

住宅の内外における大気浮遊粉塵の季節変化

青木 敦・春山 洋一・戸崎 充男・三村 泰一郎*

Seasonal Variation of Airborne Dust inside and outside of a Dwelling-house

ATSUSHI AOKI, YOICHI HARUYAMA, MITSUO TOSAKI
and TAIICHIRO MIMURA*

Mass and elemental concentrations of airborne dust inside and outside of a dwelling house were measured at four seasons over a year. The airborne dust samples were collected by using low volume air samplers and the elemental concentration was determined by INAA method. The mass concentration varied remarkably over a year. On the other hand, it was found that the shielding factor (mass ratio of the outside to the inside) does not change. The elemental concentration showed same trend to the mass one. The shielding factor for individual element, however, was classified into two groups according to the size distribution of dust particles. These results indicate that the shielding function of a dwelling house depends mainly on the dust particle size.

To obtain a correlation between wind and mass concentration, simultaneous measurements were carried out employing a computerised wind vane and an anemometer, as well as a piezobalance dust meter.

緒言

住宅を取り巻く大気浮遊粉塵中には、土壌粒子や海塩粒子のような自然に発生するものに加えて、自動車の廃ガスや化石燃料の燃焼、廃棄物の焼却、工場における生産活動等により人工的に発生する種々の汚染物質が存在する。これらの汚染物質は住宅の外壁を通過して住宅内に拡散・侵入するので住宅内の汚染環境を考える上で、住宅内外における粉塵の挙動を知ることは重要である。我々は、大気中の粒子状浮遊物について、その質量および、粒子中に含まれる重金属元素について、住宅の内外での比較を通して、住宅の持つ粉塵の

遮断・調整機能の解明を試みてきた^{1,2)}。これ迄に明らかにしてきたことを以下に示すと： 1) ヒエゾパランス粉塵計で測定した住宅内における浮遊粉塵の質量濃度は住宅外の風速と明らかな相関を示す。 2) 屋外に面した窓をもつ部屋の風上に隣室がある場合には室外と室内の浮遊粉塵濃度の比（遮断率）は風向に依存し、隣室がバッファー作用を示す。 3) 室内の浮遊粉塵濃度（質量濃度および元素濃度）は、屋外大気中の粉塵濃度と連動する。その程度は粉塵の粒径に関係する。 4) 大気浮遊粉塵の質量濃度、元素濃度は風向により一定の変化を示す。

京都府立大学生活科学部応用物理学講座

Laboratory of Applied Physics, Faculty of Living Science, Kyoto Prefectural University

*京都府立大学生活科学部住居環境学講座

*Laboratory of House Environment, Faculty of Living Science, Kyoto Prefectural University

これらの知見から風向・風速が住宅内の浮遊粉塵濃度を考える場合に重要な一つの要素であることが認められる。しかし、住宅内外の粉塵の挙動には場所、時期、住宅構造等多くのハラメーターが関与する。上記の結果は異なるハラメーターによる個々の実験を総合したものである。そこで、今回は特に風向・風速との関連を調べるために、住宅の構造および場所を固定して1年間観測し、季節による粉塵遮断効果がどのように変化するかを明らかにする実験を行ったので、その結果について報告する。

測定および分析

1. 測定時期

これまでに行われた研究から住宅外の大気浮遊粉塵の濃度は冬季から早春にかけて高く夏季には低くなり、1年をサイクルとする周期的変化を示すことが知られている^{3)・6)}。そこで、測定はこれらの季節変化を観測することを配慮して1年を3か月毎の4期に等分し、1987年4月17日、7月20日、10月19日及び1988年1月28日からそれぞれ約1週間行った。なお、ローボリュームサンプラーによる粉塵質量濃度の測定は、上記期間の外に1987年2月および5月にも実施した。

2. 実験住宅

測定には、京都市北区の高台にある木造瓦葺二階建個人住宅を使用した。住宅のある地域は北から西は数100m隔てて山に囲まれ、東から南は市街地に開いた住

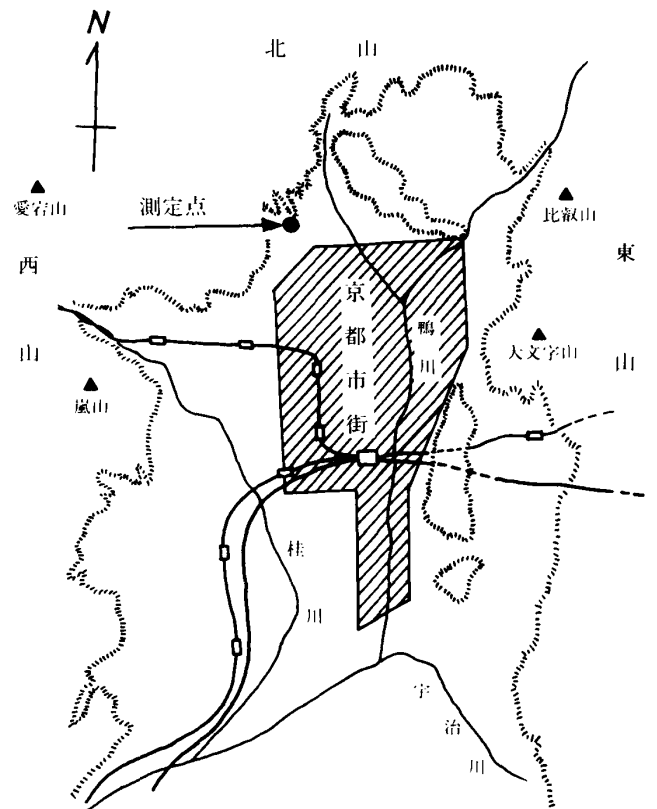


図2 測定地点 0 5km

居専用地域である。実験住宅二階の平面図及び住宅の位置を図1、図2に示す。実験には南西の部屋を使用した。部屋は京間の四畳半で容積19.3m³であった。この部屋と北西の部屋の窓は木枠のガラス戸で、その他はアルミサッシのガラス戸である。実験に用いた部屋は真壁構造の洋室で側壁は土壁に繊維壁の上塗り、床はフローリングに羊毛平織カーペットの敷き詰め、天井は石膏ボードの打ち上げで、階段へ通じる引き戸はフラッシュ板戸であるが、気密性はあまりよくない。

実験期間中は、二階の戸や窓は総て閉め、窓にはやや厚手の化繊のカーテンをした。

3. 実験装置

大気浮遊粉塵の採取はミリホアフィルター（ホアサイズ0.8μm）を装着したローボリュームサンプラー（L.V.）を実験室の中央床上1mの位置に1台、南の窓の外で、窓の高さに1台置いて行った。吸引速度は16ℓ/minで、3～4日間連続して集塵した。この場合の通気量は65～85m³であった。

粉塵の連続観測にはヒエゾバランス粉塵計（P.B.）を室内の窓際に置き、吸気口に電磁バルブによる切換装置を付け、室内と室外の空気中の粉塵を交互に採取し

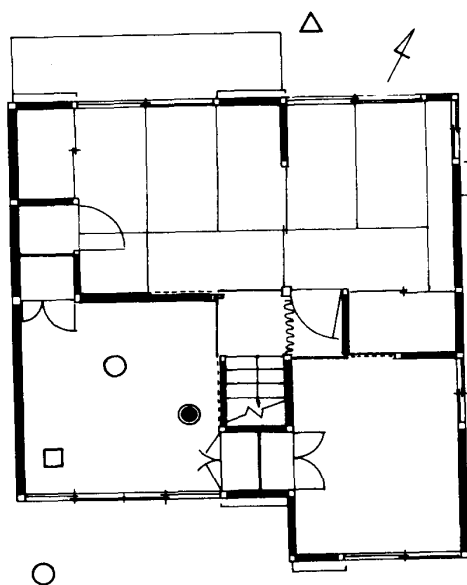


図1 実験住宅二階平面図（京都市北区）

- L.V. ローボリュームサンプラー
- P.B. ピエゾバランス粉塵計
- T.H. 自記温度計
- △ W.V. 自動風向・風速計

測定した。

実験中の気温は自記温度計 (T.H.) で連続して観測した。また、風向・風速の測定には先に報告した自動風向・風速測定装置 (W.V.) を使用した。

ヒエゾバランス粉塵計のデータは、風のデータと併せてマイコン (FM 8) で自動計測処理した。

これらの測定器の配置は図1に記入してある。また、実験装置の詳細は文献2) に述べてある。

4. 元素分析

ローボリュームサンプラーで採取された粉塵試料は、京都大学原子炉実験所、または、立教大学原子力研究所で放射化し、短半減期核種は現地で、中・長半減期核種については研究室に持ち帰りGe(Li)半導体検出器と2kチャンネル波高分析器を用いて放射化分析を実行した。分析および解析には研究室で開発したソフトを使用した。その他分析の具体的なことについては既報¹⁾に詳しく述べてある。

結果および考察

1. 風向・風速の季節変化

測定期間中の風配図を図3に示す。実線は風向の頻度を、また、点線は平均風速を表す。風速0.2m/s以下を静穏 (calm) とし、その頻度をグラフの中心に記入してある。図に見られるように観測期間中の平均風速

は比較的穏やかであった。実験住宅のある場所が市街地の北西端で北から西には山があり東から南にかけて開けているためか、年間を通じて北西方向の風が多く、季節の違いによる風配の変化は実験の初期に期待した程は観測されなかった。しかし、4月には南からの風が比較的多く認められた。

2. 粉塵と風速との相関

ヒエゾバランス粉塵計で連続測定した粉塵質量濃度と風速との相関を図4に示す。測定は10 μ mカットインハクタノズルを装着し、1988年1月に行った。図で丸

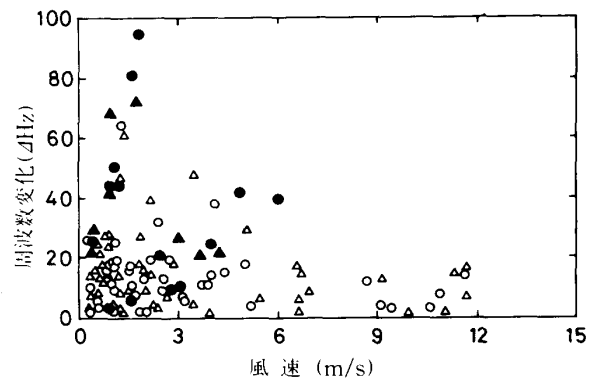


図4 粉塵質量濃度と風速との相関

● 室内(南) ○ 室内(西,北,東)
▲ 室外(南) △ 室外(西,北,東)
()内は風向を表す

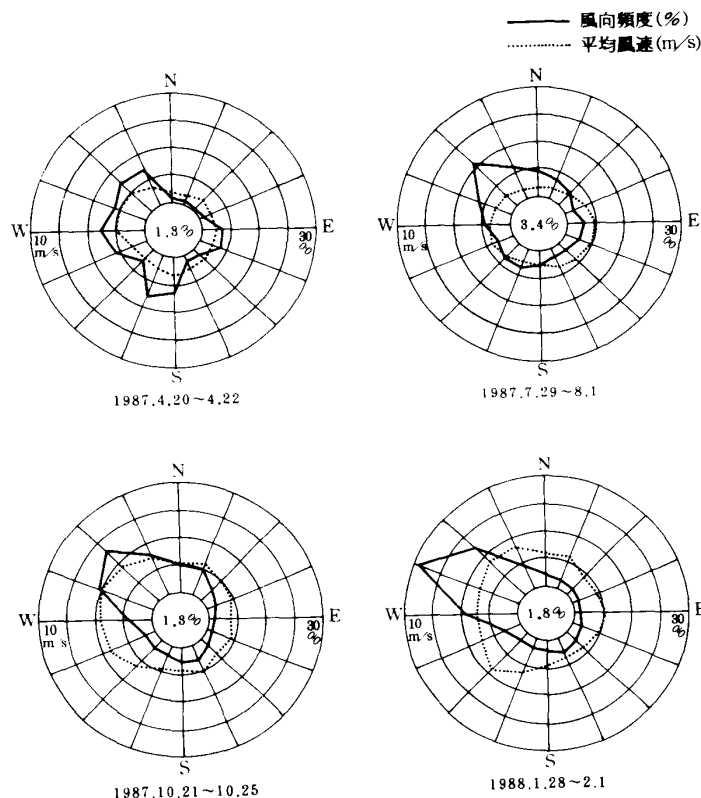


図3 風配図

と三角はそれぞれ室内と室外を表す。また、黒塗と白抜は南の風とそれ以外の方向の風を示している。実験を行った場所が環境的にきれいな地域で、大気浮遊粉塵レベルが低く、測定器のデジタル表示が不十分であったため、繰り返し3回測定した時の発振周波数の増加で粉塵濃度を評価した。図の縦軸はこの値を表している。なお、粉塵濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) は発振周波数の変化に2.5を乗じて得られる。

全体として風速と粉塵濃度との相関は認めがたい。しかし、方位別の相関を求めると、南の方位の風の粉塵濃度に風速との相関が確認される。これは、測定を行った部屋が南向きで、窓枠の部分を通して直接、大気浮遊粉塵の出入りがあることを示しているものと考えられる。

3. 質量濃度の季節変化

ローボリュームサンプラーによる大気浮遊粉塵の住宅内外の質量濃度の季節変化及び、その比の季節変化

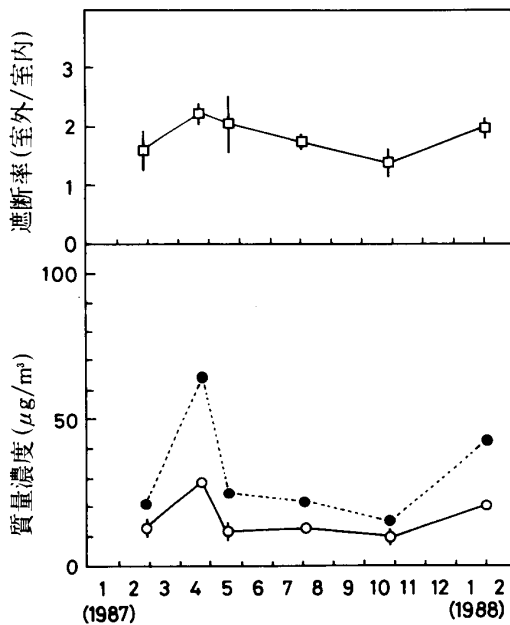


図5 粉塵質量濃度の季節変化
○室内 ●室外

を図5及び表1の右欄に示す。図において白丸は室内、黒丸は室外の濃度を、また、棒線は測定値の統計誤差を表している。質量濃度のレベルは、測定誤差をこえて季節により大きく変動することが認められる。ことに、春期に高いレベルを示すが、これは大陸から飛来する黄砂によるものと解釈される。大気浮遊粉塵濃度のこのような変動はこれまでの観測結果とよい一致を示す^{3) 6)}。一方、大気浮遊粉塵の質量濃度の比(室外の値/室内の値)は、図5にみられるように、1.2~2.2の範囲にあり比較的安定している。しかし、室外の浮遊粉塵レベルの高い4月期と2月期にこの比が測定誤差を配慮してもやや大きいように見える。このことは、室外の粉塵レベルの高い時には住宅の粉塵遮断効果も上昇することを示唆しているものと考えられる。我々は、先に、大気浮遊粉塵に対する住宅の遮断効果は粉塵の粒径に依存し、粒径の大きな粒子程有効に遮断されることを報告した¹⁾。そこで、春期の粉塵レベルの上昇が黄砂によるものと考えれば、一般に土壌粒子は粗大粒子を多く含むことが知られているので、このような傾向は、その遮断効果が粒径の大きな粉塵に対する程顕著なことによるためと考えられる。

4. 元素濃度の季節変化

次に、元素濃度についての解析結果の一部を図6及び表1に示す。図において、室内の測定点を実線で、また、室外の測定点を点線で結んで区別した。この図に見られるように、元素濃度の値の季節変化には1) 季節により大きく変動するもの(Al, Na, Fe, Sc, Sm; 黒塗の記号で示す)と、2) 季節変動幅の小さいもの(Br, Sb, Zn, V; 白抜の記号で示す)がある。前者は主として土壌粒子や海塩粒子に含まれる。これらの粒子は粗大粒子と呼ばれ、比較的重い粒子であるから、風向や風速の影響でその外気中の濃度が変化することがうかがえる。一方、後者には人工起源元素が多く含まれる^{5), 8) - 10)}。これらの微細粒子の濃度は産業、社会活動に強く依存していることを考えれば、年変化が少ないことは理解できる。特にこの人工起源元素の室内濃度は室外濃度によく追従して変化しているところに特徴がある。

表1 住宅内外粉塵濃度比(室外/室内)

| | Fe | Sc | Al | Na | Sm | V | Zn | Sb | Br | 質量濃度 |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| '87. 4 | 3.1(0.4) | 3.7(0.3) | 4.3(0.1) | 2.6(0.2) | 4.2(0.6) | 1.7(0.1) | 1.7(0.2) | 1.3(0.2) | 1.2(0.1) | 2.2(0.2) |
| '87. 7 | 1.3(0.7) | 8.2(7.0) | 3.4(0.2) | 1.9(0.2) | 4.0(1.2) | 1.6(0.2) | 0.6(0.2) | 1.1(0.2) | 1.1(0.1) | 1.8(0.1) |
| '87.10 | 2.2(1.1) | 4.4(2.6) | 2.4(0.1) | 3.1(0.2) | 1.7(2.2) | 1.1(0.1) | 1.2(0.2) | 1.3(0.2) | 1.2(0.4) | 1.4(0.2) |
| '88. 1 | 8.1(2.9) | 5.3(1.4) | 3.6(0.3) | 3.0(0.2) | 2.2(0.6) | 1.3(0.2) | 1.3(0.2) | 1.4(0.2) | 0.9(0.1) | 2.1(0.1) |
| 平均 | 2.8(0.4) | 4.1(0.4) | 3.4(0.1) | 2.7(0.1) | 3.2(0.4) | 1.4(0.1) | 1.2(0.1) | 1.3(0.1) | 1.1(0.1) | 1.9(0.1) |

() は誤差を表わす

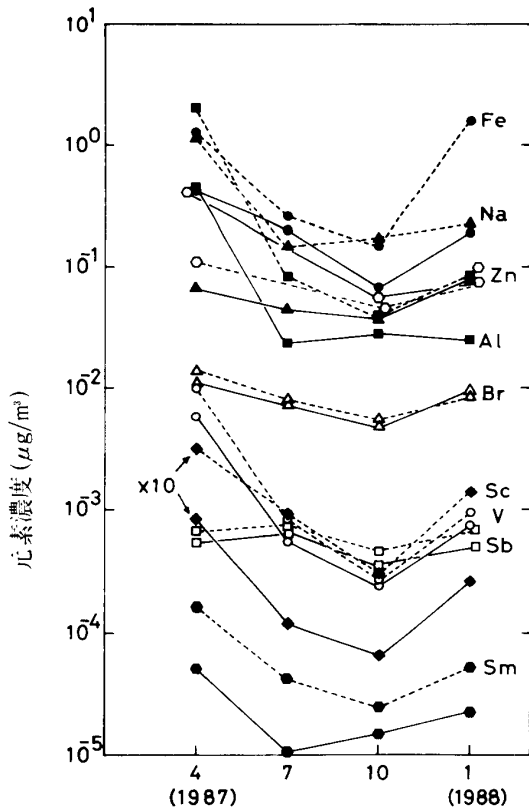


図6 粉塵元素濃度の季節変化
 実線は室内、点線は室外を、黒塗は粗大粒子、白抜は微細粒子を表す。
 Scの濃度は10倍して示してある。

元素毎の遮断率を図7に示す。先に述べたように元素濃度は季節によって変化するが、この図から明らかなように、元素に対する遮断率は粗大、微細粒子を問わず、誤差の範囲で殆ど一定値を示す。しかし、両者の値の大きさは異なり、粗大粒子の遮断率は平均して約3程度であり、住宅のもつ遮断効果が顕著に認められる。一方、微細粒子については平均して遮断率は1.2程度であり、殆ど遮断されていないことがわかる。

以上の結果から、住宅の粉塵に対する遮断効果は主に粒径に依存していることがわかる。また、粗大粒子について、遮断率の変動が微細粒子に比べて大きいのは、風速や風向によって粒子の粒径分布が変化するためと考えられる。

従来、住宅における粉塵による大気汚染問題を考える場合、粉塵質量を指標としてきた。しかし、元素により、それが含まれる粉塵の粒径が異なるため、上述のように遮断率が大きく変化するの、元素濃度を指標とすることが重要である。従って、粉塵についての住環境という視点からは、著者達の行っている元素分析の方法が不可欠と考える。

今後の課題としては、住宅における大気浮遊粉塵の遮断のメカニズムを解明することが重要である。

最後に、放射化分析についてお世話になった京都大学原子炉実験所および立教大学原子力研究所の方々へ深く感謝します。
 (1988年8月15日受理)

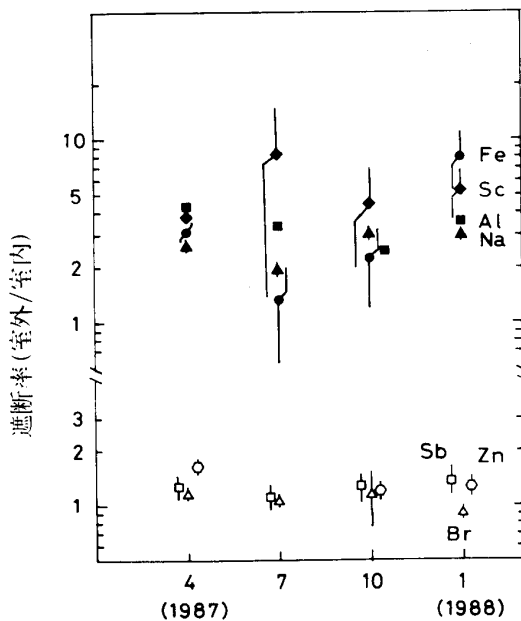


図7 遮断率の季節変化
 黒塗は粗大粒子、白抜は微細粒子を表す。

文 献

- 1) 青木敦, 春山洋一, 三村泰一郎 京府大学報 (理学・生活科学) 37,73 (1986)
- 2) 青木敦, 春山洋一, 三村泰一郎 京府大学報 (理学・生活科学) 38,73 (1987)
- 3) 青木敦, 石井孝, 富山毅, 山本勲 京府大学報 (理学・生活科学) 25,31 (1974)
- 4) 片山幸士 他 「環境科学」研究報告集B 256-R15-7, 17 (1985)
- 5) 藤村満, 橋本芳一 日本化学会誌6,902 (1977)
- 6) 真室哲雄, 松田八東, 溝畑朗, 松並忠男 RADIOISOTOPES 21,24 (1972)
- 7) 青木敦 京府大学報 (理学・生活科学) 24,17 (1973)
- 8) 青木敦 他 「環境科学」研究報告集B 256 R15 7, 1 (1985)
- 9) 青木敦, 石井孝, 富山毅, 山本勲 京府大学報 (理学・生活科学) 26,53 (1975)
- 10) 藤村満, 橋本芳一, 野上祐作, 石井邦彦 大気汚染学会誌13,280 (1978)