



香港天文台

HONG KONG OBSERVATORY

Reprint 745

香港城市與郊區氣候差異的分析

胡文志、梁延剛、雷惠雯*、李子祥

第二十二屆粵港澳氣象科技研討會，
中國，中山，2008年1月22 - 23日

* 香港科技大學

香港城市與郊區氣候差異的分析

胡文志 梁延剛 雷惠雯 李子祥
香港天文台

摘要

天文台近年的研究顯示，本港的氣溫上升趨勢是受由溫室效應增強所引致的全球變暖及本地高密度城市發展的共同影響。其實除溫度外，香港因受城市化影響，其他氣象元素例如風速、相對濕度等在城市與郊區之間亦有很明顯的差異。本文旨在探討香港市區與郊區的氣候特性及其差異。

本文的研究範圍包括如何選取較能代表香港市區與郊區情況的氣象站，以便利用市區與郊區氣溫差來量化城市化效應的強度。利用過去約 20 年的數據，初步比較了香港市郊氣象元素差異的日際變化和季節變化，並試圖分析這些差異變化與城市化影響的關係。

A study on the difference between urban and rural climate in Hong Kong

M.C. Wu Y.K. Leung W.M. Lui T.C. Lee
Hong Kong Observatory

Abstract

Recent studies carried out by the Hong Kong Observatory show that the rising trends of air temperature in Hong Kong are influenced by both the global warming due to enhanced greenhouse effect and the high density urban development in Hong Kong. Apart from temperature, urbanization also brings about obvious differences between the urban and rural areas in respect of other meteorological elements such as wind speed, relative humidity etc. This paper aims at examining the climatological characteristics of Hong Kong's urban and rural areas as well as their differences.

The scope of the present study includes the selection of representative urban and rural meteorological stations in Hong Kong so that the temperature difference between those chosen urban and rural stations can be utilized to quantify the effect of urbanization. By making use of some 20 years' data, this study preliminarily compared the diurnal variations and seasonal variations of the differences in various meteorological elements between urban and rural stations, and try to analyze the relationship between these differences and urbanization.

1. 引言

隨著一個地區不斷發展，城市人口和建築物持續增長，人為地對城市下墊面造成極大的轉變，人類活動對城市氣候的影響亦變得愈來愈明顯。受城市化影響，市區平均氣溫會明顯比郊區為高(Oke 1982; Yagüe *et al.* 1991; 鄭艷等 2006; Lo *et al.* 2007)。作為「城市化效應」在氣溫上的反映，這局地市區增溫的現象通常稱為「城市熱島效應」(Ezber *et al.* 2007)，它不但是「城市化效應」引起局地氣候變化最明顯的表徵(González *et al.* 2005)，亦對人類舒適度、健康及利益有著重要的影響(Sue 2007)。因此，城市化效應的對氣候變化的影響已是一個人們十分關注的問題(Lam 2006)。事實上，現代城市設計亦考慮城市化效應的影響(Giridharan *et al.* 2003; Hacker *et al.* 2007)。

香港是世界上人口密度最高的地方之一，平均每平方公里裏居住超過 6,000 人，商業經濟活動頻繁，高樓大廈林立，本地氣候受城市化影響絕對是不容置疑。天文台近年的研究顯示，本港市區氣溫上升速度高於郊區(Lam 2006)，高密度城市發展是市區氣溫上升趨勢較快的一個因素(Leung *et al.* 2004; 2008)。其實除溫度外，香港因受城市化影響，其他氣象元素在城市與郊區之間亦可能存在差異(梁延剛等 2004; Mok *et al.* 2006)。

本文旨在瞭解城市化效應對香港氣候的影響，即香港市區與郊區氣候差異的特徵。本文研究範圍包括如何選取較能代表香港市區與郊區情況的氣象站，以便利用市區與郊區氣溫差來量化城市化效應的強度。本文利用過去約 20 年的數據，初步比較香港市區與郊區氣溫、風速和相對濕度差異的特徵，並試圖分析這些差異與城市化效應的關係。

2. 數據與方法

2.1. 數據

本文所用資料主要是來自天文台總部和打鼓嶺氣象站(見表 1)由 1989 至 2006 年的每小時地面觀察。雲量數據是來自天文台總部的觀測。大氣穩定度指標 K-指數和太陽總輻射量則是京士柏氣象站數據。

2.2. 方法

2.2.1. 城市化效應強度的定義

在研究城市化效應的範疇裏，市區站與郊區站的氣溫差可被用來量化城市化效應的強度(Arnfield 2003)。市區與郊區氣溫差(T_{u-r})的定義是：

$$T_{u-r} \equiv T_u - T_r ,$$

而 T_u 及 T_r 分別為市區及郊區站氣溫， T_{u-r} 為正(負)值時代表市區氣溫較郊區為高(低)。受城市化影響，市區平均氣溫會明顯較郊區為高，即平均 T_{u-r} 為正值，平均 T_{u-r} 值愈大表示該城市的城市化效應愈強。

儘管市區與郊區氣溫差有時候因未能找出合適的郊區站而不宜使用(Zhou *et al.* 2004)，這方法仍是現時研究城市化效應最常用的方法之一(Sakakibara and Owa 2005；Chow and Roth 2006；Liu *et al.* 2007)。因此，本文亦利用市區與郊區(之後簡略為市-郊)的氣溫差來代表城市化效應的強度。

2.2.2. 市區站與郊區站的選取

選取恰當的市區及郊區站是研究城市化效應最關鍵的部分(Hua *et al.* 2007)。在香港，可選取天文台總部(HKO)為市區站，它的年平均氣溫是表1各站中最高。在郊區站方面，在過往的研究(Leung *et al.* 2004)打鼓嶺(TKL)和流浮山(LFS)都被視為郊區站。不過，LFS 氣象站附近的環境近數年有所改變，而TKL的周圍環境則沒有顯著的變化(Leung *et al.* 2008)。離島站例如長洲和橫瀾島的氣溫均受較複雜的近岸海水溫度變化所調節，因此沒有被揀選為郊區站(Sakakibara and Owa 2005)。

HKO站與一些氣象站的氣溫差的日際變化圖像(圖1)顯示LFS與其他三個市鎮站(沙田SHA、屯門TM、黃竹坑HKS)的變化相似，但與TKL站的顯然不同。此外，TKL站的年平均日際變化和年平均氣溫分別是各站中最高和最低。可見TKL與HKO站的氣溫差異最明顯(參見Kim and Baik 2002)，這都反映TKL站最具有郊區站的特點。因此，本文跟從Leung *et al.* (2008)揀選TKL為郊區站。

總結以上討論，HKO與TKL分別代表市區站及郊區站，兩站水平距離約25公里，大致符合Karl *et al.* (1988)定義市區站及郊區站相距少於100公里但大於30公里的準則。此外，HKO與TKL兩站地面高度相差不算十分大(只約17米)，故考慮城市化效應時我們將不對兩站氣溫數據作出如Hua *et al.* (2007)般的高度調整。

我們首先分析 T_{u-r} 的日際及月際變化特徵，然後探討若干氣象和天文參數與 T_{u-r} 的月際變化關係。接著，我們會討論城市化效應在相對濕度和風速上的特徵。最後，我們亦會對一些出現極大日最高 T_{u-r} 日子的氣象條件進行分析及個案研究。在本文討論裏，如無特別注明，所有平均數值是以1989至2006年為參考；另外， T_{u-r} 一般指的是每小時的 T_{u-r} 。

3. 結果

3.1. 市 - 郊氣溫差的日際變化

圖 2 比較市區(HK0)與郊區(TKL)的每小時氣溫變化及差別。可見，雖然市區日平均氣溫較郊區為高，市區日間(10 至 17 時)的氣溫卻比郊區低(因此 T_{u-r} 出現負值，見圖 2c)。英國倫敦也出現類似的情況(即市區日間氣溫比郊區低)，這可能與市區稠密的高樓大廈遮擋陽光直接照射地面加熱有關(Mayor of London 2006)。另外，Oke (1982)則指出造成市區日間較涼的原因亦包括城市建築表面有較大的熱容量和熱傳導(Bornstein 1968)，致使市區在日出後的增溫較郊區慢(圖 2b)。

約在 18 時開始，市區的氣溫高於郊區(T_{u-r} 由負值轉為正值)，而這時候的郊區降溫率則達至最大，市 - 郊降溫差別亦十分明顯(超過 $0.5 \text{ } ^\circ\text{C h}^{-1}$)。隨後，雖然 T_{u-r} 持續上升，但隨著市 - 郊降溫差別愈來愈少， T_{u-r} 的上升速度在 21 時開始明顯減少，到早上 6 時 T_{u-r} 達至全日最高值。比較圖 2b 和 2c 可看到， T_{u-r} 的日最高值的出現時間與郊區及市區降溫率相等的時間大致吻合。這是由於 $T_{u-r} = T_u - T_r$ ，故此有

$$\frac{\partial}{\partial t} T_{u-r} \equiv \frac{\partial}{\partial t} T_u - \frac{\partial}{\partial t} T_r \quad , \quad \text{若} \quad \frac{\partial}{\partial t} T_{u-r} = 0 \quad , \quad \text{則} \quad \frac{\partial}{\partial t} T_u = \frac{\partial}{\partial t} T_r$$

因此 T_{u-r} 日最高值(或峰值)的出現時間一般與郊區及市區降溫率相等的時間相同。

謝庄等(2006)的研究亦顯示北京的情況與香港相同，峰值 T_{u-r} 同樣出現在接近日出的時間(即清晨 6 至 7 時)。但 Weng and Yang (2004)則指出廣州市日最高 T_{u-r} 一般出現在晚上 21 時(即日落後數小時)，然後 T_{u-r} 逐漸下降。廣州市的情況可按照 Haeger-Eugennsson and Holmer (1999)提出的概念模型解釋：市區晚間氣溫比郊區高基本上是與市區較大的熱能容量和郊區夜間較大的輻射冷卻有關，然而一個由市 - 郊溫差引發造成的局地環流將可以對兩地之間溫差產生調節作用，可能導致出現市區降溫略高於郊區的情況，最終引致 T_{u-r} 在晚間(峰值出現後)出現下降或不持續上升的情況。

先前已討論過，香港市區晚間至早上 6 時前的降溫一直是低於郊區，在這段時間 T_{u-r} 持續上升，情形與 Haeger-Eugennsson and Holmer (1999)的概念模型有所不同，部份原因可能是香港市區人為因素的熱釋放量頗大；另外，香港市區建築物高而天空視域因子(sky view factor)小(見 Giridharan *et al.* 2003)，亦限制了市區晚間的輻射冷卻(Peterson 2003)。然而值得注意的是， T_{u-r} 的上升速度在 20 至 21 時後明顯較之前為慢，出現不同階段的 T_{u-r} 上升變化。

市區和郊區在日出後出現升溫， T_{u-r} 亦開始迅速下降，約至早上 10 時，郊區氣溫開始高於市區， T_{u-r} 由正值轉為負值。總的來說 T_{u-r} 為正值的時間超過 16 小時(即佔全日的時間之 2/3)，因此市區日平均氣溫高於郊區。到 14 時 T_{u-r} 達至全日最低值(負值)，與廣州市的情況相同(見 Weng and Yang 2004)。

從圖 2b 可看到，郊區的升溫明顯比市區快且幅度大。事實上，市 - 郊日間的最大升溫差別比晚間的最大降溫差別還要大，市 - 郊升溫差別可以超過 $0.8\text{ }^{\circ}\text{C h}^{-1}$ 。市區日間最高升溫率約在 11 時出現，而郊區日間最高升溫率則在 9 時出現，較市區遲 2 小時。

總的來說，香港市區晚間至清晨氣溫較郊區為高，日間情況逆轉，但市 - 郊氣溫差別幅度晚間明顯較日間大。不論日間或晚間，郊區的氣溫變化幅度比市區大、變化也較快，清楚反映市區熱容量較大的特性。

3.2. 市 - 郊氣溫差的季節變化

從圖 3a 我們可見 T_{u-r} 的日際變化在不同季節或月份基本上是一致，即日間一般為負值而晚間為正值，不過，冬季 T_{u-r} 出現正(負)值的時間比夏季長(短)。一年之中，晚間 T_{u-r} 最不明顯的季節是春季。冬季(特別是 12 月)晚間 T_{u-r} 則是非常顯著，情況與廣州市(Weng and Yang 2004)及北京市(謝庄等 2006; Liu *et al.* 2007)相同，Hua *et al.* (2007)亦指出中國大部分大城市的最高 T_{u-r} 值多出現在冬季。另外，韓國首爾的情況亦相約(Kim and Baik 2002)。Oke *et al.* (1991)解釋這可能因為人為因素熱釋放量的影響在冬季變得更加重要。事實上，研究顯示在(亞)熱帶地區，最高的 T_{u-r} 一般都出現在旱季(香港即是冬季)，原因與郊區土地表面的土壤水氣特徵在雨季會有較明顯的變化有關(Roth 2007)。

但倫敦市區晚間 T_{u-r} 值在夏季才是四季中最大(例如: Wilby 2003)，而新加坡商業中心(市區)晚間平均最高 T_{u-r} 值同樣出現在平均氣溫較高的 6 至 8 月(Chow and Roth 2006)，說明不同地區因應不同地理及氣候環境可以有不同結果。另一方面，王喜全等(2006)發現北京市(根據 2002 年資料)的最高 T_{u-r} 值出現在夏季，與過去一些研究的結果不同，他們的解釋是因為近年北京市區夏季普遍使用室內空調，大大增加夏季晚間人為熱釋放量所致。因此， T_{u-r} 的季節變化也可隨社會環境變化改變，在不同時期有不同結果。

此外，我們也清楚看到 T_{u-r} 與日出日落時間的季節變化關係。例如，隨著日出時間(圖 3a 中綠色虛線)的改變，一天中出現峰值 T_{u-r} 的時間在冬季較夏季遲；而早上 T_{u-r} 出現正負交替的時間夏季亦較冬季早(夏季在上午 9 時而冬季在上午 11 時)。

圖 3b 分析氣溫變化率的市 - 郊差別，可看到秋冬季在日落後的市 - 郊降溫變化率差別明顯較之春夏季顯著，而日出後的市 - 郊升溫差別在春季(特別是 4 月)則較之其他季節小。在章節 3.1. 曾討論過出現日最高正值 T_{u-r} 的時間與市 - 郊氣溫變化率差別的關係，同理，出現日最低負值 T_{u-r} 的時間亦有類似關係。如此，圖 3b 中接近 14 時及接近 6 時的深黑色線(代表市 - 郊氣溫變化率差別為 0)分別可表示出現日最高正值 T_{u-r} 及日最低負值 T_{u-r} 的時間。可見出現日最低負值 T_{u-r} 及日最高正值 T_{u-r} 的時間在夏季都較冬季早，但出現日最低 T_{u-r} 負值的時間差別更為明顯。此外，從圖 3b 同樣清楚看到日最高 T_{u-r} 正值(即峰值 T_{u-r})與日出時間季節變化的一致性。

表 2 列出各月份不同 T_{u-r} 參數的統計資料。在 1989 至 2006 年間香港年平均 T_{u-r} 是 0.8°C 。根據 Liu *et al.* (2007) 的研究，北京地區 1977 至 2000 年間的年平均 T_{u-r} 值約介乎 1 至 2°C 。至於廣州地區，從 Weng and Yang (2004) 的月平均 T_{u-r} 數據可推算 1985 至 2000 年間的年平均 T_{u-r} 值約為 0.2 至 0.3°C 。另外，西班牙南部城市格拉納達(Granada)的多年平均 T_{u-r} 是 2°C (Montavez *et al.* 2000)。需要注意的是 T_{u-r} 可能受市區站與郊區站選取及統計年期的影響，所以上述地區的年平均 T_{u-r} 值只可以作參考，不能客觀比較不同地區城市化效應的強弱。但普遍也發現高緯度地區(溫帶)的 T_{u-r} 一般會較低緯度地區(熱帶)為高(Roth 2007)。

從表 2 亦可看到，出現日最高 T_{u-r} 值的時間夏季多在 6 時而冬季則多在 7 時，結果與圖 3 顯示的無異。年平均日最高 T_{u-r} 為 2.8°C ，是年平均 T_{u-r} 值 (0.8°C) 的 3 倍有多。全年絕對日最高 T_{u-r} 超過 10°C 。最後，可以看到春季的日平均 T_{u-r} 及平均日最高 T_{u-r} 都是全年最低，分別少於 0.5°C 及接近 2°C ，但夏季絕對日最高 T_{u-r} 則比春季為高。

3.3. 市 - 郊氣溫差與雲量，太陽總輻射量，日出及日落時間的關係

前面討論過 T_{u-r} 有明顯的月際變化，現在我們綜合探討其月際變化與若干氣候及天文背景因素的聯繫和重要性。首先，月平均雲量和太陽總輻射量及日出日落時間都可假定為沒有明顯市 - 郊差異，分別能代表區域氣象及天文背景因素。

圖 4 為 1989 至 2006 年不同月份平均 T_{u-r} 與各參數月份平均的零散分佈圖。就討論的 4 個參數中，只有太陽總輻射量與 T_{u-r} 的相關不達 5% 顯著水平。

冬季的天文特徵日出遲日落早都有利 T_{u-r} 增強，但日落時間與 T_{u-r} 的相關要比日出時間為高。而雲量愈少愈有利郊區晚間的輻射冷卻，因此市 - 郊氣溫差別 T_{u-r} 便愈大。

3.4. 城市化對相對濕度及風速的影響

3.4.1. 相對濕度

很多研究都指出(例如: Liu *et al.* 2007)，因受城市化影響(例如市區表面的土壤濕氣比郊區為少)，市區的日平均相對濕度應會比郊區低，但 WMO (1974)曾指出市 - 郊差異可能不甚顯著，亦有文獻提出相反的論證。HKO(市區站)的日平均相對濕度與溫度露點差都較 TKL(郊區站)高，原因可能與 HKO 地理位置相對 TKL 更為接近海港有關。事實上，HKO 及 TKL 在 10 時及 18 時的平均氣溫接近，但前者的平均相對濕度較後者大(圖 5a)。

在一般情況下，相對濕度會隨著氣溫日際變化的上升或下降而減少或增加(圖 5a)。總的而言，市 - 郊相對濕度差別的日際變化很明顯，晚間至清晨市區相對濕度較郊區為低，日間相反(圖 5b)，與氣溫差別的變化大致吻合。

根據 Kim and Baik (2002)的分析，市 - 郊相對濕度差與城市化效應的強度(或 T_{u-r})存在負相關。圖 6 是市 - 郊每小時相對濕度差和市 - 郊每小時氣溫差(即 T_{u-r})的相關分析。可以看到，市 - 郊相對濕度差與 T_{u-r} 在晚間 22 時開始至翌日上午 9 時明顯存在負相關，其相關係數達 5%顯著水平，表明城市化效應對相對濕度確實存在影響，當 T_{u-r} 增加時，市 - 郊相對濕度差減小(即晚間負值差別更大)，結論與 Liu *et al.* (2007)一致。有關城市化效應影響相對濕度的物理機制可參考 Kim and Baik (2002)。

3.4.2. 風速

無論市區站或郊區站，風速同樣出現明顯的日際變化(圖 5a)，即日間風速較晚間為大，與過去 Wai(1993)及 Peterson(1980)的討論相符，然而其他地方的風速觀測亦顯示類似的日際變化結果(例如: Llyas *et al.* 2006)。日間混合層高度增加導致動量自高空傳送至地面是其中原因(例如: Leopold 1948)，但海陸風及城市化效應的影響(Wai 1993)亦不能忽略。普遍認為，市區因受到城市化的影響(例如市區有較大的表面粗糙度或磨擦力)，平均風速一般較市區以外其他地區如郊區及離島為小(Wai 1993; Lam 2006)，TKL(郊區站)的平均風速相對 HKO(市區站)為小，可能與局地地理環境和地形因素有關，其真正原因有待進一步探討。

對比 TKL 與 HKO 的風速差異可看到前者晚間風速的下降幅度較後者為大(圖 5b)，根據 Wai (1993)的解釋，市區在黃昏轉變至晚間期間風速下跌較小可能是因為城市化影響引致市區邊界層低部的層狀情況較慢造成。此外，我們亦可看到市 - 郊風速差別最小的出現時間平均約在 16 時，比出現日最低負值 T_{u-r} 的時間(約 14 時)滯後 2 小時，而市 - 郊風速差別最大的出現時間約在早上 8 時，比出現日最高正值 T_{u-r} 的時間(約 6 時)同樣滯後 2 小時。這反映市 - 郊風速差與 T_{u-r} 之間可能存在某些因果(滯後)影響。

雖然風速差與 T_{u-r} 相關分析的結果不及相對濕度差別般明顯(圖 6)，但在晚上 19 時至上午 6 時之間，兩者的相關係數亦大致達 10%顯著水平，在 20 至 22 時更達 5%顯著水平，揭示晚間市郊風速的下落的差異與城市化效應的強弱仍是存在一些聯繫。

3.5. 極端日最高 T_{u-r} 值分析

表 3 列出在 1989 至 2006 年間錄得的首 10 位最大日最高 T_{u-r} 值的日期及該 10 天錄得日最高 T_{u-r} 值時市區(HKO)和郊區(TKL)的相關氣象觀測數據。從表 3 可見，首 10 位的排名均出現在冬季 12 月或 1 月，並集中於早上 5 至 8 時之間，與章節 3.1 和 3.2 的討論一致。在氣象觀測方面，這些個案有以下共通點：

- (1) 天晴，雲量為 2 okta 或以下；
- (2) 大氣穩定，K-指數都是負數 (George 1960)；
- (3) 吹輕微北或東北風，風速在 2 ms^{-1} 或以下；和
- (4) 日最高 T_{u-r} 超過 $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

詳細分析這 10 天的天氣形勢顯示，這些個案全是在東北季候風抵達華南沿岸數天後季候風緩和期間出現。在這種天氣背景下，大氣穩定及風力微弱，加上雲量稀少，有利晚間的輻射冷卻使氣溫下降。而 TKL 位於空曠的郊區，輻射冷卻的效率遠較位於高密度發展的市區中的 HKO 高，再加上在大氣穩定和風力微弱的情況下，不同地區的氣團較難混合，形成郊區與市區出現很大溫差。

3.6. 個案分析

在 2001 年 12 月 24 日上午 6 時出現的 T_{u-r} 值為 $11.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，是 1989 至 2006 年間錄得的最大 T_{u-r} 值。當時 HKO 和 TKL 的氣溫分別為 12.8 及 $1.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

天氣形勢方面，一股強烈冬季季候風於 12 月 20 日抵達華南沿岸，為該區帶來乾燥的大陸氣流(圖 7a 至 7e)。隨後數天香港持續天晴寒冷。12 月

22日早上 HKO 氣溫下降至該月最低的 8.9°C 。12月23日和24日北風轉弱，期間 HKO 的最低氣溫逐步回升，但在天晴及風勢微弱的情況下，強輻射冷卻效應使 TKL 在該兩天的最低氣溫下降至12月24日最低的 1.1°C (表4)。打鼓嶺、粉嶺及沙田地區在24日更有結霜報告。

從2001年12月23日至24日期間 HKO 和 TKL 的每小時氣溫變化圖可見(圖8)，在23日晚上8時至24日早上8時期間，HKO 的平均氣溫下降速度($0.18^{\circ}\text{C hr}^{-1}$)遠比 TKL 慢($0.46^{\circ}\text{C hr}^{-1}$)，城市化效應十分明顯。

4. 結論

本文分別選取天文台總部及打鼓嶺代表香港市區站及郊區站，初步分析受城市化影響下市區與郊區氣候的差異，並利用市區與郊區氣溫差來反映城市化效應的強度。

結果顯示郊區的氣溫變化幅度比市區大、變化也較突然。市區晚間至清晨氣溫較郊區為高；日間情況大致逆轉，但氣溫差別幅度不及晚間。一年之中，城市化效應在冬季最為顯著，春季則最不明顯。月平均雲量，月平均日出日落時間等都與月平均市區與郊區氣溫差存在顯著相關。雲量少、日出遲和日落早都有利強城市化效應的出現。

城市化影響在相對濕度和風速的日際變化同樣很明顯。晚間至清晨市區相對濕度較郊區為低，日間相反。對比市區與郊區的風速變化差異顯示郊區晚間風速的下降較市區為大。相關分析顯示市區與郊區晚間相對濕度和風速差異與城市化效應強有關。最後，分析亦顯示在東北季候風抵達華南沿岸數天後季候風緩和期間的天氣背景下，由於大氣穩定及風力微弱，加上雲量稀少，是最容易出現極高的市區與郊區氣溫差，城市化效應十分明顯。

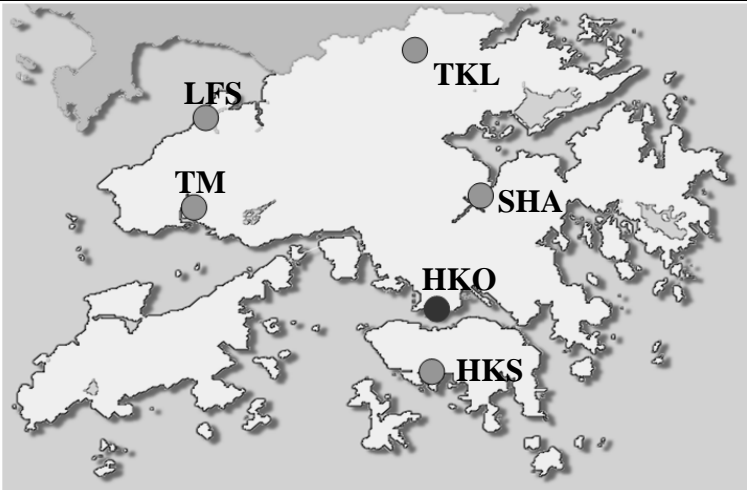
5. 參考文獻

- Arnfield A. J. 2003: Two Decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island, *Int. J. Climatol.*, **23**, 1-26.
- Bornstein, R. D., 1968: Observations of the Urban Heat Island Effect in New York City, *J. Applied Meteor.*, **7**, 575-582.
- Chow, W. T. L., and M. Roth, 2006: Temporal dynamics of the urban heat island of Singapore, *Int. J. Climatol.*, **26**, 2243-2260.
- Ezber, Y., O. L. Sen, T. Kindap, and M. Karaca, 2007: Climatic effects of urbanization in Istanbul: a statistical and modeling analysis, *Int. J. Climatol.*, **27**, 667-679.
- George, J. J., 1960: *Weather Forecasting for Aeronautic*. Academic Press, 673 pp.
- Giridharan, R., S. Ganesan and S. S. Y. Lau, 2007: Daytime urban heat island effect in high-rise and high-density residential developments in Hong Kong, *Energy and Buildings*, **36**, 525-534.
- Giridharan, R., S. S. Y. Lau, S. Ganesan, and B. Givoni, 2007: Urban design factors influencing heat island intensity in high-rise high-density environments of Hong Kong, *Building and Environment*, **42**, 3669-3684.
- González, J. E., *et al.*, 2005: Urban heat islands developing in coastal tropical cities, *EOS trans.*, **86(42)**, 397-412.
- Hacker, J. N., S. E. Belcher, and M. H. R. Yau, 2007: Climate scenarios for urban design: A case study of the London Urban Heat Island, Presented in *International Conference on Climate Change*, Hong Kong, China, 29-31 May 2007, 12pp (available at <http://www.hkie.org.hk/iccc2007/docs/PDF/Oral%20Papers/H00.pdf>).
- Haeger-Eugenansson, H., and B. Holmer, 1999: Advection caused by the urban heat island circulation as a regulating factor on the nocturnal urban heat island, *Int. J. Climatol.*, **19**, 975-988.
- Hua, L. J., Z. G. Ma, and W. D. Guo, 2007: The impact of urbanization on air temperature across China, *Theor. Appl. Climatol.*, DOI 10.1007/s00704-007-0339-8.
- Karl, T. R., Diaz, H.F., and Kukla, G., 1988: Urbanization: its detection and effect in the United States climate record, *J. Climate*, **11**, 1099-1123.
- Kim, Y. H., and J. J. Baik, 2002: Maximum urban heat island intensity in Seoul, *J. Appl. Meteorol.*, **41**, 651-659.
- Lam, C. Y., 2006: On the Climate Changes brought about by Urban living, *Bull. HK. Meteorol. Soc.*, **16**, 15-27.
- Leopold, L. B., 1947: Diurnal weather patterns on Oahu and Lanai, Hawaii, *Pacific Sci.*, **11**, 81-95.
- 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*, **107**, 41pp.
- Leung, Y. K., M. C. Wu, K. K. Yeung, and W. M. Leung, 2008: Temperature Projections for Hong Kong in the 21st century – based on IPCC-2007 Assessment Report, *Bull. HK. Meteorol. Soc.*, (in press).
- Lo, J. C. F., A. K. H. Lau, P. Chen and, J. C. H. Fung, 2007: Urban modification in a mesoscale model and the effects on the local circulation in the Pearl River Delta region, *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, **46**, 457-476.
- Llyas, S. Z., S. M. Nasir, and T. N. Veziroglu, 2006: Characteristics of the available wind energy in Pakistan, *World Appl. Sci. J.*, **1**, 131-134.
- Liu, W., C. Ji, J. Zhong, X. Jiang, and Z. Zheng, 2007: Temporal characteristics of Beijing urban heat island, *Theor. Appl. Climatol.*, **87**, 213-221.
- Mayor of London, 2006: London's urban heat island: A summary for Decision Makers, Greater London Authority, (available from http://www.london.gov.uk/mayor/environment/climate_change/)
- Montavez, J. P., A. Rodriguez, and J. I. Jimenez, 2000: A study of urban heat island of Granda, *Int. J. Climatol.*, **20**, 899-911.
- Mok, H. Y., Y. K. Leung, T. C. Lee, and M. C. Wu, 2006: Regional rainfall characteristics of Hong Kong over the past 50 years, *HKO Reprint No. 646*, 14pp.
- Oke, T. R., 1982: The energetic basis of the urban heat island, *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, **108**, 1-24.
- Oke, T. R., Johnson GT, Steyn DG, and Watson I.D., 1991: Simulation of surface urban heat islands under 'idea' conditions at night, Part 2: diagnosis of causation. *Bound-layer Meteorol.* **56**, 339-358.
- Peterson, P., 1980: A note of the diurnal variation of meteorological elements, *HKO Technical Note. 64*, 28pp.
- Peterson, T. C., 2003: Assessment of urban versus rural in situ surface temperatures in the contiguous United States: No difference found, *J. Climate*, **16**, 2941-2959.
- Roth, M., 2007: Review of urban climate research in (sub)tropical regions, *Int. J. Climatol.*, **27**, 1859-1873.
- Sakakibara, Y., and K. Owa, 2005: Urban–rural temperature differences in coastal cities: Influence of rural sites. *Int. J. Climatol.*, **25**, 811-820.
- Sue, G., 2007: Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming, *The Geographical Journal*, **173(1)**, 83-88.
- Wai, M. M. K., 1993: Diurnal Atmospheric Secondary Circulation over Hong Kong, *Bull. HK. Meteorol. Soc.*, **3**, 9-20.
- Weng, Q., and S. Yang, 2004: Managing the adverse thermal effects of urban development in a densely populated Chinese city, *J. Envir. Manag.*, **70**, 145-156.
- Wilby, R., 2003: Past and projected trends in London's urban hear island, *Weather*, **58**, 251-260.

- World Meteorological Organization, 1974: Review of Urban Climatology 1968-1973, *WMO Technical Note* **134**, 132pp.
- Yague, C., E. Zurita, and A. Martinez, 1991: Statistical analysis of the urban heat island, *Atmos. Envir.*, **25(B)**, 327-332.
- Zhou, L., R.E. Dickinson, Y. Tian, J. Fang, Q. Li, R.K. Kaufmann, C.J. Tucker, and R.B. Myneni, 2004: Evidence for a significant urbanization effect on Climate in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **101**, 9540-9544.
- 梁延剛，李子祥，梁榮武及甄榮磊，2004: 香港分區雨量的長期趨勢分析，*HKO Reprint No.* **536**。
- 謝庄，崔繼良，陳大剛，胡保昆，2006: 北京城市熱島效應的變化特徵分析，*氣候與環境研究*，**11**，69 - 75。
- 王喜全，王自發及郭虎，2006: 北京”城市熱島”效應現況及特徵，*氣候與環境研究*，**11**，627 - 636。
- 鄭艷，潘家華及吳向陽，2006: 影響北京城市增溫的主要社會經濟因子分析，*氣候變化研究進展*，**2**，188 - 192。

表 1： 一些氣象站分佈及資料。平均數值是以 1989 至 2006 年為參考。

	氣象站 (縮寫)	站高度* (m)	平均 氣溫 (°C)	平均 日際變化 (°C)
	天文台總 部(HKO)	33.8	23.4	4.1
打鼓嶺 (TKL)	14.7	22.6	7.5	
流浮山 (LFS)	31.4	22.7	6.1	
黃竹坑 (HKS)	5.0	23.2	5.1	
沙田 (SHA)	5.5	22.9	5.8	
屯門 (TM)	62.6	23.2	5.2	

*測量氣溫儀器的高度與氣象站高度略有不同

表 2： 不同 T_{u-r} 參數的統計數據。

各 T_{u-r} 參數 (°C)	月份												年
	春			夏			秋			冬			
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	
絕對日最高 T_{u-r} ¹	8.9	6.8	5.6	4.7	4.9	4.5	6.5	7.9	10.3	11.5	11.0	9.1	11.5
平均日最高 T_{u-r} ²	2.0	1.9	2.1	2.3	2.5	2.5	2.7	3.2	3.8	4.4	3.6	2.5	2.8
(出現最多時間) ³	(7)	(7)	(7)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(7)	(7)	(7)	(7)	(6)
上午 6 時平均 T_{u-r}	1.3	1.4	1.6	1.8	1.9	1.9	2.1	2.6	3.2	3.7	2.9	1.9	2.2
日平均 T_{u-r}	0.4	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	1.0	1.4	1.8	1.4	0.7	0.8

註解:

¹只考慮早上 5 至 7 時的數據，亦不包括有雨量記錄的日子

²計算不包括日最高 T_{u-r} 為負值的數據

³以出現日最高 T_{u-r} 的時間的眾數代表

表 3：1989 至 2006 年間錄得的首 10 位最大日最高 T_{u-r} 值的日期及當時在天文台總部和打鼓嶺的氣象觀測數據摘。

出現日期時間 (年月日時)	天文台總部(HKO)					打鼓嶺(TKL)				京士柏	T_{u-r} (°C)
	氣溫 (°C)	風向 (°)	風速 (ms ⁻¹)	雨量 (mm)	雲量 (Okta)	氣溫 (°C)	風向 (°)	風速 (ms ⁻¹)	雨量 (mm)	上午 8 時 K-指數	
2001122406	12.8	70	0.5	0	1	1.3	微風	0.2	N/A	-43	11.5
1995123107	12.7	60	0.5	0	2	1.4	0	0	0	-21	11.3
1996010108	14.5	30	0.5	0	0	3.2	0	0	0	-38	11.3
1996010307	16	230	0.5	0	0	5	微風	0.1	0	-4.1	11
1993122608	14.2	270	0.5	0	0	3.3	240	0.2	0	-69	10.9
1989120507	16.7	90	0.5	0	0	6.2	310	0.4	0	-30	10.5
2005122305	12.1	360	0.1	0	0	1.6	微風	0.1	0	-47	10.5
1993013106	12.9	110	2	0	0	2.5	360	0.1	N/A	-64	10.4
1996010207	15	60	0.5	0	1	4.6	0	0	0	-28	10.4
1999122606	12.4	70	2	0	0	2	微風	0.1	0	-64	10.4

N/A - 沒有數據

表 4：天文台總部和打鼓嶺在 2001 年 12 月 20 日至 24 日的每日最低氣溫及日平均風速資料。

日期	天文台總部(HKO)		打鼓嶺(TKL)	
	最低氣溫 (°C)	平均風速 (ms ⁻¹)	最低氣溫 (°C)	平均風速 (ms ⁻¹)
12 月 20 日	17.2	2.2	13.8	[2.0]
12 月 21 日	11.0	2.4	8.7	4.2
12 月 22 日	8.9	1.5	5.8	3.9
12 月 23 日	11.3	0.9	3.8	1.6
12 月 24 日	12.6	2.0	1.1	1.4

[] 數據不完整

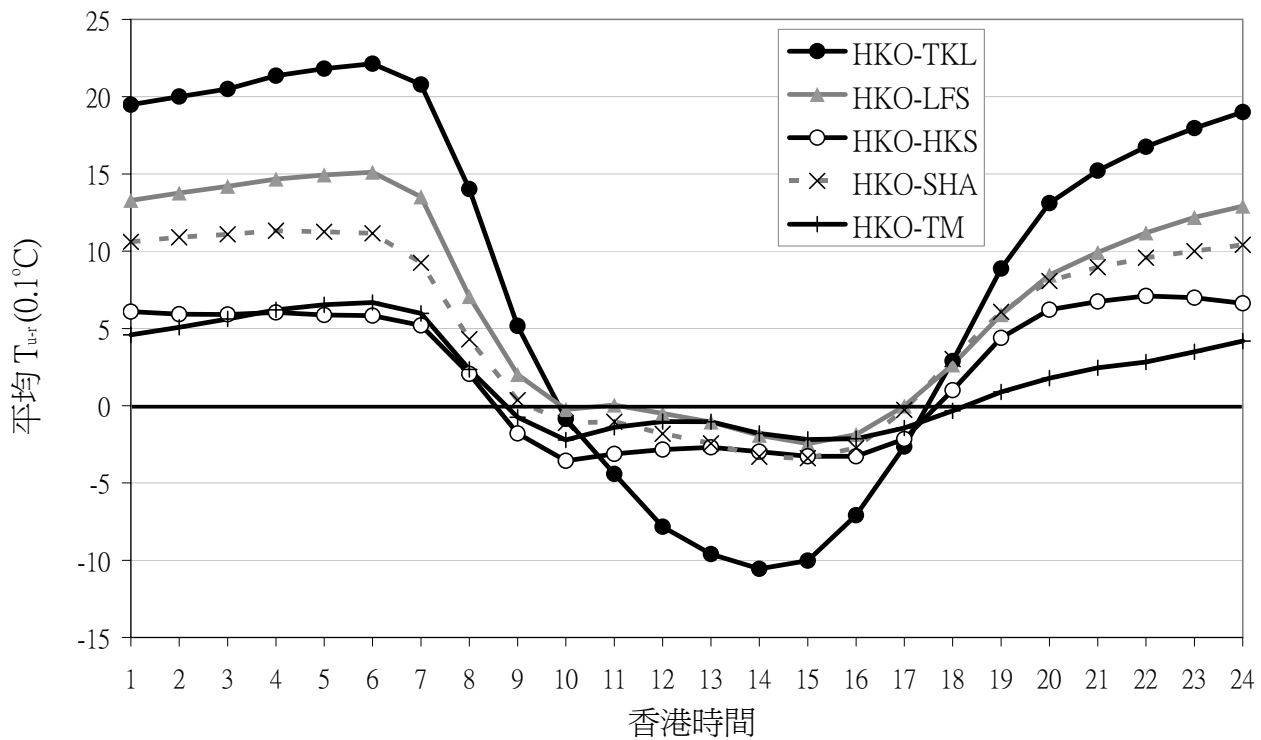


圖 1 天文台總部與一些氣象站氣溫差的日際變化。有關各站資料見表 1。

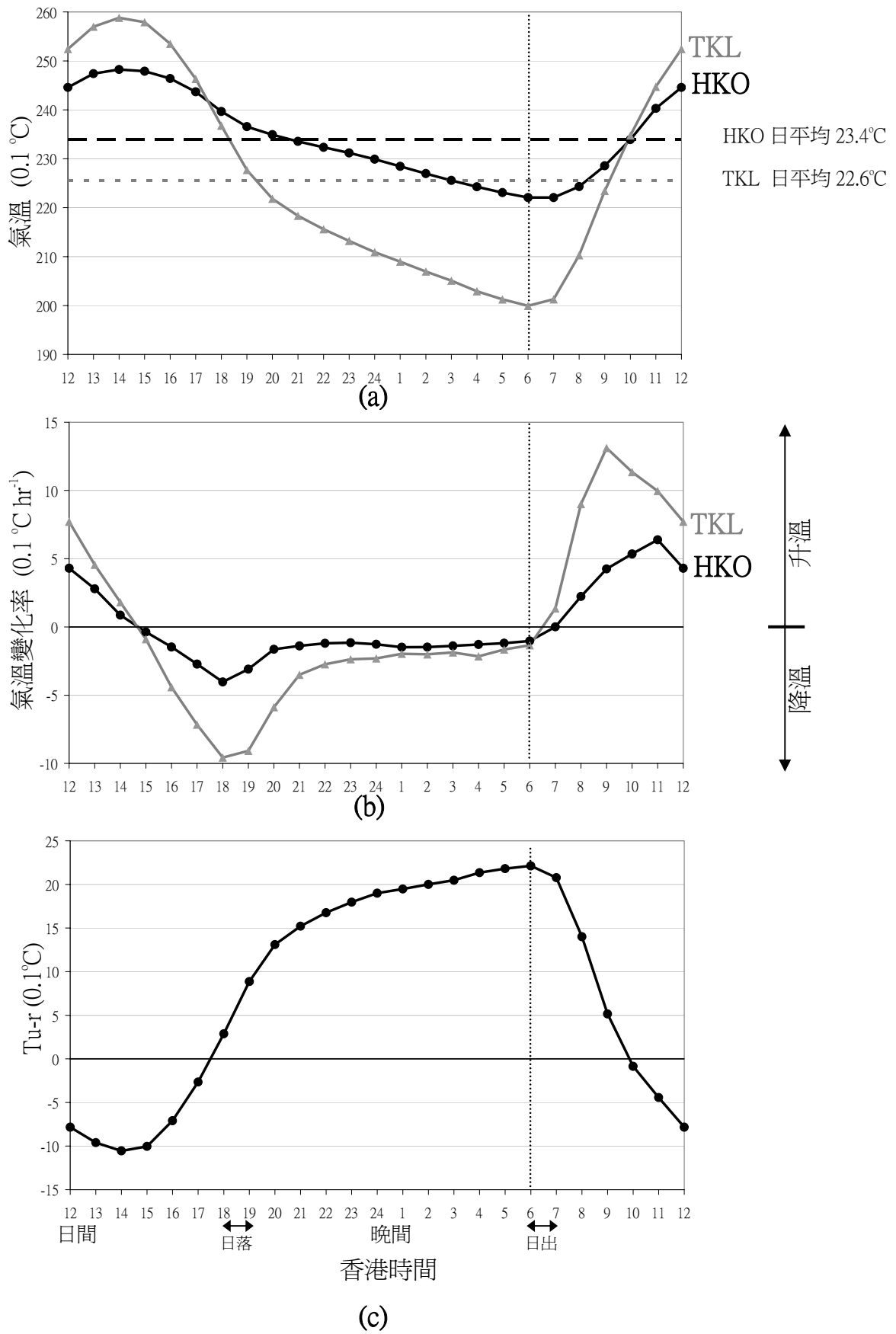


圖 2 天文台總部與打鼓嶺的平均(a) 氣溫日際變化，(b) 氣溫變化率及(c) 氣溫差 (T_{u-r})日際變化。

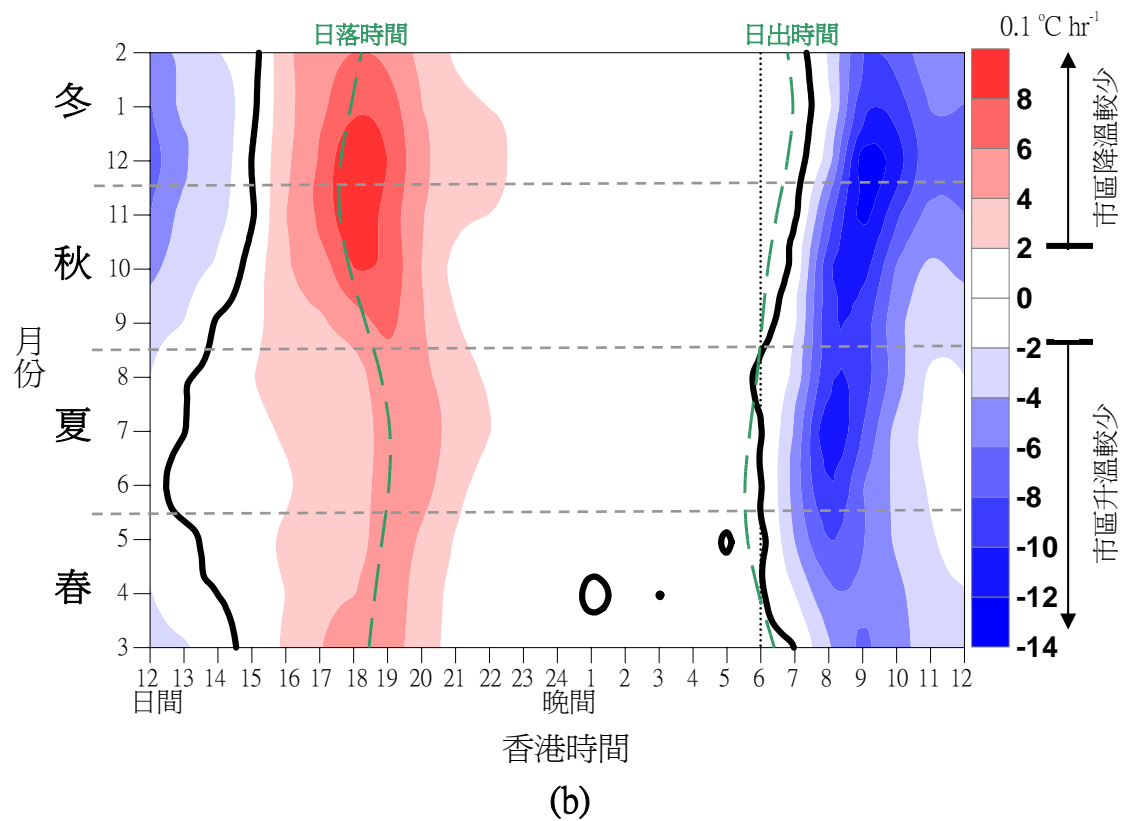
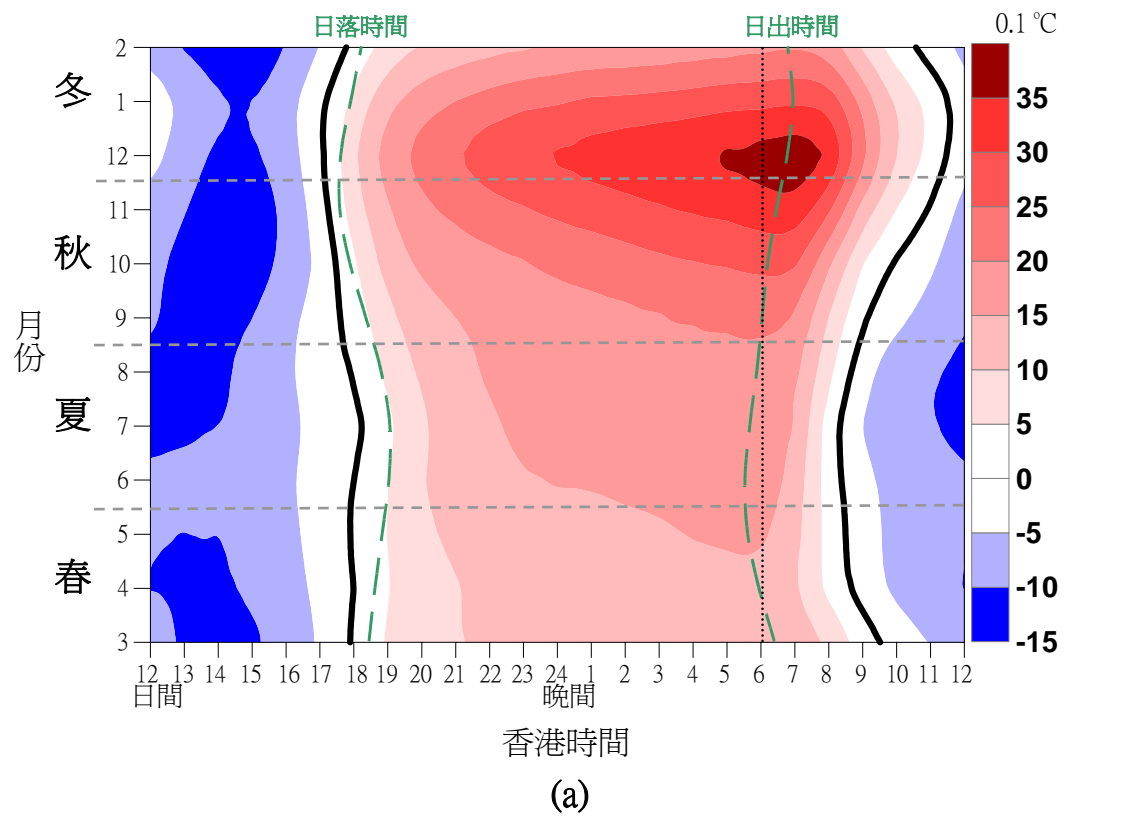


圖 3 (a) 天文總部與打鼓嶺氣溫差(即 T_{u-r})的逐小時月際變化。(b) 天文總部與打鼓嶺氣溫變化率差(天文台總部減打鼓嶺)的逐小時月際變化。深黑色線為'0'線，綠色虛線代表日落或日出的時間。

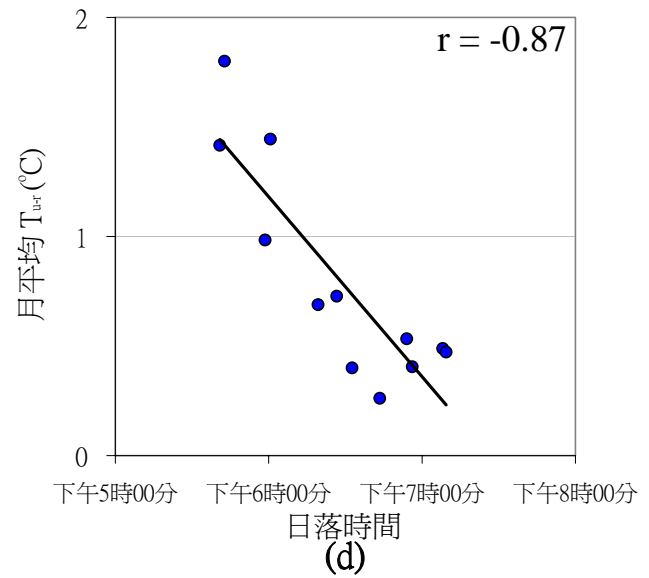
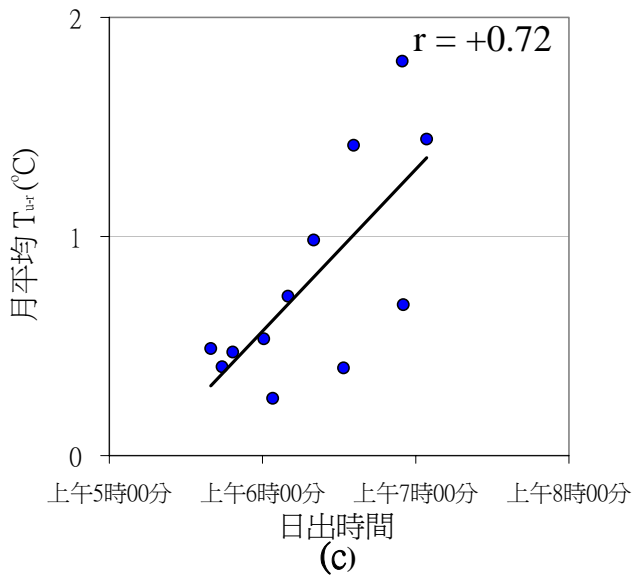
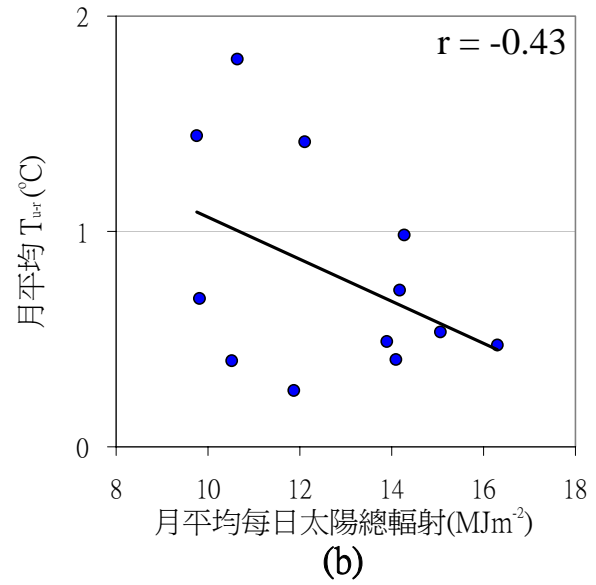
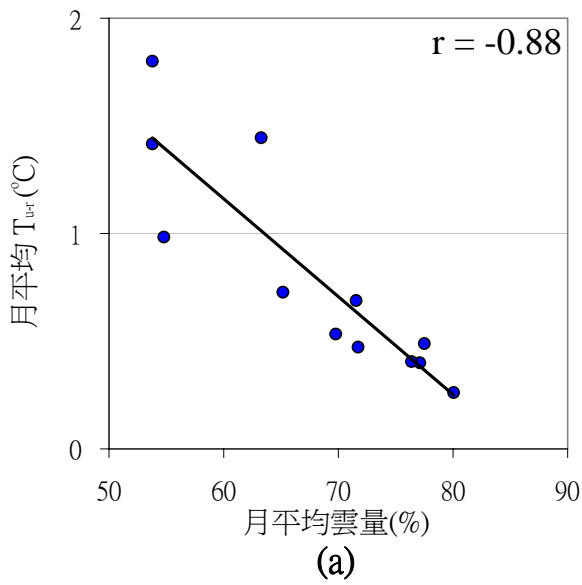


圖 4 月平均 T_{u-r} 與(a) 雲量, (b) 每日太陽總輻射, (c)日出及(d)日落時間的零散分佈圖。 r 代表相關係數, 除(b)外, 全部相關係數達 5% 顯著水平。

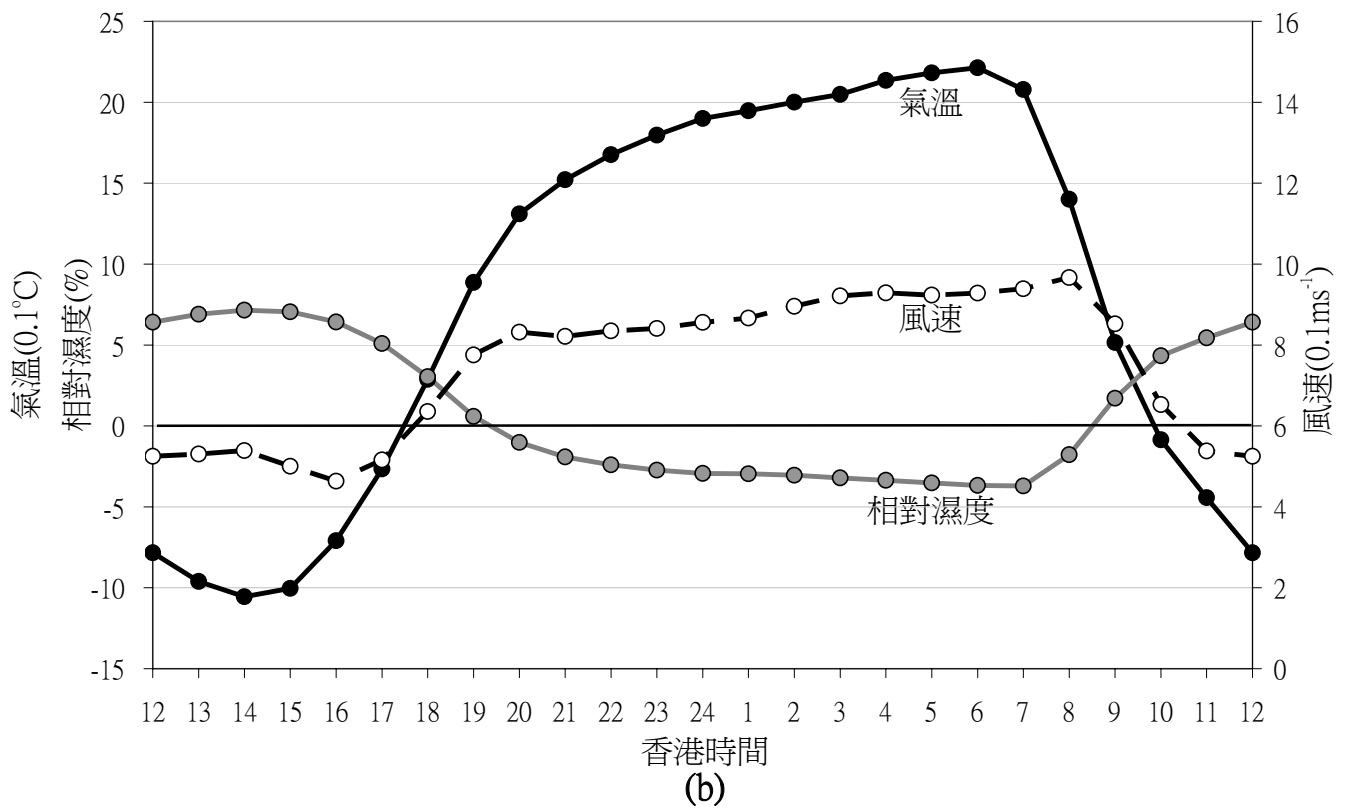
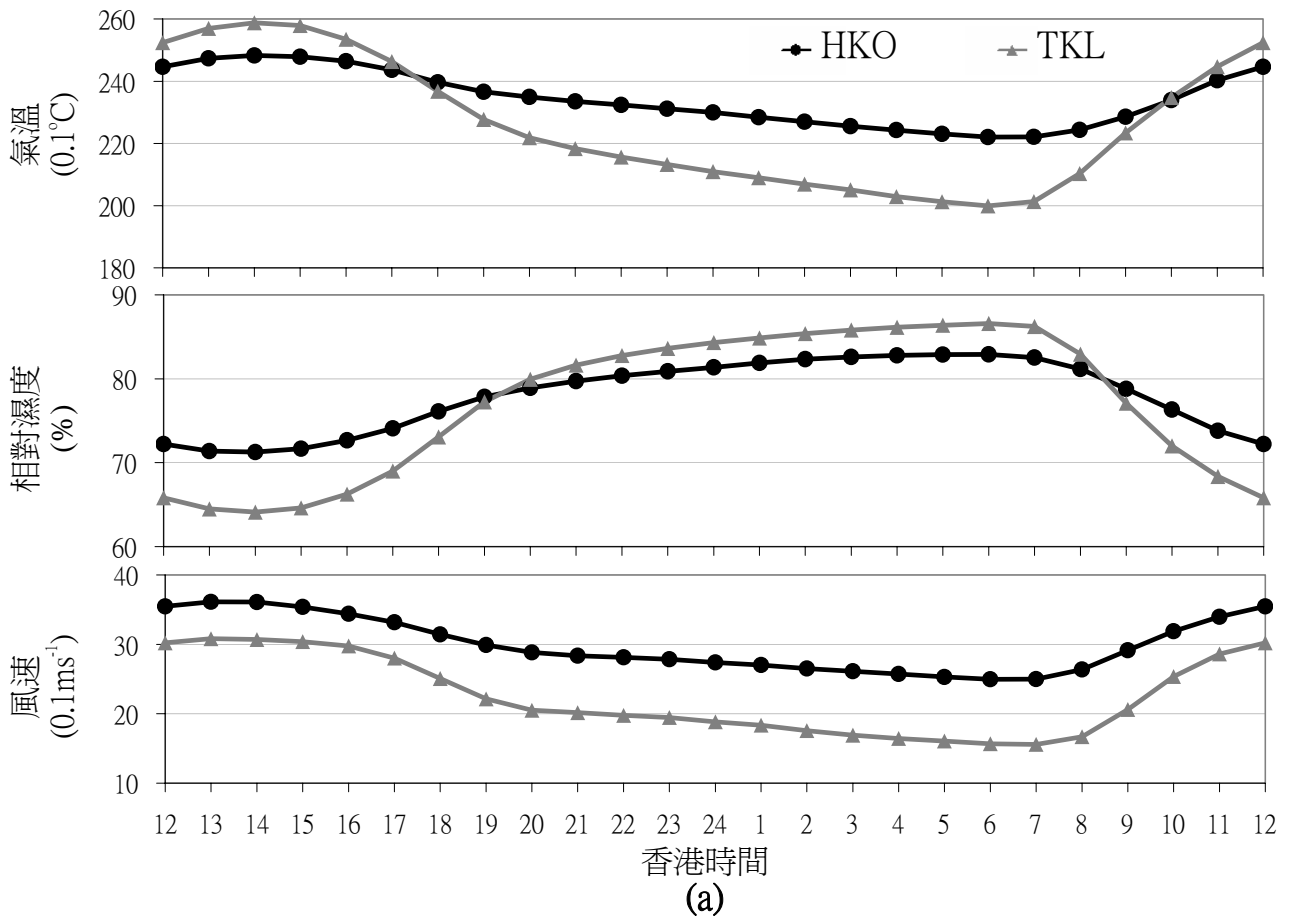


圖 5 (a) 天文總部及打鼓嶺的氣溫，相對濕度和風速平均日際變化。(b) 天文總部與打鼓嶺差異的比較。

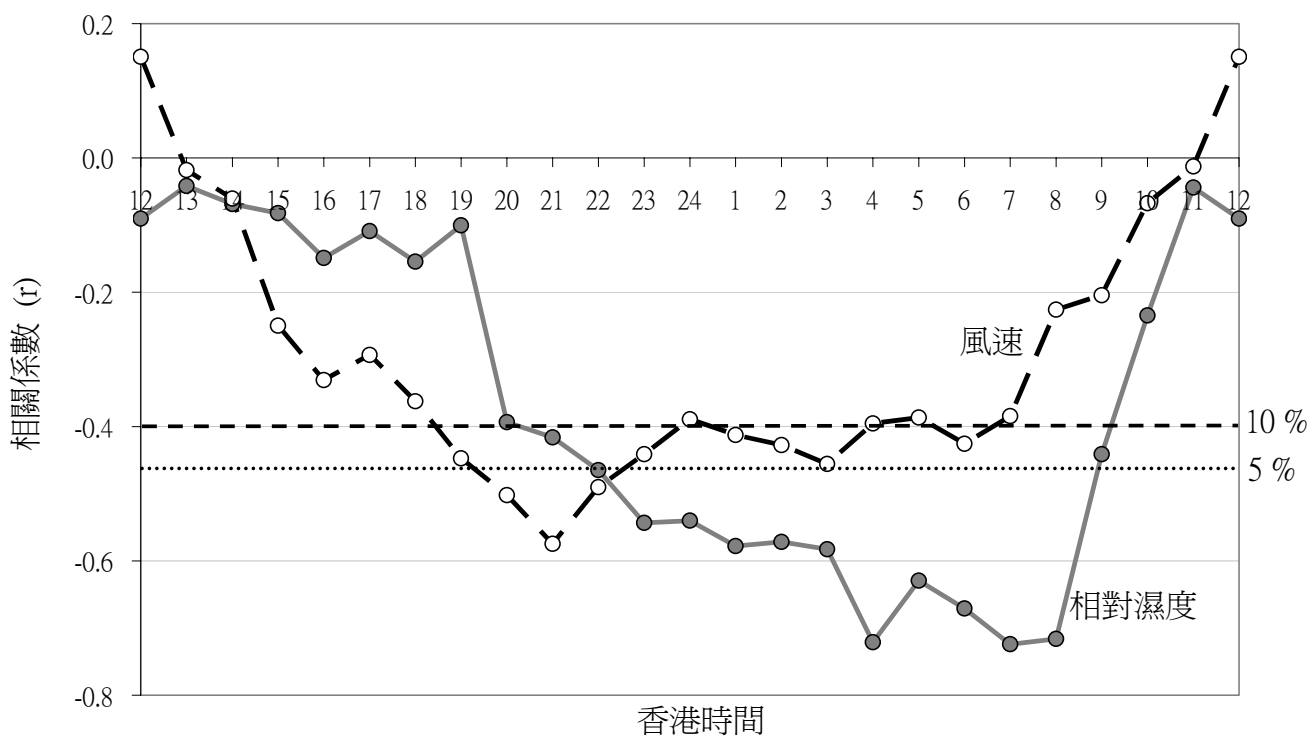
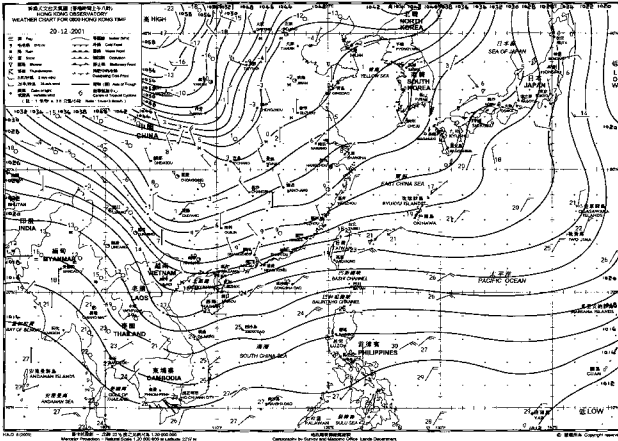
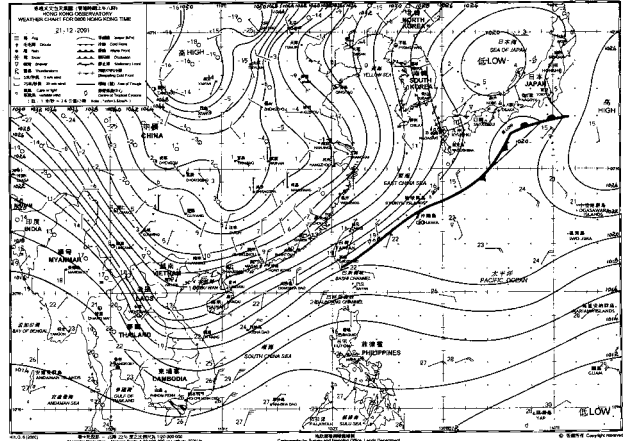


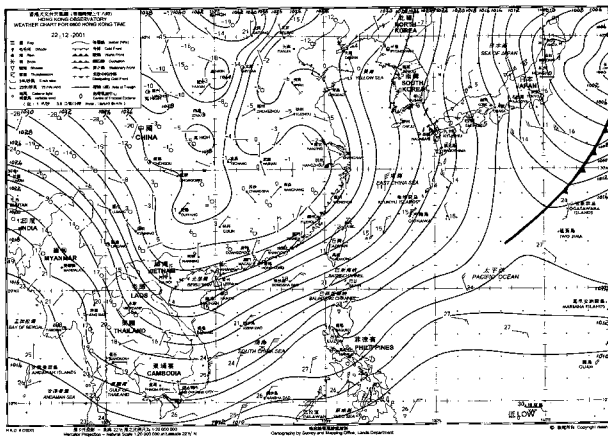
圖 6 市區與郊區相對濕度差和市郊風速差與市-郊氣溫差(即 T_{u-r})的相關分析。相關分析是根據 1989 至 2006 年間逐年平均資料計算。橫向虛線及點線分別表示 10% 及 5% 顯著水平。



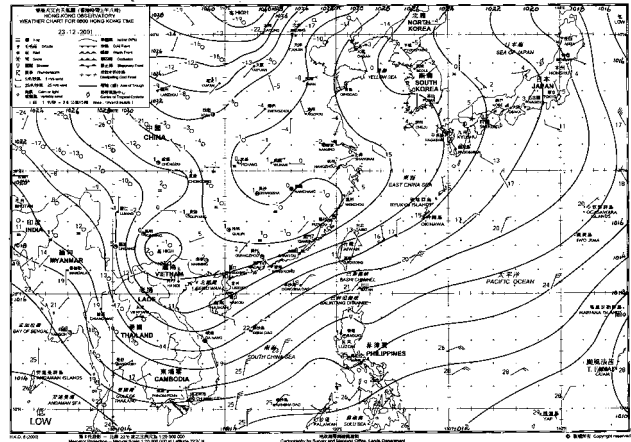
(a) 12月20日



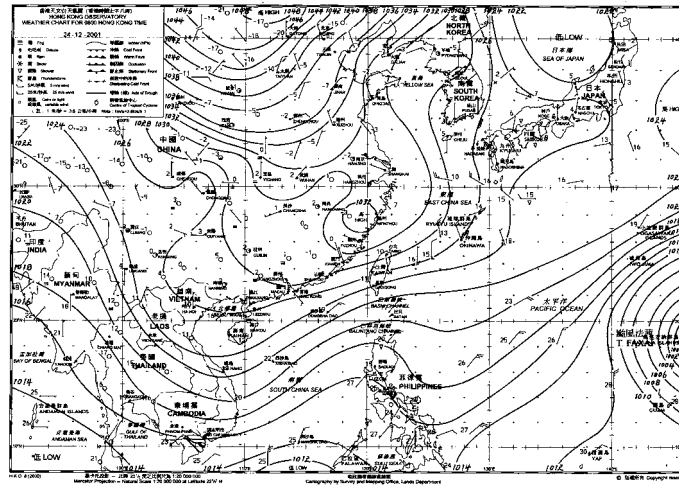
(b) 12月21日



(c) 12月22日



(d) 12月23日



(e) 12月24日

圖 7 a至e分別為2001年12月20日至24日(上午8時)之天氣圖。

