

興行場における衛生的な環境確保のための研究
拡散サンプラーを用いた空气中イソシアネートの捕集及び分析

研究分担者 戸次 加奈江 国立保健医療科学院 生活環境研究部 主任研究官

研究要旨

一般に、イソシアン酸やメチルイソシアネートなどのイソシアネート化合物は、感作性が高く、僅かな吸入でさえもアレルギー喘息や神経系への影響を及ぼすことが報告されている。環境中での主な発生源としては、自動車などの燃料燃焼や廃棄物燃焼などを初め、室内でも調理や喫煙などから発生するため、室内汚染因子の一つとなっていることが報告されている¹⁾。また、イソシアネートは空気中のアミンやアミド化合物の酸化化学反応による二次的な生成機構も有するため²⁾、日常生活において長時間曝露される可能性が高く、健康影響との関連が懸念される。そこで本研究では、実環境下での汚染や健康影響との関連性を調べる上で、多検体の疫学的な調査研究にも有効な電力を必要としない拡散サンプラーによる測定法を検討し、実環境下での測定法としての応用を試みた。結果として、対象とするイソシアネート4種（ICA、MIC、EIC、PIC）が検出され、7日間まで直線性のある時間依存的な濃度の増加が確認されたため、1週間の連続した捕集が可能であることを確認した。次に、空气中的イソシアネート濃度を算出するため、SCX-DBA サンプラーによるアクティブ法とGDD サンプラーとの比較によりSRを求めたところ、各成分ごとに次の結果が得られた（ICA: 296 ml/min、MIC: 78 ml/min、EIC: 548 ml/min、PIC: 311 ml/min）。一般住宅で検出されたイソシアネートは、成分によって、室内または屋外からの異なる発生源が影響やしている可能性が考えられ、屋外濃度については、季節的な変動等についても調べる必要性が考えられた。また、一部の住宅では、喫煙により発生したイソシアネートが、汚染の要因となっている可能性があり、健康影響への配慮から、環境改善の必要性も示唆された。

A. 研究目的

一般に、イソシアン酸やメチルイソシアネートなどのイソシアネート化合物は、感作性が高く、僅かな吸入でさえもアレルギー喘息や神経系への影響を及ぼすことが報告されている。環境中での主な発生源としては、自動車などの燃料燃焼や廃棄物燃焼などを初め、室内でも調理や喫煙などから発生するため、室内汚染因子の一つとなっていることが報告されている¹⁾。また、イソシアネートは空気中のアミンやアミド化合物の酸化化学反応による二次的な生成機構も有するため²⁾、日常

生活において長時間曝露される可能性が高く、健康影響との関連が懸念されている。空气中的イソシアネートに関する測定法としては、これまで吸引ポンプを用いたアクティブ法での測定が主に実施されてきているが^{3,4)}、実環境下での汚染や健康影響との関連性を調べる上では、多検体を必要とする疫学的な調査研究を行う必要があり、電力を必要としない簡便な捕集法が有効である。そこで本研究では、イソシアネートを対象に分子拡散の原理を利用した拡散サンプラーによる測定法を

検討し、実環境下での測定法としての応用を試みた。

B. 研究方法

B1. 空気中イソシアネートの捕集及び分析

本研究では、環境中での検出頻度が高く主に環境中においてガス状で存在するイソシアネート 5 種 (イソシアン酸 (ICA)、メチルイソシアネート (MIC)、エチルイソシアネート (EIC)、プロピルイソシアネート (PIC)、フェニルイソシアネート (PHI)) を測定の対象とした。拡散サンプラーを屋内外に設置しサンプリングを実施した後、メタノール:硫酸:トルエン (=3:3:5、v/v) で液液抽出し濃縮したものを試料としイソシアネート誘導体を LC-MS/MS で分析した。また、比較のため SCX-DBA サンプラーにより 0.1 L/min の流速でアクティブサンプリングを行った。SCX-DBA サンプラーは、アセトニトリルで抽出後、濃縮したものを同様の方法で分析した。

B2. 拡散サンプラー

メタノール洗浄したグラスファイバーフィルター (GFF) (AP25、Merk 社製) (厚さ 1.2 mm、直径 9 mm) に、誘導体化剤 1.5 mol/l ジブチルアミン (DBA) と等量の酢酸を溶解したメタノール溶液を含浸させ溶媒を乾燥 (50°C) させた後、専用のカートリッジに装着したものを拡散サンプラー (GDD サンプラー) とした。また、サンプリング後は、4°C 冷蔵保存により 14 日後までの保存安定性を確認している。

B3. アクティブサンプラー

0.02% リン酸を含むアセトニトリル及びメタノール溶液で陽イオン交換樹脂カラム (SCX) (Bond Elut、Agilent) をコンディショニングした後、DBA メタノール溶液 2 mL (24 mg/ml) を SCX にロードし、陽イオン交換体 (SCX) に保持させた。その後、溶媒を窒素気流下で乾燥させたものをアクティブ法による SCX-DBA サンプラーとして空気捕集に用いた。

C. 研究結果・考察

C1. サンプリングレート (SR) の算出

はじめに、捕集期間を検討するため、GDD サンプラーで 1 日ごとに 7 日間まで室内空気を捕集し、イソシアネート濃度の推移を調べた。その結果、対象とするイソシアネート 4 種 (ICA、MIC、EIC、PIC) が検出され、7 日間まで直線性のある時間依存的な濃度の増加が確認されたため、1 週間の連続した捕集が可能であることを確認した。次に、空気中のイソシアネート濃度を算出するため、SCX-DBA サンプラーによるアクティブ法と GDD サンプラーとの比較により SR を求めたところ、各成分ごとに次の結果が得られた。

(ICA: 296 ml/min、MIC: 78 ml/min、EIC: 548 ml/min、PIC: 311 ml/min) (図 1)。

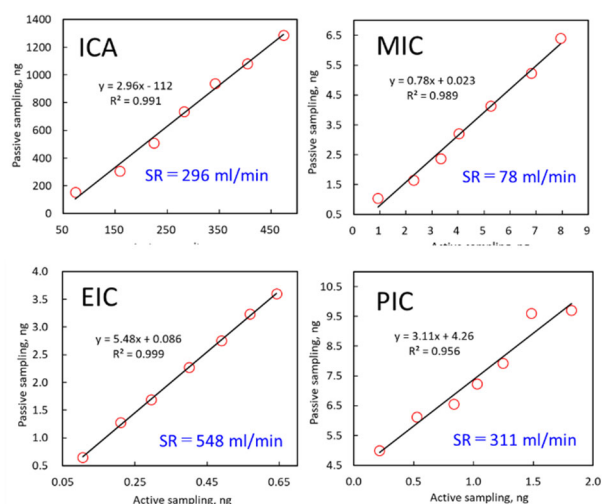


図 1 サンプリングレートの算出

C2. 室内環境測定

拡散サンプラーを用い、関東に位置する一般住宅 23 軒にて、2022 年 9 月-11 月のいずれかの 1 週間連続したサンプリングを行った (図 2)。その結果、各住宅で検出されたイソシアネートは、住宅によって濃度に差が見られたものの、ICA については、屋内よりも屋外で濃度が有意に高い傾向が見られ、屋外に発生源が多い可能性が考えられた。一方で、環境中で検出された EIC 及び PIC の濃度は、比較的低濃度であったものの、屋外よりも屋内で検出される住宅が多い傾向にあり、生

日用品や生活習慣に起因した特異的な発生源があるものと考えられた。また、一部の住宅において、屋内で ICA (0.8 ppb) が突出して高い濃度検出されたが、この住宅では室内で紙巻タバコを吸う喫煙者がいたため、喫煙の影響と考えられた。これまでの調査研究から、大気中の ICA 濃度は、1 ppb を超えると健康に影響を及ぼす可能性がある⁴⁾とされている。実際に、喫煙をする住宅では、ICA が 1ppb 近く検出されていたことから、環境の改善や生活習慣を見直す必要性が考えられた。

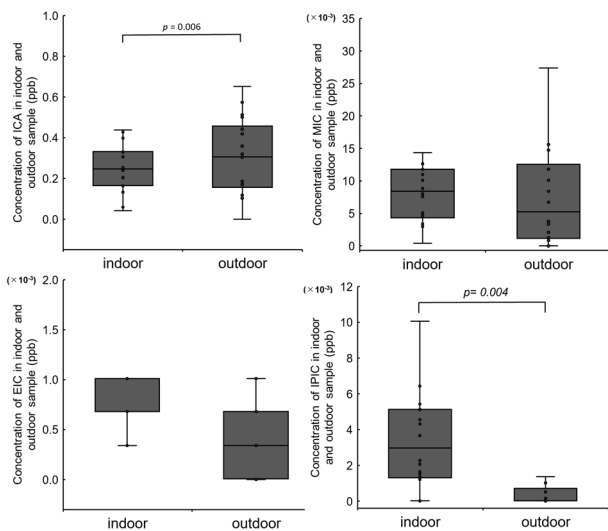


図 2 室内外のイソシアネート濃度

E. 結論

一般住宅で検出されたイソシアネートは、成分によって、室内または屋外からの異なる発生源が影響やしている可能性が考えられ、屋外濃度については、季節的な変動等についても調べる必要性が考えられた。また、一部の住宅では、喫煙により発生したイソシアネートが、汚染の要因となっている可能性があり、健康影響への配慮から、環境改善の必要性も示唆された。今後は、さらに継続したモニタリングを行うことで季節変動や、汚染源を詳細に調べる必要がある。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

- 1) 戸次加奈江、内山茂久、稲葉洋平、牛山明. 拡散サンプラーを用いた空气中イソシアネートの捕集及び分析. 2022 年室内環境学会学術大会 ; 2022. 12.1-2 ; 東京. 同講演集
- 2) 戸次加奈江、内山茂久、稲葉洋平、牛山明. 簡易測定法による空气中イソシアネートの濃度調査. 第 93 回日本衛生学会学術総会 ; 2022. 3.2-3 ; 東京. 同講演集

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

<参考文献>

- 1) Leanderson, P. Indoor air 2019, 29. 291-298.
- 2) Liggio, J. Environ Sci Technol. 2017, 51, 14462-14471.
- 3) Bekki K et al. Anal. Bioanal. Chem. 2020, 412, 103-111.
- 4) Marand A. et al. J. Environ. Monit. 2005, 7, 335-343.

