

95 年度「環保署/國科會空污防制科研合作計畫」

成果完整報告

高屏地區大氣懸浮微粒(PM10及PM2.5)特性及成因分析研究 子計畫二：本土化「空氣品質指標」(AQI) 研析與建議

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC95-EPA-Z-002-005

執行期間：95 年 3 月 1 日~95 年 12 月 31 日

總計畫主持人：陳康興

計畫主持人：柳中明

共同主持人：

計畫參與人員：尤思喻

執行單位：臺灣大學全球變遷研究中心

中 華 民 國 95 年 12 月 31 日

空污防制科研計畫研究成果資料表

 可申請專利

 可技術移轉

日期：95 年 12 月 31 日

計畫資料	計畫名稱：本土化「空氣品質指標」(AQI) 研析與建議 計畫主持人：NSC95-EPA-Z-002-005 計畫編號：NSC95-EPA-Z-002-005 總計畫名稱：高屏地區大氣懸浮微粒(PM10 及 PM2.5)特性及成因分析研究
技術/創作名稱	AQI_85 空氣品質指標系統
發明人/創作人	柳中明
技術說明	<p>中文：行政院環保署近年來特別呼應國際重視細微粒子影響呼吸道疾病的議題，全面設置 PM2.5 (粒徑大小小於 2.5 微米) 測量儀器，並且全面規劃更新環境資料庫。原則上，環保署即已建立 PM2.5 監測系統，就應向一般大眾報告 PM2.5 對大眾健康的威脅，而空氣品質指標系統的建立，是為相當有效的方式。本研究提出 AQI_85 指標系統，作為臺灣空氣品質指標(TAQI, Taiwan Air Quality Index)系統。其關鍵點是依據我國 PSI 指標系統，其中 24 小時平均 PM10 濃度達 $150\mu\text{g m}^{-3}$ 即設定為空氣不良，取該值的 0.56，而設定我國 24 小時平均 PM2.5 濃度達 $85\mu\text{g m}^{-3}$ 為空氣不良，以適當向民眾告知 PM2.5 對空氣品質的影響。</p> <p>英文：In recent years, ROC Environmental Protection Administration has successfully installed instruments to monitor the level of PM2.5 (particles with diameter smaller than $2.5\mu\text{m}$) at all stations. Since an indexing system is useful to inform public about the air quality status. The AQI_85 system is proposed by this study to be the representative Taiwan air quality index system. In this system, the 24-hrs mean PM2.5 level of 25, 85, 140 and $175\mu\text{g m}^{-3}$ is assigned with a sub-index value of 50, 100, 150 and 200, respectively. Such assignment is to match with the corresponding PM10 levels with the constraint that the PM2.5/PM10 ratio being close to 0.56.</p>
可利用之產業 及 可開發之產品	
技術特點	
推廣及運用的價值	本計畫主要提出新的空氣品質指標系統 AQI_85，將可能成為我國未來主要的指標系統。

- ※ 1. 每項研發成果請填寫一式二份，一份隨成果報告送繳本會，一份送 貴單位研發成果推廣單位（如技術移轉中心）。
- ※ 2. 本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。
- ※ 3. 本表若不敷使用，請自行影印使用。

摘要

行政院環保署近年來大幅進行監測設備汰舊換新工程，並新增各項監測項目。其中，特別呼應國際重視細微粒子影響呼吸道疾病的議題，全面設置PM2.5（粒徑大小小於2.5 微米）測量儀器，並且全面規劃更新環境資料庫。本研究的研究目標即設定為：發展本土化空氣品質指標系統，以期取代現行之污染標準指標系統(Pollution Standard Index)；進行各項指標污染物的數值比對與分類探討及評估；整合歷年國內外相關空氣品質指標分析資料，探討國內適用之可行性，而提出具體可行之草案建議。

目前，世界上僅美國使用包括PM2.5資訊的AQI (Air Quality Index)指標系統，本文以AQI_40稱呼之。若是直接使用美國的AQI_40，分析期間指標大於100的機率將為33%，出現空氣品質不良日暴增6.5倍的情形，相當驚人。大致上，分析2005/6~2006/11資料，指出臺灣地區的PM2.5/PM10比值雖具備相當之空間與時間變化性，但平均約為0.56。基於此特徵，本文提出AQI_85指標系統，作為臺灣空氣品質指標(TAQI, Taiwan Air Quality Index)系統。其關鍵點是依據我國PSI指標系統，其中24小時平均PM10濃度達 $150\mu\text{g m}^{-3}$ 即設定為空氣不良，取該值的0.56，而設定我國24小時平均PM2.5濃度達 $85\mu\text{g m}^{-3}$ 為空氣不良，以適當向民眾告知PM2.5對空氣品質的影響。在此系統內，24小時平均PM2.5濃度若為25、85、140或 $175\mu\text{g m}^{-3}$ ，就分別給予副指標為50、100、150與200。如此，每日的AQI_85值將僅略大於PSI，分析期間指標大於100的機率為8.5%，也僅略大於PSI的5.2%。在此同時，我國24小時平均PM10標準為 $125\mu\text{g m}^{-3}$ ，取該值的0.56，所以我國24小時平均PM2.5的標準即可設定為 $70\mu\text{g m}^{-3}$ 。至於年平均標準，PM10為 $65\mu\text{g m}^{-3}$ ，取該值的0.56，所以PM2.5年平均標準為 $35\mu\text{g m}^{-3}$ 。

原則上，環保署即已建立PM2.5監測系統，就應向一般大眾報告PM2.5對大眾健康的威脅，而空氣品質指標系統的建立，是為相當有效的方式。不過，若直接採用美國AQI系統，其出現不良空氣品質狀態的機率太高，反而造成民眾恐慌。所以建議使用能反應我國PM2.5/PM10平均比值特徵的AQI_85系統。如此，環保署未來應將空氣污染防制工作設定在抑制PM2.5濃度為主，若待PM2.5/PM10比值下降達0.27時，就可考慮使用美國的AQI_40系統。

關鍵詞：空氣品質指標、PM2.5、空氣品質警告。

Abstract

In recent years, ROC Environmental Protection Administration has replaced many old air quality monitoring instruments and added in few monitoring items. Among them, installation of instrument to monitor the level of PM_{2.5} (particles with diameter smaller than 2.5 μ m) at all stations has progressed quite successfully. The main purpose of this research is to develop a Taiwan Air Quality Index (TAQI) for replacing the current PSI (Pollutant Standard Index) based on these newly on-lined monitoring datasets, and to analyze the development in other countries. So far, only USA EPA has adopted AQI (Air Quality Index) (named as AQI_40 in this report) which includes the information of PM_{2.5} for daily air quality monitoring.

In general, the mean ratio of PM_{2.5}/PM₁₀ in Taiwan is approximately 0.55-0.56, though it varies spatially with the change of local characteristics. Therefore, AQI_85 is proposed to be the representative Taiwan air quality index system. In this system, the 24-hrs mean PM_{2.5} level of 25, 85, 140 and 175 μ g m⁻³ is assigned with a sub-index value of 50, 100, 150 and 200, respectively. Such assignment is to match with the corresponding PM₁₀ levels with the constraint that the PM_{2.5}/PM₁₀ ratio being close to 0.56. Under AQI_85, the estimated indexes are slightly larger than those of PSI, with the occurring frequency of AQI_85 larger than 100 being about 8.5% during June 2005 ~ November 2006. During the same period, the chance of index larger than 100 is about 5.2% for PSI and 33% for AQI_40. We propose to apply AQI_85 to report the local air quality realistically. Later on, when the ratio of PM_{2.5}/PM₁₀ is decreasing gradually down to 0.27, then AQI_40 can be applied. Such approach will allow Taiwan EPA to have plenty of time to modify their current policies on focusing intensely on cutting back the level of PM_{2.5}, in contrast to the previous policies which focus mainly on cutting the level of PM₁₀. In the meantime, we shall set the daily-mean and annual standard of PM_{2.5} as 70 and 35 μ g m⁻³, respectively.

Key words: air quality index, PM_{2.5}, air quality warning.

一、前言

我國行政院環保署近年來大幅進行監測設備汰舊換新工程，並新增各項監測項目。其中，特別呼應國際重視細微粒子影響呼吸道疾病的議題，全面設置PM2.5（粒徑大小小於2.5 微米）測量儀器，並且全面規劃更新環境資料庫，更於網際網路上及時提供各項監測項目的空間分布資訊等，令人耳目一新。可謂是更及時與正確地提供全民期望了解的空氣品質監測資訊。

但是，我國長期使用之「空氣污染指標」（Pollutant Standards Index；PSI），為參考美國環保署自1976 年以來所建立之空氣品質指標，其依據監測站當日空氣中PM10（不包括粒徑10 微米以上粗粒之懸浮微粒）測值、二氧化硫(SO₂)濃度、二氧化氮(NO₂)濃度、一氧化碳(CO)濃度及臭氧(O₃)濃度等數值換算出該污染物之空氣污染副指標值，再以當日各副指標值之最大值為該測站當日之空氣污染指標值(PSI)。指標值在100 以下者，即表示該測站當日空氣品質符合美國環境空氣品質標準中之短期(24 小時)之平均值，若PSI 大於100 對健康有不良影響(參考表1)。我國長期以每年PSI 超過100 的日數變化，作為空氣品質改善之參考指標，以及空氣品質控制策略之擬定準則。

考量我國全面新增PM2.5 監測項目，以及國際近年來對於空氣品質與健康關聯性的研究進展，和各國空氣品質指標制度的更新，我國的PSI 指標系統實應全面檢討，期以建立新的本土性空氣品質指標(Taiwan Air Quality Index；TAQI)系統。

二、各國空氣品質指標

空氣品質指標是環境品質指數的一部分，用以評估一個地區或國家的空氣品質好壞或空氣污染嚴重的程度高低，其取決於數種不同之空氣污染物濃度多寡。若直接使用空氣品質監測站的污染物監測值來表示一個地區的空氣品質，將因資料種類過多及複雜性而無法很清楚的使人了解其意義。一般指標有兩個基本型式一為遞增型指標，另一為遞減型指標(Ott, 1978)；遞增型指標稱為「污染指標」，即指標值隨污染物增加程度而增加，當指標值等於0 時，代表沒有污染或污染極輕微，當指標值等於100 時代表污染嚴

重，而我國現行PSI 即為此類；遞減型指標稱為「品質指標」，即指標值隨污染減少程度而減少，當指標值等於0 時，代表污染嚴重並且品質惡化，當指標值等於100 時，代表品質極佳。

1976 年美國政府建立了一致性的空氣品質指標（Thom and Ott, 1976），稱之為污染標準指標（Pollutant Standard Index, PSI），該指標係由美國環保署與環境品質諮詢委員會（Council on Environmental Quality, CEQ）調查美國55 個城市的環保機構，發現其中有14 種不同的指標及不同的污染警告說明，被各自使用於發佈空氣污染警報，這些不同的指標常令民眾感到混淆與困惑，於是進行統合，除總覽所有地方政府機關及文獻中的指標外並自行研究，針對變數項目、計算方式、類別敘述等進行評估而建置，使用國家環境空氣品質標準（National Ambient Air Quality Standards, NAAQS）及空氣污染事件標準之污染物顯著有害濃度（Significant Harm Level, SHL），輔以線性內插函數來計算各污染物的副指標值（黃等，1995），如圖1所示。我國的PSI系統就是源自美國的PSI。

美國在1999 年依據清淨空氣法案第319 節，對於各州用來報導每日空氣品質的指標進行一些修正，並於1999 年10月4 日起生效（USEPA, 1999, 2006）。該指標系統的名稱為空氣品質指標（Air Quality Index, AQI）（表2）。新增細粒徑懸浮微粒（PM_{2.5}）與臭氧8 小時平均濃度的副指標項目，並增加101-150 為對敏感族群不良（Unhealthy for Sensitive Groups）等級與151-200為空氣品質不良等級。在顯示空氣品質對敏感族群不健康等級時，敏感個體例如氣喘患者、呼吸系統疾病患者或小孩、老人應減少戶外活動，避免健康危害發生。該指標系統取24小時平均的PM_{2.5}濃度為40 $\mu\text{g m}^{-3}$ 之副指標為100，本報告乃將AQI稱之為AQI₄₀。但是該系統在設定初期（USEPA, 1999），是取65 $\mu\text{g m}^{-3}$ 之副指標為100，本報告另將其稱之為AQI₆₅。

加拿大空氣品質指標（Air Quality Index, AQI），是用以評估都會地區空氣品質等級的一種系統，它將空氣品質由0~100 的尺度，劃分為4 等級，數值愈低表示空氣品質愈好：0~25 表示空氣品質良好，26~50 表示空氣品質尚可，51~100表示空氣品質劣化，100 以上表示空氣品質極劣。AQI 使用的指標污染物為：臭氧（O₃）、一氧化碳

(CO)、二氧化硫(SO₂)、懸浮微粒(SP)等五種，此五種污染物對應的指標換算濃度如表3。指標值尺度25 對應NAAQOs (National Ambient Air Quality Objectives & Guidelines in Canada) 中的最大期望等級 (maximum desirable level)，指標尺度50 對應NAAQOs 中的最大可接受等級 (maximum acceptable level)，指標尺度100 對應NAAQOs 中的最大容許等級 (maximum tolerable level)。加拿大空氣品質指標制度建構機制與美國相同，除提供空氣品質狀況予民眾外，在空氣品質惡化時發佈警訊提醒民眾預防空氣品質惡化所造成的健康危害，其健康效應警告顯示於表4。

英國空氣污染指標系統為英國空氣污染資訊服務局 (Air Pollution Information Service) 用來描述空氣污染程度的表現方法。現行的 (2001 年8 月起) 指標系統是利用最新的空氣污染效應之醫學與科學研究結果，將空氣污染程度由0~10 的指標值代表，並劃分成四個等級：指標值1~3 表示低污染，4~6 表示中度污染，7~9 表示高度污染，10 及以上表示非常嚴重污染。各等級的健康危害情形說明如表5。該指標污染物係依據英國國家空氣品質對策 (UK National Air Quality Strategy) 所公佈的空氣品質標準 (National Air Quality Standard) 及英國衛生署之空氣污染物健康效應委員會 (Department of Health's Committee on the Medical Effects of Air Pollutant, COMEAP) 所建議的污染物及濃度值作為指標污染物轉換的基準，其中空氣品質標準對應為指標值4 的指標污染物濃度轉換基準，該污染指標系統指標污染物濃度轉換顯示於表6。

日本是在 70 年代制定空氣品質標準，所規範之污染物項目包括，二氧化硫(SO₂)、二氧化氮(NO₂)、一氧化碳(CO)、懸浮微粒(PM10)及 PAN 等五項，未訂定鉛項目的品質標準；上述空氣污染物標準值已有多年未做修訂。其內容分別為：二氧化硫 (1hr, 0.1 ppm；日平均, 0.04ppm)、一氧化碳 (1hr, 20ppm；8hr, 10ppm)、懸浮微粒(PM10) (1hr, 0.2 mg m⁻³；日平均, 0.1 mg m⁻³)；二氧化氮 (日平均, 0.04 ppm to 0.06 ppm)；臭氧 (1hr；0.06ppm)。

澳洲空氣品質指標 (AQI) 是一種定量的工具，評估在某污染等級是否會造成健康危害的簡要說明，澳洲當局用以報告各地區的空氣品質。其計算方法係將空氣品質監測站量測之污染物最大濃度與污染物標準求得一百分比值，即為副指標值，方程式如下：

副指標值 = $\{(\text{污染物標準}) / (\text{污染物濃度})\} \times 100$ 。當副指標值為100時，表示目前的空氣污染濃度等於國家環境保護計量（National Environment Protection Measure, NEPM）或州環境保護政策（State Environment Protection Policy, SEPP）中環境空氣標準等級，該等級是以保護人體健康及環境而訂定的。以所有副指標值中最大者為當日空氣品質指標值。指標值愈低表示空氣品質愈好，指標尺度由0~150劃分為五等級，0~33表示空氣品質非常好，34~66表示空氣品質好，67~99表示空氣品質不良，100~149表示空氣品質惡化，150及以上表示空氣品質極惡化。該指標系統與美國AQI相類似，係採用單一監測站中各副指標值中最大者為該站之指標值與指標污染物。該系統指標污染物轉換濃度對照詳如表7所示。

紐西蘭空氣品質指標系統係由紐西蘭國家環境保護當局之指標執行計畫（Ministry's Environmental Performance Indicator Programme）所發展，用以評估及報導鄰近環境空氣品質之良窳狀態與確認空氣品質是否朝國家或區域空氣品質目標邁進的一套指標系統，僅篩選室外環境中常見的空氣污染物，例如：CO、SO₂、NO₂、O₃、PM10等，將之定義為副指標污染物，並與紐西蘭環境空氣品質指引中各污染物濃度基準比較，依其不同比值予以分級製訂。該指標值的計算方式與澳洲相類似，為以量測的污染物濃度值與污染物標準濃度值之百分比值做為該污染物之副指標值，選取最大的副指標值為該測站當日的指標值。表8為紐西蘭空氣品質指標等級及定義。表9為紐西蘭空氣品質標準指引中之空氣品質指標污染物對照濃度。紐西蘭並規劃第二階段的空氣品質指標系統，未來將增加能見度、苯、PM2.5、苔蘚種類/被覆率等副指標污染物，目前仍在研議發展可對照的空氣品質標準指引濃度值。

香港環境保護署自1996年開始公佈和預測空氣污染指數（Air Pollution Index, API）。香港的空氣污染指數系統與美國、新加坡、馬來西亞、菲律賓、芬蘭和我國等相類似，是由數種主要空氣污染物的監測數據轉換為一個0至500的等級，按等級數值的高低表現空氣污染對健康的影響程度。低於100時表示對人體健康不會產生急性不良影響，而指數500則表示空氣污染對人體健康可造成嚴重損害。指數值100與空氣污染管制條例下的香港空氣質素指標（Air Quality Objective）短期（每小時或每二十四小時）濃度值相同，指數值50為香港空氣質素指標長期（全年）濃度值或短期濃度值之一半，

指數25 為香港空氣質素指標長期（全年）濃度值之一半或短期濃度值之四分之一，指數值200 為短期空氣質素指標之二倍。這些污染物包括：二氧化氮、二氧化硫、臭氧、一氧化碳和可吸入懸浮粒子（PM10）。首先計算出這五個污染物的各自空氣污染指數，然後選取最高的數值作為該小時的空氣污染指數。表10說明香港空氣污染指數分級與香港空氣質素指標之關係。表11說明香港空氣污染指數顯示之空氣品質狀態及健康效應意義。

馬來西亞的環境部門於1993年出該國的 Malaysian Air Quality Index(MAQI)，這個空氣品質指標系統標示了從良好到對人體有危害的空氣品質狀態的說明。這套指標系統於一九九六年經過該國環境部門的修正並採用了 API(Air Pollutant Index)系統，這套系統指標與美國的 PSI(Pollutant Standard Index)非常類似。馬來西亞的空氣品質指標系統中的污染物包括：二氧化氮(NO₂)、二氧化硫(SO₂)、臭氧(O₃)、一氧化碳(CO)和可吸入懸浮粒子(PM10)。而 API 狀態說明如表 12 所示

綜合各國空氣品質指標系統，可發現：

1、指標型態：各國的指標型態均為遞增型指標，美國、加拿大、澳洲等國家雖將指標命名為空氣品質指標(AQI)，但其指標本義仍在於表達污染狀態，指標值愈高污染狀況愈嚴重。

2、指標尺度與分級：除英國為0~10之尺度外，各國均設計為0~100或100以上的尺度，尤其是美國的0~500尺度普遍被我國、香港、新加坡、馬來西亞等亞洲國家應用。等級分佈各國普遍採用五段分級。

3、污染物濃度轉換：各國以所屬之空氣品質監測站所得資料與該國家或地區空氣品質標準或目標中主要污染物（SO₂、CO、NO₂、O₃、TSP/PM10）的濃度值為基準，相對照換算而得，且除英國、香港、加拿大外均將空氣品質標準或目標濃度值設計為副指標值100 之等級，超過此等級表示空氣品質不良，對大眾尤其是敏感族群有健康的影響。

4、計算方法：可將美國、加拿大、英國及我國等之副指標計算方法歸為一類，係採用線段線性函數法計算副指標值，而澳洲及紐西蘭等國係採用較簡單的直線線性函數法計算。線段線性函數能反映出污染物濃度暴露之協同效應，但其計算方式不如直線線

性函數容易瞭解及使用。

5、副指標結合：最大操作之副指標結合法普遍受各國使用，其可充分反應保障大眾健康為基礎的目的，警示出污染物短期高濃度對人體及環境急性的損害。

6、各國普遍使用世界衛生組織（WHO，2000）建議之PM₁₀、SO₂、NO₂、CO、及O₃等五項主要空氣污染物為空氣品質標準，並以其做為指標對照的標準。美國於1999年增列PM_{2.5}為指標污染物，紐西蘭第二階段的空氣品質指標中並已考慮將PM_{2.5}列入。各基準濃度中PM₁₀以英國與澳洲之50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 為最嚴格，香港180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 最寬鬆；SO₂以英國（15 min 平均）、紐西蘭（約0.04ppm/24hr 平均）與香港（約0.122ppm/24 hr 平均）為最嚴格；NO₂以澳洲為最嚴格；CO以香港（約8ppm/8hr）最嚴格，加拿大最寬鬆；O₃以紐西蘭（約47ppb）最嚴格，英國50ppb次之。

7、指標值代表空間型態：英國及香港針對空氣品質監測站代表之地區計算及報導該地區空氣品質（污染）狀況，例如英國劃分交通頻繁都市區、一般城市地區、鄉村等報導空氣品質指標；香港報導一般及路邊地區空氣污染指數，而美國、加拿大、紐西蘭與澳洲等係每日直接報導各測站之空氣污染狀態。我國除以測站為報導單位外，並針對相同的空氣品質流通區（空氣品質區）為單位報導。定期（月、季或年）將所有測站每日指標值結果進行統計。

8、英國、澳洲、紐西蘭及香港等國家/地區之指標系統在空氣品質標準對應之等級以下分為三至四等級，較美國、加拿大之二等級不同，例如英國之空氣品質標準對應為等級「四」，其下有三級；紐西蘭亦為四級；而澳洲為三級。

關於PM_{2.5}的部份，目前除了我國與美國外，日本及歐盟等其他各國均在考慮或是研議是否將其納入空氣品質指標系統中。而且目前國際上的許多國家的空氣品質指標系統均是參考美國的空氣品質指標系統，所以將PM_{2.5}其納入空氣品質指標系統應為國際趨勢，並可讓我國一般民眾更容易了解目前的空氣品質與狀態。

此外，本計畫申請時的審查意見中建議考量 Cheng et al. (2004)所發展之RAQI(Revised Air Quality Index)，本計畫已收集了解與計算。原則上，RAQI指標無論是修正PSI或是AQI，所得之指標值應需考量所有污染項目，而非是國際間慣用的單一污染項目，所以RAQI值一定會較原來的PSI或AQI值為高，相信對於AQI值的影響

會較 Cheng et al. (2004)所分析的 PSI 值影響為大。考量目前環保署對於採用 AQI 將大幅增加不良空氣品質之出現機率的顧慮，以及國外尚無任何機構考慮使用 RAQI，可確信的是：環保署會先了解修正 AQI 的可能性，而將使用 RAQI 列為未來考慮。

三、細懸浮微粒對於健康衝擊、影響及管制策略

由於PM_{2.5}容易存在於空氣中並透過氣流傳輸擴散至大範圍，美國保署於AIRNOW網站上 (<http://airnow.gov/>) 除了即時公佈美國境內PM_{2.5}變化情形外，還針對PM_{2.5}的特性、及對人體健康危害時造成徵狀、預防暴露於PM_{2.5}方法提供詳細資訊等，讓民眾更易掌握及瞭解生活環境PM_{2.5}存在現況。USEPA網頁中述及：PM_{2.5}對於患有心臟、肺、易過敏體質者、及老人小孩等有較高健康風險。PM_{2.5}容易透過口鼻呼吸進入人體，由於PM_{2.5}粒子細小、具長時間蓄積性，極易進入肺部甚至停留於肺泡中。因此常見引發呼吸道病、心血管疾病、相關疾病、氣喘、嬰兒早產、甚至具致癌性等。

國內對於PM_{2.5}健康影響評估相關研究不多，環保署已進行微粒空氣污染健康風險評估計畫，該計畫除了協助環保署建立新莊超級測站之外，還設立了國內第一個微粒毒理實驗室，應用實驗室中的微粒濃縮器、動物暴露腔、呼吸及心臟循環系統監測設備，進行微粒動物實驗來完成微粒風險評估中劑量效應反應 (Dose-Response)，對於未來PM_{2.5}對人體健康相關研究調查勢必大有幫助。該計畫以老鼠為實驗對象，針對動物毒性、細胞毒性、沙塵暴急性冠心症易感受族群監測網及沙塵暴急性冠心症易感受族群等四大主題進行評估。在動物毒性及細胞毒性可以得到明確的答案，得知：細懸浮微粒確實會造成明顯的影響；而在沙塵暴急性冠心症易感受族群研究方面，結果並不顯著，難以判斷其確實影響程度；此外，沙塵暴急性冠心症易感受族群在非糖尿病組中發現，血漿中的PAI-1呈現上升現象，由於PAI-1的作用是抑制血栓溶解，因此當PAI-1上升表示血栓不易容解，表示容易發生心肌梗塞。該計畫間接證實，PM_{2.5}確實會對人體健康造成急性或慢性危害，未來應進行更多相關研究調查。

綜觀世界主要國家在PM_{2.5}相關管制及策略推動現況(表13)，目前規劃最完整者為美國及加州，次為歐盟。南韓則未能發現任何官方、正式PM_{2.5}管制或監測相關計畫。目前

為美國在管制及推動上制度最為完整，除了訂定聯邦空品管制標準外，亦下放權力使各州可依據其空品與地方特性另訂合宜的管制標準，經環保署核准實施。因此，加州在此條件下，亦制訂了該州專屬的法令及管制標準。此外，歐盟近年來也積極投入PM_{2.5}的研究中，在第六屆環境行動方案及EU清潔空氣計畫的支持下，預期在2010年能完成空氣品質標準的訂定及其他推動方案等。日本僅推動一個為五年的中程計畫，該計畫執行內容包含相關學術研究、環境監測以及對人體健康衝擊等相關研究，該計畫預定完成年份為2006年。

美國根據清靜空氣法案（Clear Air Act）訂定各項空氣相關管制策略及政策，其制訂管制策略主要有四大方向：1.事前預防（許可制度）；2.濃度排放與總量管制併管齊下；3.以防制區區分等級，分級管理；4.加入經濟誘因。美國各州則多透過州實行計畫（SIP），針對該州地形、氣候、社會型態及環境負荷能力制訂合適管制計畫及各項標準。以加州為例，加位於美國西岸，空氣品質不佳，在PM_{2.5}空品標準制訂上較USEPA嚴峻(表14)。

歐盟目前對於PM_{2.5}管制尚未有完整的規劃，因此在管制面不盡詳實。惟歐盟在燃料的使用上，有許多推動中方案。車輛及其他具燃燒行為的交通工具實為PM_{2.5}的重大貢獻者，其相關管制計畫包括：.管末控制（催化轉換器、FGD等）、推廣低污染燃料、.推廣無污染車輛（如限定低污染區域內只准無污染車輛行駛）、提高燃料或能源使用效能、增加系統效能（如汽電共生產生的蒸汽可回收再利用）、以步或單車替代其他交通工具、計畫使用電力、以補助金或減收燃料稅的方式鼓勵民間選用綠色/環保電力等。

日本雖然對於PM_{2.5}管制工作尚未成形，卻於2005年以管制NO_x及PM_{2.5}之故，開始實施以車輛為管制對象的『車輛NO_x與PM_{2.5}的排氣管制規範』。該規範選定以千葉縣等八大縣為主要實施區域，理由有二：一為這些郡縣都具有極高的交通負荷量；二為這些郡縣都區域內都具有許多產生空氣污染的工廠及大型車輛。由於日本空污母法無法有效使這些郡縣內的空氣品質改善，故增訂此一規範，藉此降低車輛廢氣所產生的NO_x及PM_{2.5}排放量。管制規範依據車輛大小予以分類並註記在車牌上，以方便日後查驗。相關排放標準請參見圖2。日本環境省對於此項政策十分嚴謹，逾期未申報之車主／事業主，將會被處以六個月以下拘禁或30萬日幣以下的罰金。且為貫徹改善此八郡

縣的空氣品質問題，還特地提供經濟誘因，鼓勵未規範郡縣外的車輛一旦接受排氣檢測，可獲得稅務減免優惠。而此八郡縣內的車輛一旦老舊，換車時還可享有貸款優惠。此經濟誘因對民眾來說不但未造成困擾，反而獲得額外的優惠。

四、資料分析

環保署各測站（圖3）自2005/6起，已全面安裝PM2.5監測儀器。本報告主要分析2005/6~2006/11間的數據。依目前PSI指標，自1994年以來空氣品質逐年改善（圖4），僅在近數年出現略差的情形。而造成空氣品質不良的污染物，在1994年時主要為PM10，爾後漸轉變為光化污染物—臭氧（圖5），近年則為二者均相當重要。本研究首先使用AQI_40指標（表2），進行每日的指標數值計算，結果發現AQI_40數值遠大於PSI數值，而且每日的污染因子，近百分百為PM2.5。全年（2005/6-2006/11）出現指標大於100的不良日機率，也由PSI的5.1%，上升為AQI_40的33.1%，約增加6.5倍的機率，相當驚人。若是觀察逐月的不良日出現機率（圖6），則在2005/11可以達53%，遠較PSI的10%為大；而在2006/5，PSI不良日機率為1.5%，AQI_40為21%，增加約14倍的機率，相當令人難以接受。以我國長期對於空氣品質改善工作的努力來觀察，應該是PM2.5佔PM10的比例偏高，而過去努力於PM10濃度的抑制，自然會強調粗粒子(直徑大於2.5 μm 的粒子)的抑制，而忽略細粒子的抑制。因此本研究決定深入探討PM2.5/PM10的比例，在空間與時間上的變化，並希望取得具代表性的本土PM2.5/PM10比值，期以修改AQI_40，建立適合本土的指標系統。

仔細分析逐日逐月的PM2.5/PM10空間分佈資訊，顯示其約介於0.03~1間，偶而在數值低時，尚會出現大於1的情形。此外，低比值主要出現在東岸（圖3中的VII與VIII區），該地區的PM10(圖7)與PM2.5(圖8)濃度也低，顯示為粗粒子較多，也即為沙塵、鹽粒、花粉等為主的成份。高比值則主要出現在西岸，不過V區（雲嘉南區）比值偏低。而較高的比值多出現在北區、中區與高屏區。這些均是人口密集的都市地區，所以細粒子主要源自汽機車排放之微粒。雲嘉南區則可能是裸露地多，揚沙多，所以粗粒子較多。

平均而言，各區月平均PM2.5/PM10比值約介於0.37~0.9間(圖9)，其空間分佈特徵乃

如上所述是與當地空氣污染特徵有關。至於在時間變化上，則未顯現出明確的月際或季節變化特徵。全島一年的平均PM2.5/PM10比值則為0.56。再者，若將各區每月內每日的平均PM2.5與PM10濃度進行相關迴歸分析，發現彼此間相關性極高，在設定截距為零下，迴歸係數約為0.5~0.61間。平均值約為0.56。

圖10特別將各區與全島之逐月平均PM2.5/PM10比值，與相對之迴歸係數對應繪出。二者間之相關 R^2 達0.53，迴歸係數為1.02，顯示任取其一均相當具有代表性。而我國PM2.5/PM10的代表性比值，約可以0.56代表之。

在採用0.56為代表比值下，表15乃依AQI_40與AQI_65的設置原則，設計出AQI_85的指標系統。其主要就是取PM10各副指標的對應值，計算PM2.5/PM10接近0.56的PM2.5相對應值。乃得出24小時PM2.5平均值為25、85、140與175 $\mu\text{g m}^{-3}$ 的相對應副指標，分別為50、100、150與200。

圖6顯示：AQI指標系統對於PM2.5的副指標設定相當敏感，若使用AQI_40或是AQI_65或是AQI_85，各指標大於100的出現機率乃分別為33%或是20%或是8.5%，顯然我國對於選擇那一個指標系統，需相當謹慎。而考量AQI_85的設定，能夠反應我國PM2.5/PM10比值的整體特徵，也能適當向民眾告知PM2.5對空氣品質的影響。

圖11繪出各區逐月AQI \geq 100的出現機率變化情形，秋、冬與春季確實為我國污染較嚴重的時期，而中部與南部則為污染較嚴重地區。圖12將造成AQI \geq 100的污染因子之逐月出現機率繪出，顯然PM2.5為秋、冬與春季最主要的污染成因，次為PM10，至於O₃-8hr與O₃-1hr則為夏季主要的污染成因。

圖13為2005/6-2006/11間，PSI、AQI_85與依Cheng et al. (2004)計算得之Revised_PSI與Revised_AQI_85之逐月大於100的出現機率變化圖，顯然修正後的PSI或AQI_85，都較原來的指標值更使得空氣品質不良日增加。原則上，修正法僅能暫視為學術研究，尚不太可能成為各國環保單位採用的指標系統。

五、問卷回應

依本計畫申請時規劃，於2006年底於永續會年度成果會議報告本計畫成果後，分別訊問約25位專家學者意見，約七位正式回覆意見，另有三位表達無法提供意見，回收率約40%，尚屬可接受。意見乃詳列於下：

第一位回覆：

- (a) PM10 日平均標準為 125 micro g/m³，not 150，亦即 $125 \times 0.56 = 70$ 才是 PM2.5 應採用的標準。
- (b) 請問該指標是否適用於我國，以向一般大眾及時報告我國空氣品質狀況，以及國人健康受威脅的情形？目前應該適用，但應有時間表，何時採用 AQI65、AQI40...等。
- (c) 請提出環保署的整體配套措施建議：應全面調查 PM10/PM2.5 的排放量，及研究控制的技術，訂定一個逐年減量的目標值。

第二位回覆：

問題一：請問該指標是否適用於我國，以向一般大眾及時報告我國空氣品質狀況，以及國人健康受威脅的情形？

答覆：該AQI預報系統較為進步，對敏感族群民眾保護程度較高，頗值參採。

問題二：請提出環保署的整體配套措施建議。

答覆：

1. 建議採用AQI_40系統，因國民健康保護為優先價值，捨此則空污防制工作意義盡失。採用AQI_40系統若空氣品質不良率暴增6.5倍，則可進一步分析落在101-150或151-200之歷史紀錄，並說明101-150只針對敏感族群，然後從中取得平衡點。
2. 若改採AQI_85，最大的問題是無法明確反應當前AQI_40系統之保護效果。亦即AQI_40系統已達敏感族群發佈警戒標準時，而AQI_85系統而仍處於普通能

忍受之範圍內。如此一來，失去系統轉換之積極意義。

討論：

若改採 AQI_85，最大的問題是無法明確反應當前 AQI_40 系統之保護效果。亦即 AQI_40 系統已達敏感族群發佈警戒標準時，而 AQI_85 系統而仍處於普通能忍受之範圍內。如此一來，失去系統轉換之積極意義。

第三位回覆：

I am not an expert on the topic of PM2.5 and AQI. However, I think it is better to install much more PM2.5 monitors before EPA tries to include PM2.5 in the AQI system.

第四位回覆：

AQI-85 的訂定主要係以現有 PM10 在 PSI 100 濃度 150 mg/m³ 及 PM2.5/PM10 = 0.56 所訂定，主要配合 PSI > 100 日數比例考量而定。由行政措施之考量來看，個人可以接受此種計算方式，以免採用新 AQI 標準後 PSI > 100 比例過高。但未來仍須依報告所言將標準逐漸加嚴。主因在於 PM2.5 之健康效應權重高於 PM10，由健康效應考量不宜以「按比例」方式計算 PM2.5 之標準。然而在缺少 PM2.5 之標準下，新定 PM2.5 標準之 AQI85 仍較現有空氣品質標準更能維護民眾健康。

EPA 配套措施：與 PM10 相較，PM2.5 之健康效應為何？應該加以考量。現有 PM2.5 測站所得數據是否可具體代表大氣中 PM2.5 濃度？此點應加以釐清。

第五位回覆：

環境影響評估之委員及署長應清楚 PM2.5 問題之嚴重性，因弟所居住之台中，其位於大里之附近，是中部 PM2.5 問題最嚴重之區域，弟及弟小朋友皆有呼吸道之問題，由弟之 GTx 模式模擬結果，亦清楚了解台中電廠及通霄電廠等大型污染源，對這區域之貢獻濃度佔很大之比重，因此弟對中部許多新增之污染源只要其 (SO₂+NO_x+PM) 總排放量大於每年 1000 噸之量，皆非常不贊成。

第六位回覆：

一：有關該指標是否適用於我國：該指標係參考美國環保署使用之包括 PM2.5 資訊的 AQI。是否適用於我國，宜檢視(1)我國 AQ 是否與美國相似，(2)我國之 PM2.5 是否比美國嚴重，(3)美國訂 PM2.5 的 AQI 之原因是否適用於我國，(4)我國是否可以不訂(多一事不如少一事)。

二：環保署的整體配套措施建議：所擬我國 24 小時平均 PM2.5 的年平均標準為 85mg m⁻³，是否適當，宜檢視(1)臺灣造成 PM2.5 污染之成因及排放源，(2)如何防制，(3)防制成本，(4)對產業之影響，(5)是否過嚴，(6)是否可行，(7)那些國家有訂，(8)我國是否一定要訂。

第七位回覆：

問題一：請問該指標是否適用於我國，以向一般大眾及時報告我國空氣品質狀況，以及國人健康受威脅的情形？我個人覺得該指標適用於我國，因為事實上環保署已有 PM2.5 資料，只是讓空污實況更真實讓國民了解，使用 aqi 若是大部分國家現況，當然要改。

問題二：請提出環保署的整體配套措施建議。若要改用 aqi 環保署自然會有整體配套措施，也不會太困難。

六、結 論

本研究整理國際空氣品質指標資料，指出目前僅美國的AQI_40系統有考量PM2.5濃度對空氣品質的影響，而世界各國正在觀望研究是否要跟進。若直接採用該系統，則會出現空氣品質不良日暴增6.5倍的情形。經分析後，建議考量我國PM2.5/PM10比值的整體特徵，採用平均比值為0.56的特性，修改美國的AQI_40為AQI_85系統。其關鍵點是依據我國PSI指標系統，其中24小時平均PM10濃度達 $150\mu\text{g m}^{-3}$ 即設定為空氣不良，取該值的0.56，而設定我國24小時平均PM2.5濃度達 $85\mu\text{g m}^{-3}$ 為空氣不良，以適當向民眾告知PM2.5對空氣品質的影響。在此系統內，24小時平均PM2.5濃度若為25、85、140或 $175\mu\text{g m}^{-3}$ ，就分別給予副指標為50、100、150與200。如此，每日的AQI_85值將僅略大於PSI，以適當向民眾告知PM2.5對空氣品質的影響。在此同時，我國24小時平均PM10標準為 $125\mu\text{g m}^{-3}$ ，取該值的0.56，所以我國24小時平均PM2.5的標準即可設定為 $70\mu\text{g m}^{-3}$ 。至於年平均標準，PM10為 $65\mu\text{g m}^{-3}$ ，取該值的0.56，所以PM2.5年平均標準為 $35\mu\text{g m}^{-3}$ 。

本研究更顯示我國長期的空氣品質管理工作，是以控制PM10為主，而非是以控制PM2.5為主(Fang and Chen, 1996)。未來當積極進行汽機車排放PM2.5的管制工作，以抑制都會區的PM2.5量。而當PM2.5/PM10的比值下降後，就可逐步採用AQI_65與AQI_40指標。

綜合問卷意見，可了解大家對於AQI是即期待又怕被傷害，而PM2.5/PM10的比值相對於美國的標準差距太多，也讓部份專家擔憂AQI_85將無法對民眾提供適當的健康危害訊息。顯然，環保署在全面監測PM2.5後，必將宣佈推行AQI制度，但是是否完成全面性的調查研究，以及是否提出完善的配套措施，以及如何正確面對過去重視PM10管制下的疏失，都將令人拭目以待。

致 謝

本計畫是國科會與環保署所支持，編號為NSC-95-EPA-Z-002-005。主持人感謝環保署提供相關空氣品質監測資料，以及審查者所提供之各項建議。

參考文獻

- Cheng, W.-L., Y.-C. Kuo, P.-L. Lin, K.-H. Chang, Y.-S. Chen, T.-M. Lin, R. Huang, 2004: Revised air quality index derived from an entropy function. *Atmos. Environ.*, 38, 383–391.
- Liu, C. M., 2002: Effect of PM_{2.5} on AQI in Taiwan. *Environmental Modelling and Software*, 17, 29–37.
- Fang, S.-H. and H.-W. Chen, 1996: Air pollution and pollution control in Taiwan. *Atmos. Environ.* 30, 735-741.
- Ott, W. R., 1978 : *Environmental indices:theory and practice*, Ann Arbor Science Publishers.
- Thom, G.C., and W.R. Ott, 1976: *Air Pollution Indices:A Compendium and Assessment of Indices Used in the United States and Canada*, Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor.
- USEPA (Environmental Protection Administration of USA), 1999: Air Quality Index Reporting. Federal Register, 64, 42530-42549.
- USEPA, 2006: *Guidelines for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI)*. EPA-454/B-06-001.
- WHO, 2000: *Guidelines for Air Quality*. World Health Organization, Geneva, pp.32-44.
- 黃宗煌等，1995：「台灣地區環境品質規劃-台灣環境指標」，行政院環境保護署 EPA-84-E102-09-07。

表1：PSI副指標對照表與對健康影響分類標準。

PSI value	24hr PM10 ($\mu\text{g m}^{-3}$)	1hr O ₃ (ppb)	24hr SO ₂ (ppb)	8-hr CO (ppm)	1hr NO ₂ (ppb)	Category
50	50	60	30	4.5	-	Good
100	150	120	140	9	-	Moderate
200	350	200	300	15	600	Unhealthy
300	420	400	600	30	1200	very unhealthy
400	500	500	800	40	1600	Hazardous
500	600	600	1000	50	2000	

表2：美國AQI副指標（本文以AQI_40稱之）對照表與對健康影響分類標準。

AQI_40 value	24hr PM10 ($\mu\text{g m}^{-3}$)	24hr PM2.5 ($\mu\text{g m}^{-3}$)	1hr O ₃ (ppb)	8hr O ₃ (ppb)	24hr SO ₂ (ppb)	8-hr CO (ppm)	1hr NO ₂ (ppb)	Category
50	50	15	60	60	30	4.5	-	Good
100	150	40	120	80	140	9	-	Moderate
150	250	65	160	100	220	12	-	Unhealthy for sensitive groups
200	350	150	200	120	300	15	600	Unhealthy
300	420	250	400	400	600	30	1200	very unhealthy
400	500	350	500	500	800	40	1600	Hazardous
500	600	500	600	600	1000	50	2000	

表3：加拿大空氣品質指標污染物濃度轉換對照表

指標值	指標污染物				
	SO ₂ 24 小時	TSP 24 小時	CO 8 小時	NO ₂ 1 小時	O ₃ 1 小時
25	57 ppb	---	5 ppm	---	51 ppb
50	115 ppb	120 µg/m ³	13 ppm	213 ppb	82 ppb
100	306 ppb	400 µg/m ³	17 ppm	532 ppb	153 ppb

資料來源：1、National Ambient Air Quality Objectives & Guidelines in Canada (NAAQOs)

表4：加拿大空氣品質指標各等級健康效應與警告。

指標等級	健康效應	說明
良好 (0~25)	在此指標範圍內，與空氣品質相關的健康效應未被證實	一般民眾不需要採取預防措施
尚可 (26~50)	此指標範圍內，對一般民眾健康應有適當保護	一般民眾不需要採取預防措施
劣化 (51~100)	短期暴露可能對敏感族群產生刺激或使症狀惡化	心臟或呼吸系統疾病患者應減少勞動及戶外活動
極劣化 (100 以上)	心肺疾病患者明顯惡化，一般民眾可能會有症狀	呼吸及循環系統疾病患者應待在室內並減少勞動

表5：英國空氣污染指標健康效應說明。

指標值	等級	說明
1~3	低污染	對污染物敏感族群沒有健康效應
4~6	中度污染	有輕微的健康效應，尚不需要限制活動，對敏感族群有健康效應影響
7~9	高度污染	對敏感族群有明顯影響，應減少活動及避免暴露在戶外的時間。
10 及以上	非常嚴重污染	使敏感族群健康效應加劇

註：敏感族群係指心肺疾病患者（例如氣喘），尤其是年紀較大的患者。

表6：英國空氣污染指標系統指標污染物濃度轉換表。

指標值	O ₃	NO ₂	SO ₂	CO	PM ₁₀
	8 小時 平均	小時 平均	15 分鐘 平均	8 小時 平均	24 小時 平均
	ppb	ppb	ppb	ppm	µg/m ³
1	0~16	0~49	0~32	0~3.2	0~16
2	17~32	50~99	33~66	3.3~6.6	17~32
3	33~49	100~149	67~99	6.7~9.9	33~49
4	<u>50~62</u>	<u>150~199</u>	<u>100~132</u>	<u>10.0~11.5</u>	<u>50~57</u>
5	63~76	200~249	133~166	11.6~13.2	58~66
6	77~89	250~299	167~199	13.3~14.9	67~74
7	90~119	300~332	200~266	15.0~16.5	75~82
8	120~149	333~366	267~332	16.6~18.2	83~91
9	150~179	367~399	333~399	18.3~19.9	92~99
10	180~	400~	400~	20~	100~

註：底線為空氣品質標準值

資料來源：英國環境部網頁

表7 澳洲空氣品質指標系統指標污染物濃度轉換表

污染物	標準等級	來源	平均時間	計算方式
O ₃	100 ppb	Air NEPM	1 小時	A
NO ₂	120ppb	Air NEPM	1 小時	A
SO ₂	200 ppb	Air NEPM	1 小時	A
CO	9 ppm	Air NEPM	8 小時	B
PM ₁₀	50 µg/m ³	Air NEPM	24 小時	C
能見度	2.35 20km	SEPP	1 小時	A

註：A 為24 小時平均值之最大值。

B 為每日16 個8 小時移動平均值之最大值。

C 為24 小時平均值

資料來源：澳洲環保署網頁

表8 紐西蘭空氣品質指標等級

等級	定義	說明
非常良好	與空氣品質標準比值在 10% 以下	有些許影響，但若最大值低於標準 10%，平均值亦低
良好	介於空氣品質標準 10% ~33% 間	在此級距內之峰值不可能影響空氣品質
可接受	介於空氣品質標準 33% ~66% 間	概括等級，最大值將影響敏感地區，但此等級一般沒有重大的應變行動。
警戒	介於空氣品質標準 66% ~100% 間	警戒等級，若趨勢未控制將導致超出標準
行動	超過空氣品質標準值	授權進行重大的應變行動

資料來源：紐西蘭環保署網頁

表9 紐西蘭空氣品質標準 (1994)

污染物	標準值	平均時間	效應
PM ₁₀	120 µg/m ³	24 hr	導致人體健康危害及能見度降低
CO	10 mg/m ³	8 hr	導致人體健康危害
NO ₂	300 µg/m ³	1 hr	導致人體健康危害及產生棕色煙霧
SO ₂	125 µg/m ³	24 hr	導致人體健康危害及植物損害
O ₃	100 µg/m ³	8 hr	導致人體健康危害及植物損害

資料來源：紐西蘭環保署網頁

表10 香港空氣污染指數等級與空氣質素指標之關係

單位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$

空氣 污染 指數 等級	懸浮 微粒	二氧化硫		二氧化氮		一氧化碳		臭氧
	24 小時 平均	24 小時 平均	小時平 均	24 小時 平均	小時平 均	8 小時平 均	小時平 均	小時平 均
0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	28	40	200	40	75	2500	7500	60
50	55	80	400	80	150	5000	15000	120
100	<u>180</u>	<u>350</u>	<u>800</u>	<u>150</u>	<u>300</u>	<u>10000</u>	<u>30000</u>	<u>240</u>
200	350	800	1600	280	1130	17000	60000	400
300	420	1600	2400	565	2260	34000	90000	800
400	500	2100	3200	750	3000	46000	120000	1000
500	600	2620	4000	940	3750	57000	150000	1200

註：底線為香港空氣質素指標短期（1 小時或24 小時）濃度值

表11 香港空氣污染指數對健康之影響

空氣污染指數	意義	對健康影響	空氣品質
0-25	輕微	沒有影響	符合各項空氣品質標準
26-50	中等	預料對大眾沒有影響	符合各項空氣品質標準
51-100	偏高	一般人沒有立即的健康影響， 但若長時間暴露，可能 引起不良影響。	符合短期空氣品質標準， 但超出長期空氣品質標準
101-200	甚高	心臟病或呼吸系統疾病患者症狀 可能惡化，一般大眾可能稍感不適	空氣品質超出短期及 長期空氣品質標準
201-500	嚴重	心臟病或呼吸系統疾病患者症狀 明顯惡化，一般大眾會有不適症狀 出現，例如：氣喘、咳嗽、 眼睛不適、喉痛等	空氣品質大幅超出短期及 長期空氣品質標準

表12 馬來西亞空氣指標系統狀態說明

API	狀態
0-50	良好
51-100	可容忍
101-200	不健康
201-300	非常不健康
301-500	對人體有危害
600 以上	緊急

表13 主要國家推動PM2.5相關策略及法案現況

	USEPA	加州 EPA	EU
研究計畫	Particulate Matter Research Program : Five Years of Progress	空氣品質與運輸規劃	第六屆環境行動方案
法令規章	Clean Air Act	California Code of Regulations, Title17 (排放標準、檢測方式)	---
推動計畫	1. 非道路柴油管制法案 2. 細懸浮微粒管制法案 3. 跨州清潔空氣法案	Fine Particulate Matter Program	EU 清潔空氣計畫 (CAFÉ)
管制策略	1. 柴油引擎及車輛污染削減 2. 非柴油移動源污染管制 3. 固定源燃料油改進 4. 民生消費商品管制 5. VOC 逸散管制 6. 電廠區域小型化與替代性潔淨燃料推廣	1. 柴油管制 2. 黑煙管理 3. 露天燃燒管制 4. 逸散揚塵管制 5. 固定源及面源污染管制 6. 港區船舶污染管制 7. 減量經濟誘因提供	---

表14 美國懸浮微粒主要管制對策

PM 來源	主要控制方案(控制效率)	控制成本
道路	真空打掃 (0-50%)、洗掃 (0-96%)、道路鋪設、卡車覆蓋、降低車速、流量管制	依控制方式、次數而定
農業活動	降低耕種比率、種植防風林	依作物種類、氣候狀況而定
建築工程	濕式洗掃未鋪面區、圍籬、其他替代施工方法	依控制方式、工期、面積而定
廢棄木材燃燒	替換較乾淨的燃燒器	US 1000/個
柴油引擎燃燒	加裝污染控制設備、降低燃料油含硫量	
重油/燃料油、燃燒、粉碎煤、廢棄物焚化爐、金屬精鍊	加裝防制設備	

表15：AQI_40、AQI_65與AQI_85內24小時平均PM2.5濃度之副
 指標對照表與對健康影響分類標準。

AQI_40 value	24hr PM2.5 ($\mu\text{g m}^{-3}$)	AQI_65 value	24hr PM2.5 ($\mu\text{g m}^{-3}$)	AQI_85 value	24hr PM2.5 ($\mu\text{g m}^{-3}$)
50	15	50	15	50	25
100	40	100	65	100	85
150	65	150	100	150	140
200	150	200	150	200	175
300	250	300	250	300	250
400	350	400	350	400	350
500	500	500	500	500	500

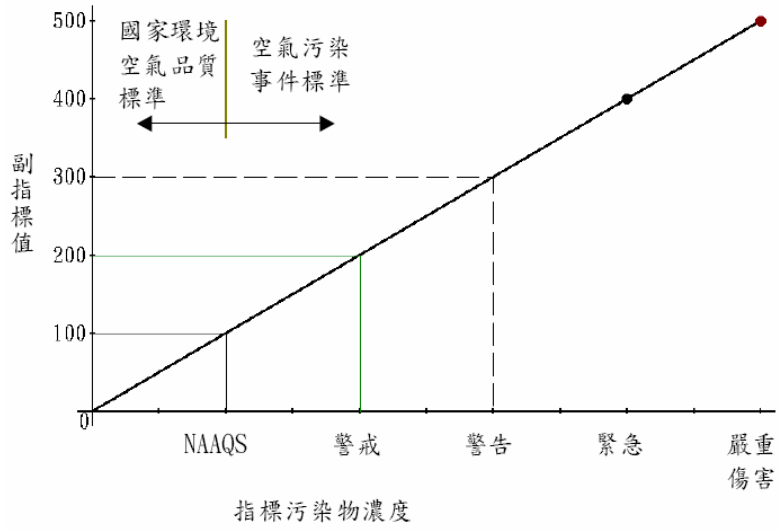


圖 1： PSI 系統架構

ディーゼル乗用車		NOx : 0.48g/km (昭和53年規制ガソリン車並) PM : 0.055g/km
バス・トラック等 (ディーゼル車、ガソリン車、LPG車)		
車 量 総 重 量 区 分	1.7t以下	NOx : 0.48g/km (昭和53年規制ガソリン車並) PM : 0.055g/km
	1.7t超2.5t以下	NOx : 0.63g/km (平成6年規制ガソリン車並) PM : 0.06g/km
	2.5t超3.5t以下	NOx : 5.9g/kWh (平成7年規制ガソリン車並) PM : 0.175g/kWh
	3.5t超	NOx : 5.9g/kWh (平成10年、平成11年規制ディーゼル車並) PM : 0.49g/kWh (平成10年、平成11年規制ディーゼル車並)

圖 2：日本車輛 NOx_PM 排氣量規範條例。

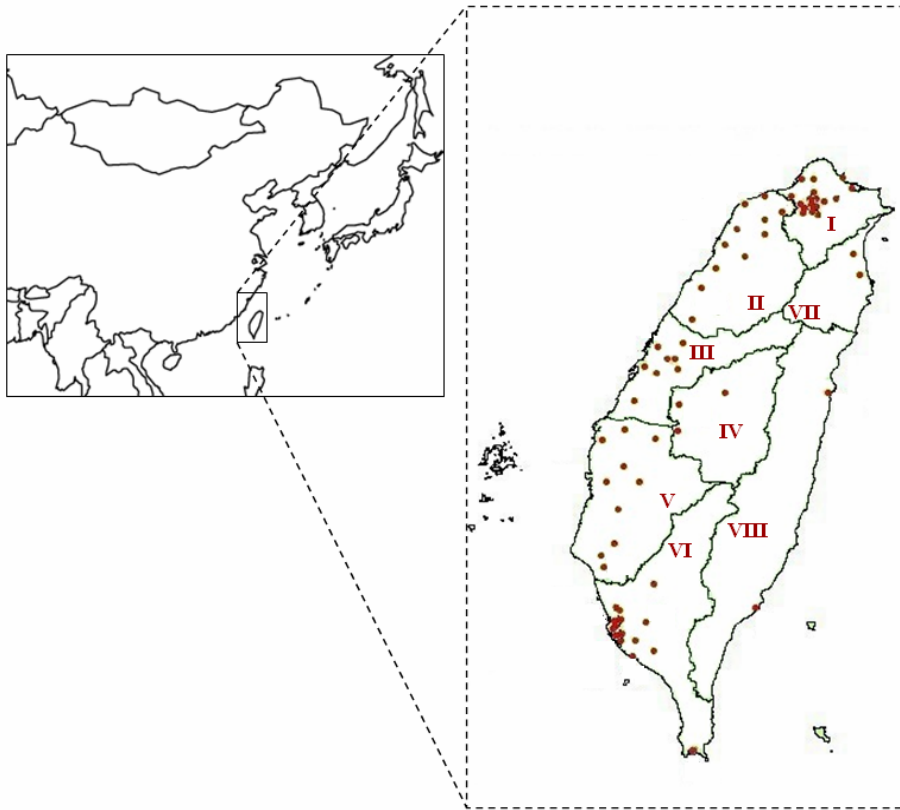


圖3：環保署監測站分布圖，其被區分為I~VIII等八區。

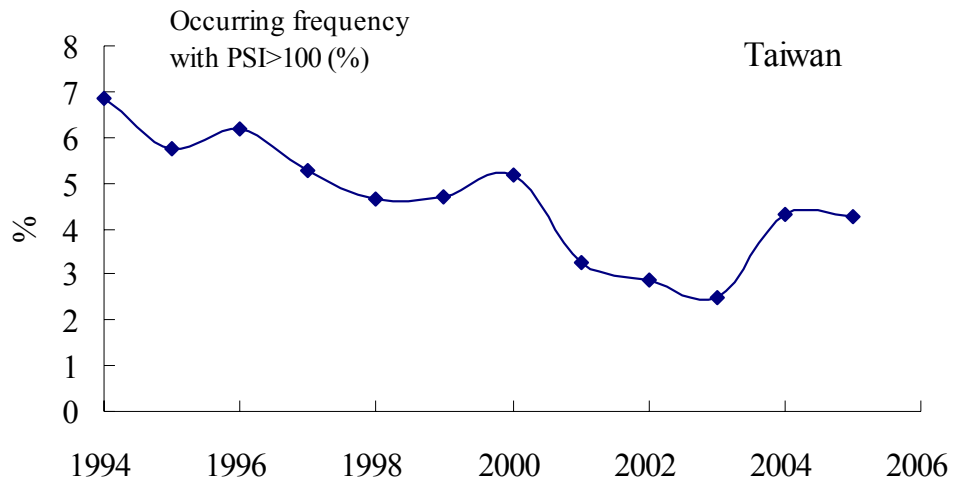


圖4：1994-2005年來PSI指標大於100的趨勢變化。

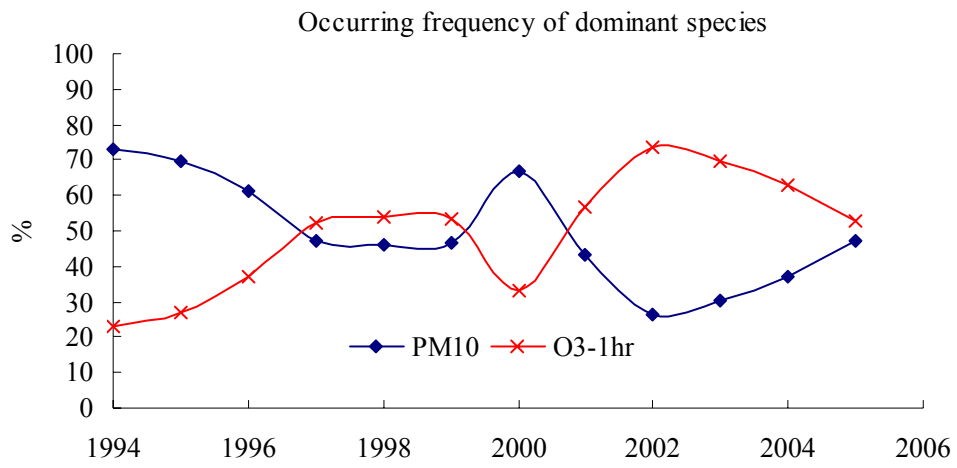


圖5：1994-2005年間，PM10與O3為造成PSI大於100之主要污染物的出現機率變化。

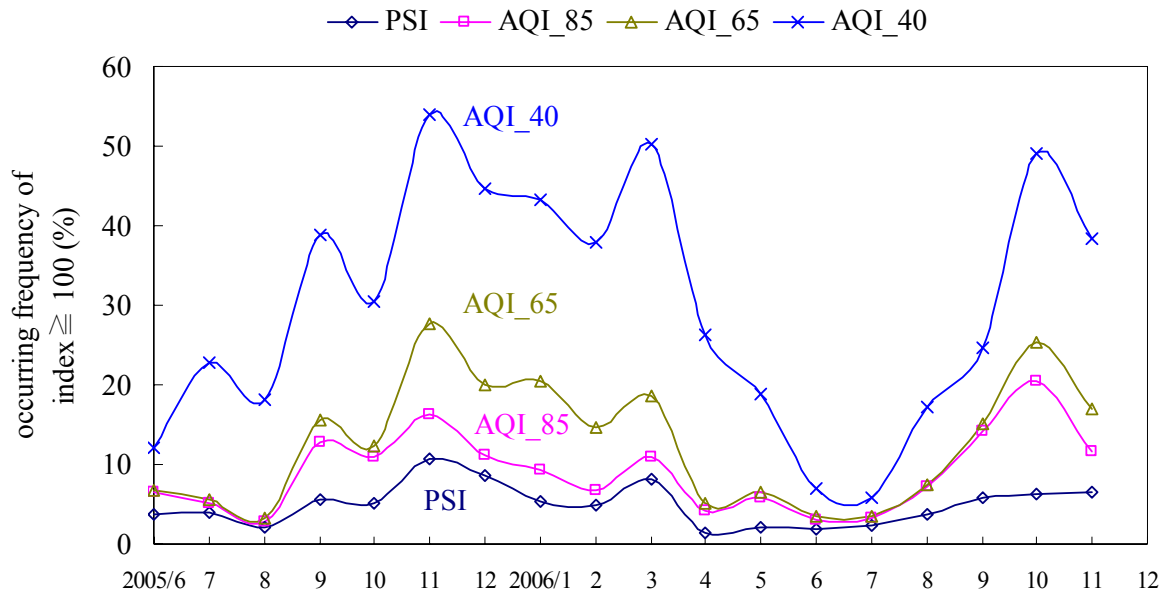


圖6：2005/6-2006/11間，PSI、AQI_40、AQI_65與AQI_85 之逐月大於100的出現機率變化圖。

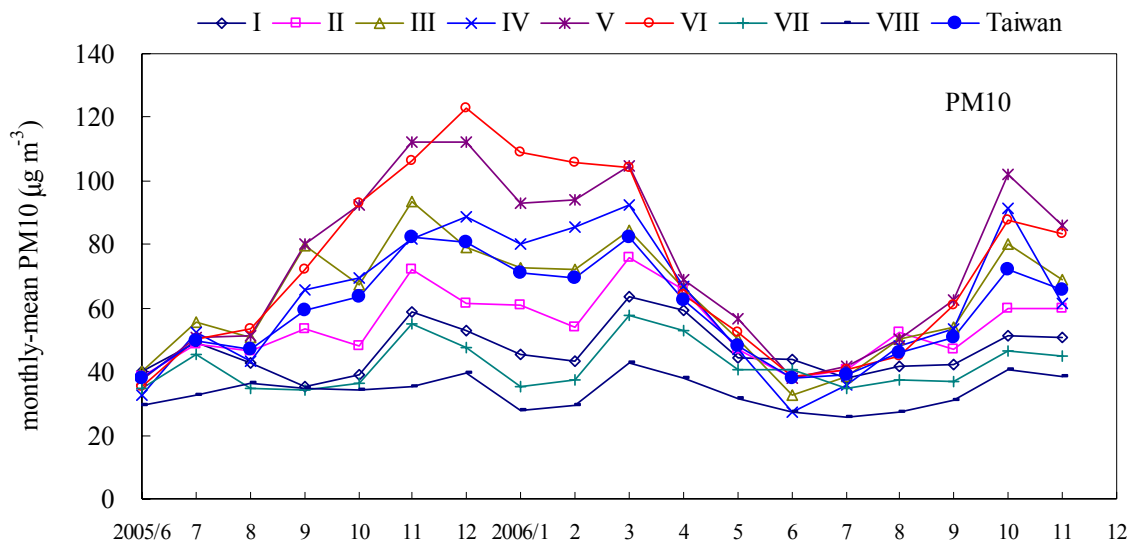


圖7：2005/6-2006/11間，各區月平均PM10濃度。

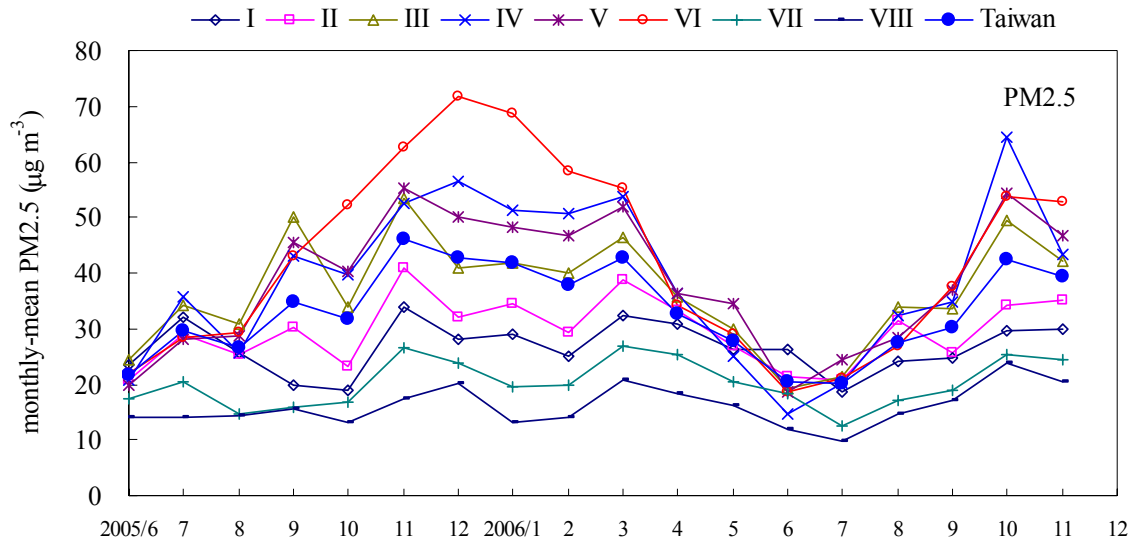


圖8：2005/6-2006/11間，各區月平均PM2.5濃度。

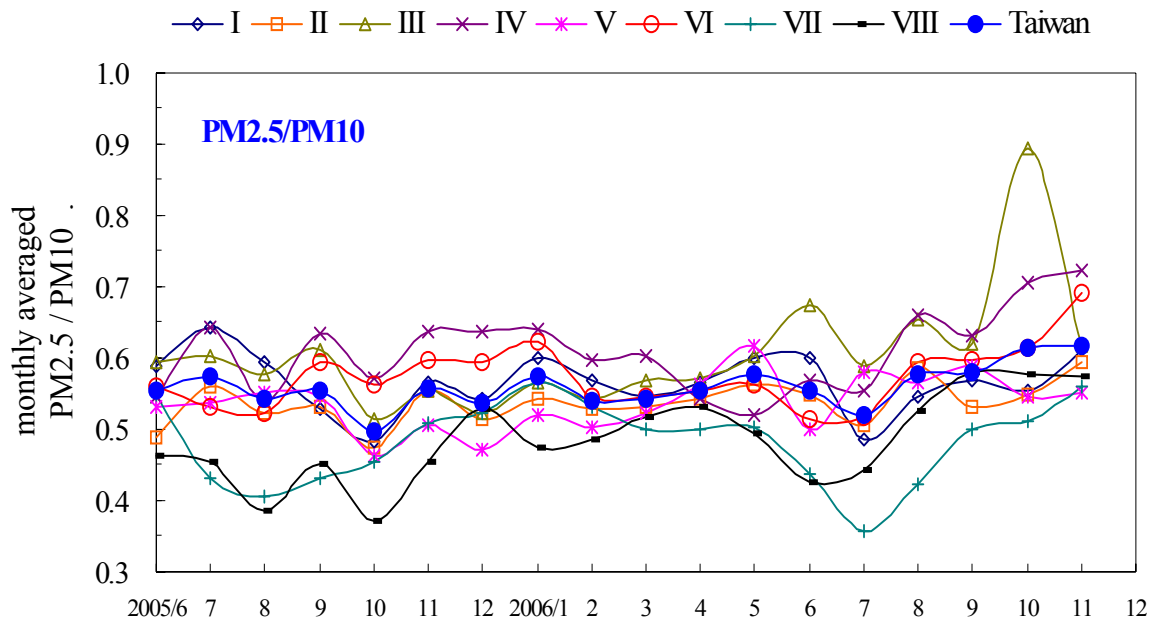


圖9：2005/6-2006/11間，各區月平均PM2.5/PM10比值。

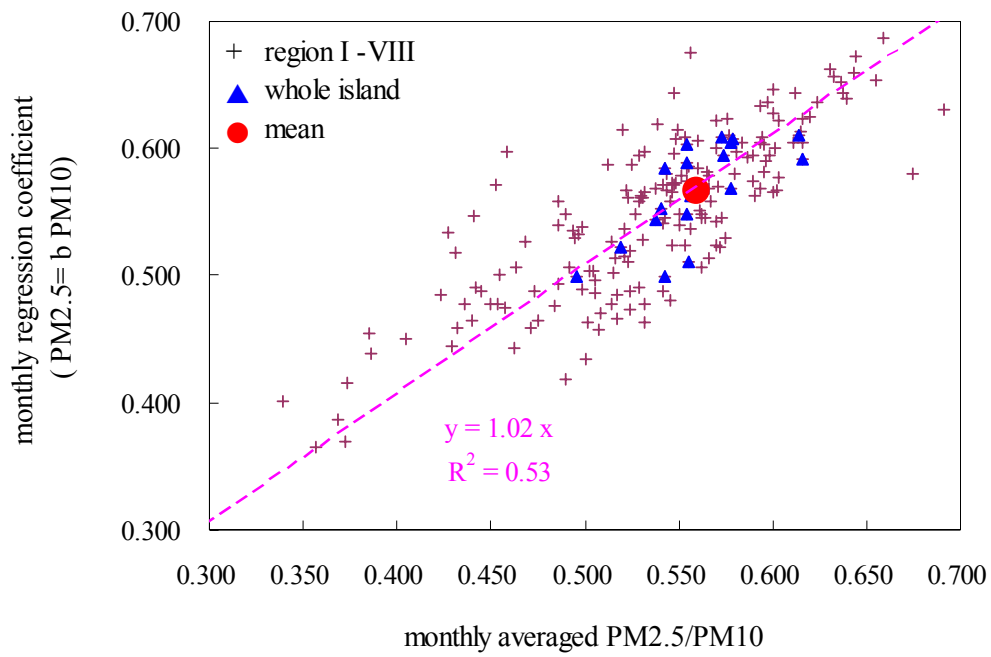


圖10:各區與全島在2005/6-2006/11間之逐月PM2.5/PM10平均比值與PM10平均濃度之相關對應分布圖。全島平均代表值為0.56。

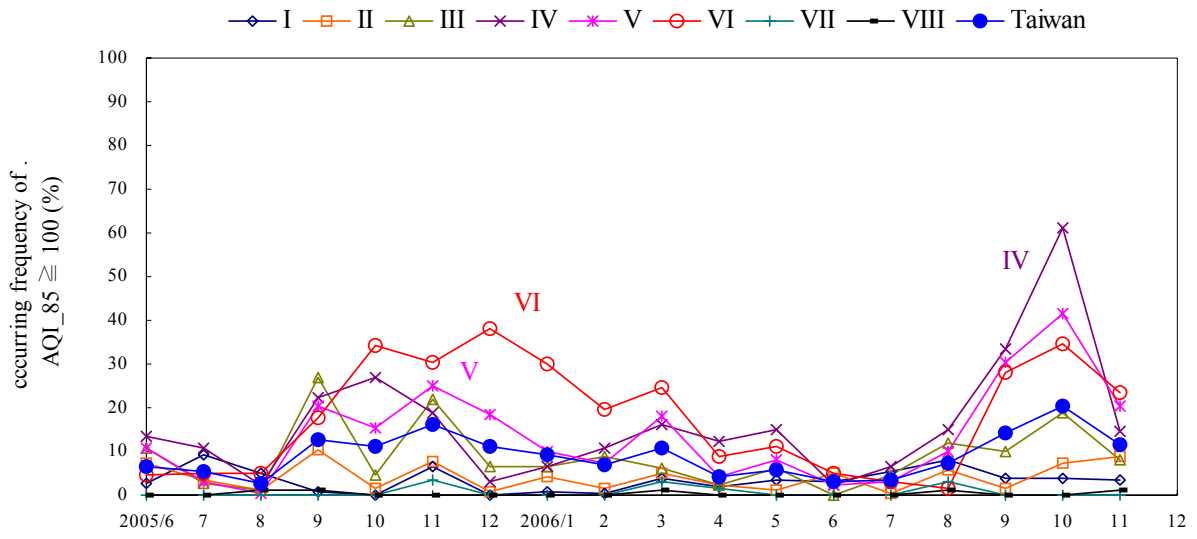


圖 11：各區在 2005/6~2006/11 間逐月出現 AQI_85≥100 的機率情形。

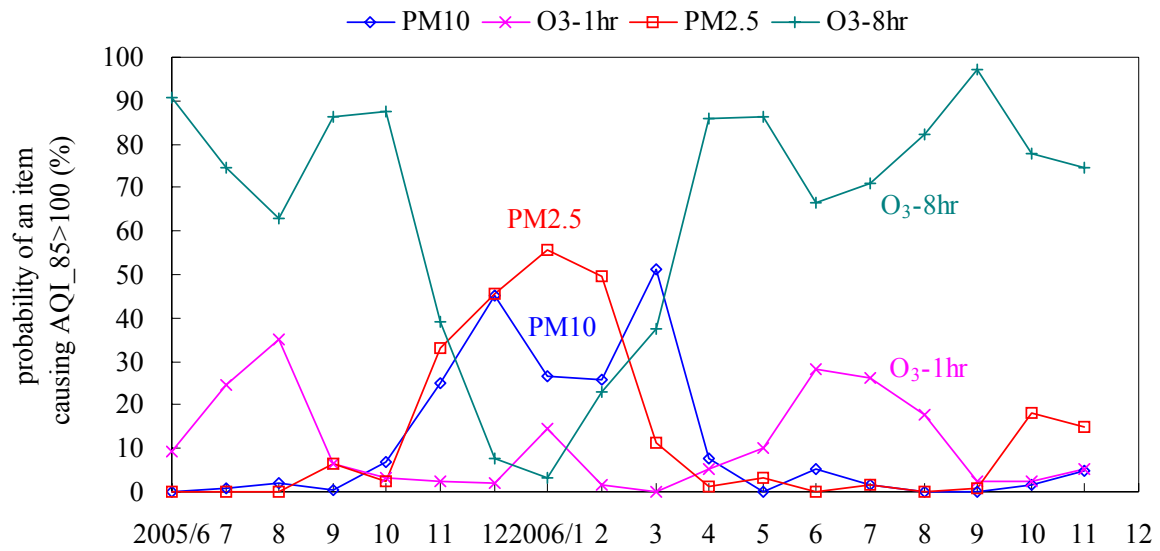


圖 12：各區在 2005/6~2006/11 間，各污染因子逐月造成 AQI_85 \geq 100 的出現機率情形。

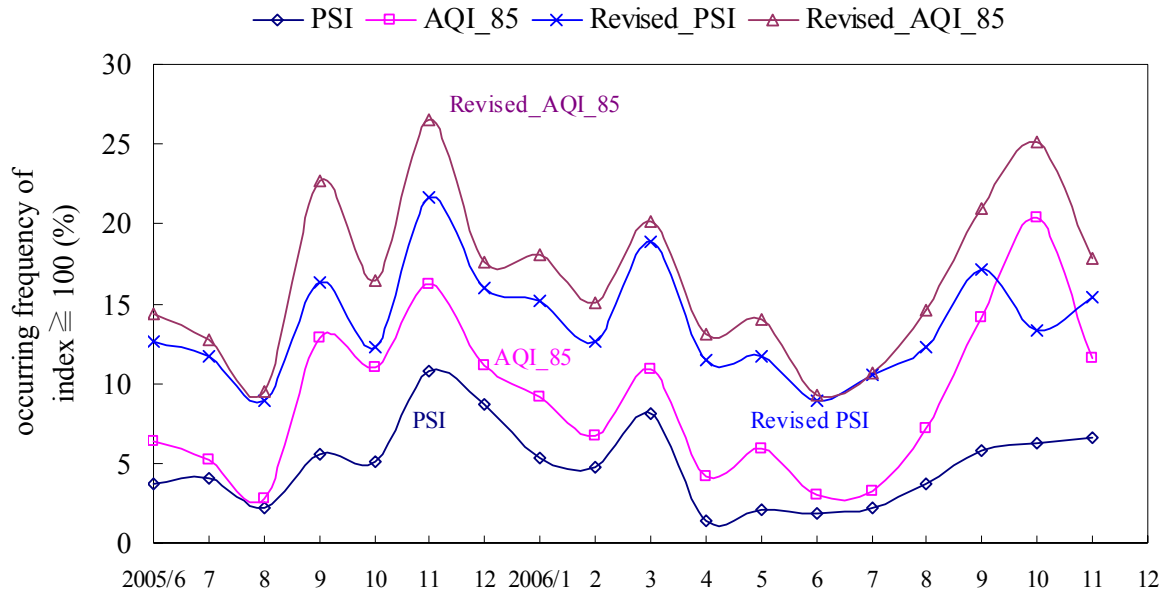


圖 13：2005/6-2006/11 間，PSI、AQI_85 與依 Cheng et al. (2004)計算得之 Revised_PSI 與 Revised_AQI_85 之逐月大於 100 的出現機率變化圖。