

## 4.7 ベンゼンのリスク評価（横浜国大研究グループ）

### 1) 背景と目的

日本の環境政策においては、規制に先だってリスク評価に基づいた費用対効果について鑑みられることがほとんど行われていない。人に対する発ガン性物質であるベンゼンについては、1997年に有害大気汚染物質にリストアップ、大気中の環境基準値が設定され(3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )、2000年からはガソリン中ベンゼン含有率の上限値の低減(5体積パーセントから1体積パーセント)という対策がとられた。しかしこれらの対策が日本全体に対する人口集積的なリスクをどれほど減少させるのかという定量的な議論は行われずに施行された。

本研究ではベンゼンへの対策がもたらしたリスク削減の定量化およびリスクベネフィット解析を行い、新規規制物質への対策のケーススタディとして提示することを目的とした。

### 2) 大気中ベンゼン濃度の推計

#### 2) - (1) 指標物質の選定

ベンゼンのリスク評価には全国の大気中ベンゼン濃度の把握が必要であるが、サンプリングおよび化学分析を全国で行うことは時間的にも費用的にも高コストである。日本では全国約2000ヶ所に設置された大気測定局において、古典的大気汚染物質の常時監視を行っている(表4-7-1)(環境庁, 1998a)。これらの古典的大気汚染物質データを指標物質として活かすことができれば、ベンゼン濃度を低コストかつ迅速に予測することが出来る。

日本におけるベンゼンの発生量の約8割が自動車からの排出である。古典的大気汚染物質の中で自動車からの排出量が多いものはCO, NO<sub>x</sub>, SPMであるが、SPMは粒子状物質であり大気中での挙動がベンゼンと異なるため指標物質として適さない。COは自動車由来の割合が49%と比較的高いが、測定局数が少なく指標物質として適していない。NO<sub>x</sub>は自動車由来の割合は25%と必ずしも大きくないが、自動車以外の

表4-7-1. 大気測定局での測定物質と測定局数

発生源が火力発電所、船舶、航空機など人間の居住環境に比して排出高度や区域が離れていることから、居住環境のNO<sub>x</sub>濃度に対する自動車排出分の寄与は大きいと思

物質	自動車排出ガス測定局		一般環境大気測定局	
	市町村数	測定局数	市町村数	測定局数 <sup>1</sup>
NO <sub>x</sub>	232	389	708	1458
SPM	175	254	707	1526
O <sub>x</sub>	24	38	642	1139
CO	210	339	125	150
SO <sub>2</sub>	82	105	701	1595
NMHC	121	179	257	359

(1997年度値、NO<sub>x</sub>:窒素酸化物、SPM:浮遊粒子状物質、O<sub>x</sub>:光化学オキシダント、CO:一酸化炭素、SO<sub>2</sub>:二酸化硫黄、NMHC:非メタン炭化水素、<sup>1</sup>有効測定局数)

われる。全国測定局における古典的大気汚染物質相互の相関係数（年平均濃度）においても、NO<sub>x</sub>とCOとの間の相関係数が最も高い。これはNO<sub>x</sub>とCOがともに自動車からの排出ガスからの寄与が大きいことを示している。よって本研究ではベンゼン濃度予測のための指標物質としてNO<sub>x</sub>を選択し、NO<sub>x</sub>濃度とベンゼン濃度との間の回帰式から全国のベンゼン濃度を予測することにした。

## 2) - (2) 大気中濃度の連続測定

大気中ベンゼン、NO<sub>x</sub>、CO濃度を、横浜国立大学環境科学研究センター（横浜市）建物3階において1時間に1回の頻度でサンプリングし測定した。測定に用いた装置系はベンゼンは大気濃縮装置(DKK,GAS-10)とFIDガスクロマトグラム(HP,HP6890)を用いた。NO<sub>x</sub>はザルツマン法による湿式連続測定装置(DKK)を用いた。

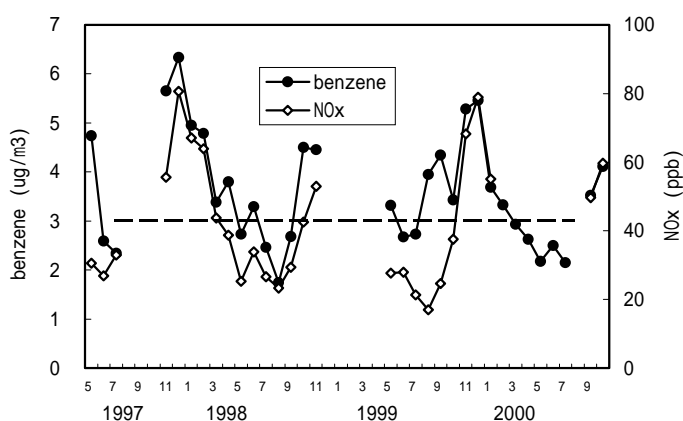


図4 - 7 - 1 . ベンゼンとNO<sub>x</sub>濃度の季節変動  
測定地点：横浜市横浜国立大学、破線は環境基準値

ベンゼン、NO<sub>x</sub>の濃度変動はよく類似しており、季節変動はともに夏低く、冬高いという濃度挙動を示した（図4 - 7 - 1）。これは冬季においては風速が小さく拡散が起こりにくいこと、また夏期には太陽光照射による大気化学反応がすすむことによると考えられる。ベンゼン-NO<sub>x</sub>の濃度間の関係は相関係数が0.86と高い相関を示した。1997年5月から1998年10月までのベンゼン濃度、B (ug/m<sup>3</sup>)とNO<sub>x</sub>濃度、N(ppb)との間の回帰式として次式が得られた。

$$B = 0.064 N + 0.90 \quad (R^2 = 0.67) \quad (1)$$

## 2) - (3) ベンゼン濃度予測手法の検証

本研究において横浜国大において測定されたベンゼン-NO<sub>x</sub>濃度はよい相関を示したが、関係式を全国に適用することの妥当性について検証するため、1997年度に環境庁が主導してモニタリングが行われた全国11都市におけるベンゼン、NO<sub>x</sub>濃度との比較を行った（図4 - 7 - 2）（環境庁、1998a, 1998b, 1998c）。その結果本研究で得られた濃度関係と全国の都市におけるそれとはよく一致し、本研究での測定によって得られたベンゼン - NO<sub>x</sub>濃度関係を用いて全国のベンゼ

ン濃度を予測することは妥当であることが示された。しかし、固定発生源周辺の一般環境および沿道において回帰式からずれる傾向も見られた。

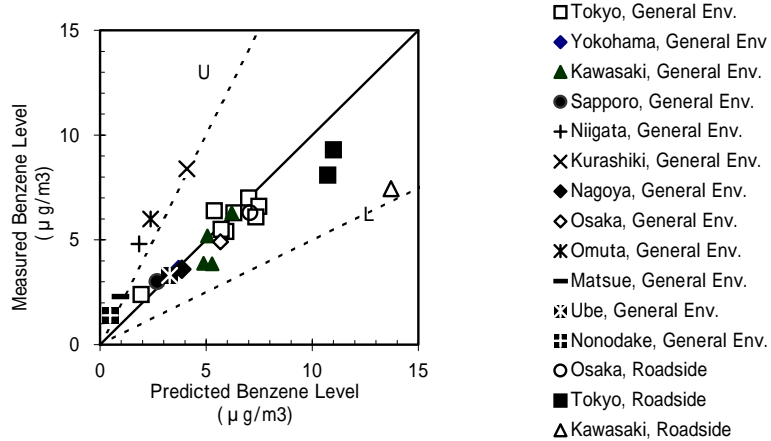


図4-7-2 回帰式の検証(1997年度)  
プロットは各測定地点での回帰式による予測値と実測値を表す。破線は95%予測区間。

2) - (4) ベンゼン濃度分布予測

ベンゼン-NOx 濃度間回帰式と大気測定局におけるNOxデータ(環境庁, 1998a, 1998b)

を用いて1997年度時点における全国市町村における大気中ベンゼン濃度を予測した。道路沿道における濃度は自動車排出ガス測定局のNOxデータを、一般環境における濃度は一般環境測定局におけるNOxデータを用いた。得られた大気中ベンゼン濃度、 $B_{ambient}(ug/m^3)$ 、を次式(Ono, 1998)を用いて個人曝露濃度、 $B_{personal}(ug/m^3)$ 、に変換した。

$$B_{personal} = 22.86 B_{ambient} / (4.265 + B_{ambient}) \quad (2)$$

2) - (5) 曝露人口分布の見積もり

ベンゼンは自動車から主に排出されるため沿道での濃度が特に高く、沿道人口を詳細に見積もる必要がある。米国EPAによって開発されたソフトCALINE3を用いて沿道の濃度が及ぶ範囲を30mと算出した。居住する人口の割合を東京都が沿道に対する騒音影響を調査した際の報告書データをもとに幹線道路沿道から30mの範囲に居住する人口を都市の全人口の10%と仮定して曝露人口の見積もりに用いた。図

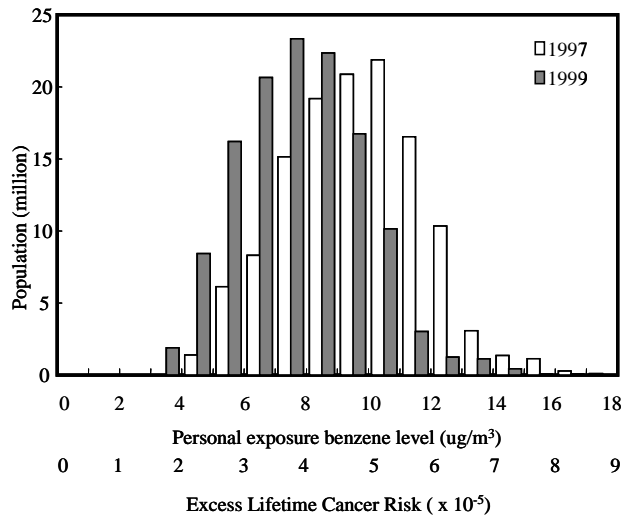


図4-7-3 個人曝露ベンゼン濃度および生涯発ガンリスクの曝露人口ヒストグラム

4-7-3に見積もられた個人曝露ベンゼン濃度と曝露人口との関係(1997年

度)をヒストグラムとして示す。

## 2) - (6) 人口集積リスクの定量

1年あたりの人口集積リスクを次式によって算出した。

$$R = U \sum_i B_{personal,i} P_i \quad (3)$$

ここでRは人口集積リスク、Uはベンゼンのユニットリスクであり米国EPAの提唱する範囲の平均値である $5 \times 10^{-6} (\text{m}^3/\text{ug})$ を用いた(U.S. EPA, 1998)、iは各市町村(都市域は沿道と一般環境を分別)、Pは各市町村の人口(U.S. EPA, 1998)、 $B_{personal}$ はベンゼンの個人曝露濃度であり(2)式で算出したものである。人口集積リスクは6015(ガン死)と見積もられそれを平均寿命(70年と仮定)で除した1年あたりの人口集積リスクは86(ガン死)と見積もられた。

## 3) 経年変化

### 3) - (1) ベンゼン排出量の経年変化

ベンゼンの排出量と排出量の削減の各関係団体からの報告値は表4-7-2にまとめたとおりである。全排出量に対する寄与割合が最も高いのは自動車(2輪車含む)であり76%(1997年時点)である。ベンゼン排出量は1997年度時点と比較して1999年度には25%減少した。

### 3) - (2) ベンゼン濃度の経年変化

横浜国大における大気中ベンゼン濃度、NO<sub>x</sub>濃度(それぞれ日平均濃度)との間の回帰式は図4-7-4に示すように変化した。

$$B = 0.064 N + 1.04 \quad (R^2 = 0.79, 1997 \text{ 年度}) \quad (3)$$

$$B = 0.067 N + 0.81 \quad (R^2 = 0.65, 1998 \text{ 年度}) \quad (4)$$

$$B = 0.039 N + 2.31 \quad (R^2 = 0.40, 1999 \text{ 年度}) \quad (5)$$

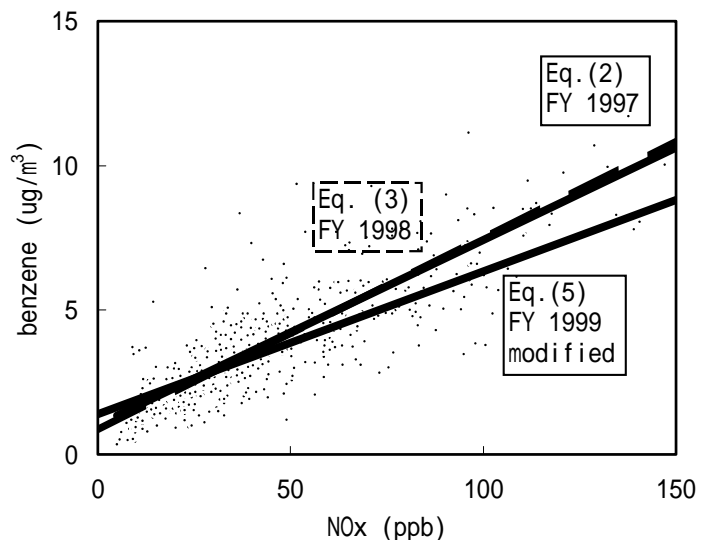


図4-7-4. 1997年度、1998年度、1999年度におけるNO<sub>x</sub>とベンゼン濃度の回帰式の変化

ただし1999年度の夏期には東風のときにベンゼン濃度がNO<sub>x</sub>や他の物質濃度に比して顕著に高くなるという、臨海工業地域の

固定発生源の影響が疑われる現象が観察されたため、その時期のデータを意図的に除外した。回帰式の傾きは1997年度に比べて1999年度には31%減少した。環境庁によって測定された全国11ヶ所のベンゼン濃度測定値（環境庁、2000a）と大気測定局におけるNO<sub>x</sub>濃度（環境庁、2000b）との比は1997年度に比して1999年度には36%減少した。以上のデータから本研究では大気中ベンゼン濃度は気象条件の各年のばらつきを補正したとしても1997年度から1999年度にかけて3割減少したとみなし推算を行った。

### 3) - (3) 曝露人口分布と人口集積リスクの経年変化

1997年度から1999年度かけての個人曝露ベンゼン濃度と曝露人口との関係の変化を図4-7-3に示す。曝露人口のピークは10-11ug/m<sup>3</sup>から7-8ug/m<sup>3</sup>に変化したことがわかる。人口集積リスクは1997年度が86(ガン死)であったものが1999年度には69(ガン死)と17(ガン死)減少したと推算された。

### 4) 費用対効果分析

ベンゼン排出量の削減にはガソリン中ベンゼン含有率の削減以外にも、自動車そのものに対する対策、ベンゼンを排出する固定発生源に対する対策があったが、表4-7-2からもわかるように1997年度から2000年にかけての変化に最も影響を与えたものはガソリン対策であったと考えられる。本研究ではガソリン対策によってベンゼン濃度の低下が生じたと仮定し、費用対効果も見積もった。(ガソ

リン対策以外の対策にかけた費用を無視しているという理由から、費用対効果は実際よりも小さめに見積もられる。)

石油連盟の試算によればガソリン対策には装置への初期投資として1800億円を投じており、

表4-7-2. ベンゼン排出量の変化

Fiscal year	before regulation	1995	1997	1998	1999
Benzene in Gasoline (vol. %) <sup>a)</sup>	2.3	2.2	1.4	1.1	under 1%
Vehicle					
Gasoline Vehicle <sup>a)</sup>	9496	9840	9450	7100	5896
Gasoline Motorcycle <sup>c)e)</sup>	5096	4978	4133	3816	3605
Diesel Vehicle <sup>d)</sup>	1600	1600	1600	1600	1600
Discharge from storage, shipment and supply processes of petroleum <sup>a)</sup>	1333	1337	1019	849	671
Discharge from production and usage processes of benzene <sup>c)b)</sup>	3960	4251	3287	2504	2740
Others(Coke furnace, Incineration byproducts) <sup>f)g)</sup>	760	760	504	329	459
Total Discharge	22245	22766	19993	16198	14971

a)Japan Petroleum Association, b)Japan Chemical Industry Association, c) Petroleum Council, d) Central Environment Council, e) Estimation of this work, f) The Iron and Steel Institute of Japan, g) Japan Paper Association

加えて運転費として1年あたり130億円が投じられている(西川, 1997)。初期投資について年利5%、25年償却を仮定すると1年当たりの合計費用は256億円であり、発ガン1件を削減するための費用としては16億円であった。

#### 5) 残された課題 固定発生源とPRTRの扱い

本研究では自動車排出ガス由来のベンゼンが日本の大気中のベンゼン濃度を決定しているという仮定のもとにリスク評価を行ったため、全国一律の回帰式の使用、また全国一律の削減割合の適用が可能であった。しかし、石油化学コンビナートなどの固定発生源周辺において局所的にベンゼンが高濃度となる事象については対象にできていない。今後は固定発生源周辺における局所的事象への展開が必要である。

またベンゼン排出量の報告値として各種関連事業者団体による報告値をそのまま使用したが、その報告値に大きな誤差が含まれている可能性が高いことが我々のこれまでの研究でわかってきた。化学物質によるリスク削減についての効率的な対策を講じるためには排出量をいかに正確に把握するかが重要である。

#### 6) まとめ

本研究では新規に規制が必要となる有害物質について、既存の物質のデータを用いて低コストで迅速に妥当なリスク評価および費用対効果分析をすることが可能なことを示すことができた。この手法は日本だけでなく、他地域、特に発展途上国におけるリスク評価に基づく化学物質排出対策に応用できると期待される。

#### 引用文献

- 環境庁., 1998a. 平成9年度一般環境大気測定局測定結果報告
- 環境庁., 1998b. 平成9年度自動車排出ガス測定局測定結果報告
- 環境庁., 1998c. 平成9年度地方公共団体等における有害大気汚染物質モニタリング調査結果
- Ono A., 1998. The study on the health risk assessment due to benzene using the Physiologically Based Pharmacokinetic (PBPK) Model. Master's Thesis, Graduate School of Engineering, Kyoto University.
- U.S. EPA ., 1998. Carcinogenic Effects of Benzene : An Update. EPA, 600, P-97, 001F.
- 環境庁., 2000a. 平成11年度地方公共団体等における有害大気汚染物質モニタリング調査結果
- 環境庁., 2000b. 平成11年度大気測定局測定結果報告
- 西川輝彦., 1997. 環境を考慮したガソリンの低ベンゼン化の促進. 高圧ガス, Vol.34, 634-635.