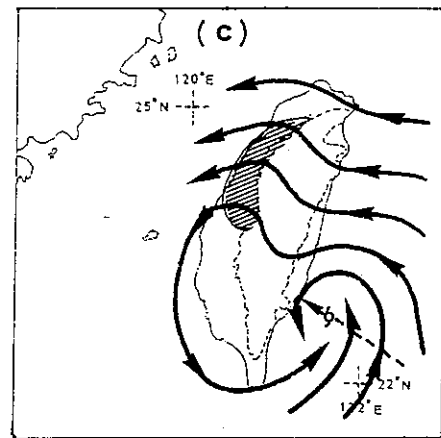
圖 8 台灣東部受颱風環流影響時之焚風型式模式圖。



(a) 颱風西行移向巴士海峽之白天焚風型



(b) 颱風西行移入南海北部時之焚風型



(c) 颱風西行登陸台灣前之焚風型

圖 9 台灣西部受颱風環流影響時之焚風型式模式圖(僅限白天)。

溫效應毫不重要(不受出現於白天之限制)(蔡、王、鄭, 1995)。但相反地, 台灣西部之「焚風」, 地面非絕熱日射增溫扮演絕對關鍵角色。此時經核驗西部出現焚風時各地天空狀況主要多為裂雲, 雲狀有卷雲(Ci), 層積雲(Sc)、積雲(Cu), 或高積雲(Ac)不等。故均可允許日間太陽輻射增溫, 且此時該區均在「弱風尾流區」中, 熱量易於積聚, 故有「高溫」之出現。是以在作西部焚風預報時, 對雲狀及天空狀況之預報極須注意; 如預報為密雲(陰天)時, 即可勿作「焚風式」高溫之預報。

七、結論

(1) 利用統計驗證方法一項侵台颱風環流中, 台灣中央山脈東側及西側各地焚風發生有、無預測圖經已作出, 其係為颱風強度(以中心最大風速值, kts 表出)位置及颱風大風(30 kts)半徑(km)之函數, 各見圖 1a ~ d 與圖 2a、b。而後次一預報問題為各地出現焚風強度(以溫度值表出)與持續時間之預報, 亦係應用圖 1 與 2 中之颱風資料, 再增加各地實際出現焚風強度值統計, 而作出圖 3a ~ d 與圖 4a、b, 藉供各地焚風發生強度與持續時間預報之參考。在上述各預測圖應用時, 所必須之預報參數為颱風逐時預報位置、強度與風力半徑資料。

(2) 由上述之圖可見同屬一區之各地, 其颱風中心所在位置及其強度均略相若。颱風愈遠時, 其中心強度須愈大。30 kts 風半徑之下限, 可發現略為 250 公里。

(3) 各地出現焚風強度, 由於山脈高度、坡度、形式均有不同。強度最大為成功與台中, 最高溫度可達 38 °C 以上, 次大為新竹與台東可達 36 °C, 其次為花蓮 34 °C, 再其次為大武 32 °C。

(4) 上述各預測圖計利用 31 次颱風個案, 其較著颱風焚風個案輯如表 2。

(5) 經分析台灣東部發生焚風, 各地山脈上游

方向之地面爬山流均須大於某一臨界值, 此可參見表 1。西部焚風則無此項限制, 因發現在「阻擋流制」(blocked flow regime)時, 西部亦可出現焚風。

(6) 此處並未作焚風風力之預報, 但台灣東部之焚風, 發現當其強度(溫度值)較大時(參見圖 3、4 中之強度等值線, 約在中間值以上時)以及颱風強度亦較大時(參見圖 1、2), 「下坡風」之風力亦較強大; 故造成之災害亦較大, 可參見表 2。大武之焚風強度較小, 且每在弱風尾流區(wake zone)內, 故預報其災害亦小。

(7) 台灣西部之颱風焚風較東部者而言, 重要性較小。因各地發生「焚風效應」時, 地面每在山脈遮蔽帶(sheltering area)之「弱風尾流區」(wake zone)中, 新竹除外。

(8) 台灣西部顯著焚風式高溫, 由此處個例均有選擇出現於白天之事實。經研究與白天地面日射增溫密切相關, 此亦與當地雲量、雲狀分布有關。經發現, 此處之例天空狀況主要均非為密雲, 因僅在此情況才允許有白天之太陽輻射增溫, 故對西部焚風預報, 此項雲量預報考慮至為重要, 但東部則不受此項限制。

(9) 台灣西部於夜間各地焚風均為隱跡, 經調查此時因地面風弱, 且非為密雲(陰天), 故夜間長波外射冷卻效應顯著, 其冷卻率可充份抵銷各地「焚風增溫」效應而無餘, 致是台灣西部夜間無焚風。

(10) 為便於參考應用, 此處特製作山脈東側焚風流場模式圖如圖 8a ~ c, 山脈西側焚風流場模式圖如圖 9a ~ c。藉供焚風預報參考。

(11) 台灣區域因颱風環流所產生之焚風, 在山脈東側者僅在氣流遇山「非阻擋流」(爬山流)情形下, 才見發生。但山脈西側焚風, 仍可在山脈東側地面「阻擋流」情形下出現(註: 上層應仍為爬山流)。

表2 侵台颱風台灣各地出現顯著焚風($T_{max} \geq 34^{\circ}C$, $T-T_d \geq 10^{\circ}C$)個案之資料一覽表
(係在31次颱風焚風個案中選出)

(a) 台灣東部

颱風名稱	編號	路徑分類	年	月	日	地點	最高溫度		T-T _d 最大值		焚風期間最大風速(kts)	焚風等級	附註
							°C	時間(L)	°C	時間(L)			
無名稱		31B	1940	8	30	成功	38	1445	21	1445	35	6e	表中颱風編號與路徑分類法可參見王，1992。
						台東	37	1440	19	1440	15	5e	
BILLIE	43	110	1959	7	15	台東	34	1300	10	1300	15	4d	
SHIRLY	50	22A	1960	7	31	花蓮	35	1736	13	1736	35	4e	
TRIX	51	110	1960	8	8	大武	35	1100	12	1100	10	4e	
GLORIA	68	110	1963	9	11	成功	36	1000	19	1000	25	5h	
						台東	35	0200	16	0200	15	4g	
MARY	77	22B	1965	8	19	成功	35	0100	16	0100	20	4g	
ELSIE	92	22A	1969	9	27	台東	34	0030	14	0030	25	5e	
BESS	101	21A	1971	9	23	成功	36	0100	17	0100	25	5g	
						台東	35	2400	15	2400	20	4g	
BILLIE	114	21A	1976	8	10	成功	37	0300	18	0300	25	5h	
						台東	35	2400	15	2400	15	5g	
NELSON	153	110	1985	8	23	台東	34	0900	13	0900	15	4e	
SARAH	169	32S	1989	9	12	台東	35	0020	14	0020	8	4f	
DOUG	193	610	1994	8	8	花蓮	37	0236	16	0236	40	5g	
						成功	39	0026	20	0026	40	6i	
						台東	37	0236	18	0026	5	5h	

*註：表中焚風等級分類，各以一地出現之最高溫度(°C)與最大之溫度露點差值(°C)之代號表出如下：

最高溫度	值(°C)	28~29.9	30~31.9	32~33.9	34~35.9	36~37.9	≥38				
	代號	1	2	3	4	5	6				
溫度露差(T-T _d)	值(°C)	4~5.9	6~7.9	8~9.9	10~11.9	12~13.9	14~15.9	16~17.9	18~19.9	≥20	
	代號	a	b	c	d	e	f	g	h	i	

續表2

(b) 台灣西部及北部

颱風名稱	編號	路徑分類	年	月	日	地點	最高溫度		T-Td最大值		焚風期間最大風速 (kts)	焚風等級*	附註
							°C	時間 (L)	°C	時間 (L)			
RITA	23	510	1953	9	1	台中	35	1200	15	1200	5	4f	
DINAH	65	510	1962	10	3	台中	36	1000	14	1000	10	5f	
WENDY	88	510	1968	9	6	新竹	37	1440	14	1440	10	5f	
				9	5	台中	38	1330	14	1330	10	5f	
				9	6	台中	39	1105	16	1105	15	6g	
VIOLA	90	520	1969	7	26	新竹	35	1100	10	1100	15	4d	
				7	26	台中	38	1600	11	1500	5	6d	

(c) 台灣全區

颱風名稱	編號	路徑分類	年	月	日	地點	最高溫度		T-Td最大值		焚風期間最大風速 (kts)	焚風等級*	附註
							°C	時間 (L)	°C	時間 (L)			
WAYNE	142	520	1983	7	25	宜蘭	34	1100	13	1000	20	4e	
				7	24	台東	36	1200	11	1200	15	5d	
				7	24	基隆	35	1400	12	1200	10	4e	
				7	25	基隆	34	1300	12	1300	25	4e	
				7	24	台北	36	1400	14	1400	10	5f	
				7	25	台北	36	1200	12	1100	20	5e	
				7	25	台中	35	1400	12	1400	10	4e	
				7	25	梧棲	35	1100	13	1400	25	4e	
WAYNE	159	94A	1986	8	22	成功	34	1300	13	1300	15	4e	
				8	22	台東	35	1500	20	1500	15	4e	
				8	21	新竹	35	1100	11	1300	10	4e	
				8	21	梧棲	34	1100	12	1100	10	4e	

誌謝

本文蒙鍾孝林、謝維權先生及陳慧娟、李金蓮小姐協助，特此致謝。

參考文獻

王時鼎，1992：侵台颱風路徑、強度、結構及風雨整合研究。國科會防災十技研究報告，18號，1-100。

洪秀雄、胡仲英，1989：颱風引發焚風之初步研究。大氣科學，第17期第1號，1-41。

郭文鑠、楊之遠，1982：颱風誘發焚風現象及其對農作物之影響。氣象學報，28，1-12。

蔡清彥，王時鼎、鄭明典，1995：台灣地區颱風預報輔助系統建立之研究(三)。中央氣象局專題研究報告CWB83-1M-01，1-370。

Hoinka, K. P., 1985：Observation of the airflow over the Alps during a foehn event. Quart. J. R. Met.

Soc. 111, 199-224.

Liao, S.-Y., 1979：Analysis of typhoon modification in relation to the foehn wind over Taiwan. Bulletin of Institute of Geophysics College of Science, National Central University, 44-60.

Lin, Y.-L., 1994：Airflow over mesoscale heat sources Part I：Responses in a uniform flow. Proc. Natl. Sci. Council. ROC(A) Vol. 18, NO.1, 1994. 1-32.

Smolarkiewicz, P. K., and R. Rotunno, 1989：Low Froude number flow past three-dimensional obstacles. Part I：Baroclinically generated lee vortices. J. Atmos. Sci., 46, 1154-1164.

———, and ———, 1990：Low Froude number flow past three-dimensional obstacles. Part II：Upwind flow reversal zone. J. Atmos. Sci., 47, NO.12, 1148-1151.

Forecast of the Foehn Events in the Typhoon Circulation Caused by the Taiwan Orography

Shinn-Liang Shieh, Shih-Ting Wang, and Ming-Dean Cheng
Central weather bureau

ABSTRACT

In the paper, forecast of the foehn events in the typhoon circulation caused by the Central Mountain Range (CMR) in Taiwan is discussed by using 31 selected typhoon cases. The results show that on the east side of the CMR, the downslope winds shown as the foehn phenomena occurred under the situations when the typhoons were centered over the enighboring seas northeast of Taiwan with a higher froude number flow regime on the west side of the barrier. However, on the west side of the CMR, in addition to typhoon position the foehns could happen only in the day time owing to the fact that diurnal and cooling effects were dominant because of the relatively larger plain in the west side. Furthermore, the downslope winds never reached to the ground in the west side of the CMR and instead, the wake zone still happened together with the very weak pressure gradients so far as these four prominent typhoon cases were concerned.