

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

台灣都市化與全球環境變遷交互影響與回應之研究--台灣  
都市土地使用與運輸改變及都市蔓延對全球環境變遷之影  
響(III)

研究成果報告(完整版)

計畫類別：整合型

計畫編號：NSC 97-2621-M-004-002-

執行期間：97年08月01日至98年12月31日

執行單位：國立政治大學地政學系

計畫主持人：劉小蘭

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，1年後可公開查詢

中華民國 98年12月14日

# 目錄

<b>第一章 緒論</b> .....	1
第一節 研究動機與研究目的 .....	1
第二節 研究範圍與內容 .....	4
第三節 研究方法與流程 .....	7
<b>第二章 文獻回顧</b> .....	9
第一節 空氣汙染之意涵 .....	9
第二節 影響空氣品質之相關因素 .....	13
第三節 降低空氣汙染之解決方式 .....	20
第四節 空氣汙染預測模式 .....	26
第五節 空間自相關分析之相關理論與文獻 .....	30
第六節 小結 .....	35
<b>第三章 台北市都市發展與空氣品質變化分析</b> .....	37
第一節 台北市都市發展背景分析 .....	37
第二節 台北市空氣品質變化分析 .....	44
第三節 台北市產業和人口分布對空氣品質之影響分析 .....	49
第四節 小結 .....	58
<b>第四章 模型建立與實證分析</b> .....	59
第一節 資料來源說明與敘述統計 .....	59
第二節 變數選取與模型設定 .....	61
第三節 實證結果分析 .....	65
<b>第五章 結論與建議</b> .....	71
第一節 結論 .....	71
第二節 建議 .....	74
<b>參考文獻</b> .....	77

## 圖目錄

圖 1-1	研究範圍測站分布圖 .....	4
圖 1-2	樣本時間範圍示意圖 .....	5
圖 1-3	研究流程圖 .....	8
圖 2-1	設施建設對環境之影響 .....	13
圖 2-2	交通排放量推估之方法論 .....	17
圖 3-1	台北市 1991~2006 年工商及服務業就業員工數 .....	38
圖 3-2	台北市 1991~2006 年各行政區人口數 .....	39
圖 3-3	台北市 1991~2006 年總人口數 .....	40
圖 3-4	台北市 1991~2006 年機動車輛數 .....	41
圖 3-5	台北市 1991~2006 年道路總長度和總面積 .....	41
圖 3-6	台北市 1991~2006 年大眾捷運日平均旅次數 .....	42
圖 3-7	台北市 1991~2006 年公園綠地面積 .....	43
圖 3-8	台北市 1995~2006 年懸浮微粒濃度值 .....	44
圖 3-9	1995 年台北市年平均懸浮微粒濃度分布圖 .....	48
圖 3-10	1996 年台北市捷運路線和年平均懸浮微粒濃度分布圖 ...	48
圖 3-11	2001 年台北市捷運路線和年平均懸浮微粒濃度分布圖 ...	48
圖 3-12	2006 年台北市捷運路線和年平均懸浮微粒濃度分布圖 ...	48
圖 3-13	產業員工數空間自相關係數圖 .....	50
圖 3-14	1995 年台北市產業 LISA 分布圖 .....	52
圖 3-15	1996 年台北市產業 LISA 分布圖 .....	52
圖 3-16	2001 年台北市產業 LISA 分布圖 .....	52
圖 3-17	2006 年台北市產業 LISA 分布圖 .....	52
圖 3-18	人口數空間自相關係數圖 .....	53
圖 3-19	1995 年台北市人口 LISA 分布圖 .....	55
圖 3-20	1996 年台北市人口 LISA 分布圖 .....	55
圖 3-21	2001 年台北市人口 LISA 分布圖 .....	55
圖 3-22	2006 年台北市人口 LISA 分布圖 .....	55

## 表目錄

表 2-1	空氣汙染指標值與健康影響.....	10
表 2-2	LISA 值說明表.....	33
表 2-3	國內使用空間自相關之相關文獻.....	34
表 4-1	變數名稱與變數資料來源.....	59
表 4-2	變數單位與資料時間.....	60
表 4-3	實證變數敘述統計量表.....	60
表 4-4	模型變數之預期符號.....	62
表 4-5	固定效果模型實證結果.....	65
表 4-6	台北市各行政區個別特質效果統計量表.....	66
表 4-7	各年度固定效果統計.....	66
表 4-8	各變數符號之實證結果.....	67

# 第一章 緒論

本章分為研究動機與目的、研究範圍與內容、研究方法與流程三個部分。首先說明本研究之動機和研究目的；其次，依據研究目的說明研究之空間和時間範圍，及簡述研究內容；第三部分則是針對研究內容提出分析方法，以及本研究之研究流程。

## 第一節 研究動機與目的

### 一、研究動機

在工業化伴隨都市化之現象下，促使人口、產業不斷向都市移動、聚集；隨著都市日益活絡、工商業發達、人口與日遽增及各項都市活動頻繁的情形下，遂引發地區的交通需求，促使政府加速興建交通運輸設施，以解決人們行的便利性。交通建設的完善促進了運輸服務地區的可及性增加，縮短了產業、人們往來兩地的旅行時間，並且促使產業與人口更加往運輸建設便捷的區域集中。因此，在都市發展的過程中，運輸系統的改善帶動了社會、經濟的發展與解決人民行的便捷性等正面效益，但交通運輸設施卻也為都市帶來了負面影響—環境品質問題。

交通運輸設施與環境之相互關係自古以來即存在，只是其內容與程度隨著運輸系統之發展情形而有所不同（徐淵靜，1998）。隨著社會的進步、運輸建設的開發與運具的發展，使人們對運輸工具的依賴程度日益增加；而都市經濟快速成長之結果，促使人口、機動車輛大量湧入都市地區，在運輸工具大幅增加的情形下，伴隨而來的環境問題包括都市內空氣汙染、噪音、振動、壅塞…等問題，和都市外珍貴土地資源被破壞、無秩序蔓延發展等問題（Heimlich and Anderson，2001）。在這些環境議題中，以空氣汙染尤為重要問題之一：依據台灣氣喘衛教協會的統計資料顯示，台灣地區兒童氣喘盛行率從1974年的1.13%到2002年已上升至19%；而林瑞雄教授與郭育良教授等人，在1996年對全台做的研究發現，汽車等交通污染愈多之區域，氣喘盛行率愈高（引述自環保署移動污染源管制網，2009）。因此，空氣汙染對生物產生之影響，輕微者使人體產生不舒適感，重者將危害人體身心健康、農作物受損、全球暖化與生態環境不堪負荷等現象。是以，為解決空氣汙染日益嚴重與都市蔓延等問題，諸多研究乃主張增加大眾運輸系統的使用、就業與居住的混合使用，能有效減少能源消耗，進

而降低空氣汙染排放量 (Pemer, 2001; Mindali et al., 2004; Borrego et al., 2006; Meinardi et al., 2008)。為此，大眾運輸發展導向 (Transit-Oriented Development, TOD) 逐漸發展為都市中的新規劃政策。

大眾運輸導向按李家儂 (2003: 26) 之定義為：「以大眾運輸系統之建構，引導居住、工作、購物、休閒等活動空間於大眾運輸路線廊帶上有秩序之分布，以形塑高可居性、可及性及有效率的都市發展型態與土地利用模式之謂。」透過大眾運輸導向發展模式可以降低都市的不當發展，提昇內都市之土地使用密度，並且藉由高密度集合住宅、就業與購物中心之開發，提高民眾使用大眾運輸系統之便利性 (賴宗裕, 2006: 164)，減少私人運具的旅行次數，進而降低能源消耗量，改善都市空氣品質。

台灣自六十年代以來，都市地區快速發展，在工業化伴隨都市化的現象下，經濟水準不斷上升，生活水準亦不斷提昇，尤其以台北市之整體發展最為明顯。台北市內因都市產值快速提昇，吸引人口、產業大量遷入，使得台北市內累積了大量的經濟資源與財富。然而，在工商發達、人口聚集的同時，卻也加深了環境的負荷，諸如汽、機車數量的高度成長、交通的壅塞、垃圾產出量的增加及能源消耗的增加…等，這些因素直接或間接排放空氣汙染源，造成都市空氣品質的惡化 (李曜全、邢浩然, 2002)。為同時改善都市空氣品質與交通情形，政府於民國七十七年開始動工興建台北捷運。透過觀察可發現，隨著捷運建設的完工，捷運沿線地區發展快速、土地使用型態改變，且捷運改變了市民的通勤模式，使空間移動更加快速便利，其都市活動型態在空間上已產生結構性的變化。長期而言，透過大眾運輸導向的發展模式，將可抑制私人運具的使用，進而降低私有汽車的依賴，改善都市空氣品質惡化情形、創造良好都市環境品質。

在探討交通運輸對環境品質產生之影響，過去多數文獻多單就運輸部門之觀點，以運輸系統管理策略之研究與發展大眾捷運系統模式來探討對都市空氣品質之影響 (交通部運輸研究所, 1997; 楊文龍, 2001; 葉嘉純, 2003; Meinardi et al., 2008)。事實上，都市空氣汙染不僅來自於交通運輸所排放的廢氣，人口數與工廠數亦會對汙染排放產生影響 (李曜全、邢浩然, 2002; 呂鴻光、簡慧貞, 2003)。是以，影響空氣品質的因子一般來說包括交通、產業與人口三類，又運輸建設的改變會提高區域的可及性，帶動產業與人口在空間上移動。然多數文獻多僅針對產業對空氣品質之影響 (馮惠珊, 1990; 徐鐙城, 1996; 蘇桂醇, 1996)、人口對空氣品質之影響 (王振霖, 1992; Borrego et al., 2006)，以及交通對空氣品質之影響 (Bae,

1993；陳賓權，1998；徐淵靜，1998；黃耀輝，1999；林俊毅，2004）進行探討，未將三者之相互關係合併考慮來探究對空氣汙染之影響程度。

是以，本研究將從捷運營運前後台北市空氣品質變化之觀點，探討捷運、人口、產業三者對空氣品質之影響程度。台北市之空氣品質是否隨著捷運通車營運而改善呢？亦或者，隨著捷運路網之開通，增加捷運沿線區域的可及性，反而促使人們、產業更加往捷運沿線聚集，進而造成空氣品質的惡化現象呢？在人口、產業變動的同時，又會對捷運沿線之周邊空氣品質帶來何種影響呢？緣此，本研究將加入人口與產業等相關因素探討交通運輸對台北市空氣品質之影響。

## 二、研究目的

綜合上述研究動機，本研究之研究目的為以下幾項：

- (一) 瞭解台北市之空氣品質變化
- (二) 探討捷運營運前後對台北市空氣品質之影響程度
- (三) 實證分析交通、產業、人口三者對空氣品質的影響

## 第二節 研究範圍與內容

### 一、研究範圍

#### (一) 空間範圍

台北市是台灣第一個興建並營運捷運系統的地區，因此本研究以台北市 433 個里<sup>1-1</sup>為實證地區進行研究。在空氣品質測站方面，因使用地理資訊系統之空間內插法處理，為求得各地空氣品質之準確度，本研究以行政院環保署空氣品質監測站台北市 6 站、台北縣 12 站，共 18 個監測站，和台北市環保局空氣品質監測站 8 處，共計 26 個測站，測站位置<sup>1-2</sup>如圖 1-1 所示。

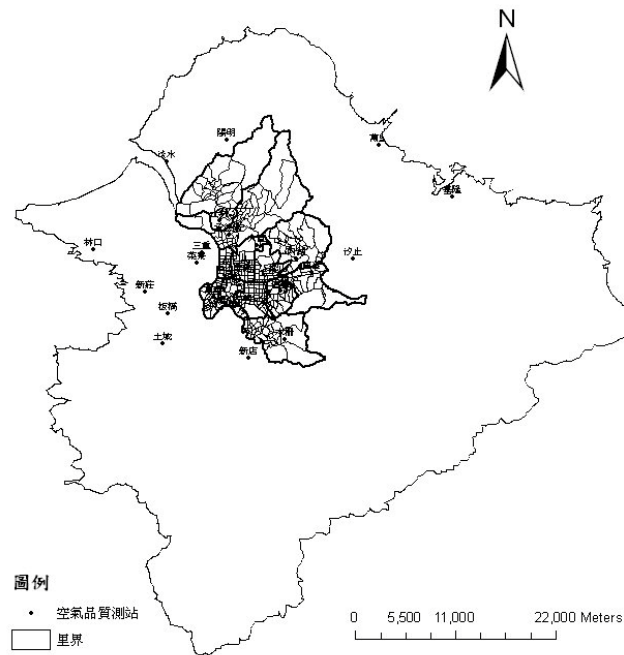


圖 1-1 研究範圍測站分布圖

資料來源：行政院環保署、台北市環保局之空氣品質測站資料

<sup>1-1</sup> 台灣於 2002 年進行行政區域及村里的增刪修訂，導致台北市 2002 年前後之里數不同。為使各年度實證範圍相同，本研究調整各年度之里數，調整後之台北市里數共 433 個里。  
<sup>1-2</sup> 空氣品質監測站取 1995、1996、2001 和 2006 年之資料，因為 1995 年至 2006 年監測站位置有所變更與增減，故四個年度的測站數不同。1995 年有 25 個測站、1996 和 2001 年有 27 個測站、2006 年有 26 個測站，圖示僅列出 2006 年測站位置。



## (二) 時間範圍

本研究主要探討捷運營運前後對空氣品質之影響，因此時間範圍設定在捷運營運前至營運後；台北捷運於 1996 年 3 月 28 日正式通車，故時間範圍以營運前的 1995 年至營運後之 2006 年為主，如圖 1-2 所示。

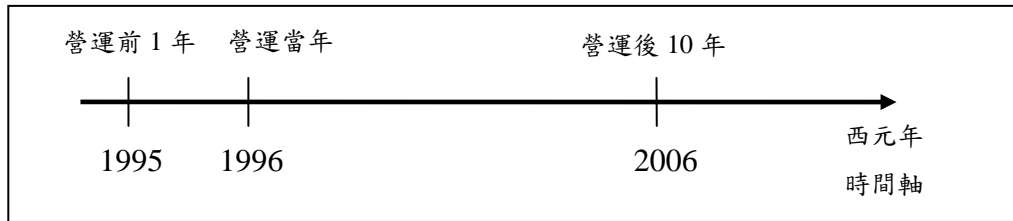


圖 1-2 樣本時間範圍示意圖

## 二、研究內容

根據研究目的，本研究之研究內容包括三部分，說明如下：

### (一) 文獻回顧與整理

整理過去影響空氣品質之相關文獻，有助於建構本研究之中心論點及整體論文論述基礎，包括空氣汙染之意涵、影響空氣品質之相關因素，以及降低空氣汙染之解決對策等相關文獻。透過文獻整理歸納以往實證分析之變數，進而決定分析空氣品質所需使用之變數。

### (二) 空氣品質變化分析與模型建構

經由文獻資料的整理，從而得知過去運輸系統與空氣品質之相互關係，並依此做為模型建構之依據。此外，本研究將利用地理資訊系統 (Geographic Information Systems, GIS) 空間分析法處理空氣品質監測站之相關資料，透過地理資訊系統的使用，期能減化複雜的空氣汙染源因子變成易於計算的空間變數。

### (三) 實證分析與結論建議

利用 Limdep 統計軟體進行實證分析，得出之實證結果進行個別變數分析，探討其所代表之意義，並且援用過去研究作為佐證，以驗證本研究是否符合預期結果。最後針對實證結果提出結論與建議。

### 三、研究限制

空氣因具有流動性且會受到氣象變數（諸如風速、風向、溫度、相對溼度…等）所影響，加上每年3到5月為大陸沙塵暴最為嚴重的季節，所以每日測得之空氣品質濃度可能不同。但是，行政院環保署已針對受大陸沙塵影響之數值進行修正，且本研究之空氣品質資料係採取年平均資料模式，因此，本研究空氣品質測站資料已排除大陸沙塵嚴重之值，且假設各年度氣象變數無太大差異。

## 第三節 研究方法與流程

### 一、研究方法

本研究基於上述研究內容，提出下列研究方法：

#### (一) 空間分析法

本研究利用 ArcGIS 軟體提供之內插法和空間自相關分析法進行分析，說明如下：

##### 1. 內插法 (Interpolation)

本研究於第三章第二節利用空氣品質測站資料，以內插法模擬出各年度之台北縣和台北市年平均懸浮微粒濃度分布圖後，再擷取出台北市範圍作為基圖 (base map)，套疊台北捷運路網分布圖，檢視都市空氣品質是否隨著大眾運輸系統之營運而降低其空氣品質濃度。

##### 2. 空間自相關分析 (Spatial Autocorrelation)

本研究於第三章第三節利用 ArcGIS 軟體所提供的空間分析工具，對人口與產業進行全域 (Global) 及區域 (Local) 空間自相關分析 (Spatial Autocorrelation)。在全域空間自相關中，分別分析各年度人口、產業等資料的空間相關性程度，以此瞭解人口和產業的分布型態呈現聚集或隨機分散之現象；接著以區域空間自相關統計方式，進一步探討各年度人口、產業聚集分布區位之變化。最後，透過圖層累加顯示的方式，以人口與產業之空間分布型態為基圖，套疊台北捷運路網分布圖與各年期之年平均懸浮微粒濃度分布圖，檢視人口、產業是否隨捷運路網之開通而往捷運沿線聚集分布，進而探討人口、產業之分布型態對空氣品質的影響程度。

#### (二) 迴歸分析

本研究結合橫斷面 (cross-section) 資料型態與時間序列 (time-series) 資料型態，採用長期追蹤資料 (Panel Data) 迴歸模型之分析方法探討人口、產業、以及捷運營運前與營運後，對台北市年平均懸浮微粒變化之相關性及影響程度。

## 二、研究流程

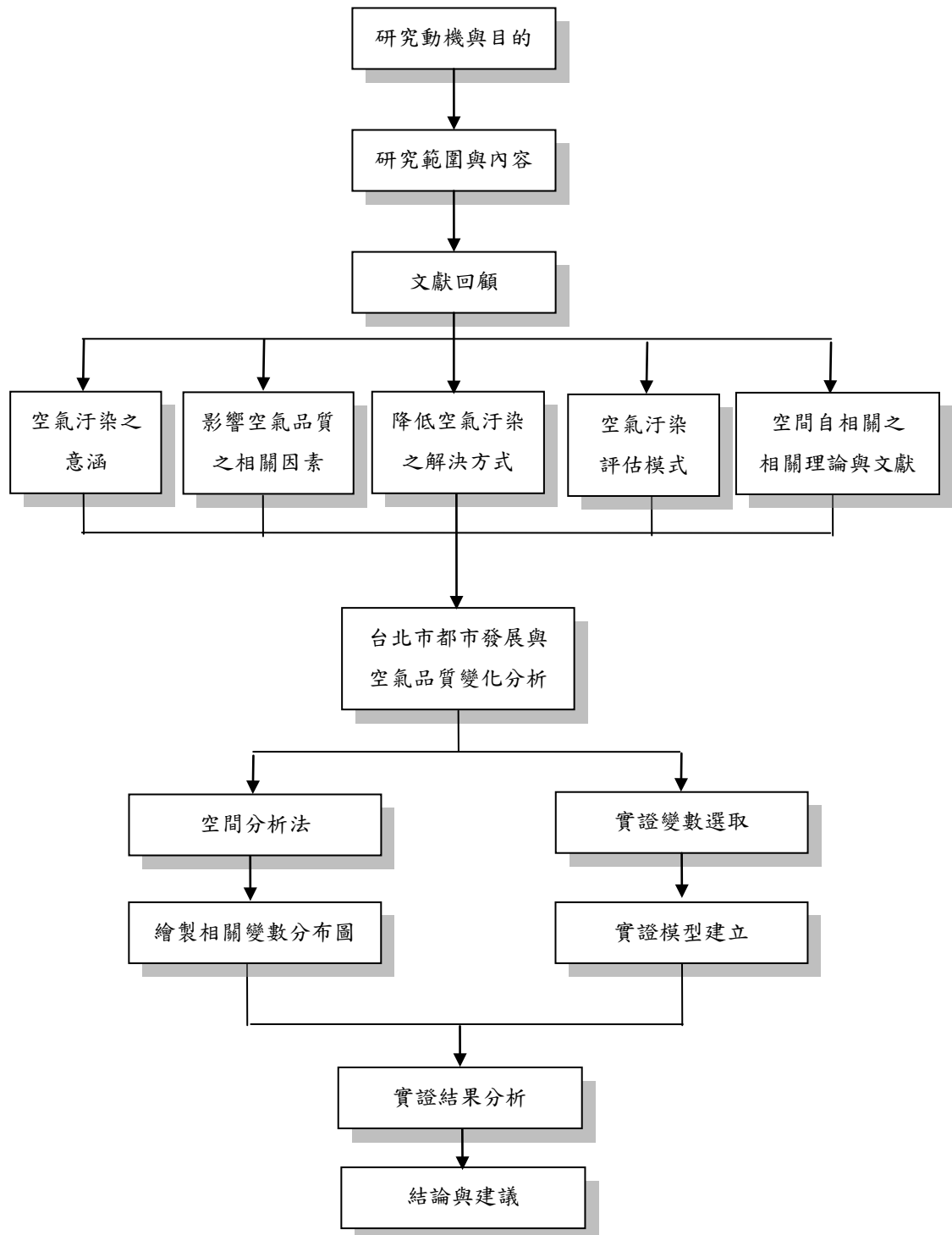


圖 1-3 研究流程圖

## 第二章 文獻回顧

空氣污染肇因於十八世紀快速的工業化與都市化後，人類密集使用生煤作為燃料，燃燒產生之廢氣未經處理排放到大氣，使得都市地區的空气污染事件逐漸增加。加上十九世紀發明汽車與大量興建高速公路，加速人們使用私人運具，促使空氣污染更為嚴重。因此，都市空氣污染之來源包括家庭排放、商業使用、工廠活動及機動車輛排放之廢氣等空氣污染源。過去探討空氣品質之相關研究中，包括有模擬大氣環境狀況來瞭解污染排放源與空氣品質關係；從交通、人口、產業、都市空間結構等方面探討對空氣品質產生之影響；從人體健康之觀點，探討各項污染源對人體健康產生的危害；以及從解決空氣污染之觀點，提出諸多空氣污染減量策略。本研究為探討捷運、人口及產業三者對空氣品質之影響，在文獻回顧方面，首先瞭解空氣污染之整體意涵、影響因素、及其解決對策；其次，瞭解過去探討空氣品質相關議題所採用之方法，以作為本研究方法之參考依據；接著，為瞭解人口與產業之分布型態對空氣品質之影響，說明空間分析法之相關文獻。是故，本章之內容共分為六節，在第一節首先界定空氣污染之定義，與說明污染源對人體健康產生的危害；第二節回顧影響空氣品質之相關因素；第三節接續說明目前國內外降低空氣污染之解決方式包含哪些層面，第四節說明空氣污染評估模式，第五節說明空間自相關分析之相關理論與文獻，最後一節歸結前面五小節文獻中所發現之議題，做為後續研究之參考。

### 第一節 空氣污染之意涵

#### 一、空氣污染定義

在正常狀況下，乾淨空氣主要是由 78% 氮氣、近 21% 氧氣、近 1% 氫氣…等十六種氣體所組成，許多人們關注的污染源如一氧化碳 (CO)、氮氧化物 (NO<sub>x</sub>)、臭氧 (O<sub>3</sub>) 及硫氧化物 (SO<sub>x</sub>) 等，在乾淨空氣中的含量極其微小 (林政剛等譯，1995:47)。行政院環保署 (2008) 將空氣品質標準 (Air Quality Standards) 定義為：「室外空氣中空氣污染物濃度限值」，當自然環境的運作如火山爆發、森林火災，或人為因燃燒木材、煤、化石燃料等事件發生，造成乾淨空氣成份改變，因而產生空氣污染。

空氣污染一詞按世界衛生組織 (WHO, 1999) 之定義為：「由人為的因素將污染物釋放在空氣中，於大氣中一種或多種之污染物或其生成物隨著

數量和濃度的增加，以及持續過久時間，使人類、動物、植物的生命受到傷害，或因而干擾到人類生活上或財產之舒適享用。」國內空氣汙染防制法第二條定義空氣汙染物為：「空氣中足以直接或間接妨害國民健康或生活環境之物質。」由上可知，兩者對空氣汙染之定義皆指出，當空氣中含有的汙染物質過多且濃度過高時，將危害人民之健康與生活品質，損害財物或無理干擾舒適之生活環境。

## 二、空氣汙染指標

為使國人瞭解空氣品質狀況對人體健康之影響程度，行政院環境保護署引進美國環保署評估空氣品質優劣之空氣汙染指標（Pollutant Standards Index, PSI）。空氣汙染指標（PSI）係依據空氣品質監測站資料將當日測得之各汙染源濃度數值，以其對人體健康之影響程度，分別換算出不同汙染物之副指標值，再以當日各副指標之最大值為該測站當日之空氣汙染指標值（PSI）（環保署，2008），空氣汙染指標與人體健康影響如表 2-1 所示。

表 2-1 空氣汙染指標值與健康影響

空氣汙染指標 (PSI)	0~50	51~100	101~199	200~299	>=300
對健康影響	良好	普通	不良	非常不良	有害
人體健康影響	對一般民眾身體健康無影響	對敏感族群健康無立即影響	對敏感族群會有輕微症狀惡化的現象，如臭氣濃度在此範圍，眼鼻會略有刺激感	對敏感族群會有明顯惡化的現象，降低其運動能力；一般大眾則視身體狀況，可能產生各種不同的症狀	對敏感族群除了不適症狀顯著惡化並造成某些疾病提早開始；減低正常人的運動能力

資料來源：行政院環境保護署，2008

由表 2-1 可知，當空氣汙染指標值超過 50 時，對敏感族群的人體漸漸產生健康危害；當指標值大於 100，將對敏感族群和一般民眾的健康產生大小不一的影響。

## 三、汙染物種類及其特性

空氣汙染物質依物理狀態可區分為粒狀汙染物（如總懸浮微粒、懸浮

微粒、落塵及煤塵濃度)與氣狀污染物(如硫氧化物、一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物、碳氫化合物及臭氧等),而國內之主要污染物分別為懸浮微粒( $PM_{10}$ )和臭氧( $O_3$ )(環保署,2008),世界衛生組織(WHO,2005)亦指出在已發展國家的許多城市,臭氧和懸浮微粒對健康有危害。因此,為瞭解兩污染物之特性、污染來源及對人體健康產生之影響,分別說明如下:

(一) 懸浮微粒 (particulate matter with aerodynamic diameter of less than  $10\mu m$ ,  $PM_{10}$ )

懸浮微粒係指懸浮在大氣層中粒徑 10 微米以下之粒子,其主要來源包括道路揚塵、車輛排放廢氣、露天燃燒、營建施工及農地耕作等,或由原生性空氣污染物轉化成之二次污染物(環保署,2008)。目前國內空氣品質標準中關於懸浮微粒濃度值列有兩項標準:每日平均值不得超過  $125\mu g/m^3$ ,每年平均值不得超過  $65\mu g/m^3$ 。

懸浮微粒濃度之所以受到人們關注主要在於其粒徑微小,可由呼吸深入人體肺部深處,影響人體心臟血管與呼吸道相關疾病。Schwartz et al. (1993) 研究指出空氣懸浮微粒與氣喘的就醫有高度相關性,因為懸浮微粒會減少呼吸道尖峰流量致使功能性肺活動量下降(李瑞源,1996)。Samet et al. (2000) 利用美國 1987 至 1994 年間 20 個城市居民的每日死亡率資料為樣本,研究結果發現呼吸道疾病死亡率與懸浮微粒濃度呈現正相關。Woodruff et al. (2008) 研究美國週歲內的嬰兒死亡與長期暴露於空氣污染物之間的關係,研究結果指出懸浮微粒每增加  $10\mu g/m^3$ ,呼吸道疾病死亡之風險性相對比率為 1.16,而臭氧每增加 10ppb,週歲內的嬰兒猝死症風險性相對比率為 1.24,其它的污染物與其它死因的死亡之間則沒有發現有關聯性(簡雅文,2008)。

由上述可知,降低空氣中懸浮微粒濃度似乎可減少呼吸道疾病和心血管死亡率的發生,然許多報告指出即使吸入低濃度之空氣懸浮微粒,亦會增加兒童罹患急性氣管炎及其他呼吸系統疾病之危險性(引述自李瑞源,1997:10)。為此,世界衛生組織(WHO,2005)訂定懸浮微粒濃度標準:每日平均值不得超過  $50\mu g/m^3$ ,每年平均值不得超過  $20\mu g/m^3$ 。在此標準下將可使得總死亡率、心肺死亡率達到最低。

(二) 臭氧 (ozone,  $O_3$ )

臭氧是一種無色、具刺激性味道的高反應性氣體,主要是由人為

排放的氮氧化物和反應性碳氫化合物在日光照射進行光化學反應後所形成之二次污染物（環保署，2008）。目前國內空氣品質標準中關於臭氧濃度值列有兩項標準：每小時平均值不得超過 120 ppb，每八小時平均值不得超過 60 ppb。

由於臭氧是反應性極高的氧化劑，對呼吸系統具有刺激性，正常人吸入後之主要反應包括咳嗽、呼吸道過度反應性增加與呼吸道發炎、以及鼻黏膜之發炎反應等（環保署，2008）。亦有研究（Abramson and Voigt, 1991）指出低濃度之臭氧雖然不改變肺部的基本功能，但明顯加強了氣喘病人對吸入過敏原之感受性，主要是因為臭氧能增加呼吸道之滲透性（李瑞源，1996）。因此，降低臭氧濃度將能減低呼吸道之感染。然而臭氧為二次性污染物，其組成複雜且易受氣象因子影響，為此，美國環保署提出實施 O<sub>3</sub> 行動日（Ozone Action Days），在氣象條件有利於臭氧生成期間，鼓勵民眾響應共乘、搭乘公共運輸交通工具或騎乘自行車等，希望藉由降低臭氧前驅污染物的排放，達成減少臭氧濃度（張順欽，2006）。

綜上所述，懸浮微粒和臭氧兩者皆會對人體健康產生大小不一的影響程度，輕者僅對人體眼鼻具有刺激感，重者將危害到人體的呼吸道系統，引發呼吸道疾病和心血管疾病；是以，懸浮微粒濃度值和臭氧濃度值已成為當前空氣品質改善的目標。然由前可知，臭氧為二次性污染物，除了人為前驅污染物的排放外，區域尺度水平傳輸、平流層傳輸及表面沉積亦會影響臭氧濃度值（張順欽，2006）。加上臭氧的形成必須經過日光照射交互作用才得以轉化，在轉化的過程中因參與光化反應的物種相當多，且機制複雜，故較難探究臭氧之污染來源。相較之下，懸浮微粒主要來源係來自道路揚塵、機動車輛排放廢氣與營建施工等，其組成因子較臭氧單純，故本研究選取懸浮微粒作為空氣污染之污染變數。



## 第二節 影響空氣品質之相關因素

影響空氣品質之因素眾多，排除自然界不可抗拒的因素，人為因素包括有都市空間結構、土地使用種類、交通運輸、產業發展與人口數等因素。由於都市空間結構與土地使用類別密切相關，因此，本研究將之分為交通運輸、產業發展、人口與都市空間結構四類，進行空氣品質之探討。

### 一、交通運輸對空氣品質之影響

都市化的不斷演進，使人口、產業及活動不斷往都市地區聚集，為加速地區間交流，遂引發運輸需求。運輸設施的興建提高了可及性，帶動土地使用模式與活動區位的改變，產業活動與人口亦隨之改變(凌瑞賢,2004: 11-39)。因此，運輸系統的改變帶動區域土地使用、人口與產業的重新分布，然而卻也帶來了環境的衝擊。徐淵靜(1998)指出交通運輸對環境之影響從興建時期至營運後，可分為建設工程、設施運用及波及現象等三階段之影響(如圖 2-1 所示)，各階段皆使得自然環境、社會環境與生活環境受到大小不一的衝擊。交通對環境產生之負面議題主要包括有空氣汙染、噪音、振動、景觀及其他影響現象等因素，在這些交通公害中，空氣汙染分布範圍最廣，受影響的人最多，也最為人們所關注(馮惠珊,1990;曾國雄等,1992)。單就交通運輸部門引發之空氣汙染來自於運輸過程排放之汙染源，與運輸使用不當—使用大量私人運具產生之汙染。

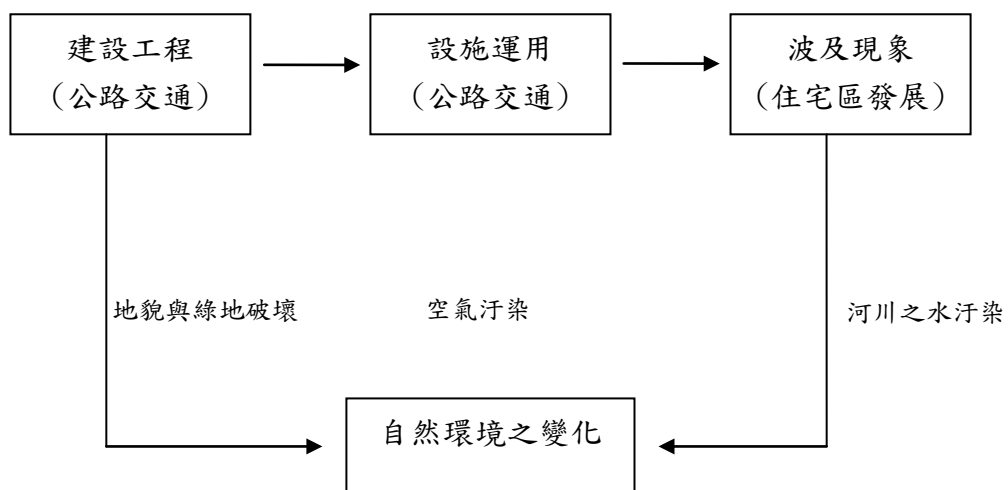


圖 2-1 設施建設對環境之影響

資料來源：徐淵靜，1998

## (一) 運輸過程排放之污染源

運輸系統產生之空氣污染主要來自於運輸工具使用化石燃料燃燒而排放之污染物質，其污染源可分為原發性與衍生性污染源兩大類。原發性污染物係指經由車輛直接排放者，污染物包括有一氧化碳(CO)、氮氧化物(NO<sub>x</sub>)、碳氫化合物(C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>)、懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)、硫氧化物(SO<sub>x</sub>)、鉛(Pb)等；衍生性污染物乃由於機動車輛廢氣中之氮氧化物與碳氫化合物在太陽光紫外線照射下，由光化學反應所產生，諸如臭氧(O<sub>3</sub>)、甲醛、有機性高氧化合物等為衍生性污染。

除了燃燒排放的污染源外，影響交通空氣污染源排放量之主要參數為車行里程與排放係數<sup>2-3</sup>(李曜全、邢浩然，2002)。環保署(1991)研究指出，汽機車之一氧化碳與碳氫化合物排放量會隨著車齡和車行里程數之增加而提高，其汽車氮氧化物排放於八年六萬公里內，機車則是在六年以內隨著車齡和里程增加而減少，超過其年限則隨車齡和里程成正比，因此加速淘汰老舊汽機車將可有效的減少空氣污染情形(引自林俊毅，2004)。Bae(1993)則指出透過變更工作時間與運具移轉策略來減少車載行程(Vehicle Miles Traveled, VMT)，對於降低空氣污染僅帶來些微的影響；真正有效解決空氣污染之方式應透過進步的技術降低汽車的尾氣排放量。陳昌熨(2004)以苗栗縣公館交通監測站為例，分析總懸浮微粒與懸浮微粒的污染來源及影響因子。研究結果顯示，該地區主要污染來源是交通工具尾氣排放污染源及街塵，因此該研究認為應優先從交通管制策略著手，並且對大型車輛所造成之揚塵加強管制，以此改善地區之空氣品質。

在車行里程方面，盧啟文、程惠生(1990)的研究結果顯示，系統內平均行車速度增加，將使一氧化碳與碳氫化合物之排放總量減少，但是氮氧化物之排放總量會增加。黃耀輝(1999)則認為交通流量愈大，產生之污染量亦愈多；車流行駛速率愈小時，車輛之污染排放係數愈大，產生之污染也愈多；而路口大小愈小時，車流延滯時間可能較長，產生之污染亦可能愈多，且所產生的污染物擴散亦較不易。

由前可知，要改善運輸過程所排放之空氣污染源，應從技術控制方式與控管車行里程來減少汽、機車排放量。

---

<sup>2-3</sup>排放係數係以汽機車行駛距離所排放污染物之重量來表示之。

## (二) 大量私人運具產生之污染

自 1910 年福特汽車開始量產小汽車後，開啟了私人運具使用率的大增。私有運具的普及化擴大都會區的邊界，加速人類與產業活動不斷地向外擴張，同時也降低了土地使用密度 (Mindali et al., 2004)，形成單一土地使用之分散發展。分散式的都市活動，增加了各項活動之間的距離，為了顧及個人的方便性，多數人選擇使用私人運具進行移動。在目前運輸系統以石油為主要燃料的情形下，隨著機動車輛的增加、人類旅行次數的提高，能源消耗量將急遽上升，其伴隨而來的是使用石油產品車輛的污染排放量嚴重污染了生存環境的空氣品質，對國民健康的影響甚鉅。因此，在大量使用私人運具的國家，其都市之空氣污染大部分來自於交通運輸部門之移動源，有研究 (Nebel and Wright, 1998；引自賴玫錡，2008) 指出在都市地區的空氣污染，汽車排放即占了 80%；陳賓權 (1998) 亦指出全球的空氣污染有超過四分之三是由運輸部門所產生。

是以，欲減少私人運具的使用，政府應先整合運具模式，在都市地區建構完善之單一運具模式 (如大眾運輸模式)，並且鼓勵民眾多加使用，如此才得以改善都市之空氣污染源。

## 二、產業發展對空氣品質之影響

產業發展對環境產生之影響是幾十年來大家所公認的，尤其是開發中國家或低度開發國家對環境之影響更為明顯。自工業革命以來，人類燃燒化石燃料以發展各項經濟活動，其燃燒所產生的污染源會排放到大氣中，引發環境污染。因此，環境污染肇因於生態體系不利之變化，或經由人類過度重視產業發展，而忽略環境保護諸種不智行為引發的直接或間接後果。此外，環境污染多具有外部性 (externality)，也就是污染的產生者自身在獲取利益的同時，無需支付任何代價，致使活動的第三者受到損害。因此，當環境污染嚴重時，會降低環境品質和無效率之資源配置 (馮惠珊，1990)。

在產業發展過程中所需資本除人力、金錢外，最主要需仰賴煤炭、石油等燃料的消耗來發展產業。然而，在能源消耗的同時又會對整體空氣品質產生影響。根據 2007 年能源統計年報顯示，國內最終能源消費由 1990 年的 50,698 千公秉油當量增加至 2007 年的 121,028 千公秉油當量，年平均能源消費量成長 5.3%。若按各經濟部門能源最終消費量來區分，工業部門為最大能源消費部門，占總能源消費量 51.75%；其次是運輸部門 13.14%，再

次之為住宅部門 11.21%。王國權（2005）研究都市發展對能源消耗之影響指出，台北都會區各部門能源消耗高低依序是工業生產、住宅使用、商業行為、交通運輸、建設部門，最後則是廢棄物的處理。Steemers（2003）以能源消耗之觀點看空氣汙染，指出當化石燃料之能源消耗愈多，空氣品質愈加低落。是以，當產業愈蓬勃發展、能源消耗量愈多，空氣品質亦愈加惡化。

徐鐙城（1996）研究台北縣土城工業區廠商對環境品質之公害識覺，發現廠商認知最強的是空氣汙染，且工業區內又以空氣汙染最嚴重，廢棄物的堆置與丟棄次之；在空氣汙染方面，工業區內空氣汙染以空氣中的落塵、懸浮微粒最為普遍。蘇桂醇（1996）以大寮鄉和林園鄉為例研究邊緣區工業發展對環境衝擊之影響，研究結果顯示居民認為工業發展後，產生之環境汙染以空氣汙染最為嚴重，其次是河川及水汙染；此外，在林園鄉空氣汙染排放值，以碳氫化合物（ $C_xH_y$ ）、非甲烷碳氫化合物（NMHC）及一氧化碳（CO）為最高。因此，產業發展的同時會引發諸多地區之空氣汙染。

產業燃燒燃料生產各項活動除了產生落塵、懸浮微粒、一氧化碳等空氣汙染源外，因燃燒而引發的另一項汙染源為二氧化碳（ $CO_2$ ）。根據經濟部能源委員會（2008）資料顯示，1990 年至 2006 年各部門二氧化碳排放量中，以產業部門排放量居冠，一直維持在 70% 以上，其次是運輸業，再其次為住宅部門。當二氧化碳排放量急遽增加，大氣層之二氧化碳濃度隨之上升，使大氣熱量難以流失，造成地球之平均溫度上升，形成溫室效應。因此，欲降低空氣中二氧化碳排放量，得從產業部門著手。

整體而言，產業持續發展帶動了社會的經濟成長，然而在發展經濟的同時，環境保護卻是不容忽視的議題。由上述可知，產業發展愈興盛消耗之能源愈多，其伴隨而來的空氣汙染與溫室效應亦日趨嚴重。因此，要淨化空氣品質與減少溫室氣體效應，應從提昇能源使用效率、調整能源結構與調整產業結構等三方面採取因應對策。

### 三、人口對空氣品質之影響

因為各項活動分布於不同的空間區位，人類生活為滿足住宅、就業、娛樂、社交等各項活動的需求，需往返於各種活動區位以滿足生活之所需。當人們在空間區位移動時，遂產生旅次需求。隨著都市地區的發展，人口不斷地往都市地區遷移，使都會區內的人口不斷增加、都市內的活動更為

頻繁。當人口大量成長，伴隨而來的是旅運需求的上升與機動車輛的使用，王振霖（1992）指出當都會區的人口數愈多，各區位旅次發生之次數亦愈多，在交通流量大增的情形下，都市空氣品質亦隨之惡化。Borrego et al.（2006）從空氣品質觀點研究都市空間結構對都市永續性之影響時，以人口密度和年齡結構，以及私有運具和大眾運輸佔有率作為交通排放量推估的方法論（圖 2-2 所示）。研究結果發現，不同的人口密度會產生不同之旅行次數，進而引發不同的空氣汙染濃度；當人口密度愈高，產生之空氣汙染亦愈多。

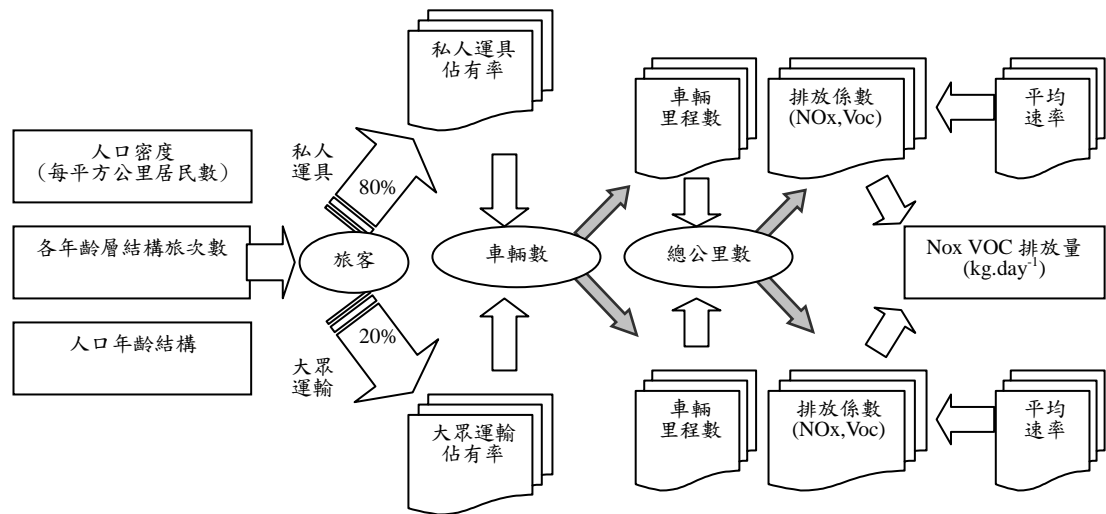


圖 2-2 交通排放量推估之方法論

資料來源：Borrego et al., 2006

由圖 2-2 可知，人口年齡結構的差異亦會影響旅次需求與運具選擇。梁馨云（1997）針對年齡層與旅次需求提出，不同年齡層的人對於旅次需求各不相同，在目前人口結構老化的現象下，老人退休後為充實自我、娛樂或社會，其產生之旅次數目可能有不減反增的現象。

綜上所述，人口數和土地使用面積與旅次需求強度存在著正向關係，而旅次需求強度與空氣品質之間為負向關係。因此，當人口數增加、土地使用分散時，會導致空氣品質逐漸惡化。

#### 四、都市空間結構對空氣品質的影響

都市是一個開放且動態之生態系統，都市的形成、發展與成長皆需藉由能源的使用消耗才得以成就今日的發展結果。在都市發展的過程中，土地使用情形之轉變，將影響著整體都市空間結構的改變，而人類的任何活

動都必須仰賴能源的消耗才得以形成。因此，都市空間結構的改變，對能源消耗之影響至深且鉅。

就目前都市能源使用情形來看，最常使用且不可再生的能源是化石燃料，燃燒燃料可促進都市活動之發展，但燃燒過程將產生一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物...等空氣污染源，使都市空氣品質惡化。諸多研究乃針對都市空間結構與能源消耗及燃燒燃料產生之空氣污染之關係進行探討。

Camagni et al. (2002) 認為土地資源消耗程度決定於人類居住的集中性，而且能源的消耗也直接或間接與其相關，尤其是受到旅行距離、運具選擇模式（大眾運輸或私人運具）的影響甚大。當都市發展呈現分散式的發展時，政府必須為了都市邊緣的居民興建各項公共設施，這些建設不僅消耗了珍貴的土地資源（Heimlich and Anderson, 2001），更消耗了大量的都市能源，造成土地使用破碎與降低環境品質。該研究針對土地使用與能源消耗之關係進行探討，結果顯示土地資源消耗愈快速的型態，都市能源消耗愈快速；愈向外擴張的都市發展型態，同時消耗了土地資源與都市能源。因此，該研究指出，良好的緊密與單核心型態的都市發展可降低社會與環境成本，透過政策引導與創新的都市設計將可實現此一目標。

Stemmers (2003) 則指出分散式的都市活動增加了不可再生能源的使用率，尤其是低密度分散發展的都市更是顯而易見。在分散式的土地使用活動，人們為顧及自身的便利性，遂增加私人運具的旅次使用。私人運具的使用率提昇雖增加了往來各地的方便性，但卻也增加了工作旅次與旅次距離，使化石燃料消耗量增加，致使地區性空氣與噪音污染更加惡化。該研究以英國為例，探討密度、都市建物與交通之能源消耗情形，發現都市總能源消耗量占最大比例的是維持建物營運（諸如空調消耗之能源）所消耗的能源，其次才是交通部門。而都市空間型態直接影響著交通部門的能源消耗，也間接對環境的影響使其他部門的能源使用率增加。是故，短期來看，改善運輸方式（如改善大眾運輸）能減少化石燃料的消耗，進而改善地區性的空氣污染問題；但長期而言，真正影響都市能源消耗量則是都市發展所產生的都市空間型態（王國權，2005）。

有關都市空間結構與空間品質之關係，Borrego et al. (2006) 進一步以光化學系統 MEMO/MERS 模型進行驗證。研究結果顯示，混合使用的緊密都市相較於低密度、分離土地使用的分散都市或低密度運輸結構的網路城市，提供了較好的空氣品質。此外，該研究亦證實了在探討都市永續時，都市空間結構之重要性。Stone (2008) 研究美國大城市都市蔓延與空氣品

質之關係，在控制人口數、氣象與區域氮氧化物和揮發性有機化合物之排放量等變數後，結果顯示蔓延的大都會區比起空間結構較緊密的都會區，其臭氧排放超出量較高。因此，都市空間結構會影響空氣品質之優劣。

由上可知，都市空間結構與空氣品質之關聯性在於，土地使用型態、能源消耗程度與旅行次數多寡。因為土地使用決定人類居住之集中程度，人類群聚性影響著通勤旅次之多寡，進而影響能源使用情形與後續空氣品質之優劣。因此，不同的都市空間結構會影響著都市的空氣品質；是以，形塑良好之都市空間結構，不僅能降低能源消耗、改善空氣品質、提昇人民居住水準，更能帶來都市之永續發展。

### 第三節 降低空氣汙染之解決方式

由產業、人口、都市空間結構與交通運輸等所產生之空氣汙染源，輕者將造成農作物損害、休閒場地損害與影響人體呼吸系統；重者將危害人體身心健康、恐有致死之虞，因此，各國無不致力改善空氣品質。在參考國內外相關文獻，針對空氣汙染減量之議題，有以下幾項改善策略：

#### 一、實施都市成長管理

成長管理（Growth Management）按賴宗裕（2006）之定義為『運用規劃的方法，配合管理的策略與技術工具，來規範都市發展及土地開發區位、時序、速度、總量及品質，同時考量公共設施的服務水準及成本，來執行土地使用管理與公共設施配置等多目標的土地使用政策。』因此，成長管理之主要目的在於提昇土地使用與公共設施配置之效率，降低無秩序之蛙躍發展，健全都市風格並且改善居住環境與提昇生活品質。Bae（1993）的研究中指出，成長管理對減少車輛廢氣排放量的影響最大，但在所有交通與土地使用措施裡卻也是最不符合成本效益的方法。黃怡（1998）則指出人口成長會造成工業成長，而工業成長會增加二氧化碳的排放量，唯有透過成長管理來抑制人口成長，才能打破此循環性，徹底減少二氧化碳之排放。李曜全、邢浩然（2002）認為在人口持續成長壓力下，公共福利及公共設施支出成為政府財源極大的負擔，為了維持都市本身綜合發展計畫的目標，確保居住環境品質，與其耗費力氣由供給來謀求市場之平衡，不如直接管制都市成長，以避免供需差距過分懸殊。是以，實施都市成長管理將可控管都市發展，減輕都市成長引發之交通問題及其後續之空氣品質惡化現象。

#### 二、發展大眾運輸導向之策略

隨著汽車導向之發展模式，都市地區已造成嚴重空氣汙染、能源使用效率降低、交通壅塞與停車困難等問題。為改善這些問題，許多國家開始重視大眾運輸具有環保且低耗能高效率之特性，都市學家亦致力於倡導「新傳統」之規劃模式，提倡「大眾運輸導向發展(Transit-Oriented Development；TOD)」。大眾運輸導向之定義，按李家儂（2003：26）之定義為：「以大眾運輸系統之建構，引導居住、工作、購物、休閒等活動空間於大眾運輸路線廊帶上有秩序之分布，以形塑高可居性、可及性及有效率之都市發展型態與土地利用模式之謂。」其主要目的在於降低都市蔓延，提昇內都市之



土地使用密度，提高土地開發與公共設施配置之效益。並且藉由高密度集合住宅與購物中心之開發，大幅度提昇民眾使用大眾運輸系統之方便性(賴宗裕，2006：164)，減少私人運具使用，進而降低能源使用、改善都市空氣品質，使永續發展理想得以落實。Meinardi et al. (2008) 以義大利米蘭為例研究重要的都市中心公共運輸系統對空氣品質之影響，該研究挑選米蘭 2004 年運輸罷工運動的一月二日、七日和九日之空氣樣本資料，比較在減少公共運輸時，車輛增加與空氣品質降低之相關性。研究結果顯示，在罷工時期所有非甲烷碳氫化合物 (NMHC) 濃度呈現高度增加的情形，因此，提供更多的公共運輸有可能大大的改善主要都會地區的空气品質。

### 三、緊密都市

相較於分散式、蔓延的土地使用發展，緊密都市主張都市可在一定的範圍內發展，都市可以提供不同之混合土地使用 (Mixed Land Use)，以此達到公共設施、設備與功能的集中 (簡龍鳳，2005：19)。因此，在都市內透過適當的高密度發展，與採取土地混合使用的方式，並且創造友善之人行空間，藉此減少居民旅次數目，並進而減少對私人運具的依賴與使用；減少對水、電、熱、燃料、以及空間的需求量，使能源消耗達到最小，生活型態達成自給自足。在探討都市密度與車輛旅行距離之關係時，Ewing (1997) 認為當都市密度提高，旅次縮短、大眾運輸和步行模式三者共用的增加，會使得車輛行駛率下降；車輛行駛率降低將轉變成較低的車輛行駛里程數。由其研究得知，都市密度的加倍會減少 25% 至 30% 的車輛行駛里程數；因此，增加密度能減少 VMT，進而降低空氣污染。而 Johnston et al. (2000) 研究加州山克拉門都的土地使用和車輛旅行關係發現，大眾運輸改善和土地使用策略之合併影響，二十年以來減少 4% 到 7% 的 VMT。是以，當都市朝向緊密發展時，除提高日常生活設施之可及性外，更可減少能源的使用、改善污染問題，達成資源保育之目標。

### 四、促進產業升級

空氣污染部分來自於產業發展排放廢氣所產生，因此欲改善空氣品質，應從調整產業結構著手。林素貞等 (1994) 分析國內產業結構中油品耗用量與污染量之相關性，指出電機業為高科技工業，其前後關聯效果皆高，屬低污染、低耗能之產業，若增加此產業的發展與配比，既符合能源與環境整體效益，亦與政府所提倡的產業升級政策一致。王塗發 (1998) 則指出產業發展的同時會帶來高度的二氧化碳排放量，欲減少二氧化碳的排放，應直接限制高耗能、高二氧化碳排放之產業發展，獎勵低耗能、低污染、

高附加價值產業之發展。是以，要減少產業排放空氣污染源，政府應積極改善產業結構，帶動產業升級，以達成節約能源、減少環境污染之目標。

## 五、實施運輸系統管理策略

運輸系統管理 (Transportation System Management, TSM) 策略是一種短期性低成本、高效率的運輸改善策略，也是一種都市運輸系統改善的規劃，運用現有道路設施及大眾運輸系統設施，增進運輸效率，並以有效的經營管理，提高運輸服務水準，以減少能源消耗並削減空氣污染排放量，以達改善空氣品質之目標，為一種改善空氣品質的軟體策略(李宗益,1988)。依美國都市大眾運輸總局 (UMTA) 運輸系統管理的具體策略方法大致可分為下列七類 (交通部運輸研究所, 1997)：

### (一) 改善道路車輛之交通流動

改善道路車輛之流動可以穩定車流，減少車輛加、減速的次數及怠轉時間，有助於降低空氣污染濃度。葉嘉純 (2003) 指出各種運具在時速每小時 60 公里以下時，排放量會隨著速度增加而減少，因此台北市之各污染物排放總量均因新建快速道路通車而減少。因此，快速道路的興建對於台北市之空氣品質有正面的影響，可以降低污染物的排放總量，所減少的總量為氮氧化物約 1,240 公斤/天，碳氫化合物約 605 公斤/天，一氧化碳則為 427 公斤/天。

### (二) 高乘載率車輛優先處理

在高速公路、市區街道與都市幹道上設置公車與共乘車輛專用車道，並且配合以交通工程及交通管制措施，使高乘載之車輛具有專用道路使用權，藉以提昇車輛之行駛速率，降低車輛污染排放量。

### (三) 減少尖峰時間交通量

透過調整工作時間、課徵擁擠費或者實施尖峰時間貨車管制方式，來減少尖峰時段之車輛旅次數，達成減少道路交通擁擠、減少空氣污染、節約能源使用的目的。

### (四) 停車管理

停車管理包括實施各種管制措施與設置轉乘大眾運輸之停車場，來減少私人運具之使用。諸如在市中心地區限制車輛進入，鼓勵民眾搭乘大眾運輸或採取步行方式，將有助改善市區交通擁擠，降低空氣

汙染問題。

#### (五) 抑制小汽車使用，促進高乘載率之運輸方式

透過車輛共乘、鼓勵使用腳踏車和步行，與實施小汽車管制區之措施來抑制小汽車之使用，將可降低車輛之旅次數，進而淨化空氣品質。張有恆、賴淑芬（1992）建立車輛共乘成本、效益及需求預測模式，評估車輛共乘策略是否能降低能源消耗與空氣汙染。估計結果顯示，車輛共乘策略之擴大實施每年能帶來 8,414 萬元的總效益，減少 300 公噸的空氣汙染量。然而，該研究亦指出欲推廣共乘策略，運輸管理當局必須形塑一個良好共乘環境。

#### (六) 改善大眾運輸與副大眾運輸之服務水準

良好的大眾運輸場站設備與管理、適當的運輸費率、完善的安全措施與服務水準、以及副大眾運輸服務的改進（如捷運轉乘），將促進人們搭乘大眾運輸。林俊毅（2004）以問卷調查和 ISC3 模擬方式，探討捷運轉乘措施對交通空氣汙染改善之成效。結果顯示，由汽機車汙染排放推估，民眾因捷運轉乘措施而降低對高汙染之汽機車使用，其所產生汙染消減量分別為一氧化碳約 1,327.16 公噸/年、碳氫化合物約 657.55 公噸/年、氮氧化物約為 378.43 公噸/年、硫氧化物約為 66.76 公噸/年、懸浮微粒約為 3,374.56 公噸/年，因此捷運轉乘措施對大台北地區空氣品質改善應有所助益。

#### (七) 提高大眾運輸之管理效率

欲提高大眾運輸管理效率，可透過運輸路線的評估、改善車輛及監督技術、制定車站與車輛修護政策，以及進行系統營運績效評估，將可有效提昇大眾運輸之整體效率。

## 六、清潔燃料

目前推行之清潔燃料包括推廣電動機車和使用替代性燃料。電動機車為綠色產品，其可取代高汙染二行程機車，減少一氧化碳、二氧化碳等空氣汙染源的排放，有助於降低車輛排放汙染源。替代性燃料如液化石油氣與壓縮天然氣等可控制車輛排放源，降低空氣汙染問題。美國環境保護署在 1972 年曾針對 20 輛完全使用液化石油氣為燃料的汽車進行排氣檢驗。結果顯示，碳氫化合物之排放量可降低 81%，一氧化碳可降低 86%，而氮氧化物則可降低 64%（林政剛等編譯，1995）。因此，使用電動機車與替代

性燃料，將得以改善車輛排放濃度。

## 七、法令管制

法令管制之主要用意在於管制產業、車輛排放之污染源，以達成淨化空氣品質之目的。各先進國家皆十分重視空氣品質改善工作，初期多實施行政管制措施，近年來導入具有經濟誘因之管理機制，諸如排放費、補助獎勵及總量交易制度等。我國基於經濟與環保並重原則，在空氣汙染防制工作已逐漸由單純「行政管制措施」轉變為「行政管制與經濟誘因並重之管制措施」(吳俊儀，2001)。目前我國空氣汙染防制法及相關法規命令中，除原先各項汙染排放源等行政管制措施外，已納入更具彈性且積極之空氣汙染防制費徵收、獎勵機制與總量管制等經濟誘因管制措施。

空氣汙染防制費係以汙染者付費的概念，要求汙染製造者必須負擔汙染造成的外部社會成本，並且將課徵之費用作為防治汙染等措施的預算。自 1995 年 7 月開徵排放費後，主要之徵收對象與措施分為「固定汙染源直接徵收」、「移動汙染源隨油徵收」兩項。所得之稅收餘款成立空氣汙染基金，作為改善空氣品質、防治汙染之用。獎勵機制乃政府為補貼汙染排放者減少其汙染排放量給予之鼓勵行為，其主要目的為鼓勵廠商從事汙染防治工作而給予之獎勵。總量管制按空氣汙染防制法之定義為，在一定區域內，為有效改善空氣品質，對於該區域空氣汙染物總容許排放數量所作之限制措施。設置總量管制之用意在於利用大自然涵容能力，使廠商有較大之彈性空間，選擇較經濟且有利於環境品質的汙染改善措施，以此逐漸改善空氣汙染問題。

因此，在法令管制下，透過行政管制措施與經濟誘因兩者同步進行空氣品質的控管，將比起單一行政管制措施更有彈性、效率，且在空氣品質改善方面將更具成效。

## 八、綠色植物之栽種

綠色植物能透過光合作用吸引二氧化碳，釋放人類維持生命之氧氣，其不僅成為人類生活環境之舒適品，更具有降低氣溫、提供遮蔭、過濾空氣汙染物質、緩和噪音、增加空氣濕度、減緩都市熱島效應…等效益(蔡佩真，2004)。環保署(2008)即指出綠色植物除具有美化都市環境、提供健康休憩場所之功用外，更有淨化空氣品質、發揮「都市之肺」之功能。因此，欲解決都市內空氣汙染日益嚴重之環境問題，應多增加綠色植物、公園綠地等綠地資源之栽種，才能改善都市環境品質與居民生活品質，進

而邁向都市永續發展之目標。

## 第四節 空氣汙染預測模式

空氣品質模式是一種工具，乃是利用數學或定量的方式，以計算或模擬汙染物由排放源釋出之後，在大氣中傳送、擴散、反應所形成的濃度場之時空分布(江旭程, 2001)。因此，其主要功能在於模擬大氣環境的狀況，瞭解汙染排放源與空氣品質之關係。衡量空氣汙染預測模式一般來說有三，分別是擴散函數估計、受體模式估計與空間內插函數推估。三種模式之特性如下說明：

### 一、擴散模式 (Dispersion Model)

擴散模式是學理上發展較為完整的方法，主要利用各產業的排放強度配合氣候、地形等因子推估汙染源對環境的影響。在擴散模式中最常見的理論為高斯擴散模式，其基本假設為汙染物質呈現高斯分布 (Gaussian Distribution)，其汙染源為連續性排放型態，汙染物質符合質量守恆定律、彼此不發生化學變化，大氣層處於穩定狀態，以及高斯模式下推估之濃度為平均濃度(曹慈容, 1997)。而影響汙染擴散濃度的因素，除了與汙染物排放量之多寡有關外，風速、風向、溫度、濕度等氣象條件以及周圍建築物型態、高度和道路寬度等環境條件，亦與擴散濃度有關。

高斯擴散模式之基本數學式如(2-1)所示：

$$C(X, Y, Z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z\mu} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \times \left[ \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{Z-H}{\sigma_z}\right)^2\right) + \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{Z+H}{\sigma_z}\right)^2\right) \right] \quad (2-1)$$

式中， C：單位時間汙染物平均濃度( $\text{g}/\text{m}^3$  或  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )，

Q：汙染源強度( $\text{g}/\text{sec}$ )

X,Y,Z：汙染源的三度空間坐標(m)

$\mu$ ：平均風速( $\text{m}/\text{sec}$ )

$\sigma_y$ 、 $\sigma_z$ ：y 及 z 方向的擴散係數(m)

H：汙染源有效高度(m)

Z：預測點之垂直高度(m)

## 二、受體模式 (Receptor Model)

受體模式是利用受體點收集到的空氣懸浮微粒，量測物理或化學特性，即污染源留下的指紋 (Fingerprint)，清楚鑑定指紋以區分受體點污染物的來源。其分析原理係經由受體點之污染物組成與污染源組成物的共同特性，以質量守恆與數學統計方法推估污染源之貢獻量 (曹慈容，1997)。在受體模式下，基本假設為污染物的物理化學特性維持不變，污染物間不發生化學反應，採樣與分析的誤差呈隨機分布，污染物排放至大氣後即呈均勻分布，各污染源排放污染物之化學組成不同，以及各污染源有特定追蹤元素。

常見之受體模式是採取化學質量平衡法 (Chemical Mass Balance, CMB) 進行空氣品質之評估。化學質量平衡法模式為定量的分配模式，其基本原理是假設在污染源排放出的懸浮微粒中，其物種在傳送到受體點至被收集的過程中為質量守恆 (蘇建中，2000)。其數學表示式如 (2-2) 所示：

$$C_i = \sum_{j=1}^p \alpha_{ij} F_{ij} S_j \dots\dots\dots(2-2)$$

式中， $C_i$ ：受體點 i 的濃度

$\alpha_{ij}$ ：i 元素在傳送過程中生成或移出作用的係數

$F_{ij}$ ：第 j 個污染源排放 i 元素的質量分率

$S_j$ ：第 j 個污染源貢獻量

目前運用化學質量平衡法的相關研究，包括分析都會區與工業區的污染物來源及貢獻量、探討大氣懸浮微粒之污染來源以及分析交通空氣品質監測站污染等。因此，以化學質量平衡法評估空氣品質可充分模擬出污染來源及特性。

## 三、空間推估法 (Spatial Interpolation)

一事物之現象若能以特定統計空間結構表示，則稱為區域化 (Regionalized)。若  $Z(x)$  定義為位置  $x$  的隨機量測值，則  $Z(x)$  稱為區域化變數 (Regionalized Variable) (張永欣，2007)。空間推估法之基本原理乃利用已知值的點推估其他各點的值，所推估各點的值為區域化變數。而利用空氣監測站資料推求區域空氣污染源分布，一般常見之空間推估方法包含距離反比內插法 (inverse distance method) 與克利金插值法 (kriging)

method)。

(一) 距離反比內插法 (inverse distance method)

距離反比內插法係各點的估值受到該點到已知點距離的影響，其加權方式為距離次方的倒數。利用此法所內插出來的結果，其值介於已知值的最大與最小值之間。其數學表示式如 (2-3) 所示：

$$z_p = \frac{\sum_{i=1}^n w_i z_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \dots\dots\dots (2-3)$$

$$w_i = \frac{1}{d^k}, \quad k=1,2,\dots$$

目前在大氣空氣品質研究領域的範疇當中，國內翁淑貞 (1992) 為瞭解台北都會區空氣品質水準對住宅價格之影響，利用距離反比內插法搭配 Genamap 地理資訊軟體，以環保署空氣品質測站資料，模擬出台北都會區空間面污染分布，進而獲取各村里之總懸浮微粒濃度；吳錫政 (1995) 為估算人們對空氣品質改善的願付價格，利用內插法配合 ARC/INFO，以各縣市環保局空氣品質測站資料，模擬出台北都會區等值線圖，再利用 AutoCAD 軟體計算出各村里之總懸浮微粒濃度；沈恆立 (2006) 為評估台北市空氣品質經濟效益，利用 GIS arcview 軟體方法，以行政院環保署和台北市環保局之空氣品質測站之污染濃度為依據，模擬出涵蓋台北市之懸浮微粒與總懸浮微粒濃度值，再據以計算其個別污染濃度值。

(二) 克力金插值法 (kriging method)

克力金插值法源自 1950 年代地質統計學 (Geostatistics) 的應用與發展，在發展之初主要用於空間插值或推估，亦即一種藉空間已知觀測點為推估基礎，對鄰近未知點以統計學模式求得最佳線性不偏推估 (Best Linear Un-biased Estimate) 的方法，並將資料之分布由點擴充到面，其最佳化之目標函數為插值誤差最小化 (林界宏，1998)。簡易克力金數學規劃模式表示如 (2-4) 所示：

$$Min \quad Var(\hat{Z}(x_0) - Z(x_0)) = E \left\{ \left[ \sum_{i=1}^n \lambda_i (y_i - m_i) - (y(x_0) - m_0) \right]^2 \right\}$$

..... (2-4)

式中， $x_0$ ：無觀察值而欲進行插值之座標



$y_i$ ：均值或現有之測值

$m_i$ ：平均數

$\lambda_i$ ：克力金權重因子

$\hat{Z}(x_0) = \sum \lambda_i (y_i - m_i)$  之線性組合為克力金插值之依據。因此可由實際相關係數與距離之散佈點，迴歸適宜之模式。

以克力金插值法研究空氣品質之文獻，國內陳佳惠（1997）分別以線性克力金和非線性克力金插值法分析中部地區未設空氣品質監測站處的可能臭氧濃度值，並且採用地理資訊系統繪製研究區內臭氧之分布情形；李姍玫（1998）以克力金法結合地理資訊系統評估大台北地區之空氣品質監測站最適測站數、各測站影響範圍與重要性等研究。

由上可知，這三種模式中受體模式主要用於評估排放源和受體間濃度的方法，而擴散模式與空間推估法係評估研究區域內污染源分布情形。三者之差異在於，擴散模式需有完整的氣象資料、地形資料及污染源排放量資料，才得以模擬特定地區空氣污染物的時空分布，而此法之正確性與準確度取決於資料之正確度與完備性；受體模式則是根據受體點所量測污染物特性，配合污染源特徵組成資料，用統計方法評估受體點所接受的不同行業別污染源的貢獻量（盧梅芳，2001）；空間推估法乃利用現有空氣品質測站實際監測資料，以數學統計中之插值方法估算出區域內其他未知點之污染濃度。

若要描述一區域內空氣品質之狀態，最好方法是求得整個區域內每一點之污染物濃度，並繪製出污染物濃度分布趨勢圖或等濃度線圖（曾宇代，1999）。而本研究為探討捷運營運前與營運後台北市區內空氣品質狀態是否有所改善，可採用擴散模式或空間推估法求得台北市空氣品質濃度，並且繪製污染濃度分布圖。但擴散模式較為複雜且參數繁多，再加上觀測資料之不足，常會影響推估結果之正確性（黃文政等，1997）；而空間推估法僅需空氣品質測站濃度資料即可模擬區域之濃度分布趨勢圖。是以，本研究將以空氣品質測站資料，利用空間推估法配合地理資訊系統，模擬台北市空氣污染源分布趨勢。

## 第五節 空間自相關分析之相關理論與文獻

從本章第二節可知，運輸設施之改變會帶動人口、產業之重分布，而人口與產業因素是影響空氣品質濃度變化的重要因素之一；又人口與產業所形成之不同都市空間結構會影響空氣品質之優劣。因此，若能取得人口、產業之空間分布變化型態與發展趨勢，將更有助於瞭解捷運、人口及產業三者之關係，進而得知人口與產業空間分布變化對空氣品質之影響程度。緣此，本研究採用空間自相關分析方法，結合地理資訊系統之空間輔助分析功能，以此取得產業與人口之時空分布變化。有關空間自相關分析之理論與應用領域茲述如下。

空間自相關(Spatial Autocorrelation)一詞按 Upton and Fingleton(1985) 定義為：「空間自相關是地圖資料的空間組織所呈現出來的特質，其特質為地圖上的空間所代表數值具有系統性與組織性的分布」，而系統性與組織性意指分布在空間上的地理現象，如果不是隨機分布，則是存在某種相互關係(朱健銘，2000)。空間自相關分析主要是為瞭解研究資料在空間現象的分布是否具有自相關性，亦即空間中存在的現象並非獨立存在，相鄰的空間單元彼此具有某種聚集或擴散的關聯，因此分析空間現象在空間分布是否具有相關性或隨機發生，稱之空間自相關分析。而近年來，隨著地理資訊系統技術的漸趨完善，相關的空間分析理論與方法學逐漸廣受重視；Anselin and Bera (1998) 即認為空間自相關的測試對於區域科學、不動產經濟學、都市及公共經濟學、農業與環境經濟學、交通經濟學、及地理經濟學等領域的相關研究皆相當重要。

在空間自相關分析方法上，按功能可分為全域型空間自相關 (Global Spatial Autocorrelation) 和區域型空間自相關 (Local Indicators of Spatial Autocorrelation) 兩種。全域型與區域型之空間自相關方法說明如下：

### 一、全域空間自相關 (Global Spatial Autocorrelation)

全域空間自相關主要衡量區域內每個空間單元之數值大小與區位關係，若區位相鄰的空間單元其數值大小相近，表示區域內存在空間自相關的關係。全域空間自相關的計算公式有 Joint count、Moran's I、Geary's C 等指標係數，其中以 Moran's I 指標係數最具有代表性(Cliff et al., 1981)。因此，本研究以 Moran's I 進行研究與說明，其全域空間自相關分析程序與方法說明如下(鄒克萬，2000；黃紹東，2004)：

(一) 建立區位相鄰矩陣

進行空間自相關分析法時，首先應建立區位相鄰矩陣，以此瞭解資料之空間關係。區位相鄰矩陣  $W_{ij}$  是經過列式標準化(row-standardize)的形式，矩陣內對角線為 0，非對角線為 1 的  $n \times n$  矩陣。經過列式標準化之矩陣  $W_{ij}$  如公式 (2-5) 所示。

$$W_{ij} = \frac{c_{ij}}{\sum_{j=1}^n c_{ij}}, \text{ for } i \neq j \dots\dots\dots (2-5)$$

其中， $c_{ij}$  為各個空間單元間的關係，即  $i$  與  $j$  ( $j=1,2,\dots,n$ ) 區空間單元之二元關係矩陣。當  $c_{ij}=1$  表示區位相鄰； $c_{ij}=0$  表示區位不相鄰。

在矩陣之建立方式上，可分為二種：

1. 以區位是否相鄰判定

利用分區界線是否重疊作為判別指標，亦即以各分區之界線重疊狀況來區分，重疊表示相鄰，不重疊表示不相鄰。

2. 以門檻距離判定

以空間中區域物件之直線距離關係與設定之門檻距離進行比較，在門檻距離內為相鄰，在門檻距離外稱之為不相鄰。

採用上述何種方式，需視個別研究目的與狀況而定，一般來說，多邊形大多採用「區位是否相鄰」建立矩陣，而點位資料多採取「門檻距離」建立之。

(二) Moran's I 值檢定

全域型 Moran's I 係數公式如 (2-6) 所示。

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=n} W_{ij}} \times \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=n} W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \bar{x})^2} \dots\dots\dots (2-6)$$

Moran's I 值結果介於-1 到 1 之間，當 Moran's I 值為正，代表空間屬性相似程度高，I 值愈大表示空間分布之相關性愈強；當 Moran's I 值為零，代表空間中各分區之屬性相似值和其他地區之空間相關位置

無關連性，亦即空間分布呈現隨機或不具規則性之狀態；當 Moran's I 值為負，代表空間相鄰地區之屬性不相似性程度高，亦即空間分布呈現負相關 (Anselin, 1995)。

由上可知，全域空間自相關之功能在於描述某現象之整體分布情形，判斷此現象在空間分布上是否具有某種程度的空間自相關而形成空間聚集特性。全域空間自相關雖可知道某現象之空間分布情形，但卻無法得知聚集在哪些區域；而區域空間自相關則可以確切指出聚集分布區位，其主要是因為區域空間自相關藉由統計顯著性的檢定方法，檢定聚集空間單元相對於整體研究範圍是否夠顯著，若顯著性大則代表該區域為現象空間聚集之地區 (Anselin, 1995)。本研究進一步說明區域空間自相關之方法。

## 二、區域空間自相關 (Local Indicators of Spatial Autocorrelation, LISA)

區域空間自相關主要是為衡量區域內空間聚集程度，並且找出空間聚集點 (spatial hot spot) 之所在區位。Anselin (1995) 歸納出各種區域空間自相關研究方法，整理出區域空間自相關分析 (LISA) 通式，如公式 (2-7) 所示：

$$\Gamma_i = \sum_j w_{ij} y_{ij} \dots\dots\dots (2-7)$$

式中， $\Gamma_i$  表示 i 點的空間自相關強度， $w_{ij}$  為 i 與 j 之空間關係，而  $y_{ij}$  為 i 與 j 之觀察式。

將區域空間自相關之結果配合地理資訊系統軟體，可將聚集情形具體呈現在空間範圍上，根據 LISA 值其結果有 H-H、H-L、L-L、L-H 之四種定義，如表 2-2 所示。假設觀察變數為人口時，當  $\Gamma_i$  為正且 i 地區之人口比總平均人口高時，代表高人口數之地區被高人口數之地區圍繞；當  $\Gamma_i$  為正且 i 地區之人口比總平均人口低時，代表低人口數之地區被低人口數之地區圍繞；當  $\Gamma_i$  為負且 i 地區之人口比總平均人口高時，代表高人口數之地區被低人口數之地區圍繞，亦即人口空間分布呈現多寡分區相間之情形；當  $\Gamma_i$  為負且 i 地區之人口比總平均人口低時，代表低人口數之地區被高人口數之地區圍繞，即人口空間分布呈現多寡分區相間之情形。

表 2-2 LISA 值說明表

LISA	類型	相關性	聚集情形
H-H	高-高	正相關	高人口數之聚集
H-L	高-低	負相關	人口分布多寡分區相間
L-L	低-低	正相關	低人口數之聚集
L-H	低-高	負相關	人口分布多寡分區相間

資料來源：Anselin (1995)

綜上所述，全域空間自相關方法可知某現象之相關性強度，進而得知其在空間上是否呈現空間聚集或隨機分布之狀態；而透過區域空間自相關方法可進一步取得某現象在空間上聚集分布之所在區位。目前國內有相當多文獻使用空間自相關方法進行研究，如表 2-3 所示，其應用領域包括有土地利用型態、土地價格、人口分布、產業分布、住宅價格等相關研究，其他在自然、流行病學、遙測學、生態學等領域亦有不少研究（朱健銘，2000）。本研究為瞭解產業、人口空間分布特性及其變化是否影響空氣品質濃度，因此，將使用 Moran's I 係數測試方法判斷產業和人口在空間上聚集程度，並且利用區域空間自相關分析（LISA）圖了解聚集所在區位。

表 2-3 國內使用空間自相關之相關文獻

研究者	研究時間	測試方法	研究內容
朱健銘	2000	Moran's I, Getis	測試雲林縣之土地利用空間分布特性，並分析水產養殖土地利用空間聚集強度與空間變遷
鄒克萬	2000	Moran' I	以 Moran' I 數值大小分析區域計畫實施前後，各縣市地區人口時空變化的型態
陳慈仁	2001	Moran's I, Getis	探討台北市軟體業與網際網路服務業者空間分布特性與空間分布發展趨勢
張秀玲	2001	Moran's I, LISA	劃分台南市東區、中區與西區來建構地價空間擴張預測模型與推估各估價區內之土地價格
謝純瑩	2002	Moran's I, LISA	以台灣中部地區進行人口老化空間分布型態變遷之實證研究
游淑慧	2003	Moran' I	採用 1991、1996、2001 工商普查資料的製造業廠商，以區域產業資料型態，瞭解產業間的動態關係
曾昭玲、朱真慧	2004	Moran' I	利用空間分析理論探討台灣本島證商家數是否存在空間相依之關係
黃聖鋒	2004	Moran' I	以 1991、1996 及 2001 年工商普查資料，觀察服務業及製造業的平均薪資在空間上是否有相關性
黃紹東	2004	Moran's I, LISA	以台南市東區進行住宅價格空間自相關測試
艾兆蕾	2005	Moran's I, LISA	以台灣地區鄉鎮間變數探討住宅價格在空間上是否存在空間相關
呂達雄	2008	Moran's I, LISA	探討台灣就業市場的失業率與勞動參與率在空間分布是否存在聚集現象
紀凱婷	2008	Moran's I, LISA	以台北市建商推案樣本，探討新推個額是否存在空間和時間相依性

資料來源：引自黃紹東（2004）、艾兆蕾（2005）與本研究整理

## 第六節 小結

乾淨的空氣是人類追求健康和生命安全的基本需求，然而在快速的工業化與都市化現象下，人口、車輛伴隨工商業發展快速成長，致使空氣污染日益嚴重，其產生的負面影響涉及人類社會、生物多樣性、生態環境等各個層面，影響範圍亦從區域性轉變成全球性問題。依據文獻回顧可知，空氣污染肇因於自然環境運作或人為燃燒燃料所產生，當空氣污染濃度較低時，對正常人健康不致產生太大影響；當空氣污染濃度高時，將會引發呼吸道疾病。以目前國內主要空氣污染物—懸浮微粒和臭氧，兩者皆會對人體健康產生大小不一的影響程度，輕者對人體眼鼻產生刺激性，重者將引發呼吸道疾病和心血管死亡等。因此，降低懸浮微粒和臭氧的濃度值將能減緩呼吸道疾病的發生率，進而達成人類健康之目標。由前述文獻可知，臭氧是二次性污染物且在組成過程中較為複雜，而懸浮微粒組成因子較臭氣單純，故本研究選取懸浮微粒作為空氣污染之污染變數。

欲改善空氣污染問題，需先瞭解影響空氣品質之因素。若排除自然界不可抗拒之因素，人為產生空氣污染之原因來自於都市不斷地向外擴張、蔓延，造成都市發展不當、能源消耗遽增；發展高耗能、高污染的產業；人口急遽成長，造成旅行次數增加；運具使用不當，且機動車輛排放廢氣管制不當；以及能源使用不當。在這些影響空氣污染之因素中，可歸納出旅行次數、車行里程數與能源消耗是造成空氣品質惡化的主要原因。

由過去文獻可知，全球的空氣污染有超過四分之三來自於運輸部門(陳賓權, 1998)。因此在降低空氣污染之解決方式上包括有，實施都市成長管理、發展大眾運輸導向、緊密都市、實施運輸系統管理策略、清潔燃料等方法，其中又以結合大眾運輸系統導向的緊密都市發展型態成為近年來都市中的新規劃政策(Pemer, 2001)。藉由高密度集合住宅、就業與購物中心之開發，將能大幅度提昇民眾使用大眾運輸系統的方便性，減少旅行次數，降低私人運具之使用，進而降低能源消耗量，改善都市之空氣品質。大眾運輸導向發展雖能改善空氣品質，但運輸設施的興建亦會帶動人口、產業與活動區位的重新分布；當運輸建設帶動的可及性提高，促使都市活動頻繁時，在過去研究中少有探討到大眾運輸所帶來的效益是否隨著人口與產業活動的增加使空氣品質惡化。基此，本研究將以台北市為例，以懸浮微粒為空氣污染變數，透過空間推估方法結合地理資訊系統，取得捷運營運前後之懸浮微粒濃度分布變化情形，並且利用空間自相關方法分析捷運營

運前後人口、產業在空間上之分布型態與發展趨勢，進而探討人口與產業的分布型態及其變化對空氣品質之影響；最後再佐以迴歸分析方法得知產業、人口、運輸三者對空氣品質之影響程度。本研究希望能藉由空間分析法和實證分析法，取得各變數之空間相關性與影響程度，進而瞭解大眾運輸系統對空氣品質之整體影響程度，從而提出淨化空氣品質之建議。



## 第三章 台北市都市發展與空氣品質變化分析

區域空氣品質與該地區的都市發展背景息息相關，當都市經濟快速發展，促使人口、產業大量往都市聚集，伴隨而來的是都市機動車輛急遽增加、能源消耗的增加與都市綠地的縮減。都市不斷發展的結果，造成空氣品質惡化，形成都市空氣汙染等環境問題。因此，欲瞭解捷運、人口及產業三者對空氣品質之影響程度，需先瞭解該都市的發展背景。故本章首先分析台北市整體都市發展背景與影響空氣品質相關變數之歷年變動趨勢，以此說明台北市各項資料與年平均空氣品質之間的變化關係；其次分析捷運營運前後台北市年平均懸浮微粒濃度變化情形，藉以瞭解捷運營運與區域空氣品質之變化關係；在第三節分析產業、人口與空氣品質之相互關係，以此瞭解捷運營運前後產業和人口之空間分布變化對空氣品質之影響程度。

### 第一節 台北市都市發展背景分析

台北市是台灣的首善之都，為政治、經濟、文化與教育等之核心，自 1884 年建城後發展至 2006 年底為止，總面積計有 271.7997 平方公里，人口達 2,632,242 人，每平方公里人口密度為 9,684 人，人口稠密度高居全台第二。在產業發展方面，1991 年至 2006 年台北市農業部門<sup>3-1</sup>就業人口比率由 0.87 % 降至 0.21 %；工業部門<sup>3-2</sup>就業人口比率由 27.66 % 降至 19.45 %；服務業部門<sup>3-3</sup>就業人口比率由 71.47 % 成長至 80.34 %，其顯示台北市經濟活動以第三級產業（服務業）為主要產業結構。在都市交通方面，從 1991 年至 2006 年，台北市機動車輛數由 1,148,812 輛增加至 1,777,903 輛，平均每平方公里 6,541 輛，加上鄰近台北市縣民眾到台北市上班、上課使用的機動車輛，使得空氣汙染負荷相當沉重（張順欽，2006）。由上可知，台北市在都市發展的過程中，隨著經濟不斷成長、都市活動力增強，促使人口、產業聚集，機動車輛數量增加，遂引發空氣汙染、交通壅塞、環境品質下降等問題。

大眾運輸導向策略被視為改善空氣汙染、交通壅塞、引導都市人口和

---

<sup>3-1</sup> 農業部門包括農林漁牧業。

<sup>3-2</sup> 工業部門包括礦業及土石採取業、製造業、水電燃氣業、營造業。

<sup>3-3</sup> 服務業部門包括批發及零售業，住宿及餐飲業，運輸、倉儲及通信業，金融及保險業、不動產及租賃業，專業、科學及技術服務業，教育服務業，醫療保險及社會福利服務業，文化、運動及休閒服務業，其他服務業，公共行政業。

產業發展的政策之一，而台北捷運自 1996 年正式營運至 2006 年底為止，搭乘人數由日平均三萬人次旅運量增加至每日超過一百萬人次，載客量隨著捷運路網的形成快速成長。台北市大眾運輸政策對空氣品質是否真能帶來淨化效果，需探討相關之空氣污染變數，因此，本研究以陳美智（2007）提出的都市空氣污染變數（開發土地面積、勞動力、居住人口、機動車輛數、污染氣體排放量、綠覆蓋面積）為基礎，選取部分相關變數並且增加影響空氣品質之相關變數（道路長度與道路面積、大眾捷運搭乘率、公園綠地面積）進行探討，各項污染變數之歷年變化說明如下：

## 一、產業就業員工數

依據第二章第二節文獻回顧指出，產業發展過程需燃燒煤炭、石油等化石燃料才得以發展產業，在能源消耗的同時會影響整體空氣品質。但根據台北市年鑑（2006）可知，目前台北市產業結構以三級產業為導向，其產生的污染源相較於二級產業排放的污染量少，又根據環保署污染排放量資料庫推估可知，台北市除了都市垃圾焚化廠外，無重大固定污染源（環保署，2008），此表示目前台北市發展之產業多屬無污染性產業。因此，產業引發的空氣污染主要來自於就業人口的交通通勤旅次所排放之污染源；當地區的就業人口數持續增加，產生之通勤旅次數愈多，空氣污染便益加惡化。

圖 3-1 為台北市 1991 年至 2006 年二、三級產業就業員工數之變化。台北市就業員工數由 1991 年的 1,387,727 人增加至 2006 年的 1,707,827 人，員工數共增加 320,100 人，每五年平均成長率為 7.18 %。由圖中可知，台北市就業員工數有持續上升之趨勢，而隨著員工數的上升、通勤旅次的增加，推測台北市空氣品質可能有惡化之情形。

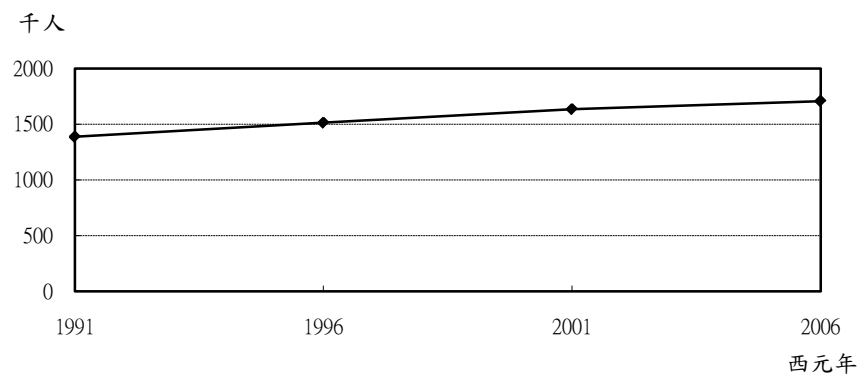


圖 3-1 台北市 1991~2006 年工商及服務業就業員工數

資料來源：行政院主計處工商及服務業普查資料

## 二、人口數

依據第二章第二節文獻回顧指出，人類生活為滿足各項活動需求，需在空間區位上移動，因而產生旅次需求；當都市內的活動愈頻繁、人口愈多，產生之交通旅次數亦愈多，引發之空氣汙染亦愈加嚴重。因此，探討台北市各行政區人口數和總人口數之歷年變化，有助於瞭解空氣品質的變化趨勢。

圖 3-2 為台北市 1991 年至 2006 年各行政區人口數之變化。在十二行政區中，文山區和內湖區之人口數呈現逐年增加之趨勢；北投區之人口數變化呈現先下降後緩慢上升之狀態；松山區和南港人口數呈現穩定發展狀態；中山區和士林區之人口數呈現先下降後趨穩定發展之趨勢；而信義區、大安區、中正區、大同區和萬華區之人口數則是呈現下降之趨勢，尤其大安區和萬華區之人口下降幅度最多。

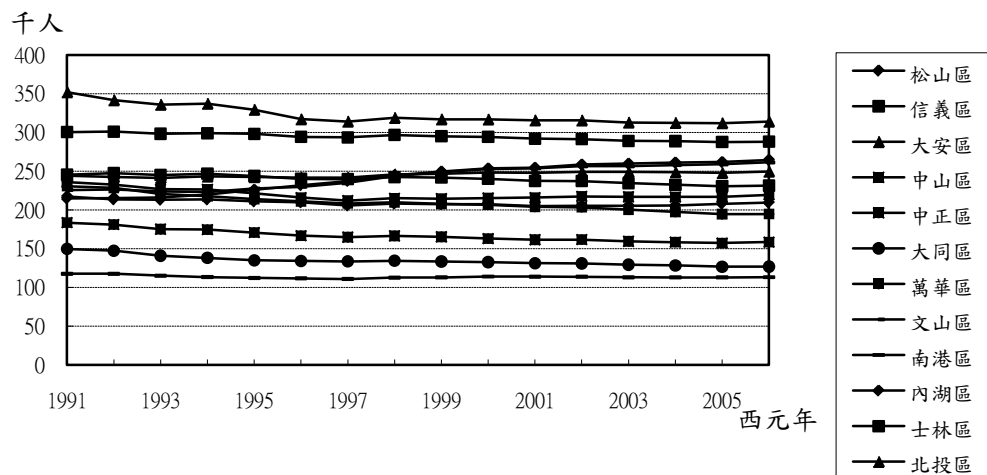


圖 3-2 台北市 1991~2006 年各行政區人口數

資料來源：台北市民政局

瞭解各行政區人口數變化後，由圖 3-3 可知台北市 1991 年至 2006 年總人口數之整體變化。台北市人口數除 1997 年至 2000 年、2001 年至 2002 年以及 2005 年至 2006 年呈現上升趨勢外，其餘各年人口數皆呈現下降趨勢；人口數自 1991 年的 2,717,992 人下降至 2006 年的 2,632,242 人，年平均成長率為-0.20%。整體而言，台北市人口數呈現穩定發展狀態。

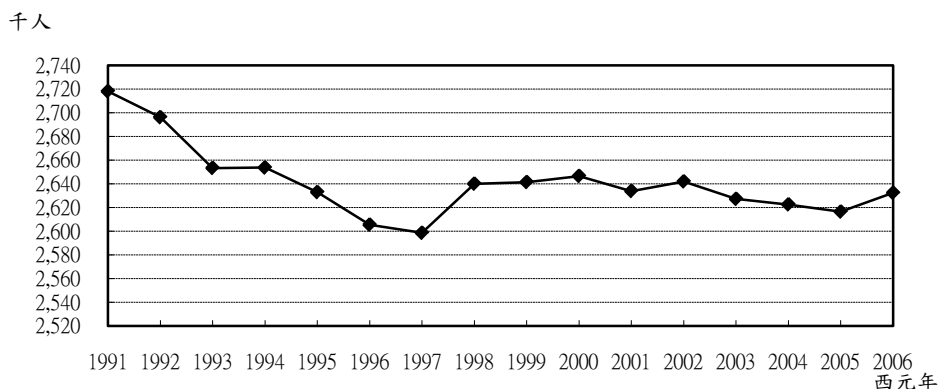


圖 3-3 台北市 1991~2006 年總人口數

資料來源：台北市民政局

### 三、機動車輛數

研究指出都市空氣汙染程度是由都市活動的機動車數量、行駛里程數、機動車汙染氣體排放係數所決定(Ghose et al., 2004; Marshall et al., 2005)，又張順欽(2006)研究台北市 1994 年至 2003 年空氣品質變動情形指出，目前台北市空氣汙染主要來自機動車輛的排放。因此，欲探討台北市空氣品質之變化程度，應從台北市機動車輛數之變化著手。

圖 3-4 為台北市 1991 年至 2006 年機動車輛登記數之變化趨勢圖。截至 2006 年底為止，台北市汽、機車數量分別超過七十萬輛和一百萬輛，機動車輛總計超過一百七十五萬輛，汽、機車年平均成長率分別為 2.47 % 與 3.59 %。若以 1999 年為時間點分析機動車輛年平均成長率可發現，1991 年至 1998 年機動車輛年平均成長率 4.75 %；1999 年以後年平均成長率僅 1.45 %，1999 年前後年平均成長率相差超過 3 %。推測原因乃 1999 年底新店線及南港板橋線完工通車，提高捷運沿線可及性，吸引民眾由原先使用機動車輛改為搭乘捷運；加上 2000 年底台北市內捷運已全線完工通車，更加速了人們往來各地的便捷性，相較之下使用機動車輛的需求降低，因而造成機動車輛的成長幅度下降。

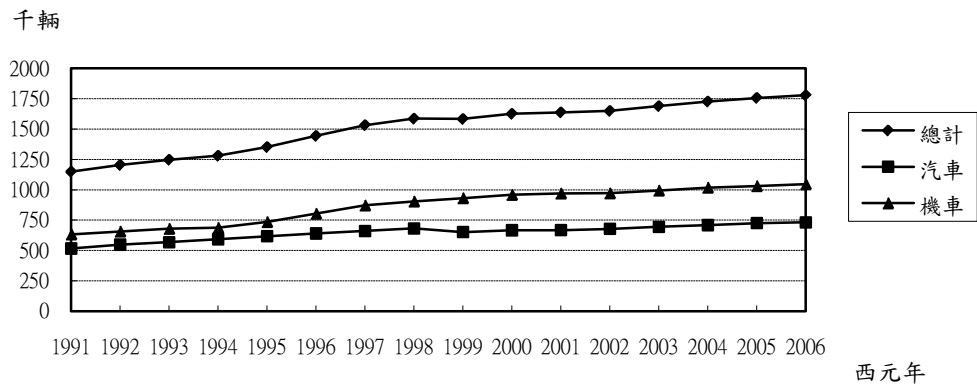


圖 3-4 台北市 1991~2006 年機動車輛數

資料來源：台北市交通統計年報，2007

#### 四、道路長度及道路面積

黃耀輝（1999）指出道路長度和道路面積會影響空氣品質之變化，因為道路長度愈寬廣，表示可容納的車輛數愈多，引發之交通空氣汙染亦愈多。因此，瞭解道路長度和道路面積歷年變化趨勢，有助於分析區域空氣品質之變化。

圖 3-5 為台北市 1991 年至 2006 年道路總長度和總面積之變化趨勢。台北市道路總長度由 1991 年的 1,420.018 公里增加至 2006 年的 1,540.183 公里，年平均增加率為 0.54 %；道路總面積由 1991 年的 18.521 平方公里增加至 2006 年的 20.869 平方公里，年平均增加率為 0.79 %，道路總面積增加幅度較道路總長度多。由圖中可知，隨著道路長度和道路面積緩慢的增加，空氣品質可能有惡化之現象。

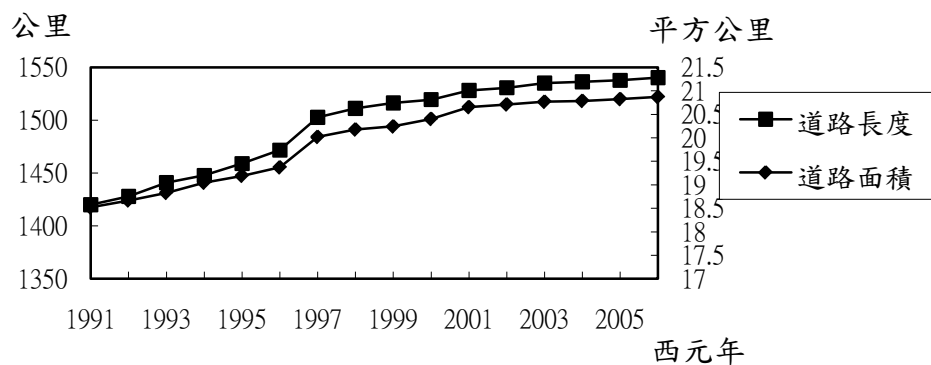


圖 3-5 台北市 1991~2006 年道路總長度和總面積

資料來源：台北市交通統計年報，2007

## 五、大眾捷運搭乘率

Miller and Hoel (2002) 指出當大眾運輸系統之年載容量增加，人們使用機動車輛之機會降低，家戶擁有機動車輛數量與行駛里程數也因此降低，此種直接由降低污染源排放機會的方式來降低空氣污染的程度，是當前普遍受到全球都市重視的一項空氣污染防治政策（陳美智，2007）。因此欲瞭解捷運營運對空氣品質的影響程度，應先分析歷年捷運之載客量。

圖 3-6 為台北市 1996 年至 2006 年大眾捷運日平均旅次數。自 1996 年 3 月 28 日捷運通車以來，平均每日載客量超過三萬人次，加上 1999 年底捷運雙十路網的初步完工通車，日平均載客量更提高至七十三萬人次。隨著捷運路網的興建完工與捷運轉乘公車系統的完善措施，至 2006 年底平均每日搭乘人數超過一百萬人次。透過歷年捷運旅次趨勢圖可知，除 2002 年到 2003 年日平均載客量些微降低外，其餘各年旅次數皆呈現上升趨勢，此表示隨著捷運旅次數不斷的成长，可能降低機動車輛的使用率，促使台北市空氣品質可能有改善之現象。

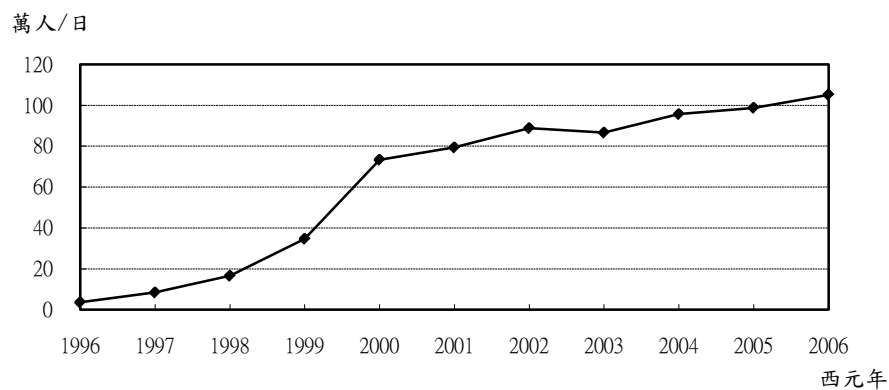


圖 3-6 台北市 1996~2006 年大眾捷運日平均旅次數

資料來源：台北市交通統計年報，2007

## 六、公園綠地面積

依據第二章第三節文獻回顧指出，綠色植物具有美化環境、提供人們休憩場所與淨化空氣品質之功能。而陳美智（2007）更進一步指出，綠帶或綠地走廊保護區對於整體環境水文系統之平衡、空氣品質提昇、地區微氣候調節等方面均有很大的助益。此外，台灣永續發展指標現況（2007）亦指出，當每人享有的公園綠地面積愈大，反映出都市生活環境品質愈優良，對於都市邁向永續發展愈有助益。因此，瞭解台北市公園綠地歷年變化趨勢，有助於分析區域空氣品質之變化程度，亦有助於瞭解都市之永續

性。

圖 3-7 為台北市 1991 年至 2006 年公園綠地面積之變化趨勢。台北市公園綠地面積由 1991 年的 925.997 公頃增加至 2006 年的 1,324.698 公頃，換算成每位市民享有的公園綠地面積，平均每一市民享有的面積由每人 3.44 平方公尺增加為 5.03 平方公尺，年平均增加率為 2.59%。由圖中可知，隨著公園綠地面積的增加，台北市空氣品質可能有改善之現象。

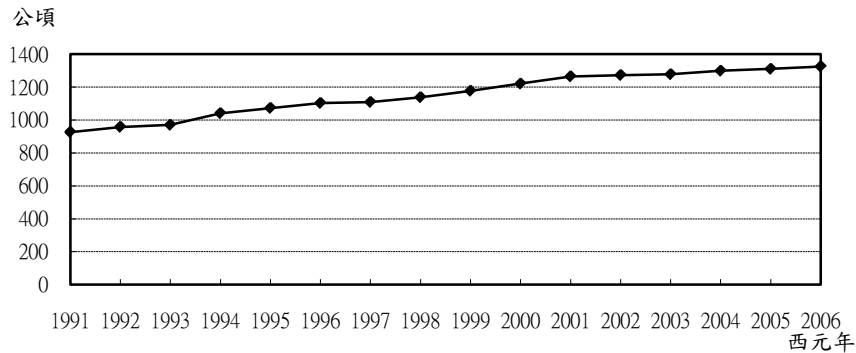


圖 3-7 台北市 1991~2006 年公園綠地面積

資料來源：台北市工務統計年報，2007

綜合上述空氣污染相關變數之趨勢變化分析可知，台北市之就業員工數、機動車輛數、道路長度和道路面積、大眾運輸搭乘旅次數以及公園綠地面積皆呈現持續上升之趨勢，僅人口數之年平均增加率呈現負成長。就業員工數、機動車輛數、道路長度和道路面積這四項污染變數的增加，將使得台北市空氣品質產生惡化現象；人口數的下降，大眾運輸搭乘旅次數和公園綠地面積的增加，則會改善台北市空氣品質。台北市之空氣品質是否會隨著大眾運輸搭乘率的高度成長，使人們減少使用機動車輛次數，進而使懸浮微粒濃度下降、空氣品質提昇呢？本研究於第二節分析台北市歷年懸浮微粒濃度變化，以及捷運營運前後空氣品質之變化情形。

## 第二節 台北市空氣品質變化分析

根據環保署空氣汙染排放量資料庫顯示，台北市除三大都市垃圾焚化廠外，無重大固定汙染源，因此，都市空氣汙染係主要來自於機動車輛的排放。是以，欲瞭解捷運建設是否能降低機動車輛的使用，進而改善都市空氣品質，在本節中首先分析各年懸浮微粒濃度之空氣品質變化，其次利用地理資訊系統（GIS）空間分析法模擬台北市懸浮微粒濃度分布情形，並比較捷運營運前後空氣品質之變化，以此瞭解捷運對空氣品質之影響程度。

### 一、年平均懸浮微粒空氣品質變化

依據第二章第一節文獻回顧指出，懸浮微粒主要來自於道路揚塵、車輛排放廢氣、露天燃燒、營建施工及農地耕作等，又根據環保署 2003 年<sup>3-4</sup>空氣汙染縣市排放量資料庫指出，台北市懸浮微粒排放量中以營建/道路揚塵和車輛排放最多，分別占懸浮微粒排放量 43 % 和 28 %，商業排放第三，占 17 %；張順欽（2006）亦指出台北市懸浮微粒排除大陸沙塵暴和二次氣膠，主要來自於機動車輛所產生的原生汙染源。因此，欲瞭解捷運營運是否能改善都市空氣品質，應先分析歷年空氣品質之變化趨勢。

圖 3-8 為台北市 1995 年至 2006 年懸浮微粒濃度值之趨勢變化。台北市懸浮微粒濃度由 1995 年的  $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$  降低至 2006 年的  $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，懸浮微粒年平均降低 2.44%。由趨勢圖中可知，除了 2002 年至 2003 年<sup>3-5</sup>空氣汙染大幅度的降低外，其餘各年空氣汙染皆緩慢降低。整體而言，台北市懸浮微粒濃度有逐漸下降之趨勢。

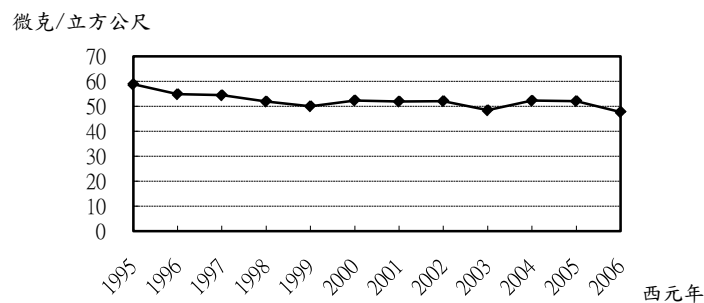


圖 3-8 台北市 1995~2006 懸浮微粒濃度值

<sup>3-4</sup> 環保署空氣汙染排放量以 2003 年為基準年進行各汙染量之統計。

<sup>3-5</sup> 台北市年平均懸浮微粒濃度採用行政院環保署和台北市環保局之一般測站和交通測站之資料計算，唯 2003 年大同交通測站之測值不列入統計，故該年平均值有偏低之情形。



資料來源：行政院環保署、台北市環保局

## 二、捷運營運前後空氣品質變化分析

為瞭解捷運營運前後都市空氣品質之變化差異，本研究以行政院環保署和台北市環保局之監測站資料，利用GIS空間分析—內插法模擬台北市年平均懸浮微粒濃度<sup>3-6</sup>的分布，以此分析1995年、1996年、2001年和2006年四個年度<sup>3-7</sup>各區域懸浮微粒濃度之變化。各年度懸浮微粒變化情形說明如下：

### (一) 1995年台北市年平均懸浮微粒變化情形

圖3-9為1995年之年平均懸浮微粒濃度分布圖，其年平均懸浮微粒為 $59\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。由圖中可知，懸浮微粒濃度最高的地區主要位在中山區、大同區和中正區，尤其在三行政區交會處之台北車站周邊的濃度值最高，周邊濃度約在 $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上；懸浮微粒濃度次高的地區在士林區劍潭、士林一帶之士林夜市周邊，濃度約在 $70\sim 80\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間；懸浮微粒濃度第三高的地區位在大安區、中正區附近之公館一帶，濃度約在 $65\sim 75\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間。懸浮微粒濃度值最低的地區位在文山區，濃度約在 $45\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下；懸浮微粒濃度次低的地區則在北投區北端陽明山一帶，濃度約在 $45\sim 55\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間。

由上述分析可知，懸浮微粒濃度較高的行政區大多是交通流量較大的地區，因此，空氣品質不佳；懸浮微粒濃度較低的地區因區內交通流量較少且臨近山區，綠色植物會淨化空氣品質，因此空氣品質相對較好。整體而言，除文山區和北投區外，其餘行政區之空氣品質不佳。

### (二) 1996年台北市年平均懸浮微粒變化情形

圖3-10為1996年捷運路線和年平均懸浮微粒濃度分布圖，其年平均懸浮微粒為 $55\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。由圖中可知，懸浮微粒濃度最高的地區主要位在中山區、大同區和中正區交會處之台北車站周邊，以及內湖區、南港區交會處一帶，兩區周邊濃度約在 $70\sim 85\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間；懸浮微粒

<sup>3-6</sup> 因為空氣具有流動性，台北市外圍地區空氣品質易受到台北縣空氣品質的影響，因此在模擬台北市懸浮微粒時，除了加入台北市的測站資料，並加入台北縣測站進行空間內插法之計算，最後再擷取出台北市範圍進行分析。

<sup>3-7</sup> 1995年、1996年、2001年以及2006年分別代表捷運營運前一年、營運當年、營運後五年和營運後十年。

濃度次高的地區在士林區劍潭、士林一帶之士林夜市周邊，濃度約在  $65\sim 75\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  之間。懸浮微粒濃度值最低的地區位在文山區，濃度約在  $45\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  以下；懸浮微粒濃度次低的地區在北投區北端之陽明山一帶，濃度約在  $45\sim 55\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  之間。

台北捷運於該年 3 月正式通車，透過懸浮微粒濃度圖可知，捷運通車對中山區、松山區和大安區之年平均濃度值有些微改善之趨勢，但因只有木柵線全線通車，對旅客之便捷性不高，因此捷運對台北市空氣品質之影響程度不大。

綜合上述分析可知，懸浮微粒濃度較高的地區仍發生在交通流量較大的行政區，懸浮微粒濃度較低的地區位於交通流量較少且臨近山區的區域。整體而言，捷運營運對部分行政區空氣品質有些微影響，但對台北市整體空氣品質的影響程度不甚明顯。

### (三) 2001 年台北市年平均懸浮微粒變化情形

圖 3-11 為 2001 年捷運路線和年平均懸浮微粒濃度分布圖，其年平均懸浮微粒為  $52\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。懸浮微粒濃度最高的地區主要位在士林區士林、劍潭一帶之士林夜市周邊，濃度約在  $75\sim 90\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  之間；懸浮微粒濃度次高的地區位在中山區、大同區和中正區交會處之台北車站周邊，濃度約在  $70\sim 80\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  之間。懸浮微粒濃度值最低的地區在文山區和北投區北端之陽明山一帶，兩區濃度值約在  $45\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  以下。

台北市區內之捷運路線隨著捷運淡水線、新店線、板橋線和南港線的陸續通車，捷運搭乘人數逐漸增加，至 2000 年 12 月底台北市內捷運已全線完工通車。比較圖 3-10 和圖 3-11 可發現，松山區、大安區、信義區、內湖區和南港區懸浮微粒濃度有明顯的下降趨勢，亦即空氣品質較 1996 年好；中山區和中正區懸浮微粒濃度雖然偏高，但有緩慢下降之趨勢。

由上述分析可知，懸浮微粒濃度較高的地區仍發生在交通流量較大的行政區，懸浮微粒濃度較低的地區則位於交通流量較少且臨近山區的區域。捷運行經的行政區，除士林區、中山區、大同區之懸浮微粒濃度仍偏高外，其餘行政區之懸浮微粒有逐漸改善之情形。整體而言，空氣品質有逐漸提昇之趨勢。

### (四) 2006 年台北市年平均懸浮微粒變化情形

圖 3-12 為 2006 年捷運路線和年平均懸浮微粒濃度分布圖，其年平均懸浮微粒為  $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。懸浮微粒濃度最高的地區在內湖區，濃度約在  $60\sim 65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  之間；懸浮微粒次高的地區在信義區、士林區士林、劍潭一帶之士林夜市周邊，以及北投區之南端，濃度約在  $45\sim 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  之間。懸浮微粒濃度值最低的地區在北投區北端之陽明山一帶，濃度約在  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  以下。其餘行政區之懸浮微粒濃度大致相同。

透過圖 3-12 可發現，在台北市內捷運全線通車之六年後，中山區、大同區和中正區交會處之台北車站周邊懸浮微粒濃度值有顯著下降之情形，而士林區之懸浮微粒亦有所改善，文山區、信義區之懸浮微粒濃度則有偏高之趨勢。整體而言，相較於 2001 年之懸浮微粒濃度值，2006 年台北市之空氣品質已明顯改善，且各行政區之懸浮微粒濃度值相似。

綜觀上述 1995 年到 2006 年懸浮微粒之變化，比較圖 3-9 至圖 3-12 可發現，1995 年空氣品質最差之行政區主要落在大同區、中山區、中正區和士林區，其懸浮微粒濃度高達  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  以上；到了 1996 年和 2001 年空氣品質最差之行政區與 1995 年相同，但懸浮微粒濃度有逐漸下降之趨勢；至 2006 年空氣品質較差之行政區主要在內湖區，濃度在  $60\sim 65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  之間，其餘各行政區濃度值在  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  以下。而空氣品質最佳之地區，在 1995 年主要位在北投區北端和文山區；到了 1996 年和 2001 年仍與 1995 年相同，至 2006 年空氣品質最佳之地區僅有北投區，文山區懸浮微粒濃度呈現先下降後緩慢上升之狀態。整體而言，1995 年至 2006 年懸浮微粒濃度值呈現緩慢下降之趨勢，此表示空氣品質逐漸改善。

透過圖示分析可發現，隨著捷運的陸續通車，捷運行經之行政區除松山區、信義區和文山區之懸浮微粒濃度較往年偏高外，其他行政區之懸浮微粒濃度呈現日漸下降之情形，且捷運沿線之空氣品質有逐漸提昇之趨勢。因此，本研究推測懸浮微粒濃度的下降可能與捷運營運有相當之關係。至於松山區、信義區、內湖區和文山區懸浮微粒濃度值的偏高，推測可能與捷運通車促使人口、產業往捷運沿線聚集，因此，本研究於第三節探討人口、就業的空間分布型態對空氣品質之影響程度。

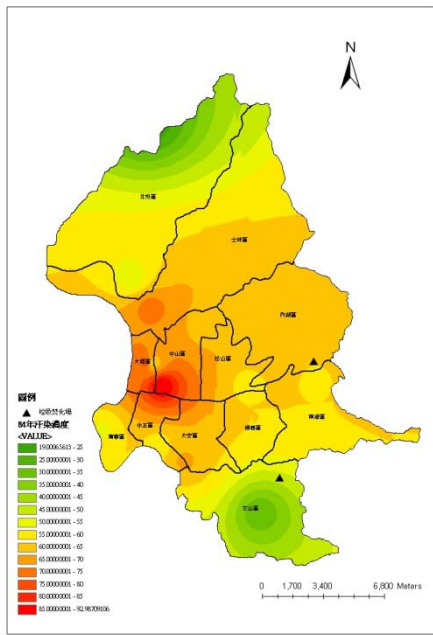


圖 3-9 1995 年台北市年平均懸浮微粒濃度分布圖

資料來源：本研究利用 GIS 整理自行政院環保署、台北市環保局之測站資料

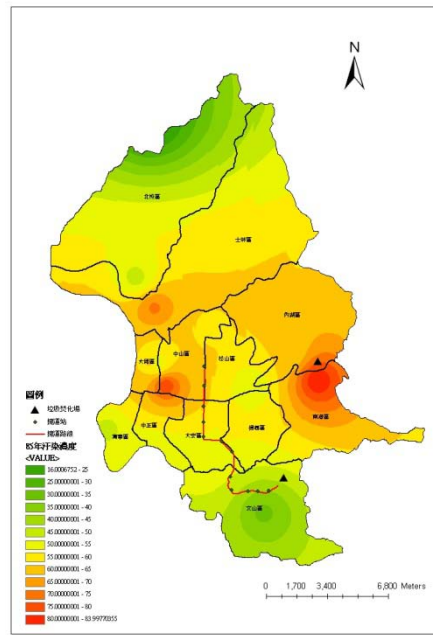


圖 3-10 1996 年台北市捷運路線和年平均懸浮微粒濃度分布圖

資料來源：本研究利用 GIS 整理自行政院環保署、台北市環保局之測站資料

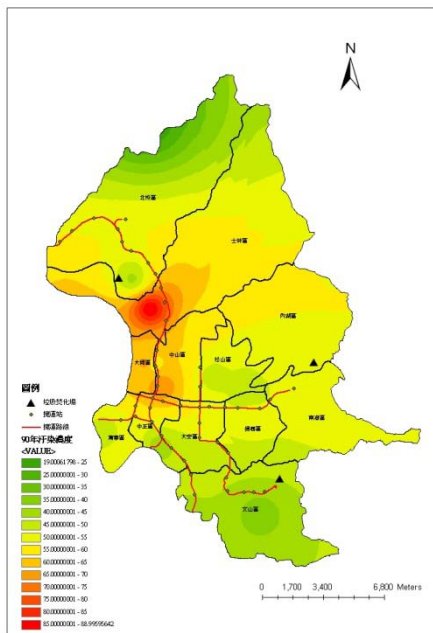


圖 3-11 2001 年台北市捷運路線和年平均懸浮微粒濃度分布圖

資料來源：本研究利用 GIS 整理自行政院環保署、台北市環保局之測站資料

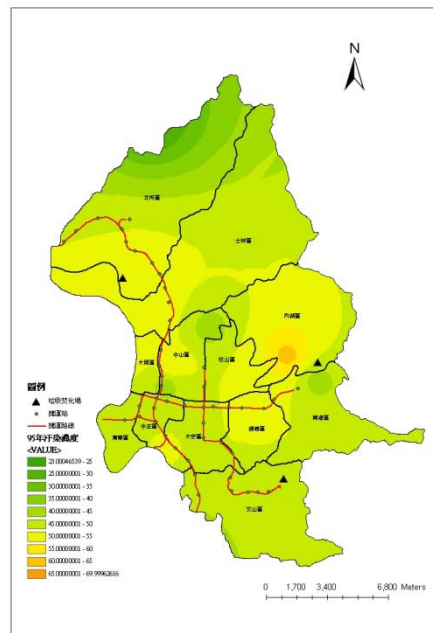


圖 3-12 2006 年台北市捷運路線和年平均懸浮微粒濃度分布圖

資料來源：本研究利用 GIS 整理自行政院環保署、台北市環保局之測站資料

### 第三節 台北市產業和人口分布型態對空氣品質之影響

由人口和產業聚集所形成之都市地區，隨著都市的發展與成長，以及人類使用土地資源之不同，會影響整體都市空間結構之改變，進而影響都市空氣品質。是以，瞭解人口和產業之空間聚集分布變化，將有助於瞭解都市地區之空氣品質。又運輸系統的改變會帶動區域土地使用模式和活動區位的改變，進而使產業活動和人口在空間上重新分布；而產業和人口之變動又會對都市之空氣品質產生影響。因此，為瞭解捷運營運前後產業、人口空間分布變化與空氣品質之關係，本節將利用 GIS 軟體提供的空間統計工具進行空間自相關分析，分析 1995 年、1996 年、2001 年和 2006 年四個年度產業、人口之空間分布特性，並且加以比較產業、人口與空氣品質之相互關係。

#### 一、產業空間分布之分析

為瞭解產業在空間上聚集分布情形，本研究以台北市里之二、三級產業就業員工數，首先利用全域空間自相關分析檢測產業分布是否存在空間相關性；其次，進一步利用區域空間自相關分析取得空間聚集點 (spatial hot spot)，瞭解產業的聚集區位，並且加以比較各時期產業聚集之空間分布變化。

##### (一) 全域空間自相關分析 (Global Spatial Autocorrelation)

為探討四個年度產業空間分布之聚集程度，以產業員工數利用不同尺度範圍空間加權矩陣計算 Moran's I 值，此空間加權矩陣乃在空間影響範圍內之距離以兩兩直線距離長度為加權距離，超過影響範圍則以 0 表示兩者不互相影響 (紀凱婷，2008)。空間加權矩陣以 500 公尺<sup>3-8</sup>為起始值，每 100 公尺為間距，最大影響距離範圍計算至 2000 公尺。

圖 3-13 為 1995 年<sup>3-9</sup>、1996 年、2001 年和 2006 年產業之不同空間加權矩陣計算出的 Moran's I 值，由圖中可知不同年度產業的空間自相關程度。四個年度產業自相關程度皆隨距離遞增而遞減，此表示台北市產業分布之空間相依性隨著距離增加而減少。1995 年產業員工數在 700 公尺範圍內之空間相依性最為明顯，且其 Z 值 13.38 大於 2.58 (99

<sup>3-8</sup> 本研究之空間單元以「里」為單位，距離若設定過小計算出的空間加權矩陣將全為 0，故設定 500 公尺為起始值。

<sup>3-9</sup> 工商及服務業普查資料每五年普查一次，故 1995 年產業就業員工數資料以 1991 年工商及服務業普查資料代替之。

%信賴水準)；而 1996 年、2001 年和 2006 年之產業員工數則在 800 公尺範圍內之空間相依性最為明顯，且其 Z 值分別為 11.43、12.00 和 9.83，皆大於 2.58（達 99 % 信賴水準）。此表示產業分布呈現某種型態之聚集分布，因此，本研究將分別以 700 公尺和 800 公為界限範圍進行區域空間自相關分析。

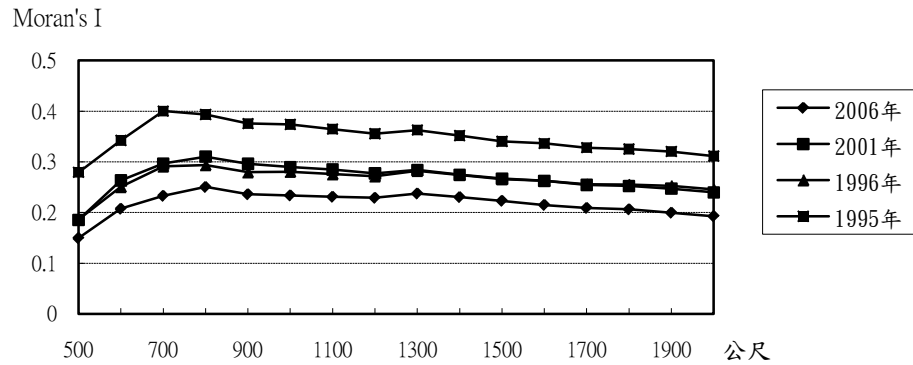


圖 3-13 產業員工數空間自相關係數圖

## (二) 區域空間自相關分析 (Local Indicators of Spatial Association, LISA)

透過全域空間自相關分析可知，產業分布存在顯著之空間相關性且呈現空間聚集現象，但無法具體得知產業聚集分布之區域。因此，本研究進一步以區域空間自相關分析方法找出不同年度產業聚集分布之區位，並且加以比較產業聚集之分布變化。

以區域空間自相關 LISA 指標，推算出台北市產業空間分布聚集區位，當 LISA 值呈現 H-H 表示產業員工數較多之地區在空間中有聚集之現象，亦表示產業高度聚集之地區；當 LISA 值呈現 L-H 或 H-L 時，表示產業空間分布呈現多寡分區相間之情形；當 LISA 值呈現 L-L，表示產業員工數較低之地區在空間中有聚集之現象，亦表示產業家數較低之地區在空間上之聚集。圖 3-14 至圖 3-17 為 1995~2006 年產業員工數依 LISA 值所呈現出來的結果，透過區域空間自相關圖示可明顯發現，1995 年產業高度聚集 (hot spot) 在中山區、中正區、部分大同區之台北車站周邊，以及松山區和部分大安區。1996 年產業高度聚集在中山區、中正區、部分大安區之台北車站一帶，以及松山區、部分大安區和信義區；到了 2001 年產業高度聚集區域和 1996 年相似，仍集中在台北車站一帶以及松山區、部分大安區和信義區；在 2006 年產業高度聚集在中山區、中正區和部分大同區之台北車站周邊，以及部分松山

區、大安區、信義區和內湖等區，且信義區產業之聚集有向捷運沿線集中之趨勢。

由上述分析可知，1995 年到 2001 年產業高度聚集在中山區、中正區、松山區和大安區，到了 2006 年產業仍聚集在中山區、中正區、松山區和大安區，但松山區和大安區之產業聚集程度有些微縮減之趨勢；而信義區和內湖區之產業聚集程度明顯，尤其以內湖區之產業聚集現象最為顯著，此表示產業有漸往信義區和內湖區移動之趨勢。此外，由四個年度的產業 LISA 分布圖亦可觀察到除內湖區外，其他產業聚集的區域分布在捷運沿線之周邊，此亦表示即使產業遷移仍會以捷運沿線地區為考量區位。

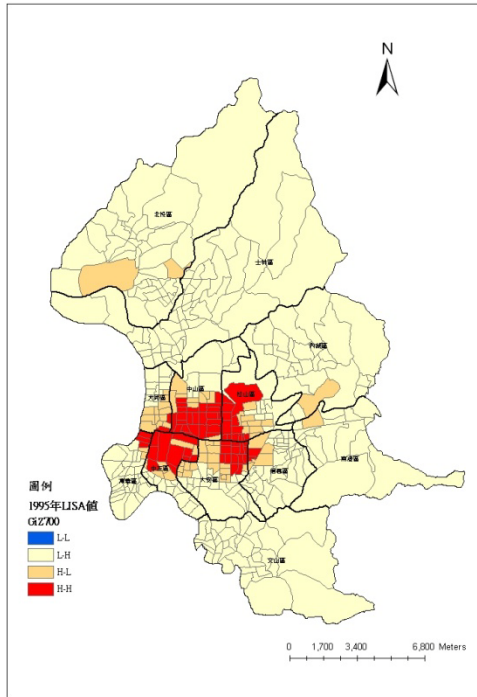


圖 3-14 1995 年台北市產業 LISA 分布圖  
資料來源：本研究利用 GIS 整理自工商及服務業普查資料

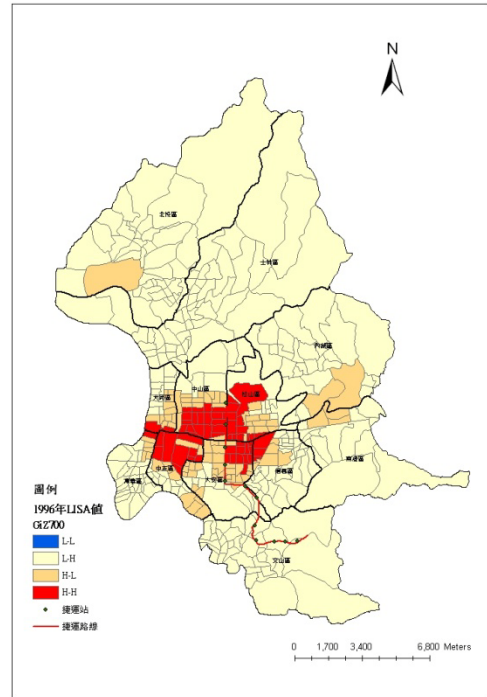


圖 3-15 1996 年台北市產業 LISA 分布圖  
資料來源：本研究利用 GIS 整理自工商及服務業普查資料

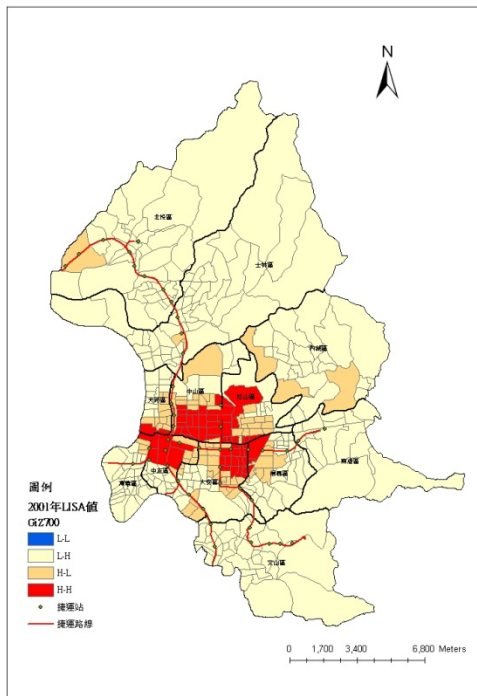


圖 3-16 2001 年台北市產業 LISA 分布圖  
資料來源：本研究利用 GIS 整理自工商及服務業普查資料

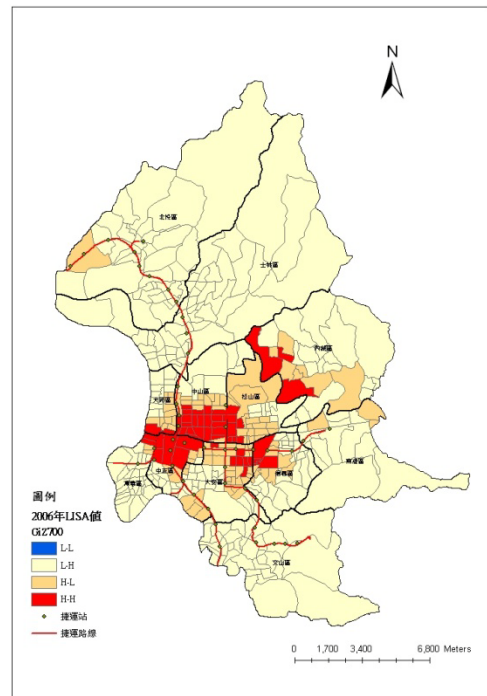


圖 3-17 2006 年台北市產業 LISA 分布圖  
資料來源：本研究利用 GIS 整理自工商及服務業普查資料



## 二、人口空間分布之分析

為瞭解人口分布之空間特性，本研究以台北市里之人口數，首先利用全域空間自相關分析檢測人口分布是否存在空間相關性；其次，再利用區域空間自相關分析瞭解人口的聚集區位，並且加以比較各時期人口聚集之分布變化。

### (一) 全域空間自相關分析

為探討四個年度人口空間分布之聚集程度，以里之人口數利用不同尺度範圍空間加權矩陣計算 Moran's I 值，其空間加權矩陣以 500 公尺為起始值，以每 100 公尺為間距，最大影響距離範圍計算至 2000 公尺。

圖 3-18 為 1995 年、1996 年、2001 年和 2006 年人口之不同空間加權矩陣計算出的 Moran's I 值，由圖中可知不同年度人口之空間自相關程度。四個年度人口自相關程度皆隨距離增加而遞減，此表示台北市人口分布之空間相依性隨著距離增加而減少。由空間自我相關圖可知，人口數的自我相關程度較低，但四個年度在 700 公尺範圍內的空間相依性最為明顯，且其 Z 值分別為 4.00、3.78、4.10 和 4.41，皆大於 2.58（達 99 % 信賴水準）。因此，人口分布仍呈現某種型態之聚集現象，本研究將以 700 公尺為界限範圍進行區域空間自相關分析。

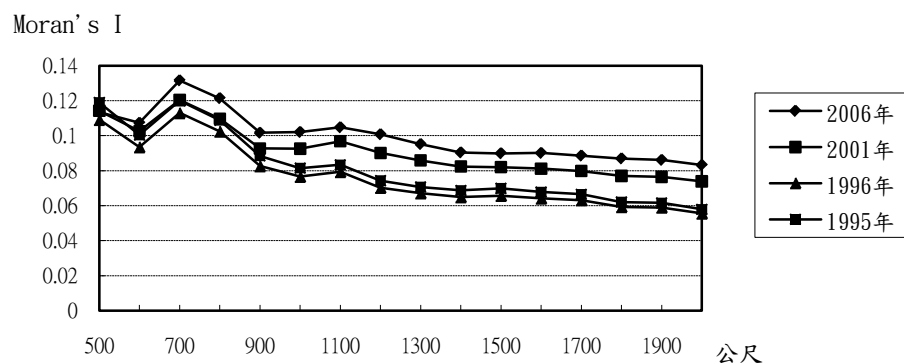


圖 3-18 人口數空間自相關係數圖

### (二) 區域空間自相關分析

由全域空間自相關分析可知，人口分布存在空間聚集現象，但無法具體得知人口聚集分布之區域。因此，本研究進一步以區域空間自

相關分析方法找出不同年度人口聚集分布之區位，並且加以比較人口聚集分布變化情形。

以區域空間自相關 LISA 指標，推算出台北市人口分布之空間聚集區位，當 LISA 值呈現 H-H 表示高人口數之地區在空間中有聚集之現象，亦表示人口高度聚集之地區；當 LISA 值呈現 L-H 或 H-L 時，表示人口空間分布呈現多寡分區相間之情形；當 LISA 值呈現 L-L，表示低人口數之地區在空間上之聚集。圖 3-19 至圖 3-22 為 1995~2006 年人口數依 LISA 值所呈現出來的結果，透過區域空間自相關圖示可得知，1995 年人口高度聚集（hot spot）的區域有五處，分別是北投區、中山區、內湖區、南港區和文山區；人口呈現低度聚集（cold spot）的區域主要有三處，分別是大同區、中山區和中正區之台北車站周邊一帶、士林區東北端、和文山區南端。1996 年人口分布情形除內湖區人口聚集程度增加外，其餘與 1995 年之分布情形相似。到了 2001 年人口高度聚集的區域有四處，分別是內湖區、南港區、中山區和文山區；人口呈現低度聚集的區域主要有二處，分別是大同區、中山區和中正區之台北車站周邊一帶和文山區南端。在 2006 年人口高度聚集的區域有內湖區、文山區、中山區和北投區南端，而人口呈現低度聚集的區域則與 2001 年相似。

由上述分析可知，1995 到 2006 年人口高度聚集之區域主要有五區，分別是內湖區、南港區、北投區、中山區和文山區，其中內湖區和文山區之聚集現象有增加之趨勢，此表示隨著產業往內湖區移動以及捷運木柵線的通車，促使人們往這兩區遷移、聚集，形成人口高度聚集現象。而人口呈現低度聚集之區域在 1995 年和 1996 年主要有三處，分別是士林區東北端、台北車站周邊一帶和文山區南端；到了 2001 年和 2006 年則有二處，分別是台北車站周邊和文山區南端，推測原因乃士林區東北端和文山區南端臨近山區，而台北車站周邊多屬為商業區，因而造成人口聚集程度較低。

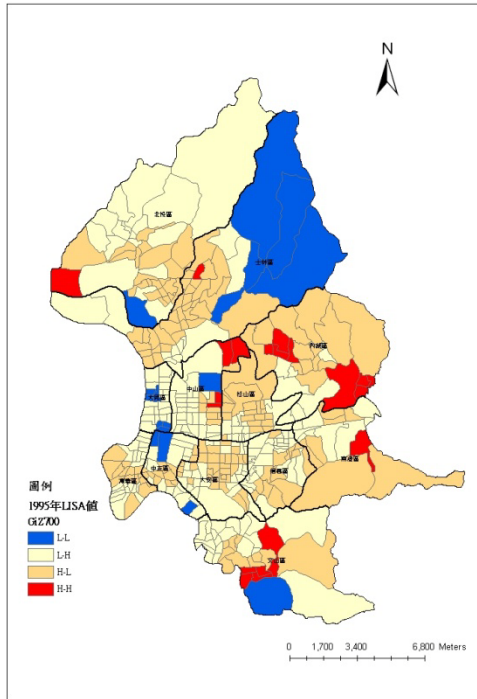


圖 3-19 1995 年台北市人口 LISA 分布圖  
資料來源：本研究利用 GIS 整理自台北市  
民政局人口統計資料

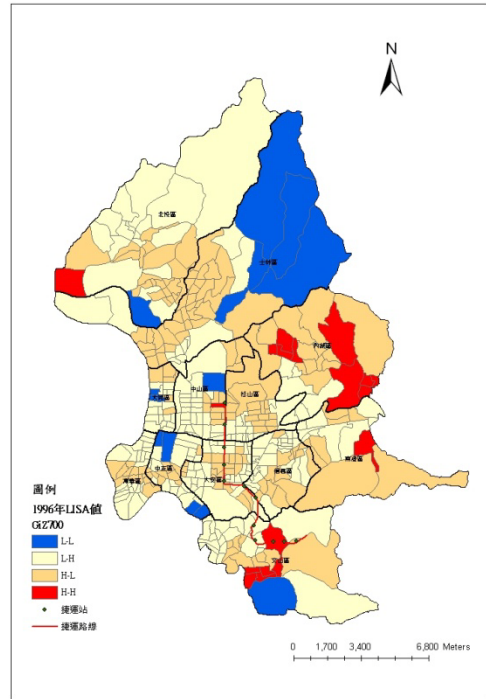


圖 3-20 1996 年台北市人口 LISA 分布圖  
資料來源：本研究利用 GIS 整理自台北市  
民政局人口統計資料

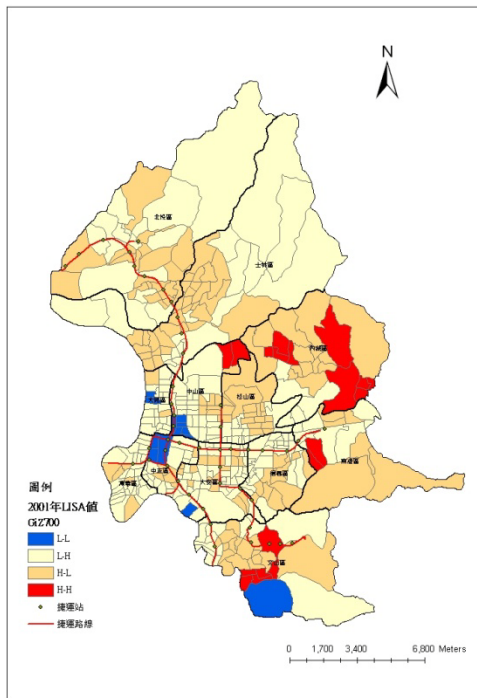


圖 3-21 2001 年台北市人口 LISA 分布圖  
資料來源：本研究利用 GIS 整理自台北市  
民政局人口統計資料

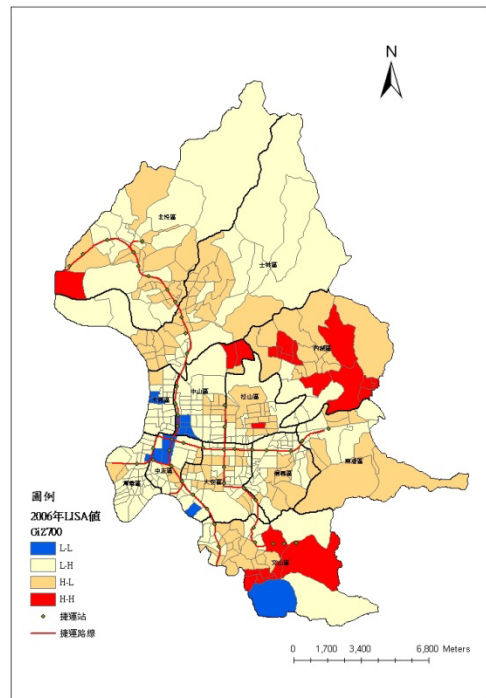


圖 3-22 2006 年台北市人口 LISA 分布圖  
資料來源：本研究利用 GIS 整理自台北市  
民政局人口統計資料

### 三、產業、人口空間分布特性與空氣品質之關係

透過空間自相關分析可取得台北市產業與人口之空間分布型態，進而得知產業與人口之高度聚集區與低度聚集區所在區位。當產業或人口呈現高度聚集的型態時，代表該地區人口數較多且較為集中，其旅行次數會較多、交通流量會較大，相對之下汙染排放量亦較為集中，空氣品質較其他區域差；反之，當產業或人口呈現低度聚集的型態時，其旅行次數會較少、交通流量會較小，因此汙染排放量亦較低，空氣品質較其他區域好。是以，可藉由產業、人口之空間分布型態來瞭解與空氣品質濃度之關係。

由本章第二節和本節第一、二部分可知 1995 年、1996 年、2001 年和 2006 年懸浮微粒濃度、產業員工數與人口數三者各自之空間變化分布情形。本研究為瞭解捷運營運前後，產業與人口分布變化是否會影響空氣品質濃度，利用圖 3-9 至圖 3-12、圖 3-14 至圖 3-17 和圖 3-19 至圖 3-22 探討三者彼此之相互關係，分成四個年度分析如下：

#### (一) 1995 年產業、人口與空氣品質之關係

比較圖 3-9、圖 3-14 和圖 3-19 可發現，在產業分布方面，台北車站周邊之產業呈現高度聚集且該區域都市活動頻繁，在交通流量大之情形下，該區域之空氣品質理應較差，懸浮微粒濃度圖證明了該區域之空氣品質最差，其汙染濃度值最高。在人口分布方面，內湖區和文山區部分區域之人口聚集程度高，產生之通勤旅次與汙染量理應較多，由汙染濃度圖證明內湖區懸浮微粒濃度較高，而文山區則因區內臨近山區，綠色植物具有淨化空氣品質之功能，因此呈現之懸浮微粒濃度值較低。

#### (二) 1996 年產業、人口與空氣品質之關係

比較圖 3-10、圖 3-15 和圖 3-20 可知，在人口分布方面，內湖區和文山區在空間上呈現較高的群聚情形，由汙染濃度圖可看出內湖區之汙染濃度值較高，而文山區則不明顯；在產業分布方面，台北車站周邊之產業高度聚集、就業人數密集，引發之懸浮微粒濃度值亦較高。

#### (三) 2001 年產業、人口與空氣品質之關係

綜合圖 3-11、圖 3-16 和圖 3-21 可知，在產業分布方面，仍主要集中在台北車站周邊，其懸浮微粒濃度值雖然較高，但有逐漸減緩之趨勢；在人口分布方面，人口高度聚集區在內湖區和文山區，內湖區之

空氣品質較 1996 年好，但文山區則隨著捷運通車，人口漸往此區移動，使得區內之空氣品質相較於往年有逐漸均化之現象。

#### (四) 2006 年產業、人口與空氣品質之關係

比較圖 3-12、圖 3-17 和圖 3-22 可知，在產業分布方面，產業除聚集在台北車站周邊外，信義區和內湖區之產業聚集現象明顯，透過汙染濃度可發現這兩區之汙染濃度較其他行政區高。在人口分布方面，人口高度聚集區在內湖區和文山區，內湖區之空氣品質較其他地區差；文山區懸浮微粒濃度值雖然不高，但相較於 2001 年有逐漸惡化之趨勢。

透過圖示分析可知，在產業分布與懸浮微粒濃度之變化方面，1995 年至 2006 年產業分布高度聚集在台北車站周邊，且有漸漸往信義區和內湖區移動之趨勢；對照其懸浮微粒濃度變化為 1995 年濃度最高落在台北車站周邊，至 1996 年和 2001 年台北車站周邊濃度雖高但有逐漸下降之趨勢，到了 2006 年台北車站周邊之懸浮微粒濃度值明顯下降，但信義區和內湖區之濃度值提高。推測台北車站周邊懸浮微粒濃度下降之原因為，捷運路線之漸趨完善促使搭乘人數變多，進而減少私人運具之使用，使懸浮微粒濃度值下降；而信義區和內湖區懸浮微粒濃度升高之原因，乃產業大量湧入這兩處造成交通流量增加，縱然信義區有捷運行經但產業引發的交通流量仍較以往多，因此使得懸浮微粒濃度增加。

在人口分布與懸浮微粒濃度之變化方面，1995 年至 2006 年內湖區和文山區內部人口聚集程度高，對照懸浮微粒濃度變化為內湖區之汙染濃度值偏高，而文山區之懸浮微粒濃度則有漸漸上升之趨勢。推測內湖區濃度偏高之原因為，隨著產業之進駐，人口漸漸往該處遷移，因而產生較高的旅行次數，進而造成空氣品質惡化；而文山區懸浮微粒濃度漸漸上升之原因為，捷運線之開通促使人們往該處遷移，雖有捷運行經但交通流量仍較以往多，因而造成懸浮微粒濃度增加。

綜合上述分析可歸納出，當產業聚集程度愈高，產生之懸浮微粒濃度值亦愈高、空氣汙染愈惡化；人口聚集程度愈高，對空氣品質變化會產生些微影響。當產業和人口同時聚集時，會影響懸浮微粒濃度使得空氣汙染愈加惡化。透過圖層分析亦可發現，產業和人口之聚集雖造成懸浮微粒濃度上升，但隨著捷運路線愈加完善，台北市和捷運沿線之空氣品質有逐漸提昇之趨勢。

## 第四節 小結

台北市快速的都市發展成果帶動了經濟的高度成長，產業、人口大量往都市地區聚集的情形下，引發交通壅塞和空氣品質下降等諸多問題。在各項空氣汙染變數中，產業員工數、機動車輛數、道路長度和道路面積皆呈現逐年增加之趨勢，此表示台北市空氣品質可能有惡化情形；公園綠地面積的逐年上升和人口的負成長率，將可減少通勤旅次數與淨化空氣品質，進而改善台北市之空氣品質。

隨著捷運的開通與捷運路網之完善，使得大眾捷運搭乘旅次數不斷成長，如此將意味著人們會減少使用私人運具，進而改善空氣品質、降低懸浮微粒濃度。透過 GIS 軟體之空間分析法可以得知 1995 年、1996 年、2001 年和 2006 年台北市懸浮微粒濃度、產業員工數和人口數在空間上的變化。在各年度懸浮微粒之變化中，士林區、中山區、大同區和中正區由原先的懸浮微粒濃度最高值逐漸下降至與其他行政區之懸浮微粒濃度相似；而捷運沿線經過的行政區，除松山區、信義區和文山區之懸浮微粒濃度呈現先下降後緩慢上升之情況外，其他行政區之懸浮微粒濃度呈現日漸下降之趨勢。此外，內湖區之懸浮微粒濃度亦呈現先下降後緩慢上升之情形。

在產業分布方面，1995 年產業高度聚集在中山區、中正區、松山區、大安區等四區，到了 2006 年除聚集在這四行政區外，亦逐漸往信義區、內湖區聚集；此外，產業之分布有往捷運沿線群聚之現象。而人口分布在 1995 年內湖區和文山區區內的部分地區有高度聚集之現象，至 2006 年隨著捷運通車和產業的遷移，文山區和內湖區聚集現象更為明顯。綜合三項汙染變數和捷運路線分布圖可發現，產業員工數愈高度聚集，懸浮微粒濃度將愈高，人口對懸浮微粒濃度會帶來些微影響；若產業和人口同時聚集，將使得空氣汙染愈為嚴重。但是，隨著捷運路線愈加完善，台北市空氣品質將愈加提昇。

透過空間分析法可知，隨著捷運建設之完善，台北市空氣品質正日益改善，且產業和人口之空間分布變化會影響區域之懸浮微粒濃度。然而空氣品質是否真的有所改善呢？產業和人口對空氣品質的影響程度又如何呢？於第四章進行實證分析說明之。

## 第四章 模型建立與實證分析

由第三章瞭解台北市 1991 年至 2006 年各項空氣汙染變數與空氣品質之變化趨勢後，本章進一步探討台北市空氣品質與相關空氣汙染變數之關係。第一節首先進行資料來源說明與敘述統計，第二節進行變數選取與模型設定，第三節利用 Limdep 7.0 統計軟體之 Panel Data 固定效果模式進行實證研究分析，最後針對實證結果進行說明。

### 第一節 資料來源說明與敘述統計

#### 一、資料來源說明

本研究之懸浮微粒濃度值資料，主要透過行政院環保署空氣品質監測報告和台北市環保局年報取得各空氣品質監測站資料，利用 GIS 軟體之空間分析方法，計算出台北市各里之懸浮微粒濃度值；其餘相關變數資料則透過政府公開發布之相關統計資料進行彙整，其中捷運沿線行經的村里資料之計算，乃利用 GIS 套疊台北市里界圖和捷運路網分布圖，求得有捷運線經過之村里資料。表 4-1 為本研究選取之各變數名稱與資料來源，說明如下：

表 4-1 變數名稱與變數資料來源

變數類型	變數名稱	資料來源
應變數	年平均懸浮微粒濃度值	係透過行政院環保署和台北市環保局取得各空氣品質監測站資料，利用 GIS 之內插法繪製 1995、1996、2001 和 2006 年台北市年平均懸浮微粒濃度分布圖，再透過空間分析法之 zonal statistics 計算出各里懸浮微粒濃度值。
	工商服務業 就業員工密度	依行政院主計處工商及服務業普查資料之年底從業員工數除以台北市各里土地總面積。
自變數	人口密度	依台北市民政局每年統計之里人口數除以台北市各里土地總面積。
	捷運沿線行經之村里	以台北捷運公司 2000 年 12 月 30 日完成台北市捷運路網通車之路線為依據計算之。

表 4-2 為本研究各變數資料單位與資料時間，說明如下：

表 4-2 變數單位與資料時間

變數名稱	單位	資料時間
年平均懸浮微粒濃度值	微克/立方公尺 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1995、1996、2001、2006 年
工商服務業就業員工密度	人/平方公尺	1991 <sup>4-1</sup> 、1996、2001、2006 年
人口密度	人/平方公尺	1995、1996、2001、2006 年
捷運沿線行經之村里	(虛擬變數)	—

## 二、資料敘述統計

為瞭解樣本資料特性，本研究針對實證變數進行敘述統計分析，如表 4-3 所示。依序列出各變數之個數、最小值、最大值、平均數和標準差。由表 4-3 可知，年平均懸浮微粒濃度值之平均值為  $55.91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，最小值和最大值僅差距  $57.24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。在就業員工密度和人口密度方面，就業員工密度之平均值為 0.051216 人/平方公尺，最小值和最大值差距為 0.751479 人/平方公尺；人口密度方面，平均值為 0.022296 人/平方公尺，最小值和最大值差距 0.151473 人/平方公尺。

表 4-3 實證變數敘述統計量表

變數	個數	最小值	最大值	平均值	標準差
年平均懸浮微粒濃度值	1732	33.72	90.96	55.91	7.89
工商服務業 就業員工密度	1732	0.000002	0.751481	0.02819	0.051216
人口密度	1732	0.000129	0.151602	0.031292	0.022296

<sup>4-1</sup> 因工商及服務業普查資料每五年普查一次，故 1995 年從業員工數以 1991 年之資料為主。



## 第二節 變數選取與模型設定

### 一、變數選取說明

依據第二章文獻回顧和第三章空氣汙染變數資料之趨勢變化，本研究選取各變數之原因、變數代表之意義以及實證分析之預期符號說明與分析如下：

#### (一) 年平均懸浮微粒濃度

本研究旨在探討捷運營運能否降低私人運具的使用、提高大眾運輸搭乘率，進而改善台北市之空氣品質，又台北市之懸浮微粒排放量以營建/道路揚塵和車輛排放最多，因此本研究選取捷運營運前後之1995、1996、2001和2006年四個年度台北市各里年平均懸浮微粒濃度值，作為實證分析之應變數。

#### (二) 工商服務業就業員工密度

依據環保署（2008）汙染排放量資料庫推估可知，台北市除三大垃圾焚化廠外，無重大固定汙染源，又台北市目前經濟活動以三級產業為主要產業結構。因此，產業排放之汙染源主要來自於就業人口之通勤旅次。是以，本研究以工商服務業就業員工數代表產業面，以里之工商及服務業場所單位年底從業員工數除以各里土地總面積作為自變數，來衡量與懸浮微粒濃度之關係，並且預期就業員工密度與應變數存在正向關係。

#### (三) 人口密度

當都會區人口數愈多，表示各區位旅次發生之次數愈多，產生之空氣汙染亦愈多（王振霖，1992）。加上私有運具的普及化，使人口、產業在空間上之分布範圍愈廣，更加速人們使用私人運具，在能源消耗量急遽增加的情形下，空氣品質自然惡化。因此，一地區的人口數多寡會間接影響空氣品質；Stemmers（2003）、Borrego et al.（2006）與Stone（2008）等人的研究皆以人口密度作為衡量空氣品質的指標之一。是故，本研究以台北市人口數代表人口面，以里之人口密度來衡量與應變數之關係，並且預期人口密度與應變數存在著正向關係。

#### (四) 捷運沿線行經之村里

研究指出大眾運輸系統之年載客量增加，會降低人們使用機動車輛之次數、減少能源消耗量，進而改善都市空氣品質 (Miller and Hoel, 2002; Perner, 2001)；透過第三章第一節可知，台北捷運自通車以來每年載客量持續高度成長，因此，捷運營運對都市空氣品質將帶來淨化效果之影響。由於捷運年載客量資料無法劃分成村里資料計算，故本研究以捷運路線代表交通面，並且以台北捷運公司 2000 年 12 月 30 日完成台北市捷運通車路網，來計算捷運路線有無行經台北市之村里，設定虛擬變數探討大眾捷運與各里懸浮微粒濃度之關係。隨捷運搭乘人數的增加，大眾捷運建設對懸浮微粒濃度為負向關係；然而，隨著捷運路線完工與沿線可及性的增加，將使得沿線交通流量增加，加上沿線轉乘接駁公車班次的增加，會造成懸浮微粒濃度值的提高。因此，尚無法具體預期捷運沿線行經之村里與應變數之關係。

綜上所述，本研究選取年平均懸浮微粒為應變數，工商服務業就業員工密度、人口密度和捷運行經之村里為自變數，進行實證分析。各自變數與應變數之變數代號與預期結果如表 4-4 所示。

表 4-4 模型變數之預期符號

變數名稱	變數代號	預期符號
年平均懸浮微粒濃度	PM10	(應變數)
工商服務業就業員工密度	EMPDEN	+
人口密度	POPDEN	+
捷運沿線行經之村里	L <sub>MRT</sub>	-或+ 有=1，無=0

註：+、-符號表示與應變數存在正向或負向關係

## 二、模型設定

本研究以長期追蹤資料 (Panel Data) 迴歸模型進行實證分析，在 Panel Data 迴歸模型中可分為固定效果模型 (Fixed Effect Model) 和隨機效果模型 (Random Effect Model)，因本研究之資料全部來自台北市 433 個里，而非從 433 個里中隨機抽取數個里作為代表資料，故採用固定效果模型進行實證分析。

固定效果模型乃將個別效果視為遺漏變數之結果，按種類可區分為兩種，分別是區域固定效果 (region-specific fixed effect) 與時間固定效果

(time-specific fixed effect)。以懸浮微粒濃度為應變數，區域固定效果代表區域間本身條件之差異會對懸浮微粒濃度產生長期固定影響，且此影響不隨時間而變；時間固定效果則代表特定年度具備之特性對懸浮微粒濃度產生短期固定影響，且此影響不隨區域而變。在估計固定效果模型時，若僅考量一種效果稱為單因子固定效果模型 (one-way fixed effect model)；若同時考量區域固定效果與時間固定效果則稱為雙因子固定效果模型 (two-way fixed effect model)。本研究為瞭解懸浮微粒濃度是否隨區域固有條件以及時間效果而有所不同，因此採用雙因子固定效果模型。

在區域固定效果方面，台北市各里年平均懸浮微粒濃度可能會受到區域本身固有的條件所影響，諸如區域內道路系統的交通流量、公園綠地等因素的影響，然而交通流量資料難以取得，加上公園綠地對於淨化空氣品質之影響範圍可能較大，且公園綠地面積統計資料僅統計到台北市十二個行政區；因此，為衡量出區域本身固有特性對懸浮微粒之影響程度，本研究將台北市 433 個里劃分成十二個行政區，在模型中加入各行政區個別特質效果  $\beta_n$ ，代表在控制其他變數後（即不受自變數之影響），各行政區因本身之區域特性對年平均懸浮微粒的影響。在時間效果方面，為瞭解時間趨勢對懸浮微粒是否有所影響，在模型中加入時間特質效果  $\gamma_t$ ，代表在控制其他變數後，各年度因時間本身之特性對年平均懸浮微粒的影響。綜上所述，本研究模型建構如 (4-1) 所示。

$$PM10_{it} = \beta_0 + \beta_n + \gamma_t + \beta_1(EMPDEN_{it}) + \beta_2(POPDEN_{it}) + \beta_3L_{itMRT} + \varepsilon_{it}$$

..... (4-1)

式中：

i：台北市之 433 個里，i=1 ~ 433

t：年期，1995、1996、2001 和 2006 年

n：台北市十二個行政區，n=1 ~ 12

PM10<sub>it</sub>：i 里 t 期之年平均懸浮微粒濃度值

EMPDEN<sub>it</sub>：i 里 t 期之工商服務業就業員工密度

POPDEN<sub>it</sub>：i 里 t 期之人口密度

L<sub>itMRT</sub>：i 里 t 期之捷運沿線行經之村里，1=有，0=沒有

$\beta_0$ ：不隨行政區與時間改變之一般固定截距項

$\beta_n$ ：各行政區個別特質效果係數值

$\gamma_t$ ：時間特質效果係數值

$\varepsilon_{it}$ ：整體誤差

### 第三節 實證結果分析

本研究以 1995 年至 2006 年之 Panel Data 迴歸模型進行實證分析<sup>4-2</sup>，將實證結果分成模型實證結果說明與模型實證結果分析探討之。

#### 一、模型實證結果說明

模型實證結果如表 4-5 至表 4-7 所示，本研究之模型配適度達 0.63，F 值為 165.84，且通過 0.01 顯著水準要求，此表示本模型配適度和解釋力均良好。各變數之顯著情形為（表 4-5 所示）：工商服務業就業員工密度（EMPDEN），與捷運沿線行經之村里（L<sub>MRT</sub>）皆通過 0.01 顯著水準要求；人口密度（POPDEN）通過 0.05 顯著水準要求。各變數與應變數之關係為，三變數皆對年平均懸浮微粒濃度呈現正向影響。

表 4-5 固定效果模型實證結果

變數名稱	模型	固定效果模型	
		係數	P 值
常數項		55.045	0.0000 ***
工商服務業就業員工密度（EMPDEN）		12.990	0.0000 ***
人口密度（POPDEN）		11.272	0.0497 **
捷運沿線行經之村里（L <sub>MRT</sub> ）		0.878	0.0100 ***
F Test		165.84 (p value=0.0000)	
R-squared/ Adjust R-squared		0.6354/ 0.6316	

註：\*\*、\*\*\*分別代表係數在 5%、1%的顯著水準下，顯著異於 0。

就業員工密度和人口密度對年平均懸浮微粒呈現正向顯著的效果，表示就業員工密度和人口密度愈高，年平均懸浮微粒濃度會愈高；捷運沿線行經之村里對年平均懸浮微粒呈現正向顯著之效果，表示有捷運沿線行經之村里，年平均懸浮微粒濃度值會上升。

瞭解各變數與年平均懸浮微粒之關係後，本研究進一步分析各行政區之區域個別特質效果對懸浮微粒濃度之影響（如表 4-6 所示）。十二分區之個別特質效果除中正區呈現不顯著外，其餘皆呈現顯著影響；在十一個分區之顯著性方面，除松山區和南港區僅達 0.05 顯著水準要求外，其餘九個

<sup>4-2</sup> 使用 limdep 7.0 統計軟體之 Panel Data 模式。

行政區皆通過 0.01 顯著水準要求。在各行政區係數方面，中山區、大同區、南港區、內湖區和士林區之固定效果係數為正，表示在控制自變數之因素後（不受自變數之影響），這五個行政區因本身條件使得懸浮微粒濃度會提昇；松山區、信義區、大安區、萬華區、文山區和北投區之固定效果係數為負，表示在控制自變數之因素後，這七個行政區因本身條件使得懸浮微粒濃度會下降。

表 4-6 台北市各行政區個別特質效果統計量表

行政區	係數		行政區	係數	
松山區	-1.25394	**	信義區	-1.92173	***
大安區	-1.39798	***	中山區	5.10217	***
中正區	-0.55730		大同區	5.99156	***
萬華區	-2.23083	***	文山區	-8.40326	***
南港區	1.68927	**	內湖區	2.70912	***
士林區	5.30702	***	北投區	-3.13574	***

註：\*\*、\*\*\*分別代表係數在 5%、1% 的顯著水準下，顯著異於 0。

除區域本身條件會影響懸浮微粒濃度外，隨著時間之變化亦可能對懸浮微粒濃度產生影響。表 4-7 為台北市 1995、1996、2001 和 2006 年四個年度對年平均懸浮微粒之固定影響，四個年度皆顯著且達 0.01 顯著水準要求。在控制自變數之因素後（即不受自變數的影響），比較四個年度之係數可發現，懸浮微粒濃度正日漸下降、空氣品質隨著時間持續提昇。

表 4-7 各年度固定效果統計

年度	係數	
1995	6.88637	***
1996	1.42544	***
2001	-2.03171	***
2006	-6.28007	***

註：\*\*\*表示達 0.01 顯著水準要求

## 二、模型實證結果分析

本研究以下分析各變數之實證結果、各行政區固定效果以及時間趨勢效果三者，與年平均懸浮微粒之影響關係。

### （一）各變數實證結果分析

本研究實證結果與預期結果相同的有就業員工密度、人口密度以

及捷運行經之村里（詳如表 4-8 所示）。各變數對懸浮微粒濃度之實證結果說明如下：

表 4-8 各變數符號之實證結果

變數名稱	變數代號	預期符號	實證結果符號
年平均懸浮微粒	PM10	(應變數)	
工商服務業就業員工密度	EMPDEN	+	+
人口密度	POPDEN	+	+
捷運沿線行經之村里	L <sub>MRT</sub>	-或+	+

### 1. 工商服務業就業員工密度

產業面之各里就業員工密度在 1% 顯著水準下，對年平均懸浮微粒濃度呈現正向顯著影響，此表示就業員工密度愈高，懸浮微粒濃度會愈高，與本研究推論之預期假設相符。當一地區就業員工密度增加時，意味著通勤旅次與交通流量會增加，在機動車輛使用率增加之情形下，空氣品質自然日益惡化，此一現象亦與台北市目前空氣汙染主要來自機動車輛排放廢氣相符（張順欽，2006）。此外，由就業員工密度對懸浮微粒呈現正向變動關係亦可知，產業聚集分布變化會影響該地區之懸浮微粒濃度，此結果驗證了第三章第三節之產業聚集程度愈高，該區域懸浮微粒濃度會愈高。

### 2. 人口密度

人口面之各里人口密度在 5% 顯著水準之下，對年平均懸浮微粒濃度之結果呈現正向顯著關係，表示人口密度愈高，懸浮微粒濃度會愈高，此與本研究之預期符號相符，亦符合相關文獻之探討（王振霖，1992；李曜全、邢浩然，2002；Borrego et al., 2006；Stone, 2008）。因此，當區域之人口密度增加，代表旅運需求和機動車輛使用率會上升，能源消耗量和汙染氣體排放量亦隨之增加，造成懸浮微粒濃度值提高，致使都市空氣品質日益下降。是以，人口聚集分布情形將影響該地區之懸浮微粒濃度，此結果與第三章第三節之人口聚集程度會影響懸浮微粒濃度之推論相符合。

### 3. 捷運沿線行經之村里

交通面之捷運沿線行經之村里在 1% 顯著水準下，對年平均懸浮微粒濃度呈現正向顯著影響，表示有捷運通過之村里，其懸浮微粒濃度

值會上升，此與本研究之預期假設相符。探究其原因主要是隨著捷運路線之完工與捷運沿線轉乘公車措施之完善，加上產業、人口往捷運沿線聚集（馮正民，2001），使得捷運沿線周邊之懸浮微粒濃度隨著公車班次、私人運具的增多而較其他地區高，因而造成有捷運經過的地區懸浮微粒濃度值增加。

## （二）各行政區之固定效果

在排除產業就業員工密度、人口密度和捷運等三項因素後，各行政區之個別特質效果證實，除台北市中正區外，其餘十一個行政區區內不同條件因素會影響懸浮微粒濃度，其中，中山區、大同區、南港區、內湖區和士林區之區內條件使得懸浮微粒濃度提昇，而松山區、信義區、大安區、萬華區、文山區和北投區之本身條件會使懸浮微粒濃度下降，本研究按行政區係數符號進一步分析各行政區呈現顯著影響之原因。

### 1. 係數為正數之行政區

黃耀輝（1999）指出道路交通流量愈大，其產生之污染源亦愈多，然而，因道路系統之交通流量資料不易取得，故由行政區包含哪些重要交通路網，間接推測對懸浮微粒之影響。中山區之區內重大交通路網包括有中山高速公路、建國高架橋、新生高架橋和市民大道，加上區內有圓山交流道之關係，會增加污染排放量因而使懸浮微粒濃度提昇。大同區區內之重大交通路網包括中山高速公路、環河北路、環河快速道路和市民大道，加上區內有台北交流道和環北交流道，造成污染排放量增加，致使該區懸浮微粒濃度增加。士林區區內有七星山和大屯山環繞，在森林、綠色植栽較多之情形下，區內本身條件理應使懸浮微粒濃度較低；但是，士林區內之重大交通路網包括環河北路、環河快速道路、台北交流道和環北交流道，使得污染排放量會增加；再加上，士林區內有台北市最大之夜市—士林夜市，在大量車潮和商業行為所排放的污染量下，更增加了懸浮微粒濃度，因而造成區內之懸浮微粒濃度值上升。內湖區因為區內有環東大道和堤頂大道，以及內湖交流道、東湖交流道和堤頂交流道等五個重大交通路網之關係，致使懸浮微粒濃度提昇。在南港區方面，因區內有第二高速公路、北宜高速公路和二高南港聯絡線之行經，加上南港系統交流道設立於此，使得區內懸浮微粒濃度提昇。



## 2. 係數為負數之行政區

由第二章第三節文獻回顧可知，公園綠地面積具有淨化空氣品質之功能，然而公園綠地面積資料僅統計到行政區，無法將其列入迴歸式中，但可由下列各行政區所包含之森林與公園綠地面積資料，推測對懸浮微粒之影響。松山區區內有觀山河濱公園、富民生態公園（佔地 8,400 平方公尺）以及迎風河濱公園（佔地 600,000 平方公尺），這三座公園內綠地植栽較多，具有淨化空氣品質之功用，所以區內本身條件對於降低懸浮微粒濃度有幫助。信義區區內擁有四獸山、象山和虎山三大親山步道，加上台北市東區最大綠地—松山菸廠坐落於此，在三大森林與綠地圍繞下，區內本身條件自然對空氣品質提昇有助益。大安區區內擁有「都市之肺」之大安森林公園，佔地約 26 公頃，具有洗滌淨化空氣品質之功用，因此其本身條件可能有降低懸浮微粒濃度之效果。萬華區區內有青年公園（佔地約 26 公頃）和華中河濱公園（雁鴨公園），兩公園內有諸多林木、綠地，因此其本身條件可能對減低懸浮微粒濃度有所幫助。北投區北端擁有大屯山和七星山，境內則有陽明山國家公園和關渡自然公園，在森林、公園綠地之圍繞下，北投區之本身條件對於懸浮微粒濃度降低有所助益。在文山區方面，雖然區內有第二高速公路、信義快速道路、木柵交流道和萬芳交流道等重大交通路網，使懸浮微粒濃度值會上升；但是區內三面環山、擁有諸多林地，對於空氣品質自然有其淨化效果，因此對懸浮微粒濃度之降低有幫助。

綜合上述推測可知，交通流量較多之區域其空氣品質往往不佳，尤其是有外環道路、快速道路和交流道行經的行政區，其懸浮微粒濃度值相對較高；當區內擁有大量森林、公園綠地等植栽時，其本身條件可能對降低懸浮微粒濃度有所幫助。

### （三）各年度之固定效果

由各年度之固定效果可知，隨著時間之演進懸浮微粒濃度值日漸下降、空氣品質漸趨改善，此結果與第三章第二節利用空間分析法分析懸浮微粒濃度下降之結果相符合。在台北市三大垃圾焚化廠持續存在且無其他重大固定污染源之情形下，本研究推測懸浮微粒濃度日益改善之原因可能是捷運之興建營運。隨著捷運路網的日漸完善、捷運每日載客量的持續成長，相對的人們會慢慢減少使用私人運具；在交通流量漸漸減少之情形下，污染排放量亦隨之降低，空氣品質自然提

昇。此外，自 1995 年 7 月起環保署開始開徵空氣汙染防制費後，多年來經過各級單位的努力使得懸浮微粒濃度下降，空氣品質漸漸得到改善。

### 三、小結

本研究由實證分析結果發現，產業面之就業員工密度、人口面之人口密度、以及交通面之捷運沿線行經之村里三者與懸浮微粒濃度有顯著正相關。分析三項變數與懸浮微粒濃度之關係可得出，當一地區之就業員工密度或人口密度增加時，表示旅行次數與交通流量會增加，因而使懸浮微粒濃度值提高。而有捷運行經之村里，則因捷運開通促使沿線可及性提高，使得交通流量增加，加上捷運沿線轉乘公車班次的增加，因而使得沿線懸浮微粒濃度值增加；但是，透過固定效果模型之時間固定效果可以發現，台北市懸浮微粒濃度逐漸下降，推測可能與環保署 1995 年起開徵空氣汙染防制費，以及 1996 年捷運開始營運有關係，並且隨捷運路線愈加完善，懸浮微粒濃度下降、空氣品質愈加提昇，故預期未來台北市懸浮微粒濃度會緩慢下降。

另外，在各行政區固有條件對懸浮微粒濃度之影響方面，當行政區內有交流道、快速道路或外環道路等重要交通路網時，會使該區域交通流量增加，進而使懸浮微粒濃度值較高；若區內擁有較多林木、公園綠地時，因綠色植物的洗滌淨化空氣品質功能，會使區內之懸浮微粒濃度下降，進而提昇空氣品質。

## 第五章 結論與建議

本章共分為二節討論，在第一節首先針對本研究之研究成果，提出結論；第二節依據本研究之實證內容及研究發現，提出相關之政策建議，及後續研究方向建議供其參考。

### 第一節 結論

都市發展之成果固然帶動了經濟繁榮、生活舒適、交通便利等諸多正面效益，卻也因都市吸引力的增強，使得都市地區的人口、機動車輛急遽增加，造成都市內的空間擁擠、交通擁塞、空氣汙染、生活環境惡化等現象，以及都市外的分散、無秩序蔓延發展等環境問題。為解決這些問題，都市規劃者提出發展大眾運輸導向策略，以此降低都市蔓延、提昇都市之使用密度、減少私人運具之使用，進而降低能源消耗、改善空氣品質。但運輸系統的興建具有改變土地使用模式與活動區位，進而帶動人口、產業在空間上重新分布的特性；當運輸建設的興建促使周邊都市活動頻繁時，過去的研究少有探討到大眾運輸導向所帶來的效益是否會隨著人口、產業往捷運沿線聚集，致使交通流量增加進而造成空氣品質惡化呢？因此，本研究從捷運營運前後台北市空氣品質變化之觀點，探討捷運、人口及產業三者對空氣品質之影響程度。是以，本研究選取台北市之 1995 年至 2006 年為研究範圍，以懸浮微粒為汙染變數，運用空間分析法和長期追蹤資料迴歸模型，分析捷運營運前後對空氣品質之影響程度。本研究得出以下結論：

#### 一、年平均懸浮微粒濃度下降

由第三章第二節的台北市空氣品質變化分析可知，1995 年至 2006 年懸浮微粒濃度呈現緩慢下降之趨勢，透過 GIS 模擬之台北市懸浮微粒濃度分布圖可知各行政區之變化情形，其中懸浮微粒濃度變化最為明顯的地區包括有台北車站周邊、士林夜市一帶、內湖區和文山區等四個地區。台北車站周邊和士林夜市一帶之懸浮微粒濃度在 1995 年為台北市最高，而後逐漸緩慢下降，至 2006 年與其他地區濃度值相似；內湖區之懸浮微粒濃度變化呈現先下降後緩慢上升之狀態；文山區之懸浮微粒濃度隨著捷運之開通呈現緩慢上升之趨勢；其餘各行政區之懸浮微粒濃度逐年緩慢降低。整體而言，由懸浮微粒濃度分布圖可知，台北市空氣品質相較於 1995 年已改善許多；而透過 Panel Data 實證分析之時間固定效果模型亦證實，台北市 1995

年至 2006 年懸浮微粒濃度隨著時間呈現下降趨勢，此表示台北市空氣品質已逐漸提昇，亦表示台北市施行的各項空氣品質改善措施有達到成效。

## 二、捷運營運對懸浮微粒濃度之影響為全面性

本研究第四章 Panel Data 實證模型結果顯示，捷運沿線行經之村里對年平均懸浮微粒濃度呈現正向顯著關係，表示有捷運行經之村里，其懸浮微粒濃度值會上升，空氣品質較差；換言之，捷運沿線之空氣品質較其他地區差。但是，由第三章第二節空氣品質變化分析與第四章第三節時間固定效果模型可發現，年平均懸浮微粒濃度自 1995 年到 2006 年呈現逐年下降之趨勢，且隨著捷運路線之愈加完善，台北市空氣品質愈加提昇。因此，本研究推測捷運興建營運是降低台北市懸浮微粒濃度的原因之一：透過第三章第一節之圖 3-4 和圖 3-6 可知，1999 年以後機動車輛成長率逐漸趨緩，同年捷運搭乘人數大幅成長，此表示隨著捷運路網的建構完成，使人們由原先使用機動車輛改為搭乘捷運，因而降低了機動車輛的需求；而機動車輛成長幅度趨緩，亦間接表示機動車輛使用率降低，汙染排放源亦隨之降低。再由第三章第二節捷運路線和懸浮微粒濃度分布圖可發現，捷運沿線行經之周邊除信義區和文山區之懸浮微粒濃度較往年偏高外，其他行政區之懸浮微粒濃度呈現日漸下降之情形，尤其以台北車站周邊和士林夜市一帶最為明顯。相較之下，捷運沿線行經之村里呈現正向顯著之變動關係，可能來自於捷運沿線轉乘接駁公車班次的增多，以及都市活動向沿線聚集促使交通流量的增加，因而使懸浮微粒濃度較其他地區高。

因此，實證結果雖顯示有捷運經過之村里懸浮微粒濃度會較高，但由空間分析法和時間固定效果亦可得出，捷運營運能降低台北市懸浮微粒濃度。是以，捷運建設不僅影響捷運沿線之空氣品質，更全面性的影響台北市之空氣品質。

## 三、捷運、產業和人口確實會影響懸浮微粒濃度

本研究首先利用空間推估法模擬各年度懸浮微粒濃度分布圖，其次利用空間自相關分析法取得產業、人口之空間聚集分布變化，由第三章第三節可知，1995 年至 2006 年產業分布主要聚集在台北車站周邊，且有逐漸往信義區和內湖區移動之趨勢；在人口分布方面，1995 年至 2006 年內湖區和文山區內部人口聚集程度高，且聚集範圍有擴大現象。將各年度產業和人口聚集分布情形套疊懸浮微粒濃度分布圖與捷運路網分布圖可發現，產業聚集程度較高之地區，對應之懸浮微粒濃度值會較高；人口聚集程度較高

之區域，對地區之懸浮微粒會產生些微影響。當產業和人口同時聚集在某區域時，該地區之懸浮微粒濃度會增加，使得空氣汙染愈加惡化。因此，產業和人口分布確實會影響懸浮微粒濃度值。但是，隨著捷運路網愈加完善，台北市空氣品質有提昇之趨勢。

透過空間分析法取得捷運、人口及產業三者與懸浮微粒之關係後，本研究再以 Panel Data 實證分析就業員工密度、人口密度和捷運沿線行經之村里這三項空氣汙染變數與年平均懸浮微粒濃度之關係。結果顯示就業員工密度、人口密度以及捷運行經之村里三者皆對年平均懸浮微粒呈現正向顯著影響，表示就業員工密度和人口密度增加時，會產生較多之通勤旅次，造成懸浮微粒濃度值增加；有捷運經過之村里則隨著捷運可及性的提高，使得沿線懸浮微粒濃度值上升，但隨捷運路網愈加完善，懸浮微粒濃度愈低、空氣品質愈好。綜上所述，捷運路線、人口和產業之分布變化確實會影響區域之懸浮微粒濃度，進而影響空氣品質之優劣；是以，在引導人口和產業往捷運沿線分布時，如何鼓勵人們減少使用私人運具並且多加搭乘捷運系統，乃當前所需面臨的重要課題。

## 第二節 建議

以下根據本研究之研究所得提出相關之政策建議，以及本研究可延伸之相關研究方向供後續研究參考。

### 一、政策建議

本研究根據實證分析之結果與研究發現，提出未來台北市研擬交通運輸與環境品質維護之相關政策建議，說明如下：

#### (一) 引導產業、人口往捷運沿線發展需有完善配套措施

本研究證實捷運路線、人口密度和產業員工密度是影響都市懸浮微粒濃度之重要因素，因此，政府在推廣大眾運輸導向理念，鼓勵人口、產業往捷運沿線發展，以此減少私人運具之旅行次數，進而提高大眾運輸使用程度時，於土地開發的同時需有完善配套措施，諸如第二章第三節所提出的停車管理策略，透過停車場總量管制、減少停車空間、加強捷運接駁公車路線之規劃與班次，如此才可能抑制人們使用私人運具，進而提高搭乘大眾運輸系統的意願，達成降低能源使用、改善都市空氣品質之目標。倘若政府引導人口、產業往大眾運輸廊帶聚集，在捷運沿線周邊大量開發土地並增設許多停車空間，而未有相關之交通配套措施時，人們依舊會選擇省時、便利的私人運具在空間上移動；如此以來，不僅大眾運輸使用率不高、浪費政府公共支出，更有可能因為增加沿線周邊的可及性，造成都市吸引力和經濟活動力的提高，產生更多的都市土地開發需求和活動人口，反而引發都市內部交通擁擠和空氣汙染等問題更為嚴重。因此，在推動大眾運輸導向，鼓勵人們、產業往捷運沿線遷移時，若能減少內都市的停車空間並且進行停車場總量管制，在停車不易之狀態下，將可減少人們使用機動車輛，促使都市居民和都市就業人口搭乘大眾運輸工具；在大眾運輸搭乘率提高之情形下，將可達成空氣品質改善之效益。

#### (二) 加強運輸管理策略

本研究由第三章台北市空氣品質變化分析得知，捷運營運確實能降低台北市懸浮微粒濃度，進而提昇空氣品質。除了捷運建設促使台北市懸浮微粒濃度下降外，台北市實施單行道系統、彈性調撥車道、公車專用道…等運輸系統管理（TSM）策略，與環保署針對移動汙染

源採行的防制措施(諸如開徵空氣汙染防制費、鼓勵使用清潔車輛等)，亦是改善空氣品質的原因之一。因此，未來台北市在管理移動汙染源方面，除了繼續執行各項運輸系統管理與移動汙染源防制措施外，亦可納入運輸需求管理(Transportation Demand Management, TDM)<sup>5-1</sup>策略，以此改變人們的運輸行為，減少旅次或改變對使用運具的種類，進而降低移動汙染源。在加強執行運輸系統管理和運輸需求管理這兩項運輸管理策略後，將更有助於降低台北市懸浮微粒濃度，達成淨化空氣品質之目標。

### (三) 提高都市綠化程度

綠色植物本身透過光合作用能吸收空氣中之汙染物質、釋放新鮮空氣，並且能過濾空氣中之懸浮微粒、塵埃等空氣汙染物，具有淨化空氣品質、調整都市微氣候、平衡環境水文系統等功用。而本研究透過各行政區固定效果之實證結果亦證明，當區域內擁有較多公園綠地、綠色植栽，該區域之懸浮微粒濃度會較低；因此，多種植綠色植物、提高都市綠美化程度，將可提昇空氣淨化能力，改善都市空氣品質。目前台北市為推動都市綠化、增進市容景觀，在建築基地上實施綠覆率政策，期能透過環境規劃設計手法來提昇空氣品質。除實施綠覆率政策外，若政府能鼓勵企業單位或開發商設置公園綠地等休憩場所，不僅可美化都市環境、提供健康休憩場所，更可在提昇都市環境後，吸引人口和產業往該處發展，達到環境與經濟雙贏的局面。

## 二、後續研究建議

在後續研究建議方面，本研究針對資料蒐集上應注意與改進的地方，與研究過程所發現其餘相關課題可供後續之研究，提出如下建議。

### (一) 相關資料之蒐集

本研究由於以里為單位，在資料蒐集過程中，礙於統計資料詳細度之不足，未能納入所有空氣汙染變數(諸如行駛里程數、公園綠地面積、開發土地面積、道路長度及面積、機動車輛數…等)，因此建議政府單位未來在統計資料上能更加細分，以補足相關研究之所需。

---

<sup>5-1</sup> 馮正民(2003)指出運輸需求管理為係指管理『運輸需求』，藉由改變人們的運輸行為(Travel Behavior)，來減少旅次或改變其對使用運具的種類、發生旅次之時間及次數，以減緩對道路交通、生活環境及運輸系統所產生之衝擊」。

## (二) 大眾運輸系統停駛對空氣品質影響之探討

本研究係利用空間分析法和追蹤資料迴歸模型探討捷運營運對台北市空氣品質之影響，建議後續研究可應用相同之研究方法探討捷運停駛（如木柵線<sup>5-2</sup>）前後對空氣品質之影響程度，以此驗證大眾運輸系統是否真能帶來淨化空氣品質之效益，並提供政府單位發展大眾運輸建設之參考依據。

## (三) 選取其他地區進行研究

本研究以「台北市」為研究範圍，探討捷運營運前後對區域空氣品質是否有所改善，欲將本研究之研究結果套用至其他已興建或欲興建捷運之地區，可能會因為各地區發展背景與發展條件之差異性而無法一體適用。因此，建議可探討其他已發展捷運地區（高雄）之空氣品質變化及其影響因素，並與本研究之研究結果進行比較分析，以此提供政府部門未來在研擬興建區域大眾運輸建設之參考依據。

---

<sup>5-2</sup> 台北捷運為進行內湖與木柵捷運系統機電整合之測試，於2008年12月6日至2009年1月18日每逢周六、日木柵全線各站配合停駛，改以接駁公車作為替代方案。



# 參考文獻

## 一、中文參考文獻

1. Henry C. Perkins 著，林政剛、林國雄、洪培元、黃政賢、劉光宇編譯，1995，『空氣汙染』，台北市：麥格羅希爾。
2. 王振霖，1992，「空氣品質限制下都會發展模式之研究」，交通大學運輸研究所碩士論文：新竹。
3. 王國權，2005，「台北都會區都市發展對於都市能源消耗影響之研究」，台北大學都市計劃研究所碩士論文：台北縣。
4. 王塗發，1998，「台灣因應二氧化碳減量排放之道」，『環耕』，12：35-43。
5. 交通部運輸研究所，1997，「我國都市地區運輸系統管理策略對於能源消耗與環境(空氣)汙染之影響研究」，台北市：交通部運輸研究所。
6. 朱健銘，2000，「土地利用空間型態之研究」，台灣大學地理學研究所碩士論文：台北市。
7. 艾兆蕾，2005，「影響住宅區地價因素之空間分析—以鄉鎮與縣市為例」，世新大學管理學院經濟學系碩士論文：台北市。
8. 行政院環保署，1991，交通運輸管理改善空氣汙染試辦辦法（Ⅲ）—加速淘汰老舊機動車輛方案之研究。
9. 吳俊儀，2001，「先進國家空氣品質管理重點之現況研究」，『環保月刊』，1(6)：83-89。
10. 吳錫政，1995，「台北都會區空氣汙染之價格估算—特徵價格法之應用」，中興大學資源管理所碩士論文：台北市。
11. 呂達雄，2008，「台灣就業市場的空間」，世新大學管理學院財務金融學系碩士論文：台北市。
12. 呂鴻光、簡慧貞，2003，「空氣汙染減量策略分析及探討」，『工業汙染防治』，87：1-22。
13. 李姍玫，1998，「空氣品質監測站設置之評估」，中興大學資源管理所碩士論文：台北市。
14. 李宗益，1988，「道路空氣品質改善策略之研究」，交通大學交通運輸工程研究所碩士論文：新竹。
15. 李家儂，2003，「都會區大眾運輸導向發展之規劃模式」，台北大學都市計劃研究所碩士論文：台北市。
16. 李瑞源，1997，「空氣汙染與氣喘病發作嚴重度之關係」，中山醫學院醫學研究所碩士論文：台中市。
17. 李曜全、邢浩然，2002，「台北都會區空氣品質改善措施之探討」，『工業汙染防治』，82：63-81。
18. 沈恆立，2006，「台北市空氣品質改善效益之經濟評估—特徵價格法之

- 應用」，中國文化大學經濟研究所碩士論文，台北市。
19. 林俊毅，2004，「大眾初期路網轉乘措施對地區空氣品質影響之研究」，台北科技大學環境規劃與管理研究所碩士論文：台北市。
  20. 林界宏，1998，「地理資訊系統在空氣品質監測上之應用」，中興大學環境工程學研究所碩士論文：台中市。
  21. 林素貞、呂信賢、張翊峰，1994，「能源與環境政策分析—以石油消費結構對汙染排放量影響為例探討產業發展策略」，『中國環境工程學刊』，4(2)：89-98。
  22. 紀凱婷，2008，「台北市新推個案訂價之時間與空間相依性分析」，政治大學地政學系碩士論文：台北市。
  23. 凌瑞賢，2004，『運輸規劃原理與實務』二版，台北：鼎漢。
  24. 徐淵靜，1998，「交通運輸對環境的衝擊」，『環耕』，12：19-23。
  25. 徐鐙城，1996，「台北縣土城工業區廠商環境識覺之研究」，文化大學地理學研究所地理組碩士論文：台北市。
  26. 翁淑貞，1992，「台北都會區空氣汙染對住宅價格影響之研究」，中興大學都市計劃研究所碩士論文：台北市。
  27. 張永欣，2007，「以多變量地質統計方法進行雨量空間內插」，中央大學應用地質研究所碩士論文：桃園。
  28. 張有恆、賴淑芬，1992，「車輛共乘管理策略降低能源消耗與空氣汙染之研究(上)」，『能源季刊』，22(3)：17-26。
  29. 張有恆、賴淑芬，1992，「車輛共乘管理策略降低能源消耗與空氣汙染之研究(下)」，『能源季刊』，22(4)：1-23。
  30. 張順欽，2006，「台北市空氣品質近十年來變動型態及其顯現的意義」，中央大學環境工程研究所博士論文：桃園。
  31. 曹慈容，1997，「空氣汙染減量目標下台北都會區運具分配之研究」，台灣大學土木工程學研究所碩士論文：台北市。
  32. 梁馨云，1997，「以結構化社會經濟因素探討旅次發生—類神經網路與多元迴歸之比較」，交通大學交通運輸研究所碩士論文：新竹。
  33. 陳佳惠，1997，「以克力金分析空氣品質之研究」，中興大學環境工程學研究所碩士論文：台中市。
  34. 陳昌斐，2004，「交通空氣品質監測站污染特性探討及改善策略研擬—以苗栗公館測站為例」，中山大學環境工程研究所碩士論文：高雄。
  35. 陳美智，2007，「都市空氣汙染防治系統動態分析」，成功大學都市計劃研究所博士論文：台南。
  36. 陳賓權，1998，「交通與環保之間的平衡」，『環耕』，12：24-29。
  37. 曾宇代，1999，「空間推估法結合地理資訊系統模擬臭氧濃度空間分佈之研究」，中興大學環境工程學研究所碩士論文：台中市。
  38. 曾國雄、曹勝雄、廖耀東，1992，「台北都會區土地使用形態與環境品

- 質之研究」,『都市與計劃』,19(1):33-52。
39. 馮正民,2001,「捷運網絡發展對台北市都市空間結構影響之規劃總結報告書」,台北市政府都市發展局。
  40. 馮正民,2003,「城市移動污染管理及低污染運具推動策」,論文發表於〈臺北生態城市空氣污染防治研討會〉,國立台北科技大學環境規劃與管理研究所:台北,民國92年8月21日至22日。
  41. 馮惠珊,1990,「產業發展與環境汙染」,『台北市銀月刊』,21(10):35-48。
  42. 黃文政,蘇春基、楊富堤,1997,「克力金法於空氣品質空間推估之研究」,『中國環境工程學刊』,7(3):281-288。
  43. 黃怡,1998,「科學界的樂觀與悲觀」,『環耕』,12:52-54。
  44. 黃紹東,2004,「台南市東區住宅價格之空間自我迴歸分析」,成功大學都市計劃研究所碩士論文:台南。
  45. 黃耀輝,1999,「都會區交通空氣汙染監測站站網規劃」,交通大學環境工程所碩士論文:新竹。
  46. 楊文龍,2001,「交通管理策略對都會空氣品質之影響評估」,淡江大學水資源及環境工程學系博士論文:台北。
  47. 葉嘉純,2003,「都會交通建設對空氣品質變化之影響評估」,淡江大學水資源及環境工程學系碩士論文:台北。
  48. 鄒克萬,2000,「區域人口分布之時空分析」,『台灣土地科學學報』,1:33-50。
  49. 蔡佩真,1994,「都市綠網評估體系之建構與應用」,逢甲大學土地管理學系碩士論文:台中。
  50. 盧啟文、程惠生,1990,「運輸改善對都市空氣品質影響之研究」,『工業汙染防治』,35:20-27。
  51. 盧梅芳,2001,「大氣細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)汙染來源及分析—化學質量平衡法受體模式應用」,高雄第一科大環境與安全衛生工程系碩士論文:高雄。
  52. 賴宗裕,2006,『成長管理』,國立政治大學地政學系。
  53. 賴政錡,2008,「都市蔓延與氣候暖化關係之研究—以台北都會區為例」,政治大學地政學系碩士論文:台北市。
  54. 簡雅文,2008,「空氣汙染與新生兒健康之探討—以台灣各鄉鎮嬰兒死亡率為例」,中央大學產業經濟研究所碩士論文:桃園。
  55. 簡龍鳳,2005,「論永續發展概念下緊密都市之空間結構思維」,『土地問題研究季刊』,4(2):16-24。
  56. 蘇建中,2000,「半導體工業區空氣汙染物之懸浮微粒的調查分析」,清華大學原子科學系碩士論文:新竹。
  57. 蘇桂醇,1996,「高雄都會邊緣工業發展及其對環境衝擊之研究—以大寮鄉與林園鄉為例」,文化大學地學研究所地理組碩士論文:台北。

## 二、外文參考文獻

1. Abramson, M., Voigt, T., 1991, "Ambient air pollution and respiratory disease", *Medical journal of Australia*, 154(88): 543-553.
2. Anselin, L., 1995, "Local Indicators of Spatial Association: LISA", *Geographical Analysis*, 27(2): 93-115.
3. Anselin, L., Bera, A., 1998, "Spatial dependence in linear regression models with an introduction to spatial econometrics", New York, 155: 237-289.
4. Bae, CH. C., 1993, "Air Quality and Travel Behavior: Untying the Knot", *American Planning Association*, 59(1): 65-74.
5. Borrego, C., Martines, H., Tchepel, O., Salmin, L., Monteiro, A., Miranda, A.I., 2006, "How urban structure can affect city sustainability from an air quality perspective", *Environmental Modelling & Software*, 21: 461-467.
6. Camagni, R., Gibelli, M.C., Rigamonti, P., 2002, "Urban mobility and urban form: the social and environmental costs of different patterns of urban expansion", *Ecological Economics*, 40: 199-216.
7. Cliff, A., Ord, J.K., 1981, "Spatial Processes: Models and Applications", London: Pion.
8. Ewing, R., 1997, "Is Los Angeles-Style Sprawl Desirable ? ", *American Planning Association*, 63(1): 107-125.
9. Ghose, M.K., Paul, R., Banerjee, S.K., 2004, "Assessment of the impacts of vehicular emissions on urban air quality and its management in Indian context: the case of Kolkata(Calcutta)", *Environmental Science & Policy*, 7: 345-351.
10. Heimlich, R., Anderson, W., 2001, "Development at the urban fringe and beyond: Impacts on agriculture and rural land", *Agriculture Economic Report (AER803)*, United States Department of Agriculture.
11. Johnston, R., Rodier, C., Choy, M., Abraham, J., 2000, "Air quality impacts of regional land use policies", Prepared for US Environmental Protection Agency, Urban and Economic Development Division, Washington, DC.
12. Marshall, J.D., McKone, T.E., Deakin, E., Nazaroff, W.W., 2005, "Inhalation of Motor Vehicle Emissions: Effects of Urban Population and Land Area", *Atmospheric Environment*, 39: 283-295.
13. Meinardi, S., Nissenson, P., Barletta, B., Dabdub, D., Rowland, F.S., Blake, D.R., 2008, "Influence of the public transportation system on the air quality of a major urban center. A case study: Milan, Italy", *Atmospheric Environment*, 42: 7915-7923.
14. Miller, J.S., Hoel, L.A., 2002, "the "Smart Growth" Debate: Best Practices for Urban Transportation Planning", *Socio-Economic Planning Sciences*, 36:

1-24.

15. Mindali, O., Raveh, A., Salomon, I., 2004, "Urban density and energy consumption: a new look at old statistics", *Transportation Research Part A*, 38: 143-162.
16. Nebel, B.J., Wright, R.T., 1998, "Environmental Science", Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ., U.S.A, pp612-613.
17. Perner, M., 2001, "Developing a sustainable compact city in Stockholm, Sweden", Thematic Committee, Stockholm City Planning Administration.
18. Samet, J.M., Dominici, F., Currier, I., Coursac, I., Zeger, S.L., 2000, "Fine Particulate Air Pollution and Mortality in 20 U.S. Cities, 1987-1994", *The New England Journal of Medicine*, 343(24) : 1742-1749.
19. Schwartz, J., Slater, D., Larson, T.V., Pierson, W.E., Koenig, J.Q., 1993, "Particulate air pollution and hospital emergency room visits for asthma in Seattle", *American Review of Respiratory Disease*, 147: 826-831.
20. Steemers, K., 2003, "Energy and the city: density, buildings and transport", *Energy and Buildings*, 35: 3-14.
21. Stone, B., 2008, "Urban sprawl and air quality in large US cities", *Journal of Environmental Management*, 86: 688-698.
22. Upton, G., Fingleton, B., 1985, "Spatial Data Analysis by Example", Wiley New York.
23. WHO, 1999, "Guideline for Air Quality", World Health Organization.
24. Woodruff, T.J., Darrow, L.A., Parker, J.D., 2008, "Air Pollution and Postneonatal Infant Mortality in the United States, 1999-2002", *Environmental Health Perspectives*, 116(1): 110-115.

### 三、網頁參考文獻

1. 台北市政府，2007，「台北市年鑑 2006」，  
[http://www.taipei.gov.tw/cgi-bin/SM\\_theme?page=42f854a0](http://www.taipei.gov.tw/cgi-bin/SM_theme?page=42f854a0)，取用日期：2009年4月15日。
2. 世界衛生組織，2005，「Air Quality Guidelines」，  
[http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair\\_aqg/en/](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair_aqg/en/)，取用日期：2009年4月9日。
3. 江旭程，2008，「空氣品質模式介紹」。163.13.134.134/AIR/aqmodel.doc，取用日期：2008年11月15日。
4. 行政院國家永續發展委員會，2008，「2007 台灣永續發展指標現況」，  
<http://sta.epa.gov.tw/nsdn/CH/development/INDEX.HTM>，取用日期：2009年5月7日。

5. 行政院環境保護署，<http://www.epa.gov.tw/>。
6. 行政院環境保護署移動汙染管制網，<http://mobile.epa.gov.tw/trafficcontrol.asp>，取用日期：2009年5月10日。
7. 環保法規查詢系統，空氣汙染防制法。<http://w3.epa.gov.tw/epalaw/search/LordiDispFull.aspx?ltype=04&lname=0010>，取用日期：2008年11月5日。
8. 經濟部能源局，2008，「96年能源統計年報」。<http://www.moeaboe.gov.tw/>，取用日期：2008年11月20日。
9. 經濟部能源局，2008，「我國燃料燒之二氧化碳排放統計與分析」，<http://www.moeaboe.gov.tw/>，取用日期：2008年11月19日。