



Reprint 565

香港大氣能見度的長期變化

梁延剛、鄭婉圓、胡文志

區域環境質量演變及環境安全學術研討會暨
中國地理學會環境地理與化學地理專業委員會
2004 年學術年會，香港中文大學，2004 年 10 月 22-26 日

香港大氣能見度的長期變化

梁延剛 鄭婉圓 胡文志

(香港天文台，香港九龍彌敦道 134A)

1. 引言

大氣能見度是指視力正常的人能從天空背景中辨認出目標物的最大水平距離。低能見度的出現有礙景觀的欣賞，也對海陸空交通的安全構成威脅。除了霧、薄霧及降雨等的氣象因素外，低能見度多是由於大氣中的懸浮粒子及污染氣體對可見光的吸收和散射所引起的。因此，撇除霧、薄霧及降雨等現象，低能見度的出現，往往標示著空氣帶有對健康有害的污染物(文獻[1])。低能見度出現的頻率增加，意味著空氣質素可能有惡化的傾向(文獻[2])。這跟污染物排放的增加，或風向的改變，使污染物可以從污染較高的地方輸送過來有關；亦可能是由於風速及大氣穩定度的改變，不利於污染物的擴散所致，其中污染物、能見度、和氣象條件的相互作用是複雜的。

文獻[3]指出氣象因素及人為污染物對香港能見度的影響。文獻[4]顯示了在 1968 到 1982 這 15 年，香港市區(天文台及啓德機場)和郊區(長洲及橫瀾島)低能見度出現的頻率均呈上升的趨勢。文獻[5]用了 1968 至 1995 年天文台及啓德機場、1968 至 1991 年長洲和 1975 至 1988 年橫瀾島的能見度數據，表明 1982 年以後，除橫瀾島外，香港市區低能見度出現的頻率保持着上升的趨勢。

本文延伸文獻[4, 5]的研究，利用 1968 到 2003 年的數據，了解香港天文台低能見度最近期的變化。本文也從氣象角度探討風速、風向及大氣穩定度近年來變化與天文台低能見度趨勢變化的關係。啓德機場、長洲和橫瀾島的能見度觀測已分別於 1997、1991 及 1988 年停止，這 3 個地方有數據年份的低能見度趨勢列於附件，以作參考之用。

除了長洲和橫瀾島外，香港另一有能見度觀測的外站是天文台設於赤蠟角的氣象所，簡稱赤蠟角站。觀測始於 1979 年 6 月，1983 年 8 月停止，站是位於赤蠟角島北面一個小丘上，1997 年赤蠟角國際機場的氣象所建成並開始運作，能見度觀測恢復至今。本文對赤蠟角 1980-1982 有全年數據的 3 年及 1997 年以後的低能見度資料作出分析，以得到該區能見度的近期趨勢，與天文台同期能見度趨勢作出比較。

至於香港近期低能見度與空氣污染的關係，不在本文的研究及討論範圍之內。

2. 數據來源與分析方法

天文台、啓德機場、長洲、橫瀾島及赤蠟角觀測站的位置示於圖 1。在這些站能見度都是由受過氣象訓練的天文台觀測員，根據世界氣象組織(WMO)的指引，每小時或每 3 小時進行觀測所得的。各站能見度數據的年期可在表 1 找到。

跟文獻[4, 5]一樣，本文的低能見度是指能見度低於 8 公里，不包括由霧、薄霧、降水及高濕度($\geq 95\%$)造成的個案。各站的低能見度是以每年在該站低能見度出現的時數與在該站該年的總能見度觀測時數的百分比來表達。

本文採用迴歸法計算低能見度趨勢，及 t-測試來檢驗趨勢是否在統計學上達 5% 顯著水平，方法的詳情可參考文獻[6, 7]。

3. 長期趨勢

3.1. 年趨勢

在 1968-2003 年間，天文台出現低能見度時間百分比的上升速率為每 10 年 2.11% (圖 2a)。從圖 2a 亦可看到，由 80 年代中期至今，低能見度的出現加劇。在 1968-1986 年，上升速率為每 10 年 0.77%，

1986-2003 年，上升速率則為每 10 年 4.61%，是 1986 年以前的 6 倍。

赤鱘角在 1997-2003 這 7 年間，低能見度的年際變化較大(圖 2b)。趨勢則為每 10 年上升 2.56%，未達 5% 顯著水平。這 7 年間，赤鱘角低能見度出現的百分比年平均為 11.47%，遠比 1980-1982 的年平均 3.66% 為高。

另外，赤鱘角 1997-2003 低能見度每 10 年上升 2.56% 的趨勢低於天文台同期每 10 年 3.36% 的趨勢(未達 5% 顯著水平)，但它的 11.47% 年平均高於天文台的 9.18% 。

3.2 季趨勢

圖 3a 顯示天文台站在 1968-2003 年出現低能見度的季變化。可以見到冬季平均出現低能見度的時間較夏季為多(春、夏、秋及冬季分別是指 3 至 5 月、6 至 8 月、9 至 11 月及 12 月至 2 月)。赤鱘角站在 1997-2003 的情況也相同(圖 3b)。這跟香港在冬季普遍吹源自內陸的東北季候風及夏季吹來自海洋的西南季候風不無關係。天文台及赤鱘角這兩個站低能見度頻率的上升趨勢都以冬季最高。80 年代中期以後，秋、冬季天文台站出現低能見度的時間較 80 年代中期以前高出很多。

有關天文台及赤鱘角各年代及各季的低能見度趨勢，列於表 2。各年代及各季低能見度出現的平均值，則列於表 3。

4. 氣象因素對能見度的影響

本節介紹天文台及赤鱘角低能見度出現時風速、風向及大氣穩定度的分佈，及與平均情況下的分別，並比較兩站的差異。至於這些參數對 80 年代中期至今低能見度趨勢較前期加劇的影響，會留在第 5 節討論。

4.1. 風速和風向

文獻[5]已指出天文台站在 1968-1995 年間，低能見度多在微風下出現(即佔低能見度出現時間 50% 以上)，只有甚少在清勁或以上的風力下發生(指佔低能見度出現時間 1% 以下)。本文分析了近年(1997-2003)天文台的數據，亦得出類似的結果(圖 4a)。同期赤鱘角站的風速分佈也顯示低能見度的情況較少(< 4%)在清勁或以上的風力下出現(圖 4b)。

圖 5a 顯示赤鱘角站在 1997-2003 年間出現低能見度時的風向分佈，同期每小時的風向分佈則列於圖 5b。出現低能見度的情況多吹西北風(圖 5c)，較少吹東南或偏南風(圖 5d)。天文台站的風向受地形影響，當吹風速較低的北或西北風時，天文台站通常會錄得偏西風(文獻[5])。在 1997-2003 年，當天文台站出現低能見度時，吹偏西風的頻數高於正常(圖 6)。

由於風向屬圓形數據，本文利用圖形數據統計測試，檢驗圖 5a 及圖 5b、圖 6a 及圖 6b 的分佈是否不同，測試所用統計量 W_r 如下：

$$W_r = 2 \sum_{i=1}^r (C_i^2 + S_i^2) / n_i$$

其中 $C_i = \sum_{j=1}^{n_i} \cos \gamma_{ij}$ ， $S_i = \sum_{j=1}^{n_i} \sin \gamma_{ij}$ ， γ_{ij} 代表圖形數據序次， r 為樣本數目(這裏 $r=2$)， n_i 為第 i 個樣本的數據數目。當 $n_i \geq 10, i=1, \dots, r$ 時， W_r 的分佈是 χ_{2r-2}^2 。有關這個檢驗方法的詳情可參考文獻[8]。

檢驗結果顯示圖 5a 及圖 5b、圖 6a 及圖 6b 的風向分佈有所不同，在統計學上皆達 5% 顯著水平。這顯示風向與低見度有一定的關係。

圖 7 顯示天文台及赤鱘角站的風向及能見度分別有明顯的日際變化，這風向的變化跟海風效應有關。文獻[9]詳述赤鱘角站海風

的成因及特性，提及海風多在上午 10 時開始影響赤鱘角站及至下午 5 時結束。從圖 7 可知這段時間赤鱘角站的風向逐漸由偏東北轉向偏西，能見度最差的時段的風向為偏西北風。文獻[10]利用個案研究展示當香港吹西北風時，污染物可從珠江三角洲地區傳送到香港西部。至於天文台站，日間能見度也比晚間差，且較多吹偏西風。

4.2. 大氣穩定度

大氣穩定度與氣溫直減率有關，氣溫直減率 Γ 定義為：

$$\Gamma = -\frac{\partial T}{\partial z}$$

當中 T 為氣溫， z 為高度。圖 8 顯示香港大氣層底部(地面至 950 百帕斯卡，約 600 公尺)平均氣溫直減率的分佈。從圖中可知，天文台及赤鱘角站的低能見度多在直減率較小的情況，即較穩定的大氣下出現。

4.3. 天氣圖尺度形勢

風速、風向和大氣的穩定度的特徵在不同的天氣尺度形勢下有分別。在冬季，穩定的大氣及小風速的情況多在弱北風潮剛抵達香港或影響香港的東北季候風緩和時發生。除此之外，在 5 至 11 月期間，當有熱帶氣旋於香港的東面或東南面逼近時，香港的能見度亦有可能降低。天氣圖顯示這跟在熱帶氣旋的外圍環流影響下，香港吹西北風及下沉氣流令大氣較穩定有關(文獻[6])。有熱帶氣旋在香港的東北面時，華南沿岸吹微弱偏北風，能見度亦會較低。

圖 9 顯示熱帶氣旋途經北緯 15° - 35° ，東經 105° - 130° 這範圍內分別能令天文台及赤鱘角站出現低能見度個案的百分比(出現低能見度的熱帶氣旋數目除以總熱帶氣旋數目)。天文台及赤鱘角站在北緯 20° - 25° 及東經 115° - 120° 的百分比分別約為 36% 及 52%，較其他區域為高。

5. 能見度長期轉差的成因

城市活動如工業、交通、廢物焚化等都使空氣中懸浮粒子的濃度增加(文獻[11, 12])。文獻[13]利用氣象及懸浮粒子數據顯示香港市區出現的低能見度主要是與空氣中由城市活動所產生的懸浮粒子，例如氨化合物(NH_4^+)、硫酸鹽(SO_4^{2-})及硝酸鹽(NO_3^-)等有關。

圖 10 顯示天文台站的年平均風速變化。風速在 1968 至 1986 年期間趨勢不顯著，但在 1986 至 2003 年期間有每 10 年下降 0.4 米/秒的趨勢，達 5% 顯著水平。80 年代中期開始，天文台站亦比早期較多吹偏西風(圖 11)。出現偏西風的百分比在 1968 至 1986 年期間趨勢不顯著，但在 1986 至 2003 年期間有每 10 年上升 3.3% 的趨勢，達 5% 顯著水平。這結果顯示風速及風向的轉變可能是引致 80 年代中期至今能見度轉差加劇的部份原因。而這些風速及風向的變化可能與天文台附近的高密度城市發展，高樓大廈影響空氣流通有關。

1986 至 2003 年間年平均氣溫直減率的時間序列顯示，直減率不但沒有下跌，反而有上升趨勢，顯示大氣底層趨向較不穩定。這結果指出大氣穩定度雖有改變，但不是令 80 年代中期以後低能見度轉差的原因。

天文台站位於市區中心，近 10 多年迅速的城市發展及經濟活動，有助加劇能見度轉差的情況。香港國際機場的興建及啓用，以及鄰近東涌新市鎮的迅速發展都可能是令赤鱗角站在 1997-2003 年的低能見度出現頻率較 1980-1982 年為高的一些原因。

6. 結論

香港的能見度在過去 30 多年(1968-2003)有轉差的趨勢，每年出現低能見度的時間百分比普遍上升。由 80 年代中期至今(1986-2003)，天文台站的上升速率為每 10 年 4.61%，是前期(1968-1986)上升速率的 6 倍。

香港的能見度具有明顯的季節變化。冬季出現低能見度的時間一般較夏季多。四季中，天文台及赤鱘角站的上升趨勢亦以冬季最高。

氣象條件是影響能見度的重要因素，小風速、西北風向及穩定的大氣，都能增加低能見度出現的機會。在冬季，穩定的大氣及小風速的情況多在弱北風潮剛抵達香港或影響香港的東北季候風緩和時發生。當有熱帶氣旋於香港的東北面、東面或東南面時，香港出現低能見度的機會增加。天氣圖顯示這跟在熱帶氣旋的外圍環流影響下，香港吹西北風及下沉氣流令大氣較穩定有關。

導致香港能見度普遍有轉差趨勢的原因很複雜，包括氣象因素及城市化產生懸浮粒子等。而氣象因素的變化本身亦可能受城市化所影響。

鳴謝

作者十分感謝香港天文台張文瀾、李子祥博士提供寶貴意見及柳應康先生協助製作圖表，在此表示謝意。

參考文獻

1. Watson, John G., 2002, “Visibility: science and regulation.” *J. Air and Waste Management Association*, **52**, 628-713.
2. Malm, William C., 1999, “Introduction to Visibility.” Available online at <http://www.epa.gov/air/visibility/publicat/html>.
3. Bell, G. J., P. Peterson and P. C. Chin, 1970, “Meteorological aspects of Atmospheric Pollution in Hong Kong”, *Hong Kong Observatory Technical Note No. 29*.
4. Chang, W. L. and E. Koo, 1986, “A Study of Visibility Trends in Hong Kong”, *Atmo. Environ.*, **20**, 1847-1858.
5. Cheng, C. M., S. T. Chan and C. C. Chan, 1997, “Visibility Trends in Hong Kong”, *Hong Kong Observatory Technical Note (Local) No. 69*.
6. Leung, Y. K., K. H. Yeung, E. W. L. Ginn and W. M. Leung, 2004, “Climate Change in Hong Kong”, *Hong Kong Observatory Technical Note No. 107*.
7. Easterling, D. R., B. Horton, P. D. Jones, T. C. Peterson, T. R. Karl, D. E. Parker, M. J. Salinger, V. Razuvayev, N. Plummer, P. Jamason, C. K. Folland, 1997, “Maximum and Minimum Temperature Trends for the Globe”, *Science*, **277**, 364-367.

8. Fisher, N.I., 1993, "Statistical Analysis of Circular Data", Cambridge University Press, Cambridge, 277pp.
9. Cheng, C.M., 2004, "Characteristics of Sea Breezes at Chek Lap Kok", *Hong Kong Observatory Technical Note* No. 96.
10. Wang, T., Y.Y. Wu, T.F. Cheung and K.S. Lam, 2001, "A Study of Surface Ozone and the relation to complex wind flow in Hong Kong", *Atmo. Environ.*, **35**, 3203-3215.
11. 周淑貞及束炯編著，1994，"城市氣候學"，氣象出版社，北京，618頁。
12. 王淑英及徐曉峰，2001，"北京地區大氣能見度的影響因素分析"，*城市氣象服務科學討論會學術論文集*，中國氣象學會，349-352頁。
13. Sequeira, R. and K.H. Lai, 1998, "The Effect of Meteorological Parameters and Aerosol Constituents on Visibility in Urban Hong Kong", *Atmo. Environ.*, **16**, 2865-2871.

表 1. 氣象觀測站的能見度數據年期及觀測頻率。

	天文台	啟德	長洲	橫瀾島	赤蠟角
數據年期	1968-2003	1968-1997	1968-1991	1975-1988	1980-1982, 1997-2003
觀測頻率	每小時	每小時	每小時	每 3 小時	每小時

表 2. 天文台與赤蠟角站每年及每季出現低能見度的時間百分比的長期趨勢(%/十年)。陰影代表趨勢在統計學上達 5% 顯著水平。

觀測站	年期	全年	春季	夏季	秋季	冬季
天文台	1968-2003	2.11	1.07	0.91	2.73	4.08
	1968-1986	0.77	0.57	0.61	0.31	1.13
	1986-2003	4.61	4.32	0.89	6.21	7.03
	1997-2003	3.36	3.77	-2.49	1.49	6.75
赤蠟角	1997-2003	2.56	-6.89	-1.75	-1.52	19.91

表 3. 天文台與赤蠟角站出現低能見度的時間百分比(%)的年和季平均。

觀測站	年期	全年	春季	夏季	秋季	冬季
天文台	1968-2003	4.70	7.21	1.31	2.63	8.14
	1997-2003	9.18	10.39	2.87	8.92	14.54
赤蠟角	1997-2003	11.47	9.32	3.69	11.98	19.59

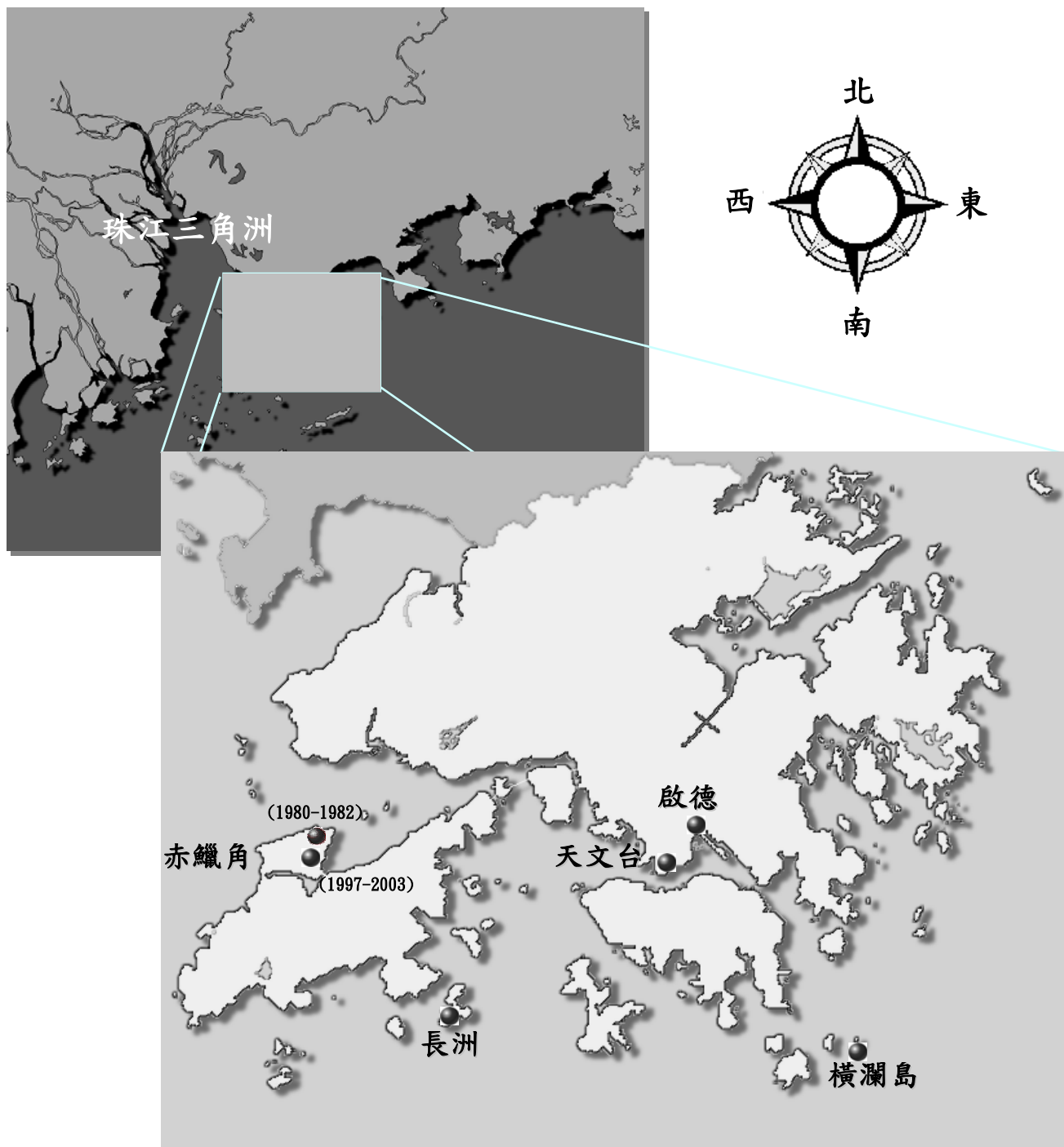


圖 1. 香港能見度觀測站的地理位置圖。

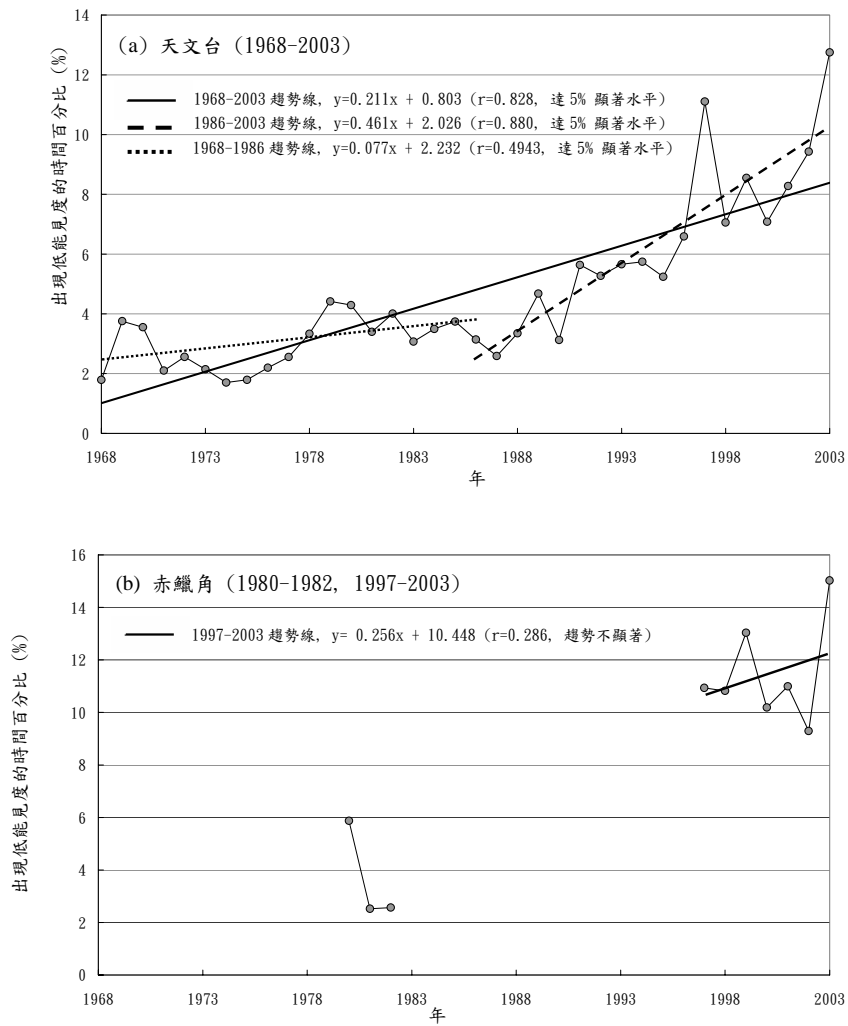
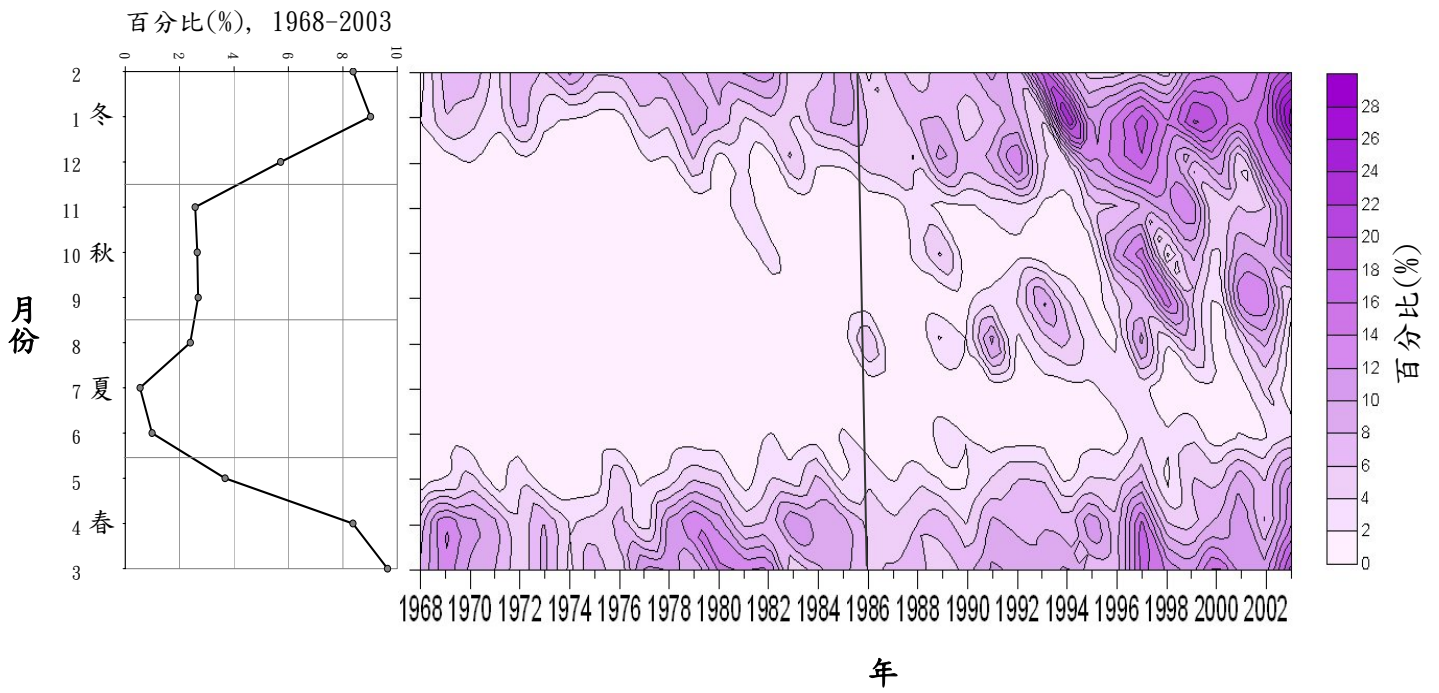


圖 2. 各站每年出現低能見度的時間百分比。

(a) 天文台



(b) 赤蠟角

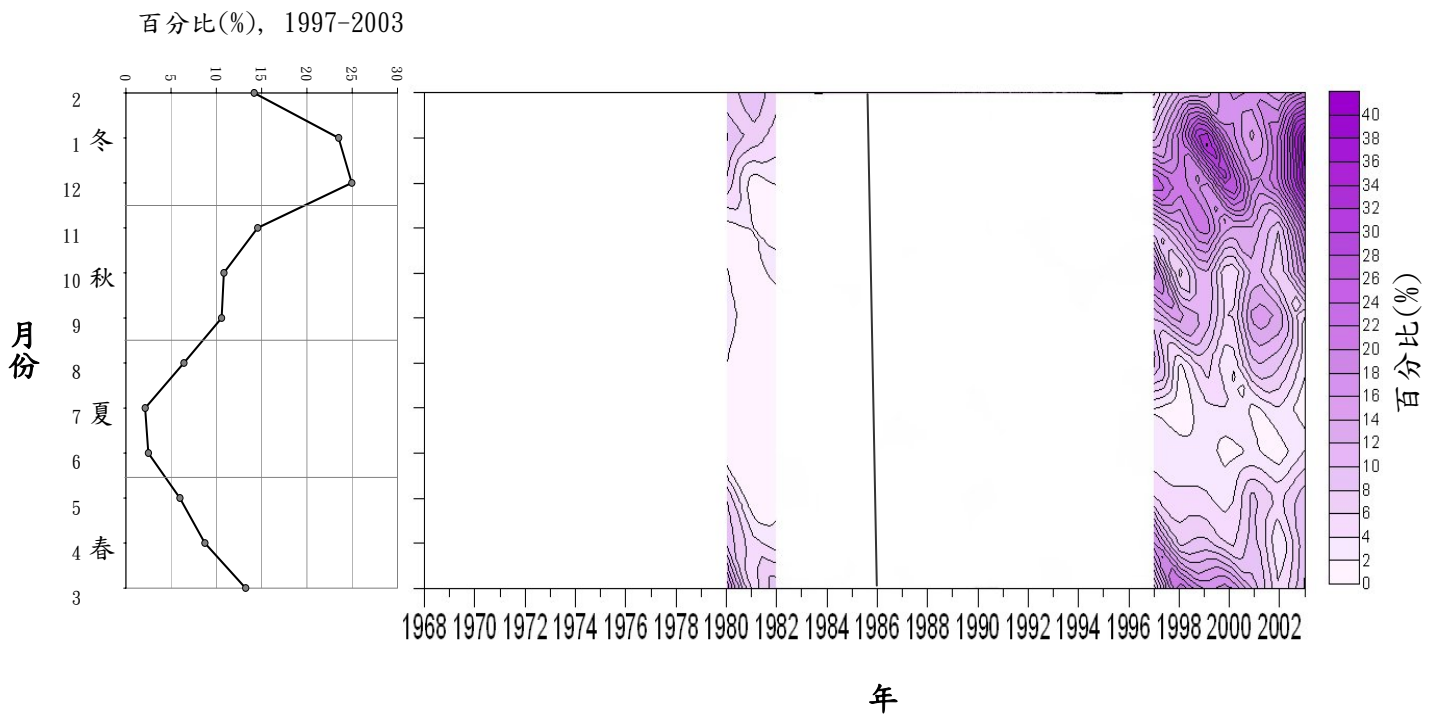


圖 3. (a)天文台站在 1968-2003 年及(b)赤蠟角站在 1980-1982, 1997-2003 年出現低能見度百分比的逐年月際變化(右圖)。左圖為各月出現低能見度的平均百分比。

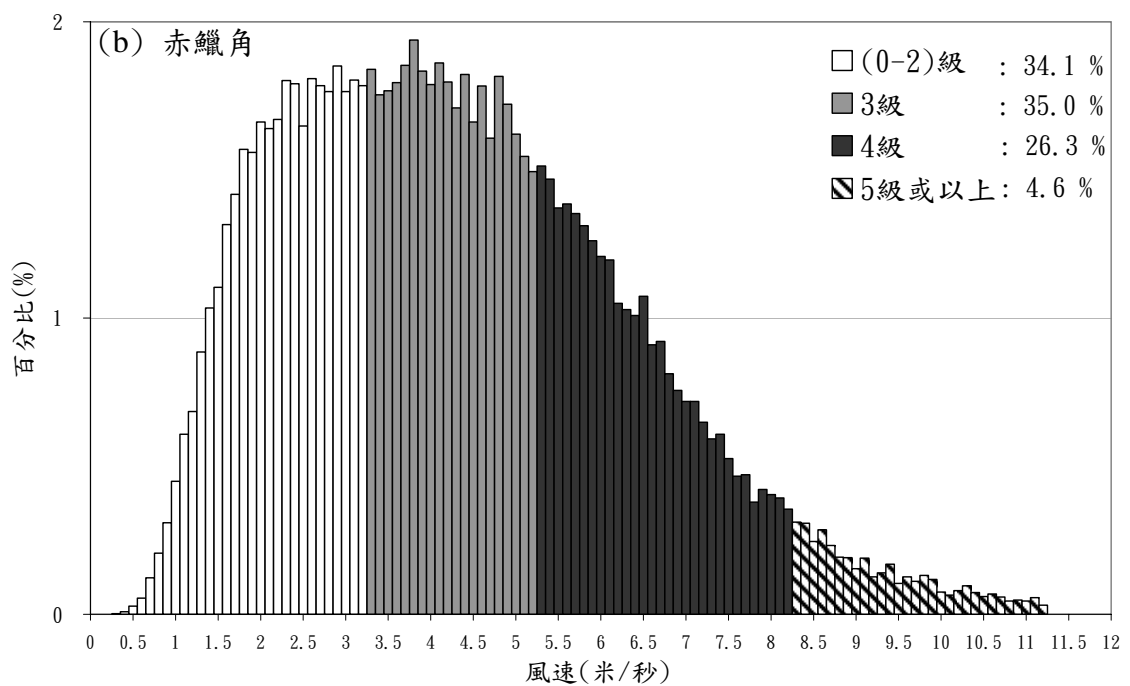
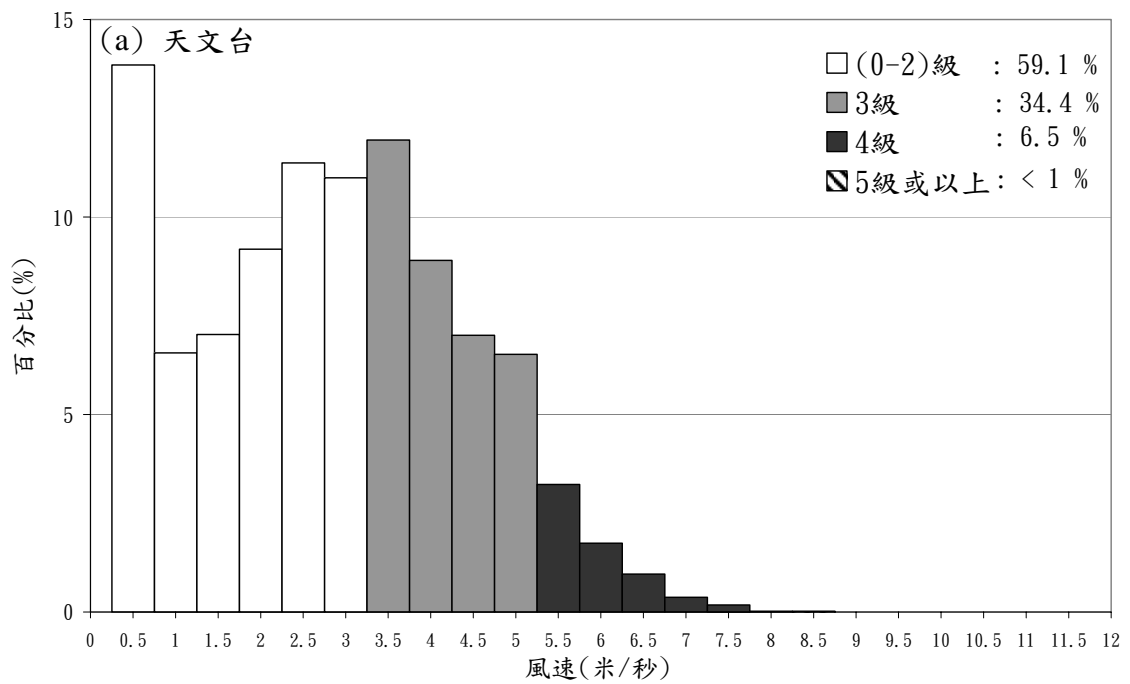


圖 4. (a)天文台及(b)赤鱗角站出現低能見度時的風速分佈(1997-2003)。圖中右上角的數字代表各蒲氏風力級別所佔的百分比。

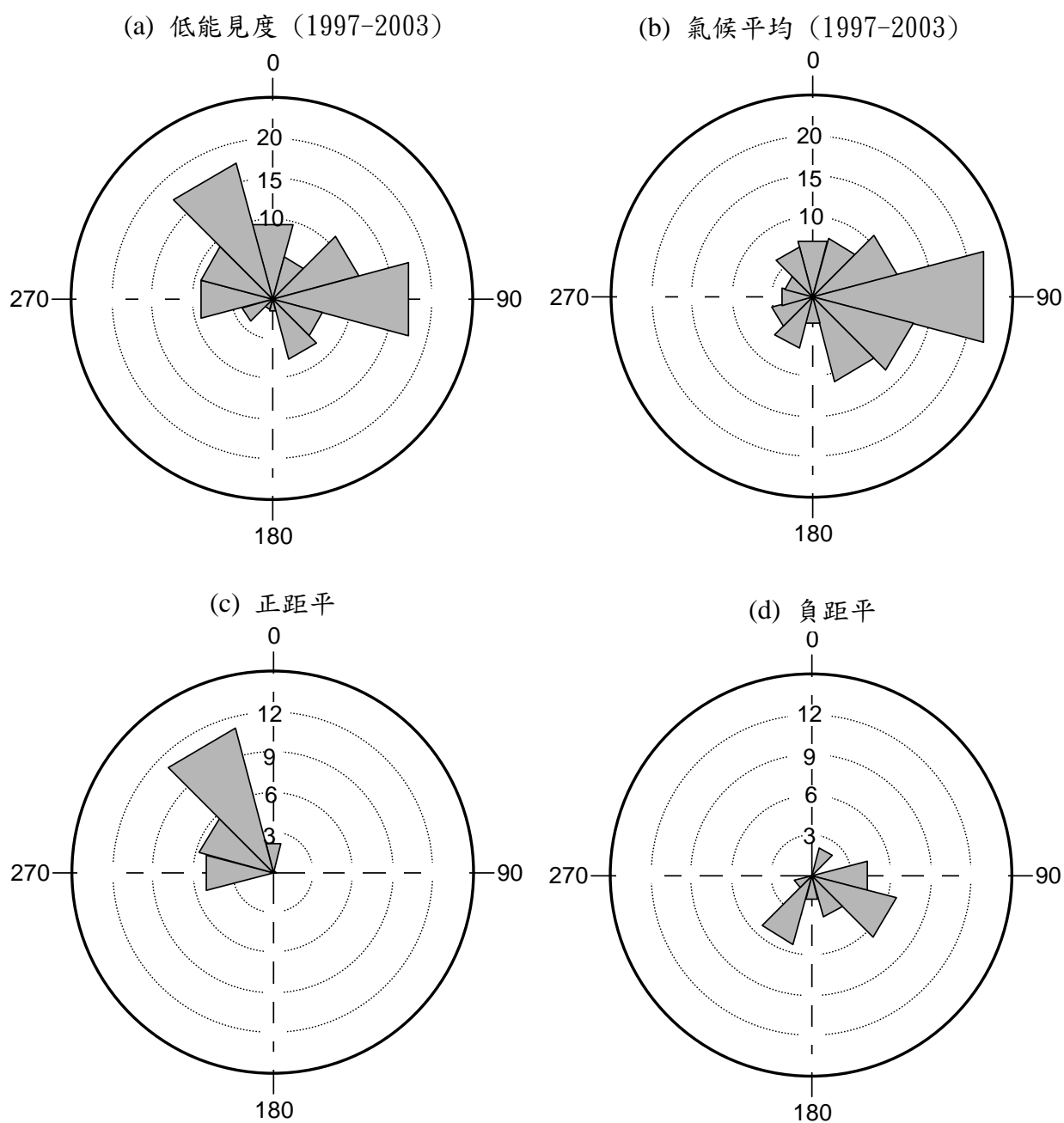


圖 5. 赤蠟角站(1997-2003)的風向分佈圖(以百分比表示)：(a) 出現低能見度的情況、(b)氣候平均、(c)正距平及(d)負距平。

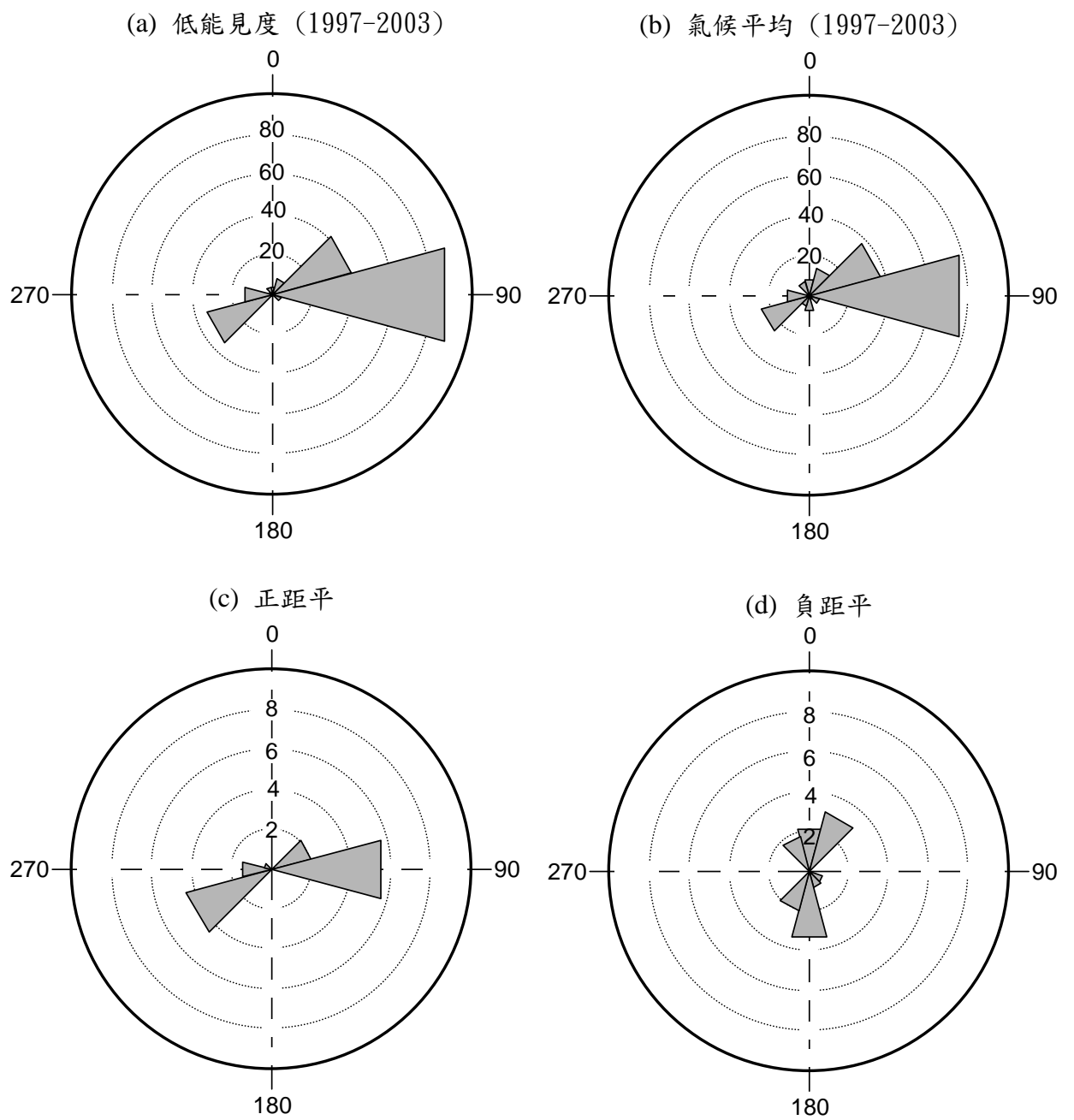


圖 6. 天文台站(1997-2003)的風向分佈圖(以百分比表示)：(a) 出現低能見度的情況、(b)氣候平均、(c)正距平及(d)負距平。

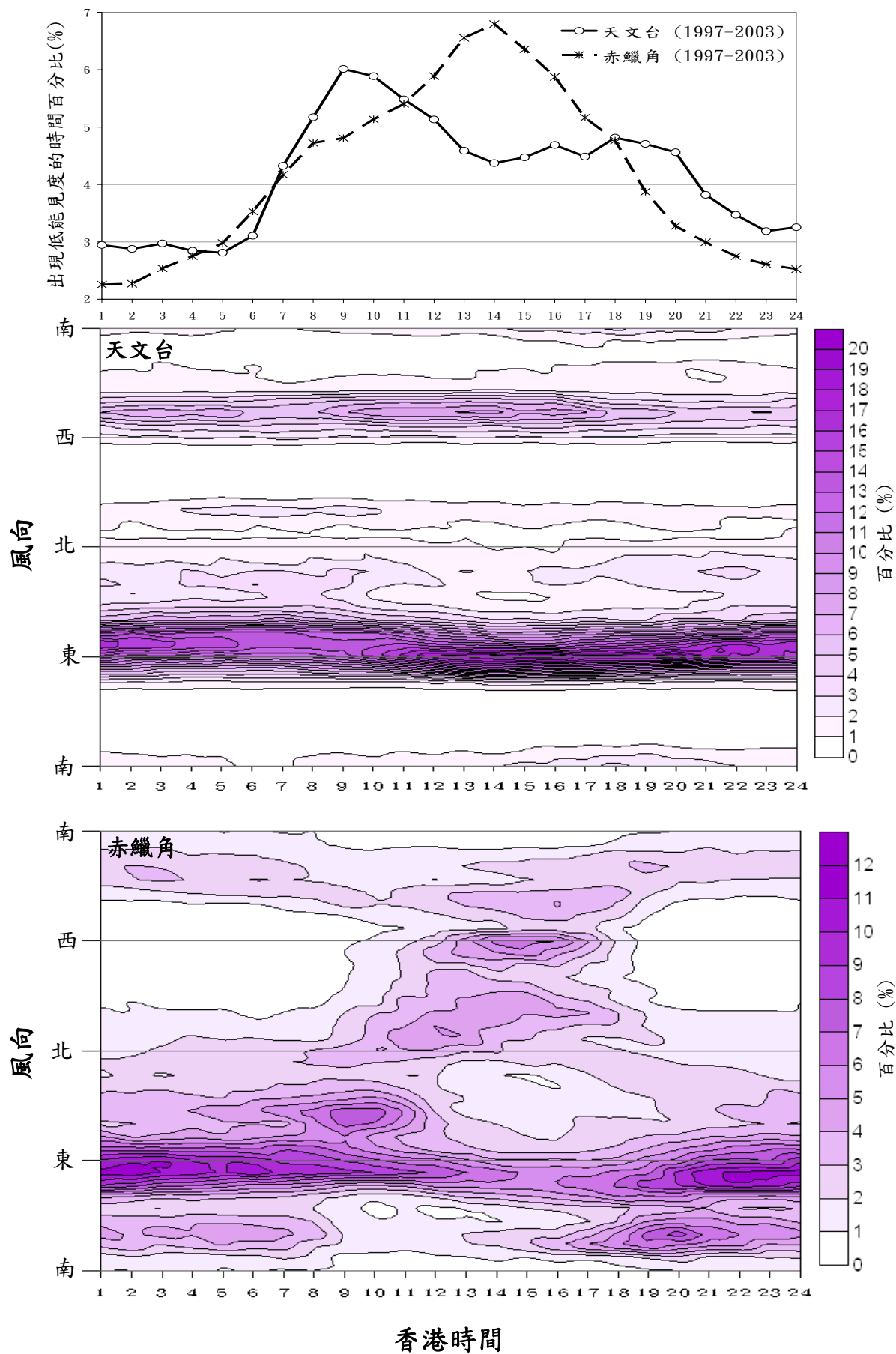


圖7. 上圖是天文台及赤蠟角站低能見度的日際變化。中圖及下圖分別是天文台及赤蠟角站風向分佈的日際變化。

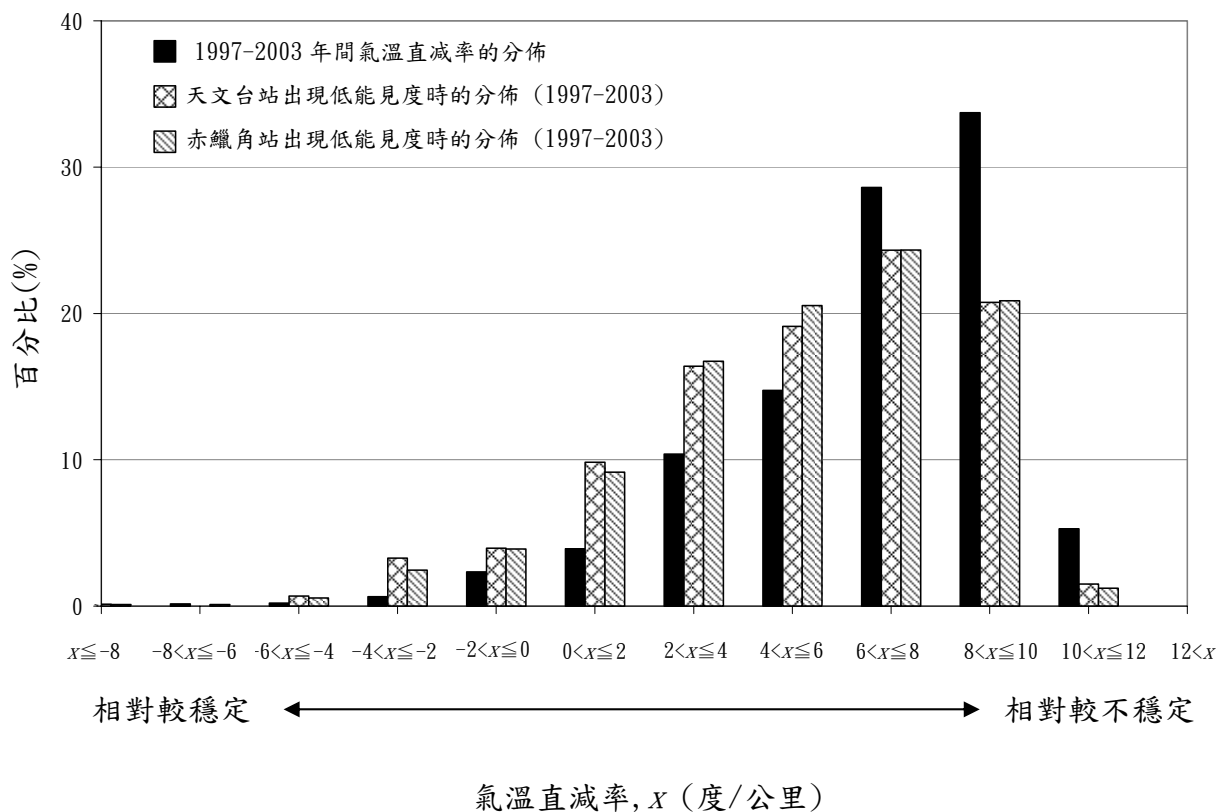


圖 8. 氣溫直減率(香港時間上午 8 時的氣球探空資料作計算)的分佈。

(a) 天文台

			0.0 (8)	13.0 (23)
(0)	(0)	(1)		
	0.0 (4)	12.5 (16)	34.8 (23)	29.4 (34)
(1)				
	6.7 (15)	3.8 (26)	36.4 (33)	25.7 (35)
	9.1 (11)	7.7 (26)	32.3 (31)	33.3 (36)
				6.5 (31)

(b) 赤蠟角

			25.0 (8)	13.0 (23)
(0)	(0)	(1)		
	0.0 (4)	18.8 (16)	30.4 (23)	32.4 (34)
(1)				
	6.7 (15)	0.0 (26)	51.5 (33)	25.7 (35)
	9.1 (11)	11.5 (26)	38.7 (31)	44.4 (36)
				6.5 (31)

圖 9. 1997 至 2003 年間 5 至 11 月途經北緯 15° - 35° 及東經 105° - 130° 的熱帶氣旋統計。範圍內的分區數字代表途經該區的熱帶氣旋引致在(a)天文台及(b)赤蠟角站出現低能見度情況的百分比。括號內的數字顯示途經的熱帶氣旋數目。圖中有 2 個分區由於只得 1 個熱帶氣旋途經，為使百分比具代表性，這 2 個分區的百分比不作計算。

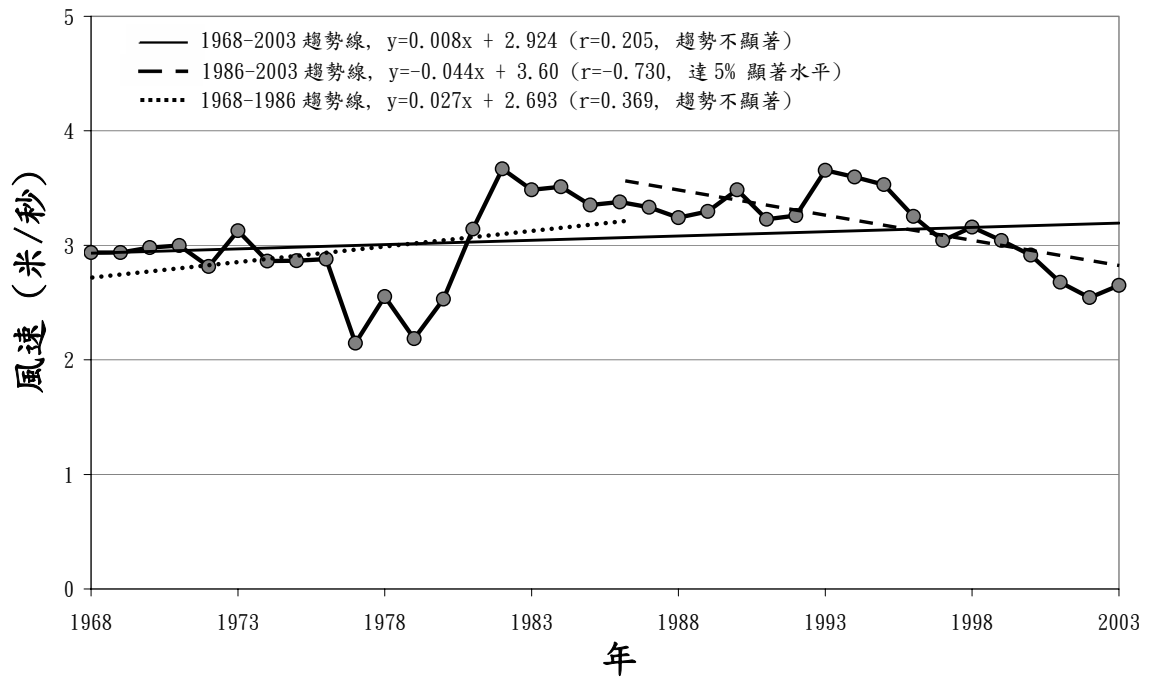


圖 10. 天文台站年平均風速的年際變化。

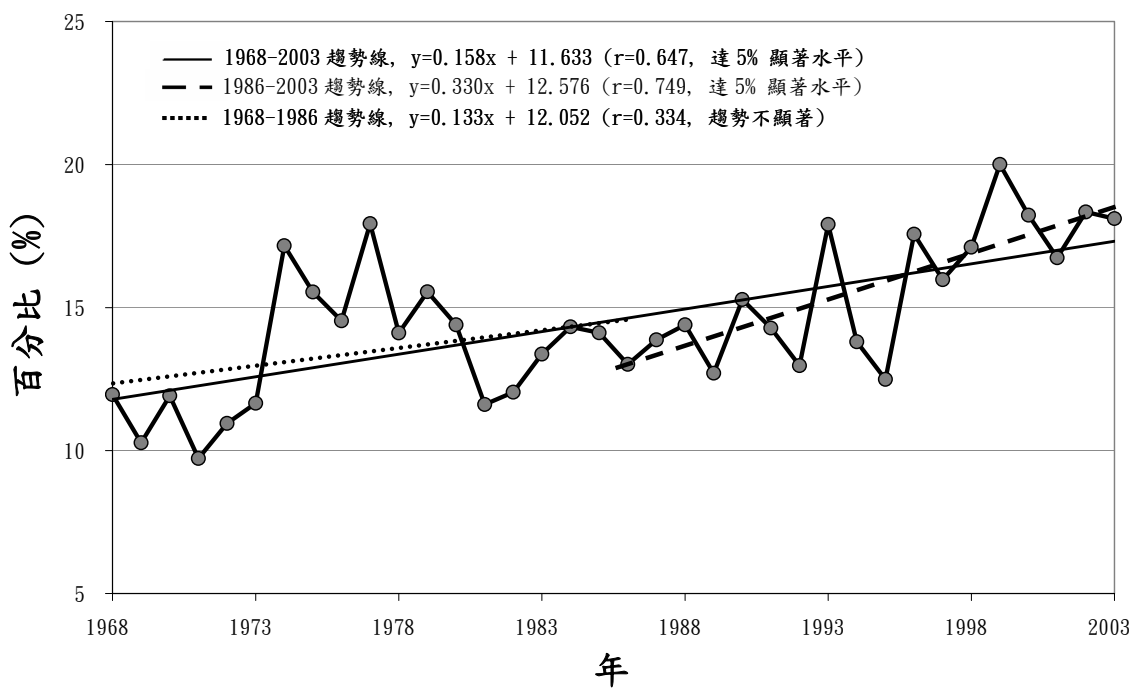
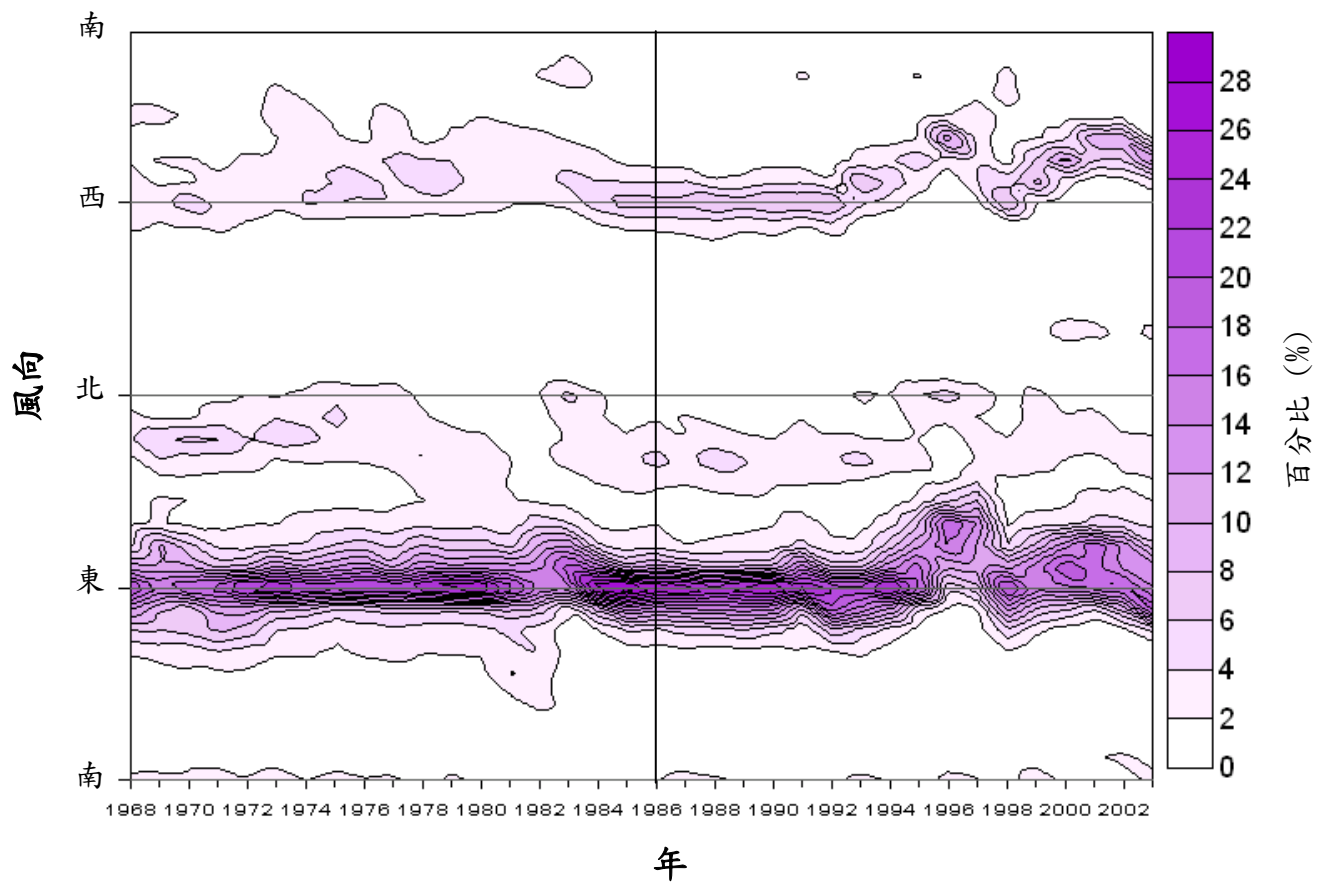


圖 11. 天文台站風向分佈的年際變化。上圖顯示在 80 年代中期至今，偏西的風向明顯較前期增多。下圖給出偏西風(以 270-230°代表)出現率的年際變化。

附件：(a)啟德、(b)長洲和(c)橫欄島每年出現低能見度的時間百分比

