

(29) ネットワーク上の交通流を考慮した 大気環境影響評価手法の提案

ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF EXHAUST EMISSIONS
IN CONSIDERATION OF NETWORK TRAFFIC FLOW

武 山 泰*

By Yasushi TAKEYAMA*

In present environmental impact assessment method of exhaust emissions, only the concentration of emissions beside objective road are assessed. But in such cases, network traffic flows are affected by construction of a new road. In this study, a vehicular emission model is developed to evaluate the emission factors of diesel vehicles even in congested traffic flow. The time-velocity profiles in urban area are modeled by using unit velocity profile. And applications of these models to network traffic flow are described.

Key Words : traffic environment, air pollution, exhaust emission, environmental impact assessment, network traffic flow

1 はじめに

現行の道路環境影響評価では、対象道路の沿道において大気汚染に関する環境基準が達成されることが求められる。しかし、環境影響評価の対象となるような道路は周辺の交通流に及ぼす影響も大きいものと考えられ、ネットワーク上の交通流を考慮し、周辺への影響も含めた上で大気環境影響を評価する手法が必要となる。本研究では、都市内における自動車の走行状態を考慮した排出ガス量評価モデルを構築するとともに、都市内走行時の走行特性を反映した走行モードを作成し、これらを用いたネットワーク上の交通流を考慮した大気環境影響評価手法の提案を行った。

2 ネットワーク上の交通流を考慮した大気環境影響評価手法

現行の道路事業環境影響評価¹⁾において環境影響評価の対象となる高速自動車国道、4車線以上の一般国道・都市高速道路などの新設は道路ネットワークへの大きな変更を伴うものとなる。これより、新設された道路への交通量の転換などにより周辺の道路の交通量にも大きな変化が生ずる。本論文は、このような道路に対する環境影響評価において周辺の道路に及ぼす影響を含めて評価を行うために、ネットワーク上の交通流を考慮した大気環境影響評価手法を提案するものである。

同様の試みが、森地ら²⁾によりなされており、十分な環境対策を施せる高規格の道路に交通が転換することにより、都市全域の交通環境の改善が可能であることが指摘されている。しかし、ここで用いられている大気汚染濃度の予測手法は、従来より用いられてきている手法³⁾であり、渋滞の生じない中高速走行時の予測には適しているが、都市内における渋滞走行時に対しては十分に適応できる予測手法とはなっていない。

本研究においては、都市内における渋滞走行時の排出ガス量を評価する手法として、ディーゼル車に対する自

* 正会員 工学修士 東北大学助手 工学部土木工学科 (〒980 仙台市青葉区荒巻字青葉) Member of JSCE, Master of Engineering, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Tohoku University, Aoba, Sendai 980, JAPAN

自動車排出モデルを構築した。このモデルは、自動車の走行時の時間-速度の関係を入力することにより、エンジンの回転数-負荷の領域における使用状態を推定することにより、エンジンベースでの排出ガス濃度に基づいて排出ガスを評価するものである。

また、都市内における渋滞走行時の走行モードを表現する手段として、都市内走行モードを単位走行パターンの繰り返しで表現する手法の構築を試みた。これは、東京都における自動車の走行状態の調査結果⁴⁾より渋滞走行時の走行パターンが単位走行パターンとアイドリングの繰り返しにより表現されることを考慮したものである。

ネットワーク上の交通流を考慮するためには、渋滞流を考慮した交通量配分モデルの構築が不可欠であるが、渋滞を考慮した交通量配分手法には未だ確立された手法がないことから、本論文では多くの仮定を設定することにより、単純なネットワーク問題への適用事例を示した。

3 自動車排出モデル

3.1 自動車の排出特性

走行速度に対する自動車排出ガス量の変動に関しては、東京都⁵⁾、建設省³⁾などにより報告が行われてきている。これらの報告においては、渋滞状態での排出ガス量の調査は十分には行われておらず、また排出係数を速度の多項式として表現することが試みられているが、その関数形は十分に根拠のあるものとはなっていない。この他、自動車排出ガス量に関するいくつかの報告^{6),7)}が見られるが、これらの研究においても排出ガス量を速度に対する回帰式により表現することが試みられているが、渋滞時の低速度領域に対する検討は十分にはなされていない。

本研究においては、ディーゼル自動車の排出ガスを表現するモデルとして自動車排出モデルを構築した。これは自動車の速度から走行抵抗を求めそれよりエンジンの回転数および負荷を求め、エンジンマップを用いて排出ガス濃度を求めるものである。ディーゼル車においてはガソリン車における触媒装置のような排出ガスの後処理装置が用いられていないことから、エンジンから排出される排出ガスが排気管からそのまま排出されることになる。また、ディーゼル車に対する排出ガス量の許容限度が仕事量当たりの排出量に改正されたように⁸⁾、ディーゼル車においては仕事量あるいはエンジンの負荷により排出ガス量の概略の値を把握することができる。

3.2 ディーゼル自動車の排出ガス量評価モデル

(A) 走行抵抗⁹⁾

自動車が走行する際の全走行抵抗 R は、次式により表される。自動車が走行している状態では全走行抵抗と駆動力 T が等しくなる。

$$R = W(\mu_r + \sin\theta + \alpha(1 + \varepsilon)/g) + \mu_e \cdot F \cdot V_a^2 \quad (\text{kg}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 W : 車両総重量 (kg), μ_r : ころがり抵抗係数, θ : 路面傾斜角度, α : 自動車の加速度 (m/s^2), $\varepsilon = \Delta W/W$ (ΔW : 回転部分の慣性に相当する重量 (kg)), g : 重力加速度 ($9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$), $\mu_e = C_x \cdot \rho/2$ (C_x : 空気抵抗係数, ρ : 空気密度 ($\text{kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$)), F : 自動車の前面投影面積 (m^2), V_a : 空気との相対速度 (m/s)。

(B) 回転数・負荷⁹⁾

エンジン回転数 n と走行速度との関係は全減速比とタイヤ径を用いて、次式により表される。

$$n = \frac{V \cdot i_m \cdot i_f}{2\pi \cdot r \cdot 60} \times 10^3 \quad (\text{r.p.m.}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 V : 車速 (km/h), i_m : m 段目のギアの変速ギア比, i_f : 終減速比, r : 駆動輪タイヤの有効半径 (m)。

また、エンジンの負荷はトルクあるいは有効圧により表され、自動車の駆動力とエンジンの正味回転トルク τ の関係は次式で表される。

$$\tau = \frac{r}{i_m \cdot i_f \cdot \eta} T \quad (\text{kg} \cdot \text{m}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

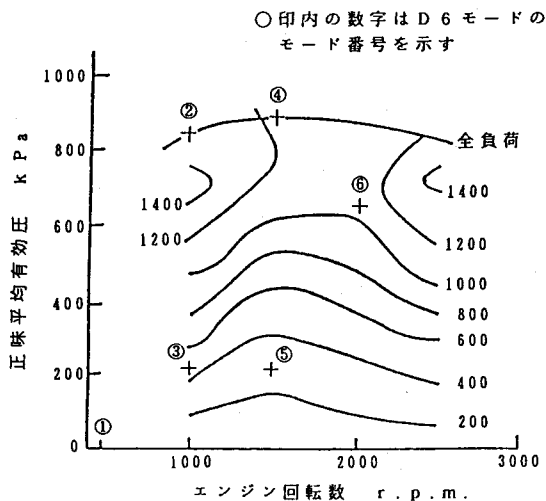


図-1 エンジンマップの一例¹⁰⁾

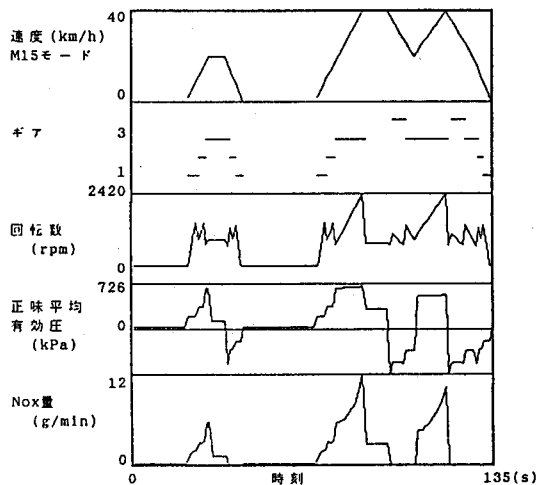


図-2 モデルの適用例 (M15 モード)

ここで、 η : 伝達効率, T : 駆動力 (kg) .

エンジンが 1 サイクルを完了する間にピストンに有効に作用する爆発圧力の平均を正味平均有効圧と呼び、次式で表される.

$$P_{me} = 1.257(\tau/Q) \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 Q : 総排気量 (l) .

(C) エンジンマップ

エンジンダイナモを用いたエンジン単体での排出ガス濃度の測定結果から得られる、エンジンの回転数-負荷領域での排出ガス濃度を表した図をエンジンマップという. NO_x 排出量に関するエンジンマップの一例を図-1 に示す.

(D) 排出ガス量の算出

走行状態として Δt 秒毎の速度が与えられるとき、その速度変動から加速度を計算し、ギア位置を決定することにより前述の式を用いることによりエンジンの回転数および正味平均有効圧が得られる. この回転数および有効圧での排出ガス濃度がエンジンマップより把握されれば、ディーゼル車からの排出ガス量を評価することが可能となる. 本研究のモデルにおいては、ギアの選定は取り得るギア位置の中から最も高いギアを選定することとした.

4 ストロークサイクルエンジンの場合、クランク軸 2 回転で 1 サイクルが完了することから、 Δt 秒間における排出ガス量 E が次式で与えられる.

$$E = Q \cdot C \cdot 10^{-6} \cdot \frac{n}{60 \cdot 2} \cdot \Delta t \text{ (l/s)} \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 C : 排出ガス濃度 (ppm) .

3.3 モデルの適用例

本研究で作成したモデルおよび 図-1 のエンジンマップを用いて、M15 モードでの排出ガス量を算出した結果を図-2 に示す. M15 モードは乗用車において用いられる 10 モードと同様に、都市内における貨物車の走行状態を表すモードとして作成されたもので、その平均速度は 15 (km/h) となっている.

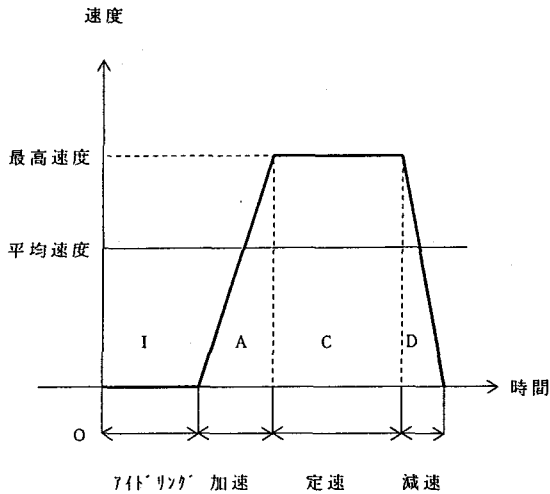


図-3 単位走行モード

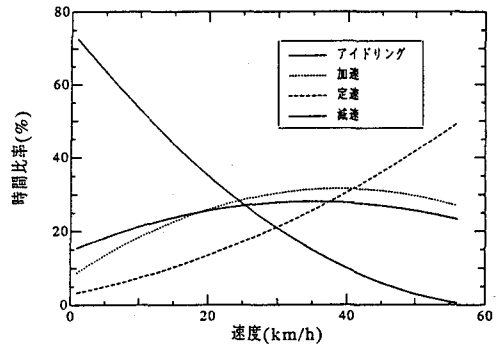


図-4 走行モード時間比率

4 都市内交通における走行モード

4.1 都市内走行における走行特性

東京都⁵⁾、建設省³⁾において、自動車からの排出ガス量を評価するためのシャーシダイナモ試験において用いる走行モードを作成するための調査が行われている。これらの結果を見ると特に平均走行速度が低下する渋滞領域においては、走行速度が低下するにつれて単位距離を走行する間の停止・発進の回数が増加するとともに、停止している（アイドリング）時間の比率が増大する傾向が見られる。また、停止時間の間の発進－加速－低速－減速－停止の速度パターンに関しては、ほぼ同様のパターンを示している。これより、都市内における渋滞走行を単位走行パターンの繰り返しによりモデル化することを試みた。

4.2 都市内走行モデル

(A) 単位走行モード

走行する自動車は、停止状態から発進して次に停止するまでに加速 (acceleration)、低速 (constant)、減速 (deceleration)、アイドリング (idling) の4つの走行状態を繰り返すことにより走行している。

特に都市内における渋滞走行時については図-3に示すアイドリング－発進－加速－低速－減速－停止の台形状の走行パターン（単位走行モード）の繰り返しにより走行状態を近似することができる。

(B) 走行時間比率

図-3に示す単位走行モードにより走行状態を近似する場合、最高速度、加減速度などいくつかのパラメータを設定することにより平均走行速度に対してひとつの単位走行モードを特定することができる。

本研究においては、図-4に示した足立らの研究¹¹⁾による平均速度に対する走行モード時間比率と図-5に示した平均速度に対する単位走行モード所要時間を与えることにより、平均速度に対する単位走行モードを得ることとした。

これにより得られた単位走行モードを、3.で述べた自動車排出モデルへの入力とすることにより、平均速度に対する排出ガス量を算出することができる。

5 ネットワーク交通流を考慮した排出量の評価

5.1 交通量－排出ガス量の関係

4.で述べた単位走行モードを用いた排出ガス量の評価は、1台の自動車からの排出ガス量を評価するモデルである。ネットワーク交通流を考慮した道路からの排出ガス量を評価するためには、さらに渋滞走行時を考慮して交通量と平均走行速度の関係を評価することが必要となる。

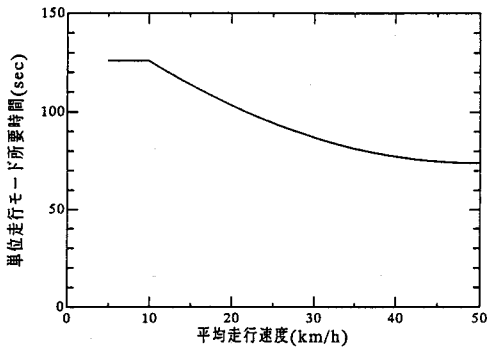


図-5 単位走行モード所要時間

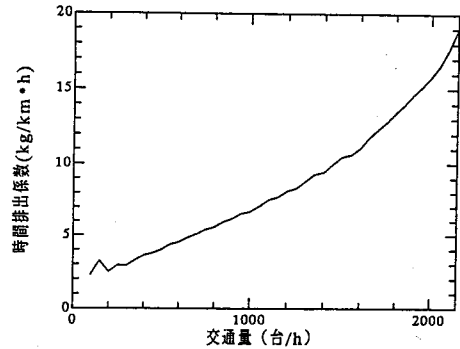


図-6 交通量-時間排出量の関係例

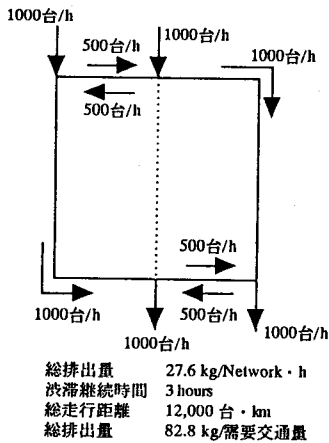


図-7 道路ネットワーク（新設前）

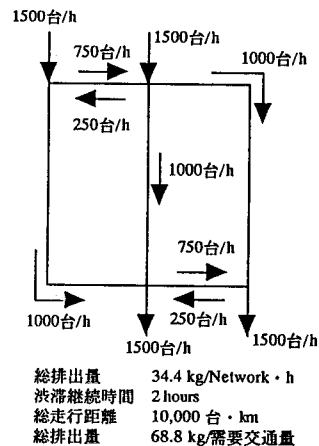


図-8 道路ネットワーク（新設後）

交通密度と平均速度との関係については古くから多くの研究がなされており⁹⁾、いくつかの交通密度と空間平均速度との相関式が提案されてきている。

たとえば、Greenshieldsの研究例による直線関係を仮定した場合渋滞領域での交通量に対する道路の単位延長当たりの排出ガス量は図-6に示すように得られる。

5.2 ネットワーク交通流を考慮した排出ガス量の評価

ネットワーク上の交通流を考慮するためには、渋滞流を考慮した交通量配分モデルの構築が不可欠である。渋滞を考慮した交通量配分モデルに関して、いくつかの研究が報告されているが^{12),13),14)}、解の唯一性が一般に保証されないことなどから現在のところ確立された手法は存在しない。

そこで、ここではいくつかの仮定を設定することにより単純な道路ネットワークに対して本研究で構築したモデルを適用して試算を行って見ることにした。

5.3 適用事例

ここでは、図-7に示した1辺1(km)の道路ネットワークに対し、図-8に示すように新たな道路を付加した場合の影響の評価を試みる。

渋滞を考慮した交通量の配分方法として以下の仮定を行った。

- ネットワークの各道路は 5.1 で排出量の試算を行った道路と同じ交通容量の道路である。
- ただし、信号交差点における捌け台数などの制約により最大交通量が 1000(台/h) の交通状態となっている。
- 交通需要は図に示すように、対角方向に 3000 台、上下方向にも同じく 3000 台を考慮する。
- 2つの方向の交通需要に対して等しい時間で需要交通量が捌けるように交通量の配分を行う。
- 交通の配分により最大交通量の 1000(台/h) 以下の交通状態が出現したとしても、その先の合流あるいは目的地の交差点における制約により全ての交通は渋滞走行状態にある。
- ネットワークの変化は交通需要に影響を及ぼさない。

以上の仮定に基づいて、道路の新設前後のネットワークに対して図に示したように交通量の配分を行った。

ネットワークとしての排出量を評価する指標としては以下に述べる各指標を用いた。ネットワーク全体からの単位時間当たりの排出ガス量（排出強度）、需要交通量が捌けるまでの全体としての走行距離（総走行距離）、需要交通量が捌けるまでの全体としての排出量（総排出量）、需要交通量が捌けるまでの時間（渋滞継続時間）。

これらの指標を用いて、ネットワークへの新たな道路の付加が及ぼす影響を評価すると、道路密度が高くなることによりネットワーク全体としての排出強度は増加するが、新たにショートカットとなるルートができることにより総走行距離が短くなるとともに、一部渋滞が緩和されることにより単位走行距離当たりの排出量も低減して、需要交通量当たりの総排出量、渋滞継続時間が減少することとなる。

6 むすび

本研究で示した試算結果は定性的な評価にとどまるものであるが、エンジンベースでの排出濃度特性および都市内における走行特性についてより詳細な研究を行うことにより、定量的な評価に用いることが可能である。

ネットワークへの新たな道路の付加は、交通需要が変化しない場合には排出ガス量の低減効果を示すものと考えられる。しかし、交通需要が増加する場合には、道路密度の上昇に伴いネットワーク全体としての排出強度が高まることから、今後なんらかの交通需要抑制策を考慮することが必要となると思われる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路環境整備マニュアル，1989。
- 2) 森地 茂・屋井 鉄雄・岡本 直久：環境影響を考慮した高規格道路ネットワーク整備に関する研究，土木計画学研究・論文集，No. 8，1990。
- 3) 足立 義雄・森 寛昭・藤城 泰行・田原 嘉和・吉川 良行：道路走行時における自動車排出ガス量に関する研究，土木研究所報告，No. 164，1984。
- 4) 芳住 邦雄・中村 健：都市における自動車の走行状態，産業公害，Vol. 20，No. 9，1985。
- 5) 東京都環境保全局：東京都内自動車交通量及び自動車排出ガス排出量算出調査報告書，1982。
- 6) 越 正毅・大蔵 泉・沢木 康男：自動車排出ガスに及ぼす交通管制の影響について，土木学会論文集，No. 240，1975。
- 7) 高橋 文治：都市内高速道路と排出ガスの関係，高速道路と自動車，Vol. 30，No. 12，1976。
- 8) 環境庁大気保全局：自動車排出ガスの量の許容限度の一部改正について，1991。
- 9) 交通工学研究会編：交通工学ハンドブック，1984。
- 10) 齊藤 孟：ディーゼル自動車の排気とその対策，機械の研究，Vol. 39，No. 1，1987。
- 11) 足立 義雄・森 寛昭・川島 茂樹：道路環境アセスメント調査報告書（自動車排出ガス量調査編），土木研究所資料，No. 1486，1979。
- 12) 井上 博司：混雑した道路網における交通均衡およびその数値解法，土木学会論文集，No. 365，1986。
- 13) 藤田 素弘・山本 幸司・松井 寛：渋滞を考慮した時間帯別交通量配分モデルの開発，土木学会論文集，No. 407，1989。
- 14) 桑原 雅夫：渋滞したネットワークにおける動的均衡配分に関する考察，土木学会論文集，No. 419，1990。