

大気に係る有害化学物質の曝露人口推計

川原博満, 池貝隆宏, 阿相敏明*, 小山恒人*, 加藤陽一*, 齋藤剛*, 武田麻由子*, 岡 敬一**
(企画部, *環境保全部, **情報交流部)

Estimation of the population exposed to hazardous chemical substances via air.

Hiromitsu KAWAHARA, Takahiro IKEGAI, Toshiaki ASO*, Tsunehito KOYAMA*, Yoichi KATO*,
Tsuyoshi SAITO*, Mayuko TAKEDA*, Keiichi OKA**
(Planning Division, *Environmental Conservation Division, **Information and Communication Division)

キーワード: モニタリング, 大気モデル, GIS, 建物別人口, 曝露人口

1 はじめに

化学物質は、我々の生活に欠くことのできない有用なものである反面、人や生態系に対して何らかの有害性を持っている。従って、この化学物質を製造・使用・廃棄の各段階でしっかりと管理することが、環境汚染の防止につながり、より快適な生活をもたらすと考えられる。

これまでの化学物質管理において、重要な指標の一つに化学物質の毒性があった。しかしながら、毒性の強い化学物質でも十分な管理のもとで曝露量が小さければ、人や生態系に対する影響は少ないと考えられ、逆に、毒性の小さい化学物質でも、長期間かつ大量に曝露されると影響が現れる可能性もある。

このような考え方から、近年では化学物質の有害性と、人や生態系への曝露量との関係を見る環境リスクの概念が重要視されるようになり、環境リスクに関する研究が多くの研究機関で進められている¹⁾。当センターでもこれまで、モニタリングデータを用いた環境リスク評価²⁾や化学物質排出移動登録制度 (PRTR) データを用いた県内の地域特性評価³⁾を行ってきた。

本研究ではこれらを踏まえて、環境リスクの評価対象のうち、「大気経由の人への影響」を評価することを目的として、曝露量に相当する環境濃度を大気モデルにより推計し、有害性をもとに濃度ランクごとに曝露される人口の推計を幾つかの手法を用いて行ったので、その結果を報告する。

2 方法

2. 1 環境リスク評価の範囲と手順

化学物質の曝露経路は主に、吸入、経口、経皮の3つの経路がある。本研究では、大気経由の曝露を対象とするため、吸入曝露のみを対象とした。

また、一般的な環境リスク評価は、有害性評価、用量-反応評価、曝露評価、リスク判定の手順で行われる。本研究では有害性評価、用量-反応評価は文献調査のみとし、調査結果のユニットリスクを用い、曝露評価、リスク判定を研究の範囲とした。

そこで、曝露評価では、化学物質の曝露量として環境濃度を大気モデル推計により求めた。大気モデルを使用するにあたっては、自動車の排出係数が必要となるために、トンネル調査を実施し自動車の排出原単位の検討を行った。一般環境濃度を対象とする広域大気モデルは、有害モニタリング調査結果を用いて検証を行い、沿道大気モデルに関しては神奈川県内の国設厚木自動車排ガス測定局近傍で実測を行い、比較・検討を行った。

ついで、リスク判定では、モデルによる濃度推計結果と人口データを用いて、文献調査で得られた化学物質の有害性を意識した濃度ランクごとに曝露される人口の推計を行った。特に、沿道における曝露人口の推計においては、建物別人口推計方法を開発し、これを用いた狭域な沿道域の曝露人口推計を行った。

なお、事業所周辺におけるリスク評価は平成17-18年度に実施することを付け加えておく。

2. 2 有害大気モニタリング結果と対象物質

対象物質の選定をするために、神奈川県における有害大気汚染物質モニタリング調査（有害大気モニタリング）結果⁴⁾の年平均値を一般環境（一般局）、固定発生源周辺（固定局）、沿道（沿道局）の測定局属性ごとに平均し、ベンゼンについて全国平均⁵⁾と比較したものを図1に示し、ついで有害大気モニタリングの対象物質のうち、重金属類と酸化エチレン以外の物質に関して、一般局の年平均値に対する固定局、沿道局の年平均値の比を図2に示した。

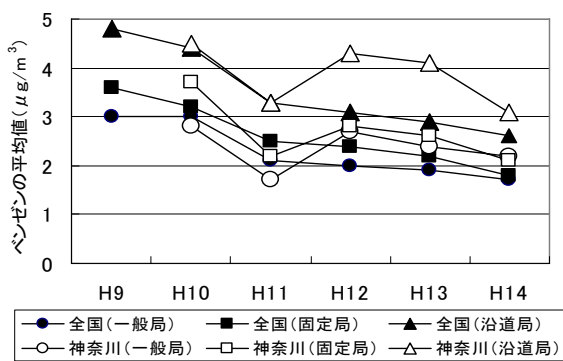


図1 有害大気モニタリング測定局の属性別平均値の経年比較（ベンゼン）

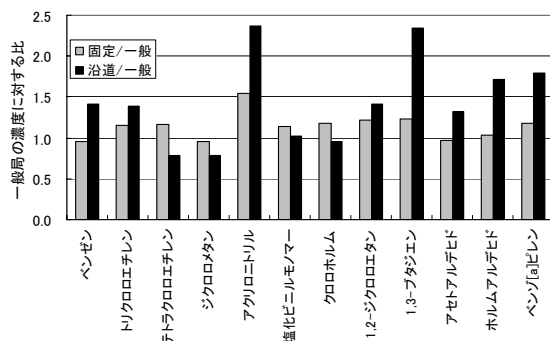


図2 一般局に対する固定・沿道局の物質別濃度比（平成14年度 神奈川県）

図1のベンゼンの例に示されるように、自動車から影響が考えられる大気汚染物質の濃度は全体的には緩やかな減少傾向にあるものの、図2に示されるように、ベンゼン、1,3-ブタジエン、アルデヒド類、ベンゾ[a]ピレンは沿道域で依然として高い値であることが分かる。

本研究では、図2の値が比較的高いもので、リスク評価に必要なユニットリスクが示されているベンゼンと1,3-ブタジエンを対象物質として

取り上げ、リスク評価を行ったが、本報告では、その内1,3-ブタジエンに関する結果を示す。

また、トンネルおよび沿道調査では、これら2物質に加えて4つの揮発性有機化合物（VOC）とアセトアルデヒド、ホルムアルデヒド、窒素酸化物（NOx）、浮遊粒子状物質（SPM）および多環芳香族炭化水素族（PAHs）についても調査を行い、物質間の相関を確認した。なお、ベンゾ[a]ピレン等のPAHsに関するものは、昨年度の報告⁶⁾にまとめた。

2. 3 トンネル調査

2. 3. 1 目的および対象地点の設定

本研究におけるトンネル調査の目的は、トンネル内に排出された化学物質を実測することにより、幾つか報告書に示されている自動車の排出係数⁷⁾を検証することにある。

対象地点は、図3に示すような神奈川県内の高速道路の全長約2kmのトンネルにおける中央部分の1km隔てた2点とした。このトンネルは上り下りで独立しており、ビデオ撮影により確認した一日の自動車走行台数は一方向で約37,000台、大型車混入率は31~48%であり、自動車の平均走行速度はおよそ80km/hであった。

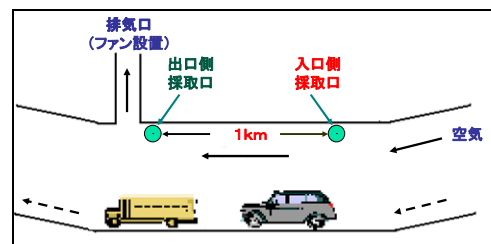


図3 調査地点の概念図

2. 3. 2 調査期間およびサンプリング

調査は平成15年12月と平成16年10月の平日2日間にわたり、表1に示す午前、昼、午後、夕方の4時間帯にサンプリングを行った。

表1 トンネル調査のサンプリング時間帯

調査番号	日	時間帯
1	1日目	13:00~15:00
2	1日目	15:00~17:00
3	2日目	9:00~11:00
4	2日目	11:00~13:00

サンプリングにあたって、VOCは真空状態に減圧したステンレス製容器で捕集し、アルデヒド類はSep-Pak DNPHカートリッジに吸着させ、SPMはアンダーセンサンプラーにより、粒径 $10\mu\text{m}$ 以上(PM(>10)), 粒径 $2.5\sim 10\mu\text{m}$ (PM(2.5-10)), 粒径 $2.5\mu\text{m}$ 以下(PM2.5)に分級捕集し、NO_xはテドラバッグに採取した。

2. 3. 3 分析方法

VOCは、測定試料を濃縮後、ガスクロマトグラフ質量分析計(GC/MS)に導入し分析を行った。

アルデヒド類は、測定資料をアセトニトリルで抽出し、GC/MSに導入し分析を行った。

NO_xは、化学発光方式を用いて測定した。

2. 4 沿道調査

2. 4. 1 目的と対象地点の設定

沿道調査の目的は、沿道大気モデルの推計範囲の設定とモデルの検証のために、道路からの直接の影響範囲と減衰傾向を実測結果から把握することにある。

調査地点は、図4に示す厚木市内の神奈川県県央地区農政事務所および神奈川県厚木合同庁舎の2地点の他、国道246号から東に1kmほど離れた厚木市分庁舎の計3地点とした。

一般的に道路からの直接の影響は数十mといわれており^{7), 8)}、ほぼ南北に走る国道246号を対象として、道路端から東西方向に20mの間隔で捕集器を設置した。

図4の測定点の名称は国道246号の東側をE、西側をWとし、数字は道路端からの距離(m)を示す。なお、厚木市分庁舎はE945とした。



図4 調査地点

なお、国道246号のこの区間の交通量は、平成11年度道路交通センサス⁹⁾によれば、平日24時間の交通量が82,365台であるのに対し、平成16年の5,6,7月の沿道調査時に本研究において測定した3回の24時間交通量の平均値は88,126台であり、7%弱の伸びが見られていた。

2. 4. 2 調査期間およびサンプリング

調査は平成15年8月から平成16年7月までの毎月1回、計12回行った。サンプリングは真空状態に減圧したステンレス製容器を用いて連続24時間、高さ1.5mにおける大気試料を捕集した。また、分析方法は2.3.3と同様である。

2. 5 大気モデルによる濃度推計

2. 5. 1 目的と対象地域の設定

環境リスク評価に必要な曝露量に相当する環境濃度を把握するため、調査地点の値を補間し、より広範囲な環境濃度を大気モデルにより推計した。

対象地域は、広域モデルでは神奈川県全域を対象とし、沿道モデルでは、図5に示すように厚木市水引1丁目及び2丁目を対象とした。濃度推計は丁目境を走る国道246号を発生源として行った。

図5の国道246号線の沿道は近隣商業地域および商業地域に指定されており、公共施設の建物も比較的多い。住居地域はこれらの後背に位置し、周辺には工場等は存在しない地域である。居住人口は水引1,2丁目あわせて2,590人となっており、本研究の沿道モデルの曝露人口の推計対象人口となる。

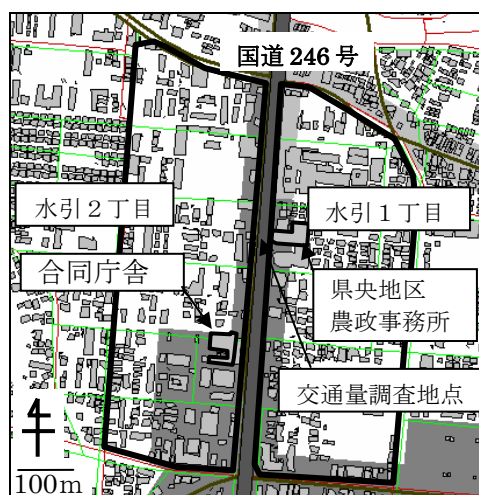


図5 沿道調査地域

2. 5. 2 大気モデルに必要な発生源データ

大気モデルに用いる発生源データは、環境リスクの評価を行う1,3-ブタジエン、ベンゼンに対して図6に示す範囲で整備した。県外の排出量は、PRTR データを集計した総排出量を3次メッシュ単位に整備したデータを(社)環境情報科学センターより入手し、また、県内の排出量に関しては、表2に示すように、PRTR データの推計方法¹⁰⁾を参考に推計を行った。

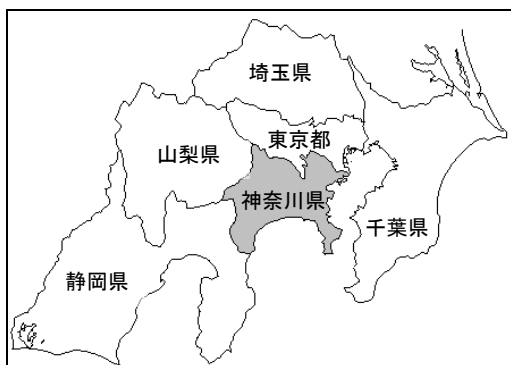


図6 排出量整備の範囲

表2 県内の発生源データ整備一覧

発生源の区分	発生源の形態		
	固定発生源	群小発生源	移動発生源
製造業	量: PRTR 位置: 目視	量: 各種統計 位置: PRTR	-
石油卸・販売	-	量: 各種統計 位置: 目視で点源化	-
製鉄・製紙業	量: PRTR 位置: 目視	-	-
自動車	-	量: 各種統計 位置: DRM	量: 各種統計 位置: DRM
船舶、航空機	-	量: 各種統計 位置: PRTR	-
特殊機械	-	量: 各種統計 位置: DRM, PRTR	-

(PRTR と比較し独自推計結果の方が多いもの , 少ないもの)

固定発生源である製造業、製鉄・製紙業などの事業所データは PRTR の排出量を用い、モデル推計に不可欠な位置情報は地理情報システム(GIS)を用いて目視で敷地内の工場建屋の中心の緯経度を取得し整備した。

自動車に関しては、平成11年度道路交通センサスを全国デジタル道路地図データ(DRM)をGIS上で結合させて整備したものに、2.3で検討した排出係数を乗じて求めた。

固定発生源以外の事業所や航空機、船舶、特殊機械などの群小発生源の排出量データは PRTR データの推計方法を参考に、県独自のデータをもとに、より精緻な排出量を求め、3次メッシュデータとして整備した。

なお、事業所の位置データを PRTR データの届出住所から緯度経度変換ツールを用いて取得した場合と目視により取得した場合の緯度経度の差(距離)を図7に示す。全体の90%程度は300mの差に収まっているが、1kmメッシュの空間精度をもつ広域のモデルでは残りの10%のデータに注意が必要である。今回はすべて目視のデータを用いたが、このことは、排出量の管理のみを目的とした PRTR データ等をモデルの入力データとして用いる場合に注意すべき事柄であり、自動車などのその他のデータにも共通することである。

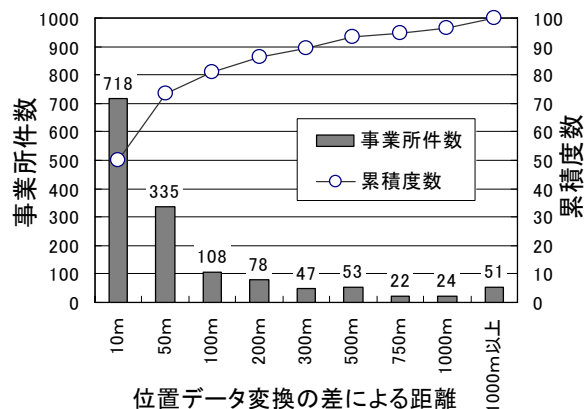


図7 位置データ変換方法による差

2. 5. 3 広域モデルを用いた濃度推計

広域のモデルとしては、神奈川県全域を扱うことができることと、入力データの利用可能性を考慮して「窒素酸化物総量規制マニュアル」¹¹⁾の拡散モデル(総量規制モデル)を採用した。

総量規制モデルでは、固定発生源に点源プルーム・パフ拡散式を用い、また、自動車のセンサス対象道路などの線源に対しては正規型拡散式を、自動車のセンサス対象外道路及び群小発生源に対しては面源のプルーム・パフ式を用いた。

さらに気象データには常時監視局の風向・風速を使用し、計算点は県内をカバーする3次メッシュ(約1km四方)の midpoint とした。

2. 5. 4 沿道モデルを用いた濃度推計

沿道環境の複雑な要因(気象、構造物、地形)を考慮した一般的に利用可能なモデルは多くない。

そこで本研究では、幾つかの制限を許容し、既存のモデル推計を行うこととした。

図5に示した対象地域は、地形が平坦であり、道路も高架構造とはなっていない。また、沿道に沿って2,3階建ての建物が多く並んでいるが、駐車スペースなどの空間も広く確保されている。

これらのことから、本研究では、建物の影響を考えないものと仮定し、平坦な地域での高架の無い道路を想定し、一般的に利用可能な経済産業省で開発されたMETI-LISプログラム¹²⁾を使用することとした。なお、このソフトの線源モデルの拡散式は、点源ブルーム式をシンプソンの公式により数値積分したものが用いられている。

発生源は国道246号のみとし、平成15-16年度交通量として2.4.1で示した実測交通量の平均を用い、平成11年度道路交通センサスの車種構成を考慮した。排出係数は前述したように、トンネル調査での検討の結果、産総研化学物質リスク管理研究センター(CRM)のもの¹⁾を用いた。

さらに、気象データは平成13年度横浜アメダスデータを用い、計算点は約10m四方のグリッドを用い、高さは人の身長を考慮して1.5mとした。

2. 5. 5 人口データの推計

化学物質に曝露される人口を推計する上で、沿道域や事業所周辺などの狭い範囲で濃度分布がある程度詳しく推計されている場合には、人口分布の空間精度が重要になってくる。そこで、沿道域の環境リスク評価を行う際に使用する人口データを以下の3通りの方法で検討した。

- 1) 国勢調査の第3次地域メッシュ(約1km四方) 別人口データとして使う場合(図8)。
- 2) 国勢調査の調査単位区(丁目単位程度: 図9の黒枠) 別人口データとして使う場合。
- 3) 調査単位区データを建物へ按分して建物別人口データを推計して使う場合(図9の建物)。

一般に、国勢調査の人口集計単位区である調査単位区は市街地では丁目程度に細かく、郊外ほど粗い。県内では図10に示すように、殆どが3次

メッシュの1/4以下の面積である。

また、建物別人口の推計は、調査単位区の人口を調査単位区ごとに集計した建物の居住用途総床面積で除し、この値を個々の建物の居住用途床面積に再度掛けることで求めた。

なお、人口データはすべて国勢調査をベースとしており、居住人口あるいは夜間人口である。

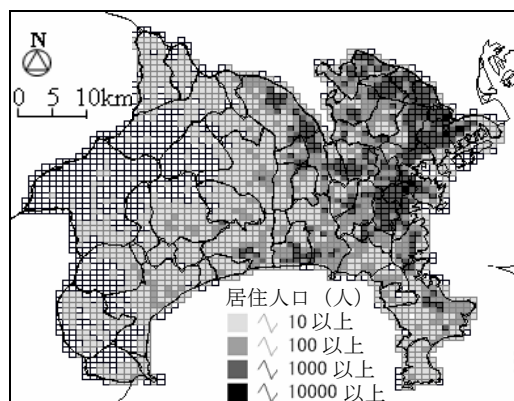


図8 国勢調査の3次地域メッシュデータ

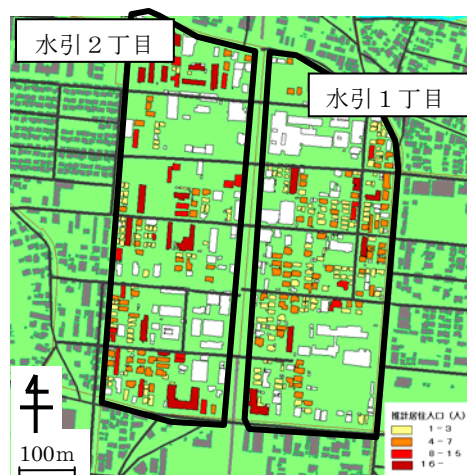


図9 調査単位区と建物別人口データ

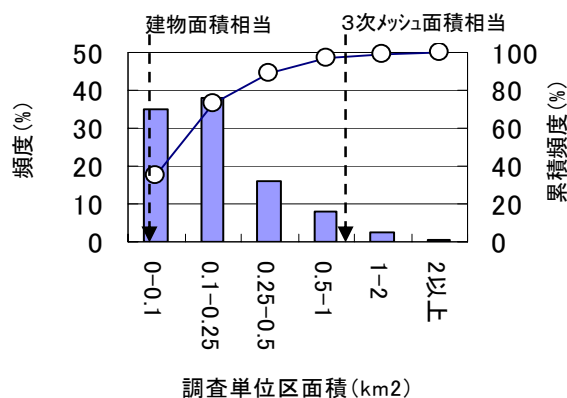


図10 県内の調査単位区の面積

3 結果と考察

3.1 トンネル調査の結果と考察

2.3で行ったトンネル調査の結果を図11に示す。この図には、表1に示したトンネル調査の調査番号ごとの各時間帯の走行量を用いて、平成13,14年度のPRTR推計方法による推計値、CRMの排出係数を用いた推計値と平成15年度のトンネル調査の実測値をあわせて示している。

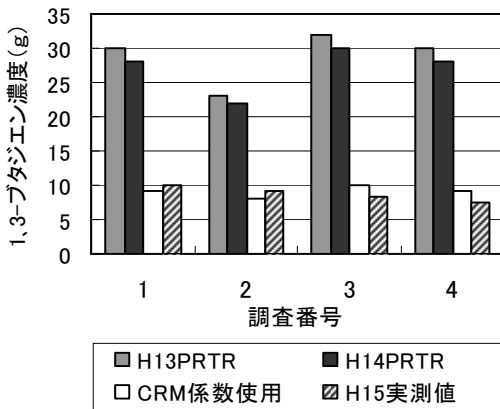


図11 トンネル調査結果と推計値の比較

これによれば、PRTRの推計値と比較して、CRMの排出係数を用いた推計値の方が、トンネル調査の実測値により近いことが分かった。

3.2 沿道調査の結果

2.4の沿道調査の結果を図12に示す。いずれの物質においても、道路からの減衰がよく見られるが、沿道からおおよそ40m以上離れると他の道路の影響により、減衰があまり見られなくなっている。

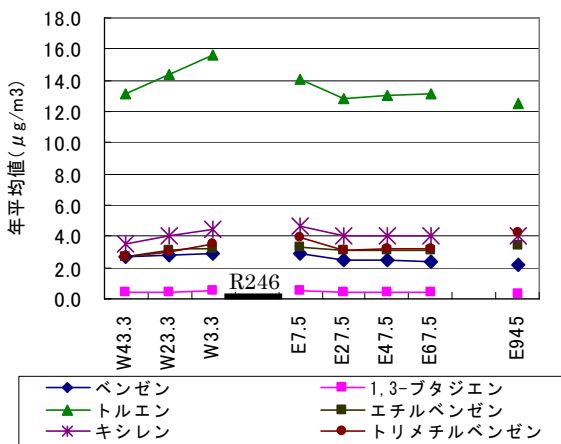


図12 沿道調査の結果

濃度の減衰が見られなくなった E67.5 の濃度は E945 の濃度と比較して、ベンゼンで1.13倍、1,3-ブタジエンで1.36倍となっており、国道246号の影響のみでなく周囲の道路からの影響を受けていることが考えられる。

一方、最も国道246号に近いE7.5の濃度とE945の濃度を比較してみると、ベンゼンで1.37倍、1,3-ブタジエンで1.82倍となっている。なお、ベンゼンの年平均値は、いずれの測定地点においても、環境基準値の $3\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えることはなかった。

3.3 広域濃度推計の結果と考察

広域モデルによる1,3-ブタジエンの推計結果を図13に示す。相対的に濃度の高い所は、事業所の多い所と交通量の多い高速道路沿道のあたりであるが、 $1.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるようなメッシュは臨海地域以外では存在していない。また、有害大気モニタリング結果との比較を図14に示した。これによれば、3倍を超えることは無いものの、推計値の方が大きな値を示しており、さらなるモデルのパラメータ等の調整の必要性が示唆される。

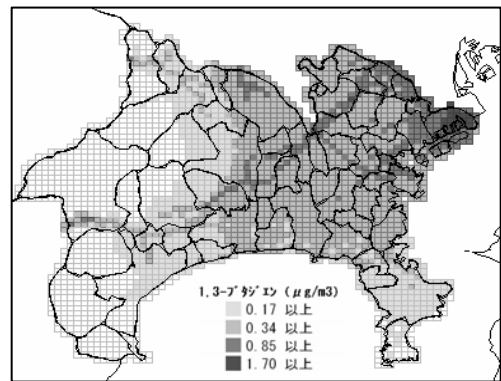


図13 1,3-ブタジエンの広域濃度推計結果

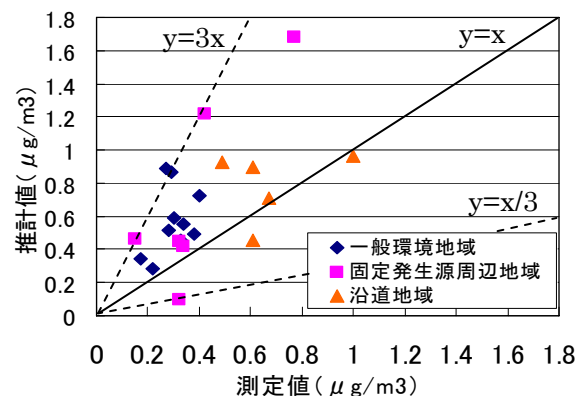


図14 モデルの検証結果 (1,3-ブタジエン)

3. 4 沿道濃度推計の結果と考察

1,3-ブタジエンの沿道調査結果と METI-LIS による推計値を図15に示す。ここで、推計値にはE945の濃度を加算したものを示している。

推計値は道路近傍で測定値よりも高くなっているが、減衰が緩やかなため、E47.5, E67.5のように、約40m以遠において、他の道路の影響を受けた測定値の方が高い値を示している。加えて、W23.3地点よりもW43.3地点の測定値が高いのは、国道と平行に走る裏通りの細道路からの影響であると思われる。

また、国道の西側(Wの測定地点)の推計値が測定値よりも比較的高く推計されているが、これは気象データとして、東風の出現頻度が高い横浜アメダスのデータを使用したことによるものであると考えられる。

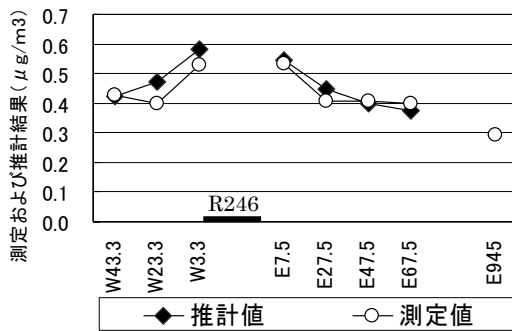


図15 1,3-ブタジエンの測定値と推計値の比較

次に、推計値の平面分布を図16に示した。0.4 μg/m³以上の領域は、およそ歩道端から50m幅の区域内であることが分った。また、0.6 μg/m³以上の濃度区域はほぼ道路上にのみ存在し、建物の存在する街区の領域には存在しなかった。

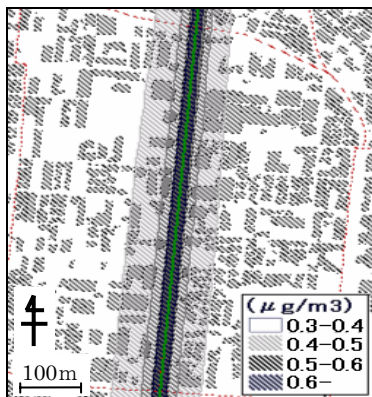


図16 1,3-ブタジエンの平面分布の推計結果

3. 5 広域曝露人口推計の結果と考察

ベンゼンと1,3-ブタジエンの発ガン性に注目したリスクの判定のため、広域モデルで推計した1,3-ブタジエン濃度(図13)とベンゼン濃度を曝露濃度として、図8で示した3次メッシュ人口と重ね合わせ、曝露人口の推計を行った。

曝露人口の推計には、ベンゼンの環境基準 $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (10^{-5} リスク相当) と 1,3-ブタジエンの $1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (10^{-5} リスク相当) の濃度を参考にし、曝露人口を図17のように見積もった。ここで、1,3-ブタジエンのユニットリスクは CRM の報告書¹⁾を参考に、Environment Canada, Health Canada (2000) の報告書¹³⁾にある 10^{-5} リスク $1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を採用した。

図17によれば、点線で示した値をともに超えるメッシュの居住人口は、県全体の0.5%であった。

また、事業所からの排出を30%、自動車からの排出を15%削減した場合の効果の見積もりを図18に示した。両物質ともに超えるメッシュは無い。

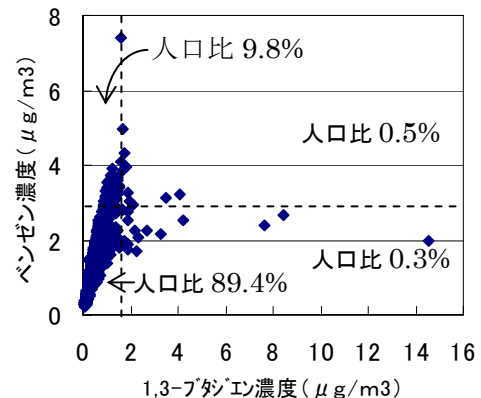


図17 メッシュ別曝露濃度と曝露人口 (H13)

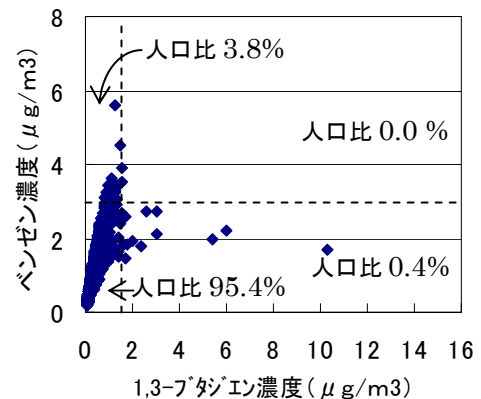


図18 メッシュ別曝露濃度と曝露人口 (対策後)

3. 6 沿道域における曝露人口の推計結果

広域曝露人口推計の場合と同様に、図16の1,3-ブタジエンの平面分布と2.5.5の3つの方法で推計した人口分布とを重ね合わせ、沿道域における曝露人口の推計を行った。推計には面積按分などの空間解析を必要とするため、GISを活用した。2.5.5で示した3つの人口データを用いて濃度ランクごとに曝露人口を集計した結果を図19に示す。

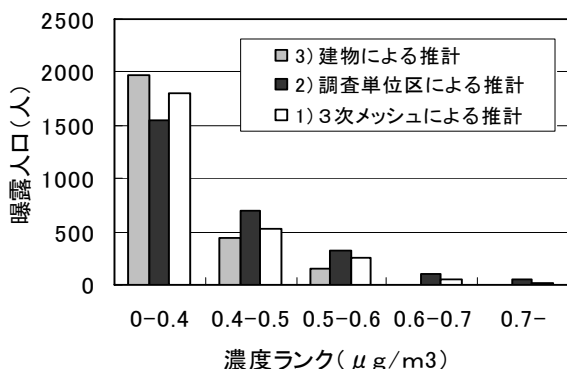


図19 1,3-ブタジエンの曝露人口推計結果

対象地域の1,3-ブタジエン濃度は図15に示した沿道調査結果や図16の推計結果からも分かるように、沿道の近傍に $0.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の高濃度域がある。しかしながら、図9からも分かるように、そのような場所には建物は無いために3)建物別人口による推計では曝露人口は現れない。一方、1)3次メッシュと2)調査単位区による推計では、道路の上まで人口密度が存在し、高濃度のコンターの面積に比例して曝露人口が割り振られるため、曝露人口が存在する。

これらの差異を避けるためにも、狭い範囲の環境リスク評価では駐車スペースや建物の偏在性を考慮できる建物別の人口を用いる方が現実的であることが分かる。

なお、この地域では、 10^{-5} リスクの $1.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ と比較しても環境リスクは小さいことがわかる。

4 まとめ

リスク評価手法に基づき曝露評価、リスクの判定を行った。広域における評価では、環境リスクの比較的高い地域は、県下でも事業所の集合している地域や高速道路沿いの一部の地域であることが分かった。

また、建物の位置を考慮した沿道における曝露人口推計方法は、沿道のような比較的狭い範囲では現実的であり、今後実施予定の事業所周辺に対する環境リスク評価においても、敷地境界から一定の狭い範囲の評価を行う場合には有効であると思われる。

5 謝辞

本研究の排出量の整備において、他県のPRTR 3次メッシュデータをご提供いただいた(社)環境情報科学センターの方々に感謝致します。

参考文献

- (独)産業技術総合研究所化学物質リスク管理センター：詳細リスク評価書 1,3-ブタジエン Version 1.1 (2002)
- 加藤陽一, 杉山英俊, 高橋通正, 長谷川敦子, 須山芳明：パッシブサンプラーによるベンゼンおよび有機塩素化合物の多地点同時サンプリングと過剰発がんリスクの推計, 平成13年版神奈川県環境科学センター業務報告, 50~55(2001)
- 池貝隆宏, 岡敬一：PRTR対象農薬の地域別媒体別排出量推定法の検討, 平成15年版神奈川県環境科学センター業務報告, 45-51 (2003)
- 神奈川県：神奈川の大气汚染 (1999-2003)
- 環境省：<http://www.env.go.jp/air/osen/monitoring/>
- 杉山英俊, 齋藤剛：環境大気中における多環芳香族炭化水素の粒径別濃度分布と季節変動, 平成16年版神奈川県環境科学センター業務報告, 70-76 (2004)
- Kajihara, H., Ishizuka, S., Fushimi, A., Nakanishi, J.: Population risk assessment of ambient benzene and evaluation of benzene regulation in gasoline in Japan, Environmental Engineering and Policy, Vol. 2, No.1, 1-9(2000)
- 上原清, 山尾幸夫, 河田忠, 林誠司, 吉川康雄, 若松伸司, 森川多津子, 松本幸雄：交差点周辺の流れと拡散に関する実験的研究その5 幹線からの距離による濃度減衰について, 第43回大気環境学会講演要旨集, 350 (2002)
- (社)交通工学研究会：平成11年度道路交通センサス一般交通量調査 CD-ROM (2001)
- 平成14年度届出外排出量の推計方法の詳細 http://www.env.go.jp/chemi/prtr/result/past_todokedegai_siryoh14.html
- 公害研究センター：窒素酸化物総量規制マニュアル〔新版〕(2000)
- (独)産業技術総合研究所 化学物質リスク管理センター：第2回技術講習会テキストⅡ経済産業省一低煙源工場拡散モデル (MITI-LIS2) (2003)
- Environment Canada, Health Canada. Priority Substances List Assessment Report: 1,3-Butadiene. (2000)

特定研究 [平成15~16年度]

課題名：化学物質の地域リスク評価手法に関する研究