

IV-127 道路周辺における大気汚染濃度予測モデル

京都大学工学部 正会員 池田 有光
京都大学工学部 正会員 平岡 正勝
日本 碁子 堀北 弘之

1. はじめに

道路周辺 (およそ道路からの水平垂直距離が 100~150 m 以内) の自動車排ガスによる大気汚染の立体濃度分布は、道路近傍にある建造物の状態 (建物の高さ、密集度、形状) によって大きく影響を受ける。このようところでの汚染濃度の推定計算にも Gaussian Model などを用いることがよく行われてきた。そのとき流れ場の特徴を、拡散パラメータなどに集約し、それらにのみ地形の状態をしゃよせするのが通常である。また、従来よく使われる全般的な解析解的な煙の拡散モデルは、それを誘導する過程でとられる仮定と、現象的にみた実際の拡散場の条件とを比較すると相当異なることが多く、とくに道路近傍・周辺に適用するときに向題となってきた。本研究では、新しく提案する市街地道路周辺拡散モデル (UNR-Model) と Gaussian Model と、無限連続線汚染源に直角方向に吹くときに適用できる Walters の Model との濃度推定精度を野外観測資料を用いて比較検討を加えた。

2. 拡散モデルの提案

建物が密集しているところや、建物がなくても塀などで細かく区切られたところでは、その建造物の背の高さ以下での風向は、上空のそれと同じであることはむしろまれてある。汚染物質が道路上から風下に流れる現象を考えると、建造物より上層と、建造物に挟まれたところでの流れ・拡散とは相当異なるものと考えられるのが合理的である。とくに建物が密集している局端なケースでは、地表面が建物の高さのところへ移動したと考え、その下層での汚染濃度は、移動した地表面での濃度とすることができ。このとき、次の仮定が与えられる。(a) 定常状態である。(b) 建物高さより下層では水平方向への移流・拡散を無視する。(c) 下層の濃度は鉛直方向には均一である。(d) 建物などへの吸着・吸収はない。ここで建物高さ (h_b で示す) は次式で定義される。

$$h_b = \frac{\sum (\text{各建物高さ} \times \text{各建物占有面積})}{\sum (\text{建物占有面積})} \quad (1)$$

道路を点汚染源の列とみなし、 h_b をかさあげされた地表面の高さとし、次のような無限連続点汚染源の式を適用する。

$$C_1(x, y, z, h_b) = \begin{cases} A_1 \exp\{-b|y|^r\} \cdot \exp\{-d|z-h_b|^s\} & \text{at } z \geq h_b \\ A_1 \exp\{-b|y|^r\} & \text{at } 0 \leq z < h_b \end{cases} \quad (2)$$

ここで A_1 と b , および d は次式(3, 4)と式(2)と組み合わせることによって得られる。

$$\sigma_z^2 = \frac{\int_{h_b}^{\infty} (z-h_b)^2 C_1(x, y, z, h_b) dz}{\int_{h_b}^{\infty} C_1(x, y, z, h_b) dz} \quad \text{and} \quad \sigma_y^2 = \frac{\int_{h_b}^{\infty} y^2 C_1(x, y, z, h_b) dy}{\int_{h_b}^{\infty} C_1(x, y, z, h_b) dy} \quad (3)$$

$$Q = \int_{h_b}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} u C_1(x, y, z, h_b) dy dz \quad (4)$$

風速の鉛直プロファイルにべき法則を利用すると、式(2)式(3)および式(4)より次式を得る。

$$C_1(x, y, z, h_b) = \begin{cases} \frac{Q}{B_2 \sigma_y^2 \sigma_z^2} \exp\left\{-\left(\frac{\Gamma(3/4)}{\Gamma(1/4)}\right)^{\frac{r}{2}} \left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^r\right\} \exp\left\{-\left(\frac{\Gamma(3/2)}{\Gamma(1/2)}\right)^{\frac{s}{2}} \left(\frac{z-h_b}{\sigma_z}\right)^s\right\} & \text{at } z \geq h_b \\ \frac{Q}{B_2 \sigma_y^2 \sigma_z^2} \exp\left\{-\left(\frac{\Gamma(3/4)}{\Gamma(1/4)}\right)^{\frac{r}{2}} \left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^r\right\} & \text{at } 0 \leq z < h_b \end{cases} \quad (5)$$

$$\frac{1}{B_2} = \frac{sr \left\{ \Gamma(3/4) \Gamma(3/2) \right\}^{\frac{1}{2}} \left\{ (z_1 - h_b)^m \Gamma(3/2) \right\}^{\frac{m}{2}}}{2u \left\{ \Gamma(1/4) \Gamma(1/2) \right\}^{\frac{1}{2}} \sigma_y^m \Gamma(1/2)^{\frac{m-2}{2}} \Gamma\left(\frac{m+1}{2}\right)} \quad (z_1 > h_b) \quad (6)$$

特殊な地域を除くと，建物がある程度の間隔をもって建てられており，また細街路もあるのがほとんどであり，下層は式(5.6)で表わされる部分と水平方向の移流効果による部分との重なったものとみなすのが合理的である。平坦地の場合には式(5.6)の h_b を零とした場合に当たる。したがって $h_b=0$ と $h_b \neq 0$ の場合の二者を合成したものと考え，次式の拡散モデルが提示された。

$$C(x, y, z) = \lambda C_1(x, y, z, h_b) + (1-\lambda) C_1(x, y, z, 0) \quad (0 \leq \lambda \leq 1) \quad (7)$$

ここで λ は 建造物による水平移流抑制効果に関する係数で，風向に垂直な高さ h_b の平面を考えたとき，風の流れを遮る建物の面積率によって与えられる係数である。風速プロファイルに式(7)の概念を導入すると式(8)を得る。

$$\left. \begin{aligned} z \geq h_b \text{ のとき} \\ u(z) = \lambda u_1 \left(\frac{z-h_b}{z_1-h_b} \right)^m + (1-\lambda) u_1 \left(\frac{z}{z_1-h_b} \right)^m \\ z < h_b \text{ のとき} \\ u(z) = (1-\lambda) u_1 \left(\frac{z}{z_1-h_b} \right)^m \end{aligned} \right\} (8)$$

式(6)中の u_1 は式(8)の関係より求める。

3. モデルの精度

精度の検討に利用したデータは大府府が昭和57年～58年にかけて行った低燃源拡散実態調査(1)の結果である。拡散モデルの式の中の二つのパラメータは計算値と実測値がでるだけ一致するようにパラメータ推定された。表-1, 2, 3 は各モデルについての推定パラメータと精度を示したものである。

表-1 Gaussian Plume Model の適合性 (風向: 道路に直角)

地区	大気安定度	データ数	相関係数	勾配	a	b	誤差
荏園	不安定	39	0.651	1.92	0.367	0.619	0.045
	中立	123	0.612	1.36	0.149	0.981	0.056
新金岡	不安定	43	0.494	1.04	0.439	0.588	0.102
	中立	52	0.383	0.86	0.525	0.685	0.068
	安定	18	0.481	1.26	0.335	0.433	0.087
元町	不安定	46	0.417	0.95	0.711	0.437	0.035
	中立	45	0.503	1.05	0.206	0.496	0.019

表-2 Walters の Plume Model の適合性 (風向: 道路に直角)

地区	大気安定度	データ数	相関係数	勾配	A	α	誤差
荏園	不安定	39	0.677	1.58	0.185	0.022	0.038
	中立	123	0.695	1.17	0.262	0.474	0.033
新金岡	不安定	43	0.672	1.30	0.063	1.209	0.076
	中立	52	0.610	0.96	0.121	1.152	0.389
	安定	18	0.679	0.91	0.026	1.122	0.047
元町	不安定	46	0.460	0.83	0.119	1.235	0.029
	中立	45	0.673	0.89	0.075	1.228	0.011

表-3 新に提案した Model (UNR-Model) の適合性 (風向: 道路に直角)

地区	大気安定度	データ数	S	相関係数	勾配	誤差	a	b	λ	h_b
荏園	不安定	39	2.0	0.824	0.92	0.016	0.131	0.986	0.67	6
			1.5	0.823	0.92	0.016	0.168	0.931	0.64	6
			1.15	0.822	0.92	0.016	0.219	0.889	0.60	6
	中立	123	2.0	0.775	0.80	0.026	0.300	0.772	0.78	6
			1.5	0.774	0.79	0.026	0.354	0.766	0.78	6
			1.15	0.773	0.79	0.026	0.429	0.767	0.76	6
新金岡	不安定	43	2.0	0.837	1.04	0.037	0.139	1.086	0.58	12
			1.5	0.842	1.03	0.036	0.148	1.108	0.54	12
			1.15	0.846	1.03	0.036	0.159	1.137	0.48	12
	中立	52	2.0	0.486	0.65	0.056	0.360	0.868	0.45	12
			1.5	0.484	0.64	0.056	0.383	0.891	0.43	12
			1.15	0.480	0.63	0.056	0.441	0.898	0.41	12
	安定	18	2.0	0.876	1.02	0.011	0.392	0.551	0.60	12
			1.5	0.880	1.00	0.011	0.429	0.562	0.55	12
			1.15	0.881	0.98	0.011	0.488	0.571	0.50	12
元町	不安定	46	2.0	0.764	0.79	0.016	0.345	0.671	1.00	6
			1.5	0.789	0.73	0.0153	0.287	0.828	1.00	6
			1.15	0.810	0.79	0.015	0.310	0.870	1.00	6
	中立	45	2.0	0.760	0.81	0.010	0.152	0.855	0.46	6
			1.5	0.758	0.81	0.010	0.168	0.855	0.44	6
			1.15	0.757	0.81	0.010	0.194	0.857	0.41	6

右表中の記号の説明

表-1: a, b について

$$\sigma_z = ax^b$$

表-2: A, α について

Walters Model は次式の解析解である

$$u(z) \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} (K_z(z) \frac{\partial C}{\partial z})$$

なお $Q = \int_0^\infty u C dz$

$$u(z) = u_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^m$$

$$K_z(z) = AZ^\alpha$$

で与えられる。m は風速プロファイルより推定した値で利用している。

表-3: a, b, λ

$$\sigma_z = ax^b$$

S, h_b は一定値を設定している。r=2 としている。

引用資料(1): 大府府(1979) 低燃源拡散実態調査報告書(昭57~58 環境庁委託調査)