

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

車輛排放空氣污染擴散之動態模擬與解析模式構建 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 96-2415-H-216-004-
執行期間：96年08月01日至97年07月31日
執行單位：中華大學運輸科技與物流管理學系

計畫主持人：羅仕京

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：徐嘉鴻
大專生-兼任助理人員：王曉惠
大專生-兼任助理人員：陳孟曦
大專生-兼任助理人員：蔡筱葳

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 97 年 10 月 13 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

車輛排放空氣污染擴散之動態模擬與解析模式構建

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 96 - 2415 - H - 216 - 004

執行期間：96年8月1日至97年7月31日

計畫主持人：羅仕京

共同主持人：

計畫參與人員：徐嘉鴻、王曉惠、蔡筱葳、陳孟曦

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：中華大學運輸科技與物流管理學系

中華民國九十七年十月三十一日

中文摘要

隨著車輛持有率與使用率之增加，都市空氣污染的問題亦隨之惡化，對人類的健康產生很大的影響。一般而言，均以線源模式(line source model)研究預測道路空氣污染物擴散的影響。而線源模式隨考慮變因(如：風向、溫度等)的不同，而有不同的形式，因模式為非線性偏微分方程，直至目前尚未有完整的解析公式，現有的公式均為基於假設所得之近似公式。本研究擬以格林函數(Green's function)推導三維空氣污染模式解析公式，考慮路寬與風向因素。研究中將比較其結果與目前其他解析公式，如 CALINE4 模式與 DISPER2D 之結果，探討各模式之適用範圍與限制，最後提出結論與未來研究建議。

Abstract

As increasing of car ownership and usage, air pollution of urban area is getting serious. Generally, dispersion of air pollutant is described by line source model in urban area. Dispersion modeling is a complex process and, as with all models, the results are only as useful as the model itself and how it is used. An exact analytical expression has not been found for the concentration associated with a line source in a wind that is directed at an arbitrary angle to the line source. In this study, a two-dimensional analytical solution of dispersion model is derived according to Green's function. Road width and wind effects are considered. Also, the solution is compared to CALINE4 model and DISPER2D model numerically so as to discuss the restriction of the three models. Finally, conclusion and suggestion for further studies are presented.

一、前言

近年來國內機動車輛逐年快速成長，至 1998 年底機動車輛總數為 1596 萬輛，約為 1988 年總數 (893 萬輛) 的 1.78 倍。機車持有率由 1988 年每千人 342 輛增至 1998 年的 483 輛，平均年成長率為 3.5%。小客車成長率較高，平均年成長率為 6%。1998 年平均每千人汽車持有率為 247 輛，約為 1988 年 (74 輛) 的 3.3 倍，平均年成長率為 12.8%。顯示由於所得增加，購買力增強，造成汽機車持有率逐年上升。相形之下，大眾運輸系統的客運人數卻逐年下降，使移動污染源不僅數量上呈現上升的趨勢，也因為交通擁塞造成車輛旅行時間增加，污染時間也隨之增加。若不及時因應，所產生的後果將反饋至人類自己身上。根據相關研究報告顯示，不論是氣態或粒狀的空氣污染物，當濃度高、量多或毒性強時，可能會影響呼吸器官的正常功能，甚至傷害其他器官而使身體感到不適；即使其濃度或量沒有高到足以產生立即危害，但長期曝露下，仍可能產生慢性病變，肺功能也會受到影響。由統計資料顯示，嚴重的空氣污染已經造成了呼吸系統與心臟疾病所引發的死亡人數增加。

車輛排放的空氣污染物除了會影響人體健康，並會造成動、植物的損害，如柴油車排放的黑色微粒，會弄髒衣物、建築，影響美觀，與其他污染物共同作用下會腐蝕材料，且由於微粒之成分組成，及其吸光、散射特性，會影響地區之可見度。又如臭氧對植物有害，會減少穀物的收穫量及損害樹木及森林，並會使橡膠破裂等，二氧化硫、二氧化氮會造成酸雨，影響樹木之成長等影響。因此，汽機車排放廢氣已成為民眾對於空氣污染改善最關心的議題之一。如何降低車輛的污染排放，減少民眾置身於交通工具的污染中，進而提高民眾居住的環境品質，已成了世界各國施政刻不容緩的問題[Calder, 1973; Wang, 1997; Plaut, 1998; Harrington, et al., 2000; Kathuria, 2002; Carslaw and Beevers, 2002; 林鄉鎮, 1990; 楊文龍, 2001; 郭權展, 2001]。

估計精確的空氣污染物擴散模式有助於研擬及評估交通管理策略對空氣品質改善的程度與進行方案的成本績效評估。目前雖有許多空污擴散模式[Monin, 1959; Willis and Deardorff, 1976; Nieuwstadt and van Ulden, 1978; Gryning, et al., 1983; Benson, 1984; Venkatram and Horst, 2006]，當中亦不乏解析公式之推導研究[Benson, 1984; Hinrichsen, 1986; Esplin, 1995; Garza, 2003; Venkatram and Horst, 2006]。然而，解析公式在推導前即需有固定的假設，難以放鬆或延伸推導出三維公式。因此，本研究擬以格林函數推導二維空污擴散模式之解析解，並與其他模式進行數值比較分析。

二、空氣污染物擴散模式之回顧

空氣污染物擴散模式之主要應用在於估算污染源對空氣品質的影響，較完備的估算需由同時由排放模式與擴散模式兩者結合，本研究著眼於擴散模式之探討。目前常用的模式有 CALINE4 [Benson, 1984]、DISPER2D [Garza, 2003]。CALINE4 是加州運輸部所研發出之汽車排放物擴散模式，考慮汽車流量、排放量、道路幾何與大氣因素。其理論基礎為高斯擴散方程式(Gaussian diffusion equation)[Benson, 1984]，假設在道路上移動的車輛形成均勻的線型污染源，方程式如下：

$$dC(y, z) = \frac{Qdz}{2\pi W \sigma_z \sigma_y} \left[\exp\left(\frac{-z^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \left\{ \exp\left(\frac{-(y-H)^2}{2\sigma_y^2}\right) + \exp\left(\frac{-(y+H)^2}{2\sigma_y^2}\right) \right\}, \quad (1)$$

其中 $dC(y, z)$ 是污染物濃度變化，單位是 $[\mu\text{g}/\text{m}^3]$ ； y 為垂直方向路面座標； z 是平行道路方向座標； Q 是均勻線源排放強度，單位是 $[\mu\text{g}/\text{m}/\text{sec}]$ ； W 為風速，單位是 $[\text{m}/\text{s}]$ ； H 是污染源排放的高度，單位是 $[\text{m}]$ ； σ_y, σ_z 分別為垂直與水平的擴散參數，單位是 $[\text{m}]$ 。其公式形式與 Gaussian Plume 模式相同。

Garza[Benson, 1984;]則推導出二維之擴散解析解，命名為 DISPER2D，所根據的模式是擴散方程

$$\frac{\partial C(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = K_r \left(\Delta_r C(\mathbf{r}, t) + \frac{1}{r} \nabla_r C(\mathbf{r}, t) \right), \quad (2)$$

其中 r 是污染源像四周擴散的半徑 $r = \sqrt{(x^2 + y^2)}$ ，單位是 $[\text{m}]$ ； \mathbf{r} 為柱狀座標系； K_r 為擴散參數，單位是 $[\text{m}^2/\text{s}]$ 。公式(2)為非線性偏微分方程，需要以數值方法求取近似解，Garza 所推得的解析解為穩態解，也就是 $\partial C/\partial t = 0$ 時的解。DISPER2D 為

$$C(x, y) = \frac{Q}{\sqrt{4\pi W K_y x}} \left[\exp\left(\frac{-y^2 W}{4K_y x}\right) \right], \quad (3)$$

K_y 為垂直方向的擴散參數，單位是 $[\text{m}^2/\text{s}]$ 。圖 1 與圖 2 分別為二維與三維座標系與道路關係之示意圖，當中可見二維模式必須假設排放源為線狀均勻，風向僅能考慮與道路垂直之分量。三維模式雖然可將所有影響因素納入考慮，但會使模式過於複雜難以導出解析解。本研究藉由格林函數推導出假設較少之二維模式，期望作為未來推導三維解析公式之基礎。

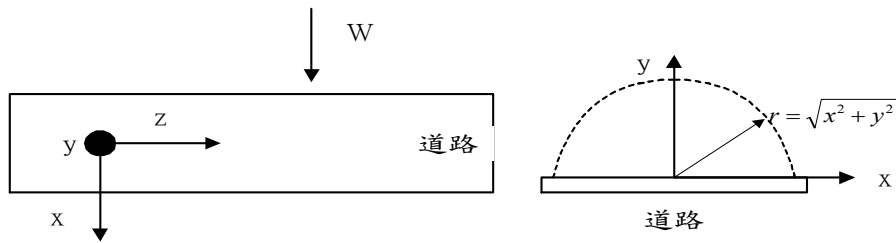


圖 1 二維座標系、污染源、風向與道路關係之示意圖

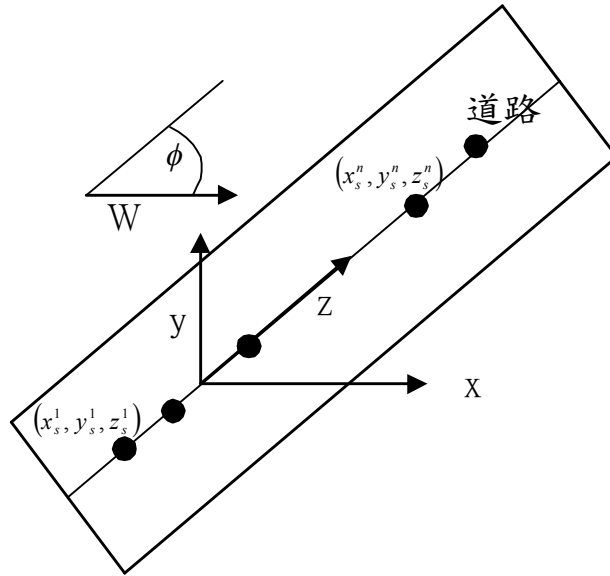


圖 2 三維座標系、污染源、風向與道路關係之示意圖

三、二維空污模式格林函數解析解

格林函數是 1830 年英國數學家格林(George Green)所提出，為一種求解非其次微分方程的方法。一方程式若具有非顯解(nontrivial solution)，其解通常可以用多個不同的格林函數表示[Garabedian, 1964; Greenberg, 1971; Stakgold, 1979; Kevorkian, 2000; Polyanin, 2002; Polyanin and Zaitsev, 2003]。但若考慮邊界條件或其他額外的限制條件，則可導出唯一的格林函數解。本節將簡要地介紹其基本觀念。假設 L 為一任意之線性微分算子，作用在函數 f 上使 $Lf = h$ 。若 G 為 L 的格林函數，則 $Lf = h$ 的解寫作

$$f(\mathbf{x}) = \int h(\mathbf{s})G(\mathbf{x}, \mathbf{s})d\mathbf{s} \quad (4)$$

若 L 有具有完備性之特徵函數(eigenfunction) $\phi_n(\mathbf{x})$ ，也就是 $L\phi_n = \lambda_n\phi_n$ ，其中 λ_n 為常數，則格林函數 G 可以用特徵函數 $\phi_n(\mathbf{x})$ 與特徵值 λ_n 求得。根據完備性， $\phi_n(\mathbf{x})$ 滿足

$$\delta(\mathbf{x} - \mathbf{s}) = \sum_{n=0}^{\infty} \phi_n(\mathbf{x})\phi_n'(\mathbf{s}) \quad (5)$$

則

$$G(\mathbf{x}, \mathbf{s}) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\phi_n(\mathbf{x})\phi_n'(\mathbf{s})}{\lambda_n} \quad (6)$$

一般而言，三維空污擴散模式如下：

$$W(y) \frac{\partial C(x, y, z)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y(y) \frac{\partial C(x, y, z)}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z(x, y) \frac{\partial C(x, y, z)}{\partial z} \right) + \sum_{i=1}^n Q^i \delta(x - x_s^i) \delta(y - y_s^i) \delta(z - z_s^i) \quad (7)$$

其中 (x_s^i, y_s^i, z_s^i) 為污染源 i 的位置，公式(7)之座標系與圖 2 一致。 Q^i 為污染源 i 的排放強度。由格林函數之相關理論[Garabedian, 1964; Greenberg, 1971; Stakgold, 1979]可知，污染物濃度解 $C(x, y, z)$ 可表示為

$$C(x, y, z) = \int_0^x \int_0^H \int_{-\infty}^{\infty} G_y(x_0, y_0; x, y) G_z(x_0, z_0; x, z) \times Q_p \delta(x_0 - x_s) \delta(y_0 - y_s) \delta(z_0 - z_s) dz_0 dy_0 dx_0, \quad (8)$$

$$= Q_p G_y(x, y; x_s, y_s) G_z(x, z; x_s, z_s)$$

其中 $G_y(x, y; x_s, y_s)$ 與 $G_z(x, z; x_s, z_s)$ 分別為垂直與水平方向之格林函數。若簡化為二維問題，則 $G_z(x, z; x_s, z_s) = 1$ ，公式(8)簡化為

$$C(x, y) = \int_0^x \int_0^H G_y(x_0, y_0; x, y) \times Q_p \delta(x_0 - x_s) \delta(y_0 - y_s) dy_0 dx_0, \quad (9)$$

$$= Q_p G_y(x, y; x_s, y_s)$$

若求得 $G_y(x, y; x_s, y_s)$ 則可得二維空污擴散模式之解析解。而且若未來求得 $G_z(x, z; x_s, z_s)$ 則可與 $G_y(x, y; x_s, y_s)$ 組合成三維空污擴散模式之解析解。為便於推導，假設模式中之風速與擴散係數滿足以下之幂次關係[Deardoff and Willis, 1975; Briggs, 1985]

$$W(y) = W(y_r) \left(\frac{y}{y_r} \right)^\alpha = ay^\alpha, \quad a = \frac{W(y_r)}{y_r^\alpha}, \quad (10)$$

$$K_y(y) = K_y(y_r) \left(\frac{y}{y_r} \right)^\beta = bz^\beta, \quad b = \frac{K_y(y_r)}{y_r^\beta}, \quad (11)$$

其中 a 、 b 、 α 、 β 為常數。所考慮的邊界條件為

$$C(x, y) = 0, \quad y = 0, \quad (12)$$

$$C(x, y) = 0, \quad y = H, \quad (13)$$

其中 H 為逆轉層(inversion layer)的高度，逆轉層位於對流層頂部。公式(12)與(13)之邊界條件所描述的是當污染物擴散至大氣逆轉層的邊界與地面時會立刻消失，換句話說，就是當污染物擴散至逆轉層邊界與地面時會被立刻吸收。這樣的邊界條件可能會造成擴散曲線的變化較陡峭。將公式(12)、(13)與 $G_z(x, z; x_s, z_s) = 1$ 代入公式(7)可得

$$\frac{\partial}{\partial y_0} \left(by_0^\beta \frac{\partial G_y(x_0, y_0; x, y)}{\partial y_0} \right) + ay_0^\alpha \frac{\partial G_y(x_0, y_0; x, y)}{\partial x_0} = -\delta(x_0 - x) \delta(y_0 - y), \quad x_0 < x, \quad (14)$$

$$= G_y(x_0, y_0; x, y) = 0, \quad x_0 > x.$$

公式(14)可重新寫作

$$\frac{\partial}{\partial y_0} \left(b y_0^\beta \frac{\partial G_y(x_0, y_0; x, y)}{\partial y_0} \right) + a y_0^\alpha \frac{\partial G_y(x_0, y_0; x, y)}{\partial x_0} = 0, \quad (15)$$

$$\lim_{x_0 \rightarrow x} a y_0^\beta G_y(x_0, y_0; x, y) = \delta(y_0 - y). \quad (16)$$

公式(15)可用不同的方法求解，如：拉普拉斯轉換(Laplace transform)或分離變數法(separation of variables)。本研究以分離變數法求解，令 $G_y(x_0, y_0) = M(y_0)N(x_0)$ ，並代入公式(15)，可得公式(17)與(18)之常微分方程

$$\frac{d^2 M(y_0)}{\partial y_0^2} + \frac{\beta}{y_0} \frac{dM(y_0)}{\partial y_0} + \frac{a}{b} z_0^{\alpha-\beta} \kappa^2 M(y_0) = 0, \quad (17)$$

$$\frac{dN(x_0)}{N(x_0)} = \kappa^2 dx_0, \quad (18)$$

其中， κ 為任意常數。由公式(17)， $M(y_0) = y_0^{(1-\beta)/2} m$ 。令 $t = y_0^{(\alpha-\beta+2)/2}$ ，代入公式(17)取代 $M(y_0)$ ，可得公式(19)

$$t^2 m'' + t m' + \frac{(a/b)\kappa^2 t^2 - [(1-\beta)/2]^2}{[(\alpha-\beta+2)/2]^2} m = 0, \quad (19)$$

其解為貝塞爾方程(Bessel function)，

$$m(t) = C_1 J_\mu(\omega t) + C_2 J_{-\mu}(\omega t), \quad (20)$$

其中 $J_\mu(\omega t)$ 為貝塞爾方程，

$$\mu = \frac{(1-\beta)/2}{(\alpha-\beta+2)/2}, \quad \omega = \frac{\sqrt{(a/b)}\kappa}{(\alpha-\beta+2)/2}. \quad (21)$$

將公式(20)與(21)代入 $M(y_0) = y_0^{(1-\beta)/2} m$ ，可得

$$M(y_0) = y_0^{(1-\beta)/2} m = y_0^{(1-\beta)/2} [C_1 J_\mu(\omega y_0^{(\alpha-\beta+2)/2}) + C_2 J_{-\mu}(\omega y_0^{(\alpha-\beta+2)/2})]. \quad (22)$$

公式(18)為一簡單之一階常微分方程，可求解得

$$N(x_0) = C_3 \exp(-\kappa^2(x-x_0)) = C_3 \exp\left[-\frac{b(\alpha-\beta+2)^2 \omega^2 (x-x_0)}{4a}\right], \quad (23)$$

將公式(22)與(23)代入 $G_y(x_0, y_0) = M(y_0)N(x_0)$ ，可得

$$G(x_0, y_0) = y_0^{(1-\beta)/2} \left[C_4 J_\mu(\omega y_0^{(\alpha-\beta+2)/2}) + C_5 J_{-\mu}(\omega y_0^{(\alpha-\beta+2)/2}) \right] \times \exp\left[-\frac{b(\alpha-\beta+2)^2 \omega^2 (x-x_0)}{4a}\right], \quad (24)$$

其中 C_4 與 C_5 為常數。由公式(12)與(13)之邊界條件， $C_5 = 0$ ， $J_\mu(\lambda_j) = 0$ 。在滿足

$$\int_0^c \omega J_\nu(\sigma_i \tau) J_\nu(\sigma_j \tau) d\tau = \begin{cases} 0, & i \neq j \\ \frac{c^2}{2} J_{\nu+1}^2(\sigma_i c) = \frac{c^2}{2} J_\nu'^2(\sigma_i c) = \frac{c^2}{2} J_{\nu-1}^2(\sigma_i c), & i = j \end{cases} \quad (25)$$

時，

$$G_y(x_0, y_0) = y_0^{(1-\beta)/2} \sum_{j=1}^{\infty} W_j J_{-\mu}(\omega_j y_0^{(\alpha-\beta+2)/2}) \times \exp\left[-\frac{b(\alpha-\beta+2)^2 \omega_j^2 (x-x_0)}{4a}\right], \quad (26)$$

由公式(16)與(26)，

$$W_j = \frac{\alpha - \beta + 2}{aH^{\alpha-\beta+2}} y^{(1-\beta)/2} \frac{J_{-\mu}(\omega_j y^{(\alpha-\beta+2)/2})}{J_{-\mu}^2(\omega_j H^{(\alpha-\beta+2)/2})}, \quad (27)$$

所以，

$$G_y(x, y; x_s, y_s) = \frac{\alpha - \beta + 2}{aH^{\alpha-\beta+2}} (yy_s)^{(1-\beta)/2} \times \sum_{j=1}^{\infty} \frac{J_{\mu} \left[\lambda_j \left(\frac{z}{H} \right)^{(\alpha-\beta+2)/2} \right] J_{\mu} \left[\lambda_j \left(\frac{z_s}{H} \right)^{(\alpha-\beta+2)/2} \right]}{J_{\mu+1}^2(\lambda_j)} \times \exp \left[-\frac{b(\alpha - \beta + 2)^2 \lambda_j^2 (x - x_s)}{4aH^{\alpha-\beta+2}} \right]. \quad (28)$$

假設逆轉層的高度遠大於所探討的區域，也就是 $H \rightarrow \infty$ ，則

$$G_y(x, y; x_s, y_s) = \frac{(yy_s)^{(1-\beta)/2}}{b(\alpha - \beta + 2)^2 (x - x_s)} \times I_{\mu} \left[\frac{2a(yy_s)^{(\alpha-\beta+2)/2}}{b(\alpha - \beta + 2)^2 (x - x_s)} \right] \times \exp \left[-\frac{a(y^{(\alpha-\beta+2)} + y_s^{(\alpha-\beta+2)})}{b(\alpha - \beta + 2)^2 (x - x_s)} \right]. \quad (29)$$

將公式(29)代入公式(9)即為二維空污模式之解析公式。

四、數值分析與比較

本節將由數值結果分析探討所得之解析解，並與 CALINE4 與 DISPER2D 比較。根據文獻建議擴散與風速相關常數 a 、 b 、 α 、 β 分別為 1.5、0.025、0.29 與 0.45[]。由 CALINE4 與 DISPER2D 兩模式之調查資料[Benson, 1984; Garza, 2003;]，將 a 、 b 修正為 2.5 與 0.01，排放率為 2.51[g/vehicle/mi]，溫度為攝氏 17.3 度、風速為 2.1[m/s]，模擬的污染物為 NO₂，邊界條件為公式(12)與(13)。圖 3 為 CALINE4、DISPER2D 與本研究提出之公式(2DGreen)之比較曲線圖。由解析解所得的公式為單位為 [$\mu\text{g}/\text{m}$]，需轉換為 [ppm]。由圖可知，三曲線基本上都呈具偏態的常態分布型態，差異在於最高的值、位置與標準差。原因之一在於所引用的擴散係數模式不同，需要經過轉換修正才能有共同比較基準。而 CALINE4 低估的原因可能是沒有考慮接收器的高度，以至於估算出來的濃度差異較大。至於該選擇何種擴散係數模式與模式間的轉換，留待後續研究進行。

圖 4 為接收器在不同位置與高度時的模擬結果，排放率為 2.51[g/vehicle/mi]，溫度為攝氏 17.3 度、風速為 2.1[m/s]，模擬的污染物為 NO₂。可見當有風存在時，濃度最高之處不是出現在距離污染源最近與最低的位置，反而是出現在一段距離之外。如圖 4 濃度最高不是出現在 $x = 1$ [m]， $y = 0.3$ [m]，而是在 $x = 5$ [m]， $y = 0.3$ [m]。距離污染源越遠，污染物濃度分布越低且越平緩。若以市區道路觀之，若假設污染源(車輛)在車道中心，在同樣的大氣環境之下(一般春季或冬季初期)，車道旁之人行道($x = 5$ [m])恰好正是污染濃度最高之處。若考慮一般成人之呼吸高度 $y = 1.2 \sim 1.5$ [m]，濃度則是較低的部分；但若有孩童或嬰兒坐在嬰兒車上，可能正好在濃度較高的部分 $y = 0.6 \sim 1$ [m]。若在不同的大氣環境之下則會略有差異。

圖 5 與圖 6 分別探討溫度與風速對污染物濃度擴散的影響。在本研究中溫度之影響僅以線性關係調整，也就是

$$C_T(x, y) = C(x, y) \frac{(273 + T)}{273}, \quad (30)$$

其中 T 是攝氏溫度。因此當溫度越高，濃度擴散越快，達到穩態時，在同一個位置處濃度會較高。在污染排放中心反而會較低。圖 5 為排放率為 2.51[g/vehicle/mi]，風速為

2.1[m/s], $x = 5$ 與 10 [m], $y = 0.3$ [m], 模擬污染物為 NO_2 的在 $T = 5、10、17.3、20、25、30^\circ\text{C}$ 的模擬結果。

圖 6 則比較了風速對污染物擴散的影響, 排放率為 $2.51[\text{g}/\text{vehicle}/\text{mi}]$, 風速 $W = 0、2.5、5、10$ [m/s] 為 $2.1[\text{m}/\text{s}]$, $x = 5、10、20、50、100$ 與 200 [m], $y = 0.3\text{m}$, 模擬污染物為 NO_2 在溫度 17.3°C 的模擬結果。風速越小, 越靠近污染源的濃度越高。由圖與模擬結果可知, 隨著風速變化 $x = 5、10、20$ [m]之處, 涵蓋了高濃度的區域。換句話說, 路旁的人行道正是車輛排放污染最嚴重的地方, 尤其是多車道道路的影響更甚。

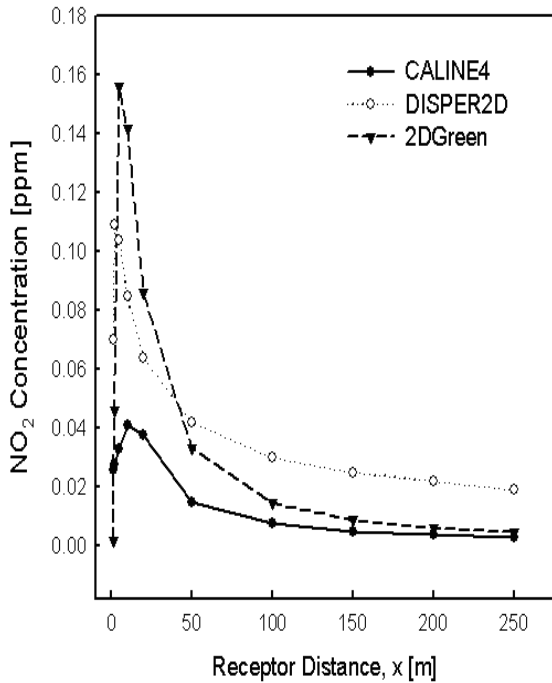


圖 3 CALINE4、DISPER2D 與 2DGreen 解析公式之比較圖

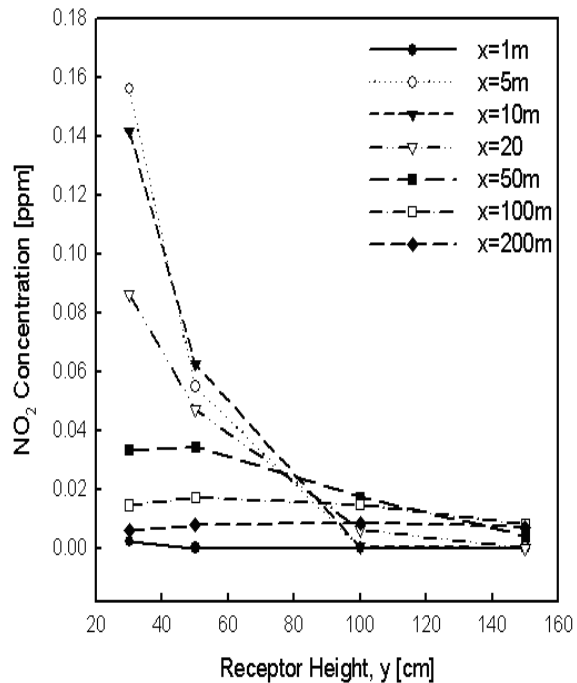


圖 4 二維解析公式(2DGreen)模擬不同偵測器高度與距離之污染物濃度

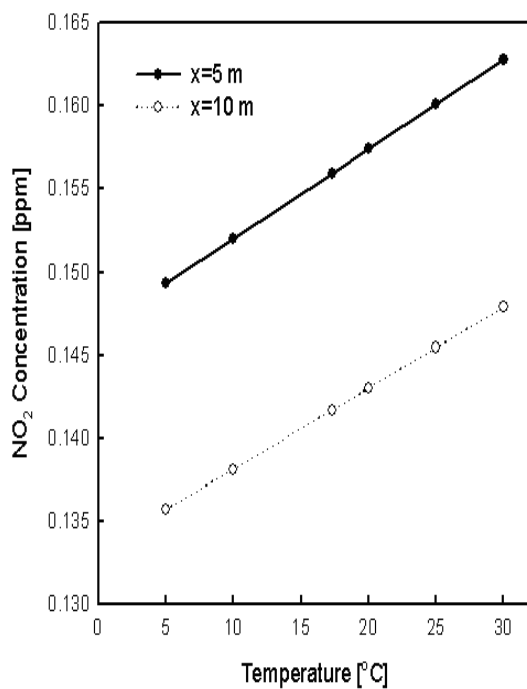


圖 5 溫度對於污染物擴散之影響

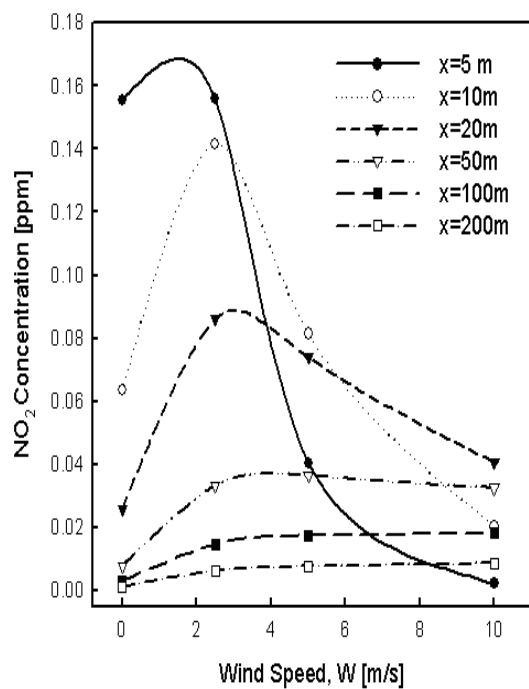


圖 6 風速對於污染物擴散之影響

五、結論與建議

本研究成功地以格林函數推導出二維的空氣污染物擴散模式，研究中發現實際上擴散係數的較估與模式對解析解的計算結果影響很大，需於後續研究進行深入探討。二維模式假設道路上的污染排放源為連續線性的排放，且僅能考慮垂直於道路的風向分量，與實際狀況仍有差距。要描述道路上的狀況與不同車隊的分布，如：停等紅燈、自由車流，以及不同風向的影響，需進行三維模式的構建與推導。本研究所提出的解析解，具有可擴充的性質，未來若成功地推導出平行於道路方向擴散的格林函數解析公式，即可組成完整的三維模式，此為本研究之最大優點。其餘的解析公式都是先假設後推導，所得的解析公式不易放鬆假設進而延伸應用。然而，本研究之公式複雜則為其缺點，不似 CALINE4 與 DISPER2D 簡單為類常態分布之公式型態，較容易分析。如何將公式簡化又不失原來所能描述的現象留待後續研究。

六、計畫成果自評

本研究原申請時以三年為期，期望完成三維之空氣污染擴散模式構建、數值模擬與解析解之推導，並結合車流模式進行不同街道幾何條件下車輛空氣排放污染於街谷中之模擬。經核定為一年期計畫後，研究範圍侷限於模式建立與二維之解析解推導，也成功順利完成。而預計中擬發展之車流模式，因考量個別車輛之排放，所以以微觀模式為主，於研究中以細胞自動機為模擬方法，成功模擬不同條件下之車流，此部分已有兩篇研討會論文發表。但車流部分與原訂計畫內容較無密切關聯，因此未將研究內容與成果加入成果報告中，以成果附錄呈現。未來將繼續嘗試整合微觀車流模式與空氣污染排放模式，並以實際資料作為比較驗證。發表之研討會論文條列如下(全文如附件)：

1. Shih-Ching Lo and Chia-Hung Hsu, "Effects of Multi-class Driving Behavior on Fundamental Diagram in One-Dimensional Cellular Automata Traffic Simulation," 2008 IEEE 11th International Conference on Computational Science and Engineering, Sao Paolo, 16-18 July 2008. **NSC-96-2415-H-216-004**
2. Shih-Ching Lo and Chia-Hung Hsu, "Cellular Automata Simulation for Traffic Flow with Advanced Control Vehicles," 2008 IEEE 11th International Conference on Computational Science and Engineering, Sao Paolo, 16-18 July 2008. **NSC-96-2415-H-216-004**

七、參考文獻

- Benson, P. E. (1984), CALINE4, A Dispersion Model for Predicting Air Pollutant Concentrations, Report No. FHWA/CA/TL-84/15. Sacramento, California.
- Briggs, G. A. (1985), "Analytical Parameterizations of Diffusion: a Convective Boundary Layer," Journal of Climate Applied Meteorology. Vol. 24, pp.1167-1186.
- Calder, L. K. (1973), "On Estimating Air Pollution Concentrations from a Highway in an Oblique Wind," Atmospheric Environment, Vol. 7, pp.863-868.
- Carslaw, D. C. and S. D. Beavers (2002), "The Efficacy of Low Emission Zones in Central London as a Means of Reducing Nitrogen Dioxide Concentrations," Transportation Research Part D, Vol. 7, pp.49-64.
- Deardoff, J. W. and G. E. Willis (1975), "A Parameterization of Diffusion into the Mixed Layer," Journal of Applied Meteorology, Vol. 14, pp.1451-1458.
- Esplin, J. G. (1995), "Approximate Explicit Solution to the General Line Source Problem," Atmospheric Environment, Vol. 29, pp.1459-1463.
- Garabedian, P. R. (1964), Partial Differential Equations, New York: Wiley.

- Garza, S. G. (2003), "Integration of Pavement Nondestructive Evaluation, Finite Element Simulation, and Air Quality Modeling for Enhanced Transportation Corridor Assessment and Design. Ph. D. Dissertation, Department of Civil Engineering, The University of Mississippi.
- Greenberg, M. D. (1971), *Application of Green's Functions in Science and Engineering*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Gryning, S. E., A. P. van Ulden and S. Larsen (1983), "Dispersion from a Continuous Ground-Level Source Investigated by a K Model," *The Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. 109, pp.355-364.
- Harrington, W., V. McConnell and A. Ando (2000), "Are Vehicle Emission Inspection Programs Living up to Expectations," *Transportation Research Part D*, Vol. 5, pp.153-172.
- Hinrichsen, K. (1986), "Comparison of Four Analytical Dispersion Models for Near-Surface Releases Above a Grass Surface," *Atmospheric Environment*, Vol. 20, pp.29-40.
- Kathuria, V. (2002), "Vehicular Pollution Control in Delhi," *Transportation Research Part D*, Vol. 7, pp.373-387.
- Kevorkian, J. (2000), *Partial Differential Equations: Analytical Solution Techniques*, Springer-Verlag, New York, Inc.
- Monin, A. S. (1959), "On the Boundary Condition on the Earth Surface for Diffusing Pollution," in *Advances in Geophysics*, Vol. 6, pp.435-436, Academic Press, New York.
- Nieuwstadt, F. T. M. and A. P. van Ulden (1978), "A Numerical Study on the Vertical Dispersion of Passive Contaminants from a Continuous Source in the Atmospheric Surface Layer," *Atmospheric Environment*, Vol. 12, pp. 2119-2124.
- Plaut, P. O. (1998), "The Comparison and Ranking of Policies for Urban Abating Mobile-Source Emissions," *Transportation Research Part D*, Vol. 3, No. 4, pp.193-205.
- Polyanin, A. D. and V. F. Zaitsev (2003), *Handbook of Exact Solutions for Ordinary Differential Equations* (2nd edition), Chapman & Hall/CRC Press, Boca Raton.
- Polyanin, A. D. (2002), *Handbook of Linear Partial Differential Equations for Engineers and Scientists*, Chapman & Hall/CRC Press, Boca Raton.
- Stakgold, I. (1979), "Green's Functions and Boundary Value Problem," Wiley, New York.
- Venkatram, A., and T. W. Horst (2006), "Approximating Dispersion from a Finite Line Source," *Atmospheric Environment*, Vol. 40, pp.2401-2408.
- Wang, M. Q. (1997), "Mobile Source Emission Control Cost-Effectiveness Issues, Uncertainties, and Results," *Transportation Research Part D*, Vol. 2, No. 1, pp.43-56.
- Willis, G. E. and J. W. Deardorff (1976), "A Laboratory Model of Diffusion into the Convective Planetary Boundary Layer," *The Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. 102, pp.427-445.
- 林鄉鎮 (1990), "以降低能源消耗及污染排放為著眼點之交通控制策略研究 - 以台北市區路網為例," 成功大學交通管理科學研究所碩士論文。
- 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。
- 郭權展 (2001), "台北市交通管理策略對移動性空氣污染排放的影響研究," 淡江大學水資源及環境工程學系碩士論文。

出席國際學術會議心得報告

計畫編號	NSC 96-2415-H-216-004
計畫名稱	車輛排放空氣污染擴散之動態模擬與解析模式構建
出國人員姓名 服務機關及職稱	羅仕京 服務機關：中華大學運輸科技與物流管理學系。 職稱：助理教授
會議時間地點	時間：97 年 7 月 16-18 日。 地點：聖保羅，巴西
會議名稱	2008 IEEE 11th International Conference on Computational Science and Engineering
發表論文題目	1. Cellular Automata Simulation for Traffic Flow with Advanced Control Vehicles 2. Effects of Multi-class Driving Behavior on Fundamental Diagram in One-Dimensional Cellular Automata Traffic Simulation

一、參加會議經過

本研討會為 IEEE 所支持之計算於工程及科學應用之研討會，選擇在南美最好之聖保羅大學舉辦。研討會旨在促進數學計算方法在科學與工程上之應用。此次參加共發表二篇論文，題目分別為 7/16 日之“Cellular Automata Simulation for Traffic Flow with Advanced Control Vehicles”與 7/17 日之“Effects of Multi-class Driving Behavior on Fundamental Diagram in One-Dimensional Cellular Automata Traffic Simulation”。同時，亦受邀擔任 7/16 日下午 Workshop on Scientific Computing in Electronics Engineering 的主持人。此二篇論文主要是車流方面之研究成果，將與計畫中發展之空氣污染排放模式結合，做為動態三維空氣污染模式發展之基礎。此次，參與發表論文的約有二百多篇，內容含括物理、化學、電子、生物等領域之計算應用研究。對於從事計算方面之研究，不論是理論上之推導或實務上之應用均獲得豐富之交流機會。以下為重要行程摘要：

97 年 07 月 16 日

於 Workshop on Scientific Computing in Electronics Engineering 發表“Cellular Automata Simulation for Traffic Flow with Advanced Control Vehicles”，此篇論文主要為本年度之延伸成果。探討先進控制車輛對於道路服務水準的影響。因行車速率會影響空氣污染排放，就一般小汽車而言，行駛速率在 90~100 公里/小時之污染排放量最低。因此若能提高平均行車速率，可有效降低空氣污染排放量。本文即以探討先進車輛技術對車流之影響，進而與計畫發展之模式結合，探討先進車輛技術對空氣污染減量之貢獻。會中與會者對於先進車輛技術之應用較有興趣，於此部分有較多的分享與交流。

97 年 07 月 17 日

於 Workshop on Engineering Computing and Application 發表本研究之延伸成果 – 多路行為對車流之影響，篇名為“Effects of Multi-class Driving Behavior on Fundamental

Diagram in One-Dimensional Cellular Automata Traffic Simulation”。本論文為利用細胞自動機制模擬多用路車流行為，探討多種用路行為車流，旨在模擬較符合實際之道路車流狀況，以模擬符合實際之空氣污染分佈。本篇論文發表後，討論不似前一篇發表文章熱烈。猜想可能參與者多半不具運輸相關領域背景有關，所以對採用的方法與探討的問題無特別的評論。

97年07月18日

參與其他報告場次。

二、與會心得

根據大會主席所言，本研討會原為一 workshop。但因參與者日益增多，所以從原本之研討會獨立出來成為獨立研討會，可見計算與電腦技術於科學與工程之應用日益廣泛，且參與研究的學者亦與日俱增。雖然運輸領域並非本研討會的主要領域，但在參與的會議場次中發覺應該廣泛涉獵數學、電腦與計算之應用，不僅可作為各類型研究之基礎，亦可作為未來研究方向及問題解決的方法。尤其是電腦的計算能力一日千里，許多數學理論與求解方法，大多已可藉助電腦的計算能力快速求解，使研發或策略研擬時程大幅縮短，且可節省大量的時間與金錢，實為一值得推廣並發展之研究或應用方向。