

# 回帰式による大阪市の交差点におけるベンゾ[a]ピレンの濃度評価

## Assessment of Benzo[a]pyrene concentration in Osaka city intersections by regression equation

○狭間 俊朗 (大阪大学) 梅本 憲一 (大阪大学) 加賀 昭和 (大阪大学)

近藤 明 (大阪大学) 井上 義雄 (大阪大学)

Toshiro HAZAMA\*<sup>1</sup> Kenichi UMEMOTO\*<sup>1</sup> Akikazu KAGA\*<sup>1</sup>

Akira KONDOU\*<sup>1</sup> Yoshio INOUE\*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup>Osaka University

Exhaust gas from vehicles causes damage of human health in the cities with a lot of traffic. PAH especially Benzo[a]pyrene and benzene including in exhaust gas is one of the carcinogens. In this study, the emission factors of both substances were investigated in the real running conditions. Using CFD, concentration in intersections was calculated by varying the parameters; road width, building height, and wind speed and the regression equation for concentration was induced. Using the emission factor, the regression equation and traffic volume, Benzo[a]pyrene concentration in Osaka City was estimated. This result suggested that concentration level was relatively high.

### 1. 研究背景と目的

わが国における未解決の都市問題の一つとして大気汚染問題が挙げられる。大気汚染の主な原因は時代とともに変化してきた。第2次世界大戦後は、著しい経済成長の影響により、工業地帯などの工場が集中する地域を中心として、大気汚染が発生した。近年では大都市を中心に移動発生源、すなわち自動車からの排出ガスによる大気汚染は、モータリゼーションが進む現在において深刻化し、問題視されている。自動車の排気ガス中には二酸化窒素(NO<sub>2</sub>)、炭化水素及び浮遊粒子状物質(SPM)などが含まれており、炭化水素の中でもベンゾ[a]ピレン(benzo[a]pyrene)はベンゼン等に比べて発がん性が高く注目されている。

ベンゾ[a]ピレンとは、多環芳香族炭化水素(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAH)の一種であり、国際がん研究機関(IARC)に発がん性評価では、グループ2Aの「人に対しておそらく発がん性がある」に分類されている<sup>1)</sup>。現在、ベンゾ[a]ピレンに対して規制はないが、その強い毒性により将来的に規制する必要があるかどうかの検証が重要になってくる。

しかし、観測値に基づく、都市大気中の汚染物質環境濃度の評価は、観測地点数、観測回数に制約が

あるため、実際にはより高濃度となっている地点を見逃す可能性が高い。そこで本研究では、自動車排出ガスにより局地的な大気汚染が発生する可能性の高い地点として交差点近傍を対象とし、大阪市内の高濃度となる可能性のある交差点を抽出する手法を提案した。

### 2. 実走行車からの排出係数の推定

本研究で用いた車載型排気ガスサンプリング装置の概要を Fig.1 に示す。車の排気口内にサンプリングヘッドを挿入して固定し、車内に置いた定流量ポンプにより排ガスを一定流量でサンプリングし、対象物質をサンプリングチューブ内の吸着剤により捕集した。捕集後、サンプリングチューブを熱脱着装置(Perkin Elmer- Turbo Matrix ATD)で加熱脱着し、GC-MS(Simazu-QP2010)を用いて捕集量を求めた。測定対象として、ディーゼル車5台、ガソリン車3台からディーゼル車は2009年6月～8月、ガソリン車は2009年10月～11月にサンプル収集をしてデータを取った。定量分析をした後に以下の式(1)を用いて排出係数を算出した。

$$C = \frac{X}{V} \quad (1)$$

$$EF = \frac{C \times v \times \Omega \times t}{2 \times L}$$

C:排気ガス中濃度(g/m<sup>3</sup>)、X:サンプリングチューブ内対象物質質量(g)、V:排気ガスサンプリング量(m<sup>3</sup>)、EF:排出係数(g/km)、v:自動車排気量(m<sup>3</sup>)、Ω:自動車回転数(r/min.)、t:サンプリング時間(min.)、L:走行距離(km)

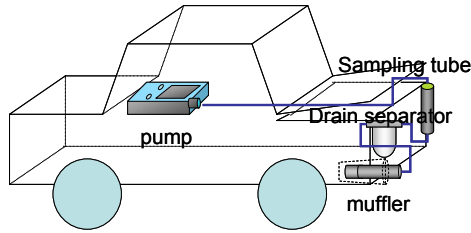


Fig.1 Installed sampling device

近年の、自動車産業の発展により技術が進歩し、排出量は自動車の製造年に大きく影響を受けるため、製造年ごとの排出量の近似式を作成し、自動車の製造年別の存在比から全体の平均排出量を推定した。また、ガソリン車ではエンジン暖気運転の有無により、排出量が大幅に変化<sup>2)</sup>するため補正をかけた。Fig.2に2007年11月から12月にかけてサンプリング装置を用いて収集したベンゼン排出係数<sup>3)</sup>と本研究で測定した12種類のPAHの実走行による排出係数の年代変化を示す。2003年のベンゼンの排出係数は1mg/kmである。PAHはそれぞれの排出係数の値を3台の排出係数の平均値として、ベンゼン排出係数で規格化し、排出係数と年代との関係を比較できるようにした。Fig2よりPAHに関してもベンゼンと同様な経年変化が見られると仮定した。またPAHの排出係数を推定するにあたってVOCと同じコールドスタート・ホットスタートの補正が適用できると仮定した。その結果ベンゾ[a]ピレンの排出係数は562ng/kmと算出され、毒性等価係数(TEF)<sup>4)</sup>を用いてPAH13種の毒性をベンゾ[a]ピレンに換算して評価すると、658ng/kmであった。本研究の対象地域である大阪市では、大気汚染問題の対策としてディーゼル車には規制がなされている<sup>2)</sup>。そのため、年式が古く極端に排出係数の大きい車は一般道を通行して

いないと考えられる。よってスクリーニングには実走行実験により得た5台の排出係数の平均値を使用した。ディーゼル車の場合はコールドスタートによる排出量の増分の影響はそれほど大きくないので補正は特にしていない<sup>5)</sup>。この結果、ディーゼル車の排出係数はベンゼンが1.2mg/kmであり、ベンゾ[a]ピレンは1200ng/kmであった。16種のPAHの合計排出係数の毒性をベンゾ[a]ピレンで換算すると1700ng/kmとなった。

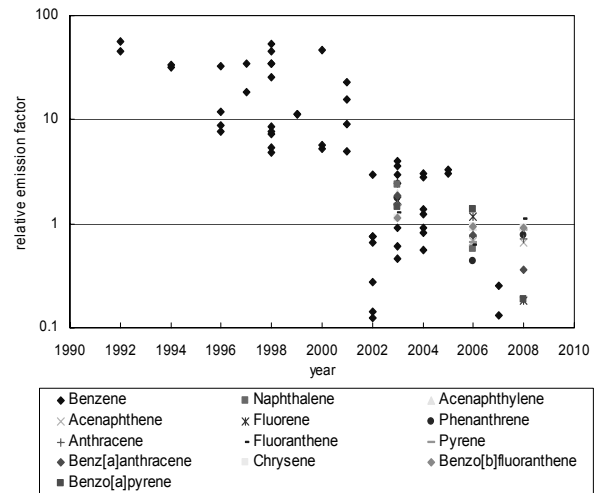


Fig.2 Relation of manufactured year and emission factor of benzene and PAH

### 3. スクリーニング評価

#### 3.1 スクリーニング評価手法

Fig.3にスクリーニング評価手法のフロー図を示す。道路の線分データから交差点座標を求め、交差点座標ごとにその地点の平均外気風速、平均建物高さ、平均道路幅をパラメータとする大気汚染濃度予測式と、その道路の交通量および任意の大気汚染物質の排出係数から実際の平均大気汚染濃度を推定した。道路交通センサス一般交通量調査<sup>6)</sup>から道路データ、平均交通量を、大阪市計画調整局が実施している土地利用現況調査<sup>7)</sup>の500mメッシュデータから平均建物高さを得た。平均道路幅は土地利用現況調査の道路幅ごとの500mメッシュ内総延長と、各道路の平均交通量から、交通量の多い道路ほど道路幅が大きいと仮定して平均道路幅を求めた。

#### 3.2 交差点における大気汚染濃度回帰式の導出

Fig.4に示す交差点モデルをCFDで計算し建物高

さ  $H$  (m)と道路幅  $D$  (m)及び風速  $U$  (m/s)の3つのパラメータと平均汚染濃度  $C$  (g/m<sup>3</sup>)との関係を表す回帰式を以下の手順で導出し、スクリーニング評価手法で用いる大気汚染濃度回帰式とした。四叉路の交差点の周辺の建物の周りに幅 3m の歩道を設け、斜線部の車道から自動車の排気ガスを高さ方向の初期拡散幅 2m で道路 1m あたり汚染物質 1g/秒を排出して交差点近傍 20m の歩道上高さ 1.5m の平均汚染濃度  $C$  (g/m<sup>3</sup>)を計算した。

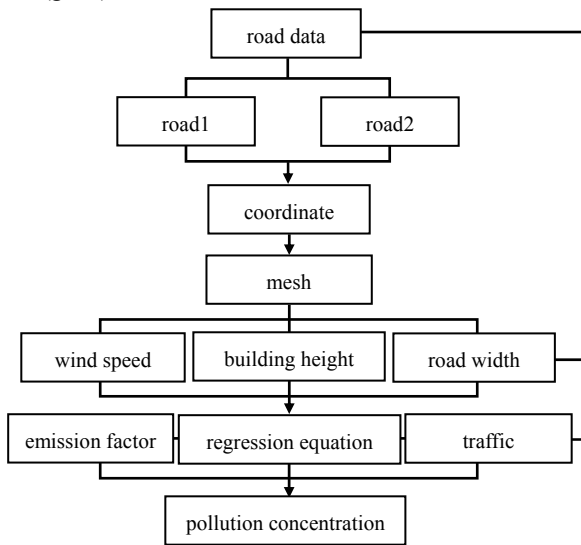


Fig.3 Flow chart of screening method

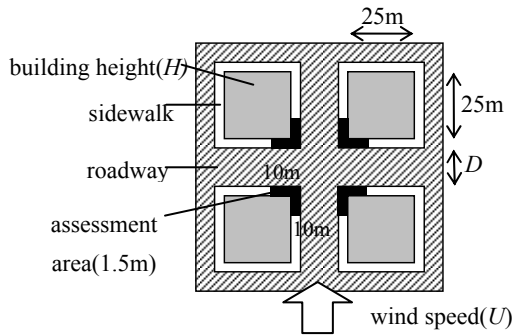


Fig.4 intersection model

計算結果より、建物高さ  $H$  が 3m~5m の場合と 6m~24m の場合で交差点内の濃度分布の傾向が異なった。濃度  $C$  と風速  $U$ 、道路幅  $D$ 、建物高さ  $H$  の関係を示す回帰式 (2)、(3)を重回帰分析によって導出した。

(i)  $3 \leq H \leq 5$  の場合

$$C(U, D, H) = 0.75 U^{-0.92} D^{-0.27} H^{0.67} \quad (2)$$

(ii)  $6 \leq H \leq 24$  の場合

$$C(U, D, H) = 4.29 U^{-0.94} D^{0.16} H^{-0.92} \quad (3)$$

$U$ (m/s):外気風速,  $D$ (m):道路幅,  $H$ (m):建物高さ

$E$ (m):高架高さ,  $C$ (g/m<sup>3</sup>):平均汚染濃度

また、高架がある場合の交差点についても同様に計算をしていったが、高架がある場合とない場合とで平均汚染濃度の間に大きな差が見られなかったため、高架がある交差点も高架なしの場合と同じ平均汚染濃度回帰式でスクリーニング評価を行うこととする。

## 4. 大阪市を対象としたスクリーニング

### 4.1 スクリーニング結果

大阪市内の交差点の自動車排気ガスに起因する平均汚染濃度の累積分布を Fig.5 に示す。なお、平均汚染濃度は自動車から排出される大気汚染物質の排出係数を 1(g/km/台)として算出された値であり、任意の大気汚染物質の排出係数を乗じることにより、各物質の実際の平均汚染濃度を求めることができる。

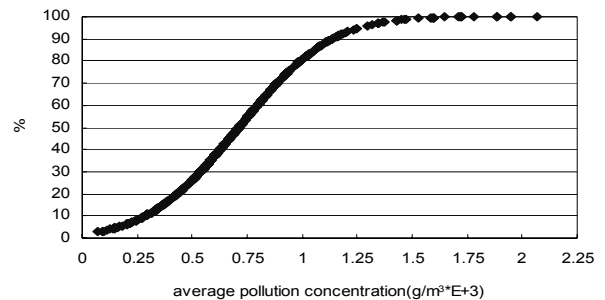


Fig.5 Cumulative distribution of concentration in Osaka city

平均汚染濃度の計算時に平均建物高さまたは平均道路幅が 0m となっている地点があったので、本研究では平均建物高さ、平均道路幅の最小値をそれぞれ 4m、5m に設定し計算を実行した。この問題を解決するためには、スクリーニング評価に用いるパラメータの高精度化、もしくは累乗の積で導出される汚染濃度回帰式の改善を図ることが必要であると考えられる。

### 4.2 ベンゾ[a]ピレン濃度の推定

Fig.6 に 2007 年の平日昼間の大阪市内の交差点でのベンゾ[a]ピレンの濃度地図を示す。大阪市内の大気汚染常時監視測定局のうち、ベンゾ[a]ピレンを常時観測しているのは、国設大阪、平尾小学校、出来

島小学校、聖賢小学校、摂陽中学校、菅北小学校の6箇所(Fig.6の星印)<sup>8)</sup>である。国設大阪、菅北小学校については比較的、高濃度になっている交差点に近い場所に位置しているが、他の4箇所については濃度が低い場所にあり、高濃度地点を測定できていない可能性が高い。計算による大阪市内での交差点のベンゾ[a]ピレン平均濃度は0.561ng/m<sup>3</sup>であり、観測地点の2007年の平均濃度0.184ng/m<sup>3</sup>より約3倍高くなっているが、これは観測地点が本研究での計算対象である交差点から離れた場所にあることが原因だと考えられる。

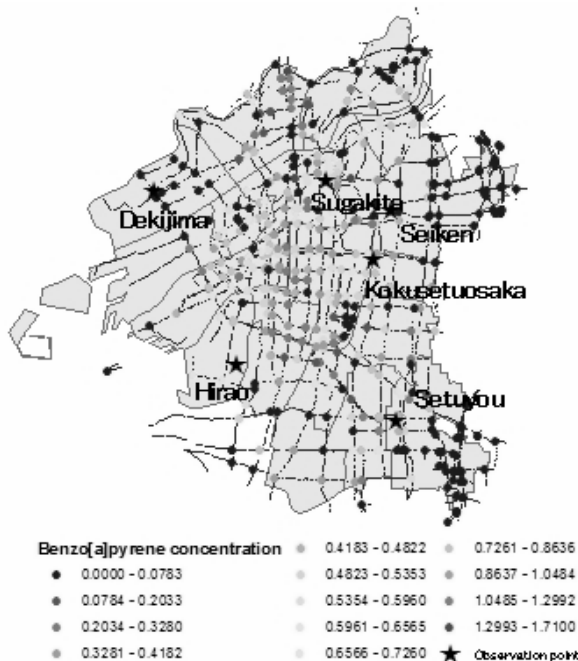


Fig.6 Concentration of Benzo[a]pyrene in Osaka city

### 4.3 ユニットリスクによる評価

PAHの毒性はベンゾ[a]ピレンによる影響が大きいが、他の物質についても決して無視できない毒性を持っている。PAH13種の全体の排出係数を用いた平均濃度は0.756ng/m<sup>3</sup>となりおよそ3割増加する。ベンゼンの平均濃度を求めると、2.20μg/m<sup>3</sup>となった。ベンゾ[a]ピレンのユニットリスクは9×10<sup>-2</sup>perμg/m<sup>3</sup>であり<sup>9)</sup>、ベンゼンのユニットリスクは5×10<sup>-6</sup>perμg/m<sup>3</sup>である<sup>10)</sup>。ユニットリスクと暴露濃度の積から求められるリスクレベルはPAH13種とベンゼンでそれぞれ、6.89×10<sup>-5</sup>、1.1×10<sup>-5</sup>となる。環境基準で目標とされているリスクレベル10<sup>-5</sup>である<sup>11)</sup>ことと比較するとベンゼンはほぼ目標範囲であるが、

PAH13種ではおよそ7倍の値となっている。実際には、交差点上で長期滞在することのない大部分の住民にとって、現状は安全であると考えられるが、高濃度の交差点付近に構えた店舗などで長時間働く者などにとっては、現状の濃度は必ずしも安全ではないと考えられる。ベンゼンについては環境基準が設定されていることを考えると、ベンゾ[a]ピレンについても早急な対策が必要と考えられる。

### 5. 結論

大阪市を対象に大気汚染高濃度交差点をスクリーニングした結果、測定局による観測がされていない地点で、ベンゾ[a]ピレンが高濃度になっている可能性がある地点が存在することを指摘することができた。また、リスクレベルの観点から環境基準を満たしていない地点が存在するので、今後はベンゼンと同様に対策をしていくべきであることがわかった。

### 参考文献

- 1) EPA IRIS(Integrated Risk Information System) Substance file-Benzene, CASRN 71-43-2
- 2) 大阪府環境農林水産部環境管理室
- 3) 樋口澄洋:車載型排ガスサンプリング装置を用いた実走行車からのVOCs排出量の測定  
2007年度大気環境学会講演要旨集Vol.48, p.541(2007.9)
- 4) Nisbet and LaGoy:TEFs for PAHs.:Reg. Toxicol. Pharmacol.16,pp.290-300,1992
- 5) 環境省:PRTRインフォメーション  
平成18年度届出外排出量推計方法の詳細
- 6) 平成11年度道路交通センサス一般交通量調査
- 7) 大阪市計画調整局 平成12年度土地利用現状調査
- 8) 環境GIS HP [http://www-gis.nies.go.jp/GIS\\_index.asp](http://www-gis.nies.go.jp/GIS_index.asp)
- 9) 厚生労働省 平成20年度リスク評価物質有害性評価書(暫定版)
- 10) 化学物質ファクトシート2007年度版
- 11) 環境省 発がん性評価  
HP [http://www.env.go.jp/air/osen/mon\\_h13/ref\\_02.html](http://www.env.go.jp/air/osen/mon_h13/ref_02.html)