

CHAPTER 7

空氣品質影響之預測

Prediction of Air Quality

Hsunling Bai

Institute of Environmental Engineering

國立交通大學

National Chiao Tung University

目錄

- 7-1.簡介
- 7-2 擴散模式理論
- 7-3 空氣品質優選模式
- 7-4 統計模式
 - 7-4.1 簡單迴歸法
 - 7-4.2 時間序列法
 - 7-4.3 受體模式
- 附錄 I、 空氣品質模式評估技術規範
- 附錄 II. USEPA Preferred/Recommended Models

7-1. 簡介

要預測污染物對空氣品質之影響，就必須藉由各種**模式**之使用，一般常用來預測污染物濃度的方法有(註):

1.考慮污染物在環境間的**傳輸作用**或是彼此間所發生的**化學反應**，造成污染物之間的累積、延遲、消散等現象，再加上**氣象條件**等因子，而構成龐大且複雜之**擴散模式**，此為**最理想之模式**。

然而 由於大氣本身的變化相當複雜，除了大尺度的全球環流影響，尚有靠近地球表面因地表粗糙而引起機械亂流之微尺度氣象影響;此外污染物在大氣圈內除了受到水平和垂直的擴散作用外，尚且受到地形、溫度、季節、氣候等之影響，不易準確計算污染物在大氣中之分布情形，故**以擴散模式預估空氣品質誤差常高達 100 %以上**。

7-1. 簡介

2. 不考慮物理或化學上的實際過程，而是從**統計**上的觀點來考慮**資料**的特性，透過監測資料將複雜之物理現象隱含於模式內，因此不必考慮過多的影響因子，相對地計算過程亦較容易;其缺點為較**不能解釋物理化學現象**，且大多為線性結構，只能做定量之預測，對於濃度急遽變化的**預測能力低**。

(曾國雄，1988)

- 利用物理化學原理所發展之空氣污染擴散模式之應用 多在預估由污染源所排出之空氣污染物在大氣中之流佈，如用於空氣 污染源之管制策略，或在環境影響評估中，用於預估污染源之污染潛力。
- 應用統計原理所發展之空氣品質模式，如受體模式，可應用於 空氣污染源之管制策略;或如時間序列及迴歸模式，則較具短期之污 染預警功用。

7-1. 簡介

美國 EPA 的 [Support Center for Regulatory Atmospheric Modeling](#)^{註1} 網站將空氣品質模式分為三大類:

- **Dispersion Modeling** - These models are typically used in the **permitting process** to estimate the concentration of pollutants at specified ground-level receptors surrounding an emissions source.
- **Photochemical Modeling** - These models are typically used in **regulatory or policy assessments** to simulate the impacts from all sources by estimating pollutant concentrations and deposition of both inert and chemically reactive pollutants over large spatial scales.
- **Receptor Modeling** - These models are observational techniques which use the chemical and physical characteristics of gases and particles measured at source and receptor to both **identify the presence of and to quantify source contributions** to receptor concentrations.

註1: 各種和Air pollution相關的技術資訊可參考: [Technical Air Pollution Resources](#) 網站

7-2. 擴散模式理論

- 在1920-30年代間，擴散過程在理論和實驗兩方面開始了系統化的探討^{註1}。大氣亂流(turbulence)的數學模式用於預測排入大氣中煙塵(smoke)的微粒運動。
- 實驗研究指出，在某些條件下，排放物在下風處的分佈可根據一種鐘形(Gaussian, 或稱“常態”)曲線。
- 這些早期研究的發展產生了點、線和面源的“大氣擴散模式”。
- 點源、線源及面源間的區別，可以藉檢驗污染源的長度、寬度與區域大小的關係來分析。點源不論是高度或寬度都是較小的，而線則有某一次元(如公路長度)比研究區的其次元長。而面源則相對地長度與寬度都較大。
- ✓ 煙囪是典型的點源，公路則是線源，而面源可用 1000 個單位的郊區住宅的聚集現象來說明。

^{註1} Bosanquet, C.H. and Pearson, J.L., "The spread of smoke and gases from chimneys", [Trans. Faraday Soc., 32:1249, 1936](#)

7-2.擴散模式理論

點源 Gaussian 模式

最被廣為討論的大氣擴散模式是為點源 Gaussian 模式。比起只使用平均濃度的盒子 (Box) 模式和 Rollback 模式，Gaussian 模式描述了空間裡為數眾多的點之濃度。

假設：

1. 污染物之**排放速率為一定**。
2. 平均**風速和風向一定**
3. 排放物的**化學性質穩定且不**從周圍的空氣中“**下沈**”(fallout)。
4. 排放源的周圍是**平坦開闊**的。

物質隨風移動是由於一種被稱為**平流(advection)**的輸送形式的風的平均運動所造成。隨風任意移動導致物質與風向垂直平面上的分布，這被稱為**擴散(diffusion)**。

7-2. 擴散模式理論

- 點源 Gaussian 模式是在上述條件下，運用**質量不減定律**於排放物上所得的。此定律被寫成包括描述平流和擴散二者的微分方程。
- 方程式(在穩定情況下)的一個解答常是統計學中的**常態分配**。常態分配也就是 **Gaussian** 模式。
- Gaussian 模式用例如圖 7.1 的系列鐘形曲線來描述排放源順風處的物質濃度。圖中座標系統之 x 軸表風向朝水平延伸， y 軸是在垂直於 x 軸的水平面上， z 軸則為垂直延伸。圖 7-1 中，煙流(plume，如羽狀物)的總高度比排放源的高度稍高些。該現象的發生是由於氣體物質由像是煙囪這樣的點源排放出來，遇到大氣時，一般而言會有額外的上升現象(由於浮力、熱力和動量作用)。圖中高度 h ，表示有效排放高度取決於所採用的標準方程式。

7-2. 擴散模式理論

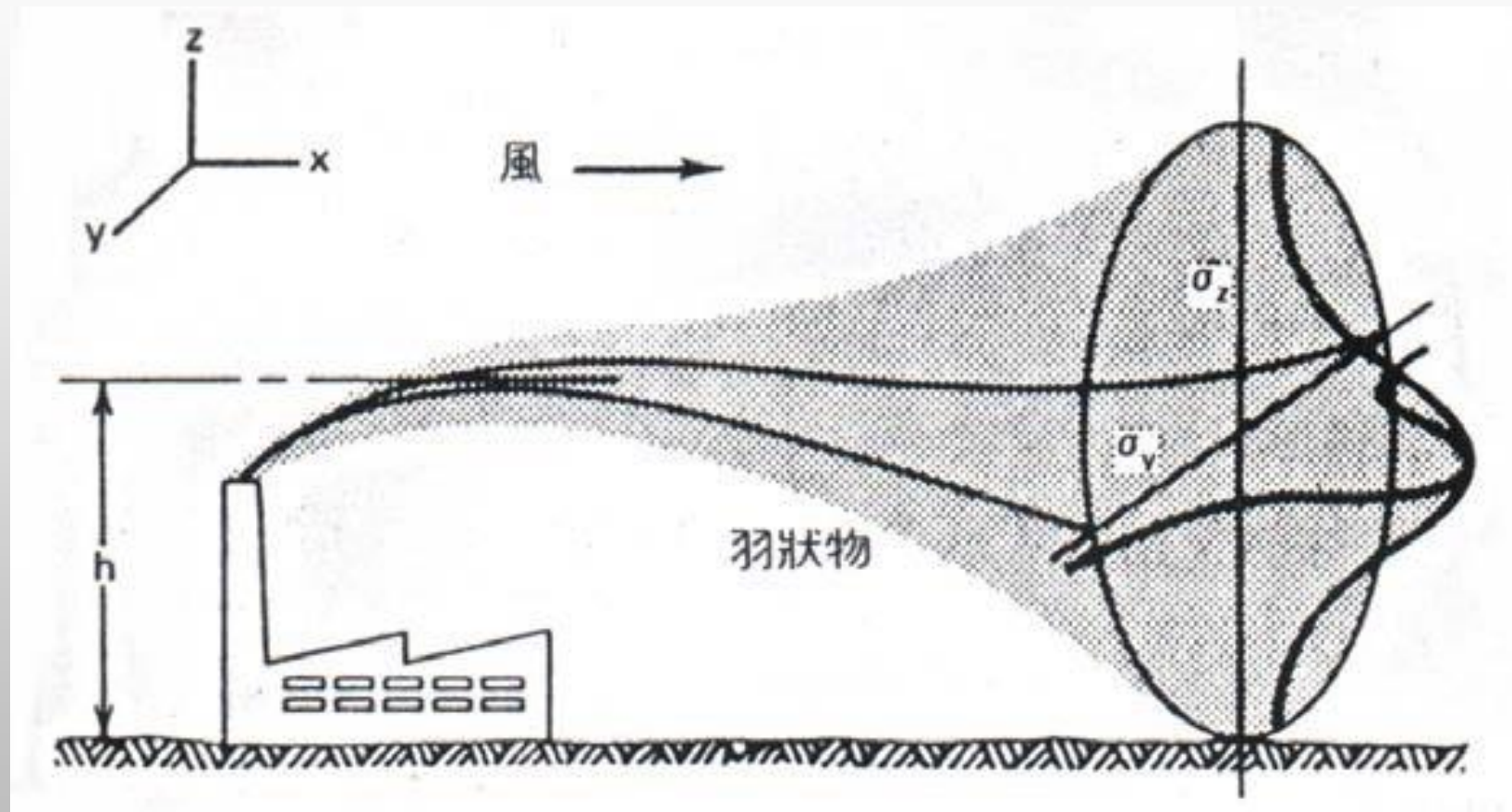


圖 7-1 一物質由一點源的 Gaussian(鐘形)分布

7-2. 擴散模式理論

在點源高斯模式的一般形式下，可預測下風處某位置(x,y,z)的濃度。通常採用以下簡化模式來預測點源下風方向之地面處(z₀)污染物濃度：

$$c(x, y) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z U} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{h^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (7-1)$$

式中

Q = 固定的排放速率(mg /sec)

U = 固定的風速(m/sec)

h = 煙囪的有效排放高度(公尺)

σ_y = 水平擴散係數(公尺); σ_z = 垂直擴散係數(公尺)

7-2. 擴散模式理論

- 方程式(7-1)中 σ_y 與 σ_z 兩項與 y 和 z 方向的”標準差”類似。
- 為了預測地面任一點 (x, y) 濃度，首先要決定擴散係數 σ_y 與 σ_z ，它們是根據進行預測的氣象條件來決定的。
- 數種有效推算 σ_y 與 σ_z 的方法之一是利用經驗觀測所得的結果與適當的“穩定度分類”相結合的方法。
- 這種分類取決於地面風速、白天入射的太陽輻射量和夜間的雲量。
- 表 7-1 表示由這些因素決定的 6 個穩定度分類(符號為 A 到 F)，一旦分類被確定，圖 7-2 和 7-3 中由實驗導出的曲線圖形可分別用來估算 σ_y 與 σ_z 值。
- 利用這些曲線，只要有穩定度分類和離該源下風處之距離，就可獲得擴散係數。

7-2. 擴散模式理論

表7-1 穩定度分類的關鍵影響因素^a

10公尺處的 地面風速 (m/sec)	日			夜	
	入射的太陽輻射量			雲量覆蓋比例	
	強	中	弱	>4/8 ^b	≤4/8
<2	A	A-B	B		
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D ^c	D	D

a. 引自 **Turner(1969)**。此來源是以分成強、中、弱的太陽輻射射入量來考慮。

b. 陰暗程度是指在明顯的地平線以上，被雲掩蔽的天空的比值。(Bibbero 及 Young 1974, p.319)

c. 中間級的 D 是被假設在日與夜之間的微暗狀態。**A** 級是最不穩定，而 **F** 級則是最穩定。

7-2. 擴散模式理論

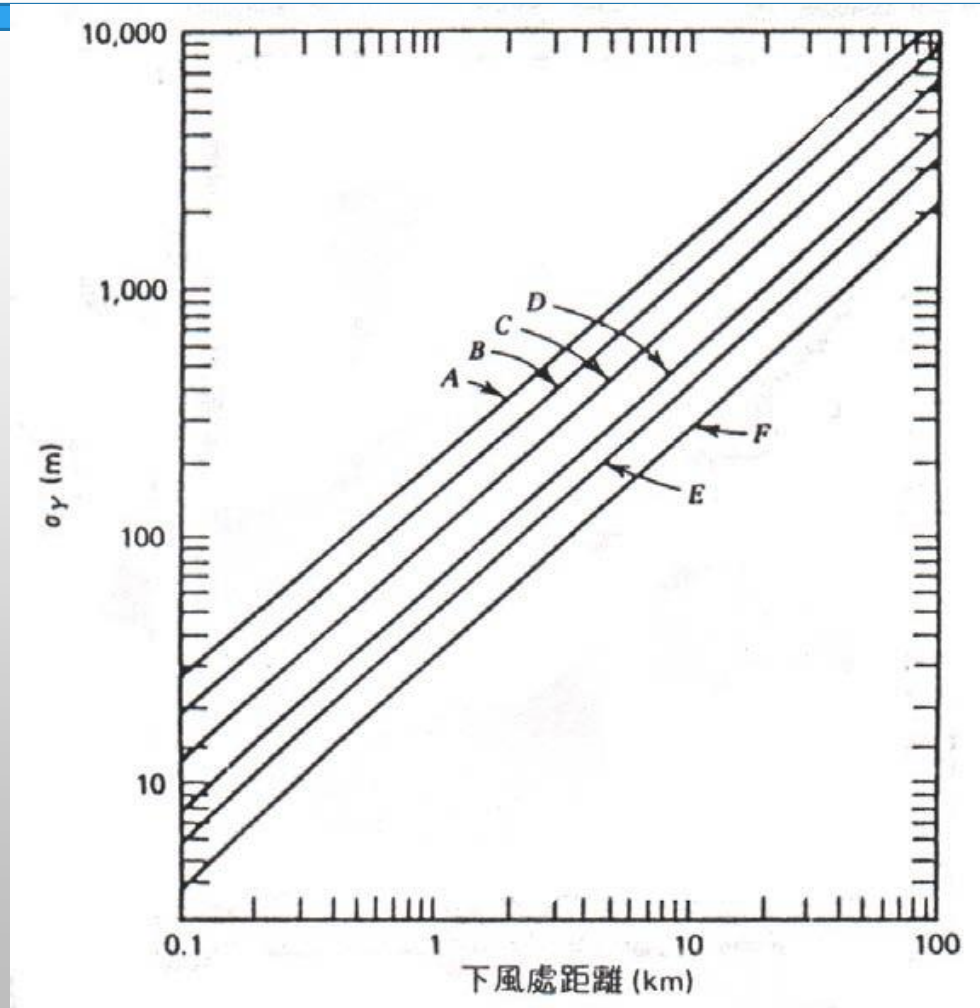


圖 7-2 水平擴散係數與排放源下風處距離的關係。取自 Turner(1969)

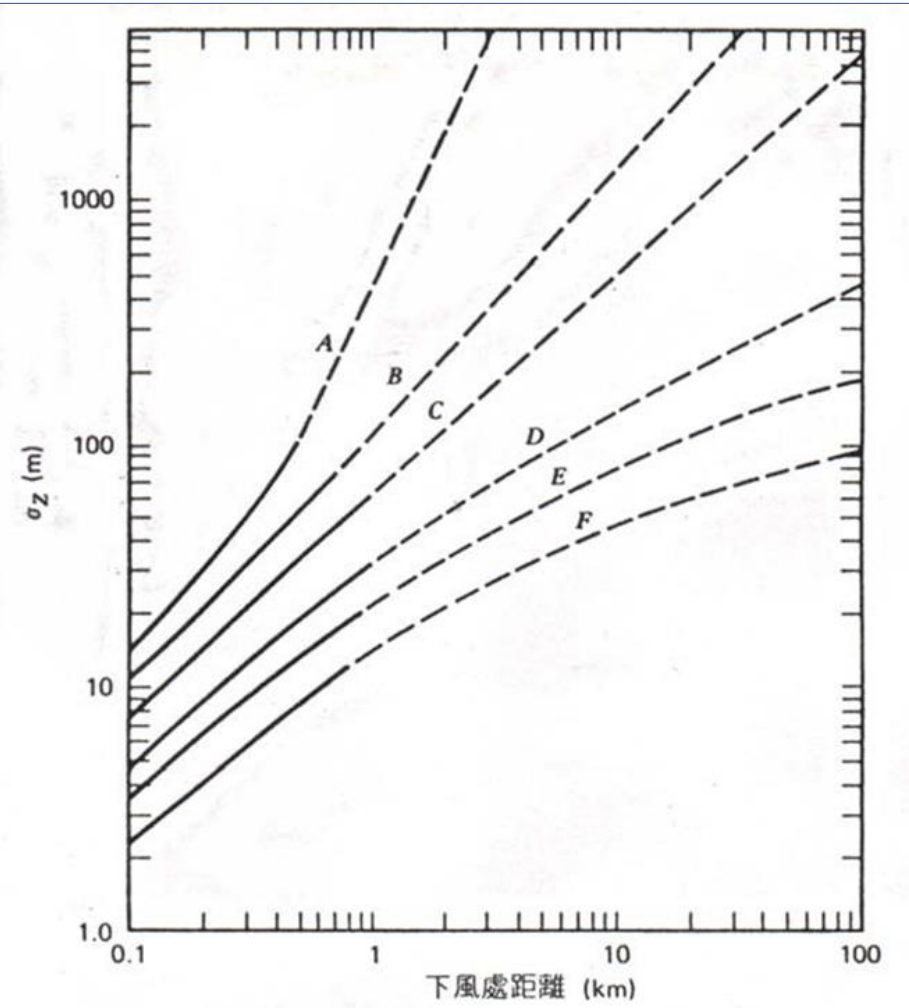


圖 7-3 垂直擴散係數與排放源下風處距離的關係。取自 Turner(1969)

7-2. 擴散模式理論

為了檢驗其“有效性”，此點源 Gaussian 模式曾做過許多實驗研究。一般而言，這種研究是先計算出模式參數 σ_y 和 σ_z 及選用 Q 、 U 和 h 值，然後用(7-1)式預測並將其結果與野外實測比較。

許多有效的研究指出，當點源 Gaussian 模式用於 CO、SO₂ 和懸浮微粒濃度的預測都合理的近似觀測值。

範例: 濃度 $c(x,y)$ 的計算可利用 Turner(1969) 的一個位於開闊、平坦地區的石油煉油廠的實例。該廠擬建一煤油場，煙囪有效高度 $h = 60$ 公尺，SO₂ 排放速率 $Q = 80 \times 10^6 (\mu\text{g}/\text{sec})$ 。

假設需要預測煉油廠煙囪下風處 500 公尺處的 SO₂ 濃度，時間是冬季某一天早晨，地面風速 $U = 6$ 公尺/秒。

7-2. 擴散模式理論

U=6 m/sec, 晴天, 由表7-1, 穩定度=D

圖 7-2 和 7-3 → x= 500 公尺時, $\sigma_y=36$ 公尺, $\sigma_z=18.5$ 公尺。

在 $x = 500$ 和 $y = 0$ (即煙塵中心線), 將上述 x 、 y 、 Q 、 U 、 h 、 σ_y 和 σ_z 代入(7-1)式中可得到:

$$c(x, y) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z U} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{h^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (7-1)$$

$$c(x, y) = \frac{80 \times 10^6}{(3.14)(36)(18.5)(6)} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{0}{36}\right)^2 - \frac{1}{2}\left(\frac{60}{18.5}\right)^2\right] = 33 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3) \quad (7-2)$$

以 $y = 10$ 取代 $y = 0$, 而其他值不變, 重新進行此項計算, 則 SO_2 濃度為 $32 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。

此值與前述值相差不大, 但若 σ_y 和 σ_z 略微變動時, 其計算所得濃度值可能相差數倍! 例如以 $\sigma_y = 40$ 、 $\sigma_z = 20$ 帶入做計算, 則 $C(x, 0) = 59 \text{ mg}/\text{m}^3$, 兩者相差將近一倍!

7-2. 擴散模式理論

在這裡，合理近似意味著：相當大多數的預測值是在觀測值的 $\pm 50\%$ 之內。高斯模式的假定(風速不變、無化學反應等)都使預測精確性下降。

點源高斯模式另外也被用於**預測線源**的化學穩定排放物的作用。考慮一條長直公路上機動車輛排放一氧化碳的例子。對各個機動車輛之廢氣而言，該道路可視為**無數個非常小的點源**。在一穩定的風，吹向垂直公路的情況下，CO 的濃度是由無數的點源所產生的：

$$c(x) = \frac{2q}{V(2\pi)\sigma_z U} \exp\left(-\frac{h^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (7-3)$$

式中 $c(x)$ 是為下風處 x 公尺處的濃度， q 相當於“線源強度”(mg /m sec)，而 U 、 σ_z 、 h 與前述定義相同。

7-3. 空氣品質優選模式

- 在前面所敘述的高斯擴散模式，若直接拿到複雜的大氣環境中使用，恐將太過簡單，而無法正確評估空氣品質，因此美國 EPA 即自 1970 年代中期，選擇了一些較好的數值模式，成立了 UNAMAP(the User's Network for Applied Modeling of Air Pollution)，其中多數之模式仍以高斯模式為主軸，有的模式則進一步考慮了大氣之光化學反應 等。
- 美國環保署亦定期出版“Guideline on Air Quality Models”，公布其所認可及建議使用之空氣品質模式^{註1}。
- 而我國的環境影響評估中之空氣品質模式評估技術規範所列出的**11 個優選模式**如表 7-2 所示，而打“*”註記的，即為目前 USEPA 所公告之優選模式。

^{註1}詳見：<https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-preferred-and-recommended-models>

7-3. 空氣品質優選模式

表 7-2 我國環境影響評估之空氣品質模式評估技術規範的 11 個優選模式

模式名稱	適用條件
* BLP(Buoyant Line Plume)	煉鋁工廠及點源、線源、簡單地形、鄉村地區，小時至年平均 值之濃度預測
*CALINE3 CALINE4	交通運輸(高速公路)、簡單地形、鄉村或都市地區一小時至 24 小時之污染物濃度預測
CDM2.0	點、線源、平坦地形、都市地區，長時間(一個月以上) 之濃度 預測
RAM (Gaussian Plume Multiple Source Air Quality Algorithm)	點、面源、平坦地形、都市地區小時到年平均 值之濃度預測
ISC2, ISC3 (Industrial Source Complex)	點、面、線、體源、平坦或簡單地形、鄉村或都市地區 小時至 年平均 值之濃度預測
MPTER	點源、簡單地形、鄉村或都市地區小時至年平均 值之濃度預測

7-3. 空氣品質優選模式

表 7-2 我國環境影響評估之空氣品質模式評估技術規範的 11 個優選模式 (續)

模式名稱	適用條件
CRSTER	單一點源、簡單地形、鄉村或都市地區小時至年平均値之濃度預測
UAM (Urban Airshed Model)	都市地區臭氧問題 之模擬，只能模擬小時平均値
* OCD (Offshore and Coastal Dispersion Model)	海岸地區 污染源之模擬，為個案式的模擬
EDMS	評估軍用飛機基地及一般 飛機場 的污染物擴散模擬，可用來模擬固定油槽等點源及移動性污染源、簡單地形、傳輸距離小於 50 公里，小時至年平均値之濃度預測。
*CTDMPLUS(Complex Terrain Dispersion Model Plus Algorithms for Unstable Situations)	複雜地形 之高斯點源模擬、鄉村或都市地區小時至年平均値之濃度預測

7-3. 空氣品質優選模式

前項所指平坦地形、簡單地形、複雜地形之認定參照以下原則：

- (一)、平坦地形:平坦地形係指完全沒有顯著地形起伏者。
- (二)、簡單地形:係指地形高度均小於煙囪高度者。
- (三)、複雜地形:係指地形高度會高於煙囪高度者

註:USEPA已於2006年以AERMOD取代ISC，且該模式不若CTDMPLUS般複雜，目前已經成為最受歡迎的優選模式，2017年版的AERMOD也將BLP等模式併入。我國至今仍未採用AERMOD，主要原因經詢問空品模式學者後，應為ISC應用於台灣之預測較為保守。但基本而論，高斯模式平坦地形之假設並不很適用於台灣的地形。

以上各模式簡要說明，詳附錄 I。

資料來源：

1. [環境影響評估空氣品質模式評估技術規範](#) 民國 87 年(詳附錄 I)
2. USEPA於 2017 年修正其優選模式(the Guideline on Air Quality Models)，詳參考Trinity公司的介紹:
[EPA UPDATES GUIDELINE ON AIR QUALITY MODELS](#)

7-3. 空氣品質優選模式

模式模擬時之考慮因素¹(相關法規規範請參考 附錄I:[空氣品質模式評估技術規範](#)):

(1) 模式選擇是否恰當

- 地形、地勢
- 點、線、面源模式
- 影響範圍(規模、時間)
- 污染物是否具反應性
- 污染物之沈降性(如 particles)
- 模式本身易超估或低估

(2) data 之輸入是否恰當

- 氣象因子
- 污染物排放量之估計

¹ 環保署，「環境影響評估技術手冊研究-水、空氣、噪音推動專案研究計畫」三年期末報告，1996.5

7-4.統計模式

在空氣品質模式評估技術規範中，將空氣品質模式分類為擴散模式、數值模式、實體模式(如:風洞實驗)及統計模式。而一般常用為污染物濃度預測的統計模式大致上可分為:

- 1) 簡單迴歸法。
- 2) 時間序列法。
- 3) 受體模式。

7-4.1 簡單迴歸法

- 由於空氣污染物濃度和週遭地形、氣象條件有著密切關係，因此常以迴歸法找出最容易影響污染物的因子，放入模式中作為預測指標；也由於其理論簡明，不須具備複雜高深之數學理論作為統計基礎，又能物理現象作合理解釋，故常被用來作為污染物濃度預測工具。
- 最簡單的迴歸法模式，大概就是**盒子模式(Box model)**及**羅貝克(Rollback)模式**。

7-4.1 簡單迴歸法

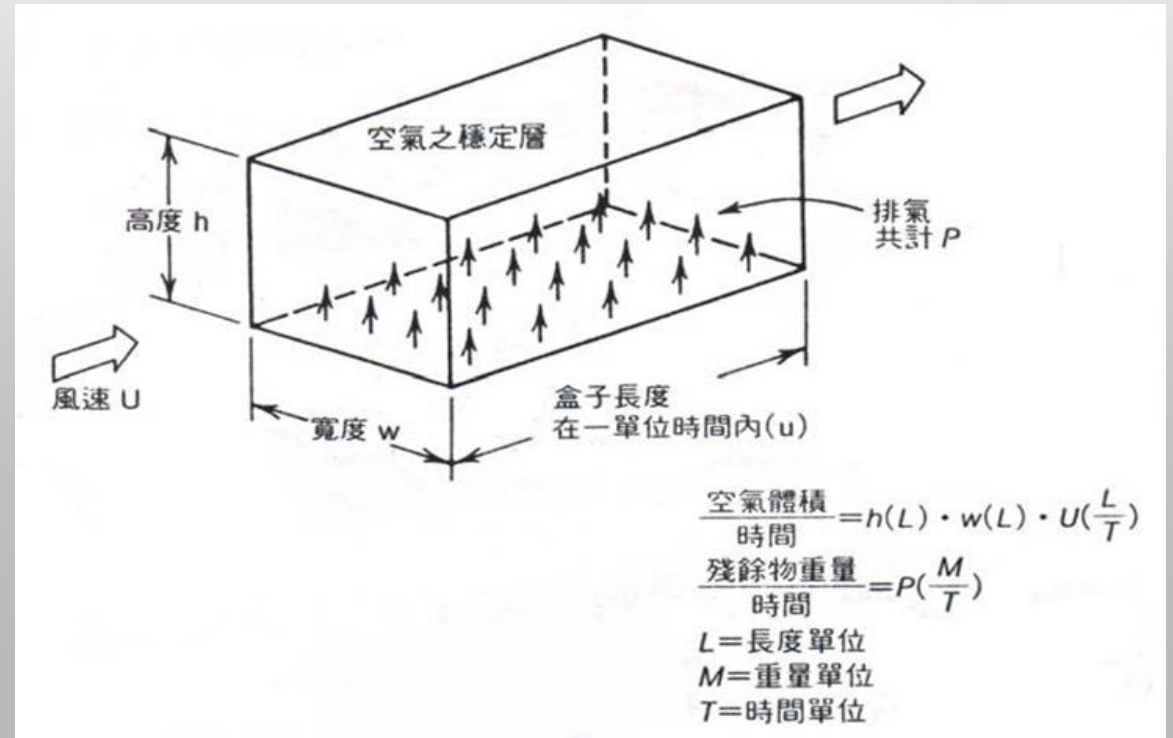
一、盒子(箱型)模式(Box Models)

盒子模式假定排放物以穩定速率 P (重量/時間) 進入以定向等速度 U 移動的大氣中。移動的空氣被限制在高 h 處的穩定氣層內(如上有逆溫層的山谷); 空氣在該處通過一寬 W 的區域。

最簡單的盒子模式是假定在穩定狀態的條件下:即排放量、風速 和空氣有效稀釋的特徵不隨時間改變。同時假定排放物與有效稀釋空氣瞬間充分混合, 而且釋出物的化學性質穩定並存在於空氣中。

在穩定狀態的條件下, 單位時間通過的空氣體積等於風速 U 乘上截面積 $h w$ 。在環境空氣中排放物濃度 C (常見單位如 mg/m^3) 等於單位時間內排放物的質量除以有效稀釋的空氣體積:

$$C = \frac{P}{Uhw}$$



7-4.1 簡單迴歸法

盒子模式常用來估計有許多均勻分布的小排放源地區的平均空氣污染濃度。Kohn's(1978)以 1970 年 St. Louis 的氣室(air basin)內二氧化硫來應用(7-4)的方程式，就是一個例子。1970 年在 St. Louis 所運用的盒子模式平均參數值估計如下。

$U = 15,400$ 公尺/小時(= $4.3m / \text{sec}$,) 每年平均風速

$h = 1210$ 公尺，"混合層高度"

$W = 10^5$ 公尺，"氣室的寬度"

在1970 年間，接近 1.375×10^9 磅的 SO_2 被排放到大氣中(box, 氣室)，對應的排放速率為

$$P = \frac{1375 \times 10^6 \text{ lb} / \text{yr} \times 454 \text{ g} / \text{lb} \times 10^6 \mu\text{g} / \text{g}}{8760 \text{ hr} / \text{yr}} = 7.126 \times 10^{13} \mu\text{g} / \text{hr}$$

直接代入上頁方程式，

$$C = \frac{P}{Uhw} = \frac{7.126 \times 10^{13} \mu\text{g} / \text{hr}}{15,400 \text{ m} / \text{hr} \times 1210 \text{ m} \times 10^5 \text{ m}} = 38 \mu\text{g} / \text{m}^3$$

7-4.1 簡單迴歸法

SO₂ 濃度 38 μg/m³ 相當於環境空氣 = 0.014 ppm。在 1970 年，由美國聯邦連續空氣監測站在 St. Louis 所觀測的濃度是 0.03 ppm。因此盒子模式的濃度約只為觀測值的一半。對這差異的其中一種解釋是：聯邦連續空氣監測站的位置在二氧化硫濃度高於平均濃度許多的區域；盒子模式所給的，只是一個區域的平均濃度。

盒子模式有許多**限制**：如上所述 SO₂ 的計算，在一區域內某些時段和地點的濃度，與盒子模式所產生的**平均濃度**差異相當大。此外，盒子模式不能說明物質在垂直及橫向的大氣擴散下的情況。同時又假定排放物在分析期間**沒有化學反應**，因此通常視 CO，SO₂ 和懸浮微粒為穩定的化學物質，而這假設對碳氫化合物，NO_x 等會產生光化煙霧的排放物是不適當的。但是盒子模式卻可以很**快速**的方式，估算一個盆地中的污染物平均濃度，此為該模式之最大**優點**。

註：其中 U 與 h 的乘積即為**通風指數 (Ventilation index)** 之定義 (混合層高度與混合層內平均風速的乘積)。詳見環保小百科 <http://air.epa.gov.tw/epwiki/E/page10.aspx>

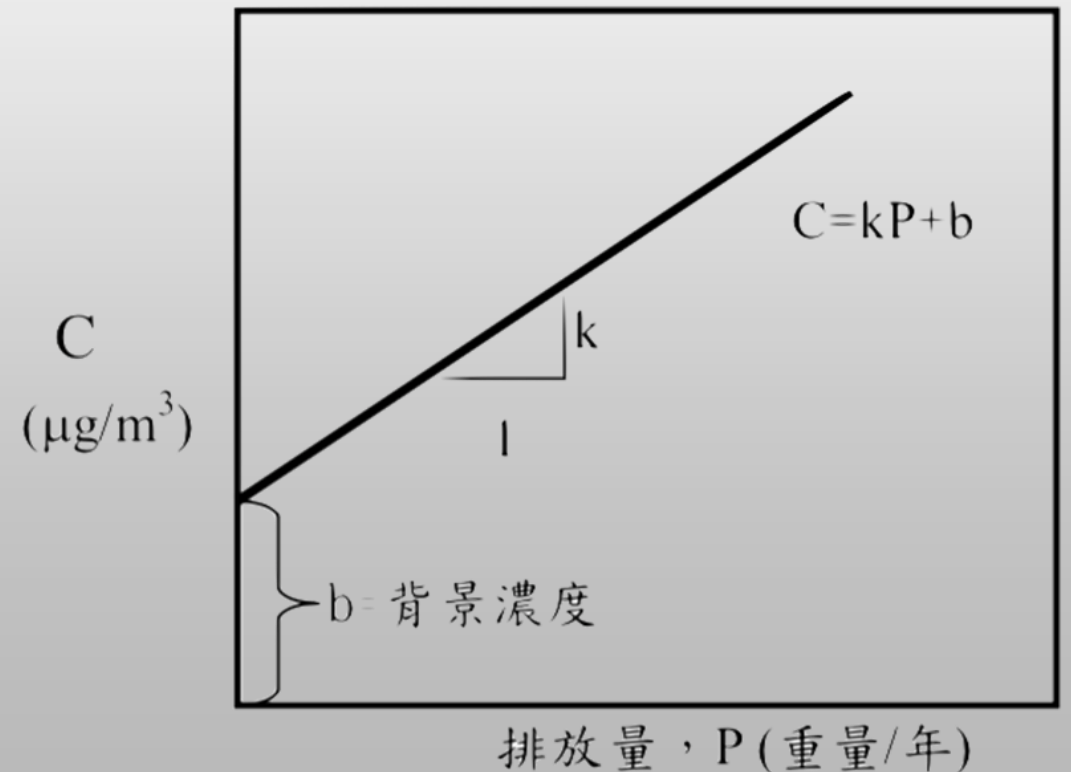
7-4.1 簡單迴歸法

二、羅貝克(Rollback)模式

Rollback 模式(又稱"比例模式")假定區域中特定時間內排放物總量 P ，與指定點的污染物濃度 C 之間是線性相關：

$$C = kP + b \quad (7-5)$$

此處 b 為“背景濃度”(當排放量為 0 時的濃度)， k 是模式所得之經驗常數。參數 k 和 b 因特定的污染物和地區而異。



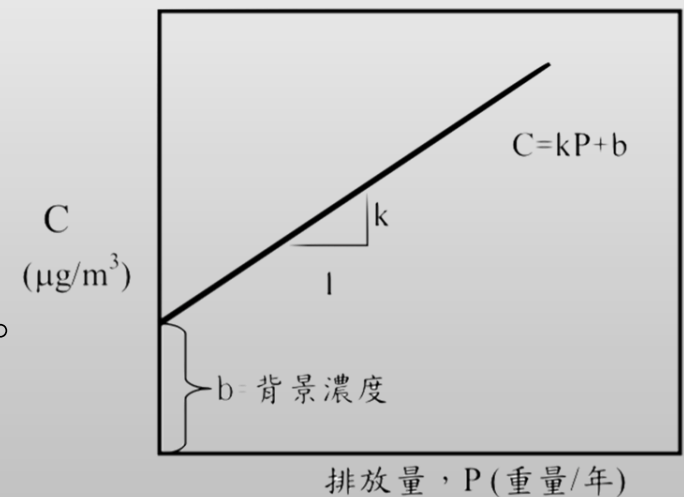
7-4.1 簡單迴歸法

Kohn(1978)應用 rollback 模式在 St. Louis 的連續空氣監測站(CAMP)的濃度計算 1963 年的排放量和濃度被用來決定不同污染物的 k 值。1963 年 St. Louis 區域的懸浮微粒排放量為 300×10^6 磅，連續空氣監測站(CAMP)的偵測值為 $128 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。Kohn 估計的背景濃度是 $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。因此 k 值計算如下：

$$k = \frac{C - b}{P} = \frac{128 - 31}{300 \times 10^6} = 0.32 \times 10^{-6}$$

此 k 值曾被用於 1970 年計算 St. Louis 連續空氣監測站附近的懸浮微粒濃度，該年的區域懸浮微粒排放量為 233×10^6 磅。假設 b 仍為常數 $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，Kohn 使用 Rollback equ. 可計算 1970 年的濃度如下：

$$C = kp + b = (0.32 \times 10^{-6})(233 \times 10^6) + 31 = 106 \mu\text{g}/\text{m}^3$$



而 1970 年在連續空氣監測站所測量的懸浮微粒實際濃度平均為 $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

7-4.1 簡單迴歸法

在 1963 至 1970 年間，懸浮微粒的排放由 300×10^6 減少至 233×10^6 磅，而平均濃度在連續空氣監測站所測得的，實際上由 128 增加至 $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。因為 rollback 模式假設濃度與排放量間為一線性關係，就此例而言，其預測的濃度顯然偏低。

該模式預測懸浮微粒濃度失敗的原因，部分是因氣候條件的變化引起 k 值隨時間改變。例如：如果 1963 至 1970 年間的平均風速有所不同，這差異本身就會造成對 1970 年懸浮微粒濃度的錯誤估計。此外，k 值可能因污染源位置改變而改變。假設與 1963 年比較，1970 年該區的大部分排放是在連續空氣監測站附近，因此即使全區排放量減少，連續空氣監測站的濃度亦可能增加。

7-4.1 簡單迴歸法

污染物削減量估算:

Rollback 模式也可用來決定因應環境空氣品質標準值 C_s 的規定需減少的排放量。假設(7-5)方程式寫成二個時期，前幾年是超過標準，而未來是希望達到標準。則將兩個方程式以代數方法混合並簡化後得:

$$R = 100 \left(\frac{P_0 - P_s}{P_0} \right) = 100 \left(\frac{C_0 - C_s}{C_0 - b} \right) \quad (7-6)$$

此處的 R 是要求降低的排放百分比。右下腳標註“0”是違反環境標準值，“S”是當時的標準值。

7-4.1 簡單迴歸法

上面所敘述之 Box model 及 Rollback model 係使用年平均濃度值 進行預測工作，此在應用於實際之空氣品質管理上，恐將太過於簡單 而易失去其真實性。因此亦有許多研究乃將此兩種簡單模式應用於每日，乃至每小時之統計分析工作，如此則將需用到統計之函數分佈概念。以下即為應用之一例：

假設我們已知 2005 年時之某種污染物之每日分佈概況，如 PM10, 今將其繪於下頁圖中，經由與常態對數分函數迴歸後，得到其迴歸結果，發現其 2005 年之年平均值為 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，超過法規年平均標準值 $65\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，今假設我們於 2015 年時希望能達到 $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之年平均值目標，若其污染物分佈不變，則我們即可預估在年平均值 $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 下，每日平均濃度之發生頻率，而削減量亦可由 box model 或 rollback model 來求得。(評定 PM10 是否 符合日平均標準參考[空氣品質標準](#)，以及 [空氣品質施行細則第7條](#))

空氣品質標準是否符合規定之判斷： 以PM10為例

● 空氣品質標準

粒徑小於等於十 一二五 微米 (MM)之懸浮微粒(PM10)：

- 日平均值或二十四小時值 一二五 (微克/立方公尺)
- 年平均值 六五(微克/立方公尺)

● 空氣污染防治法施行細則

第 7 條：本法第五條之空氣污染防治區及第八條之總量管制區，其符合空氣品質標準之判定方法如下：

一、懸浮微粒：區內一般空氣品質監測站，各站每年日平均值由高而低依序排列，取第八高值，計算連續三年之算術平均值，再就各站連續三年算術平均值排序，取前百分之五十高值平均，該平均值小於空氣品質標準之日平均值，且各站之年平均值均小於空氣品質標準之年平均值者。

7-4.1 簡單迴歸法

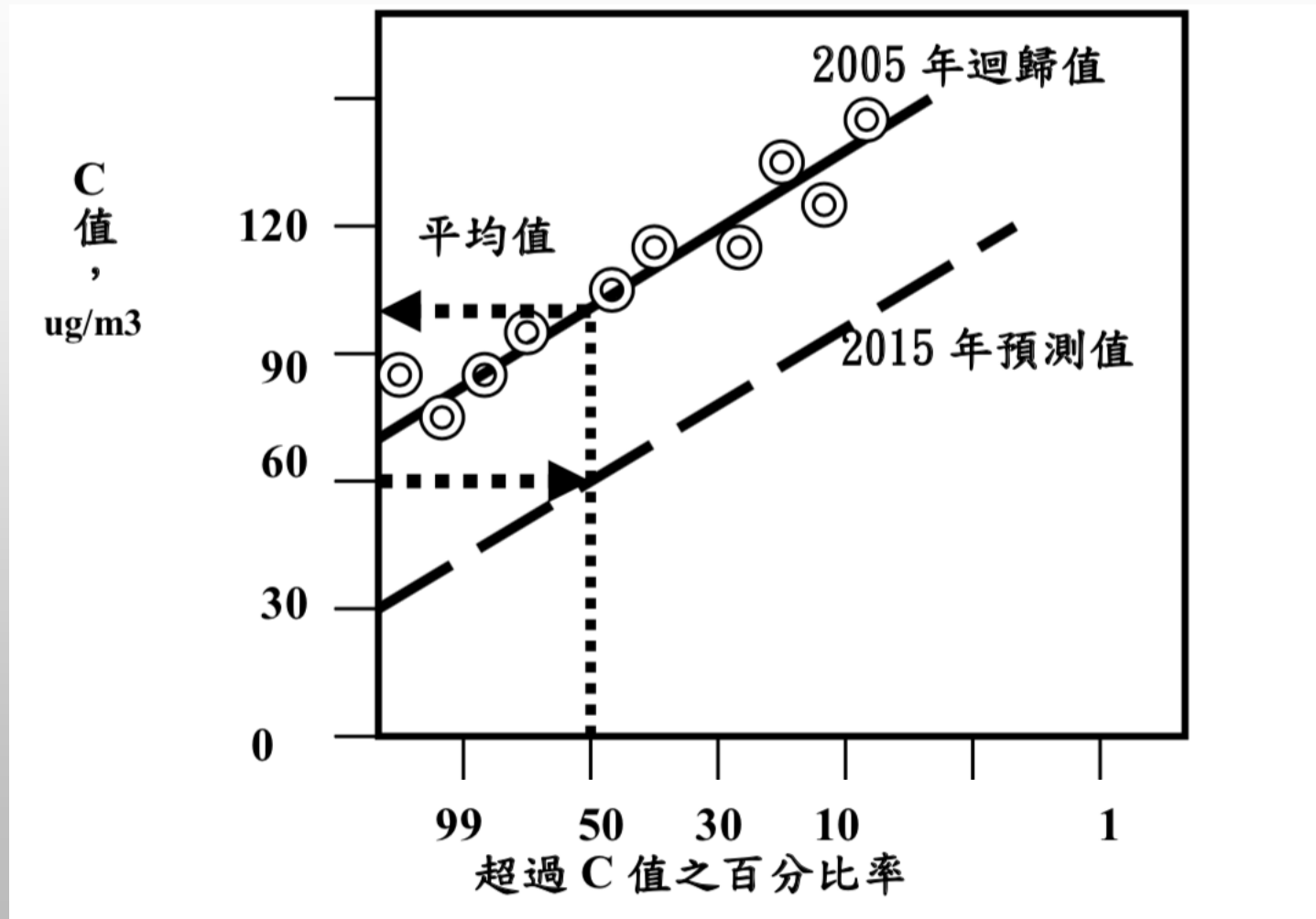


圖 7-6 由迴歸分析預估污染物之各濃度發生頻率

7-4.2時間序列法

上節中所提到的迴歸法固然簡便好用，然也有其先決條件須遵守，如各變數本身與各變數之間必須為獨立不相關，且其**機率密度函數(probability distribution function，簡稱 pdf)必須呈常態分布**，否則無法滿足參數估計值之不偏性(unbiased)。此點可由上節中之文獻發現 影響污染物之因素多為當地之氣象條件，而無提及污染物彼此間之化學反應與轉換關係。

然而在現實生活中卻很少能找到完全符合常態分布情形的例子。尤其在空氣污染領域內。Georgopoulos and Seinfeld(1982)即指出 沒有任何一種機率密度函數能完全滿足任何地區、任何時刻之不同污染物種。另外空氣污染物在大氣中的變化是隨著時間的演進而有擴散或集中的趨勢，因此和時間是呈高度相關。這點 Horowitz(1979)，Murray(1982)皆曾作過相關研究。因此以**時間序列法**來分析或預測空氣品質即逐漸受到重視。

7-4.2時間序列法

下圖即為時間序列法之預測 O_3 濃度範例(蘇侯洵，1994)，基本上其先根據舊有之 O_3 濃度資料進行擬合，求取最佳模式後，再進行下一小時(或數小時)之預測，如此模式中之參數值即會隨著即時濃度之變化而隨之變化。

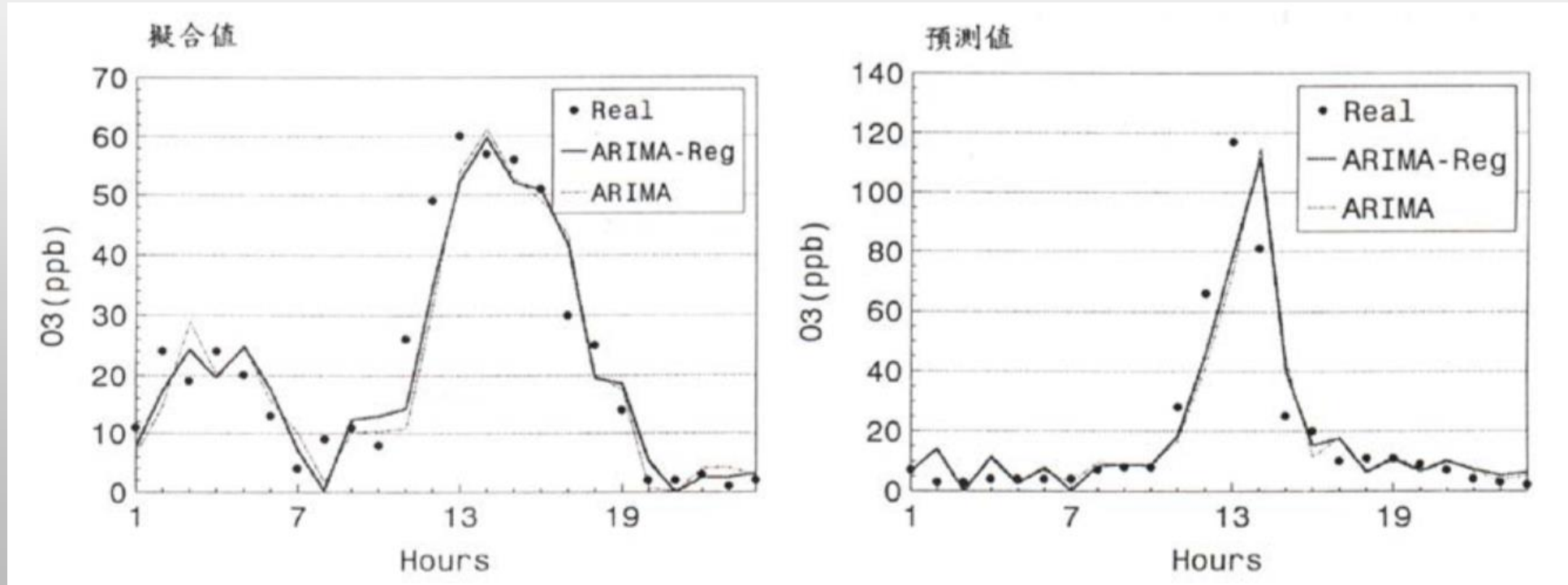
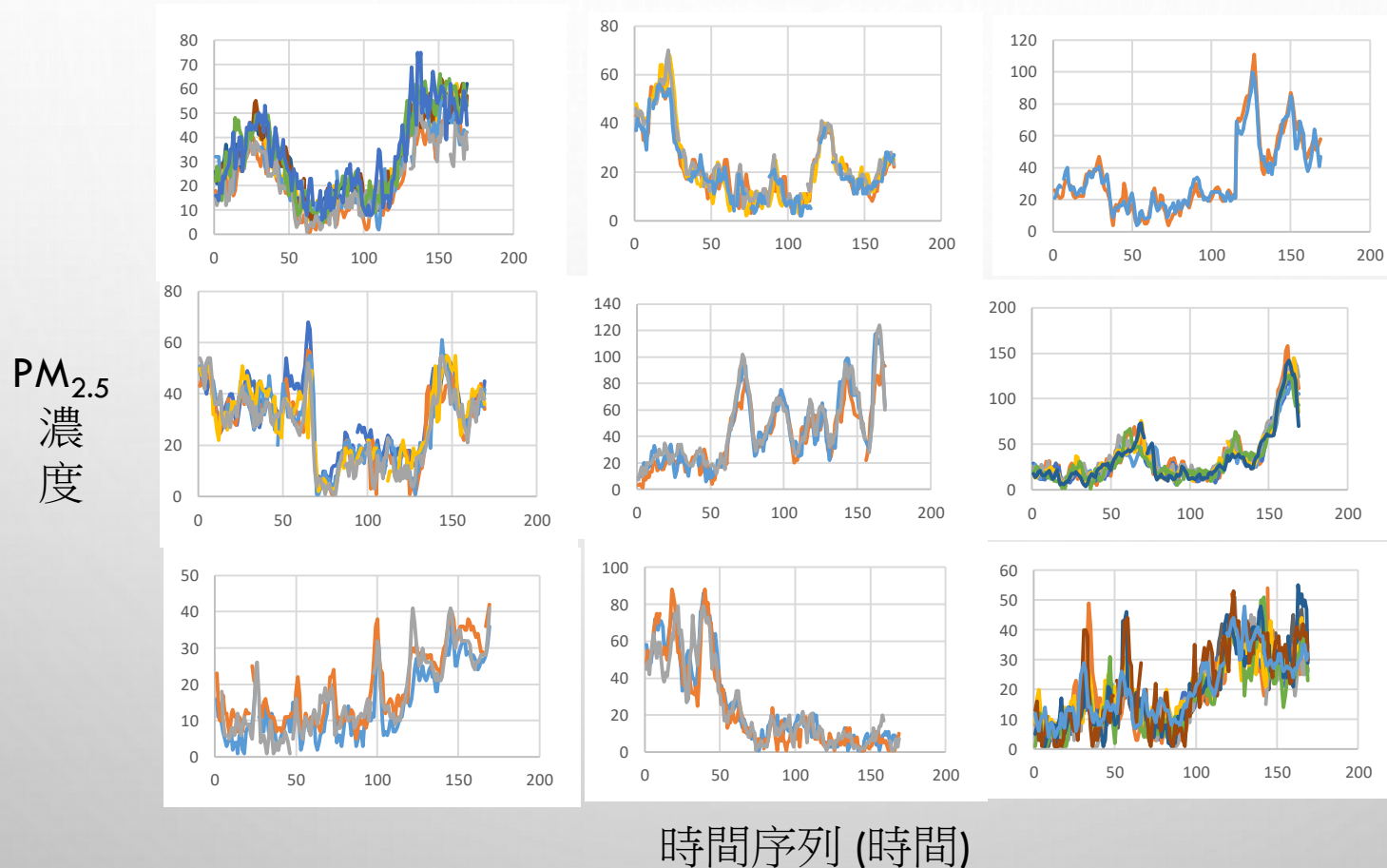


圖 7-7 ARIMA 與 ARIMA-Regression 之臭氧分析及預測比較圖: 永和站民國 81 年 1 月 28 日(擬合值)及 1 月 29 日(預測值)。(蘇, 交大環工所碩士論文, 1994)

MOTIF (TSAPSS)

- Time Series All Pairs Similarity Search (TSAPSS)，其原理為於所有數據中找出相似的數據片段，可被應用於DNA親子關係鑑定。



資料來源: 陳柔安 “PM_{2.5}細懸浮微粒之時間序列巨量數據分析應用於污染趨勢與源解析”，2018，交通大學環境工程研究所碩士論文

由Motif時序分析來解析汙染傳遞路徑

➤ 2016年數據分析結果-時序分析

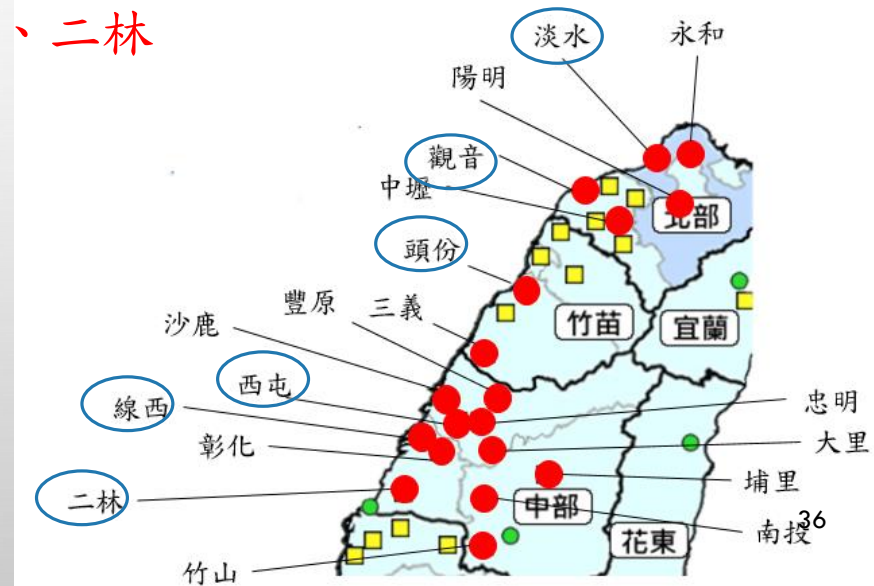
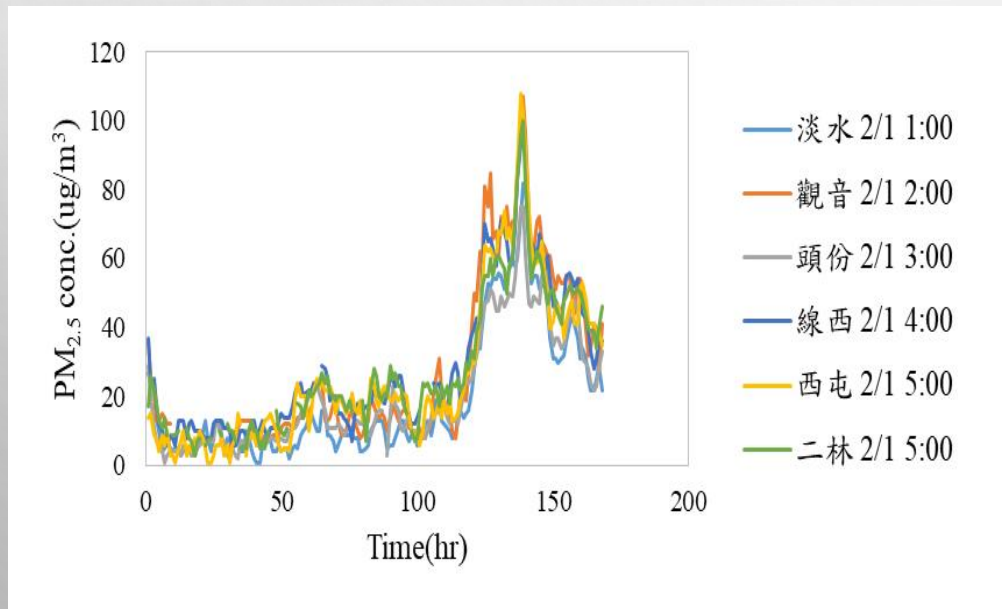
資料來源: 2016年TWEPA標準空氣品質測站(中部以北共18個測站)PM_{2.5}數據資料

背景資料: 永和、中壢:交通站; 觀音、三義:背景站; 頭份、線西:工業站; 其餘皆為一般站。
其中又以沙鹿與線西距離台中火力發電廠最近, 觀音則十分靠近觀音工業區。

資料來源: 陳柔安 “PM_{2.5}細懸浮微粒之時間序列巨量數據分析應用於污染趨勢與源解析”, 2018, 交通大學環境工程研究所碩士論文

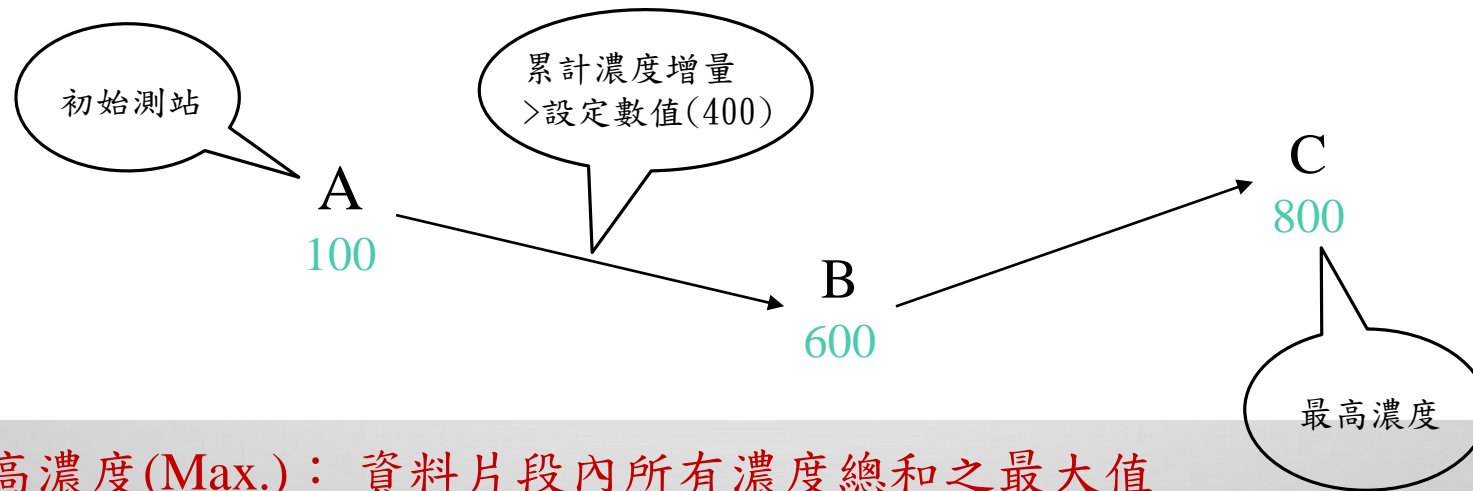
汙染傳遞方向:

首發測站淡水→觀音→頭份→線西→西屯、二林



汙染類型分析： 起始點、高濃度、高增量

- 進行汙染類型分析時，主要討論三個參數。初始測站(START)、最高濃度(MAX.)及濃度增量(ACC.)超過設定值(如400MG/M³)。



最高濃度(Max.): 資料片段內所有濃度總和之最大值

濃度增量(Acc.): 資料片段內本測站減去前個測站之濃度變化

資料來源: 陳柔安 “PM2.5細懸浮微粒之時間序列巨量數據分析應用於污染趨勢與源解析”，2018，
交通大學環境工程研究所碩士論文

污染起始點分析

- 初始測站(START)定義為，每個分析結果中污染發生最早的測站位置。代表意義為本次事件的背景濃度及初始位置。

各測站為初始測站(Start)之發生率(%)

	永和	淡水	陽明	中壢	觀音	頭份	三義	沙鹿	西屯	豐原	忠明	大里	線西	彰化	二林	南投	埔里	竹山
2015	3	6	3	6	0	13	3	16	6	6	0	3	25	3	13	16	0	6
2016	0	21	9	3	6	18	15	35	9	3	9	3	24	9	6	12	3	6
2017	6	8	19	0	3	8	19	31	17	0	17	8	3	11	6	6	6	11

註：2015年4組、2016年2組、2017年3組沒有時間序列變化

資料來源：陳柔安 “PM2.5細懸浮微粒之時間序列巨量數據分析應用於污染趨勢與源解析”，2018，交通大學環境工程研究所碩士論文

污染最大值分析

- 最高濃度(MAX.)定義為，每個分析結果進行資料段落內的汙染濃度加總，汙染濃度最高的測站。造成高值的原因可能為測站附近有較大的汙染源，或是因為地形因素導致汙染物容易積累於此。

最高濃度值(Max.)的測站出現比率(%)

	永和	淡水	陽明	中壢	觀音	頭份	三義	沙鹿	西屯	豐原	忠明	大里	線西	彰化	二林	南投	埔里	竹山
2015	6	0	0	0	3	3	3	0	11	0	8	14	6	8	22	3	8	6
2016	0	0	0	0	19	0	0	0	17	11	0	0	31	3	0	17	0	0
2017	8	0	0	0	6	8	0	0	0	0	14	3	31	6	0	8	0	17

資料來源: 陳柔安 “PM2.5細懸浮微粒之時間序列巨量數據分析應用於污染趨勢與源解析”，2018，交通大學環境工程研究所碩士論文

污染顯著累積測站

- 累積濃度增量(ACC.)的定義為，以本時序濃度減去前一個時序的測站濃度後進行加總統計，濃度增量超過 $400\text{MG}/\text{M}^3$ 之測站佔總分析次數的比率。常有特定測站有明顯汙染增量，雖然濃度變化狀況不一，但多反映了高汙染地區的分布狀態。

累計濃度變化差異大於 $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Acc.)的測站比率(%)

	永和	淡水	陽明	中壢	觀音	頭份	三義	沙鹿	西屯	豐原	忠明	大里	線西	彰化	二林	南投	埔里	竹山
2015	3	0	0	3	0	3	6	3	33	6	31	39	14	28	31	6	6	6
2016	3	3	0	0	19	0	0	14	28	14	11	0	33	11	6	25	0	0
2017	11	8	0	6	14	25	0	3	19	3	17	6	31	17	6	17	6	11

資料來源: 陳柔安 “PM2.5細懸浮微粒之時間序列巨量數據分析應用於污染趨勢與源解析”，2018，交通大學環境工程研究所碩士論文

汙染類型分析

註：Start, Max, Acc 標示”+”表示大於9% (顯著)

Start	Max	Acc	地形	測站(2015)	測站(2016)	測站(2017)	汙染因素
+	+	+	+		南投、西屯	竹山	地形因素+較高濃度站內+較高濃度站外汙染
+	+	+	-	二林	線西	忠明	較高濃度站外+較高濃度站內汙染
+	-	+	+			西屯	地形因素+站內+站外汙染
+	-	+	-	線西	沙鹿、彰化、忠明	彰化	站外+較高濃度站內汙染
+	-	-	+	南投			--
+	-	-	-	頭份、沙鹿	淡水、頭份、三義、陽明	陽明、三義、沙鹿	站外汙染
-	-	-	-	永和、淡水、陽明、中壢、觀音、三義、豐原	永和、中壢、大里、二林	淡水、中壢、豐原、大里、二林	中介站
-	+	+	+	西屯			較高濃度站內汙染+地形累積
-	+	+	-	大里	觀音、豐原	線西	較高濃度站內汙染
-	-	+	+			南投	地形累積造成濃度增量
-	-	-	+	埔里、竹山	埔里、竹山	埔里	地形因素(獨立不受影響)
-	-	+	-	忠明、彰化		永和、觀音、頭份	站內汙染

7-4.3 受體模式

受體模式乃以受體點為出發點，假設各污染源排出之物質皆有其**指紋(fingerprint)**特性，可經由分析方法分析於受體點蒐集之污染物成分，回溯再現上游排放源之貢獻組合，由此瞭解污染源排放量與受體點濃度之關係，與其對環境的衝擊。

受體模運作之基本假設:

1. 排放污染物之物理化學特性不變，**污染物間不互相反應**，且污染物排放於大氣後即均勻分佈。
2. 採樣與分析誤差為隨機。
3. 各污染源排放之污染物性質不同，每一污染源有其**特性追蹤元素(Tracer)**

而分析方法則有:

1. **物理方法**: 軌跡分析，X-ray Diffraction (XRD)，能見度法(Visibility)。
2. **顯微鏡法**: 光學顯微鏡法，SEM...
3. **化學法**: 化學質量平衡法(CMB)，Multivariant Analysis，Enrichment Factor Analysis)...等。

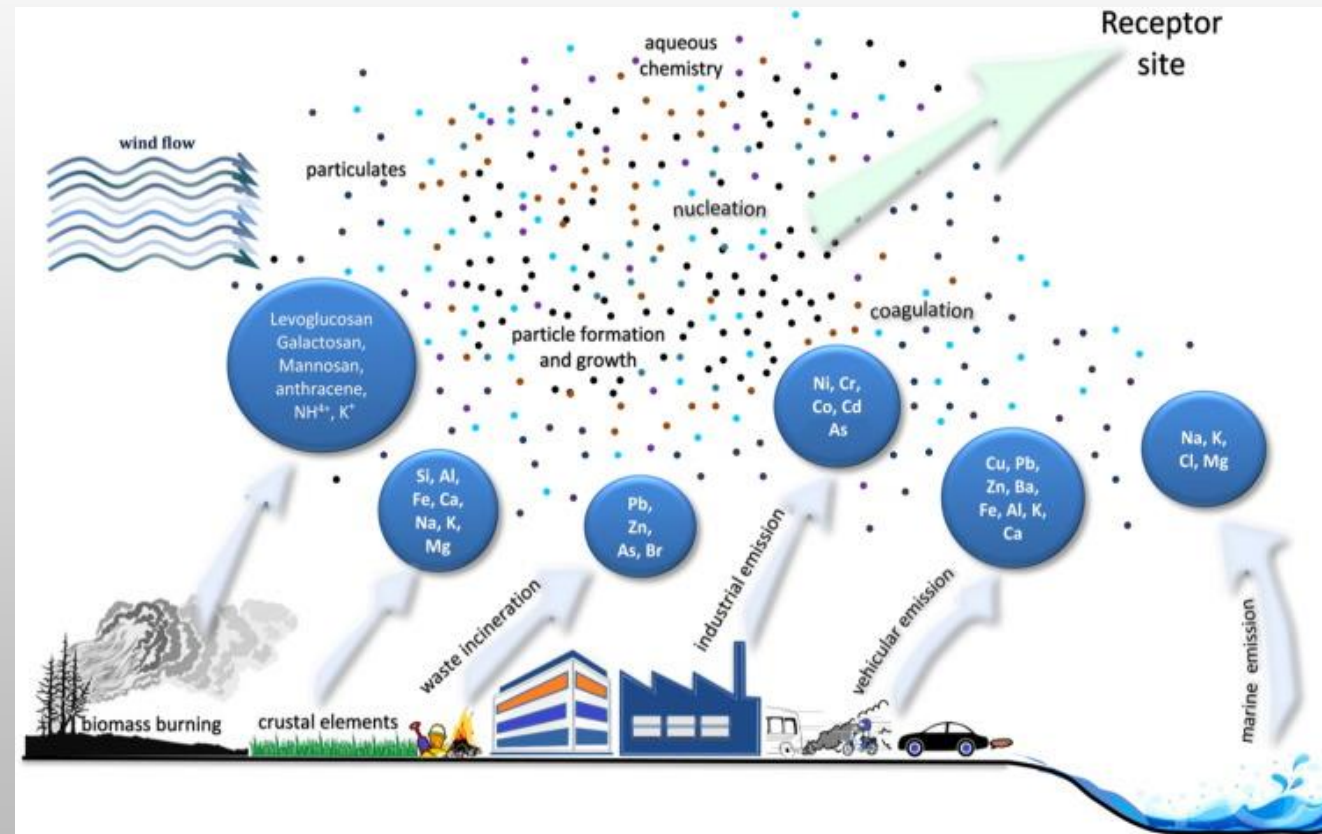


Fig. Source: [T. Banerjee et al. \(2015\) Source apportionment of airborne particulates through receptor modeling, Atmos. Res. 164:167](#)

7-4.3 受體模式

因受體模式方法繁多，表 7-3 為各方法之概述，在此僅介紹最常用之化學質量平衡法(CMB)，其亦為 USEPA 所建議(並提供技術支援)，可做為政策規劃之受體模式。

CMB 模式必須已知污染源組成與受體點污染物濃度組成之基本資料，且其組成為線性合成型態。假設粒子在傳送過程中質量守恆，可表為：

$$C_i = \sum_j m_j x_{ij} \alpha_{ij}$$

式中符號：

C : 樣品中 i 物種濃度

m : 表污染源強度，由不同污染源貢獻的顆粒單位質量 j

x : 表濃度剖面，顆粒中第 i 種元素 j 型污染源之濃度 ij

α : 調整參數 ij

式中污染源強度 m_j 項一般的解法有：

1. 追蹤元素法
2. 線性最小平方法
3. 有效變異最小平方法

7-4.3 受體模式

受體模式是基於受體點蒐集的污染物資料與污染源組成有共同性質為依據，探求污染源與受體點間之相關性；其為大量資料的統計結果，**再現性與正確性優於擴散模式**。但其缺點為**不能預測污染源對下游之衝擊**，且需大量的**受體點資料及準確的化學分析技術**。因任何模式皆有其不準度之影響來源，此模式尚需投入比擴散模式更多的人力、財力，且其僅能針對懸浮微粒進行污染管制工作，故使用的比例較擴散模式少。

7-4.3 受體模式

表 7-3 受體模式分析方法及其特性

分析方法	特點
化學質量平衡法(CMB)	為一質量分配模式，使殘差平方和為最小之污染源分配模式。
因子分析法(FA)	以較少的變數表示原有資料，而能保存原始資料大部份訊息。
加強因子法(EF)	定性判定受體點的非自然界污染源。
時間序列分析法(TSA)	不同污染源具有特殊排放週期，應用統計方法分離週期性污染源，篩選出特定污染源以利研究。
風向頻率回歸法	針對追蹤元素與風向間的關係尋找污染源方向。
線性規劃法	以線性規劃方法求解污染貢獻總和之最大化問題。
三階因子分析法	將位置、時間、物種之三維資料還原成表因子權重與系統變異訊息之矩陣，可判斷懸浮物之來源及指出污染物來源與時、空變化之交互關係。

附錄 I、空氣品質模式評估技術規範

- 一、依據開發行為環境影響評估作業準則第四十九條規定訂定之。
- 二、辦理環境影響評估作業時，空氣品質模式之使用，應依本規範之規定辦理，本規範未規定者，依其他相關法令規定辦理。空氣品質模式包括擴散模式、數值模式、實體模式及統計模式。
- 三、空氣品質模式之使用，應考量以下三項因素：
 - (一)、模擬區域其氣象及地形特性。
 - (二)、開發行為之特性。
 - (三)、模式之限制條件。
- 四、本規範現階段認可之模式及其適用條件如下表，得適時增修訂：

附錄 I、空氣品質模式評估技術規範

模式名稱	模式適用條件
BLP	煉鋁工廠及點源、線源、簡單地形、鄉村地區，小時至年平均值之濃度預測
CALINE3CALINE4	交通運輸（高速公路）、簡單地形、鄉村或都市地區一小時至24小時之污染物濃度預測
CDM 2.0	點、線源、平坦地形、都市地區，長時間(一個月以上)之濃度預測
RAM	點、面源、平坦地形、都市地區小時到年平均值之濃度預測
ISC2ISC3	點、面、線、體源、平坦或簡單地形、鄉村或都市地區小時至年平均值之濃度預測
MPTER	點源、簡單地形、鄉村或都市地區小時至年平均值之濃度預測
CRSTER	單一點源、簡單地形、鄉村或都市地區小時至年平均值之濃度預測
UAM	都市地區臭氧問題之模擬，只能模擬小時平均值
OCD	海岸地區污染源之模擬，為個案式的模擬
EDMS	評估軍用飛機基地及一般飛機場的污染物擴散模擬，可用來模擬固定油槽等點源及移動性污染源、簡單地形、傳輸距離小於50公里，小時至年平均值之濃度預測。
CTDMPLUS	複雜地形之高斯點源模擬、鄉村或都市地區小時至年平均值之濃度預測

行政院環保署：

<https://www.epa.gov.tw/ct.asp?xItem=6138&ctNode=31309&mp=epa>

附錄 I、空氣品質模式評估技術規範

前項所指平坦地形、簡單地形、複雜地形之認定參照以下原則：

- (一)平坦地形：平坦地形係指完全沒有顯著地形起伏者。
- (二)簡單地形：係指地形高度均小於煙囪高度者。
- (三)複雜地形：係指地形高度會高於煙囪高度者。

開發地區同時包括二種以上地形者，經審查認定應進行第二階段環境影響評估時，應至少提出二種之模式加以比對、分析，並依範疇界定會議討論確認辦理。

模式使用參考指南詳見附件一。

五、選用第四點以外之其他模式時，應先檢附以下各項資料送請主管機關認可：

- (一)模式程式。
- (二)國內或國外個案模式及模擬結果。
- (三)與第四點認可模式之比對結果。

六、空氣品質模式所需之資料包括氣象、污染源、地形、受體點、空氣品質⁴⁸、監測資料、模式控制參數等，其作業參考指南詳見附件二。

附錄 I、空氣品質模式評估技術規範

- 七、進行空氣品質模式模擬氣象、地形等資料時，其原始資料應有前處理，其處理方式參考如附件三。
- 八、空氣品質模式模擬後，其結果表達方式應分施工階段、營運階段之空氣品質模擬，並應進行模擬結果後處理，其處理方式參考附件四。
- 九、依空氣品質模式模擬之過程、結果應將以下各項資料納入環境影響說明書或環境影響評估報告書初稿中：

- (一)評估資料中必須包括待評估污染源（如煙囪）位置與各評估要項之相關位置圖。
- (二)地形、地物特徵之研判資料。
- (三)待評估污染源之資料。
- (四)空氣品質監測資料。
- (五)氣象資料。
- (六)空氣品質模擬分析。
- (七)與相關法規的比較。

前項資料之作業，應依附件五之查驗清單辦理，並檢附模擬程式檔、執行檔、參數檔等之電腦磁片，必要時應提出文字輸出檔。

十、本規範公告後施行。

空氣品質模式評估技術規範

行政院環境保護署 中華民國八十七年七月

附錄 I、各模式簡要說明

一、BLP空氣品質模式

BLP空氣品質模式為一高斯（Gaussian）煙流模式，模式基本限制為至多可輸入50個點源與10條平行線源及100個受體點。其適用性可分為

- (一)污染源種類：線源、點源
- (二)污染物種類：惰性污染物、適用於非反應性污染物
- (三)適合區域：鄉村區域
- (四)適合地形：簡單地形
- (五)適合模擬範圍：傳輸距離在100公尺以上
- (六)模擬時間：適合1小時至24小時之模擬

二、CALINE4空氣品質模式

CALINE4空氣品質模式為一高斯（Gaussian）煙流模式，模式基本限制為至多可輸入20個公路線源及20個受體點。其適用性可分為

- (一)污染源種類：公路線源
- (二)污染物種類：惰性污染物、不適用於非反應性污染物
- (三)適合區域：都市區域、鄉村區域
- (四)適合地形：簡單地形
- (五)適合模擬範圍：傳輸距離在50公里以內
- (六)模擬時間：適合1小時至24小時之模擬

附錄 I、各模式簡要說明

三、CDM2.0空氣品質模式

CDM2.0空氣品質模式為一高斯（Gaussian）煙流模式，模式基本限制為至多可輸入200個點源及2500個面源，而受體點數目則無限制，其適用性可分為

(一)污染源種類：點源、線源

(二)污染物種類：惰性污物或較不活潑之一階反應污染物（如二氧化硫）、不適用於反應性污染物

(三)適合區域：都市區域

(四)適合地形：平坦地形

(五)適合模擬範圍：傳輸距離在50公里以內(六)模擬時間：適合長期(一年)或一月以上模擬

附錄 I、各模式簡要說明

四、RAM 空氣品質模式

RAM 空氣品質模式為一高斯(Gaussian)煙流模式，模式基本限制為至多可輸入 250 個點源、100 個面源及 180 個受體點，其適用性可分為

(一)污染源種類:點源、線源

(二) 污染物種類:惰性污染物或較不活潑之一階反應污染物(如二氧化硫)、不適用於反應性污染物

(三)適合區域:都市區域

(四)適合地形:平坦地形

(五)適合模擬範圍:傳輸距離在 50 公里以內

(六)模擬時間:適合長期(一年)或短期(一小時)模擬

附錄 I、各模式簡要說明

五、ISC 空氣品質模式

ISC 空氣品質模式為一高斯(Gaussian)煙流模式，模式基本限制為至多可輸入 300 個污染源及 1200 個受體點。其適用性可分為

(一)污染源種類:點源、面源、體源。

(二) 污染物種類:惰性污染物或較不活潑之一階反應污染物(如二氧化硫)、不適用於反應性污染物，另外可以適用於連續性之毒性污染物之排放。

(三)適合區域:都市區域、鄉村區域。

(四)適合地形:平坦地形、簡單地形、複雜地形。

(五)適合模擬範圍:傳輸距離在 50 公里以內。

(六) 模擬時間:能夠處理污染物排放量隨時間之變化，包含一日

的時變化、一月的時變化、一季的時變化、不同季節日的時變化及隨著風速和穩定度等級改變排放量。

附錄 I、各模式簡要說明

六、MPTEP 空氣品質模式

MPTEP 空氣品質模式為一高斯(Gaussian)煙流模式，模式基本限制為至多可輸入 250 個點源及 180 個受體點，模式適用性可分為

(一)污染源種類:點源

(二) 污染物種類:惰性污染物或較不活潑之一階反應污染物(如二氧化硫)、不適用於反應性污染物

(三)適合區域:都市區域、鄉村區域

(四)適合地形:平坦地形、簡單地形

(五)適合模擬範圍:傳輸距離在 50 公里以內

(六)模擬時間:適合長期(一年)或短期(一小時)模擬

附錄 I、各模式簡要說明

七、CRSTER 空氣品質模式

CRSTER 空氣品質模式為一高斯(Gaussian)煙流模式，模式基本

限制為至多可輸入 19 個點源在同一個地點及 180 個受體點，模式適用性可分為：

(一)污染源種類:點源

(二) 污染物種類:惰性污染物或較不活潑之一階反應污染物(如二氧化硫)、不適用於反應性污染物

(三)適合區域:都市區域、鄉村區域

(四)適合地形:平坦地形、簡單地形

(五)適合模擬範圍:傳輸距離在 50 公里以內

(六)模擬時間:適合長期(一年)或短期(一小時)模擬

附錄 I、各模式簡要說明

八、UAM 空氣品質模式

UAM 空氣品質模式為一三維數值光化學網格模式，模式污染源及受體點輸入數目並無數量上限制，其適用性可分為

- (一)污染源種類:點源、面源
- (二)污染物種類:由氮氧化物及揮發性有機物反應生成之臭氧
- (三)適合區域:都市區域

九、OCD 空氣品質模式

OCD 空氣品質模式為一高斯(Gaussian)煙流模式，模式基本限制為至多可輸入 250 個點源、5 個面源、1 個線源及 180 個受體點，模式適用性可分為

- (一)污染源種類:點源、線源、面源
- (二)污染物種類:二氧化硫、懸浮微粒、氮氧化物、一氧化碳
- (三)適合區域:沿海及近海區域
- (四)適合地形:平坦至複雜地形

附錄 I、各模式簡要說明

十、EDMS 空氣品質模式

EDMS 空氣品質模式為一高斯(Gaussian)煙流模式，模式基本限制為至多可輸入 170 個點源及 10 個受體點，模式適用性可分為

(一)污染源種類:點源、線源、面源

(二)污染物種類:一氧化碳、氮氧化物、硫氧化物、碳氫化合物、懸浮微粒

(三)適合區域:民航機場或軍用機場之附近區域

(四)適合地形:簡單地形

(五)適合模擬範圍:傳輸距離在 50 公里以內

(六)模擬時間:適合長期(一年)或短期(一小時)模擬

附錄 I、各模式簡要說明

十一、CTDMPLUS 空氣品質模式

CTDMPLUS 空氣品質模式為一穩態(Steady State)點污染源模

式，模式基本限制為至多可輸入 40 個點污染源、25 座山且山坡斜率不超過十五度及 400 個受體點，模式適用性可分為

(一)污染源種類:點污染源模式

(二)污染物種類:惰性污染物

(三)適合區域:都市地區、鄉村地區

(四)適合地形:複雜地形

(五)適合模擬範圍:傳輸距離在 50 公里以內

(六)模擬時間:適合長期(一年)或短期(一小時)模擬

附錄 II、USEPA Preferred/Recommended Models

- See [2017 Appendix W Final Rule](#)
- Summary of the 2017 Guideline

(From Trinity, : [EPA UPDATES GUIDELINE ON AIR QUALITY MODELS](#))

The slide features a light gray background with a subtle gradient. In the top-left and bottom-right corners, there are several realistic-looking water droplets of various sizes, some overlapping. The text "Thanks for your participation" is centered in a black, serif font.

Thanks for your participation