童軍支部氣象（技能組）專科徽章參考筆記

Scout Association of HONG KONG

Meteorology Team

香港童軍總會 青少年活動署 氣象組

2019年7月 第4.0版

童軍支部氣象（興趣組）專科徽章參考筆記

目錄

目錄	2
氣象章(技能組)綱要	3
第七章：地球大氣	4
第八章：氣象要素測量方法	9
第九章：天氣現象及天氣系統	26
第十章：氣象站	48
第十一章：天氣觀測圖像	50
第十二章：實務天氣預測	54
建議參考書籍	62
參考網上資源	63

氣象章(技能組)綱要

完成下列各項：

1. 考獲氣象章(興趣組)。
2. 明瞭大氣結構，及對流層的重要性。
3. 明瞭各種天氣要素之測量方法。
4. 明瞭各種天氣系統及天氣現象的形成機制及影響。
5. 示範閱讀天氣圖、雷達圖及衛星雲圖。
6. 明瞭基本天氣預測方法，並試行一次短期天氣預報。
7. 明瞭氣象站設立目的及影響氣象站所得數值之因素。
8. 完成以下其中一項事工：
   a) 設計一實驗或模型，並向其他童軍展示及解釋一種天氣系統或天氣現象。
   b) 設計及製作一氣象儀器，用以示範測量一天氣要素，並明瞭儀器中的假設及限制。
   c) 深入探討一個氣象範疇。
   d) 比較兩個自動氣象站的天氣要素數值。

第七章：地球大氣

地球的大氣是非常獨特的，它獨特的成份和結構形成現時大氣內的天氣現象和孕育生命。透過了解地球大氣的特性，我們可以知道地球大氣層中各種現象的形成，從而瞭解各種天氣現象及天氣系統。

單元目標：

- 能列出大氣中的主要成分及其於大氣中的含量；
- 能列出大氣中對氣象重要的成分及其功能；
- 能說出大氣層氣壓及氣溫隨高度如何變化；
- 能列出大氣各層及指出各層的特性；
    - 討論臭氧消耗的成因及其引伸之問題。

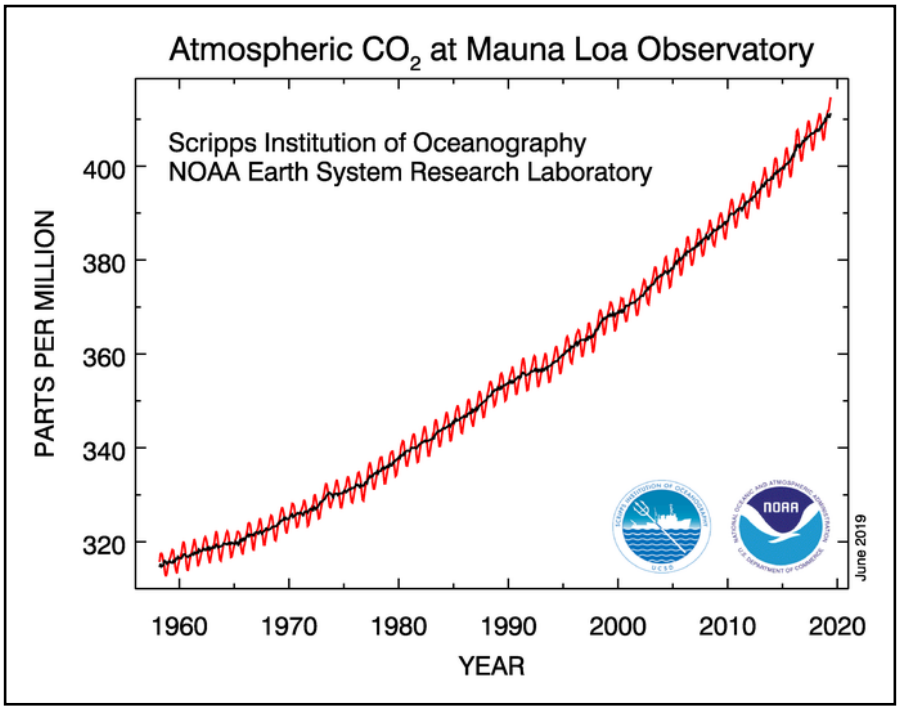
7.1 大氣的成分

地球的表面被一層氣體所覆蓋，我們稱之為大氣。大氣的主要成分如下：

成分	含量	描述
氮 N_2	78.0%	
氧 O_2	20.9%	生物呼吸、燃燒、其他氧化作用
氬 Ar	0.9%	
二氧化碳 CO_2	0.0397%*	光合作用、重要溫室氣體、長遠影響氣候
水汽 H_2O	0.001%–5%	常變、受地方天氣影響、短期影響天氣、大氣傳遞能量的媒介
其他氣體	微量	

大氣成分

*二氧化碳含量由1960年代的約0.031%升至2019的0.041%。（美國大氣及海洋總署(NOAA)夏威夷Mauna Loa觀測站數據）



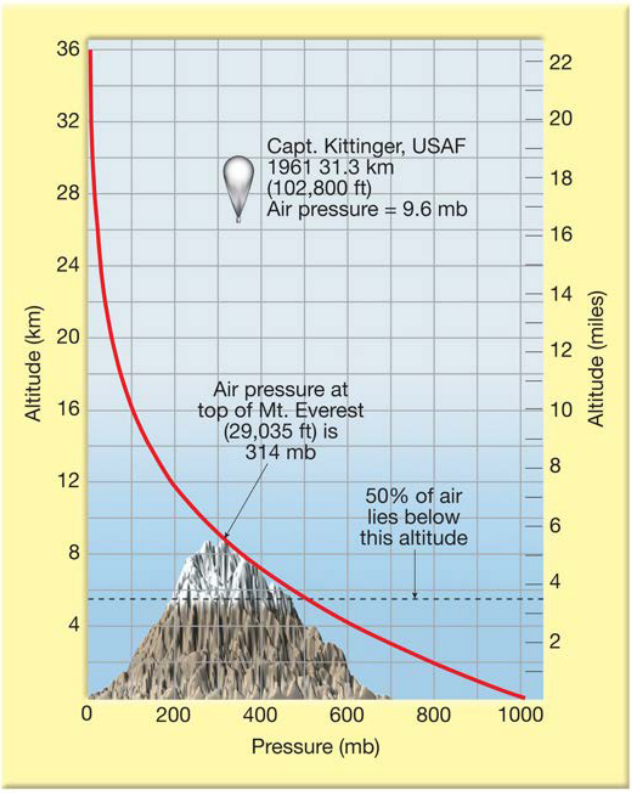
上圖為美國大氣及海洋總署(NOAA)夏威夷Mauna Loa觀測站觀測數據（圖片來源：美國大氣及海洋總署(NOAA)夏威夷Mauna Loa觀測站）。

7.2 大氣的結構

大氣層由氣體組成，無邊無界，因此大氣層的厚度並沒有特定的上限。隨著高度攀升，大氣的物理性質（包括氣壓、密度和氣溫）會不斷變化。

大氣壓力

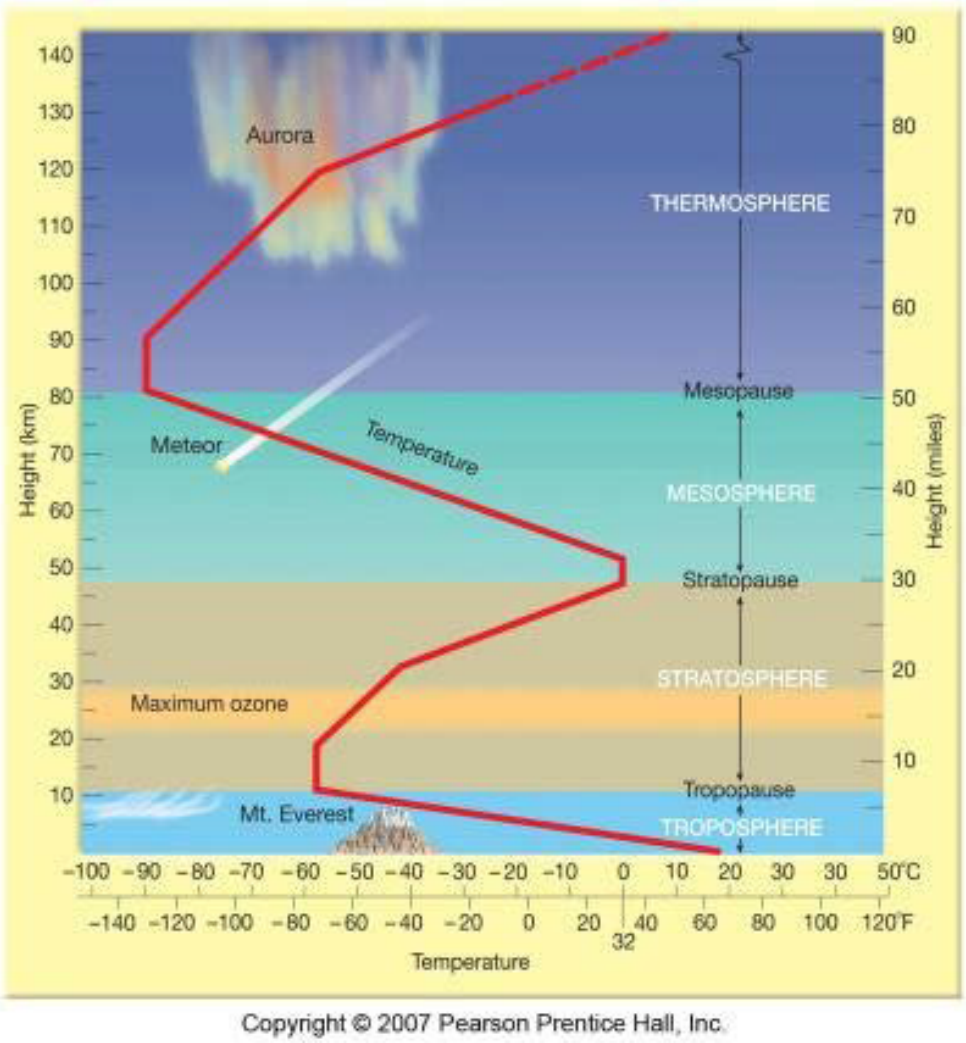
由於氣體是可壓縮的，受到上部空氣壓力影響，下部空氣的密度比上部高，大氣密度隨高度下降；同樣，大氣壓力隨高度上升而下降。地球平均海平面氣壓為1013.25百帕斯卡(hPa)，而在約5.6公里處的氣壓約為一半，即大概有一半的空氣粒子集中於此高度以下。（如圖）



大氣壓力與高度關系圖

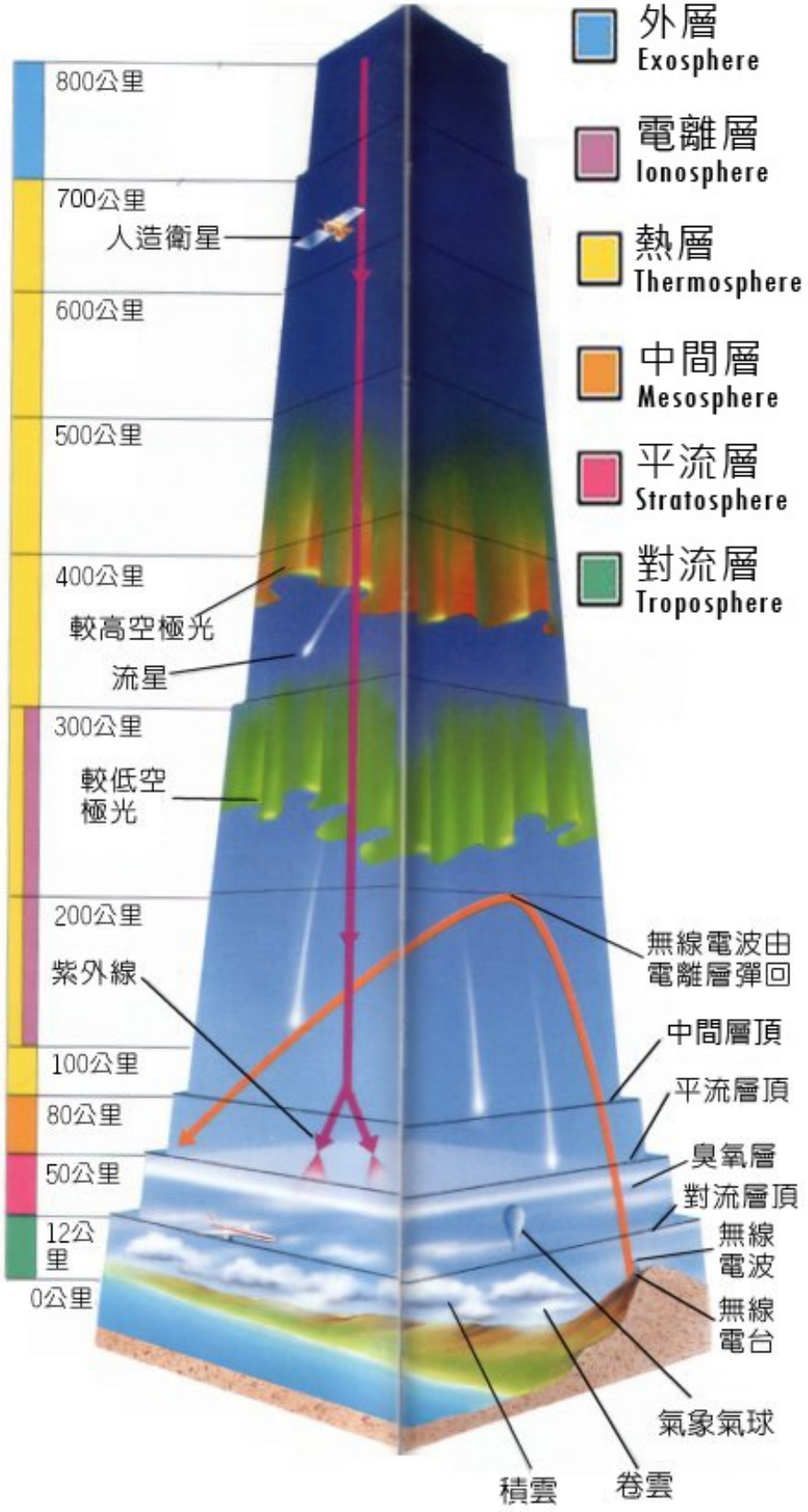
氣溫

大氣溫度隨高度有不同的變化：由地球表面至平均約12公里處隨高度遞減，由平均約12公里至平均約20公里處大約不變，然後隨高度遞增至平均約50公里高度，之後隨高度遞減至平均約80公里處，約80公里以上隨高度遞增。（如圖）



氣溫與高度關係圖

大氣氣壓會隨著高度增加而下降(exponential decrease)，但是氣溫並不一定會隨著高度增加而下降。因此，科學家按溫度變化將大氣層大致分為四層，由最近地面數起分別是對流層(troposphere)、平流層(stratosphere)、中間層(mesosphere)及熱層(thermosphere，又稱增溫層)，熱層以上是與太空接觸之外層(exosphere)。


外層
Exosphere
電離層
Ionosphere
熱層
Thermosphere
中間層
Mesosphere
平流層
Stratosphere
對流層
Troposphere
800公里
700公里
人造衛星
600公里
500公里
400公里
較高空極光
流星
300公里
較低空
極光
200公里
紫外線
無線電波由
電離層彈回
中間層頂
平流層頂
臭氧層
對流層頂
無線
電波
無線
電台
100公里
80公里
50公里
12公
里
0公里
氣象氣球
積雲
卷雲

大氣層結構

大氣層結構

名稱	高度	結構 / 特徵	主要成份	氣溫變化	用途
外層 (Exosphere)	500公里以上	快速移動的較輕粒子	氫氣、氦氣		
熱層 (Thermosphere)	80—500公里	空氣極為稀薄；電離E、F層所在；極光(Aurora)產生	氫氣 (Hydrogen)	隨高度上升而上升	人造衛星運轉；反射無線電波
中間層 (Mesosphere)	50—80公里	電離D層所在	氦氣 (Helium)	隨高度上升而下降	
平流層 (Stratosphere)	12—50公里	臭氧層所在 (15—30公里)	氧氣 (Oxygen)	隨高度上升而上升	大量吸收太陽發出的紫外線
對流層 (Troposphere)	0—12公里 #	各種天氣現象	氮氣 (Nitrogen)	隨高度上升而下降	

於熱帶地區可超過16公里；於極地區可伸展至9公里。平均伸展高度12公里。

7.3 對流層的重要性

太陽輻射到達地球，近50%的能量能夠被地面吸收。被加熱的地面繼而為大氣層底部進行加熱，令大氣層底部產生對流，形成不同的天氣現象，對流層因而為名。幾乎所有天氣現象都在對流層內發生。

對流層透過對流活動將水汽帶到地球表面的不同地方，完成水循環並孕育地球上的生命。因此對流層對地球是非常重要的。

另外，對流活動將有能量盈餘的地方多餘的能量帶到有能量虧損的地方，對地球能量平衡起了相當重要的作用。

第八章：氣象要素測量方法

觀測天氣要素(weather elements)是我們了解天氣及大氣狀況的方法，透過量度、分析及整理不同地區的天氣要素，從而對整個區域的天氣有個宏觀而透徹的了解。這些天氣要素資料為天氣預測、航空氣象氣候學研究、工程、法律證據及民間活動提供非常有用的資訊。

單元目標：

- 能說明以下天氣要素之測量方法：
  - 氣溫
  - 濕度
  - 風
  - 氣壓
  - 降水
  - 雲量
  - 日照

8.1 氣溫

8.1.1 酒精及水銀溫度計

玻璃管液體溫度計內的液體可以是水銀或酒精。酒精本來是透明的，為方便觀察，溫度計內的酒精通常都已染紅。

水銀溫度計的特性：

1. 水銀會隨着溫度升高而均勻膨脹。
2. 水銀是很好的熱導體，故水銀溫度計對氣溫比較敏感，能較快讀取溫度。
3. **水銀有毒，萬一不小心打破需要利用水銀意外包處理。**

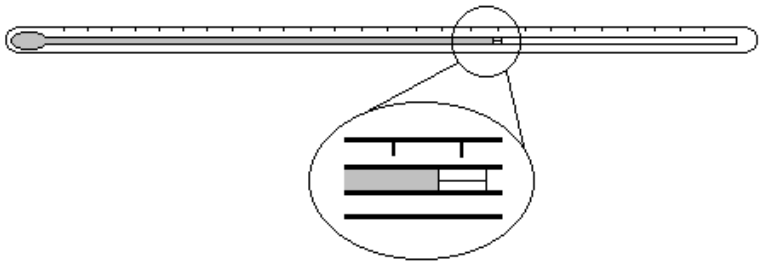
測溫物質	水銀	酒精
測量溫度上限	357 ˚C	78 ˚C
測量溫度下限	–39 ˚C	–115 ˚C
對溫度變化反應	快	慢

酒精溫度計的特性：

1. 因為酒精在低至–115˚C時仍保持液體狀態，所以適合用來量度低溫。
2. 酒精的膨脹率是水銀的六倍，因此酒精溫度計比水銀溫度計更易觀察。
3. 如量度低溫，酒精溫度計是個不錯的選擇。但要量度高溫，例如水的沸點，酒精溫度計便辦不到了。因為酒精在78˚C時會沸騰並蒸發變成氣體。

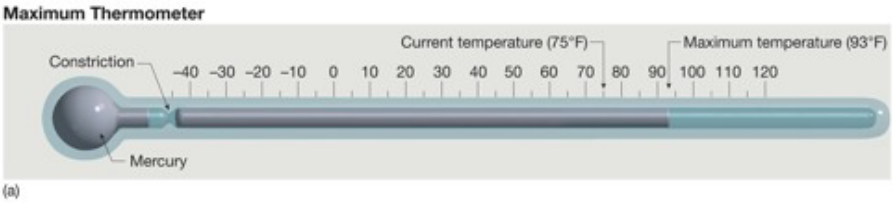
8.1.2 最高溫度溫度計

最高溫度計(maximum thermometer)能顯示某段時間內（一般每天記錄一次）的最高氣溫。與普通的溫度計比較，玻璃管內多了一個啞鈴狀的金屬浮標在水銀柱的表面。當氣溫增高時，水銀受熱膨脹，推動浮標前進；當氣溫下降，水銀收縮，水銀因未有受力而停留在原位；因此，浮標最接近水銀表面處即指示最高氣溫。



最高溫度溫度計

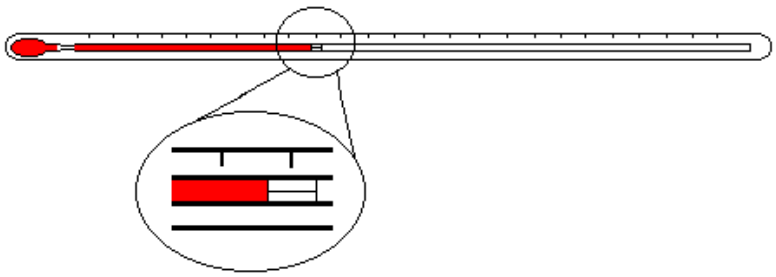
另一種最高溫度計的設計是在球管和玻管之間的位置收窄。當氣溫增高時，球管中的水銀受熱膨脹，令水銀柱推進；當氣溫下降，球管的水銀收縮，水銀柱受到狹窄通道阻擋而停留在原位；因此，水銀柱停留在最高氣溫的位置。



另一款最高溫度溫度計

8.1.3 最低溫度溫度計

最低溫度計(minimum thermometer)顯示某段時間內（一般為一天）的最低氣溫。和最高溫度計一樣，玻璃管內有一個啞鈴狀的金屬浮標，但是管內以酒精代替水銀。由於酒精凝固點較低及有凹狀液面，當氣溫下降時，酒精收縮，浮標隨酒精向球管移動；當氣溫增高時，酒精膨脹，浮標受力不足而停留不動；浮標最接近酒精液面處即指示最低氣溫。

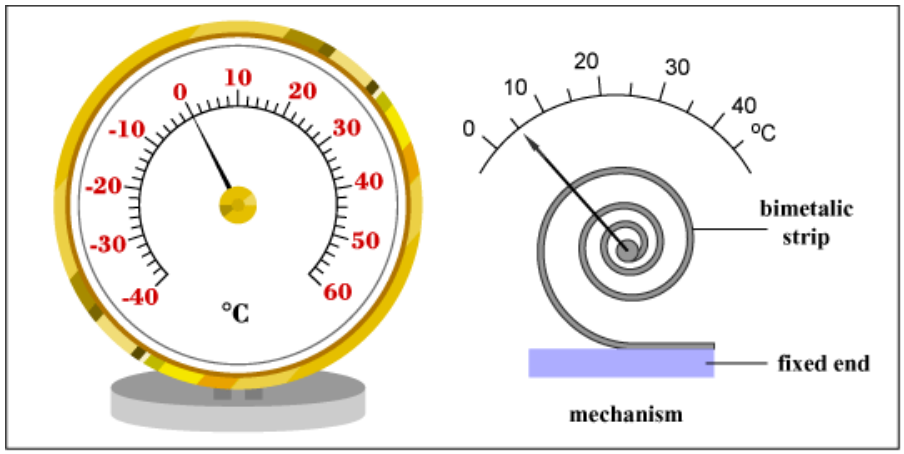


最低溫度溫度計

*最高及最低溫度溫度計亦有時有其他設計。

8.1.4 指針溫度計

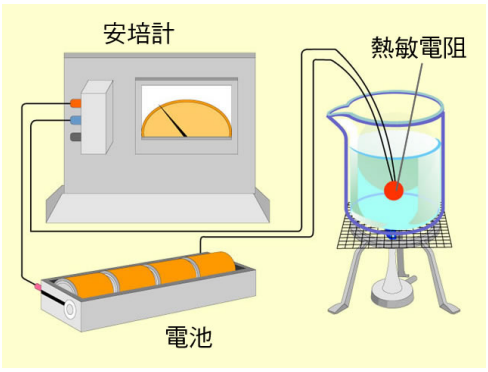
指針溫度計是形如儀錶盤的溫度計，通常用來量度室溫，以金屬的熱脹冷縮原理製成的。它是以雙金屬片做為感溫元件，用來控制指標。雙金屬片通常是用銅片和鐵片鉚在一起，且銅片在左，鐵片在右。由於銅的熱脹冷縮效果要比鐵明顯的多，因此當溫度升高時，銅片牽拉鐵片向右彎曲，指標在雙金屬片的帶動下就向右偏轉(指向高溫)；反之，溫度變低，指標在雙金屬片的帶動下就向左偏轉(指向低溫)。



指針溫度計

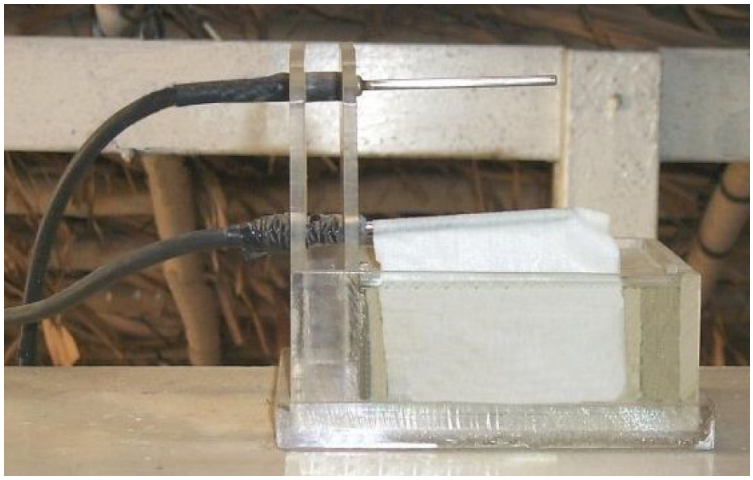
8.1.5 電阻溫度計

電阻溫度計分為金屬電阻溫度計和半導體電阻溫度計，都是根據電阻值隨溫度的變化這一特性製成的。金屬導體的電阻隨溫度的升高而增加；隨溫度之降低而減少，測量此金屬導體之電阻值，便能得出其溫度。電阻溫度計使用方便可靠，已廣泛應用。童軍營地自動氣象站正是使用白金電阻溫度計。白金線(又稱鉑線)，乃金屬線型溫度計線材之最佳材料，一般使用溫度範圍約為–50°C～300°C。



電阻溫度計

半導體電阻溫度計又稱「熱敏電阻溫度計」，它隨溫度的改變與金屬電阻剛好相反，受熱時電阻會降低，線路的電流因而增加。藉由電流的大小變化，我們可以知道物體的溫度。它的測量範圍為–40°C至100°C左右。

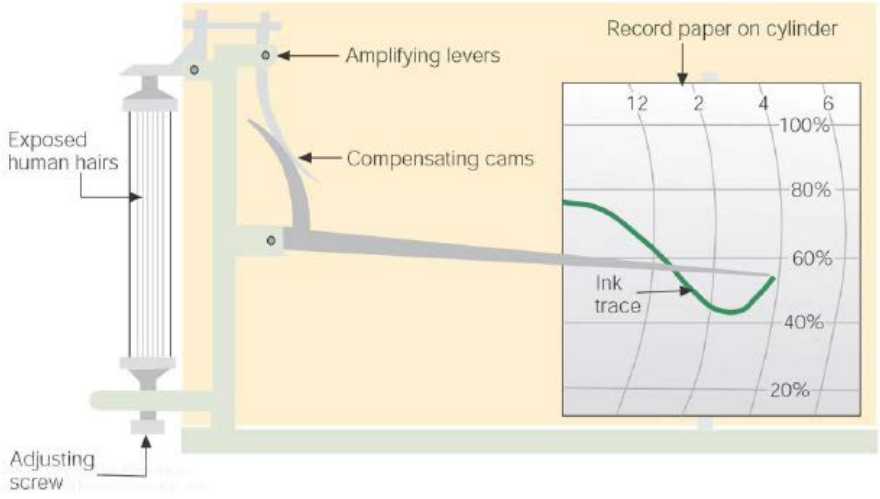


天文台的白金電阻溫度計

8.2 濕度

8.2.1 毛髮濕度計

由於毛髮(人類或馬匹)會因應不同的相對濕度(0%至100%)而其長度會有2.5%變化，經放大其長度變化，藉以量度當時相對濕度。



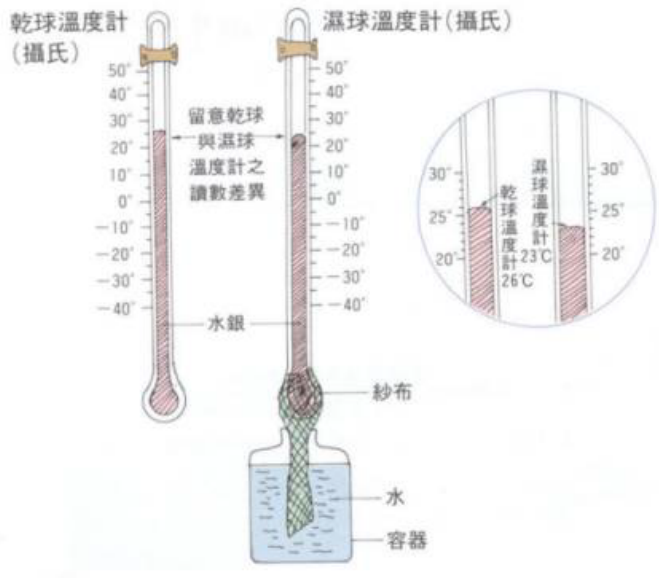
毛髮濕度計（圖片來源：《Meteorology Today》）

8.2.2 乾濕球溫度計

雖名叫溫度計，但此組儀器除了量度溫度，也能用來量度濕度的。乾球溫度計即普通的溫度計，濕球溫度計則是在溫度計的球管上裹上了濕的紗布，紗布的另一端浸於盛水器內，靠毛細管作用保持濕潤。若空氣含水量低於最大容量時，紗布的水分便會較容易蒸發。這樣便將濕球溫度計的熱帶走，球管溫度便會下降。濕球溫度通常會比乾球溫度相同或較低。

乾、濕球溫度應定時記錄，並計算兩者的差異，然後依據這個差數和乾球溫度便可得知相對濕度的數值及露點溫度的數值。相對濕度的數值可從附錄的「相對濕度對應表」中找出；露點溫度的數值可從附錄的「露點溫度對應表」中找出。

乾、濕球的溫度相差越大，表示蒸發量越多，亦即相對濕度越低；如兩者相差輕微，則表示濕度很高。要注意的是：當兩者的溫度相等時，可能是相對濕度為100%，亦可能是紗布鬆脫或乾涸。



乾濕球溫度計

相對濕度對應表

乾球溫度計溫度 ℃	乾、濕球溫度計溫度差 ℃ 溫度差=乾球溫度−濕球溫度																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
−20	28																					
−18	40	0																				
−16	48	11																				
−14	55	23																				
−12	61	33																				
−10	66	41	0																			
−8	71	48	13																			
−6	73	54	20	0																		
−4	77	58	32	11																		
−2	79	63	37	20	1																	
0	81	67	45	28	11																	
2	83	70	51	36	20	6																
4	85	72	56	42	27	14																
6	86	74	59	46	35	22	10	0														
8	89	76	62	51	39	28	17	6														
10	88	78	65	54	43	33	24	13	4													
12	88	79	67	57	48	38	28	19	10	2												
14	89	80	69	60	50	41	33	25	16	8	1											
16	90	81	71	62	54	45	37	29	21	14	7	1										
18	91	82	72	64	56	48	40	33	26	19	12	6	0									
20	91	83	74	66	58	51	44	36	30	23	17	11	5									
22	92	84	75	68	60	53	46	40	33	27	21	15	10	4	0							
24	92	85	76	69	62	55	49	42	36	30	25	20	14	9	4	0						
26	92	86	77	70	64	57	51	45	39	34	28	23	18	13	9	5						
28	93	86	78	71	65	59	53	45	42	36	31	26	21	17	12	8	4					
30	93	86	79	72	66	61	55	49	44	39	34	29	25	20	16	12	8	4				
32	93	86	80	73	68	62	56	51	46	41	36	32	27	22	19	14	11	8	4			
34	93	86	81	74	69	63	58	52	48	43	38	34	30	26	22	18	14	11	8	5		
36	94	87	81	75	69	64	59	54	50	44	40	36	32	28	24	21	17	13	10	7	4	
38	94	87	82	76	70	66	60	55	51	46	42	38	34	30	26	23	20	16	13	10	7	5
40	94	89	82	76	71	67	61	57	52	48	44	40	36	33	29	25	22	19	16	13	10	7

< Frederick Lutgens and Edward Tarbuck, The Atmosphere (Tenth Edition) >

露點溫度對應表

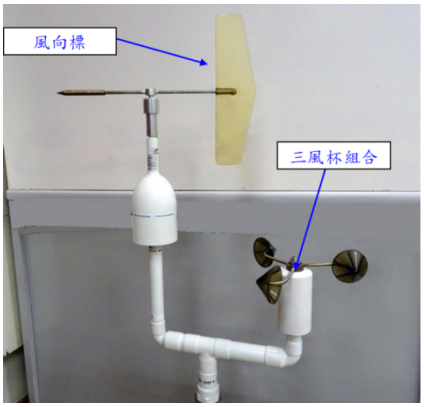
乾球溫度計溫度 °C	乾、濕球溫度計溫度差 °C 溫度差=乾球溫度−濕球溫度																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
−20	−33																					
−18	−28																					
−16	−24																					
−14	−21	−36																				
−12	−18	−28																				
−10	−14	−22																				
−8	−12	−18	−29																			
−6	−10	−14	−22																			
−4	−7	−12	−17	−29																		
−2	−5	−8	−13	−20																		
0	−3	−6	−9	−15	−24																	
2	−1	−3	−6	−11	−17																	
4	1	−1	−4	−7	−11	−19																
6	4	1	−1	−4	−7	−13	−21															
8	6	3	1	−2	−5	−9	−14															
10	8	6	4	1	−2	−5	−9	−14	−18													
12	10	8	6	4	1	−2	−5	−9	−16													
14	12	11	9	6	4	1	−2	−5	−10	−17												
16	14	13	11	9	7	4	1	−1	−6	−10	−17											
18	16	15	13	11	9	7	4	2	−2	−5	−10	−19										
20	17	17	15	14	12	10	7	4	2	−2	−5	−10	−19									
22	21	19	17	16	14	12	10	8	5	3	−1	−5	−10	−19								
24	23	21	20	18	16	14	12	10	8	6	2	−1	−5	−10	−18							
26	25	23	22	20	18	17	15	13	10	9	6	3	0	−4	−9	−18						
28	27	25	24	22	21	19	17	16	14	11	9	7	4	1	−3	−9	−16					
30	29	27	26	24	23	21	19	18	16	14	12	10	8	5	1	−2	−8	−15				
32	31	29	28	27	25	24	22	21	19	17	15	13	11	8	5	2	−2	−7	−14			
34	33	31	30	29	27	26	24	23	21	20	18	16	14	12	9	6	3	−1	−5	−12		
36	35	33	32	31	29	28	27	25	24	22	20	19	17	15	13	10	7	4	0	−4	−29	
38	37	35	34	33	32	30	29	28	26	25	23	21	19	17	15	13	11	8	5	1	−10	−9
40	39	37	36	35	34	32	31	30	28	27	25	24	22	20	18	16	14	12	9	6	−3	−2

< Frederick Lutgens and Edward Tarbuck, The Atmosphere (Tenth Edition) >

8.3 風速及風向

8.3.1 風杯和風向標

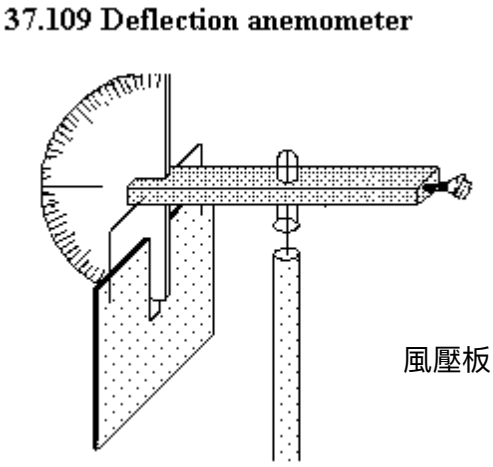
風速和風向是分別利用磁感風速杯和風向標來量度。磁感風速杯通常有三個對稱風杯，固定於垂直軸上，令每個風杯的直徑面都是垂直。由於風杯凹面比凸面承受較大的風力，風杯輪便會隨風轉動，觀測員可從風杯轉動的速度來確定風速。

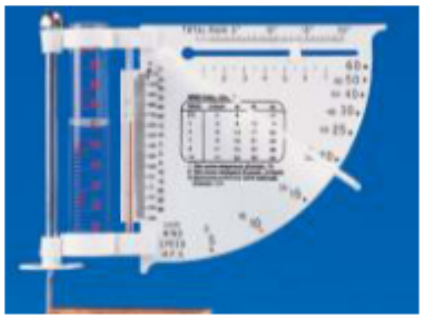


至於風向，則由風向標顯示。風向標基本上是一個不對稱形狀的物體，重心點固定於垂直軸上。當風吹過，由於風向標尾部對空氣流動產生較大阻力，因此便會順風轉動，風向標頭部所指的就是風向。

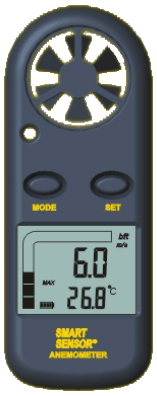
8.3.2 風壓板

風壓板是一塊扁平的結構，其一末端固定在風向儀的尾部下方。平時無風時，風壓板鉛垂向下；有風時，風壓板向後方升起，與原位置形成一角度，風力越強，角度越大。利用風壓板升起的角度，我們就可以測量出風力。





風壓板



扇葉式風速計

8.3.3 風袋

風袋(windsock)呈近乎錐形的管狀紡織結構，入口方大而出口方小，入口方用繩索固定在標桿上。平時無風時，風袋沿垂向下；一級風時，風袋能被風吹動；四級風時能風袋完全伸尾並水平飄揚。風袋常見於機場、水上活動中心及一些有氣體洩漏風險的化工廠。

風袋

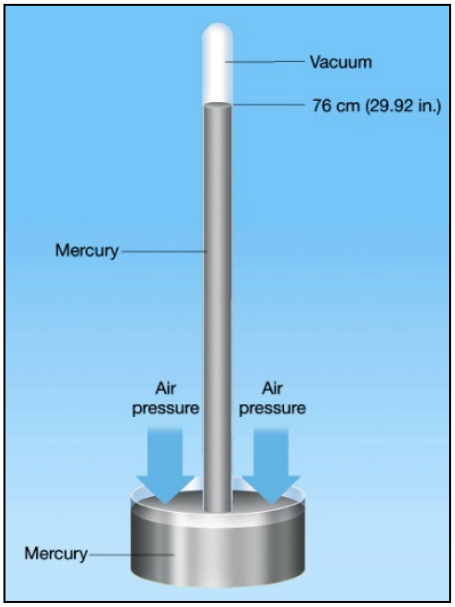
8.3.4 蒲福氏風級

日常活動時，我們手上未必有精密儀器去進行量度，不過我們也可利用肉眼觀察風力，然後利用蒲福氏風級表推算風力。

(詳細蒲福氏風級表可在興趣組筆記找到。)

8.4 氣壓

8.4.1 水銀氣壓計



水銀氣壓計(mercury barometer)是在世界各地有觀測員的氣象站和氣候氣象站均採用的標準氣壓計。

水銀氣壓計利用氣壓越大，真空玻璃管內水銀柱受大氣壓力而越高的原理操作。它由一枝垂直的玻璃管，垂直地插在一個盛滿水銀的容器內，外加一道刻度尺組成。

單位為毫米水銀(mmHg)或寸水銀(in.Hg)

8.4.2 空盒氣壓計

空盒氣壓計(aneroid barometer)盒內大部分的空氣已被抽出，利用金屬薄片的彈性，由盒蓋感應外面氣壓的轉變，然後通過槓桿作用，將變化放大，帶動指針移動以顯示氣壓。空盒氣壓計較廉宜，輕便，易於攜帶，但準確度則較低。改良的精密空盒氣壓計(precision aneroid barometer)，則可克服這方面的弱點。

若附加墨水及圓筒，空盒氣壓計的指針可作筆用，直接把氣壓變化的曲線繪畫在圓筒的記錄紙上，這就成了自記氣壓計(barograph)。

8.4.3 數字氣壓表

數字氣壓表是一種電子氣壓計，現時京士柏氣象站及一些自動氣象站，都是採用這種氣壓計，以便收集實時的大氣壓力讀數。由於數字氣壓計裝有通訊界面，設於偏遠地區的數字氣壓計所錄得的氣壓讀數，可通過電話線傳送至天文台總部。

8.5 降水

8.5.1 降雨感應器

降雨感應器(precipitation sensor)上有一塊電路板，電路板上佈滿兩組電極，電極間相距0.5mm，即使是最細小雨點降在感應器上，都會觸發感應器短路，令感應器傳送訊息往天文台，告知有降雨紀錄，但感應器無法得知雨量。

降雨感應器

8.5.2普通雨量計

普通雨量計(ordinary raingauge)專供有觀測員的氣象站使用。雨水經漏斗收集於集雨罐內，如果雨勢太大，內罐滿瀉，雨水就會由外罐收集。天文台總部所用的雨量計，直徑為203毫米。把收集到的雨水倒進量筒內，便可量度雨量。

$$h=\frac{V}{\frac{1}{4}\pi d^2}$$

當中h為雨量，V為收集雨水容積，π為圓周率，d為漏斗直徑。

另，如果內罐為直身容器，可直接測量內罐水位得知雨量。

$$V=\frac{1}{4}\pi d^2 h=\frac{1}{4}\pi D^2 h$$

$$H=h\times\frac{d^2}{D^2}$$

當中，V為收集雨水容積，d為容器直徑，h為容器水位，D為漏斗直徑，H為雨量。

因此，

$$雨量=容器水位\times\left(\frac{容器直徑}{漏斗直徑}\right)^2$$

普通雨量計（左：組裝 右：拆開）

8.5.3 翻斗式雨量計

翻斗式雨量計(tipping bucket raingauge)常應用於自動氣象站來量度雨量。這種雨量計的分格式雨斗組件，採用蹺蹺板的原理。樞軸置於中央，當雨斗上半格所收集的雨水達到預設的雨量時，雨斗便會傾斜，把收集所得的雨水排走，並移動雨斗上另一邊半格於集雨口準備收集雨水。與此同時，雨斗翻動所產生的電流脈衝由數據記錄儀記錄，把選定時段內的數據相加，便可得出期間雨量的總和。雨斗一般在收集到0.5毫米(天文台雨斗每次收集0.1毫米)的累積降雨量後，便會傾斜翻動一次。

設於洞梓童軍中心、白沙灣譚華正海上活動中心及大潭童軍中心的童軍營地自動氣象站的雨量計亦使用翻斗式技術，雨筒口徑為214cm^2，而雨斗的集水量為0.2毫米。

普通雨量計（左：組裝 右：拆開）

8.5.4 虹吸式量雨計

虹吸式雨量計(tilting siphon raingauge)專供有觀測員的氣象站使用，容量為25毫米。

當雨水落入虹吸式雨量計，雨量計內的浮波會上升。牽制浮波的槓桿會上升。附加墨水及圓筒，虹吸式雨量計的指針可作筆用，直接把雨量變化的曲線繪畫在圓筒的記錄紙上，這就成了自記雨量計。

當雨量達到25毫米，虹吸式雨量計最大容量，雨量計會自動排水。雨量記錄便由零開始。

虹吸式雨量計

8.5.5 降雪

本港雖未見大規模降雪，但在不少地方，雪是一大煩惱。較簡單及傳統的方法，是以尺插在地，以尺上刻度量度降雪量。

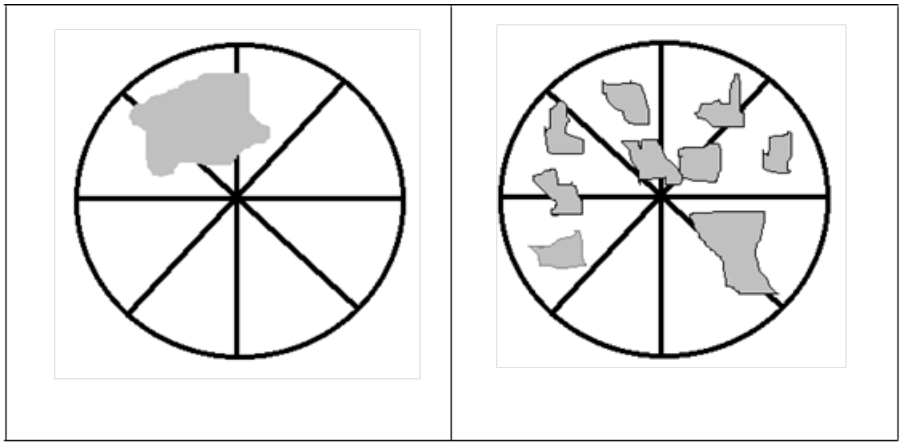
而較先進且免去人手量度的方法，則有利用儀器向地面發射光束，再據光學反射原理，計算積雪厚度的變化。

上述儀器的原理，其實亦應用於不同的測量儀器之上，如常見於水塘或量雨筒的標尺。

8.6 雲

雲層是以估計天空被雲遮蔽之總面積來評定。本港較常用的雲量評估法是「八分法」，即把天空分為八份，1份(okta)即是八份之一的天空被雲遮蔽，2份即是八份之二的天空被雲遮蔽，如此類推。

0份=天氣晴朗，1–2份=稀薄雲層，3–4份=零散雲層，5–7份=疏鬆雲層，8份=天色陰暗。



八分法示範

八分法雲量表

雲量	描述	機場天氣報告(METAR)電碼	記號
0/8	天朗氣清 Sky Clear	SKC	○
1/8	稀薄雲層 Few	FEW	◐
2/8			◔
3/8	零散雲層 Scattered	SCT	◑
4/8			◑
5/8	疏鬆雲層 Broken	BKN	◒
6/8			◕
7/8			◐
8/8	天色陰暗 Overcast	OVC	●
	無法觀測 Obscured		⊗

八分法雲量表

「無法觀測」指天空受阻而無法觀測（例如霧）。

雲冪儀

雲冪儀(ceilometer)利用光發射器，發射一束雷射光，射向天頂雲底，光源碰到雲底即被反射回來，被地面接收機所接受。我們已經知道光波在空中傳播的速度是每秒三十萬公里，根據雷射光從發射到接收的時間就能知道雲的高度。

$$h=\frac{1}{2}ct$$

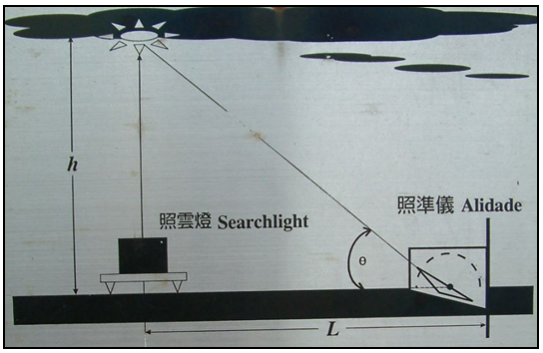
當中h為雲底高度，c為光速，t為脈衝來回時間。

雲冪儀

照雲燈與照準儀

照雲燈(searchlight)發射一束光柱，垂直照到雲底一點。在觀測點利用照準儀(alidade)測出視線到雲底一點與地平線的夾角，根據三角方法可以算出雲底的高度。

$$tan\theta=\frac{h}{L}$$



利用照雲燈和照準儀量度雲底高度

8.7 日照

8.7.1 日照儀

日照儀(sun shine meter)是利用太陽熱能來量度當日的日照時間。太陽熱能會經玻璃球折射，聚焦到一張紙上。

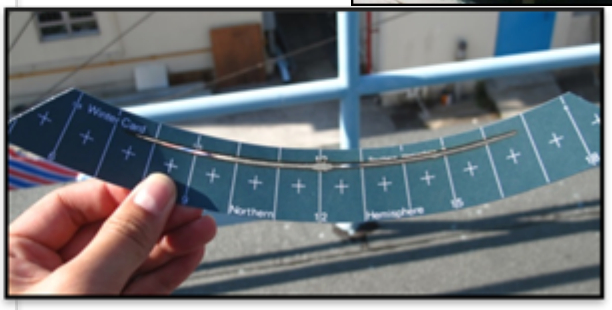
由於太陽熱能集中於紙張上，紙張會被燒焦。而燒焦的長度便是當日的日照時間。

日照時間單位為小時。

雖然日照計的設計和操作簡單易用，但卻依靠人手每日更換記錄卡，以及讀取卡上的資料來斷定日照時間。故此香港天文台在二零零五年起採用全自動CSD日光儀來記錄日照時間。日光儀由三個感應器所組成，當感應器接收到太陽光時，就會將陽光轉化為電流，並因應產生的電壓大小計算出太陽的輻射量。前端的感應器無被遮擋，能夠接收到四周的陽光，是用來量度太陽總輻射，而中間及後端的感應器則是部份被遮擋，目的是避免陽光的直接照射，用來量度太陽漫射輻射。通過量度這兩種輻射，日光儀就能計算出太陽直接輻射，繼而根據世界氣象組織的最新定義推算出日照時間。

太陽輻射單位為千焦耳/平方米，kJ/m^2。

康培爾-斯托克日照儀



CSD日光儀

8.9 紫外線儀

香港天文台在京士柏氣象站裝置了寬波段紫外線儀來量度紫外線強度。所量度的紫外線包括直接通過大氣層的紫外線及經大氣層中的氣體和微粒散射的紫外線。紫外線儀對不同波長的紫外線的反應與人體皮膚相似。

8.8 百葉箱 / 開放棚架

為確保溫度表上是真正的空氣溫度，必須用百葉箱(Stevenson screen)或溫度表棚(thermometer shed)保護溫度計免受太陽照射，這樣既可供安放溫度計，又可遮蓋溫度計免受降水影響，更可讓周圍的空氣自由流通，兼且防止溫度計遭受意外損毀。

溫度表棚與百葉箱的目的一樣，在熱帶及亞熱帶地區非常適用。

百葉箱

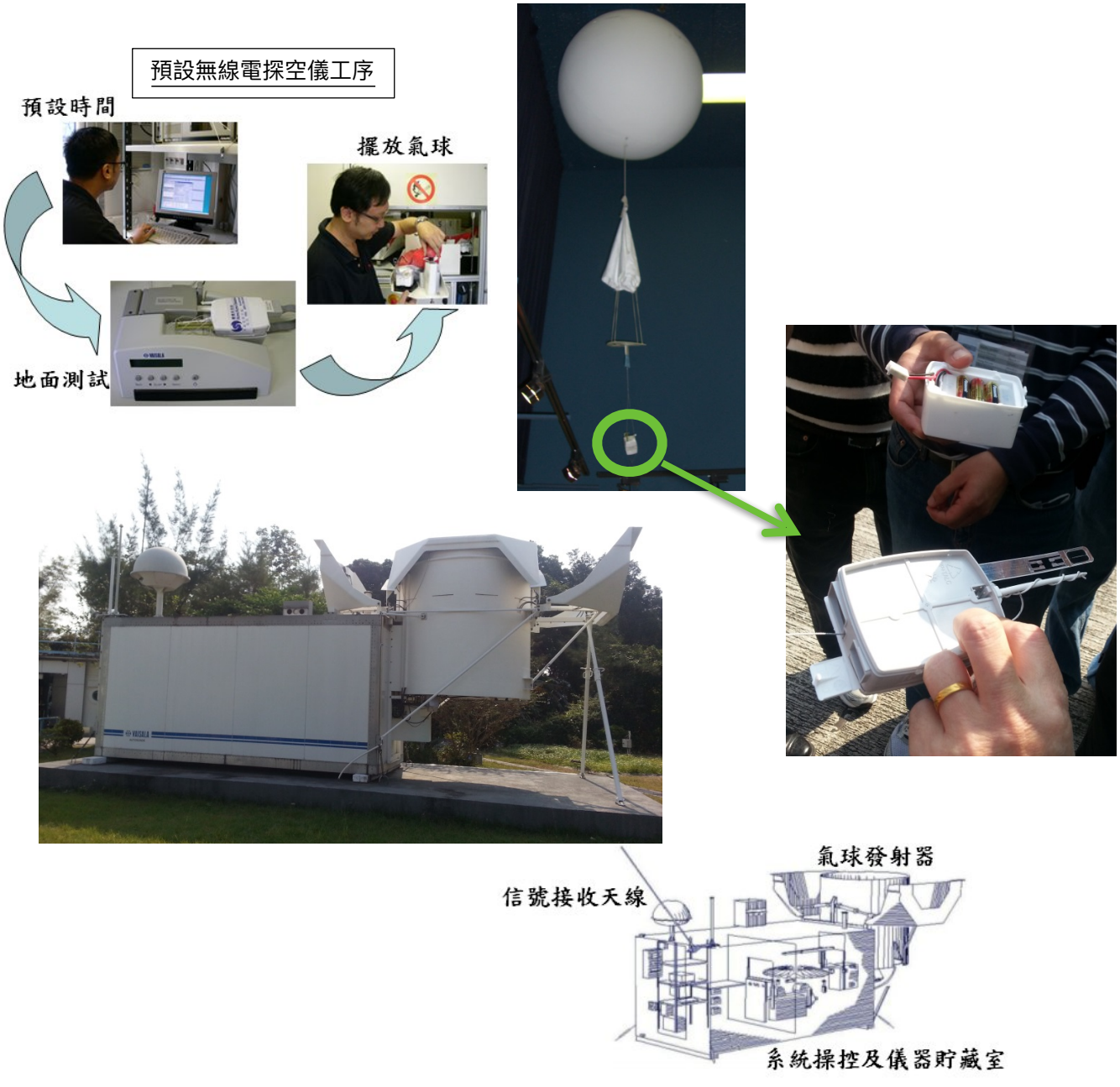
溫度表棚

8.10 自動高空探測系統與探空氣球

高空的天氣要素資料對天氣預測及氣象研究，意義重大。故香港天文台自1921年便開始以測風氣球作高空探測。

至2004年，天文台引入東南亞首台全自動高空探測系統，令香港的高空氣象觀測工作進入全自動化的年代。該系統自動將氣球充氣及發放，不但能降低營運成本及提升工作效率，更保障員工的工作安全。自2008年底起，氦氣取代氫氣為氣球充氣，進一步提高員工的安全。

自動高空探測系統(automatic upper-air sounding system)內置有環形貯存裝置，可存放24個無線電探空儀(radiosonde)，並按照電腦輸入的預設時間，每日分別於兩個時段(香港時間上午8時及晚上8時)順序發放。經過預設工序後，其他所有工序均由該系統自動操作。當整個過程完成後，工作人員可以遙控整理所得資料，經核實後便即時發放至世界各氣象中心。



第九章：天氣現象及天氣系統

大氣運動將水汽由地面帶到空中，經過不同的過程，在不同的環境下製造了不同的天氣現象。透過了解不同天氣現象的形成過程，我們可以對天氣有更透徹的了解。

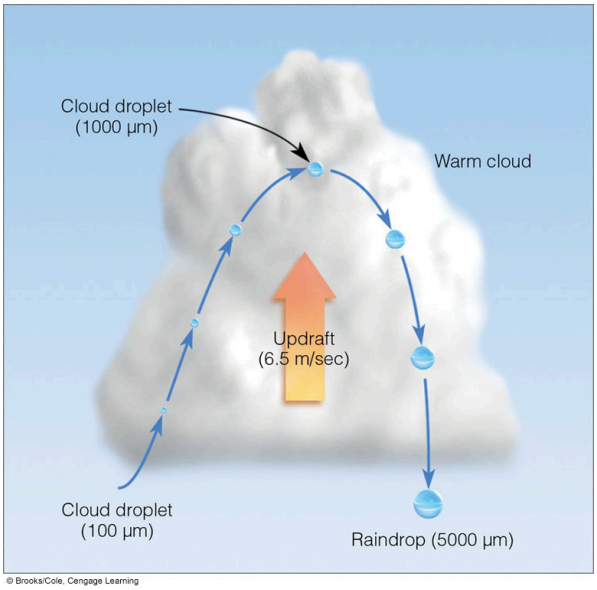
單元目標：

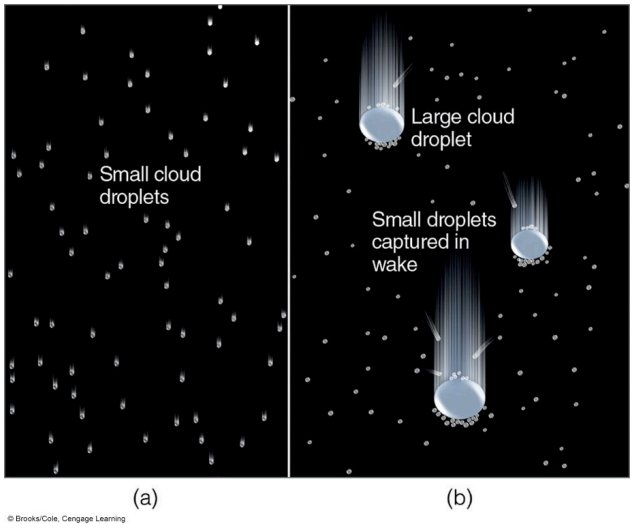
- 能描述雨、雪、雹的形成過程；
- 能列舉四種霧的種類及說明其形成機制，及說出霧與煙霞的分別；
- 能說明露和霜的形成過程；
- 能解釋海風和陸風的形成過程；
- 能說明雷暴的形成過程；
- 能說明各種大氣光學現象的形成過程，以及現象與天氣的關係；
- 能闡述影響華南的夏季及冬季季風的形成；
- 能以簡單畫圖解釋各種鋒面系統；
- 能例舉及解釋冷鋒過境前後的天氣變化；
- 能列出熱帶氣旋的結構，其形成及消亡條件；
- 能列舉各種熱帶氣旋之分類定義。

9.1 天氣現象

9.1.1 雨(Rain)

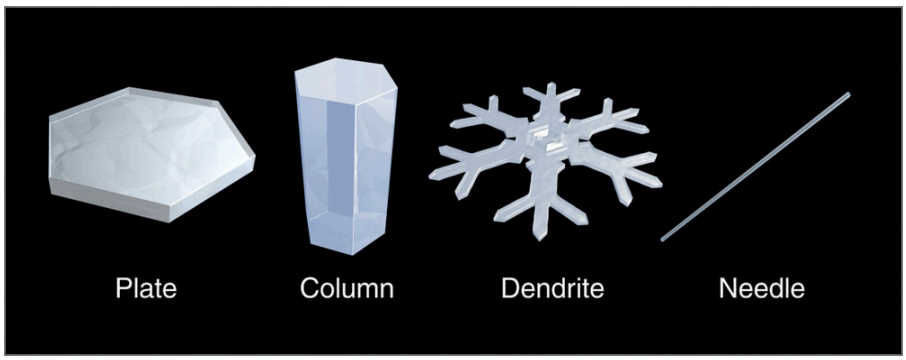
當空氣中的飽和水汽過多，飽和水汽會凝結成水點或凝華成冰晶，水點或冰晶積聚變大變重，當它們的浮力和上升氣流都不足以支持自身重量時，水點或冰晶隨著地心吸力而下降。而於途中，細小水點會合併成較大水點。如果低層大氣氣溫高於冰點，降水以液態方式到達地面，此現象稱之為雨(rain)。





9.1.2 雪(Snow)

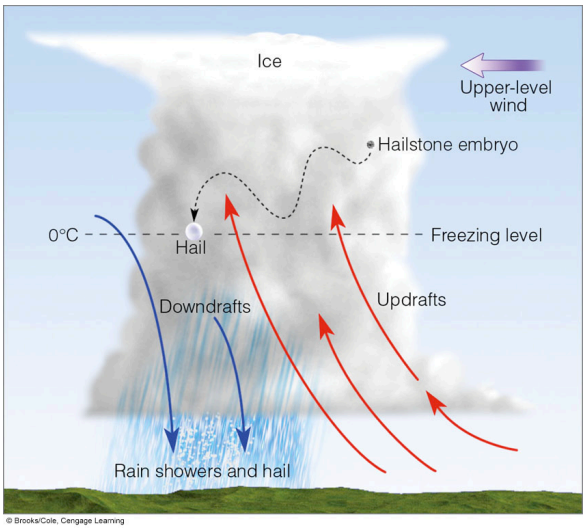
同樣是降水現象，但如果整層大氣氣溫均低於冰點，降水會以固態冰晶形態到達地面，此現象稱之為雪(snow)。雪由冰晶組成，冰晶的形狀一般是六角形柱體、塊狀六角形或針刺。和雹相比，雪比雹鬆軟。



© Brooks/Cole, Cengage Learning

9.1.3 雹(Hail)

雹(hail)是雲中降下堅硬的冰塊。雹是在積雨雲(Cumulonimbus)中形成。由於積雨雲內部有一股強烈向上氣流(Updraft)，因此水汽會由底層快速地到達高空。水汽因過低溫度而凝固成冰粒。高空的向上氣流會比較弱，冰粒會向下跌並合併其他遇冷水汽而變大。下降至一定高度後，冰粒又被向上氣流帶上高空。重覆多次後，冰粒的體積變大和重量變重。當上升氣流不能承受過重冰粒時，冰粒便下跌到地面，形成雹。



© Brooks/Cole, Cengage Learning

9.1.4 霧(Fog)

氣象學上，霧是非常接近地面的雲，能見度為1000米以下，相對濕度近100%。

基本形成原理：

I) 當接近地面大氣的溫度低至露點溫度時，空氣中的水汽便會凝結；或

II) 過多水汽存在於低層大氣，使露點溫度升高至氣溫。

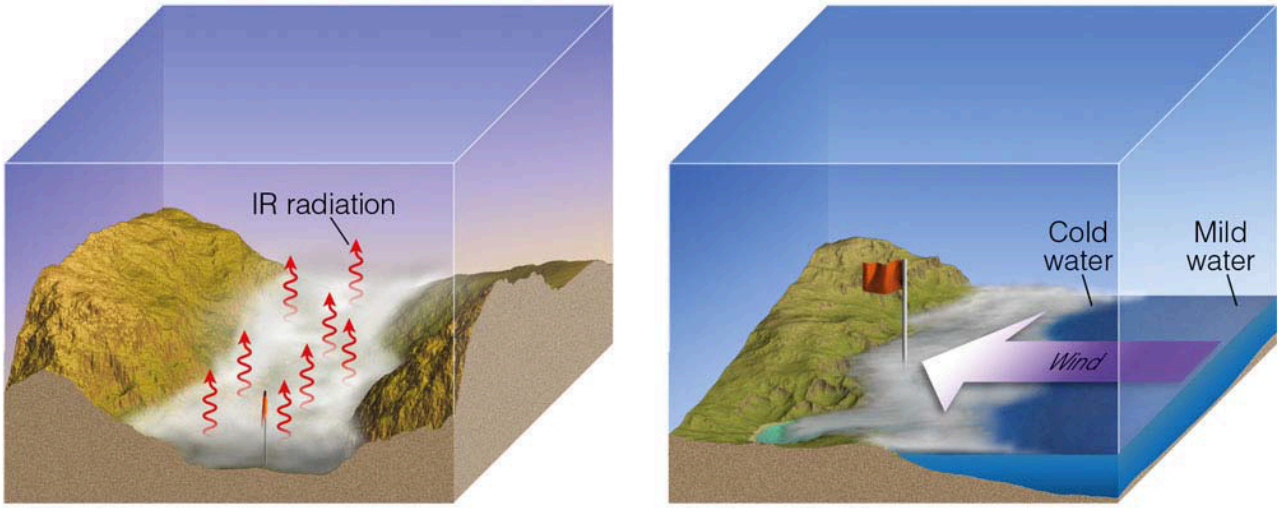
(a) 輻射霧(Radiation Fog)

在晴朗、相對濕度高及微風(1–3m/s)的晚上，輻射霧會容易形成。晚間，地表會以輻射形式向外太空發放紅外線散熱冷卻。但因為缺乏雲以反射紅外線，晴朗的晚上輻射冷卻速度會較快。加上如果相對濕度較高，輕微降溫已能到達露點溫度，輻射霧便很易形成。輻射霧厚度頗薄。通常日出後1–3小時，地面回暖便會消散。

(b) 平流霧(Advection Fog)

當濕、暖空氣流到較冷的水面和陸地時，濕暖空氣會與冷空氣混合。如果氣溫到達露點溫度，平流霧便形成。平流霧需要風力每小時10–30公里，而厚度可達300–600米。

香港春季初期由於濕暖氣流開始從太平洋進發，雖然內陸乾冷氣流逐漸減退，但陸地地面及華南沿岸海面仍然溫度較低。當濕暖氣流接近近岸時，便會經常出現平流霧。

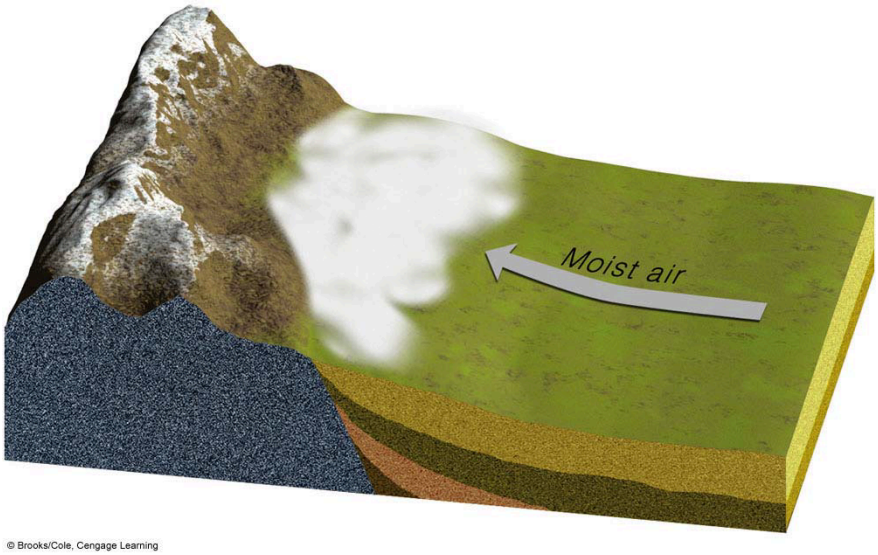


(a) Radiation fog (b) Advection fog

© Brooks/Cole, Cengage Learning

(c) 上坡霧(Upslope Fog)

較濕空氣因地勢影響而上升，並絕熱膨脹和降溫。當到達露點溫度，較濕空氣會凝結。上坡霧便形成。



© Brooks/Cole, Cengage Learning

(d) 蒸汽霧(Steam Fog)

當冷空氣流過暖海水的表面，由於暖海水很容易由海面蒸發，海面便有大量的水汽。蒸發的水汽遇冷空氣便凝結成蒸汽霧，情況好像熱湯上的蒸熱一樣。通常溫差需要超過30°C。溫泉區很常有這個現象。

9.1.5 煙霞(Smog)

煙霞，又稱灰霾。因近地面的空氣中有大量塵埃或煙屑等懸浮粒子浮游在空中，令能見度下降而形成，通常發生於大氣穩定，風勢微弱的日子。若果發生逆溫現象，污染物無發被擴散，煙霞會更為嚴重。

煙霞發生時，相對濕度一般少於80%，能見度少於10千米，厚度可達1000至3000米，使遠處光亮的物帶微黃、紅色，使黑暗物帶藍色。而霧發生時相對濕度一般接近100%，能見度則只有幾十米至二百米，顏色是乳白或青白色。

如果空氣中充滿沙塵，加上強風，就是沙塵暴。華北春天常出現沙塵暴天氣，情況惡劣時有時可以影響華南。

9.1.6 露水(Dew)

露(dew)是由空氣中的水汽因遇上較冷之表面而凝結成液態水。當物件在晚間以輻射方式散熱至溫度低於露點溫度，飽和空氣會凝結於任何物件表面，形成「露水」。露多數會在清早或日落後形成，尤以清晨時間為甚。地面上的物件散熱的速度不同，散熱較快的物件會先結出露水。晴朗的夜晚露水會較陰天的夜晚多。(詳細解釋見露點溫度。)

當露水凝結在纖維上時，纖維會收縮而拉緊，嚴重時可以扯斷纖維。這就是為何露營在晚間要略為放鬆營繩的原因。

9.1.7 霜(Frost)

霜(frost)並非由露凝固成冰，而是當露點溫度低於冰點時，大氣中的水汽凝華在物件上而成。霜的形態一段為針刺狀的冰晶，而由露水凝固成冰一般為水滴或水珠狀。

在民航機的窗邊有時也可見結霜現象。

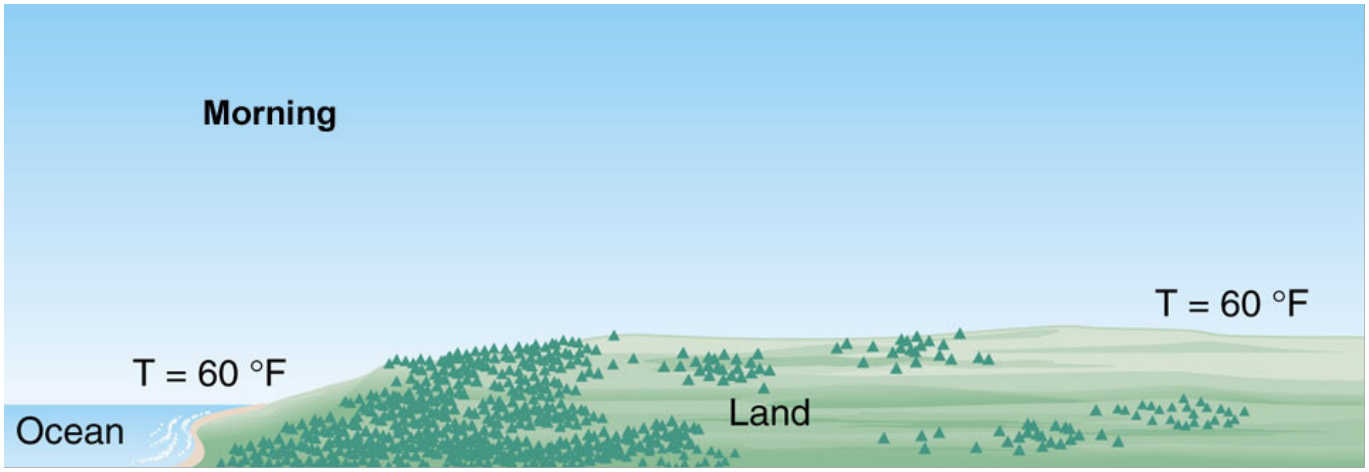
9.1.8 海、陸風(Land and Sea Breezes)

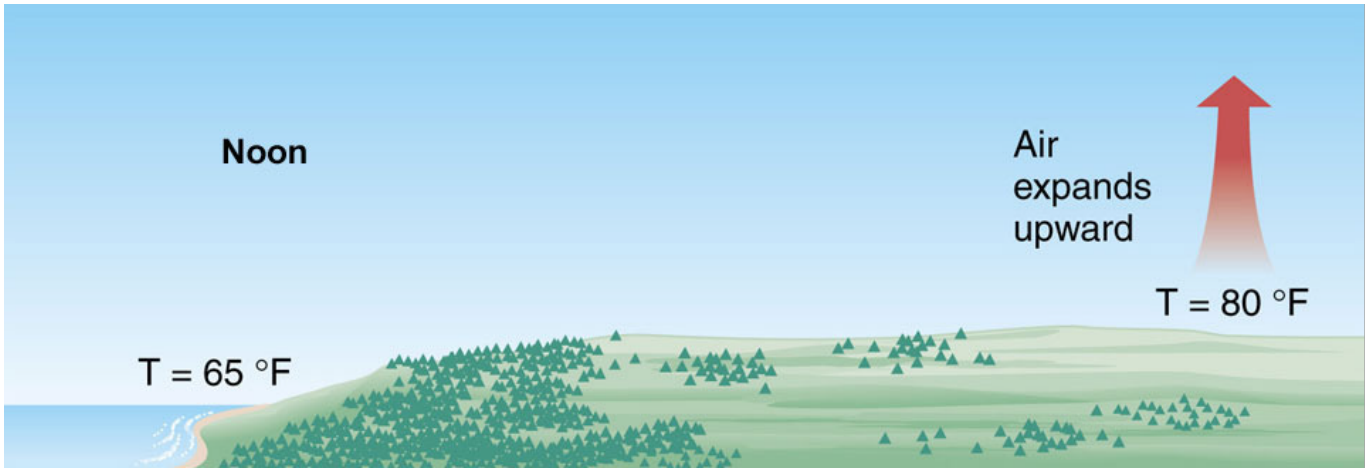
海風(sea breeze)、陸風(land breeze)和季候風形成原理相似，一樣都是因為陸地和海洋的日夜溫差而形成。不過，海、陸風的規模(尺度)比季候風小，維持時間亦比較短。海、陸風只影響沿岸地區；季候風影響範圍較大。風速方面，海、陸風亦會比季候風柔弱。

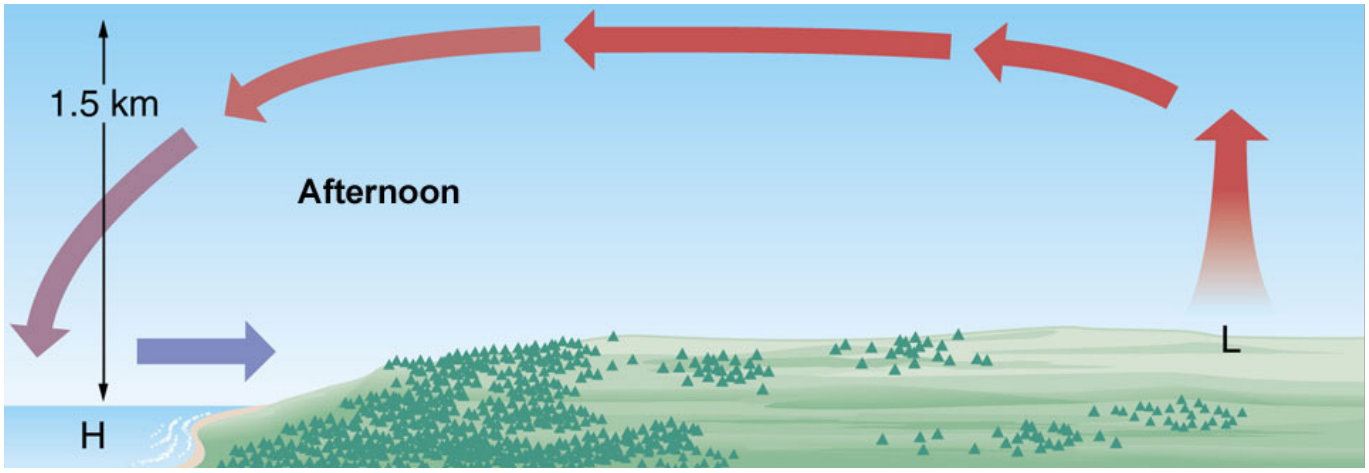
日間由於陸地及海洋受太陽照射而升溫，而陸地溫度比海洋上升得較快，於是陸地上的氣壓比海洋較低。此氣壓差為陸地帶來較為清涼的海風。

夜間由於陸地散熱比海洋較快，因此海洋上的氣壓會比陸地低。陸地上的空氣會向海洋補充，形成陸風。

一般而言，海風比陸風大，甚至可達5–6m/s，而陸風只有1–2m/s。由於風勢柔弱，海、陸風一般要在背景風勢微弱的日子才會被感受到，例如大氣穩定及天氣晴朗的日子。

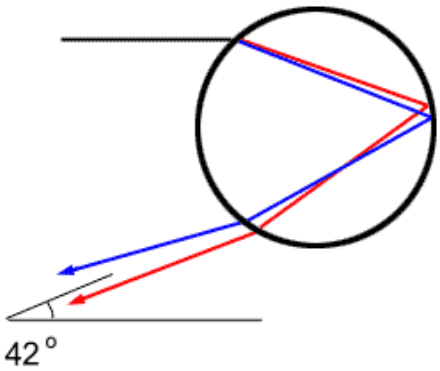




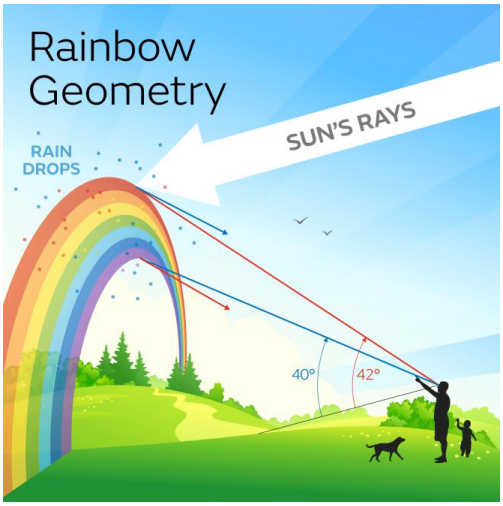


9.2 光學現象

9.2.1 彩虹



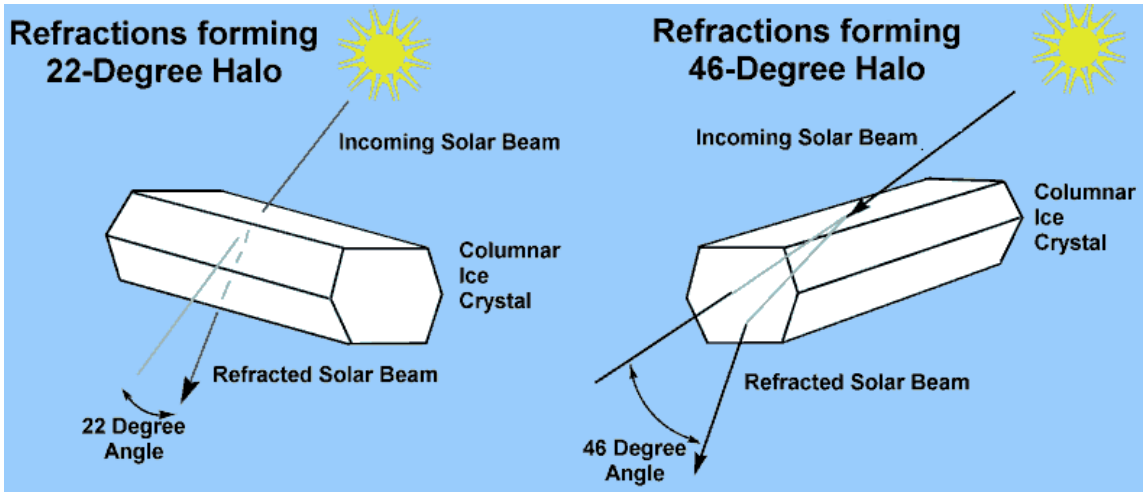
彩虹是一種光學現象，是因為陽光射到空中接近球形的小水滴，光線被折射及反射而形成。陽光射入水滴時會同時以不同角度入射，在水滴內亦以不同的角度反射。當中以40°至42°的反射最為強烈，造成我們所見到的彩虹。造成這種反射時，陽光進入水滴，先折射一次，然後在水滴的背面反射，最後離開水滴時再折射一次。因為不同波長的光的折射率有所不同，藍光的折射角度比紅光大。光在水滴內被反射，所以觀察者看見的光譜是倒過來，紅光在最上方，其他顏色在下。



彩虹其實並非出現在半空中的特定位置。它是觀察者看見的一種光學現象，彩虹看起來的所在位置，會隨著觀察者而改變。當觀察者看到彩虹時，它的位置必定是在太陽的相反方向。彩虹的拱以內的中央，其實是被水滴反射，放大了的太陽影像。所以彩虹以內的天空比彩虹以外的要亮。彩虹拱形的正中心位置，剛好是觀察者頭部影子的方向，虹的本身則在觀察者頭部的影子與眼睛一線以上40°至42°的位置。因此當太陽在空中高於42°時，彩虹的位置將在地平線以下而不可見。這亦是為甚麼彩虹很少在中午出現的原因。

9.2.2 日暈、月暈

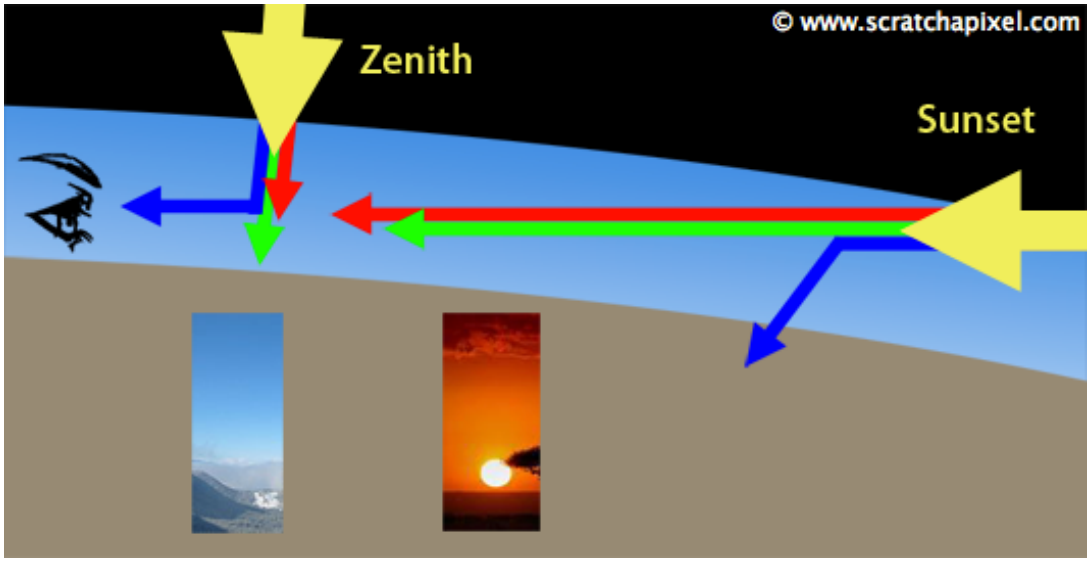
日暈/月暈是陽光或月光經過懸浮在大氣中的冰晶折射而形成的光學現象。暈通常呈環狀或弧狀，陽光或月光經過冰晶產生折射，把白光分解成彩色光譜而形成。由太陽照射冰晶折射至人類眼睛稱為「日暈」，而月球照射冰晶折射至人類眼睛則稱為「月暈」。大氣中的冰晶通常是由高雲族帶來，通常為內圈紅光，而外圈為紫光。



月暈

9.2.3 散射現象(Scattering)

當光線射到微小的粒子時，光會由粒子向四面八方散射出來。白色的陽光是由不同顏色的光波合成的，以藍光波長最短，紅光波長最長。因為紫外線和藍光的頻率與空氣和水蒸氣的分子的自然振動頻率接近。波長短的紫外線和藍光較容易被大氣的粒子散射。日落時夕陽接近地平線，陽光須以低角度斜射穿過較厚的大氣層(為白天所要穿過的數十倍)才到達地面，大部份藍光被散射，餘下紅光，所以夕陽呈現紅色。另一方面，由於白天時太陽光只穿過較薄的大氣層，藍光被散射的程度減少，所以太陽以及反射太陽光的雲看起來是全光譜的白色，同時由於天空充滿了被散射的藍光，所以整個天空呈現藍色。



9.3 惡劣天氣(Adverse Weather)

惡劣天氣往往跟積雨雲有關。關於積雨雲的形成，可參閱雲態學裏有關章節：積雨雲的形成。

9.3.1 靜電感應(Electrostatic Induction)

當一帶電的物件移近一不帶電的物件時，會使不帶電的物件電荷重新分佈，異極電荷會被帶電的物件吸引，而同性電荷會被排斥遠離，但總電荷仍是不帶電的。就算是一些絕緣體，它亦可以產生靜電感應的現象。

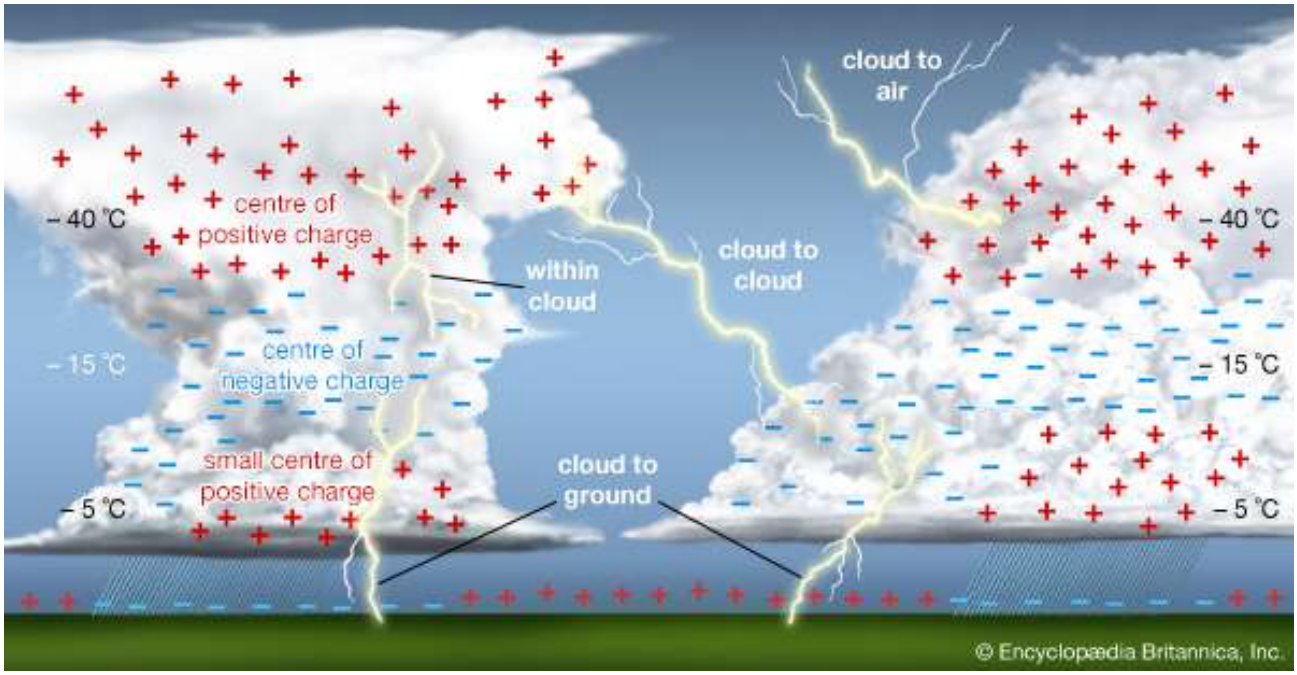
9.3.2 雷暴/閃電(Thunderstorm/Lightning)

雷暴的發展始於溫暖和潮濕的空氣上升。空氣上升的原因很多，例如地面受太陽照射加熱、在低壓槽附近、兩股不同的氣流匯聚或遇上高山而上升等。

當潮濕空氣上升時，空氣中的水分便會遇冷凝結而成為雲。隨著氣流繼續上升，雲層亦發展得越來越高，雲中的水珠也會不斷增長。達到高空時溫度會很低，冰粒也會在雲中形成。當雲頂達到十至二十公里時便形成積雨雲，而雷暴是由積雨雲而產生的。

由於積雨雲內有急劇的氣流擾動，雲中的水珠和冰粒便會分裂而產生電荷。一般來說，積雨雲的上部帶有正電荷，中下部帶負電荷。因此，雷暴可看成是由於積雨雲中的電量不平衡而產生。當正負電荷之間的電壓到達某程度時，雲與雲之間或雲與地面之間就會出現放電的現象，發出強烈閃光，這就是我們平時見到的閃電。放電時會產生大量熱能，令周圍的空氣急劇膨脹，產生聲音而造成隆隆雷聲。

狂風大雨有時會伴隨著雷暴出現。當積雨雲內的水珠不能被下面的空氣承托時，它們便會降落成雨，而下沉的急速氣流亦會造成狂風。

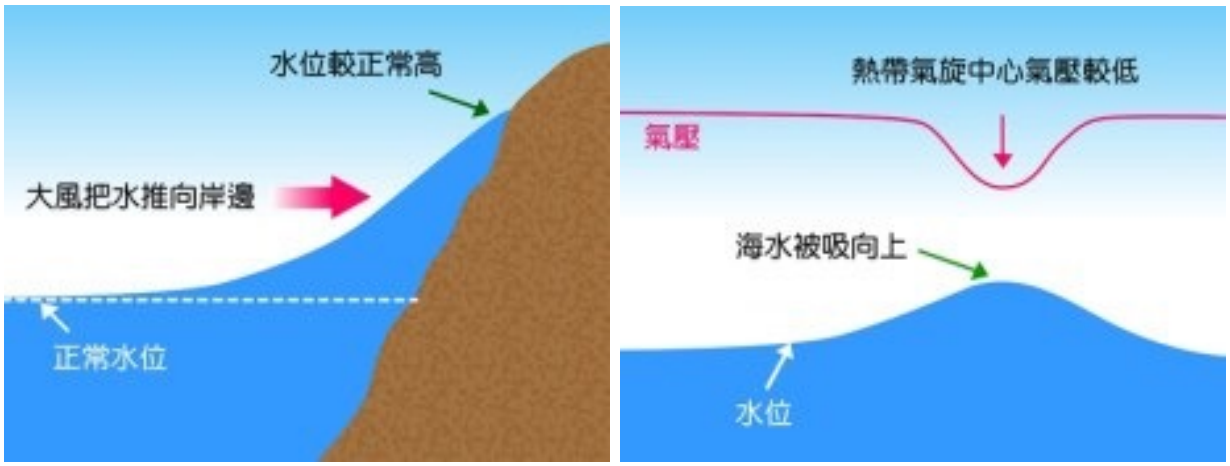


9.3.3 颱線(Squall line)

颱線是指帶狀的雷暴群所構成的風向、風速突變的一種中至小尺度的強對流天氣，其破壞性很強大。

9.3.4 風暴潮(Storm Surge)

風暴潮是熱帶氣旋引致的海水上升。熱帶氣旋的風力是水位上升的主因，它的低氣壓是次因。風暴潮的水位高度視乎水深和海岸線形狀而定。若風暴潮遇上天文大潮，後果會較為嚴重，低窪地區可能出現嚴重水浸。由於香港的地理位置，吹東風或南風時香港較易受風暴潮影響。



風暴潮形成

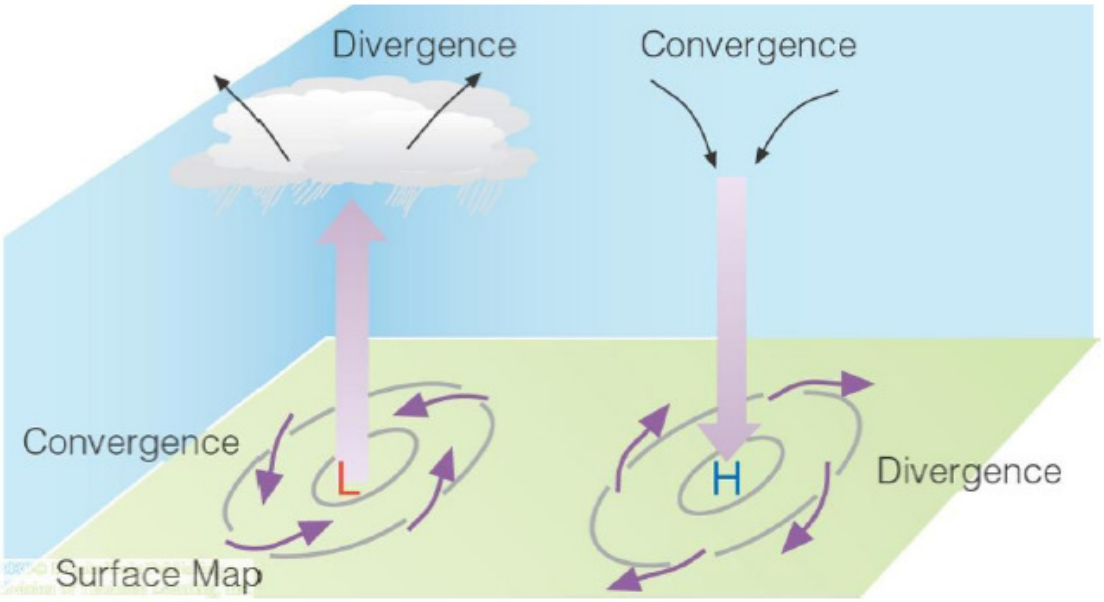
9.4 高壓和低壓區

9.4.1 輻合(Convergence)

於地面低壓區，周邊的空氣會從四方八面向低壓中心流入。由於受到氣壓梯度力、科氏力及摩擦力共同影響，周邊空氣會反時針(北半球)或順時針(南半球)以氣旋方式(Cyclonic)流入。流到近中心位置會被逼抬升。由於空氣被逼抬升，低壓區天氣一般多雲有雨，容易形成雨、雪、雷暴、熱帶氣旋等天氣系統。

9.4.2 輻散(Divergence)

於地面高壓區，空氣會向四方八面由高壓中心流出。由於受到氣壓梯度力、科氏力及摩擦力共同影響，空氣會順時針(北半球)或反時針(南半球)以反氣旋方式(Anti-Cyclonic)流出。由於空氣被逼下沉，高壓區天氣一般天晴、乾燥。



9.5 天氣系統

9.5.1 季候風

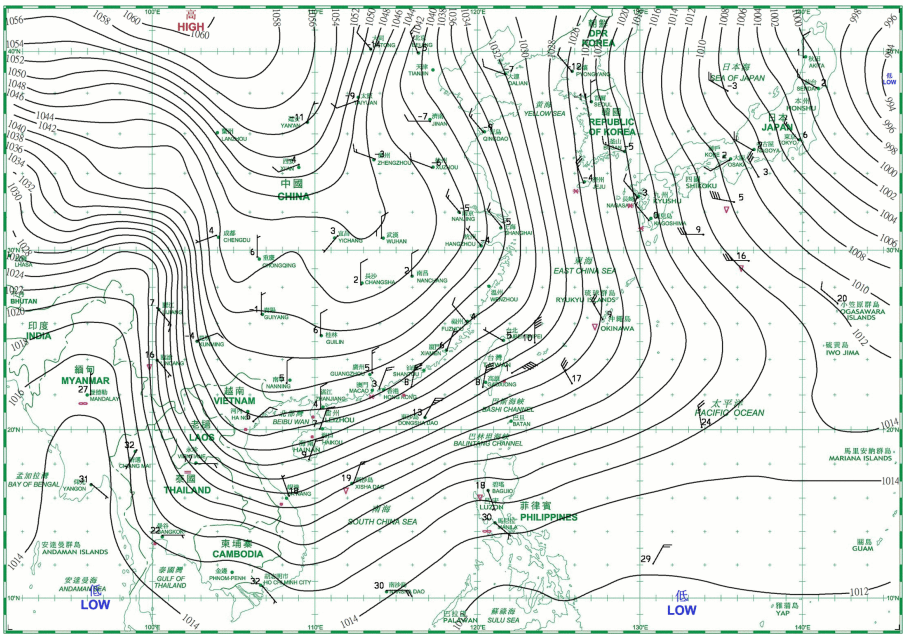
隨著季節更替，陸地和海洋出現溫度差距，因而形成的大尺度風系統，就是季候風。

冬季季侯風(Winter Monsoon)

冬天，亞洲大陸冷卻比海洋快，導致其中部十分寒冷。因此冷空氣集結，氣壓上升，形成一股巨大的大陸性反氣旋於內陸(西伯利亞)形成。有時，在高空擾動氣流影響下，冷空氣會南下橫過中國，形成寒潮(ColdSurge)。在冬季不同時間，隨著各天氣系統的配合，寒潮可從北面、東北面或東面抵達香港。

亞洲的冬季季候風

日期/Date: 24.01.2016 香港時間/HK Time: 14:00 香港天文台 Hong Kong Observatory



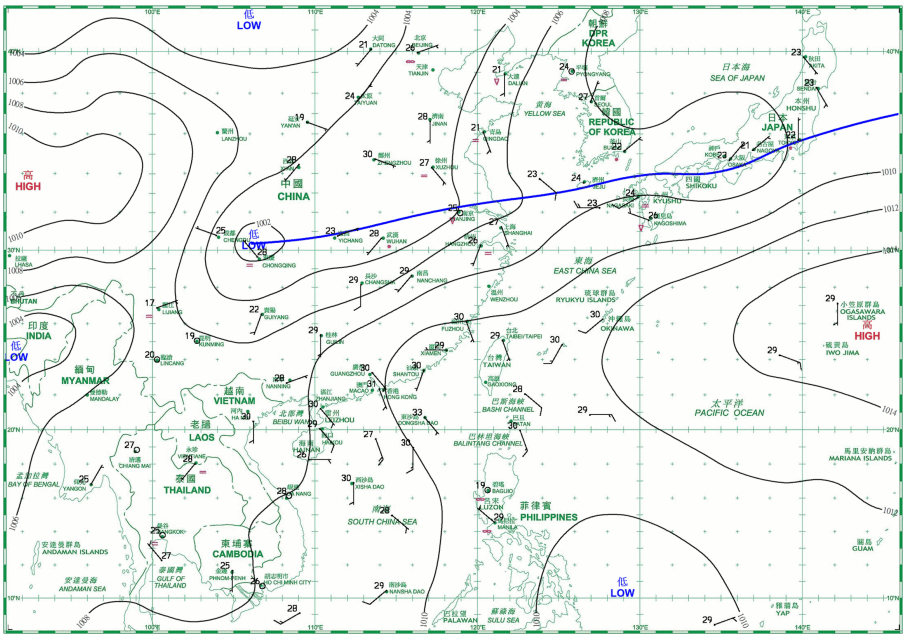
2016年1月24日本港時間14:00天氣圖

夏季季候風(Summer Monsoon)

夏天，亞洲大陸受到太陽的強烈照射。由於地面溫度上升得比海洋快，地面上方的氣壓因此較海洋低。溫暖潮濕的空氣於是從印度洋及南海向這個低壓區補充，為香港帶來南至西南的夏季季候風。

亞洲的夏季季候風

日期/Date: 21.06.2016 香港時間/HK Time: 08:00 香港天文台 Hong Kong Observatory



2016年6月21日本港時間08:00天氣圖

9.5.2 鋒面系統

鋒面(front)是兩種或以上的氣團相遇的分界面，而該些氣團性質上有明顯分別。一般而言，由於暖空氣會向上升，而冷空氣會向下沉。當該些氣團相遇後，不會輕易混合，因此鋒面兩面的空氣性質變化很大，令鋒面經過時地區氣溫等氣象要素有明顯變化。

冷鋒

當冷空氣和暖空氣相遇時，若冷空氣向暖空氣推進，就會形成冷鋒。

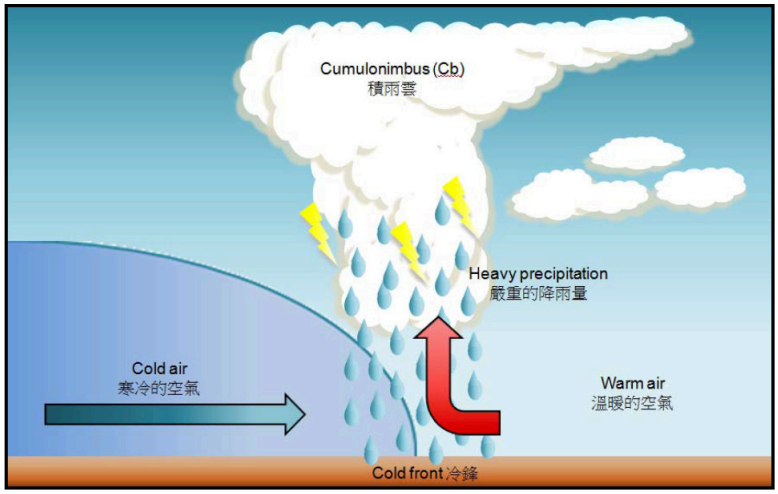
冷鋒過境時，當地氣壓會增加，氣溫下降，風向順轉(即順時針方向轉變)，有驟雨或雷暴。但一般到達華南地區的冷鋒，並不一定有上面所說那樣明顯的變化，它們的性質，常常都變得比較溫和。

由於冷空氣由極地爆發，所以冷鋒在南半球時從南向北流，在北半球時從北向南流。

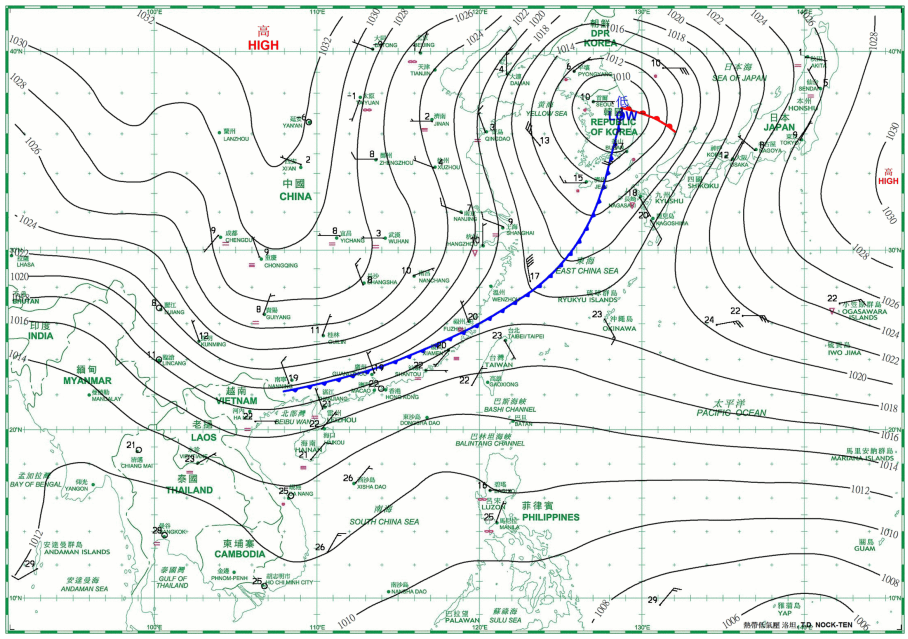
強烈的冬季季候風可在短時間內引致天氣出現突變。天文台的預報員除為市民提供預計冷鋒到達的時間外，還預測冷鋒到達前後的天氣轉變。市民應留意天氣預報，尤其是有明顯的天氣轉變時。香港天文台亦會發出寒冷天氣警告來提醒市民天氣寒冷及其對健康帶來的壞影響。

有關冷鋒影響香港的案例，可瀏覽香港天文台的網頁。

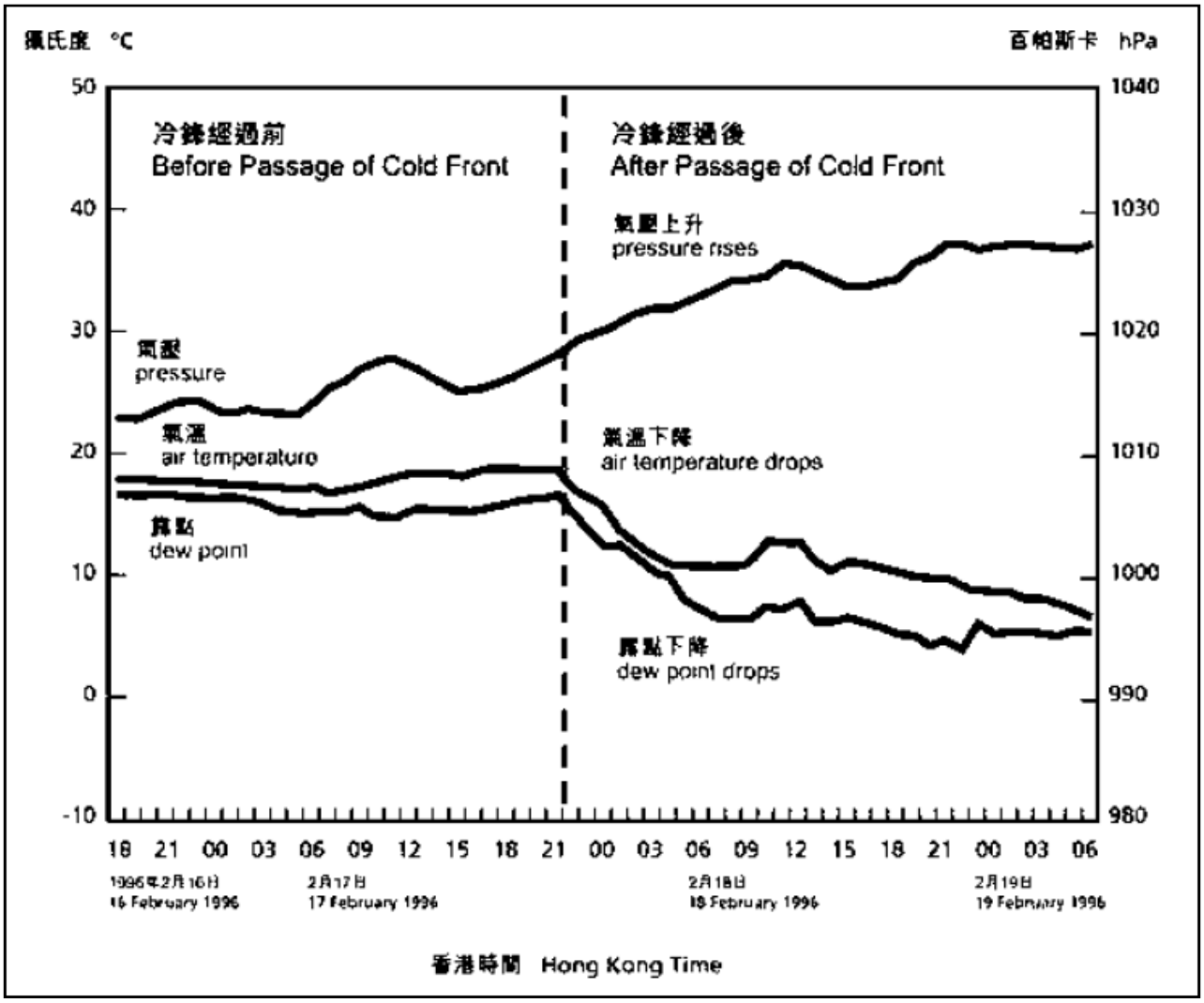
http://www.weather.gov.hk/education/edu01met/wxphe/ele_wintermonsoon4_c.htm



日期/Date: 22.12.2016　香港時間/HK Time: 02:00　香港天文台 Hong Kong Observatory



2016年12月22日本港時間02:00天氣圖

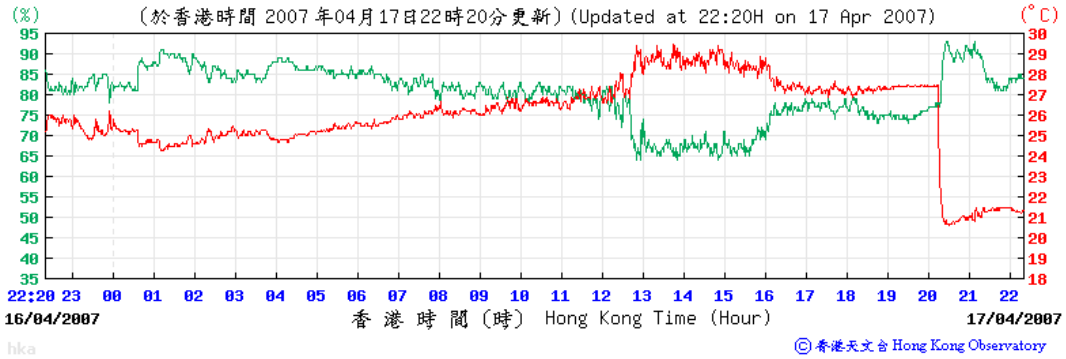


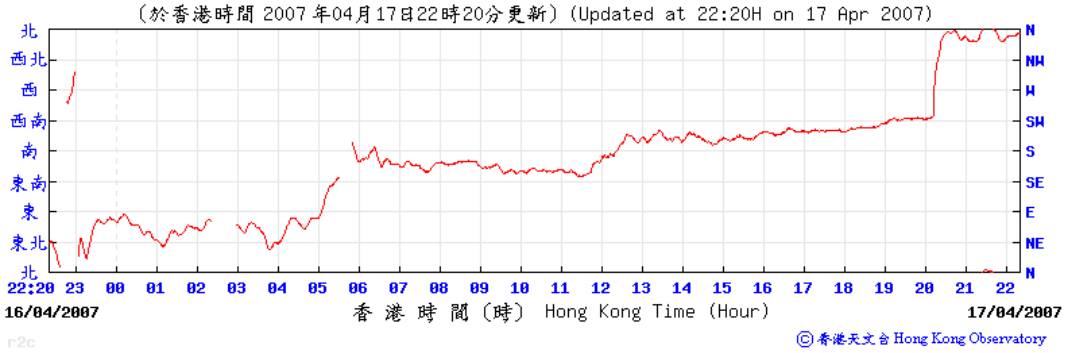
1996年2月16至19日冷鋒過境

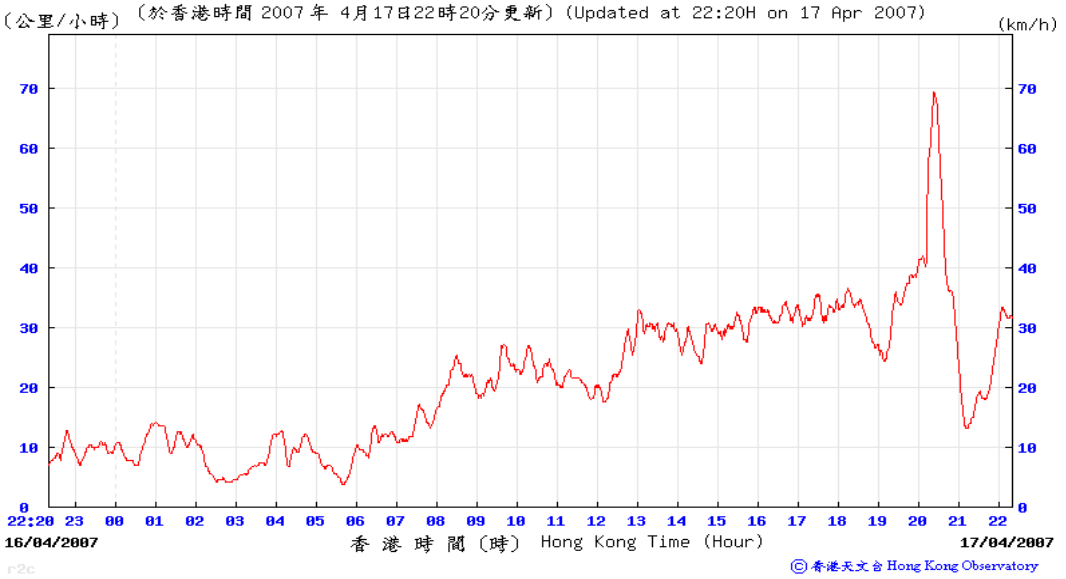
案例：

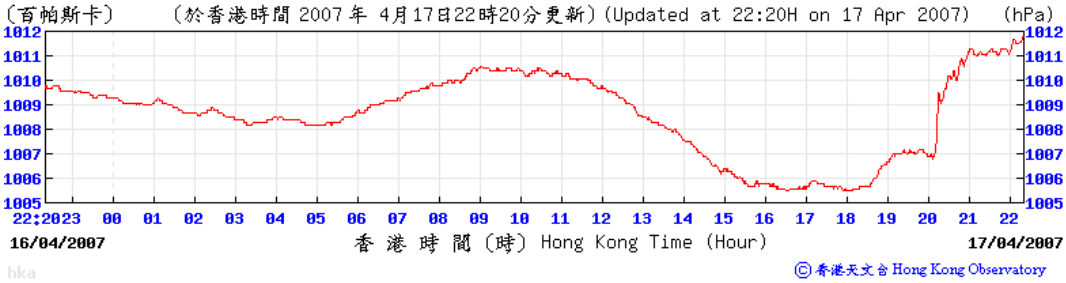
香港國際機場氣象站　　氣象站的高度：高於平均海平面6米

風速計的高度：高於平均海平面14米



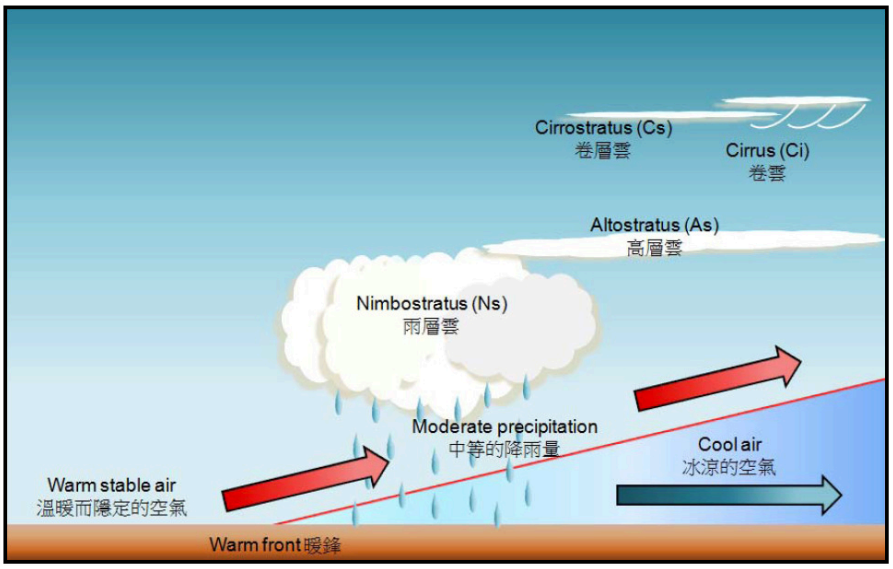


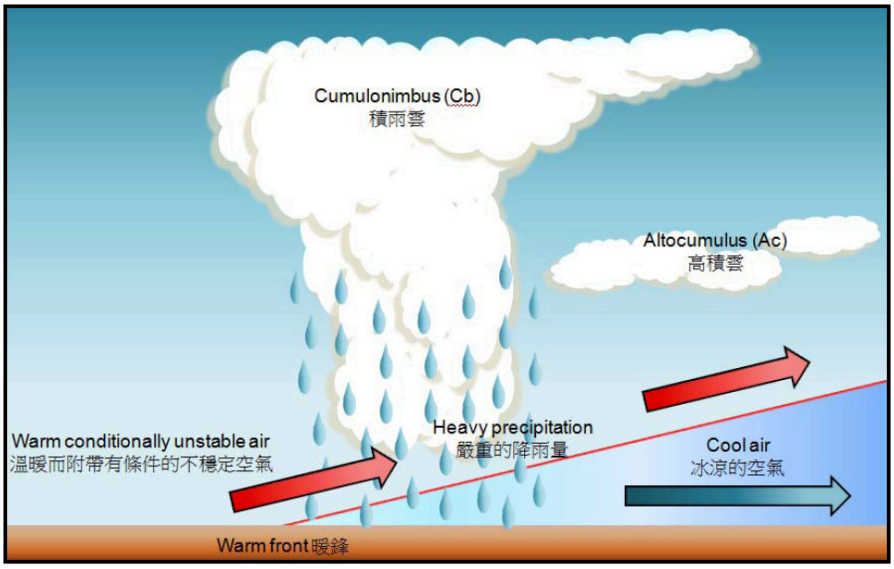




暖鋒

當冷空氣和暖空氣相遇時，若暖空氣向冷空氣推進，就是暖鋒。華南地區較少受暖鋒影響。





9.5.3 熱帶氣旋

熱帶氣旋形成於熱帶海洋上，是具有暖心結構、強烈氣旋性渦旋。它來臨時往往帶來狂風、暴雨和驚濤駭浪，具有很大的破壞力，威脅著人民生活、財產安全，是一種災害性天氣。同時，熱帶氣旋帶來充沛雨水，有利於緩和或解除盛夏旱象，並且把熱帶地區的部份熱能帶到其地地區，對於平衡地球上的熱能分配有極大幫助。

熱帶氣旋的結構

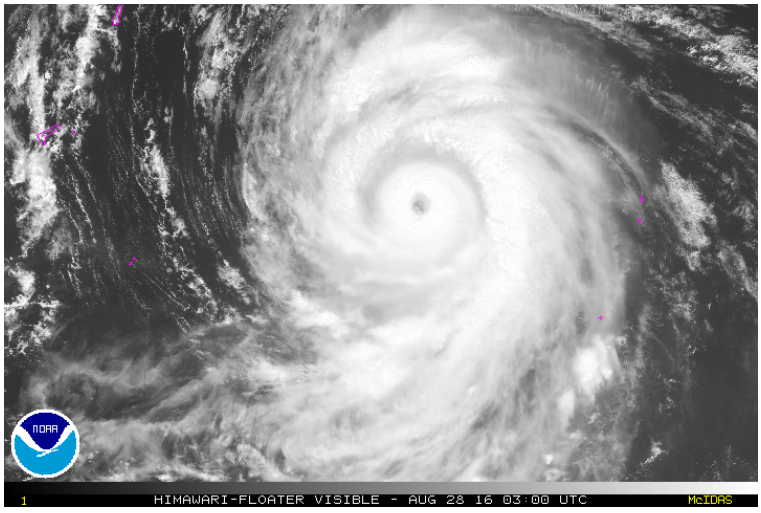
i. 一個扁平的圓盤

ii. 高度只有十數公里

iii. 平面距離有數百公里

iv. 一個風眼

v. 螺旋雲帶



強颱風獅子山(1610)

形成條件

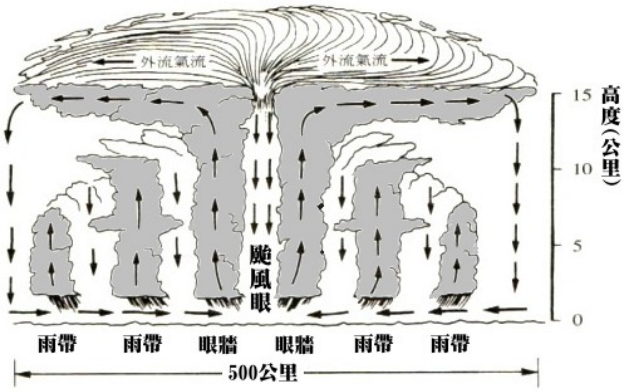
i. 海水溫度必須超過26.5℃

ii. 大氣層底部和中層必須有足夠水汽，令濕度偏高

iii. 合適緯度（南北緯5°–20°）

iv. 垂直風切變不能太大（大氣層底部和大氣上層的風向或風速差別不能太大）

v. 大氣層底部存在著渦旋式風場、大氣層存在空氣的輻合區



消亡條件

i. 水氣的供應量大大減少

- 登陸後，水汽供應大幅度減少

ii. 遇上冷空氣或乾燥空氣入侵

- 與冷鋒相遇，令底部和中層缺乏足夠水汽，令濕度偏低
- 移動至高緯度地方，轉化為溫帶氣旋

iii. 輻合區不能維持

- 風眼通風不足，缺乏足夠水汽

西太平洋的熱帶氣旋的移動路徑

受熱帶氣旋本身的內力和大氣的環境，熱帶氣旋的路徑不會很規律的進行。根據過往的氣象紀錄，我們從未發現兩條完全相同路徑的颱風。

影響熱帶氣旋移動路徑的大氣因素

1. 太平洋高壓(副熱帶高壓)引導熱帶氣旋西移
2. 地形對熱帶氣旋的影響(如菲律賓的高山阻擋會令熱帶氣旋橫過菲律賓時採取較為偏西的路徑)
3. 熱帶氣旋會有一個向潮濕氣團或溫暖海洋表面移動的傾向

基本的三類熱帶氣旋移動路徑

1. 西移路徑
2. 西北路徑
3. 轉向路徑

熱帶氣旋之分類

依照世界氣象組織之建議，熱帶氣旋是根據接近風暴中心之最高持續風力加以分類的，各國對熱帶氣旋的分級和名稱也有所不同。香港採用的分類定義以接近中心10分鐘平均風速為根據，分為以下六種：

	名稱	描述
	熱帶氣旋	這是熱帶低氣壓、熱帶風暴、強烈熱帶風暴、颱風、強颱風及超強颱風的統稱。
1	熱帶低氣壓	這是產生在熱帶地區的氣旋，其最大風力為每小時62公里或以下。
2	熱帶風暴	這是比熱帶低氣壓較強烈的氣旋，風暴地區最大風力為每小時63公里至87公里。
3	強烈熱帶風暴	熱帶風暴如果繼續加強以至最大風力達到每小時88公里至117公里時，就稱作強烈熱帶風暴。
4	颱風	熱帶氣旋的最大風力達到每小時118至149公里。
5	強颱風*	強颱風是比颱風較強的氣旋，風暴地區最大風力為每小時150至184公里。
6	超強颱風*	這是熱帶氣旋中最強烈的一種，風力時速為185公里或以上。

此外，如果低壓區未有足夠風力，或結構尚未完整時，我們會以熱帶擾動來稱呼熱帶氣旋的雛形。熱帶擾動有機會進一步發展成為熱帶氣旋，但並不視為熱帶氣旋的其中一個分級。

有關熱帶氣旋韋森特影響香港的案例，可瀏覽香港天文台的網頁。

http://www.weather.gov.hk/informtc/vicente/vicente_uc.htm

案例（熱帶氣旋之形成與消散）

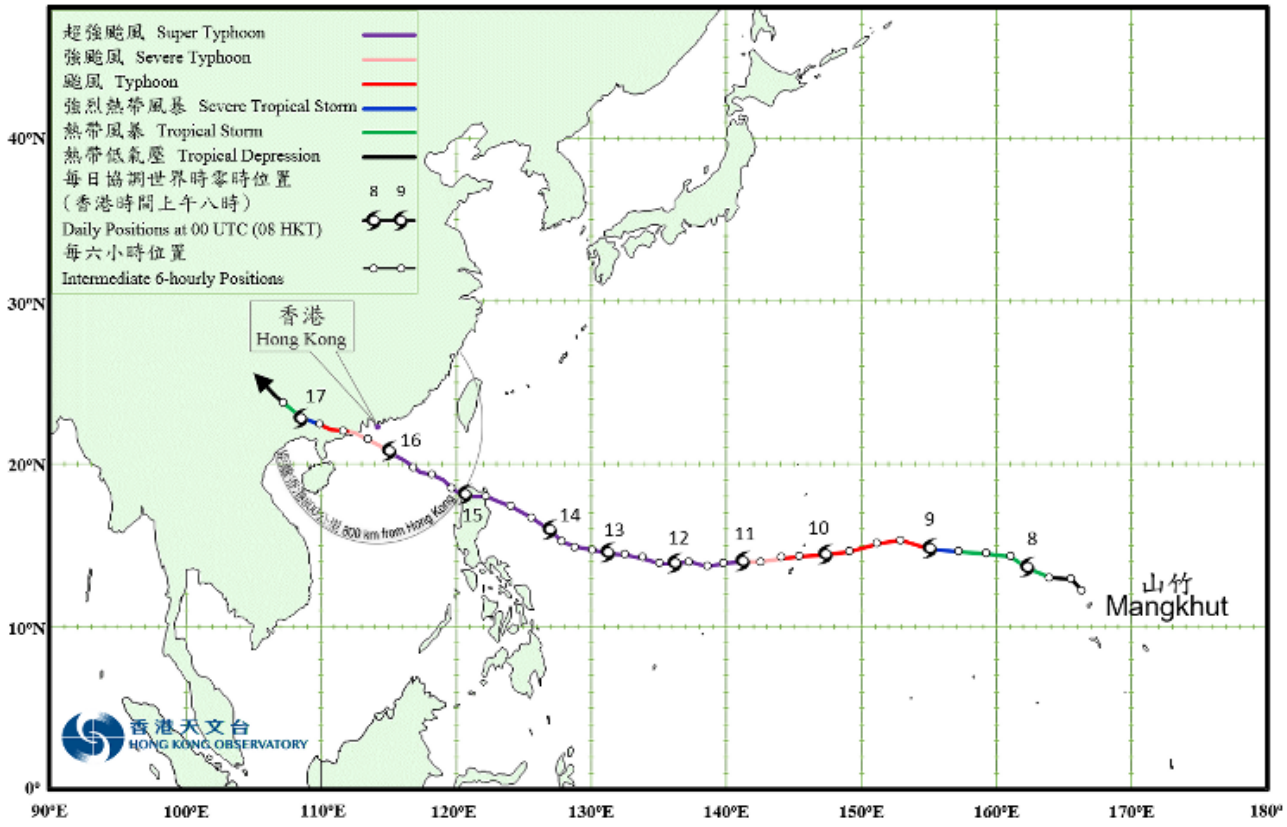
熱帶氣旋名稱：超強颱風山竹（MANGKHUT），國際編號1822

最高風速：約每小時250公里

中心最低氣壓：900百帕斯卡

生存日數：共約11天（2018年9月7日 – 2018年9月17日）

強度	名稱	信號	開始時間		終結時間		持續時間
超強颱風	山竹	1	2018/9/14	22:20	2018/9/15	16:20	18小時
超強颱風	山竹	3	2018/9/15	16:20	2018/9/16	01:10	8小時 50分
超強颱風	山竹	8東北	2018/9/16	01:10	2018/9/16	07:40	6小時 30分
超強颱風	山竹	9	2018/9/16	07:40	2018/9/16	09:40	2小時
超強颱風	山竹	10	2018/9/16	09:40	2018/9/16	19:40	10小時
超強颱風	山竹	8東南	2018/9/16	19:40	2018/9/17	05:20	9小時 40分
超強颱風	山竹	3	2018/9/17	05:20	2018/9/17	14:40	9小時 20分
超強颱風	山竹	1	2018/9/17	14:40	2018/9/17	19:10	4小時 30分



超強颱風山竹路徑圖

9.6 三圈環流模型(Three cell circulation model)

氣象學家以三圈環流模型(three cell circulation model)模擬地球的三個環流和四個主要的氣壓帶。

1. 赤道低氣壓帶(Tropical Low)

它分佈在南北緯5度之間。這個地區終年受太陽直射或接近直射，地面溫度很高。這區空氣強烈上升，地面常出現低氣壓帶。又由於它處於東北信風和東南信風的輻合地帶，所以也稱為熱帶輻合帶(Inter-tropical Convergence Zone, ITCZ)。由於對流旺盛，雲量較多，雨量豐沛，所以有濕熱多雨的氣候特徵；它更是熱帶氣旋的主要發源地。此外，這裡空氣以上升為主，因此很少有水平流動的風，所以這裡又稱為赤道無風帶。

2. 副熱帶高氣壓帶(Sub tropical High)

它分佈在南北緯30度附近的亞熱帶地區，此高壓帶的形成完全是下沉作用所致。在副熱帶高氣壓長期控制下的大陸，空氣乾燥和暖，雨量稀少，熱帶沙漠廣泛分佈，例如非洲的撒哈拉沙漠、澳洲中部沙漠、南美洲智利北部的阿塔卡馬沙漠、北美洲的莫哈維沙漠和非洲西南部的納米比沙漠都是位處於亞熱帶高氣壓帶的。

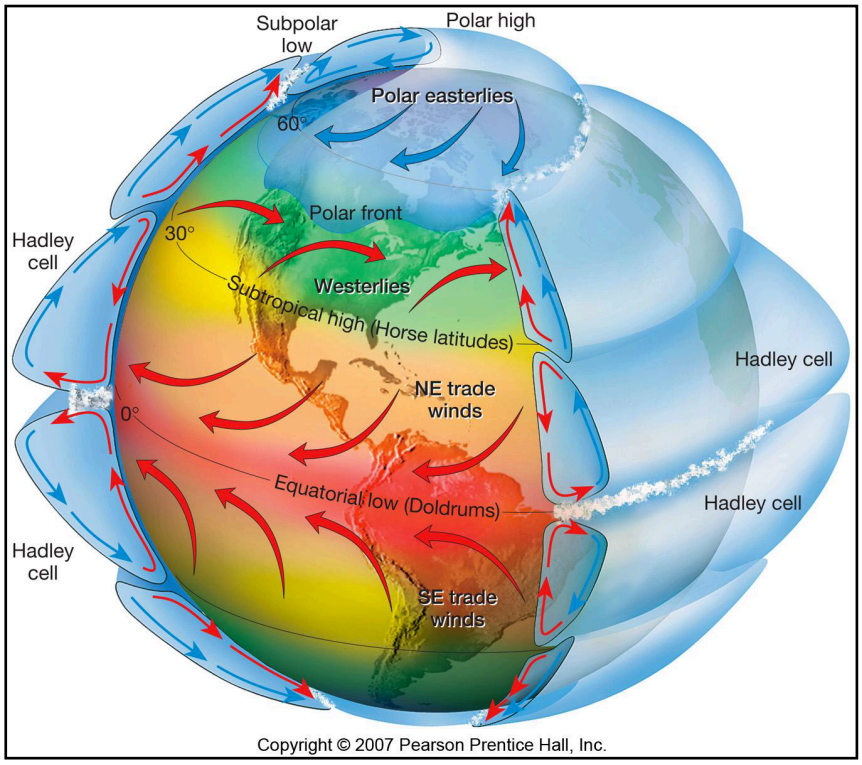
香港每年七、八月，都會受亞熱帶高氣壓帶形成的高壓脊影響，經常出現酷熱無雲的天氣。

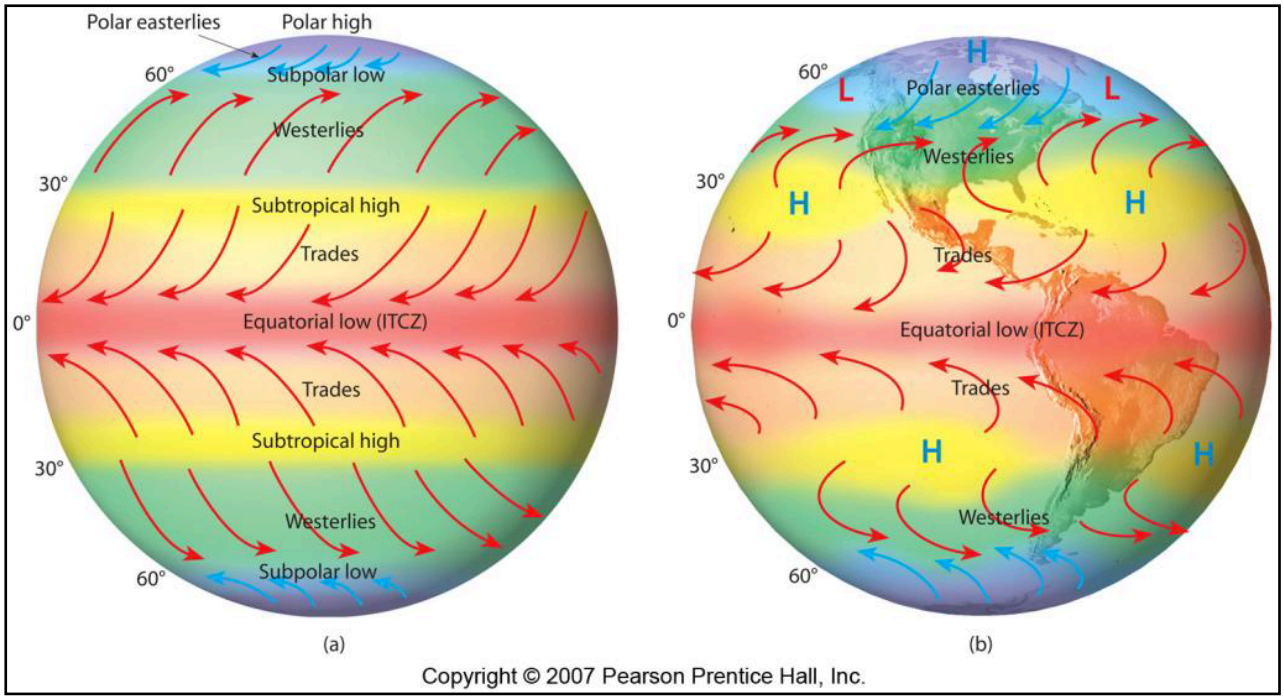
3. 副極地低氣壓帶 (Sub-polar Low)

它分佈在南北緯50度至70度附近。在這個地帶，盛行西風與極地東風相遇，冷、暖空氣輻合上升，氣壓降低，氣旋和冷空氣交換甚為頻繁，形成極地鋒面(Polar front)。這個地帶常有風暴發生，故亦稱為「副極地風暴帶」。

4. 極地高氣壓帶(Polar High)

它處於南北極地帶，是氣流下沉的輻散區。這地區由於輻射冷卻，大氣層結構穩定；天晴少雲，溫度低，成為冷空氣的發源地。


Subpolar low
Polar high
Polar easterlies
60°
Polar front
30°
Hadley cell
Westerlies
Subtropical high (Horse latitudes)
Hadley cell
NE trade winds
0°
Equatorial low (Doldrums)
Hadley cell
Hadley cell
SE trade winds
Copyright © 2007 Pearson Prentice Hall, Inc.


Polar easterlies
Polar high
60°
Subpolar low
Westerlies
30°
Subtropical high
Trades
0°
Equatorial low (ITCZ)
Trades
Subtropical high
30°
Westerlies
60°
Subpolar low
(a)
H
60°
L
Polar easterlies
L
Westerlies
30°
H
H
Trades
0°
Equatorial low (ITCZ)
Trades
H
H
30°
Westerlies
60°
(b)
Copyright © 2007 Pearson Prentice Hall, Inc.

第十章：氣象站

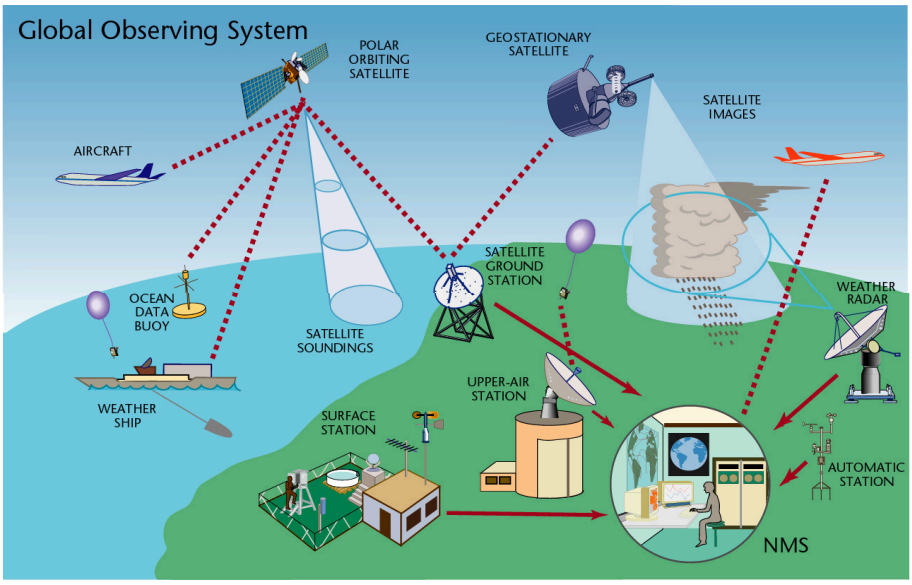
氣象站是氣象學家觀測氣象的重要途徑。科技日新月異，以前的氣象站需要長期派人駐守，發展至現在可以全自動運作，實在有賴科技的功勞。

單元目標：

- 能解釋自動氣象站的設立目的；
- 能簡單列舉數個因素如何影響氣象站；
- 認識自動氣象站保養及管理的重要性及困難。

10.1　氣象站設立目的

氣象站對天氣觀測相當重要。氣象站設立的目的是透過實時量度天氣要素，讓氣象學家分析及預測天氣，以及研究氣候。一般而言，氣象站主要對七大氣象要素進行測量：氣溫、氣壓、風(風速及風向)、濕度、降水、日照及雲量。氣象站會將收集得來的數據透過網絡傳送至全球不同的氣象機關共享。



全球氣象觀測系統

10.1.1 童軍營地氣象站的設立

童軍活動多在戶外及郊區進行。由於活動地點通常離市區頗遠，市區天氣資訊有時會失去參考價值。在童軍活動時，例如露營，設立基本氣象站，童軍成員可以獲得對該活動重要的資訊。曾經某年的一次深港交流營，於輻射冷卻下，深圳的營區氣溫降至只有−2°C，這時其他氣象站都沒有量度到的。因此，童軍在戶外活動時可以考慮設立氣象站提供天氣資訊。

為了推廣氣象，令童軍更容易觀測和預測營地的天氣，進行不同的活動，香港童軍總會於數年前開始和天文台合作，參與「社區天氣資訊網絡」(Co−WIN)，並於白沙灣譚華正海上活動中心、洞梓童軍中心及大潭童軍中心設立營地自動氣象站，將來更計劃於其他童軍中心增設氣象站。

10.2 設立氣象站時需留意的要點

在科學的角度，數據要有效(valid)才會有參考價值。所以在設立氣象站的時候，有很多要注意的地方：

i. 觀測規律：對氣象的觀測必須跟從規律，才能提升數據的參考價值。而世界氣象組織(World Meteorological Organization)更規定會員氣象站定時於世界協調時(Coordinate Universal Time, UTC)00:00、06:00、12:00、18:00發送氣象觀測數據至數據庫。因此，以前的氣象站大多有職員駐守，以定時進行天氣觀測。然而，現今科技發展一日千里，電子儀器能進行連續的天氣觀測，大大減少人手壓力。然而，部分氣象要素仍然需要人手進行觀測，例如雲量。因此，氣象觀測員仍然有存在價值。

ii. 環境：不同的氣象要素容易受周遭的環境影響，因此氣象站的選址需要非常小心，其中較為主要的例子包括：

   a) 溫度－較為敏感的數據，容易受日照影響而令讀數偏高。如果氣象站貼近高樓大廈，不通風的環境也會令讀數偏高。相反，如果高樓大廈的影子阻擋了日光，容易在夏天構成讀數偏低的情況。

      另外，高地和貼近海平面的氣溫也會有所差別。

   b) 風向和風速－標準的氣象站，風速計應離開地面最少十米。另外，如果附近有高樓大廈或高山阻擋，風向的讀數也會構成一定的偏差。最佳的例子就是天文台位於青衣油庫的風速計。由於風速計的東面有山勢阻擋，令該站較少出現東風，風速的讀數也長期偏低。

      由於香港盛行東風，設立氣象站時適宜選取東邊開揚的位置。

   c) 雨量－由於在低壓槽或熱帶氣旋襲港期間，降水通常會伴隨陣風出現。位於高樓大廈附近的雨量計，讀數會偏低。

iii. 儀器：氣象儀器其實有很多品牌，不同品牌甚至不同批次的儀器可能不一樣。另外準確度會和價錢有關。較便宜的氣象儀器可能有較大的誤差，因此，定期進行儀器校對是需要的。此外，廉價儀器一般的數據有效範圍較低，如不能量度太高的濕度，購買前應注意。

iv. 日常維修：氣象站日常都需要進行清潔及維護，以確保準確，並延長儀器的壽命。例如如果雨量計長期讀數為零，量雨筒內有可能堆滿鳥糞。另外，氣象站也要不時和鄰近的氣象站數據作出比對，以確保量度準確。例如，天文台在測風要點，例如塔門及橫欄島等「重地」於同一地點均有兩個風速計，長洲更細分為山頂風速計和泳灘風速計，使數據更有價值。

透過設立氣象站，我們便可以觀測不同的數據以預測天氣。例如於熱帶氣旋襲港時，透過實測風力和風向，以預計強風和烈風持續的時間。此外，如果熱帶氣旋正面吹襲，氣壓也會在短時間內急速下降，所以透過氣壓變化，我們也可以得知和預測熱帶氣旋的大致移動路徑。

第十一章：天氣觀測圖像

當氣象學家收到來自各個氣象站的天氣資料後，會將資料統合於圖表內，再配合不同的圖像，可以令天氣分析更為方便及全面。天氣圖於氣象章(興趣組)已作介紹，不再在這個章節重複。而本章節主要介紹另外兩個相當重要的天氣圖表：衛星雲圖及雷達圖。

單元目標：

- 能解釋氣象衛星的運作原理；
- 認識可見光和紅外光衛星雲圖的主要分別；
- 能示範詮譯衛星雲圖；
- 能比較兩種不同類型的氣象衛星；
- 能解釋天氣雷達的運作原理；
- 能示範詮譯天氣雷達圖。

11.1 氣象衛星雲圖

自從人類有能力踏足宇宙，天氣觀測的途徑不再局限於地面。氣象學家利用投於地球兩種軌道的氣象衛星，為全球進行氣象觀測。

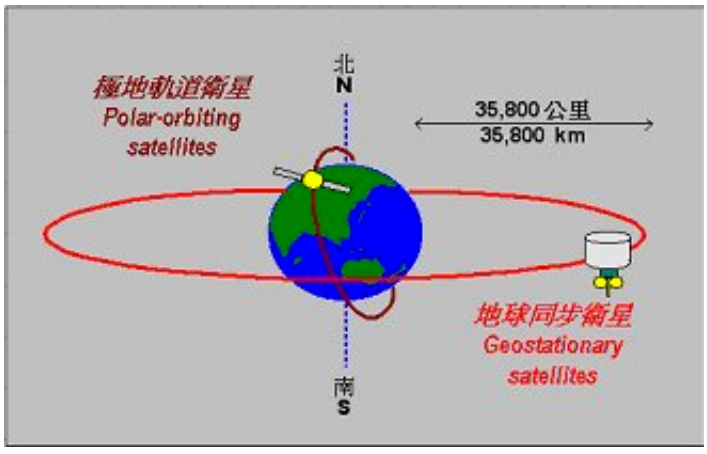
11.1.1 氣象衛星原理

氣象衛星的原理尤如照相機。當太陽將輻射投射至地球表面時，部分輻射會反射上宇宙。氣象衛星接受這些反射得來的訊息，經過過濾，得出幾種氣象衛星圖像，當中常見的是可見光衛星圖像及紅外光衛星圖像。可見光衛星圖像影像大眾毋須受過訓練亦能理解，但只有日間觀測圖像；紅外光衛星圖像較難理解，但全日均能進行觀測。

11.1.2 氣象衛星種類

地球同步衛星

地球同步衛星(Geostationary Satellites)是逗留在赤道高軌道上的氣象衛星。由於離地球遠，圖像一般覆蓋範圍廣，能全日觀察同一地方，但分辨率較低。



極地軌道衛星

極地軌道衛星(Polar Orbiting Satellites)是逗留在低軌道上不停往返南北兩極的氣象衛星。由於離地球近，圖像雖然覆蓋範圍較小，但分辨率較高，可是一天只能觀察同一地點兩次。

	極地軌道天氣衛星	地球同步天氣衛星

圖像分辨率	約一公里	約五公里
圖像覆蓋範圍	有限區域	整個地球
衛星位置	距離地面約數百公里	赤道上空約三萬六千公里
衛星運行方式	以南北方向環繞地球運行	在赤道上空隨地球同步運行
拍攝頻率	每天拍攝同一地點一至兩次	每小時拍攝一次

11.1.3 可見光衛星圖像

它記錄自雲和地球表面反射回來的可見光，分辨率會較高。

限制：

可見光源自太陽，但晚間並沒有可見光衛星圖像；

單靠可見光衛星圖像是難以區分高雲和低雲。

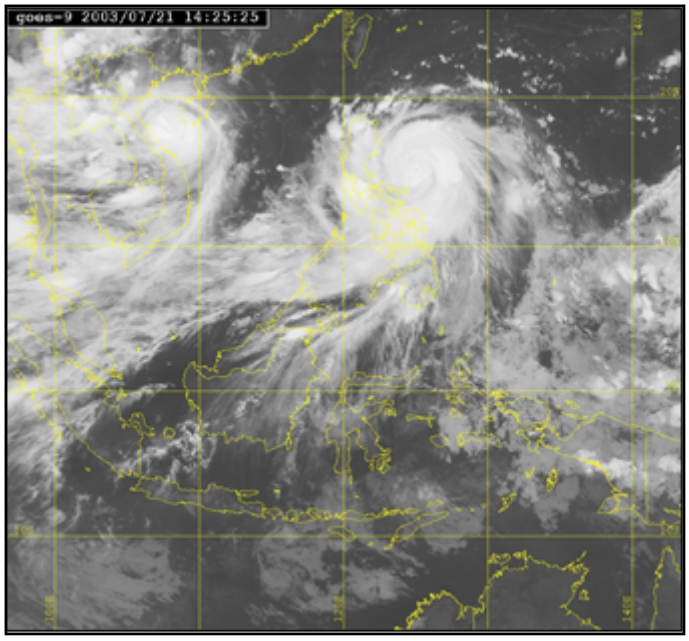


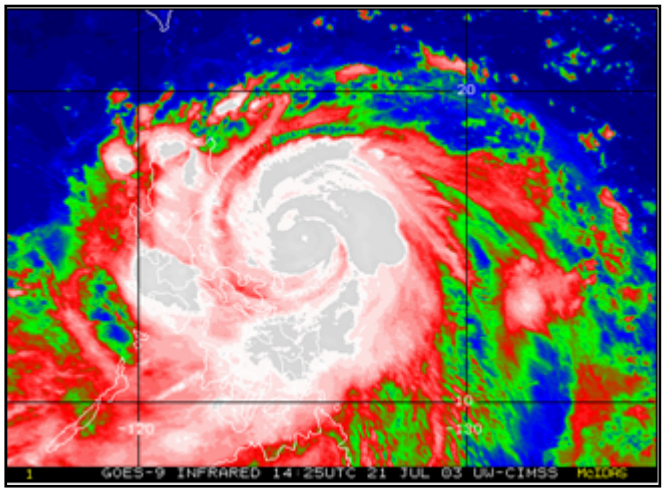
圖15e：地球同步氣象衛星可見光衛星圖像

11.1.4 紅外光衛星圖像

利用紅外光頻道錄得的訊號能量度温度，由於大氣的温度隨高度增加而減少，高雲温度較低，其發放的紅外光較少，因此可用來分辨高雲和低雲，亦可用來估計熱帶氣旋的強度。

限制：

紅外光衛星圖像的分辨率較可見光衛星圖像低。



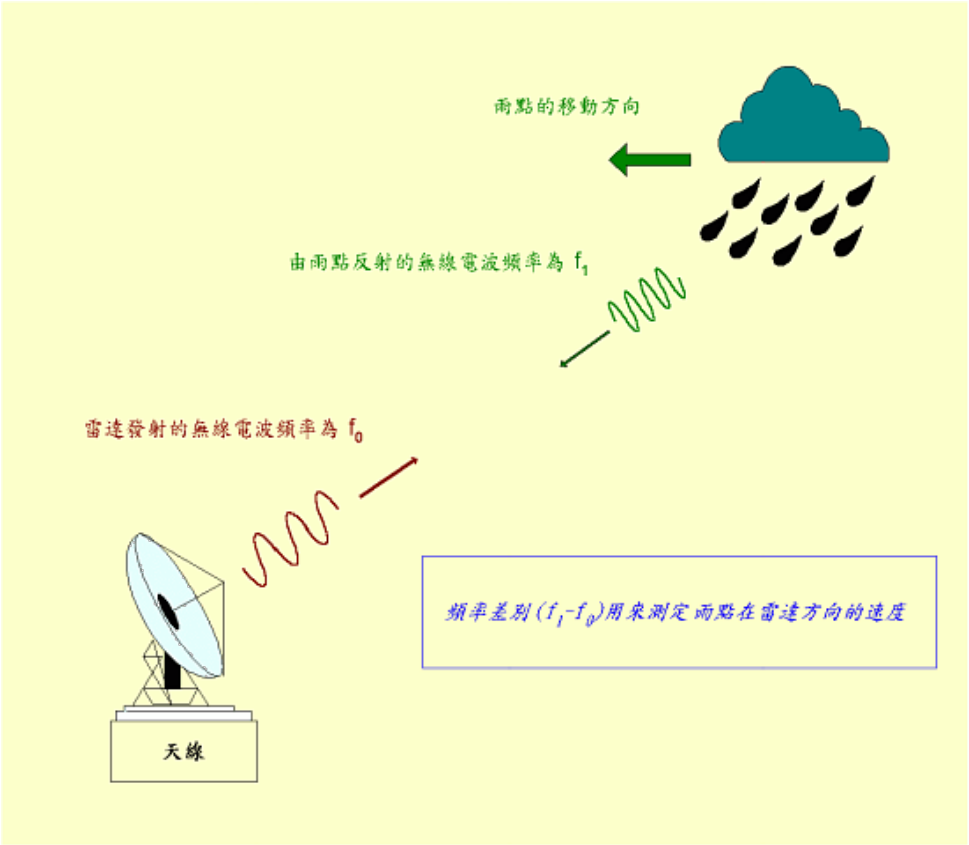
11.2 天氣雷達圖像

氣象衛星觀察範圍較廣，一般觀察區域性的氣象形勢。但要仔細觀察雨區發展，天氣雷達會較為適合。

11.2.1 天氣雷達

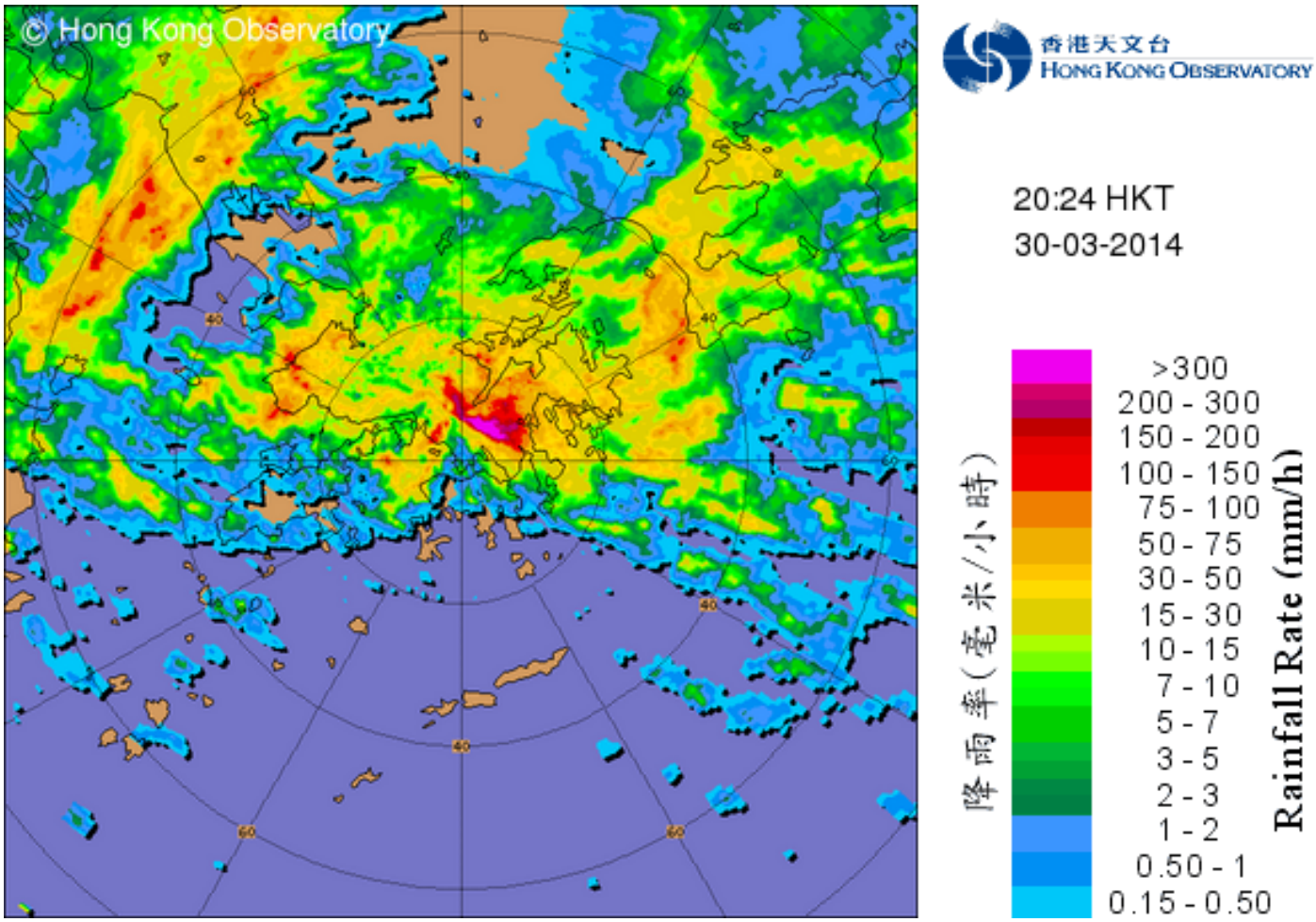
雷達(RADAR)的全名是RAdio Detection And Ranging，即無線電波探測及測距。最初用於軍事用途，之後被運用於天氣觀測上。

天氣雷達會向上空不停發射微波脈衝，當這些脈衝遇到雨區時，脈衝會被反射，繼而被雷達的接收器偵測。雨勢越大，反射的信號越強。透過量度脈衝來回的時間差，雨區的位置就可以計算出來了。



香港的主要的天氣雷達有三個。分別在大帽山、大老山和大欖涌。大帽山及大老山的天氣雷達主要為天文台提供主要雨區資訊，而大欖涌的天氣雷達則主要為機場服務。

11.2.2 天氣雷達圖



香港天文台的天氣雷達圖像有三種覆蓋範圍選擇：64公里、128公里及256公里。圖像以香港為中心，配以地圖為背景。若有雨區接近，地圖上會有不同的顏色表示不同強度的雨區。雨量較少的雨區顏色會偏藍，雨量較強的雨區一般會以偏紅的顏色表示，大眾閱讀時可以利用旁邊的對照表對照顏色及雨量。值得留意的是，紫紅的雨量極高，很多時是落雹的先兆。

第十二章：實務天氣預測

天氣預測有很多方法，各有優劣。然而，由於大氣運動的混沌本質，天氣預測受制於這自然限制，當預測越長遠的天氣時，結果會有越大的機會偏離預測值。

天氣預測的方法很多，當中主要可以分為傳統經驗(experiences)、類比法(analog)、持續性預報(persistency)、統計法(statistics)、外推法(extrapolation)及數值預報(numerical model)。

單元目標：

- 認識各種傳統天氣預報及數值天氣預報；
- 能闡述天氣預報的限制。

12.1 傳統經驗

傳統經驗是集古人長遠對天氣觀察而得出的成果，很多民族都會將其歸納出天氣諺語。

以下是一些中國天氣諺語的例子：

看雲測天諺語

天氣轉好	**天氣轉壞**
早起浮雲走，中午曬死狗	天上鉤鉤雲，地上雨淋淋
雲從東南漲，有雨不過晌	天上棉絮雲，地上有雨淋
天上鯉魚斑，曬殼不用翻	天上堡塔雲，地下雨淋淋
天上豆莢雲，地上曬煞人	雲交雲雨淋淋
	西北黃雲現，冰雹到跟前
	魚鱗天，不雨也風顛
	西北來雲無好貨，不是風災就下雹
	雲結親，雨更猛

其他
日出紅雲升，勸君莫遠行；日落紅雲升，來日是晴天
烏雲接日高，有雨在明朝；烏雲接日低，有雨在夜裡
晚上西北暗，有雨還有閃；晚若西北明，來日天氣晴
黑雲是風頭，白雲是雨兆
早看東南，晚看西北
早怕南雲漫，晚怕北雲翻

雷電聲光測天諺語

天氣轉好	**天氣轉壞**
露水閃，來日晴	曇天西北閃，有雨沒多遠
早雷下大雨，下雨不過晌	雷聲像拉磨，狂風夾冰雹
其他	
急雷快晴，悶雷難晴	
東閃空，西閃雨，南閃火門開，北閃連夜來	
響雷雨不兇，悶雷下滿坑	
雷打天頂不雨不大，雷打雲邊大雨降	
春雷十日陰，春雷十日寒	

觀風測天諺語

天氣轉好	**天氣轉壞**
西北風開天鎖	東風急，雨打壁
	南風轉東風，三天不落空
	雨後西南風，三天不落空
	五月南風下大雨，六月南風井底乾
	南風不過三，過三不雨就陰天
	急風行雨暴
	風亂轉，不用算
	頂風上雲，不雨就陰
	西風隨日落止，不止刮倒樹
其他	
早刮東風不雨，澇刮西風不晴	
南風刮到底，北風來還禮	
東風濕，西風十，北風寒，南風暖	

其他天氣諺語

天氣轉好	**天氣轉壞**
十霧九晴天	天上灰布點，細雨定連綿
濃霜猛日頭	久雨見星光，明朝雨更狂
露水見晴天	海底照月主大風
早上有了霧，中午曬死兔	太陽顏色黃，明朝有大風狂
臘月寒，來年五月少雨潭	時雨時晴，幾天幾夜不停
早西風夜東風，日日好天空	蜘蛛收網，大雨必到
饅頭雲在天腳邊，晴天無雨日有煎	知道二月風，便知六月雨
	日暈三更雨，月暈午生風
	晚上看西北黑，半夜有風雨
	蚯蚓地上爬，近日就要下
	天上雲像梨，地下雨淋泥
	螞蝗悶熱出水面，晴天很快變雨天
	螞蟻搬家蛇過道，必定大雨到
	蟑螂整夜鬧，天明雨來到
	今日蜜蜂收工遲，明日可能天氣變
	立夏以後蛇出洞，準備工具快防洪
	水缸出汗蛤蟆叫，瓢潑大雨就要到
	早間日珥起狂風
	日頭出的早，天氣不牢靠
	當午日一顯，幾天不見面
其他	
春霧日頭、夏霧雨、秋霧涼風、冬霧雪	
雷轟頭頂，雖雨不猛。雷打天邊，大雨連天	
晴天蛙叫下大雨，雨天蛙叫要晴天	
雲向東，一場空。雲向西，披簑衣	
有雨山戴帽，無雨雲擋腰	

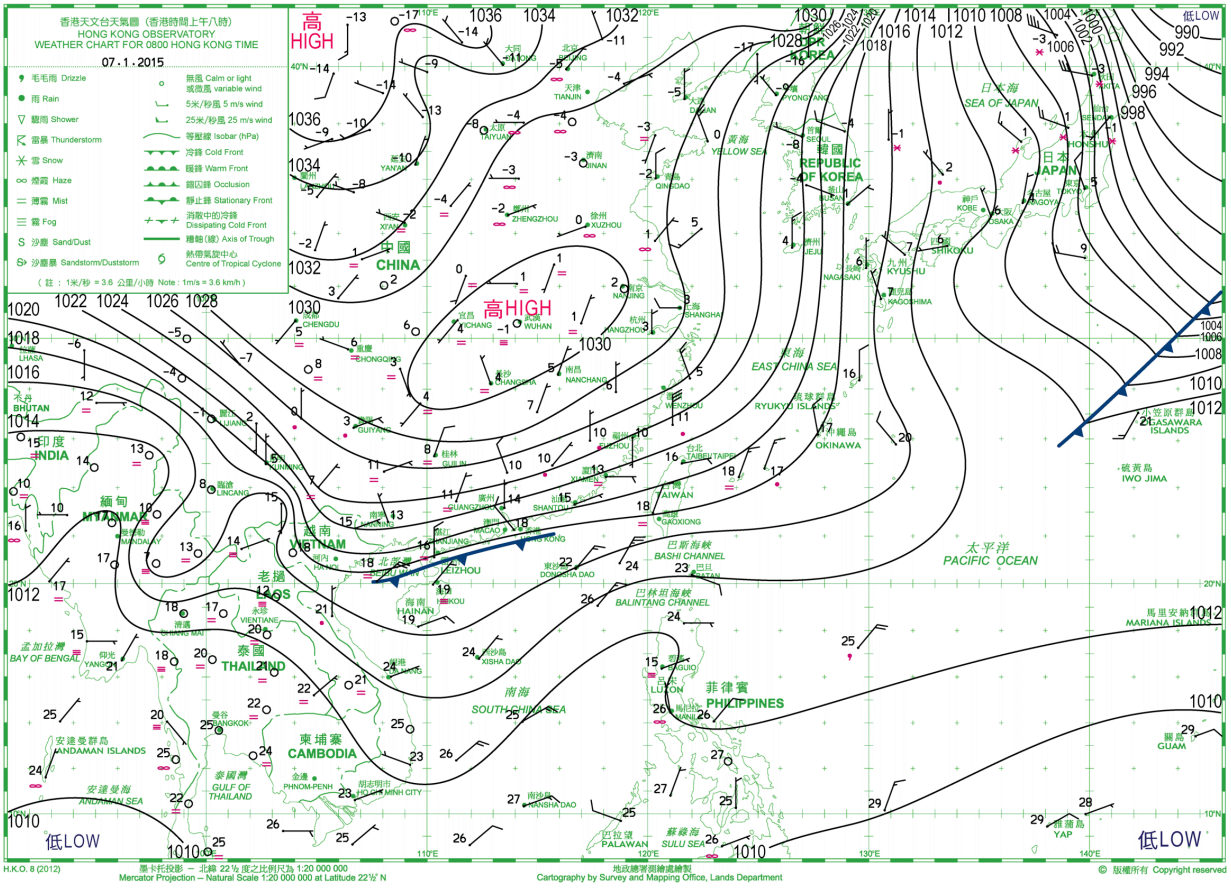
重陽無雨看十三，十三無雨一冬乾
立秋後三場雨，夏布衣裳高擱起

傳統經驗的好處是方便易記，琅琅上口。但缺點是未必能配合科學尋根究底的精神，因此不科學、主觀及不定量。所以天氣諺語在使用時會無法解釋原因，甚至有時都會有錯誤。

12.2 類比法

類比法是透過觀看大氣形勢，從過往的經驗中，找出類似的大氣形勢，從而推算出之後的走勢。

天氣系統是類比法的例子。氣象學家從過往的案例中，分析不同的大氣形勢會導致不同天氣，從而套用不同的形勢模式相關的典型天氣，進行天氣預測。



冷鋒可以導致氣溫驟降、風向改變、降水、露點溫度下降

天氣監測圖像–天氣圖

http://www.weather.gov.hk/wxinfo/currwx/wxchtc.htm

12.3 持續性預報

對於短期的天氣預測，如果大氣形勢沒有重大改變，可以假設天氣會保持現狀。相似的天氣狀況將會持續幾天甚至更長，直至有其他系統影響。

持續性預報最適合用以預測氣溫。

返回

二零一四年八月每日數據摘錄

年 2014 月 8 前往

日	天文台									京士柏	橫瀾島^	
	平均氣壓(百帕斯卡)	氣溫			平均露點溫度(攝氏度)	平均相對濕度(%)	平均雲量(%)	總雨量(毫米)	總日照(小時)	盛行風向(度)	平均風速(公里/小時)
		絕對最高(攝氏度)	平均(攝氏度)	絕對最低(攝氏度)							
01	1001.0	34.6	30.2	25.9	25.7	78	39	5.9	10.6	260	22.7
02	1001.4	32.8	29.7	26.1	25.6	79	47	10.7	10.7	230	16.3
03	1001.9	32.3	29.3	26.1	25.7	82	60	39.3	9.7	230	13.3
04	1002.4	32.7	30.2	27.2	26.4	81	72	12.0	6.9	230	12.1
05	1003.4	30.7	29.2	27.3	26.6	86	73	21.1	2.0	050	10.2
06	1003.6	31.1	28.1	26.1	25.7	87	83	36.5	3.2	220	12.9
07	1003.3	31.0	29.0	26.7	26.1	85	87	14.5	5.0	240	21.8
08	1003.0	32.3	29.9	28.1	25.4	78	57	0.0	11.0	240	20.4
09	1004.4	32.0	30.1	28.8	25.5	77	72	0.0	7.7	230	25.9
10	1004.7	32.4	29.8	27.5	25.5	78	74	5.1	7.3	240	27.2
11	1003.3	32.1	29.9	28.5	26.1	80	78	微量	6.1	240	22.1
12	1002.1	31.9	28.9	25.2	26.0	85	88	102.9	3.4	230	23.3
13	1003.5	28.8	26.0	24.3	25.3	96	93	166.1	0.0	220	16.2
14	1008.0	30.7	28.1	25.4	25.3	85	79	0.5	3.3	230	18.9
15	1010.1	32.4	29.2	26.7	24.8	78	53	0.0	10.9	230	13.7
16	1008.6	31.9	29.3	27.9	25.1	79	65	0.0	9.0	250	23.1
17	1007.3	31.9	29.3	27.3	25.0	78	49	0.0	11.2	240	20.4
18	1008.2	32.4	29.6	27.7	24.9	76	76	0.0	10.7	230	22.8
19	1008.7	31.3	27.4	24.6	24.7	86	93	42.1	2.0	240	26.9
20	1010.4	26.5	24.7	22.9	23.9	95	88	88.8	0.0	030	6.0
21	1010.7	30.7	26.9	23.9	24.3	86	68	0.1	5.4	170	8.1
22	1010.6	31.9	28.5	26.6	24.9	81	61	0.0	4.9	160	6.9
23	1009.8	32.2	29.1	27.2	24.9	78	51	微量	6.3	200	8.0
24	1009.7	33.2	29.1	26.9	24.4	76	40	0.0	9.2	140	8.6
25	1010.1	34.1	29.9	27.3	25.2	77	40	0.0	11.2	120	11.0
26	1010.6	34.2	30.1	27.9	25.4	76	40	0.0	10.3	060	18.2
27	1010.1	31.7	29.4	28.2	25.0	78	77	0.7	2.7	070	37.3
28	1012.1	32.1	29.5	28.1	25.8	81	79	0.3	5.7	120	22.4
29	1012.5	34.1	30.1	27.5	25.1	75	53	0.0	10.9	060	14.5
30	1011.1	34.0	30.1	27.8	25.0	75	60	0.0	11.0	060	16.9
31	1009.7	31.2	29.1	28.2	25.8	83	84	1.6	3.7	110	20.3
平均/總值	1007.0	32.0	29.0	26.8	25.3	81	67	548.2	212.0	240	17.7
正常§	1005.2	31.1	28.6	26.6	25.0	81	69	432.2	188.9	230	19.4

夏天常見氣溫維持於相近數值

天文台–氣候資料服務

http://www.hko.gov.hk/cis/climat_c.htm

12.4 統計法

統計法是利用氣候資料作出統計分析，尋求平均值及平均誤差，或天氣現象發生的機率。通常天氣狀況都不會距離氣候平均值太遠。

香港氣象要素的五天平均值 (1981–2010)

日期	平均氣壓 (hPa)	氣溫(°C)			平均相對濕度 (%)	平均日雨量 (mm)	雲量 (%)
		平均最高	平均	平均最低			
9–13/8	1004.8	31.0	28.6	26.6	83	15.5	71
14–18/8	1005.5	31.0	28.4	26.4	82	15.0	72
19–23/8	1005.3	31.1	28.5	26.5	81	17.0	69

二零一四年八月每日數據摘錄

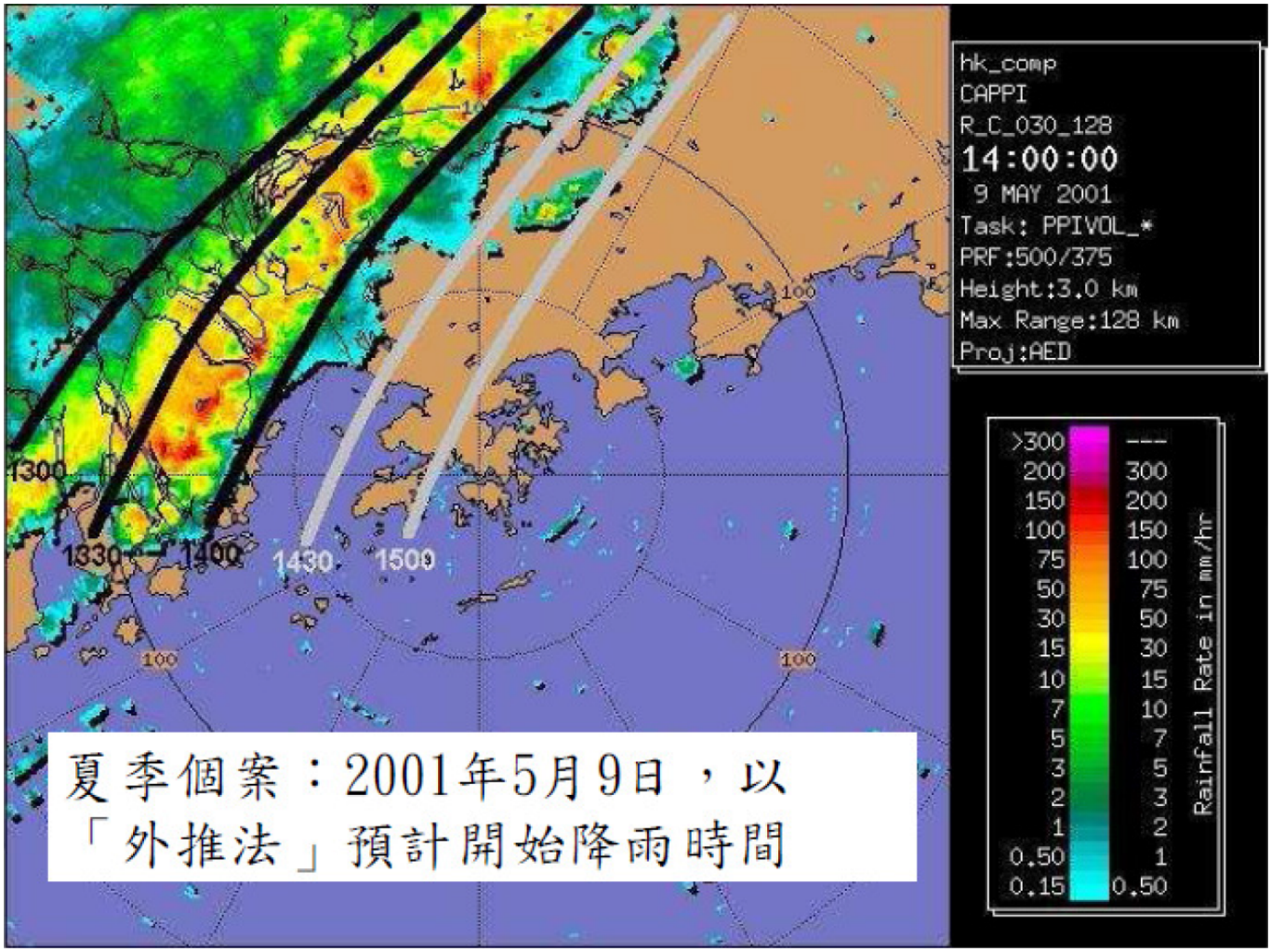
日期	平均氣壓 (hPa)	氣溫(°C)			平均相對濕度 (%)	總雨量 (mm)	雲量 (%)
		最高	平均	最低			
13	1003.5	28.8	26.0	24.3	96	166.1	93
14	1008.0	30.7	28.1	25.4	85	0.5	79
15	1010.1	32.4	29.2	26.7	78	0.0	53
16	1008.6	31.9	29.3	27.9	79	0.0	65
17	1007.3	31.9	29.3	27.3	78	0.0	49
18	1008.2	32.4	29.6	27.7	76	0.0	76
19	1008.7	31.3	27.4	24.6	86	42.1	93
20	1010.4	26.5	24.7	22.9	95	88.8	88

以上例子可見，很多時候的天氣狀況會趨向氣候平均值，但個別亦會有個別極端天氣偏離平均值。

12.5 外推法

情況與持續性預報一樣，但主要適用於沒有外力影響下移動中的系統，如雨帶、熱帶氣旋。

從牛頓第一定律可知，一個移動中的物體在沒有外力影響的情況下，會保持慣性，維持速度移動。



這個方法於預測雨帶的移動非常有效，但由於現實天氣情況經常發生變化，雨帶可能會轉向、加快、減慢、突然增強或消散，因此利用外推法時，預測時間不宜過長。

12.6 數值天氣預報

為求將天氣預報變得更準確，能夠定量、仔細、客觀地分析大氣，氣象學家以數學物理方法，透過電腦運算，推導相連的天氣演變，於是便產生了數值天氣預報模型(Numerical Weather Prediction Model)。數值天氣預報模型將大氣切割成很多小份，利用超級電腦，計算每一小份大氣之間的相互物理關係，預報天氣。

12.7 數值天氣預報的限制

然而，天氣變幻莫測。天氣預測沒可能百份百準確，主要原因如下：

1. 由於地形及土地用途限制，天氣觀測點無法密集分佈，且分佈並不平均，造成數據上的盲點。由於海洋上設立觀測點的成本更為高昂，海洋上的觀測點比陸地更為疏落，造成海洋天氣預報的困難。

2. 數值天氣預報涉及大量運算，運算時間冗長。(1920年有人利用人手計算為中歐的其中兩點進行天氣預報，但花了六星期才能計算出六小時的預報。)隨著科技演進，數值天氣預報可以利用超級電腦運算，提高效率。但是計算時亦使用了簡化了的方程運算，導致結果與現實不同。順帶一提，不同天氣預報中心會用不同的方程運算，因此不同天氣預報中心的預測也會有差異。很多時天氣預報會綜合多個天氣預報中心的預測，得出平均值。一般而言，平均化的預報與現實相差較小。

3. 大氣運動存在測不準的特性。在兩個近乎相同的大氣狀況，即使初始值只有極其微小的差異，隨著時間演進，兩者的差距會逐漸擴大，演變成兩種完全不同的狀況。引伸出的是，假設數值天氣預報能非常準確及非常快速地進行運算，得出來的結果可以和現實差距甚大。

4. 如第3點所指，隨著時間演進，天氣預報的誤差會逐漸擴大。因此長期天氣預報的誤差可以很大。假若不定時修正誤差，長期天氣預報將失去意義。所以天氣預報中心會定期更新預報結果，以縮窄預報與實際結果間的差距。

總結而言，受到人為因素、系統因素及天氣的混沌本質限制，天氣預報不可能百份百準確。現實天氣情況與預報產生差異不應單純歸咎於預報中心。我們在戶外活動時應時常提高警覺，實踐童軍運動的銘言，為突如其來的惡劣天氣做好「準備」。

建議參考書籍

1. 方志剛、袁仲昇著 (2007)，《香港天氣常識及觀測》，花千樹出版有限公司

2. 方志剛、袁仲昇著 (2004)，《做個醒目天氣人》，世界出版社

3. 沈四林著 (2004)，《海洋與氣象》，人數交通出版社

4. 周淑貞著 (2003)，《氣象學與氣候學（第三版）》，高等教育出版社

5. 林文智著 (1986)，《雲與天氣》，渡假出版社有限公司

6. 香港天文台著 (2007)，《基礎氣象知識》，香港天文台

7. 張靄琛著 (2006)，《現代氣象觀察》，北京大學出版社

8. 盛裴軒著 (2006)，《大氣物理學》，北京大學出版社

9. 游丕若著 (2002)，《雲的奧秘（圖鑑篇）》，人人出版股份有限公司

10. 王曉梅著 (2013)，《二十四節氣—春夏秋冬的生活智慧》，中華書局（香港）有限公司

11. 漁農自然護理署著 (2004)，<<郊野公園郊遊安全指引>>

12. C. D. Ahrens (2003), Meteorology Today (7th Edition). Thomson Learning.

13. F. Lutgens and E. Tarbuck (2010), The Atmosphere (11th Ed.). New Jersey :Prentice Hall.

14. T. Houghton (1986), The Physics of Atmospheres (2nd Ed.). Cambridge University Press.

15. R. Hamblyn (2008), The Cloud Book: How to Understand the Skies. The Met Office.

16. G. Pretor–Pinney (2011), The Cloud Collector's Handbook. Chronicle Books.

參考網上資源

1. 香港大學物理系
   http://www.physics.hku.hk/
2. 香港教育學院 --物理遊樂場
   http://www.ied.edu.hk/has/phys/
3. 香港天文台 -- 教育資源
   http://www.hko.gov.hk/education/educ.htm
4. 香港天文台 -- 天文台於報章刊登的文章
   http://www.hko.gov.hk/education/edu04other/edu04_newsarticle_ce.htm
5. 香港天氣資訊中心
   http://www.weather.com.hk
6. 香港熱帶氣旋追擊站
   http://www.hkcoc.com/
7. 香港地下天文台
   http://www.weather.org.hk/
8. 中國科普博覽 大氣科學館
   http://www.kepu.com.cn/gb/earth/weather/index.html
9. 台灣林務局全球資訊網
   http://163.20.22.161/Science/content/1989/00090237/0014.htm
10. CIMSS Tropical Cyclone
    http://cimss.ssec.wisc.edu/
11. Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies
    http://cimss.ssec.wisc.edu/tropic/tropic.html
12. Severe Weather Information Centre
    http://severe.worldweather.org/
13. ECMWF CEPMMT EZMW
    http://www.ecmwf.int/
14. ENSO Wrap-Up: A regular commentary on the El Niño–Southern Oscillation
    http://www.bom.gov.au/climate/enso/
15. TRMM
    http://trmm.gsfc.nasa.gov/
16. Geostationary Satellite Sever
    http://www.goes.noaa.gov/
17. Earth
    http://earth.nullschool.net/