

# 道路近傍の自動車排ガス濃度の数値計算

Numerical Study on the dispersion of automobile exhaust gas around the roadsides.

正 近藤 明 (大阪大学) 石 世昆 (大阪大学) 井上義雄 (大阪大学)

正 加賀昭和 (大阪大学) 正 大西潤治 (大阪電通大)

Akira KONDO, Osaka University, Yamada-oka 2-1 Suita Osaka

Shi Shikun, Yosio INOUE, Akikazu KAGA, Osaka University,

Jyunji ONISHI, Osaka Electro-Communication University

Benzene is a carcinogen and a chemistry substance with many amounts of emission. The main sources are considered to be automobile exhaust gases. Therefore, it is thought that the benzene concentration near the road is high and its amount of exposure of the residents who live there is also large. Then, by the tank experiment and numerical simulation with considering building structure near national road No.43 at Ashiya City, benzene concentration around the roadside was presumed, and the number of cancers patients by benzene was computed.

**Key Words:** Benzene, Water Tank Experiment, Risk

## 1. はじめに

自動車は、便利で快適な交通手段であるが、交通渋滞、交通事故、廃棄自動車の処理、二酸化炭素や有害物質を含む自動車排気ガスは、社会的な問題となっており、特に自動車排気ガスの中に含まれているベンゼンが近年注目されている。ベンゼンは、毒性が強かつ排出量が多い特定第1種の化学物質であり、発ガン性レベル1(人発ガン性あり)変異原性クラスは最も高いレベル1(遺伝子突然変異誘発性等)に属している。ガソリンのオクタン価を向上させる目的でベンゼンは添加されてきたが、ベンゼンは上記のような毒性を持つため、日本でのガソリン中のベンゼン添加量の許容値は1996年に5%以内、2000年に1%以内と順次削減されてきた。ベンゼンの日本での環境基準は $3\mu\text{g}/\text{m}^3$ に定められており<sup>1)</sup>、米国EPA(環境省)では、 $2.2\sim 7.8\times 10^{-6}\text{m}^3/\mu\text{g}$ のベンゼンのユニットリスクが提唱されている。ベンゼンのような発ガン物質にはいき値濃度は存在しないと考えられているので、行政目標としての環境基準の設定とそれに基づいた施策の実施と平行して、人々の暴露量のきめ細かな評価に基づくリスク管理が今後必要とされる。

そこで、本研究では、ベンゼンを対象物質とし、局地的な高濃度暴露が生じていると考えられる国道43線の沿道住民を対象として、リスク評価手法の確立と過剰生涯発ガンリスクの見積もりを実施した。

## 2. ベンゼン濃度の測定とベンゼン排出量の推定

図-1に示す研究対象地域の芦屋市でベンゼン濃度測定を実施した後、国道43号線におけるベンゼン排出量の推定

を行い、この結果を、沿道近傍のベンゼン濃度推定と過剰生涯発ガンリスクの評価に用いた。



図-1 芦屋市打出自排局周辺地図

### 2.1 自動車排気ガス測定局でのベンゼン濃度測定

ベンゼン濃度測定は、芦屋市打出町にある打出自動車排気ガス測定局(以下打出自排局と略す)で実施した。打出自排局は、図-1に示すように国道43号線の直ぐ北側に設置されている。自排局は、 $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ ( $\text{NO}$ と $\text{NO}_2$ の和)、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、風速と風向の時間ごとのデータを通年にわたって連続的に測定している。大気中のベンゼンは、1時間ごとに自動サンプラー(Perkin Elmer製STS-25)により24時間サンプリングした。また、サンプル中のベンゼン濃度の分析は、熱脱着装置(Perkin Elmer製ATD-50)を装備したGC-MS(島津製作所製GC-17A+QP-5000)により行った。ベンゼン測定日の打出自排局の $\text{NO}_x$ 濃度を兵庫県環境局から

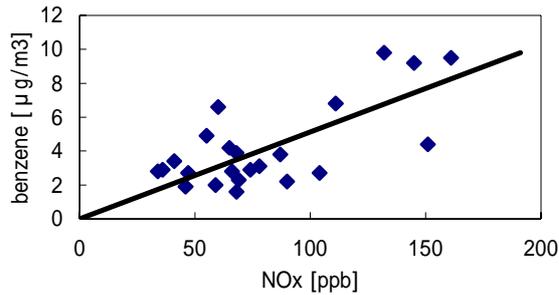


図 - 2 ベンゼン濃度とNO<sub>x</sub>濃度の相関図

入手し、図 2 に示すようにベンゼン濃度と比較した。相関係数は約 0.6、ベンゼン濃度 / NO<sub>x</sub> 濃度比 0.0183 mol/mol の関係を見出した。

### 2.2 交通量調査とベンゼン排出量の推定

道路における単位時間・単位道路長さあたりのベンゼン排出量とNO<sub>x</sub>排出量比は沿道大気の本ゼン濃度とNO<sub>x</sub>濃度比と等しいと仮定して、交通量、NO<sub>x</sub>の排出係数、図 2 に示すベンゼン濃度とNO<sub>x</sub>濃度比の値を用いてベンゼン排出量を推定した。交通量データとして、2002 年の打出町における国道 43 号線の交通センサスデータを使用した。その結果、ベンゼン排出量は、41.8g/m/day と見積もられた。

### 3. 沿道近傍拡散の水槽実験

道路面から排出された自動車排ガスの道路内空間および道路近傍の拡散特性を把握する目的で、水槽実験を実施した。水槽実験は、道路近傍の建物形状を二次元と近似し、水槽実験断面内の速度分布および汚染物質の濃度分布の測定を実施した(図 3 参照)。同時に、数値モデルの計算も実施し、数値モデルの精度検証も実施した。

水槽実験は、4 通りのケースについて実施した。測定部上流側の断面平均流速は 13 cm/s とした。このとき、レイノルズ数はおよそ  $1.2 \times 10^4$  となり、流れは十分に乱流化しているため、現実の沿道との間の相いはほぼ成立していると考えられる。

#### 3.1 速度分布測定結果

速度分布測定には TIS 社の PIV システムを用いた。平均速度ベクトル算出アルゴリズムには、クロス・コリレーション法<sup>2)</sup>を用いた。各ケースに対する速度分布測定結果を図 - 4 に示す。いずれの場合にも、流れは上流側の建物の前縁ではく離しており、道路空間はそのほく離域の内部となる。道路空間の上部に高速道路が通っているケース 4 では、上流側の建物前縁ではく離れた流れの大部分は高速道路上面に沿って滑らかに流れているが、上流側建物と高速道路との間の空間を通過して道路空間内に流入する流れの存在が観察される。その流れに誘引されて、高速道路の下方

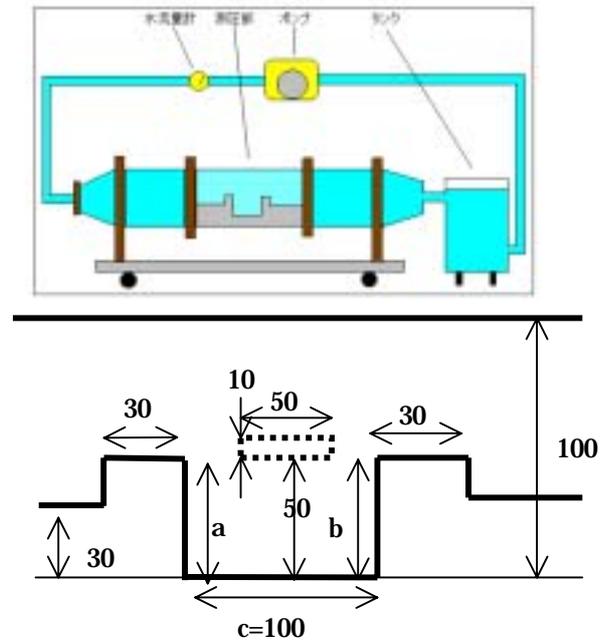


図 - 3 水槽実験模型と測定断面形状

と下流側建物隅部に渦が発生している。図 5 に標準 k-モデルで計算したケース 1 とケース 4 の計算結果を示す。モデルは、水槽実験で得られた速度分布をほぼ再現している様子がわかる。

#### 3.2 濃度分布測定結果

各ケースに対する濃度分布算出結果を図 - 6 に示す。いずれの場合にも、上流側が高濃度となっている。道路空間の下流側半分は比較的低濃度となっている。下流側の建物高さが高いケース 2 でもその傾向は同様であるが、道路空間内の濃度はケース 1 に比べて高くなっている。上流側の建物高さが高いケース 3 でも同様の傾向を示している。下流側の汚染物質の拡散高さは上流側の建物高さによって決定されているので、下流側建物上空では、この場合がもっとも高くまで汚染物質が拡散している。道路空間の上部に高速道路が通っているケース 4 では、高速道路の下方と上流側建物隅部に渦が発生していることに対応して、その部分に高濃度域が発生している。道路内の地上濃度はこの場合がもっとも高く、高速道路によって蓋をされたかたちの道路形状は、換気が悪く大気環境も悪化していることがわかれる。

本研究では道路空間を除いた道路近傍での自動車排ガスによる健康影響リスクを問題としているので、下流側建物より下流での汚染物質の拡散が問題となる。その視点からは、道路に面して高い建物の存在するケース 2, 3 が、他のケースに比べて汚染物質が高くまで拡散しているため、下流側地上濃度のすみやかな距離減衰が期待できるといえる。図 7 に標準 k-モデルで計算したケース 1 とケース 4 の計算結果を示す。モデルは、水槽実験で得られた濃度分布をほぼ再現している様子がわかる。

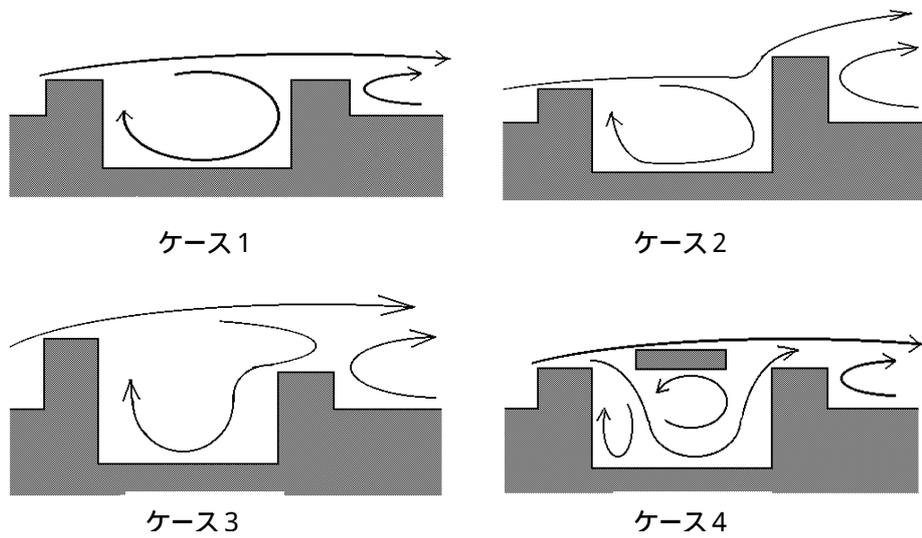


図 - 4 水槽実験から得られた流れのパターン

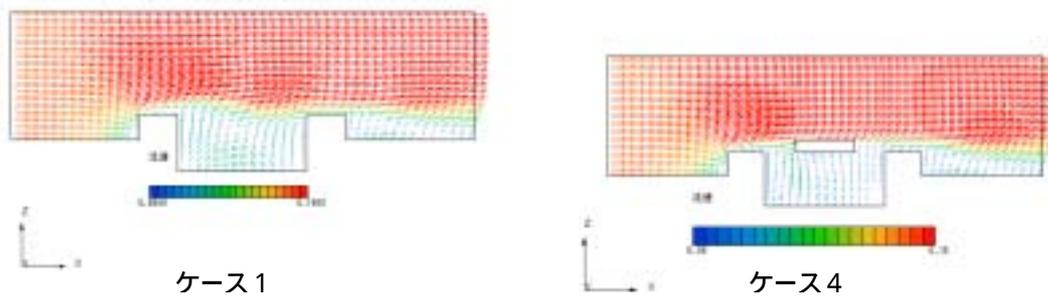


図 - 5 数値計算から得られた速度分布

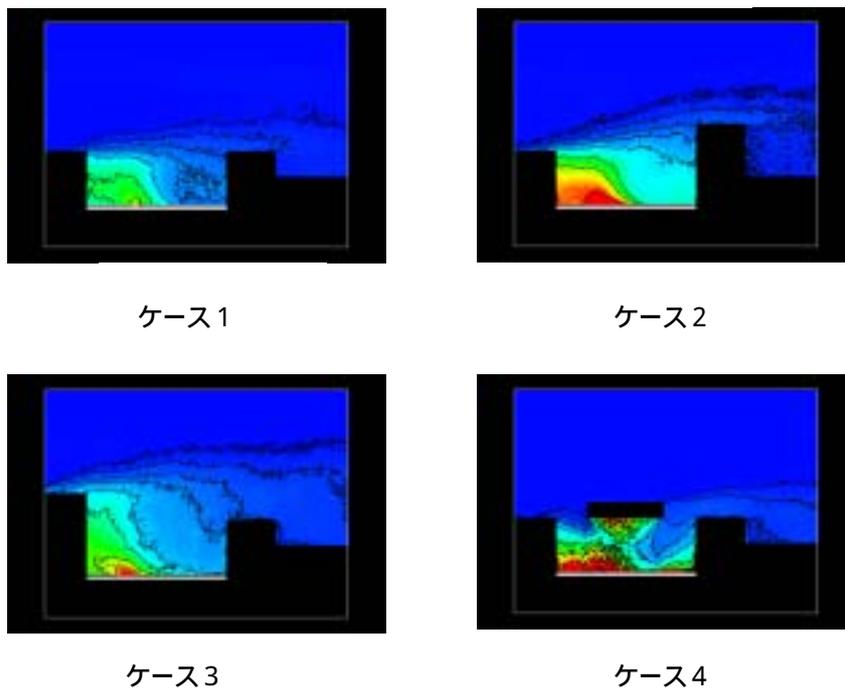


図 - 6 水槽実験から得られた濃度パターン

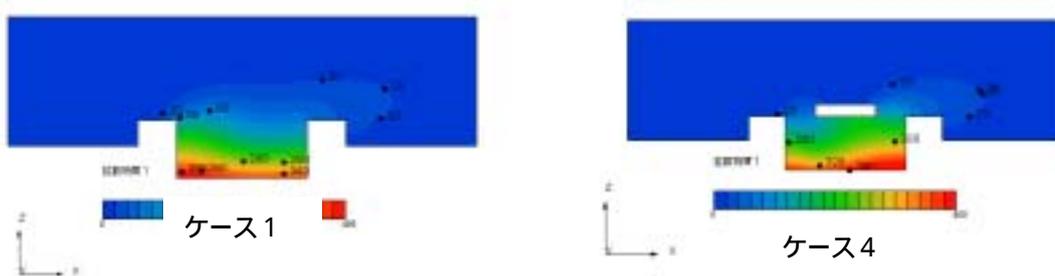


図 - 7 数値計算から得られた濃度分布

表 - 1 沿道・周辺建造物の平均高さ

位置	建造物平均高さ	ブロック 1	ブロック 2	ブロック 3	ブロック 4	ブロック 5
北側	沿道建造物 [m]	3.8	4.0	3.1	4.5	4.1
	周辺建造物 [m]	1.8	1.3	2.0	1.5	2.6
南側	沿道建造物 [m]	4.8	5.2	6.4	7.2	12.7
	周辺建造物 [m]	1.9	3.3	1.7	2.7	2.4

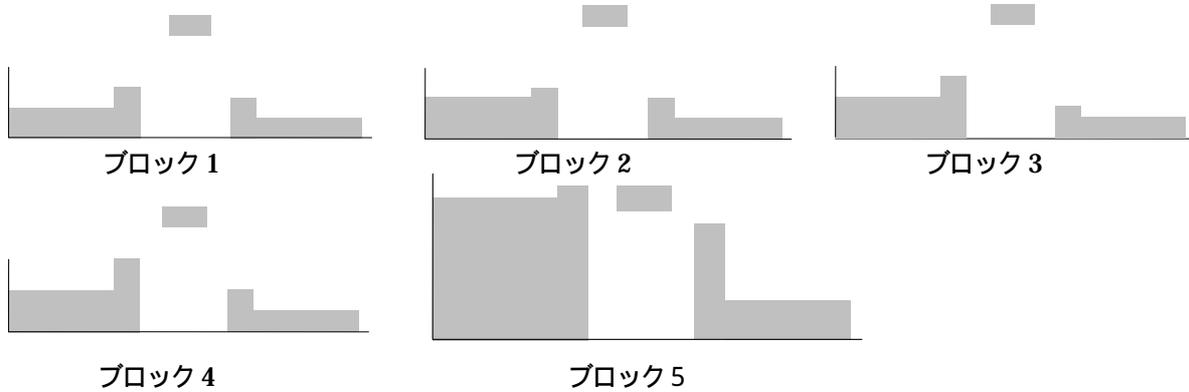


図 8 各ブロックの建物形状

表 - 2 各ブロックにおける推定発ガン数 [人/年]と対象人口[人]

	ブロック 1	ブロック 2	ブロック 3	ブロック 4	ブロック 5	領域全体
発ガン数	$5.12 \times 10^{-4}$	$16.2 \times 10^{-4}$	$12.9 \times 10^{-4}$	$8.64 \times 10^{-4}$	$6.47 \times 10^{-4}$	$49.3 \times 10^{-4}$
対象人口	323	536	477	353	334	2023

#### 4. 沿道近傍のベンゼンの過剰生涯発ガンリスク

兵庫県芦屋市を通る国道 43 号線沿線地域 3000m を東西方向に 5 つのブロックに分割し、それぞれのブロックごとに建物形状を近似し(図 8、表 1)、拡散計算を実施してベンゼン濃度を計算した。リスク評価のためには年平均濃度が必要となるので、風向、風速に基づいて気象条件を分類し、各気象条件毎に拡散計算を実施して気象条件の年間相対頻度を乗じそれらの総和をとって年平均濃度を推定した。ベンゼンによる過剰生涯発ガン件数は、次式で算出した。

$$R = (U \cdot Bi \cdot Pi) / L$$

ここで、 $R$ はベンゼン曝露による地域人口全体に対する年間発ガン件数、 $U$ はユニットリスク、 $Bi$ は地点  $i$ におけるベンゼン曝露濃度、 $Pi$ は地点  $i$ における人口、 $L$ は平均寿命を表す。ユニットリスクの値として EPA の中間値  $5 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \mu\text{g}^3$  を、平均寿命の値として 70 年を用いた。表 2 に発ガン件数と対象人口を示す。対象地域人口 2000 人の発ガン件数は約  $50 \times 10^{-4}$  であり、人口 1 億人に換算すると発ガン件数は約 250 人となる。

#### 5. 結言

本研究では、ベンゼンの、沿道住民に対する健康影響リスク評価の手法を確立することを目的として、芦屋市内の国道 43 号線沿いを対象として研究を実施した。打出自排局で実施したベンゼン濃度測定から、現地のベンゼン濃度が環境基準値を超える高濃度となっていることを確認し

た。また、ベンゼン濃度と  $\text{NO}_x$  濃度との間に強い相関が見られ、道路沿いで観測されるベンゼンの主な発生源が自動車であることも確認された。そして、この関係からベンゼンの排出量を推定した。水槽実験からは、道路空間内およびその下流側への汚染物質の拡散が、道路両側の建物高さ、あるいは本研究の対象地のように道路上方を平行して走る高速道路の有無によってどのような影響を受けるかを確認できた。また、拡散計算によって、水槽実験の結果を模擬することができ、拡散計算の妥当性が確認された。次に、43 号線 3000m を 5 ブロックに分割し、各ブロックの建物形状を近似し、計算したベンゼンの年平均濃度とユニットリスク、人口密度から過剰生涯発ガンリスク、発ガン数を見積もり、対象地域人口 2000 人の発ガン数は約  $50 \times 10^{-4}$  の結果を得た。

以上より、局地的な高濃度曝露が生じていると考えられる沿道のリスク評価手法を確立することは出来たが、ベンゼン曝露濃度の推定値には不確実な点もあり、今後改良する余地がある。また、沿道建物形状を把握するために現地調査を行ったが、より広範囲な地域を対象としてリスク評価を行うためには、航空写真を用いるなどの効率的な沿道形状データの作成手段が必要である。

#### 参考文献

- 1) 増田厚, 梶原秀夫, 中西準子: リスク評価のための大気中ベンゼン,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$  の連続測定, 横浜国大環境研紀要, 26, 23 - 37, 2000
- 2) 可視化情報学会編: PIVハンドブック, 森北出版, p.69, 2002
- 3) 中西準子: 技術屋の環境政策論(第 1 回 ~ 第 20 回), SEKAI, 1992.7 ~ 1994.12