

天氣預報之考核問題

萬寶康

一、前言

天氣預報之考核 (Verification) 為多年來氣象方面發生爭論而尚未獲得具體解決之一個問題，此問題之牽涉甚廣，其影響可及整個之氣象領域。考核天氣預報之要領在覓致其預測狀況與實際狀況之一種比較方法，可應用一種或多種指標 (Index) 或分數 (Score) 為其比較之標準。關於天氣預報考核方法之演進情形，Brier 與 Allen (1951) 曾作有詳盡之討論，惟此等方法過於繁複，多不適於實際之應用，故尚有繼續研究之必要，以期達到一種比較理想之境地。本文討論之範圍以近年對於短期預報考核已有顯著成就之數種方法為限，希望能促起氣象同仁之研究興趣，並能產生一種能普遍適用之考核方法。

美國氣象學會 Columbia 區分會因鑑於此項問題之重要，曾特別召開一關於天氣預報考核之專題討論會 (1951)，與會者均為若干軍民氣象機構之高階層人士及附近學府之氣象學者，在原則上提供不少重要之意見。會中公認天氣預報之考核計有以下三種目的：

1. 業務之考核：天氣預報之目的在供給應用者之需要，故考核天氣預報之優劣應視其是否滿足應用者之要求而定，由長時間考核之結果即可證明整個業務之成敗。換言之，即為整個業務有效與否之評價。惟天氣預報之形式與內容隨應用者所要求之條件而有不同，勢難得到一種完全一致之考核方法。
2. 人員之考核：在每一氣象機構之中均以預報人員為主體。如有一良好之天氣預報考核方法，即可合理比較此等人員工作能力之高下，並用以決定其適當之調遣與升遷，如缺乏良好之考核方法，則真正有能力之真才即無從選拔，且難使整個機構保持其最高之水準。
3. 技術之考核：氣象學之研究愈有進步則天氣預報之方法愈行增多，如有一良好之考核方法即可決定某種方法適用於某種預報，庶不致預報人員盲無頭緒，莫知所從，更不致因各人應用方法之不同而影響於整個機構效用表現之穩定性。

此外，作者個人認為天氣預報之考核尚可應用於訓練方面。每一個預報班次之訓練，其效果如何可視學生預報作業所表現之成績而定。其結果不僅可作為教育本身研究發展之根據，且可增強學生對於負擔未來預報任務之信心。

天氣預報之種類繁多，在高度方面有高(高空)低(地面)之分，在面積方面有大(區域)小(局部)之分，在時間方面有長短(三小時至四十八小時)之分，在對象方面亦有繁簡(一個或多個氣象要素或天氣現象)之分，其考核之方法不可能完全相同，同時考核實施之結果亦與季節之差異，地理之部位(大陸或海洋)或緯度之高低有密切之關係，故欲以一種指標或分數應用於所有之情形，並得同樣可以互相比較之結果，殆不可能。往往在此種情形比較適用。在另一情形則否。在同一情形之下，往往對此一部份適用，對另一部份則否。

天氣預報之表示方法目前計有兩種：在質一方面，以預報圖 (Prognostic Chart) 表示之，在量一方面，以各種氣象要素數值之多寡或天氣現象發生之強弱(亦有以其發生之或然率表示者)表示之，前者指地面圖上氣壓型或高空圖上高度型之預報，後者指地面氣壓，總雲量，溫度，露點，雲幕高，能見度，風向，風速(力)，降水量等數值或雨，雲，雷雨，霧，煙，霾，沙陣等強度之預報，或高空風向，風速等之預報。此兩種表示方法各有其價值，不可任意偏廢。吾人將先就此兩種表示方法之考核，分別予以討論。

二、預報圖之考核方法

關於預報圖之考核方法，吾人可分別為地面預報圖及高空預報圖討論之。

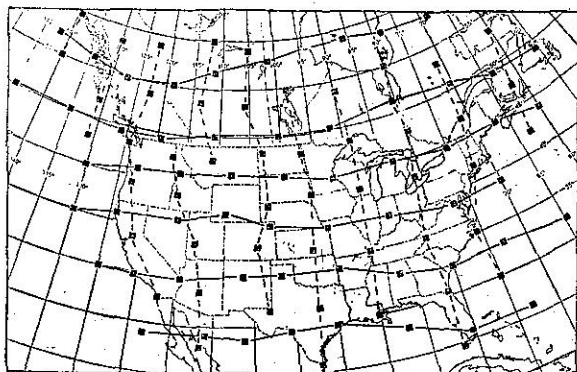
1. 地面預報圖之考核：地面預報圖以氣壓型之預報為主，以界面之預報為輔，前者包括各種氣壓系統(高低氣壓或颱風中心之位移及整個氣壓場強度之變化，後者包括各種界面(冷暖面或閉合面)之位移及其強度之變化。此種預報圖除預測圖面形態之變化外，且須顧及地形地理之影響隨時予以適當之權衡。

地面預報圖之考核，因前已由 Tewels 與 Wobus (1954) 得出一種比較成功之方法，並為美國聯合分析中心 (WBANAC) 所採用，而有效應用於30小時地面預報圖之考核，亦即為該中心所發佈最重要之一種預報圖。此種

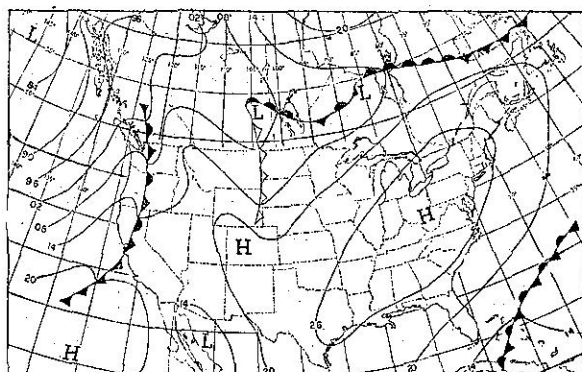
方法僅限於氣壓型之考核，並經過長時間之試驗後，始決定下方之記分方法： $S_i = 100 \frac{\sum |e_G|}{\sum |G_L|}$

式中 e_G 為兩點預測氣壓差與實際氣壓差之誤差， G_L 為此兩點預測或實際之最大氣壓差（二者均有可能）。因兩點之氣壓差為地面預報圖中最有意義之因子，與風有密切之關係。每一對之氣壓數值可在預報區域內自預報圖或實際圖上所選擇相鄰兩測站之氣象報告讀取之。如不能處處均恰有一對適當之測站時，則其中之點可應用內插法自圖上讀取之。此等測站之數目宜於盡量減少以減輕計算工作之負擔，但又不宜過於稀疏以致影響於考核結果之價值，且海平面氣壓訂正以及雷雨等影響均足以使氣壓讀數失去代表性而發生錯誤。

此處 $1/\sum |G_L|$ 為一種難度係數 (Difficulty Coefficient) 之表示方法，其目的在使上述之記分方法獲得平衡，因 $\sum |e_G|$ 受氣壓系統強度之季節變化影響甚大，則所得之分數勢必隨之發生季節性之變化，如有 $1/\sum |G_L|$ 一項之加入而獲得平衡，則此種記分方法之本身即可保持其穩定性。同時選擇 G_L 之另一原因在使預報人員不致僅預報較弱之氣壓系統而避免較強氣壓系統之預報，因有時預報人員可能故意將 $\sum |e_G|$ 盡量降低以獲得較佳之分數也。由一般情形之觀察，證明大多數預報人員均嫌於過分保守，而失去預報氣壓場有特殊重要變化之機會，故此種考核方法正可以糾正此種錯誤觀念而鼓勵其果敢判斷以爭取較佳分數之勇氣。



第一圖 北美主要預報區域內各海平面氣壓測站之選擇及其所構成之網絡



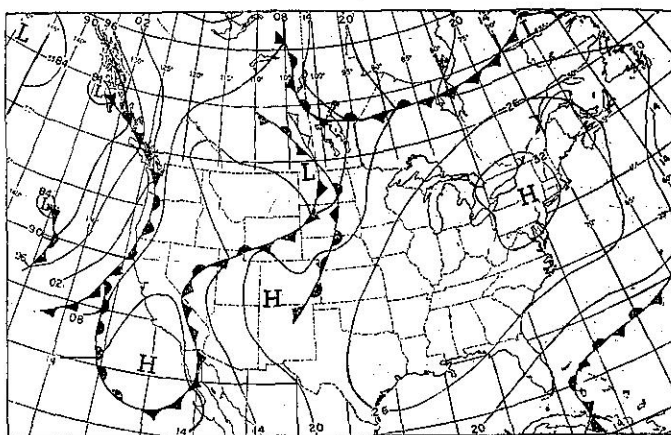
第二圖 1953年十一月十三日1230GMT之地面預報圖

第一圖表示 Tewels 與 Wobus 在北美主要預報區域內所選擇報告有代表性且經常均能收到各海平面氣壓測站之位置及其構成之網絡。其沿東西方向與南北方向之測站均不相重複，各以實線及斷線連接之。每兩測站之距離與方向並不十分規則，最小為270哩，最大為525哩，平均為350哩。

第二圖與第三圖為 1953 年十一月十三日 1230 GMT 一次30小時地面預報圖與實測圖之考核範例。由二者之比較可見預報圖中除加拿大境內一在 $85^\circ W$ 處之氣旋波移動較速而達到 $65^\circ W$ 處外，其餘各主要特徵之預測均甚良好，其分數為490，下表為其核算之結果。

30小時地面預報圖之核算表

表中 p_r 為各測站預報之氣壓，可以內插法就各測站之位置由預報圖中讀得之， p_o 為30小時以後各測站實際之氣壓，即實際圖上填入之氣壓， e_p 為各測站預報與實際氣壓差，因不同季節，天氣狀況或整個預報區域內之廣泛氣壓升降，其數值可在1至10毫巴之間。因任何兩測站之 e_G 即等於此兩測站 e_p 之代數差，故由個別縱橫線上每相鄰兩測站之 e_p 代數差之總和即得沿此縱線或橫上



第三圖 1953年十一月十三日1230 GMT之實際地面圖

e_G 之總和。 G_L 可由表中個別縱橫線上相鄰兩測站 p_r 與 p_o 之互相比較得之，何者較大則取何者（其目的在使預報人員對於 p_r 或 p_o 均獲有同樣之機會以平衡強烈氣壓場之變化）。將同一縱或橫線上每相鄰兩測站之 G_L 相加，即

得沿此縱或橫線上 G_L 之總和。

P _f	P _o	P _p	Sta.	P _f	P _o	P _p	Sta.	P _f	P _o	P _p	Sta.	P _f	P _o	P _p	Sta.
84	(84)	10	57/42	88	(97)	+11	40/30	90	88	+2	361	11	13	-2	857
93	86	+7	388	15	05	+11	594	88	(85)	10	55/40	14	14	0	91K
99	93	+1	950	15	0	0	582	5	5	0	20	20	0	0	651
96	92	+1	940	21	20	+1	574	98	98	-2	958	23	25	-2	450
93	92	0	932	19	20	-1	AKO	95	(97)	+2	107	26	26	0	256
10	15	-15	921	23	26	-3	449	147	(98)	+7	48/31	24	25	-1	250
16	16	0	913	24	31	-7	438	16	16	0	945	12	(19)	-7	848
17	(23)	59/06	907	29	32	-3	405	92	92	-4	896	17	23	-6	749
18	21	-16	907	25	(30)	-5	39/70	92	92	-1	798	23	28	-5	641
18	(12)	16	906	19	(10)	-4	35/25	97	90	+7	693	26	26	0	MAV
26	89	14	824P	15	17	+2	394	12	12	0	483	25	21	-4	231
26	(88)	50/35	594	15	13	+2	380	17	16	+1	290	14	(20)	-6	55/80
24	(17)	14	889	22	22	0	365	12	13	-1	785	17	23	-6	735
28	15	-13	872	22	22	0	344	14	14	0	681	26	28	-2	623
10	12	-2	860	21	23	-2	228	16	16	0	475	29	31	-2	THR
11	13	-2	842	21	23	-2	208	15	15	0	278	23	25	-2	206
13	(22)	836	820	21	(24)	-3	33/73	12	(13)	-1	255	16	18	-2	201
17	(25)	-11	810	12	12	0	010	17	17	0	334	18	19	-1	826
21	22	-1	808	20	20	0	151	12	12	0	879	24	24	0	714
19	21	-2	43/30	12	14	-2	160	14	15	-1	775	21	21	0	508
02	(22)	15	698	10	10	0	225	14	14	0	775	21	21	0	304
13	03	-10	687	24	24	0	261	09	(10)	-1	59/05	19	(19)	0	50/75
14	10	-4	677	27	28	-1	243	10	10	0	869	17	18	-1	816
14	18	-4	668	23	(25)	-2	26/87	10	10	0	767	22	24	-2	709
20	22	-2	658	16	17	-1	202	16	16	0	464	21	21	0	42/63
25	30	-5	639	15	(16)	-1	26/73	23	23	0	464	21	21	0	42/63
28	32	-4	622	01	01	0	011	22	22	0	464	21	21	0	42/63
25	28	-3	608	01	01	0	011	22	22	0	464	21	21	0	42/63
21	24	-3	600	01	01	0	011	22	22	0	464	21	21	0	42/63
01	55	54	0.23	121	82	43	96	67	63	103	71	30			
175	120	103		$S_1 = \frac{96}{2} = 48$	$S_2 = S_1 - \frac{67+63}{2} = -10$	$\frac{103}{2} = 51.5$	30-hr. surface prognosis for								
RIF															
Plotter's Initials															

第四圖與第五圖為1953年十二月三日1830 GMT 另一次30小時地面預報圖與實際圖，可見其預報圖中若干部份與實際圖相去甚多，其得分為89。

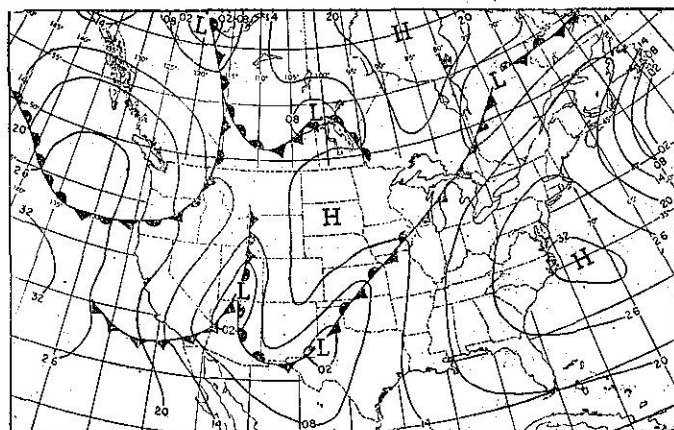
此項分數 S_1 之變化範圍可在0至200之間根據實際應用之經驗，其絕對範圍約在40至110之間。其80個月考核成績之平均數值為67。故1953年十一月十三日1230 GMT 一次之考核結果(49)為高於平均之分數，而1953年十二月三日1830 GMT 一次之考核結果(89)則為低於平均之分數。 S_1 之季節變化不大，八月份之平均數值為63.2，二月份之平均數值為68.5，以八月份之一般考核結果為較優，與實際之預報經驗亦相吻合。

S_1 之重要變化常依數日之間隔而發生，視氣壓系統之大小，強度與運動之規律性而定。

強大且運動較緩慢之氣壓系統存在時，其氣壓梯度預報之誤差可能較實際或預報梯度之總量為小，其分數可在50至65之間。對於形態不顯著且運動較迅速之氣壓系統，其分數可上升至65至80之間。此種情形係由於天氣狀況之變化趨勢所造成，即使有難度係數 $1/\sum |G_L|$ 之引入亦無從補償之。在長時間內，兩個技術熟練與否之預報人員，其平均分數不至超過10分，但有時在 S_1 函漸增大之情形，則對於預報人員頗為不利。

當一預報單位之人員每日分為四班工作並繪製四張預報圖時，每人大都僅擔任一班之工作，且每日僅繪製一張預報圖，故每第四張圖即為其本人所繪製。如以 $\frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 (S_1)_i$ 為其所繪製一張預報圖及其前後三張其他三班人員所繪製預報圖分數之七次平均分數，並以 S_2 為此人所獲一次分數與平均分數之較差，則：

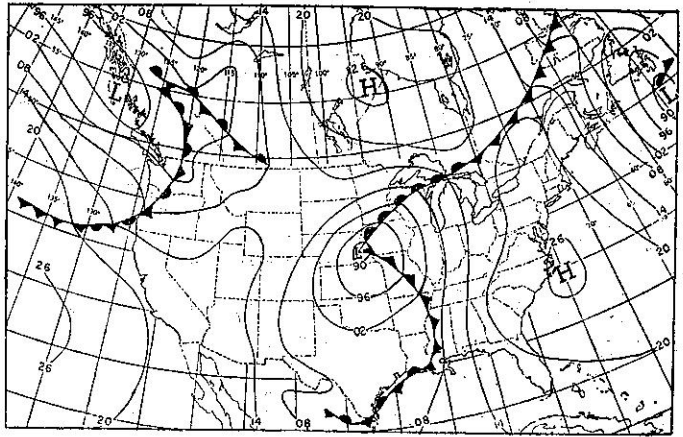
$$S_2 = S_1 - \frac{1}{7} \sum_{i=1}^3 (S_1)_i$$



第四圖 1953年十二月三日 (1830GMT之地面預報圖)

此亦為考核所有預報人員相對工作能力之一種有效方法。此外尚有一種更此較精確之考核方法可顧及個人技術之熟練程度，因過於繁複，故此處不予討論。

關於地面預報圖上界面位移及強度變化之預報目前發向無有效之考核方法，或地面預報圖之考核僅以氣壓場不變化為限。



第五圖 1953年十二月三日之實際地面圖

2. 高空預報圖之考核：高空預報圖通常以700毫巴或500毫巴等壓層為根據，預報其高度型之變化，亦即西風長波之預報，包括槽(脊)線之位移及波幅之變化。高度型之預報亦可以Tewe's 與 Wobus 所建議之方法考核之，並以若干經緯度交叉點處之高度讀數代替地面圖上若干選擇測站之氣壓讀數。但一般情形僅考核其槽(脊)之位移，比較預報圖與實際圖上之槽(脊)線相差若干經度。700毫巴槽(脊)線之

位移以 Rossby 之波速公式 $C = u - \frac{\beta L^2}{4\pi^2}$ 預報之，關於此項公式之考核結果，Namias (1942) 曾有詳細之討論。

500 毫巴槽(脊)線之位移以 Petterssen 之波速公式 $C = \frac{u - \frac{\beta L^2}{4\pi^2} \cos \gamma}{1 + \left(\frac{L}{2\pi B}\right)^2}$ 預報之，其考核結果，Johannessen 與

Cressman(1952) 曾有詳細之討論。

三、各種氣象要素與天氣現象預報之考核

預報圖之考核，無論其為氣壓型(地面)或高度型(高空)，均為一種定性預報，並不表示若干重要氣象要素或天氣現象之量之變化。關於各種氣象要素與天氣現象之預報，目前以客觀法為其比較有效之方法。此點作者於本刊第一卷第三期所發表「客觀預報法之原理與應用」一文已予討論。該文中所應用之考核方法，無論準確率或技術得分 (Skill Score) 均須根據對某一氣象要素或天氣現象所作預報之總次數及其命中或不命中之次數計算之，僅適用於各種預報方法本身效用之考核，不適用於短期預報方面多種氣象要素及天氣現象同時預報之考核。

關於各種氣象要素及天氣現象同時預報之考核，迄今尚無定論，惟吾人可列舉美國麻省理工學院氣象系與麻省理工學院氣象系所應用之方法以為討論之根據。

1. 麻省理工學院氣象系之考核方法

項目	預測	實	際	扣分	項目	預測	實	際	扣分	項目	預測	實	際	扣分
天	晴空	晴空或 $\frac{1}{10}$		0	天	無	無		0	氣壓	同一等級或左右相鄰等級以內		0	
		$\frac{2}{10} - \frac{4}{10}$		1			霧或降水		2			左右兩個等級以內		1
		其 他		2					其 他				2	
	疏雲	$\frac{1}{10} - \frac{6}{10}$		0		雨	雨		0	溫度	同一等級以內		0	
		$\frac{7}{10}, \frac{10}{10}$, 遮蔽		2			雪, 雷雨		1			左右相鄰等級以內		1
		其 他		1		無 或 霧		2	其 他		2			
空	裂雲	$\frac{5}{10} - \frac{9}{10}$		0	雪	雪		0	風向	如實際風力為0,1,2級任何風向均可如在三級以上				
		晴空或 $\frac{1}{10}$		2		雨, 雷雨		1			± 45° 以內		0	
	其 他		1	無 或 霧			2	± 90° 以內				1		
	密雲	$\frac{5}{10} - \frac{9}{10}$		0	雷雨	雷雨(過去或現在)或遠電		0	風速	其 他		2		
		$\frac{7}{10}, \frac{10}{10}$, 遮蔽		1		降水		1			± 1 級以內		0	
		其 他		2		無 或 霧		2			± 3 級以內		1	
					霧	霧 或 煙		0		其 他		2		
						降 水		2						

其中氣壓(毫巴)分爲 ≤ 1000 , $1001 \rightarrow 1003$, $1004 \rightarrow 1006$, ..., $1037 \rightarrow 1039$, ≥ 1040 等15級, 溫度($^{\circ}\text{F}$)分爲 ≤ -10 , $-9 \rightarrow -5$, $-4 \rightarrow 0$, ..., $+51 \rightarrow +55$, $\geq +56$ 等15級。Widger 與 Palmer (1951) 更設計一種特殊之打洞卡片, 應用 IBM 測驗記分機 (Test Scoring Machine) 迅速自動計算每一次全部項目預報之分數, 適用於大班次學生預報成績之考核。每一次預報三個測站(任意指定, 視需要隨時變更), 每一測站預報三段時間(24, 36及48小時), 在每日檢討會之前繳入, 次日上課開始時, 發還由全班學生互相判分, 交由本人核對研究後再繳還辦公室以便登記分數。

由兩校記分標準之比較, 可見此種考核方法之出入甚大。加省理工包括之項目較麻省理工完備, 但麻省理工之記分方法較加省理工爲簡單。麻省理工之考核方法可採用打洞卡片以測驗記分機自動判分, 但加省理工方法則不可能。如有大量預報需要判分, 自然應用機械自動判分爲一極大之便利。由此可知此種考核方法未成熟, 大有研究之餘地。

四、結 論

綜觀上述, 可知每一氣象機構無論考核其業務, 人員或技術, 必須自天氣預報之考核着手。Allen 在天氣預報考核專題討論會中認爲製作一天氣預報有如推行一科學試驗, 預報如不加以考核即等於試驗而不問其結果。Mook 認爲天氣預報爲每一氣象機構之主要「產品」故天氣預報之考核尤爲產品之「品質管制」, 隨時藉考核之實施以提高其品質之標準。Petterssen 即認爲每一氣象機構預報工作之良好表現乃每個人能力之總和, 每個人必須發揮最大之能力始能獲得整個團體之最高評價。故天氣預報之考核確爲吾人必須特別注意之一問題。

爲促進天氣預報質與量之共同進步及其密切之配合應用, 吾人今後對於天氣預報之考核必須就預報圖及各種氣象要素與天氣現象之預報 (Prognosis) 同時予以顧及。偏重理論之氣象學家認爲預報圖之準確與否已足以代表天氣預報之考核, 尤以應用高空圖從事數值預報之部份人員大都如是, 偏重實用之氣象學家則認爲祇須各種氣象要素及天氣現象之預報能於準確, 即不一定再需要預報圖, 多數有經驗之熟練預報人員大都作如是之主張。作者認爲二者應並重, 在分數方面應各作50%, 始可構成一完善之考核制度。

關於預報圖之考核, 無論高空或地面, 作者認爲均可適用 Tewels 與 Wobus 所設計之方法, 惟宜於一律以經緯度交叉點爲準, 以節省計算之時間。關於各種氣象要素與天氣現象之考核, 雖然麻省理工與加

參考文獻見41頁

2. 加省理工學院氣象之考核系方法

項 目	分	數
總 雲 量	$N = 0-1$ ○	+2
	$N = 2-4$ ⊙	+2
	$N = 5-9$ ⊗	+2
雨 雲	雨	+3
	雲	+2
特 殊 天 氣	霧	1 +2 不中 -2
		2 +4 不中 -3
	煙霾或雷雨	1 +2 相差一級 +2, 不中 -1
		2 +4 相差一級 +2, 不中 -2
	雨夾雪或凍雨	1 +3 相差一級 +3, 不中 -1
		2 +6 相差一級 +3, 不中 -2
雲 幕 高 (千呎)	5 或 >5	+1
	1 — 5 (含)	+2
	1 或 <1	+4
能 見 度 (哩)	5 或 >5	+1
	2 — 5 (含)	+2
	2 或 >2	+4
降 水 量 (十二小時內總量) (吋)	無	0 — .02 +1
	小	.01 — .30 +2
	中	.25 — .80 +4
	大	>.75 +6
地 面 風	風向	± 45°以內 +2 其他無分
	風力 (級)	輕風 0 — 3 +1
		和風 4.5 +1
		強風 6.7 +4
		暴風 27 +6
高 空 風 (10,000呎)	風向	± 40°以內 +2 其他無分
	風力 (級)	輕風 0 — 3 +1
		和風 4.5 +1
		強風 6.7 +1
		暴風 27 +1
溫 度 或 露 點 ($^{\circ}\text{F}$)	預報與實際相差	
	0 — 5	0
	6 — 10	-1
	11 — 15	-2
	16 — 20	-3
	21 — 25	-4
	餘類推	
	每遺漏溫度或露點一處	-3