

[資 料]

大気中揮発性有機化合物の濃度トレンドと健康リスク評価

岡田 泰史* 中野 武

Health Risk Assessment and Concentration Trend of
Atmospheric Volatile Organic Compounds

Yasushi OKADA* and Takeshi NAKANO

*Environmental Safety Division, Hyogo Prefectural Institute of Public Health and
Environmental Sciences, 3-1-27 Yukihira-cho, Suma-ku, Kobe, Hyogo 654-0037, Japan*

To grasp health effect for an exposure to Volatile Organic Compounds (VOCs), health risk assessment has been carried out using atmospheric VOCs measurements during the last five years and the existing data on health effect evaluation. As a result, excess cancer incidence of some substances was more than 10^{-5} of criterion. And so from these substances concentration trend, the state and characteristic of environmental pollution were considered. This result suggested to be needed that emissions reduction measures should be proceeded from health effect standpoint.

I はじめに

揮発性有機化合物 (VOC) は、大気汚染防止法で「大気中に排出され、又は飛散した時に気体である有機化合物」と定義されており、(1) 大気排出量が多い (2) 事業場、自動車、家庭など発生源が多岐に渡っている (3) 光化学スモッグを引き起こす物質である光化学オキシダントの生成原因となる (4) 発がん性や神経障害などの有害性がある、といった特徴を有する成分が多く含まれている。

そのため、VOCの人への暴露量やVOC暴露による健康影響を把握することが重要である。地域毎の長期的な環境濃度測定により、暴露量の推定が可能となるが、VOCの成分により有害性の強弱は大きく異なるため、環境濃度の把握のみでは人への健康影響は不明である。そこで、健康影響を加味した評価が必要となる。

ここでは、最近5年間の環境濃度測定結果と既存の健康影響評価情報を用いることにより、地域におけるVOC暴露による健康リスクについて評価を行った。

その結果、健康リスクが判定基準よりも高いと推測された物質については、濃度トレンド等、さらに詳細な解析を行い、地域毎の汚染状況とその特徴について考察することにより、リスク低減対策を提案した。

II 方法

1. 環境濃度の測定方法

測定地点は一般環境2地点 (三田・豊岡)、道路沿道1地点 (芦屋)、固定発生源周辺1地点 (高砂) の計4地点である (Fig. 1)。調査期間は2003年4月から2008年3月までであり、この期間中、毎月1回の頻度で採取を行った。

測定対象物質はVOCのうち、健康リスクがある程度高いとして優先取組物質¹⁾に選定されている11物質、及び優先取組物質以外でPRTRデータ²⁾において大気排出量が多い物質とした (Table 1)。

これら16物質の採取及び分析は、既報³⁾に示した方

安全科学部

*別刷請求先: 〒654-0037 神戸市須磨区行平町 3-1-27
兵庫県立健康環境科学研究所センター
安全科学部 岡田 泰史

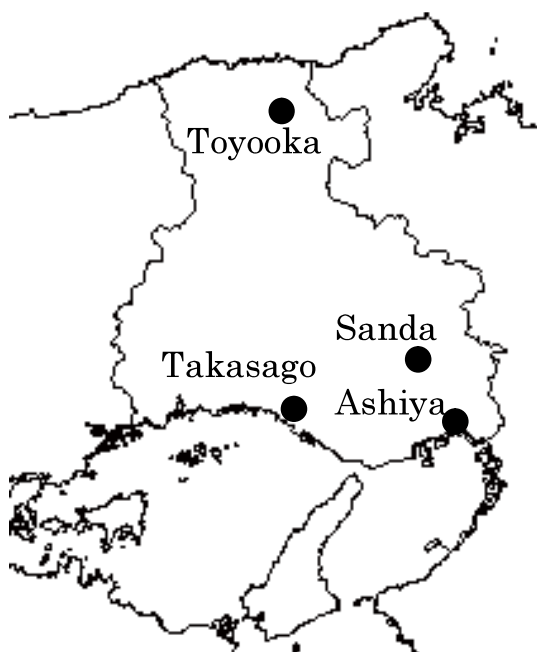


Fig. 1 Location of sampling sites

法で行った。なお、アセトアルデヒド及びホルムアルデヒドは高砂を除く3地点で採取した。

2. リスク値の算出方法

リスク値の算出には、非発がん性の有害影響の場合はハザード比 (HQ) を、また発がん影響の場合はがんの過剰発生率 (ΔR) を以下に示す式により算出した⁴⁾。

$$HQ = AC / RfC$$

$$\Delta R = UR \times AC$$

$$\left(\begin{array}{l} AC : \text{平均一日暴露濃度 (}\mu\text{g}/\text{m}^3\text{)} \\ RfC : \text{吸入参照濃度 (}\mu\text{g}/\text{m}^3\text{)} \\ UR : \text{ユニットリスク (per } \mu\text{g}/\text{m}^3\text{)} \end{array} \right)$$

ここで、吸入参照濃度とは一生吸入暴露されても有害影響が生じない濃度のことである。また、ユニットリスクとは吸入の場合、ある物質 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の大気濃度で一生暴露された時の過剰発がん率のことである。

なお、国内の基準濃度 (大気環境基準値, 大気指針値, 室内濃度指針値) は吸入参照濃度と同様の概念で設定されているため、本研究では基準濃度を吸入参照濃度として適用し、ハザード比の算出に用いた。ただし、塩化ビニルモノマー, 1,3-ブタジエン, 1,2-ジクロロエタン, ベンゼンは、発がん影響から基準濃度が設定されているため、US EPA (米国環境保護庁) の参照濃度⁵⁾を使用した。また、ユニットリスクは US EPA で評価されたもの⁵⁾を使用した。

Table 1 Health assessment information on measured substances

	Reference concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Unit risk ^{e)} (per $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Vinyl chloride monomer	100 ^{a)}	4.4E-6
1,3-Butadiene	2 ^{a)}	3.0E-5
Acrylonitrile	2 ^{b)}	6.8E-5
Dichloromethane	150 ^{c)}	4.7E-7
Chloroform	18 ^{b)}	2.3E-5
1,2-Dichloroethane	Not Assessed	2.6E-5
Benzene	30 ^{a)}	2.2~7.8E-6
Trichloroethylene	200 ^{c)}	Not Assessed
Tetrachloroethylene	200 ^{c)}	Not Assessed
Acetaldehyde	48 ^{d)}	2.2E-6
Formaldehyde	100 ^{d)}	1.3E-5
Toluene	260 ^{d)}	Not Assessed
Xylene	870 ^{d)}	Not Assessed
Ethylbenzene	3800 ^{d)}	Not Assessed
Styrene	220 ^{d)}	Not Assessed
p-Dichlorobenzene	240 ^{d)}	Not Assessed

a) Reference concentration for chronic inhalation exposure, Environmental Protection Agency, U.S.A.

b) Guideline value for hazardous air pollutant to reduce health risks, Ministry of the Environment, Japan

c) Environmental quality standard (Air quality), Ministry of the Environment, Japan

d) Guideline value for indoor air concentration, Ministry of Health, Labour and Welfare, Japan

e) Quantitative estimate of carcinogenic risk from inhalation exposure, Environmental Protection Agency, U.S.A.

各物質の参照濃度及びユニットリスクを Table 1 に示す。ここで、ベンゼンのユニットリスクは範囲として算出されているため、リスク値の算出には範囲の中央の値である 5.0×10^{-6} を用いた。

III 結果および考察

1. 各物質の検出状況

各物質の地点別平均濃度及び検出下限値を Table 2 に示す。

ここで、平均濃度は各地点における 2003 年 4 月から 2008 年 3 月までの測定結果 ($n=60$) の算術平均値を記載した。ただし、検出下限値未満 (ND) の検体が存在する場合には、当該検出下限値に 1/2 を乗じて得られた値を用いて平均値を算出した。

優先取組物質では、アセトアルデヒド、ホルムアルデヒドが全地点において比較的高濃度で検出された。また、塩化ビニルモノマー, 1,3-ブタジエン, アクリロニトリル, 1,2-ジクロロエタンは固定発生源周辺地点である高砂が他の地点よりも高い濃度で検出された。

PRTR データにおいて大気排出量が多い物質では、トルエン, キシレン, エチルベンゼン, p-ジクロロベンゼンが全地点において比較的高濃度で検出され

Table 2 VOCs concentration in sampling sites

	Average concentration ^{a)} (µg/m ³)				Detection limit (µg/m ³)
	Sanda	Toyooka	Ashiya	Takasago	
Vinyl chloride monomer	0.036	0.018	0.035	1.4	0.0030
1,3-Butadiene	0.16	0.11	0.19	0.38	0.013
Acrylonitrile	0.15	0.096	0.13	0.34	0.0030
Dichloromethane	1.7	2.0	1.8	1.9	0.030
Chloroform	0.29	0.26	0.28	0.53	0.013
1,2-Dichloroethane	0.089	0.071	0.090	0.41	0.013
Benzene	1.9	1.6	2.0	1.8	0.030
Trichloroethylene	0.17	0.08	0.24	0.33	0.030
Tetrachloroethylene	0.23	0.12	0.36	0.15	0.030
Acetaldehyde	3.5	3.0	4.4	—	0.15
Formaldehyde	3.5	2.9	4.9	—	0.20
Toluene	15	11	15	10	0.030
Xylene	7.4	7.1	8.5	3.8	0.030
Ethylbenzene	4.5	2.8	5.2	2.1	0.030
Stylene	0.98	0.69	0.98	1.7	0.060
p-Dichlorobenzene	11	2.4	6.1	2.8	0.050

a) April 2003 - March 2008 (n=60)

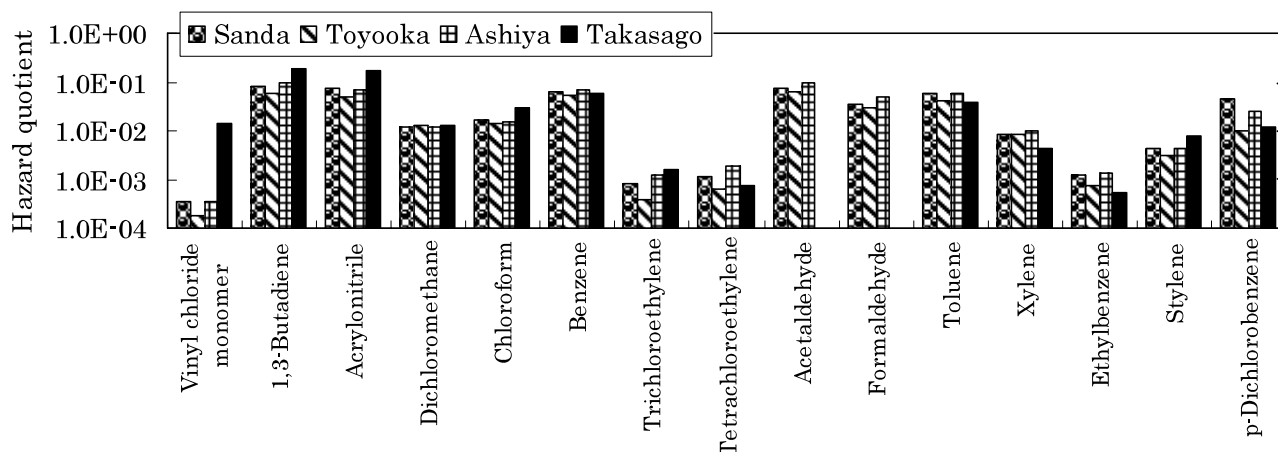


Fig. 2 Health risk estimation for VOCs by hazard quotient

た。

しかし先に述べたように、環境濃度の把握のみでは人への健康影響の度合いは不明である。そこで、得られた平均濃度を平均一日暴露濃度と仮定して、リスク値（ハザード比，がん過剰発生率）を算出した。

2. リスク値による評価

まず、非発がん性の有害影響を評価するため、各物質のハザード比を地点別に算出した。結果を Fig. 2 に示す。

ここで、ハザード比による判定基準では、1 以上で有害影響リスクが懸念されると判定される⁶⁾。

ハザード比は、高砂の 1,3-ブタジエン、アクリロ

ニトリルでそれぞれ 1.9×10^{-1} , 1.7×10^{-1} と比較的高い値となったものの、全地点、全物質で判定基準である 1 を下回っていた。従って、現時点で非発がん性の有害影響リスクはないと考えられる。

次に、発がん影響を評価するため、各物質のがん過剰発生率を地点別に算出した。結果を Fig. 3 に示す。

ここで、がん過剰発生率による判定基準では、 1.0×10^{-5} 以上で発がんリスクが懸念されると判定される⁷⁾。

がん過剰発生率は、高砂で 1,3-ブタジエン、アクリロニトリル、クロロホルム、1,2-ジクロロエタンが、芦屋でベンゼンが、また全地点でホルムアルデヒドが判定基準である 1.0×10^{-5} を超過していた。

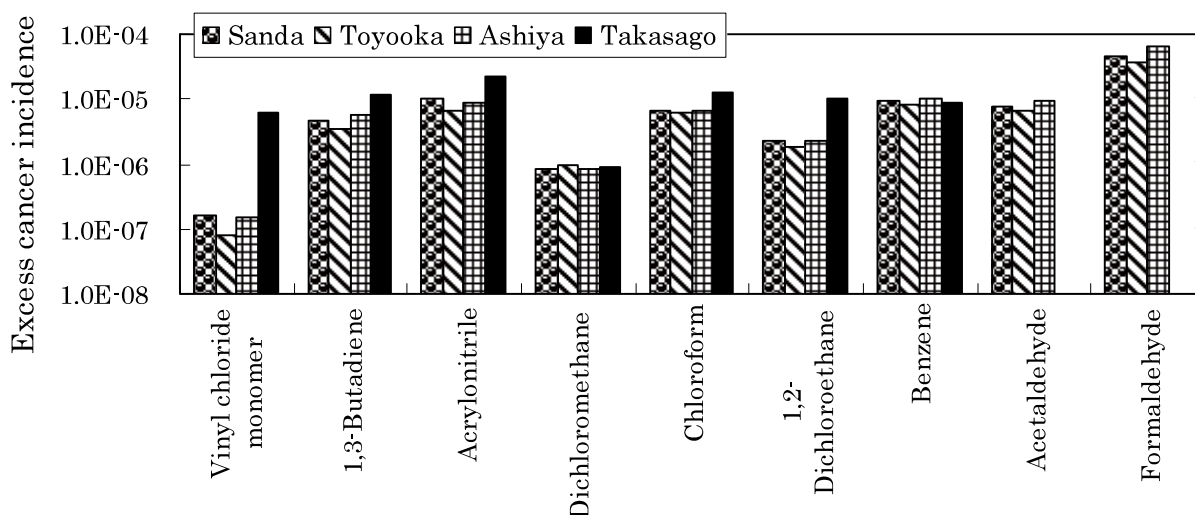


Fig. 3 Health risk estimation for VOCs by excess cancer incidence

3. 地点毎の汚染状況とその特徴

上述の評価で判定基準を超過した物質については濃度トレンド等、さらに詳細な解析を行った。ここではクロロホルム、ベンゼン、ホルムアルデヒドを一例として、解析結果をもとに、地域毎の汚染状況とその特徴について考察し、リスク低減対策を提案した。各物質の年平均濃度の推移及び季節別平均濃度を Fig. 4 に示す。

3.1 クロロホルム

がん過剰発生率で判定基準を超過した高砂では、年平均濃度は減少傾向となっており、事業所の自主的取組による排出抑制の効果が現れていることが示唆された。また、季節変動では、春季と冬季の濃度が高く、発生源の排出状況や気象条件の影響を受けていることが推測された。

以上から、クロロホルムによる健康リスク低減のためには、事業所からの排出抑制対策が必要であるものの、対策は比較的進んでいると考えられる。

3.2 ベンゼン

がん過剰発生率で判定基準を超過した芦屋では、年平均濃度は減少傾向で、2005年度以降は他地点との濃度差が小さくなっており、ガソリン中のベンゼンの含有量規制が強化されたこと（2000年1月 [5体積%以下→1体積%以下]）による排出抑制の効果が現れていることが示唆された。また、季節変動は全地点で夏季から冬季にかけて増加傾向となっており、大気安定度の影響をうけていることが推測された。

以上から、ベンゼンによる健康リスク低減のためには、自動車排ガスからの排出抑制対策が必要であるものの、対策は比較的進んでいると考えられる。

3.3 ホルムアルデヒド

ホルムアルデヒドは自動車など移動体からの排出量が多い⁸⁾ことから、年平均濃度は道路沿道地域の芦屋で他地点よりも高くなっている。

しかし、交通量が少ないと考えられる一般環境地域の三田と豊岡においても比較的高濃度で検出されており、がん過剰発生率では全地域で判定基準超過という結果になった。そこで、三田と豊岡に着目して季節変動をみると、共に春季から夏季にかけ濃度が増加し、そこから減少に転じて冬季に最も低い濃度という傾向を示した。このことから、一般環境地域では光化学反応による二次生成の寄与が大きいことが推測された。

以上から、ホルムアルデヒドによる健康リスク低減のためには、自動車排ガスからの排出抑制対策に加えて二次生成の抑制対策が必要と考えられる。

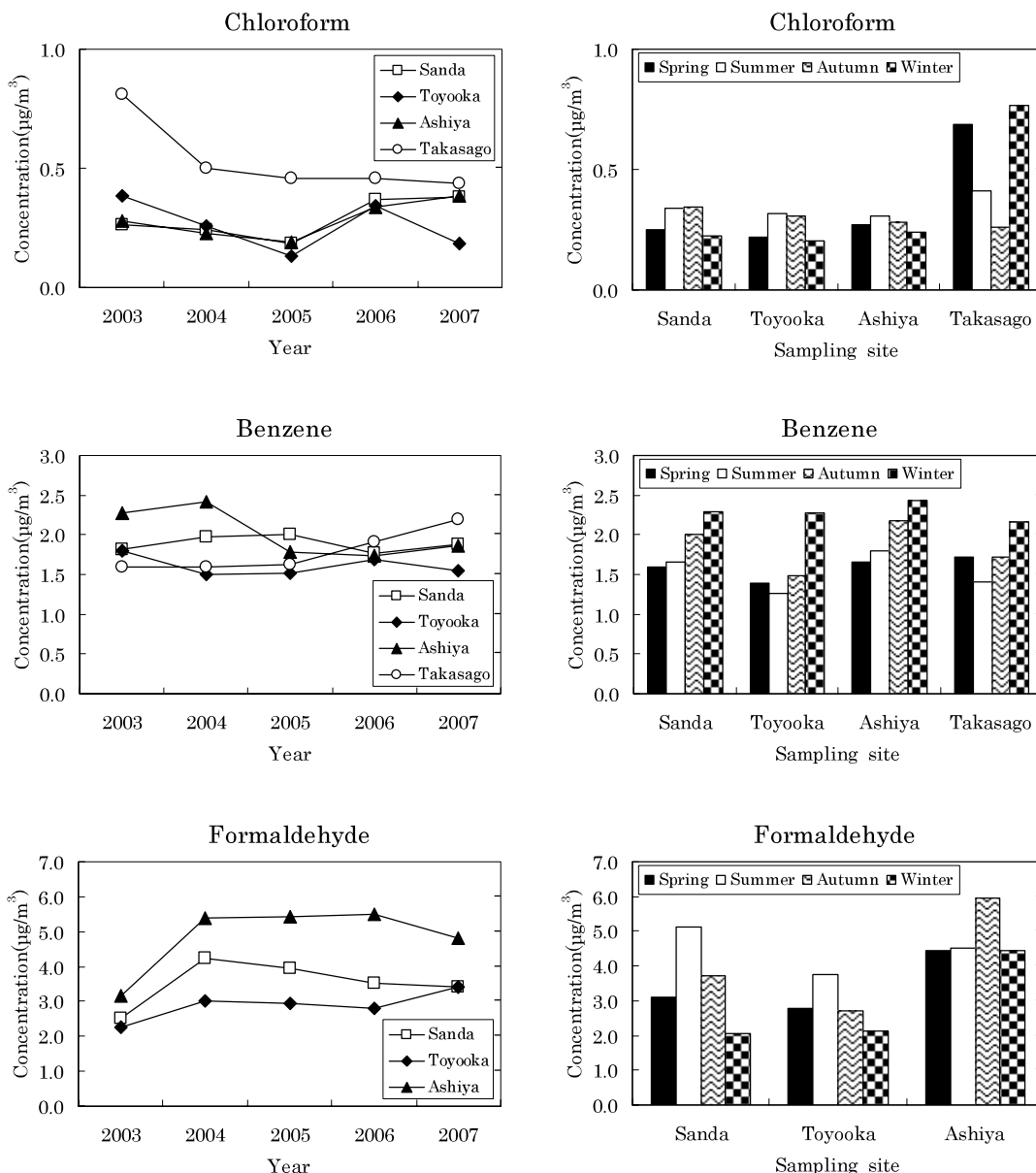


Fig. 4 VOCs concentration trend in sampling sites
 The left graphs show the transition of annual average concentration.
 The right graphs show seasonal average concentration.

IV まとめ

最近 5 年間の環境濃度測定結果と既存の健康影響評価情報を用いることにより、地域における VOC 暴露による健康リスクについて評価を行った。

物質毎にリスク値 (ハザード比, がん過剰発生率) を算出し, 判定基準を超過した物質については, さらに詳細な解析を行った。

その結果, リスク低減対策として, クロロホルムでは事業所からの排出抑制, ベンゼンでは自動車排ガスからの排出抑制, またホルムアルデヒドでは自動車排ガスの排出抑制及び二次生成の抑制が必要と考えられた。

この内, ホルムアルデヒドについては, 対策があまり進んでいないことから, 今後リスク低減手法などについて検討していく必要がある。

謝辞

本稿を終えるにあたり, 試料採取にご協力いただきました兵庫県農政環境部環境管理局大気課及び兵庫県下各県民局環境課の皆様へ深く感謝いたします。

文 献

- 1) 中央環境審議会：今後の有害大気汚染物質対策のあり方について（第2次答申）（1996）
- 2) 兵庫県：平成18年度PRTRデータの概要（2008）
(<http://www.kankyo.pref.hyogo.jp/JPN/apr/topics/new-prtr/h18kekka/h18prtrsyukei.htm>)
- 3) 岡田泰史，吉岡昌徳：PRTRデータと環境濃度の比較による大気中揮発性有機化合物の評価．兵庫県立健康環境科学研究センター紀要，1，67-77（2005）
- 4) Sekizawa, J., Ohtawa, H., Yamamoto, H., Okada, Y., Nakano, T., Hirai, H., Yamamoto, S. and Yasuno, K. : Evaluation of human health risks from exposures to four air pollutants in the indoor and the outdoor environments in Tokushima, and communication of the outcomes to the local people. *J. Risk Res.* , 10(6) , 841-851 (2007)
- 5) U.S.EPA : IRIS database for risk assessment. (2008)
(<http://www.epa.gov/iris/subst/index.html>)
- 6) (独) 製品評価技術基盤機構化学物質管理センター：化学物質のリスク評価について，4-5(2007)
- 7) 環境省環境保健部環境リスク評価室：化学物質の環境リスク評価，6，25-26(2008)
- 8) 経済産業省製造産業局化学物質管理課，環境省環境保健部環境安全課：平成18年度PRTRデータの概要－化学物質の排出量・移動量の集計結果－，187(2008)