

臺灣高空氣流

魏元恆

吾人現已進入二十世紀下半葉，在過去上半葉，五十年時光內，經過了兩次世界大戰，所賜於氣象學方面的進步，實在很大並很多，不勝枚舉，尤其在二次大戰後的今日，各種科學，均有極熱烈的研究，及極迅速的進步，氣象學當然亦不例外。氣象學近年來之立體發展，無論觀測儀器及方法，高空之分析與預報，均有長足進步，大有一日千里之勢。

本文之作，第一因鑑於臺灣近年來，先後設有無線電探空站，計有桃園、馬公、恒春，等三處，已積有二至三年之紀錄，實甚寶貴，東亞在如此小區域內，有此理想分佈之探空密度，誠屬難得。第二就臺灣立體觀測所得之結果，以與有關東亞大氣環流之一般論據作比較，並加以映證。第三臺灣探空，有高至十萬呎以上之紀錄，此可佐證「平流層」環流，稀有之態式。第四點，瞭解臺灣高空氣流之常態，藉作天氣預測之助。

茲將「對流層」(Troposphere)，分爲低空與高空兩層論述：低空自地面至 10,000 呎，亦即 700mb 以下，高空自 20,000 呎至約 50,000 呎，即 500mb 至 100mb 屬之；再向上即平流層。

對流層所以分爲兩層者，因臺灣位於副熱帶，低空氣流，經常爲東北信風，及冬季季風，與高空西風氣流，顯然分爲兩層，二萬呎以上，已完全超出地面影響，爲自由大氣波動，最顯著區域，影響天氣變化最大之長波 (Long wave)，即操縱此層，一萬至二萬呎間之氣層，可稱之爲氣流轉換層，因在 15,000 呎高度，即 600mb 爲一無水平輻合與輻散層，此種分層，其高度隨季節變化甚大，並非完全固定性者。

本文所擬討論者，主要爲高空「風向」，與「風速」，其有關高空溫度，濕度，茲不論及。僅就高空風而言，因風係「向量」(Vector)，含有「方向」與「速度」兩要素，復加以平面與立體之變化，再加以時間演進，則變動因子計有五，敘述自甚紛繁，時間方面，將大氣各層，分爲冬(一月份)，夏(七月份)，兩季述之，縱的南北方向，則以桃園與恒春兩地資料爲準作比較，以馬公資料，爲參考之論據。

(一) 對流層下部氣流

(1) 地面風層：

按「艾克曼螺旋法則」(Ekman's Spiral)，地面風，與梯度風(約距地面 1,500 呎)之交角，在陸上約 30°，海上約 20°。此數字，於十餘年前，經筆者就華北平原一帶高空記錄，加以計算，其結果與此甚相近，按艾氏法則，兩者交角，最大爲 45°，即地面風向，在梯度風右方 45° 也。此乃地面風，受氣壓梯度支配時所產生之情況。若受地形影響，或其他原因，則兩者關係，即形減弱，或不存在。

臺灣爲一長圓形海島，呈南北走向，長度自北至南，約緯度 3°；中有高過萬呎之中央山脈，島之東西範圍，甚爲狹窄。在每日天氣圖上，在臺灣附近之等壓線，均作極大曲折。

茲就所測梯度風 (Gradient Wind)，與地面風之交角命其爲 φ ，以探討臺灣各地氣流之狀態；並假定地面風，在梯度風之右， φ 角度爲正，在左爲負角度，正值不超過 45° 爲合理，負值則不合理，即地面風，不完全受氣壓梯度之控制。

表一 臺灣各地風向及距梯度角度 φ 統計表

(註：風向 0°=N, 90°=E, 180°=S, 270°=W)

	臺北	桃園	新竹	臺中	嘉義	臺南	屏東	恒春	宜蘭	臺東	馬公	
一月	地面風	80°	43°	43°	10°	16°	20°	340°	47°	282°	25°	24°
	角度 φ	3°	35°	15°	24°	9°	2°	-49°	-4°	62°	18°	5°
七月	地面風	284°	229°	230°	202°	—	198°	187°	312°	—	142°	214°
	φ	-31°	7°	9°	1°	—	11°	4°	-21°	—	30°	11°

由(表一)所列，臺北地面風向，無論冬夏，均與氣壓梯度相違，屏東恒春兩地亦然。可見臺灣南北兩端，地面風向，受地形影響最大，臺灣西海岸，地面風向，大多合乎氣壓梯度，惟夏季(七月)吹西南風時，角度 φ 過小。臺灣東海岸，面向大洋，風與氣壓梯度，近於正常，馬公位於海峽之中，地面風受兩岸如隧道影響，上下氣流之方向，相差甚少，而且海峽氣流，因地形產生之加速(由 Volume Velocity 所致)，風速常超過正常氣壓所產生之速度。

地面氣流，依照一般原則，均應順障礙物吹動，大陸上沿河流地帶，平均風向，係順河谷者，我國沿海一帶，平均風向，多係順海岸者，由表一可看出，臺灣東西兩岸，各地平均風向數字，其沿海岸吹動之情形，甚屬顯然，按副熱帶低緯度地方，在海上夏季平均風向，應為 70° (ENE)，冬季為 50° 至 60° ，即風向較夏季略偏北，而臺灣各地平均風向，均較此數字，偏北甚多。

就地面風速言，臺灣北部，約大於南部二倍，冬夏季均如此(參看圖一)。

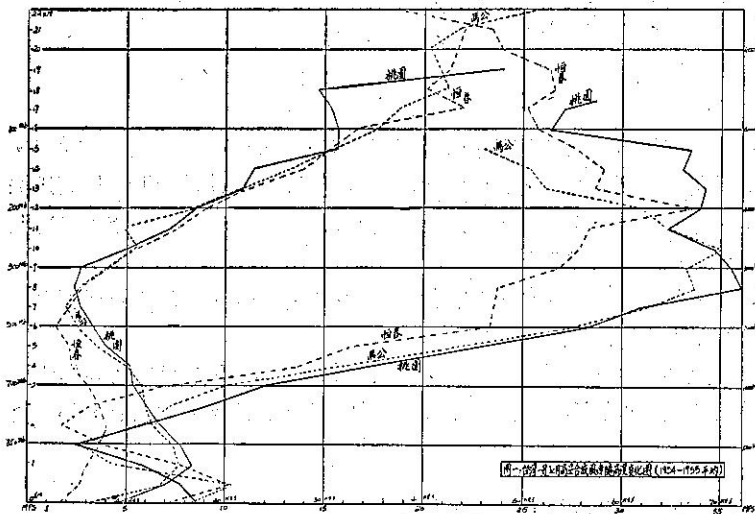
(2) 低空氣流內最大風層與最小風層：

溫帶在三千呎高空，時常出現最小風層，頗為一般人所注意，臺灣低空最小風層，一月份出現於5,000呎，七月份則出現於20,000呎，由最小風層向上，至對流層上部，出現最大風層，在本文另節詳論之。最小風層，與地面之間，亦有一較大風層，一月份在1,500呎，七月在3,000呎，由圖一所示，可知一月份，此最大風層，呈「成層流動」型(Laminar Flow)，顯示地面氣層穩定，風速垂直梯度甚大，七月份最大風層，呈「干擾流動」(Turbulent Flow)型，風速垂直梯度小。

低空最大風層之生成，一如河中之流水，中間流速最大，兩岸因摩擦而流速減小，風速立體分佈之情形，即如河中之流水，例如高空中最大風層，在3,000呎，其下層受地面之摩擦，上層則受相反風層之阻力，儼如河流受兩岸之阻耳。

最小風層之生成，主要由於低空氣流，與高空氣流，方向相反，在兩者分界處，造成靜風，或最小風層，臺灣一月份，最小風層之下，為NE季風，以上為高空強大西風，係來自喜馬拉雅之南，經華南至臺灣上空者，七月份臺灣低空最小風層之下，為夏季西南季風，源自赤道印度洋，亦即所謂赤道西風，此時深入臺灣，造成東亞一帶之雨季，赤道西風之上，則為高空東風，高達平流層。

最小風層間，高空風向隨高度之轉變，亦頗有足述之處，一月份在最小風層之轉向點處，風向係隨高度，順鐘向而上，為由NE→SE→SW者，此可能為副熱帶高氣壓中心，隨高度向西及向南移所致者，七月份最小風層之轉向點處，風向隨高度之轉變為由SW→SE→NE者，此可能由於印度夏季低氣壓，隨高度減弱，太平洋高壓伸入所致。



(3) 高空「西風層底」與「東風層底」之研究

按美氣象學者 R. D. Elliott 氏，關於世界大氣環流之理想圖(圖二)，溫帶西風，與熱帶東風，在分界處，有一靜風面，沿此面風速為零。在沿經度縱剖面圖上，此面向赤道傾斜，夏季的赤道西風，伸入北半球，與熱帶東風間，亦生成一靜風面，傾斜向赤道，惟傾角較大。

茲由圖一所示，得出桃園一月份靜風面距地為 1.5Km，恒春靜風面，距地為 2.0Km 由兩地高度之差，計算靜風面之傾斜度如下：

桃園最小風層（靜風面）之高度=1.5Km
 恒春最小風層（靜風面）之高度=2.0Km
 兩地靜風面之高度差 =0.5Km

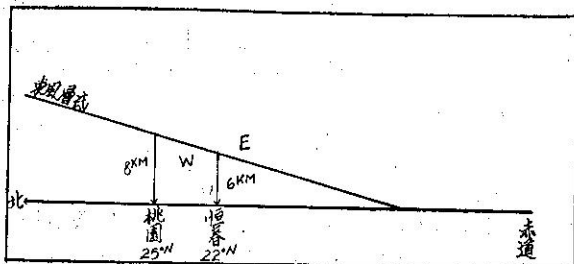
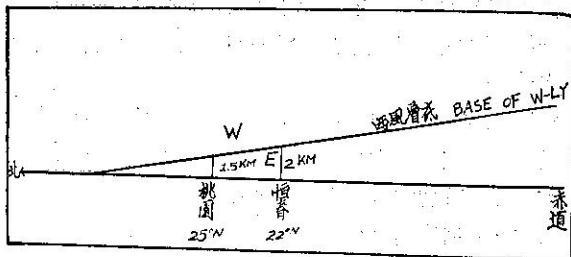
又 桃園緯度=25°N

恒春緯度=22°N

兩地緯度差=3°

得 靜風面傾斜度 = $\frac{0.5}{3 \times 111} \div \frac{1}{600}$

既知一月份，臺灣西風層底斜度為1/600，而桃園西風底之高為1.5Km則在桃園以北約 $1.5 \times 600 = 900\text{Km}$ ，即約8個緯度地方，西風底到達地面（32°N），亦即在上海附近。此在一月份上海以北，地面東北風稀少，而代之以西北風。



七月份，臺灣地面吹西南季風，亦即赤道西風（Equatorial Westerly），高空則為東風，此兩相反之風，造成的靜風面，見之於臺灣上空，即所謂「東風層底」(Base of Easterly)由圖一得知，七月份東風層底，距地面之高度，桃園為8Km，恒春為6Km，兩地之差為2Km，則東風層底之傾斜度，當為

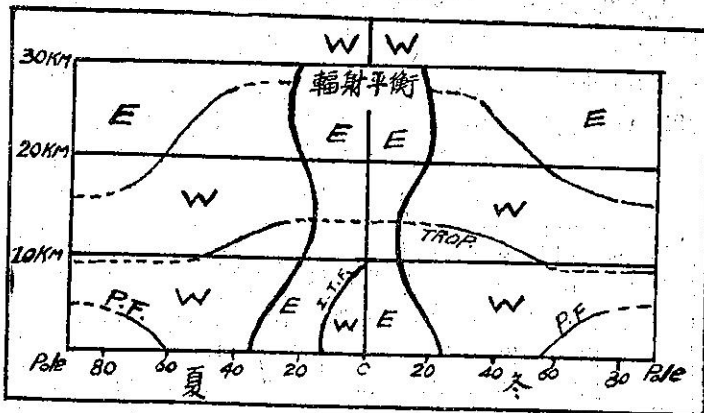
$\frac{2}{3 \times 111} \div \frac{1}{333} = \frac{1}{150}$

既得七月份，臺灣東風層底之傾度為1/150，而恒春東風底距地高度為6Km，則在恒春以南 $6 \times 150 = 900\text{Km}$ ，即在 $22^\circ - 8^\circ = 14^\circ\text{N}$ ，約菲律賓之馬尼拉附近，東風到達地面，此在七月份，東亞西南季風，將限於馬尼拉以北，其南應吹東風，而揆之於實際資料，頗為相近也。

按 Riehl 氏，曾在檀香山一帶，測得西風層底之傾度為1/300，惟彼所指者，乃屬年平均狀態耳，東亞氣象情況特殊，冬夏兩季所得傾度數字，在彼所得之數字兩端，似亦頗為合理，又本文算得七月份，東風底之傾度，係向地極者，而 Elliott 氏圖上（圖二）所示，為向赤道者，惟傾角幾近垂直耳，此種相異處，頗堪注意。

以上由月平均風速，算得西風底之方法若審慎用之於每日探空紀錄中，以作分析，則對於高空風預報方面，可獲得較佳之效果。

圖二 大氣環流圖



說明 E = 東風
 W = 西風
 P.F. = 極面
 I.T.F. = 赤道面
 TROP. = 對流頂

(4) 高空風之穩定度 (Wind Steadness)

風之穩定度定義，為一地合成風速，與該地平均風速之比，以百分數表之，其公式：

$S = \frac{|\bar{V}|}{V_m} \times 100$

S = 穩定度 \bar{V} = 合成風速 (Resultant Wind) 由向量平均法而得，用 Lambert Formula 所算出者。

V_m = 風速平均為無方向性者。

穩定度舉例言之，若一地吹東風5 Kts，又吹西5 Kts，則其合成風速 $\nabla=0$ ，但其平均風速 $V=5$ ，而穩定度 $S=0$ ，故穩定度，乃以表示一地風向是否富於穩定性者，若一地終年吹一定方向之風，而毫無變化者，則其穩定度為100。

表二 桃園高空風穩定度統計表

茲就桃園一地，民國44年，高空風穩定度，列如表二：

月份 高度	一月	七月
3,000呎	67%	98%
5,000	40%	89%
8,000	87%	78%
10,000	93%	65%
16,000	—	42%
20,000	—	31%
30,000	—	62%
35,000	—	91%

近地面氣流之穩定度，一般言之，由高緯度，向低緯度之熱帶增高，就臺灣言，南部氣流穩定度，應較北部為高。

穩定度隨高度而變化，亦因季節有異。就上列(表二)桃園一地之統計，七月份高空風，在一萬呎以下，穩定度近地面最大，向上漸減，穩定度最小在二萬呎高度，自此以上，穩定度，又逐漸隨高度增大，穩定度在一月份，近地面最小，向上漸增，在一萬呎高度，則達93%，再向上，風向更為穩定無變。

就臺灣冬夏兩季比較言之，穩定性在低空，夏季較冬季為大，尤其在5,000呎高度，一月份穩定度為40%，而七月份，則為89%，相差一倍有餘，但至10,000呎，一月份為93%，反較七月份之65%，超過甚多。

(二) 對流層上部氣流

(5) 一萬呎以上高空氣流之變化：

一月份自10,000呎以上，風速隨高度激增，風向幾無變動，平均多在260°左近，「風速垂直梯度」(Vertical Wind Shear)，約為2-3 Kts/1,000呎。「風速水平梯度」(Horizontal Wind Shear)，就桃園與恒春兩地比較(表三)，約為每緯度1°，風速差3-5 Kts/1°，風速北部大於南部，上面情形，至40,000呎，即行改變，十萬呎以上，風速隨高度略減，風之水平梯度亦近於無，此為近對流層頂之現象。

由於40,000呎處，風速隨高度略減，在風速變化曲線上(參看圖一)，發生一風速最大之點。此40,000呎附近，最大風速點，在桃園、馬公、恒春三地出現之高度不同，而有隨緯度向北減低之勢。由噴射氣流縱剖面圖上，可看出噴射氣流，南北向長軸，略有向赤道升高趨勢。由圖一最大風速點計桃園在7Km，馬公在10Km，恒春為12Km。若由此三地最大風速點之高度差，以計算噴射氣流，南北向長軸，向赤道升高之傾斜度，則嫌失之於過大，惟最大風速點，噴射氣流間之關係，似屬確定，至於長軸向赤道傾斜之程度，或為曲線形，此有待日後之研究。

表三 臺灣七月份高空各標準層合成風

月	地名	高度		(850mb)	(700mb)	(500mb)	(300mb)	(200mb)	(100mb)				
		5,000呎	10,000呎	20,000呎	30,000呎	40,000呎	50,000呎						
七 月	桃 園	233	15	238	11	218	7	83	5	56	17	54	31
	馬 公	211	15	217	12	162	5	85	8	67	17	58	36
	恒 春	251	7	220	6	110	3	78	8	74	18	62	33

七月份高空東風，自20,000呎以上，風速隨高度增大甚為規律，垂直風速梯度，為每升高1,000呎，增大1 Kts。至約50,000呎，風速停止增加，而略有隨高度減少之勢，惟頗不規律，風速南北水平梯度甚小，不足計，惟在50,000呎以上，恒春風速，大於桃園約五海里，頗為特殊。

表四 臺灣一月份高空各標準層合成風

月	地名	高度		(850mb)	(700mb)	(500mb)	(300mb)	(200mb)	(100mb)				
		5,000呎	10,000呎	20,000呎	30,000呎	40,000呎	50,000呎						
一 月	桃 園	128	5	250	24	265	56	264	71	261	68	246	53
	馬 公	248	5	252	20	262	55	258	66	241	62		
	恒 春	73	8	244	14	258	47	257	54	255	67	259	51

(6) 高空風速之日變化：

據 H. Riehl 與葉篤正氏之研究，在海洋上，氣溫日變化雖甚小，但風之日變化仍存在，彼等根據 Hawaii 島，高空氣流觀測，由中午至午夜，在約 5 千呎高度以下之氣層，風速約增加至 2m/s，即每小時 2-4 海里之速度，此時貿易風帶逆溫層，並下降千百呎，此乃由於夜間輻射所致，並非由渦動之理，氣流上下交換所致，有者認為此種風速日變化，係由於大氣壓力日變化所造成者，但尚未得正確證明。

在臺灣高空觀測記錄中，亦得有同上風速日變化，茲就 1955 年 10 月，桃園、恒春兩地，0300Z，及 1500Z 兩次觀中風速之差數以證明之。由表五變差數字中，可知在七千呎以下，午夜 (1500Z) 風速，均較中午 (0300Z)

表五 桃園恒春高空風速日變化統計表 (Oct. 1955)

地名	時間	高度 1000 呎												
		1	3	5	7	10	14	18	20	25	30	35	40	45
桃園	0300Z	15	15	14	14	13	12	11	12	15	16	17	25	27 Kts
	1500Z	17	17	16	15	13	12	11	12	15	18	19	28	27 Kts
變差		2	2	2	1	0	0	0	0	0	2	2	3	1 Kts
恒春	0300Z	26	22	15	11	9	10	9	11	13	17	18	18	19 Kts
	1500Z	26	26	16	11	9	10	12	13	14	17	19	19	20 Kts
變差		0	4	1	0	0	0	3	2	1	0	1	1	1 Kts

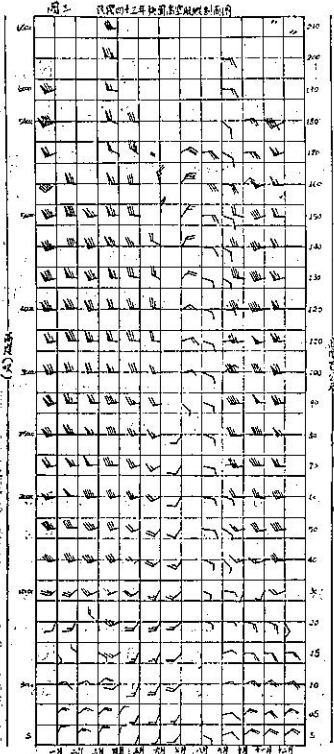
為大，桃園最大達 3 Kts，出現於 2,000 呎高度，恒春最大達 4 Kts，出現於 3,000 呎高，此風速日變化數字，與 Riehl 氏所得結果相同。惟檢查表中，尚有一奇特現象，即桃園 3-40,000 呎，與恒春 20,000 呎左近，仍有一風速日變層，此層可稱之為「對流層上部日變化」，為一切書報及雜誌中，尚未見有論及者，值得吾人注意研究，是否此種對流層上部風速日變化，確實存在？照上表所得結果，兩地均有出現，似非偶然。所可疑者，兩地出現之高度不同，而有甚大之差異。

按二十餘年前，氣象學者研究高空風速日變化者甚多，例如 Durward 氏，分析法國高空風記錄，得到風速日變為：1,000 呎高度，風速最大在地方時 20 時，最小在 9-10 時。2,000 至 3,000 呎高度，21 時最大，6 時最小，又據德人 Tetens，分析德國上層風之結果，夏季時 10,000 呎高度附近 2-4 時風速最大，14 時風速最小。冬季時一萬呎高度，16-18 時風速最大，8 時風速最小，由二氏所得結論，桃園、恒春二地，施放探空時間為 11 時 (0300Z)，係接近高空風速最小之時間。23 時 (1500Z) 係接近風速日變化最大之時間。

(7) 高空風週年變化：

臺灣冬夏季，高空與地面，均有顯着相反之氣流，互相交替，夏季臺灣低空為西南季風，高空為東風；冬季低空為東北季風，高空為西風，此種冬夏風向重大轉變，為受東亞高空氣壓系統所支配者，茲就東亞「大」範圍之情況，連系至臺灣「小」範圍；後然再由「小」推論到「大」。

東亞冬季高空環流，至為單純，僅為一繞極低氣壓所操縱，高空普遍吹西風，幾延及赤道附近；冷性西伯利亞高氣壓，在一月份 700mb 高空平均圖上，即不見蹤影，統歸於繞極西風系統內，故一月份高空圖，可謂在一元(繞極低氣壓)支配下，但夏季高空氣壓系統，則趨於繁雜，繞極低氣壓，此時縮至高緯，支配東亞者，惟印度熱低氣壓，與北太平洋，暖性高氣壓，印度低壓，在 20,000 呎高空平均圖上，即歸消失，自 30,000 呎以上，即轉變為高氣壓，而且勢力隨高度增強，控制整個東亞高空氣流，在其以南，高空普遍吹東風。臺灣夏季，對流層上部吹東風，即由此印度高空高氣壓所致者，惟印度高空高氣壓，其中心因隨高度向南移，實際係位於裏海以



南附近，太平洋高氣壓，30,000呎以上高空即不見，惟其勢力最強，係在10,000呎高度，在八月份，向西擴張，使臺灣低空氣流，由西南季風，迅速轉為東風（圖三，四）。

上述將東亞大勢，連系至臺灣實際觀測現象，茲再伸論，臺灣冬季高空風之轉變，與東亞天氣圖大勢之關連，夏季高空東風，出現於臺灣，係先由對流層上部起，而後及於對流層下部，例如桃園（圖三）七月份，9 Km 以上始由西風轉為東風，其下層至八月份方始轉為東風，秋季高空東風之終止，在九至十月間，轉變至為顯然，此當歸於印度低氣壓，及上空之高氣壓，在九十月間消失，繞地極低氣壓，迅速發展南下所致。

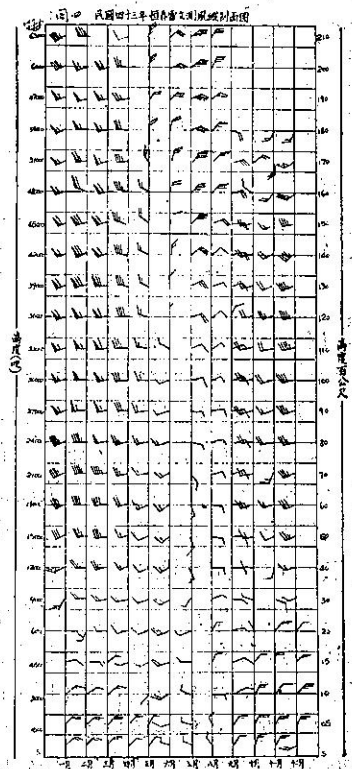
臺灣高空風，最強季節為冬春兩季，桃園冬季50 Kts 風，平均出現於20,000呎以上之高度，春季則出現於25,000呎以上之高度，恆春高空風速，普通較桃園，小5-10 Kts。

(8) 高空風與天氣預報：

由表四所列各氣層之風向與風速，臺灣二萬呎上空一月份經常吹250°至260°之風，但吾人不可即依此SW風判定在臺灣以西有一高空槽，依筆者意見，可利用高空風「距平」(Anomaly)法，作比較之

觀察，例如某日桃園500mb 上空吹220°風，風速50 Kts，風向距平偏南30°，風速距平增大20 Kts，則可判定有高空槽接近可能，實作方面，可將每日高空風觀測，分解為「向」「速」兩因素分別與各高層標準值作比較，繪成高度變化曲線，再由表五中，桃園與恆春風向風速之差數頗為規律，一月份恆春高空風多較桃園偏十數度，風速較小，此係正常狀態，若在每日高空風觀測中作此項比較，對於天氣變化之研判，亦可有所裨益。

筆者十數年前，曾就青島一地高空風與天氣之演變關係作一統計，青島陰天時，高空西風較晴天時偏南一定角度，而出現頗為規率。惟青島地處溫帶，與臺灣副熱帶地區當大異其趣，凡吾人對溫帶天氣定則應用於臺灣地區，均有重加檢討之必要也。



參 考 書

- (1) H. Riehl: Tropical Meteorology P14-31
- (2) H. Riehl, T. C. Yeh, : The North East Trade of the Pacific Ocean, Quart. J. Roy. Meteor. Soc, 77 : 334 (1951)
- (3) B. W. Thompson : An Essay on the General Circulation of the Atmosphere over South East Asia and the West Pacific, Quart. J. Roy. Meteor Soc. 77 : 334 (1951)
- (4) Compendium of Meteo. P553
- (5) Brunt : Physical, and Dnyarcial Meteo. 1934 P20
- (6) R. D. Elliott : Extended Weather Forecasting, 1944,P4