



Title	室内外空気環境における粉塵および粉塵中金属の性状に関する研究
Author(s)	宮崎, 竹二
Citation	大阪大学, 1993, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3075147
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

室内外空気環境における粉塵および
粉塵中金属の性状に関する研究

平成5年9月

宮崎 竹二

目次

序論	1
1. 本研究の目的	1
2. 本研究に関連した従来の研究1 本研究の意義	2
(1) 外気粉塵濃度、金属濃度およびそれらの粒径分布	2
(2) 外気粉塵濃度に対する室内濃度の比	3
(3) 室内外の粉塵の粒径	4
(4) 室内外の金属、イオン濃度	4
(5) 金属などの粒径と I / O 比	5
(6) 沈積塵について	6
3. 本論文の構成	6
4. 用語の定義	7
序論の参考文献	9
 第1章 外気における浮遊粉塵、金属、イオンの性状－大阪市の場合－ ...	13
1. 1. 本章の目的	15
1. 2. 測定方法および分析概要	15
(1) 測定場所	15
(2) 測定期間	15
(3) 測定方法	15
(4) 粉塵中の金属、イオン、元素状炭素の分析方法	15
(5) 気象要素	16
1. 3. 結果および考察	16
1. 3. 1. 粉塵濃度と粉塵の粒径分布	16
(1) 粉塵濃度の経年変化	16
(2) 粉塵の季節変化	16
(3) 粉塵の粒径分布	17
(4) 粉塵濃度 (T、C、F) と MMD の関係	18
(5) 粉塵の粒径に及ぼす気象要素の影響	20
1. 3. 2. 金属、イオン、元素状炭素の粒径分布	21
(1) 粒径分布	21
(2) MMD の季節変化	23
(3) C、F 別金属、水溶性イオン間の相関	25

(4) 水溶性イオンの当量バランス	25
(5) 水溶性イオンと気象要素、ガス状物質との関係	25
1. 3. 3. 高濃度期の特徴	28
(1) 土壌、海塩粒子寄与濃度の算出	29
(2) 二次粒子の寄与の算出	30
1. 4. 本章のまとめ	30
第1章の参考文献	32
 第2章 自然換気の室内における浮遊粉塵、金属、イオンの性状	33
2. 1. 本章の目的	35
2. 2. 測定方法	35
2. 2. 1. 研究所における測定	35
2. 2. 2. 住宅における測定	37
2. 2. 3. 粉塵濃度および粉塵中の金属成分、イオン成分濃度の測定 ...	37
2. 2. 4. A. S. の機差	37
2. 3. 測定結果	38
2. 3. 1. 研究所における粉塵濃度、粉塵中金属成分濃度および換気 回数の測定	38
(1) A. S. の測定結果	38
(2) L. V. の測定結果	39
(3) 換気回数の測定結果	40
2. 3. 2. 住宅における粉塵濃度、粉塵中金属成分、イオン成分濃度 の測定	41
(1) L. V. の測定結果	44
(2) A. S. の測定結果	42
2. 4. 考察	42
2. 4. 1. 研究所における外気粉塵濃度とMMD ₀ の関係	42
2. 4. 2. 研究所における外気粉塵濃度とI/O比の関係	43
2. 4. 3. 研究所におけるMMD ₀ とI/O比の関係	43
2. 4. 4. 研究所におけるMMD ₀ とMMD _i の関係	46
2. 4. 5. 研究所における換気量とI/O比の関係	47
2. 4. 6. 住宅における外気粉塵濃度とI/O比の関係	48
2. 4. 7. 住宅におけるMMD ₀ とI/O比の関係	50
2. 4. 8. 住宅におけるMMD ₀ とMMD _i の関係	51

2. 5. 本章のまとめ	51
第2章の参考文献	54
第3章 空調室内における浮遊粉塵、金属、イオンの性状	57
3. 1. 本章の目的	59
3. 2. 方法	59
3. 2. 1. 空調機による粉塵の除去	59
3. 2. 2. 事務室における粉塵、金属、イオンなどの濃度の実測	60
3. 2. 3. 喫煙粒子の発生量および粒径分布の測定	60
3. 3. 結果	61
3. 3. 1. 空調機による粉塵の除去	61
3. 3. 2. 事務室における粉塵、金属、イオンなどの濃度	62
(1) 連続測定結果	62
(2) L. V. の測定結果	63
(3) A. S. の測定結果	64
3. 3. 3. 喫煙粒子の発生量および粒径分布	67
3. 4. 考察	67
3. 4. 1. 空調装置による粉塵の除去	68
3. 4. 2. 事務室における浮遊粉塵、金属、イオンなどの濃度	69
(1) 喫煙と浮遊粉塵濃度	69
(2) 浮遊粉塵濃度とCO ₂ 、CO、NO ₂ 濃度	69
(3) 外気粉塵濃度と室内濃度	71
(4) 粒径と室内外比	73
(5) 粉塵発生源の寄与の評価	75
3. 5. 本章のまとめ	77
第3章の参考文献	78
第4章 室内における沈積粉塵、金属、イオンの性状	81
4. 1. 目的	83
4. 2. 方法	83
4. 2. 1. 研究所における沈積塵	84
4. 2. 2. 住宅における掃除機捕集粉塵	84
4. 3. 結果	85
4. 3. 1. 研究所での結果	85

(1) 沈積塵の量	85
(2) 金属、イオンの沈積量	87
(3) 沈積塵および沈積塵中金属、イオンの粒径分布	87
(4) 外気塵、室内浮遊塵	89
4. 3. 2. 住宅での結果	90
(1) 掃除機捕集粉塵量	90
(2) 掃除機捕集塵中金属、イオン量	91
(3) 掃除機捕集塵、金属、イオンの粒径分布	91
(4) 室内浮遊塵	92
4. 4. 考察	93
4. 4. 1. 研究所における結果についての考察	93
(1) 高さ別沈積塵量	93
(2) 沈積指数	94
(3) MMDと沈着速度	95
(4) 浮遊状態でのMMDとフルイ上MMDとの関係	97
4. 4. 2. 住宅における結果についての考察	97
(1) MMDと沈積指数	97
(2) 浮遊状態でのMMDとフルイ上MMDの関係	97
4. 4. 3. 研究所と住宅での沈積塵の比較	98
(1) 研究所と住宅での沈積指数の比較	98
(2) 研究所と住宅での沈積塵中金属、イオンのフルイ上MMD	99
4. 5. 本章のまとめ	99
第4章の参考文献	101
総括	103
今後の課題	105
本研究に関連した発表論文	106
付録 (Appendix)	108
謝辞	114

序論

1. 本研究の目的

全国の大気汚染一般測定局でのSPM（浮遊粒子状物質）環境基準達成状況（1991年度、環境庁）から、測定局のうち環境基準を達成している割合が50%以下である都道府県を拾いだしてみると、東京都 2.4%、千葉 1.8%、神奈川 0.0%、茨城県22.2%、群馬県 0.0%、埼玉県 6.9%、愛知県14.2%、大阪府 5.9%、兵庫県47%、奈良42.9%、岡山49%、香川県17.6%、愛媛40.7%、福岡46.2%等であり、首都圏、近畿圏の達成率が悪い。それらの中でも、都市部例えば、東京都区部や大阪市内ではすべての局で環境基準を満たしていない状況である。

自動車排ガス局での達成状況は当然もっと悪いが、そうした沿道にも住宅があり、空調ビルの外気取り入れ口があることを考えると、外気粉塵濃度が室内濃度へどのように影響するかを知ることは重要である。

一方、事務室内における粉塵濃度のビル管理基準の達成状況をみると、東京都でも大阪市でも不適率（基準を越えている割合）は数%まで低下してきているが、喫煙の影響によりいまだ基準を越えている事務室もある。

室内での粉塵対策を考える時、室内での粉塵濃度がどのように形成されているかが重要になってくる。室内での粉塵濃度が形成される過程は、図序-1に示すように、自然換気の部屋でも、空調ビルでも粉塵の粒径が影響が大きい。

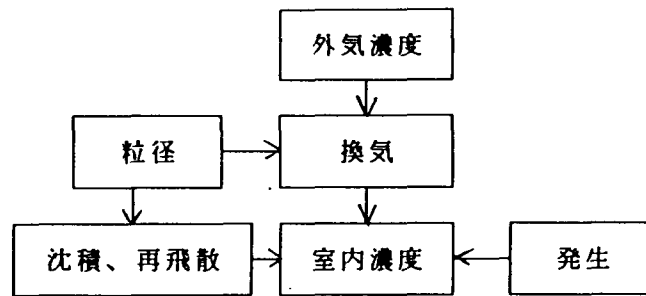
住宅などの自然換気の室内においては、換気を通して外気の粉塵が室内に侵入してくる。その時、粒径が重要であり、それによって室内に取り込まれる粉塵が異なってくる。本論文ではその取り込みを外気濃度（ O とする）に対する室内濃度（ I とする）の比（以後、 I/O 比とする）で表しており、粒径と I/O 比との関わりをテーマとしている。

空調ビルにおいては、空調機のエアフィルターで外気の粉塵がある程度除去されるため、自然換気の住宅に比較して外気の影響は少ないが、室内での発生おもに喫煙の影響が大きい。エアフィルターによる粉塵の除去の場合も、当然粉塵の粒径が重要になってくる。

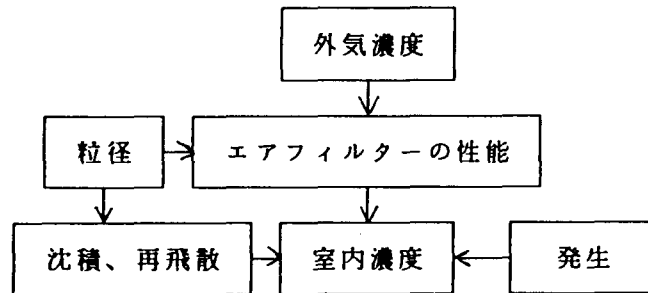
本研究の目的は、室内外空気環境における粉塵および粉塵中金属の性状を知ることであり、さらに室内外でのそれらの関係を粒径との関連で把握することである。そのことにより、室内外環境における粉塵発生源の寄与を評価でき、粉塵対策が可能となる。

粉塵だけでなく、粉塵中の金属、イオンなどの成分を分析した目的は、それら自体どの程度の濃度であるかを知ることだけではなく、金属の粒径を用いて幅広い粒径で

(1) 自然換気の場合



(2) 空調ビルの場合



図序-1 室内粉塵濃度の形成

の外気濃度の室内濃度への影響を知ることができること、発生源の指標となる金属濃度から、粉塵発生源の寄与を評価することを可能とするからである。

また、浮遊塵が沈積して沈積塵になり、沈積塵が再飛散して浮遊塵となる場合を考えると、浮遊塵と沈積塵の関係も重要であり、その関係を知る目的で、沈積塵中の金属、イオンを分析して、それらの量と浮遊している時の粒径との関連についても検討する。

2. 本研究に関連した従来の研究と本研究の意義

(1) 外気粉塵濃度および金属濃度およびそれらの粒径分布

外気における粉塵、金属、水溶性イオン濃度およびそれらの粒径分布の測定は、堺¹⁾、東京都²⁾、名古屋^{3) 4)}、千葉⁵⁾、横浜⁶⁾、奈良⁷⁾などにおいてなされてきたが、粉塵の粒径分布は約0.5 μm と約5 μm の2つのピークをもつ2山型であること、金属の粒径分布には2山型と1山型があること、塩素イオン、硝酸イオンは季節により粒径が異なることなどが解明された。大阪市でも粉塵、金属の粒径分布については既に報告したが⁸⁾、水溶性イオンも含めた検討はなされておらず、この論文において新たに加えた。

金属などの測定がなされる目的は、金属そのものが有害であることでもあるが、もう一つの目的として粉塵発生源の寄与を評価するためでもある。その方法は、発生源での粉塵中成分と大気環境での粉塵中成分とのバランスから粉塵発生源の寄与を評価する方法（Chemical Mass Balance法）であり、大気汚染の分野で広く用いられている^{9) 10) 11)}。特に土壌成分と海塩粒子の自然発生源の寄与はその方法でなければ得られない。また、ガス状物質から生成される二次粒子の寄与も、実測結果からでしか得られない。大阪市での計算でも大阪市における粉塵に占める土壌粒子、海塩粒子の自然発生源の寄与は31.5%、二次粒子の寄与は21.5%となっており、かなり高く、粉塵対策を考える上でそれらの評価が重要である^{12) 13)}。この論文では、大阪市における粉塵濃度および粉塵の粒径分布の経年変化、季節変化、それらと気象要素との関連、粉塵中金属、イオン等の粒径分布などと併せて、自然発生源、二次粒子の寄与についても検討した。

（２）外気粉塵濃度に対する室内濃度の比

室内外の粉塵濃度の測定から得られた外気濃度に対する室内濃度の比についていろいろな数字が報告されている。

石堂（1955、1958）^{14) 15)}は、労研式塵埃計による測定であるが、RC造住宅、木造住宅、RC校舎における塵埃濃度を測定し、室内外濃度の時間的変動が一致しており、室内濃度に外気濃度に大きく影響していることを見いだした。

J.E.Yocom（1971）¹⁶⁾は、Hartfordでの粉塵濃度の測定から外気濃度が高いほどI/O比が小さくなること、平均のI/O比は住宅で0.65、事務室で0.45、公共建物で0.35であることを報告している。

K.Biersteker et al.（1965）¹⁷⁾は、ロッテルダムの60の家庭の室内外の粉塵濃度の測定を行い、外気濃度が高いほどI/O比が小さくなること、I/O比は平均で0.80であることを報告した。

Ib Andersen（1972）¹⁸⁾は、デンマークのオールフス工業学校において粉塵濃度のI/O比は0.69であることを報告している。

発表者でI/O比が異なるのは、その比に室の換気状況や外気の粉塵の性状（粒径）が違っているからであり、本論文では、自然換気の研究室および住宅における室内外の粉塵濃度を測定し、外気粉塵濃度およびその粒径が室内濃度や粒径に及ぼす影響について検討した。

空調ビルでは、エアフィルターが設置されており、そのため発生がない場合、かなり室内濃度は外気に比較して低くなる。空調機の除塵効率については、本間（1974）¹⁹⁾、藤井（1980）²⁰⁾により報告されているが、後者によれば中性能フィルターで

はタバコ煙については62.5%程度であるが、一般大気塵については67.2%である。

本論文では、空調機の除塵効率そのものではないが、外気濃度に対する給気濃度の比を測定し、外気と給気の粉塵濃度を比較した。

自然換気ビルと空調ビルの比較では、C. R. Thompson et al. (1973)²¹⁾ が、浮遊粉塵の I / O 比は自然換気のビルに比較して空調ビルでは低いこと、また換気が少ない時その比が低くなることを報告している。しかし、室内で喫煙がある場合^{22) 23)}、粉塵濃度は著しく高くなる傾向にある。今回の事務室での粉塵の実測結果も喫煙の影響が大きく、粉塵濃度はかなり高い値を示した。

(3) 室内外の粉塵の粒径

室内外の粉塵の粒径を測定し、比較したのは古くは R. J. Shephard (1970)²⁴⁾ であり、外気 MMD 0.46 μ m であるのに対して室内 MMD 0.36 μ m であったと報告している。空気清浄のエアフィルター設置委員会 (1967)²⁵⁾ では、空調された事務室での粒子の99%が0.7 μ m より小さく、外気では粒子の89%が0.7 μ m より小さいとしている。また、M. B. Jacobs (1962)²⁶⁾ は、室内粒子の85%が1 μ m と同じかそれ以下であり、外気粒子の74%が1 μ m と同じかそれ以下であると報告している。

R. E. Lee Jr (1972)²⁷⁾ は、自然換気のビル、空調ビル、自然換気の住宅において室内外の粉塵濃度およびMMDの測定を行い、室内が外気より粉塵濃度が低いこと、MMDが小さいことを報告している。

長良 (1985)²⁸⁾ は、空調ビル内外の粉塵の粒径分布の測定を行い、室内浮遊粉塵の粒径分布は2 μ m を境とする2山型分布であること、微少粒子の割合が外気は43%であるが室内では73%と高いことを報告している。

室内に発生源がない場合でも、自然換気のビルと空調ビルとでは室内での粉塵のMMDも異なってくると考えられるが、本論文では、自然換気の居室で長期の粉塵の測定を行い、外気の粉塵のMMDがいろいろ変化した場合での室内のMMDの値を求め、換気によるMMDの影響を検討した。

(4) 室内外の金属、イオン濃度

室内外の金属の測定については、竹内他 (1974)²⁹⁾ が、自然換気のビル、空調ビルにおいて粉塵、金属の測定を行い、外気に比較して自然換気ビルにおいて粉塵濃度が高いこと、鉛、マンガンが外気において少し多い他は、カルシウム、銅、カドミウムは室内と外気で差がないことが報告されている。粉塵の捕集に不純物が多く含まれているGB100Rろ紙を用いており、分析精度に問題があるかもしれないとしている。

Michael Brauer et al (1991)³⁰⁾ は、アンモニウムイオン、亜硝酸イオンが外気よ

り室内において高いことを見いだした。

M. Halpern (1978)³¹⁾ は、鉛の I / O 比を測定して自然換気ビルで高く、空調ビルで低いことを報告した。

D. J. Moschandreas et al (1979)³²⁾ は、住宅内外での硫黄やカリウム、鉛などの連続測定から、カリウムの室内濃度が外気より高いこと、濃度変動が異なることからカリウムが室内で発生していると結論づけた。また、硫黄、鉛の濃度変動が外気の変動と一致することからそれらが外気由来であることを確かめた。

長良(1985)²⁸⁾ は、空調ビル自然換気のビルについて室内外の金属の測定を行い、空調ビルでは、K、S、Cl の 3 元素が高く、自然換気のビルでは Si、Ca、Cl、S の 4 元素が高い濃度であることを報告している。

以上の報告は、金属の I / O 比を、その金属が室内で発生されているかを確かめるのに使用している。

金属の粒径の I / O 比への影響をみたのは A. F. Cohen et al (1980)³³⁾ であり、彼らは、住宅や大学実験室などにおいて金属の種類によって I / O 比が異なることを見いだした。例えば、Ca 0.17、Fe 0.2、Pb 0.38、Br 0.53 であり、それらの金属の性状とりわけ粒径がそれらの比に影響していることを示唆しているが、金属の粒径の測定は行っていない。本論文は、換気の影響ばかりでなく、粒径の影響もあわせて検討した。

また換気の I / O 比への影響をみたのは J. Alzona et al (1979)³⁴⁾ であり、彼らは、建物の窓などの開口部を目張りして密閉度を高めると、金属の I / O 比が低くなることを見いだした。例えば、Zn の I / O 比は窓開放の場合 0.93、通常の場合 0.52、全表面覆うと 0.24 であり、Ca の I / O 比は窓開放の場合 0.52、通常の場合 0.10、全表面覆うと 0.02 であった。2 種の金属での I / O 比の違いは金属の粒径のためと考えられるが、彼らは金属の粒径の測定は行っていない。本論文は、換気の影響ばかりでなく、粒径の影響もあわせて検討した。

(5) 金属などの粒径と I / O 比

金属の粒径が I / O 比に影響することは、すでに示唆されていたが、実際に金属の粒径を測定している例はない。I / O 比でなく、空調機による除去を金属の粒径から見ているのは呂俊民ほか(1976)³⁵⁾ であり、彼らは空気浄化装置前後の粉塵、金属の粒径分布を調べて、大きな粒径ほど除かれやすいこと、金属では大きな粒径の Al、Ca、Fe、Na は除去されやすく、小さな粒径の、Sb、As、K、Br は除去されにくいことを見いだした。

実際の事務所ビルにおける金属の I / O 比を調べたのは、J. D. Sinclair et al. (1988)³⁶⁾ であり、彼らは標準的なエアフィルターの場合、粗大粒子 (Ca) の I / O 比

が0.05、微少粒子（硫酸イオン、塩素イオンなど）のI/O比が0.3、高性能のエアフィルターの場合、粗大粒子（Ca）のI/O比が0.03、微少粒子（硫酸イオン、塩素イオンなど）のI/O比が0.12であったことを報告している。この場合も、粗大粒子と微少粒子別に測定を行っているだけであり、金属の粒径の測定は行っていない。

本論文は、外気および室内での金属、イオンの測定を行い、それらのMMDを求め、それを用いてそれらのI/O比について検討した。

（6）沈積塵について

粉塵や金属、イオンの沈積塵量は、浮遊状態でのそれらの粒径と関連しているはずであり、J.D.Sinclair et al.³⁷⁾ は粗大粒子、微少粒子別に硫酸イオン、塩素イオンなどの室内濃度と平均年間表面蓄積量とから粗大粒子の沈着速度0.002-0.005cm/s、微少粒子の沈着速度0.2-1.0cm/sを得ている。彼らも、それらのイオンのMMDは測定しておらず、本論文では、金属などの浮遊状態でのMMDと沈着速度とを関係づけた。

3. 本論文の構成

本論文の構成は、以下の通りである。

第1章においては、室内粉塵濃度に影響する外気粉塵濃度の現状を示すため、大阪市のモニタリングステーションにおける粉塵濃度および粉塵の粒径分布の経年変化、季節変化、それらと気象要素との関連について考察した。また併せて、粉塵中の金属、水溶性イオン等の分析結果より、それらの粒径分布および自然発生源、二次粒子の粉塵発生源の寄与についても検討した。

第2章においては、自然換気の部屋での外気の粉塵濃度が室内濃度に及ぼす影響をみるために、自然換気と想定されうる当研究所の研究室で約2年に渡って、粉塵の発生がない場合について、室内外粉塵および金属濃度とそれらの粒径分布を測定した結果に基づいて、外気粉塵や金属のMMDとI/O比の関係および換気量とI/O比の関係について検討し、また自然換気の住宅においても同様の測定を行い、研究室の結果と比較検討した。

第3章においては、空調ビルでの室内での粉塵、金属濃度に及ぼす外気濃度の影響、室内での発生源、主として喫煙による影響をみるために、空調がなされている事務室における粉塵、金属、イオンなどの性状を測定し、それらの結果より浮遊粉塵濃度と喫煙との関係、浮遊粉塵濃度とCO₂、CO、NO₂濃度との関係、外気浮遊粉塵濃度と室内濃度およびI/O比との関係、粉塵、金属などの粒径とI/O比との関係を検討し、さらにそれらの濃度および粉塵発生源のそれらの成分量から外気、喫煙、土

壤の室内粉塵濃度への寄与を評価した。

第4章においては、室内沈積塵と室内浮遊塵との関わりを調べる目的で、研究所に長期にわたり沈積した粉塵を秤量、成分分析し、室内の浮遊粉塵の成分と沈積塵の成分を比較することにより、室内で沈積している粉塵、金属、イオン量と室内で浮遊している時のそれらの濃度および粒径との関係について検討した。また併せて、沈積塵そのものではないが、住宅での掃除機捕集粉塵について同様のことを行った。

総括では、本研究で得られた知見をまとめるとともに、今後において残された課題について述べた。

4. 用語の定義

(1) MMD

Mass Median Diameter の略で、質量中央径のことである。その求め方は、付録の「粒径分布の求め方」参照のこと。MMD_iは室内での質量中央径であり、MMD_oとは外気での粉塵の質量中央径のことである。

(2) I / O 比

外気濃度に対する室内濃度の比であり、その比に及ぼす因子についての関係が、本論文の主テーマである。

(3) A. S.

アンダーセンエアサンプラー (Andersen air sampler) の略で、粒径別に粉塵を捕集できる測定器である。詳しくは付録の「アンダーセンエアサンプラー」を参照のこと。

(4) L. S.

ローボリウムエアサンプラー (low volume air sampler) の略で、低い空気流量 (今回は20 l/min) で粉塵を捕集する測定器であり、詳しくは付録の「ローボリウムエアサンプラー」を参照のこと。

(5) 沈積指数

沈積塵に対する浮遊塵の寄与を評価するために、金属、イオンについて次のように沈積指数 A. I. を定めた。

$$A. I. = D_s / D_a$$

A. I. : 沈積指数

D_s : 沈積塵中量 (ng/mgあるいは μg/mg)

D_a : 浮遊粉塵中量 (ng/mgあるいは μg/mg)

(6) 沈着速度

粉塵の場合とガスの場合でことなり、粉塵の場合は、 v_g ：沈着速度 (m/s) は次式のように定義した。

$$v_g = A / (C T)$$

v_g ：沈着速度 (m/s)

A ：沈積量 (mg/m²)

C ：浮遊濃度 (mg/m³)

T ：沈積期間 (s)

ガスの場合、次の吸着による濃度減衰式における n (減衰係数) を表面積で除して単位表面積あたりの吸着係数 K_a を求め、 K_a に室の容積 V を掛けて沈着速度 v_g が求められる。

$$C_t / C_0 = \exp(-n t)$$

C_t ： t 時間後の濃度 (ppm)

C_0 ：初期濃度 (ppm)

n ：減衰係数 (1/h)

$$K_a = n / S_a$$

K_a ：吸着係数 (1/h · m²)

S_a ：材料の表面積 (m²)

$$v_g = V \times K_a$$

v_g ：沈着速度 (m/s)

V ：室の容積 (m³)

(7) 元素炭素 (EC、Elemental Carbon)、有機炭素 (OC、Organic Carbon)

CHN 計 (付録参照) で分析する時、試料をヘリウム気流 650℃ で揮発、熱分解させた後、更にヘリウムと酸素気流 950℃ 下で酸化分解した物質中の炭素を検出し、それを元素炭素とした。また試料をヘリウム気流 650℃ で揮発、熱分解させずに同様に検出した炭素を全炭素とし、全炭素と元素炭素の差を有機炭素とした。

序論の参考文献

- 1) 溝畑朗、真室哲雄：堺における大気浮遊粒子状物質中の諸元素の発生源の同定（Ⅱ）、大気汚染学会誌 第15巻、第6号、p.225-233、1980
- 2) 吉岡他：東京都における粒子状物質中のAl、Mn、V、Na及びClの粒径分布 東京都環境科学研究所年報1990 p59-62
- 3) Kadowaki S.: Size distribution of atmospheric total aerosols, sulfate, ammonium and nitrate particulates in the Nagoya area, Atmospheric Environment, 10, 39-43、1976
- 4) Kadowaki S.: Size distribution and chemical composition of atmospheric particulate nitrate in the Nagoya area ,Atmospheric Environment, 11, 671-675, 1977
- 5) 内山茂久：大気中の粒子状物質におけるイオン成分の粒度別季節変動 大気汚染学会誌 第25巻第1号 p77-84, 1990
- 6) 田中茂他：都市大気中における粒子状物質、塩化物、硝酸塩、硫酸塩の大気濃度および粒度分布の季節的変動 大気汚染学会誌 第19巻pp.104-113, 1984
- 7) 松本光弘他：田園都市地域におけるエアロゾルの無機イオン成分の粒度分布と挙動 大気汚染学会誌 第21巻第6号、p.501-511, 1986
- 8) 宮崎竹二、山岡茂夫、岡三知夫：大阪市内浮遊粉じんおよび金属の粒径分布 大阪市立環境科学研究所報告調査・研究年報 第44集 p.19-23, 1981
- 9) G.S.Kowalczyk et al.:Chemical Element Balances and Identification of Air Pollution Sources in Washington, D.C. Atmospheric Environment, Vol.12, pp.1143-1153, 1978
- 10) 溝畑朗、真室哲雄：堺における大気浮遊粒子状物質中の諸元素の発生源の同定（Ⅰ）、大気汚染学会誌 第15巻p.198-206, 1980
- 11) 芳住邦雄ほか7名：東京都における浮遊粒子状物質へのリセプターモデルによる発生源寄与の評価、東京都環境科学研究所年報1989pp.3-10
- 12) 角脇怜：大気浮遊粉じん中のケイ素およびアルミニウムの粒度分布と濃度比 日本化学会誌 pp.1911-1916, 1977
- 13) 吉岡他：環境大気中における粒子状物質中の金属成分への土壌寄与 東京都環境科学研究所年報1989 p75-78
- 14) 石堂正三郎：建築室内外の塵埃濃度の変動について、大阪市立大学家政学部紀要、第6巻p..53-59, 1958
- 15) 石堂正三郎ほか2名：住居内の空気条件について、特に塵あい数及び細菌数につ

いての考察、大阪市立大学家政学部紀要、第3巻、第4号、pp.127-135、1955

16) J.E.Yocom et al. : Indoor/Outdoor Air Quality Relationships, A.P.C.A., Vol. 21, No. 5, pp. 251-259, 1971

17) K.Biersteker et al. Indoor Air Pollution in Rotterdam Homes, Int. J. Air Wat. Poll. Vol. 9, pp. 343-350, 1965

18) Ib Andersen : Relationships between Outdoor and Indoor Air Pollution , Atmospheric Environment, Vol. 6, pp. 275-278, 1972

19) 本間慶一ほか2名 : 室内の浮遊粉じん濃度と除じん装置、空気清浄、第12巻、第2号、pp. 24-32、1974

20) 藤井正一、南野ほか : 室内の空気汚染制御に関する研究 その5 一般空調用中性能濾材の粉じん除去性能について、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 309-310 1980

21) C.R.Thompson et al. : Outdoor-Indoor Levels of Six Air Pollutants, A.P.C.A., Vol. 23, No. 10, pp. 881-886, 1973

22) J.L.Repace: Indoor Air Pollution, Tobacco Smoke, and Public Health, Science, Vol. 208, pp. 464-472, 1980

23) 植崎正也 : 喫煙と室内空気汚染、空気清浄、第14巻、第4号、pp. 12-22、1976

24) R. J. Shephard J. Appl. Physiol. 15, 70-76, 1970

25) エアフィルター設置委員会 (Air Filtering System Design committiee) 空気清浄、第4巻、5号、1-31、1967

26) M. B. Jacobs Int. J. Air Water Poll. Vol. 6, 205-213, 1962

27) R. E. Lee Jr: The Size of Suspended Particulate Matter in Air, Nature, Vol. 178, pp. 567-575, 1972

28) 長良健次 : 室内浮遊塵の粒径分布と元素組成について、空気清浄、第22巻、第6号、pp. 28-31、1985

29) 竹内貢三ほか2名 : 室内浮遊粉塵中の金属成分について、空気清浄、第12巻、第2号、pp. 33-42、1974

30) Michael Brauer et al. : Indoor and Outdoor Concentrations of inorganic Acidic Aerosols and Gases J. Air Waste Manage. Assoc. Vol. 41 NO. 2 p. 271-181, 1991

31) M. Halpern: Indoor/Outdoor Air Pollution Exposure, A.P.C.A., Vol. 28, No. 7, pp. 689-691 (1978)

32) D. J. Moschandreas et al. : Fine Particle Residential Indoor Air Pollution , Atmospheric Environmental, Vol. 13, pp. 1413-1418, 1979

- 33) A.F.Cohen et al.: Protection from being Indoors against Inhalation of Suspended Particulate Matter of Outdoor Origin, Atmospheric Environment, Vol. 14, pp. 183-184, 1980
- 34) J.Alzona et al.: Indoor-Outdoor Relationships for Airborne Particulate Matter of Outdoor Origin, Atmospheric Environment, Vol. 13, pp. 55-60, 1979
- 35) 呂俊民ほか2名: 浮遊粒子状物質による室内空気汚染、空気清浄、第14巻、第4号、pp. 1-11、1976
- 36) J.D.Sinclair et al.: Indoor/Outdoor Ratios and Surface Accumulations of Ionic Substances at Newark, New Jersey, Atmospheric Environment, 22(3), 461-469, 1988
- 37) J.D.Sinclair et al.: Indoor/Outdoor Concentrations and Indoor Surface Accumulations of Ionic Substances, Atmospheric Environment, 19(2), 315-323, 1985

第1章 外気における浮遊粉塵、金属、イオンの性状－大阪市の場合－

1. 1. 本章の目的

自然換気や空調された室内での粉塵の性状を知る上で外気粉塵濃度およびその粒径分布の特性をつかむことは重要である。外気での粉塵濃度および粉塵の粒径分布（あるいはMMD）およびその成分などについての調査・研究は名古屋市、堺市、東京都などにおいて数多くなされている。^{1) 2) 3) 4) 5) 6) 7) 8)}

大阪市においては1976年以来現在まで、アンダーセンエアサンプラー（以下A. S. と略す）による浮遊粉塵の粒径分布の測定を行ってきており、その結果の一部については既に発表した⁹⁾。ここではそのデータに基づき、粉塵濃度および粉塵の粒径分布の経年変化、季節変化、それらと気象要素との関連について考察する。また併せて、粉塵濃度が高い原因を究明するため、粉塵中の金属、水溶性イオン等の分析結果より、それらの粒径分布および自然発生源、二次粒子の粉塵発生源の寄与についても検討した。

1. 2. 測定方法および分析概要

（1）測定場所 測定を行っているのは大阪市の大気汚染一般測定局の北区扇町中学校3F屋上であり、その周辺は商業地域である。

（2）測定期間 1976年4月より現在も継続して測定が行われているが、粉塵濃度および粉塵のMMDの解析には、1992年3月までのデータを使用した。粉塵だけでなく、粉塵中の金属、水溶性イオンなどの解析については1988年10月から1992年3月までのデータを使用した。

（3）測定方法 測定は粉塵を粒径別に9段に捕集できるA. S. で行ったが、毎月、上、中、下旬の約10日間ごとにろ紙（石英繊維）を取り替えて測定した。ろ紙の秤量は、恒温恒湿室（温度20℃、湿度50％）に1日以上放置後、行った。粉塵中金属、水溶性イオンなどの分析は、1カ月分をまとめて行った。粉塵濃度としては、約10日間での粉塵濃度（そのデータを旬データとした）と1カ月分での濃度（そのデータを月データとした）、および16年間での各月平均濃度（そのデータを各月平均データ）の3種を用いた。

（4）粉塵中の金属、イオン、元素状炭素の分析方法

1988年10月－92年3月の3カ年間半のサンプルについて、粉塵中の金属および水溶性イオンを分析した。金属のうちV, Mn, Fe, Cu, Zn, Cd, Pb は硝酸、過塩素酸で分解後、Na, K, Mg, Caは超音波で水抽出後、ともに原子吸光光度法で分析した。イオンは超音波で水抽出後、イオンクロマトグラフィーで分析した。また、1989年8月下旬と11月下旬のサンプルについてのみ、元素状炭素をCHN計で分析した。その原理は、試料を

ヘリウム気流 650℃で揮発、熱分解させた後、更にヘリウムと酸素気流 950℃下で酸化分解した物質中の炭素を元素状炭素とした。

(5) 気象要素

粉塵濃度や粉塵のMMDとの関係を調べるための気象データ（気温、湿度、風速、降水量、日射量、気温差〔大阪市内と生駒との気温差〕）は、大阪管区気象台のデータである。

1. 3. 結果および考察

1. 3. 1. 粉塵濃度と粉塵の粒径分布

(1) 粉塵濃度の経年変化

全粉塵濃度（全粒径を含む、以下Total のTとする）、そのうち $2.1\mu\text{m}$ 以上の濃度（以下CoarseのCとする）、 $2.1\mu\text{m}$ 以下の濃度（以下FineのFとする）、粉塵のMMD（Mass Median Diameter）の経年変化を図1-1に示す。F、Cともに減少傾向であるが、CがFより顕著である。濃度としてはCの方がFより高かったが、最近3年間ではほぼ同程度である。粉塵のMMDの経年変化については、87年までは約 $3\mu\text{m}$ であったが最近4年間では約 $2\mu\text{m}$ と小さくなった。

(2) 粉塵の季節変化

粉塵濃度T、C、F、粉塵のMMDの季節変化（1976-1991 年度15年間の平均）を図1-2に示す。Cは4、5月に高く、Fは11、12月に高い。それゆえ、粉塵濃度Tとしては、4、5月と11、12月に高い。粉塵のMMDは、C、Fの濃度を反映して4、5月に大きく、11、12月に小さくなる。

粉塵濃度（T、C、F）や粉塵の粒径に影響すると思われる気象因子のうち、大阪と生駒（高さ626m）の気温差（以下「気温差」とする）、風速、日射量の季節変化

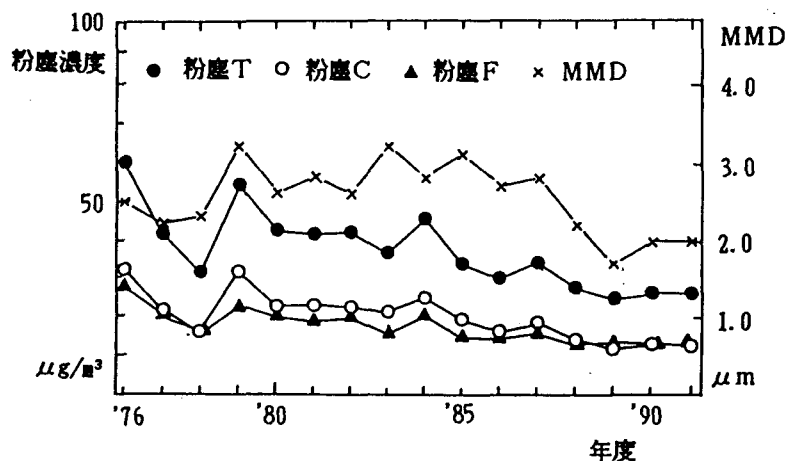


図1-1 粉塵濃度（T、C、F）、粉塵のMMDの経年変化

T：全体 C： $2.1\mu\text{m}$ 以上 F： $2.1\mu\text{m}$ 以下

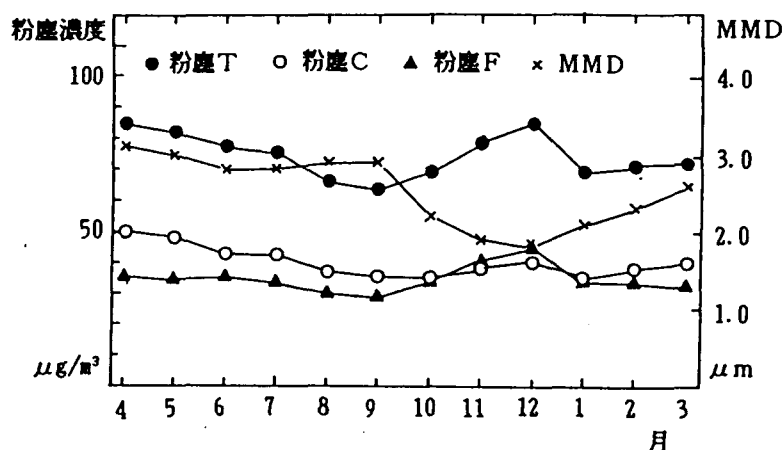


図1-2 粉塵濃度 (T、C、F)、粉塵のMMDの季節変化 (1976-1991年度平均)

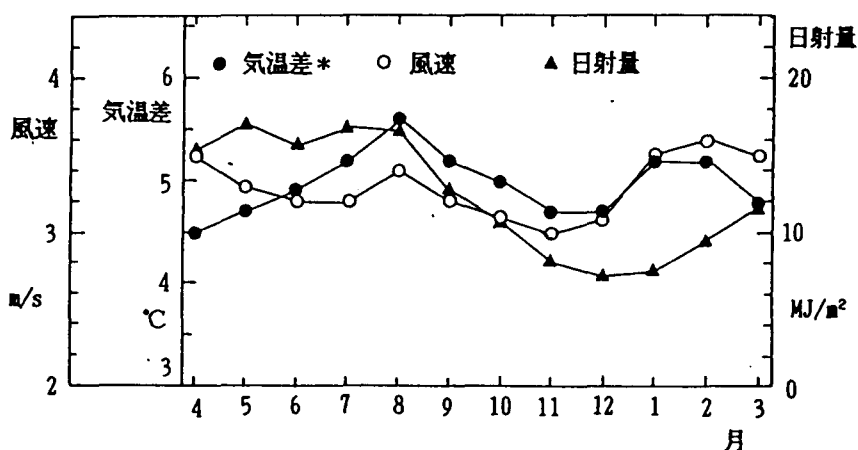


図1-3 気温差、風速、日射量の季節変化 (1976-1988 年度平均)
*大阪と生駒 (高さ626m) の気温差

(1976-1991 年度平均) を図1-3 に示す。気温差が低くなるのは、4、5月と11、12月頃であり、風速が弱くなるのは、10-12月であり、ともに粉塵濃度が高くなる時期と一致する。

(3) 粉塵の粒径分布

粉塵中成分の分析を行った1988年10月から1992年3月までの平均の粉塵の粒径分布、その期間のうち11、12月平均での粉塵の粒径分布、4、5月平均での粉塵の粒径分布を図1-4 に示す。粉塵の粒径分布はよく言われているように、約 $2\mu\text{m}$ を境に、工場、自動車などの人工発生源由来の約 $1\mu\text{m}$ のピークと土壌粒子、海塩粒子などの自然発生源由来の約 $5\mu\text{m}$ のピークをもつ2山型の分布を示している。¹⁰⁾ 全平均 (粉塵濃度 $51.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、MMD $1.7\mu\text{m}$) と比較して、4、5月平均 (粉塵濃度 $56.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、MMD $2.9\mu\text{m}$) では約 $5\mu\text{m}$ のピークが高いが逆に約 $1\mu\text{m}$ のピークは低い。11、12月平均 (粉塵濃度 $66.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、MMD $1.30\mu\text{m}$) では約 $1\mu\text{m}$ のピークがかな

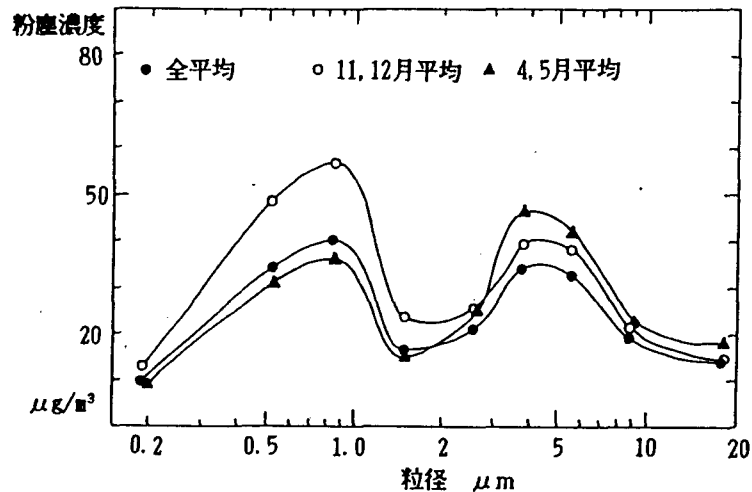


図1-4 粉塵の粒径分布 (1988.10-1992.3)

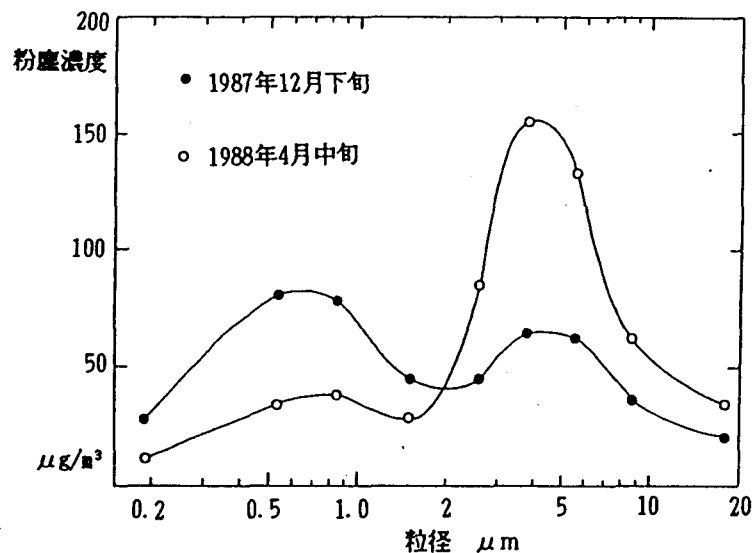


図1-5 高濃度での粉塵の粒径分布

り高いが、約 $5 \mu\text{m}$ のピークも全平均より少し高くなっている。

極端な高濃度での粉塵の粒径分布の例を、図1-5に示す。1988年4月中旬の例（粉塵濃度 $121.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、MMD $4.0 \mu\text{m}$ ）は、黄砂時を含む高濃度データであり、約 $5 \mu\text{m}$ のピークが極端に高い。1987年12月下旬の例（粉塵濃度 $110.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、MMD $1.25 \mu\text{m}$ ）は、約 $1 \mu\text{m}$ のピークがかなり高いが、約 $5 \mu\text{m}$ のピークもある程度高い。

（4）粉塵濃度（T、C、F）とMMDの関係

約10日間での旬データ、月データおよび1976年度から1991年度までの16年間での各月平均データについて、粉塵濃度（T、C、F）とMMD間の相関係数を示したのが表1-1である。粉塵濃度の旬データ、月データについてはTとC、TとFの間の相関は高く、またCとFでは発生源が異なると考えられるが、C、F間の相関もある程度高い（図1-6）。このことは、粉塵濃度が発生源の寄与だけでなく、共通の要因

表 1-1 粉塵濃度 (T、C、F) および MMD 間の相関

		粉塵-C	粉塵-F	MMD
旬 データ	粉塵-T	0.949	0.907	0.079
	粉塵-C		0.729	0.225
	粉塵-F			-0.130
月 データ	粉塵-T	0.954	0.909	0.254
	粉塵-C		0.741	0.508
	粉塵-F			-0.138
月平均 データ	粉塵-T	0.788	0.743	-0.084
	粉塵-C		0.173	0.525
	粉塵-F			-0.704

T: 全体 C: 2.1 μ m以上 F: 2.1 μ m以下

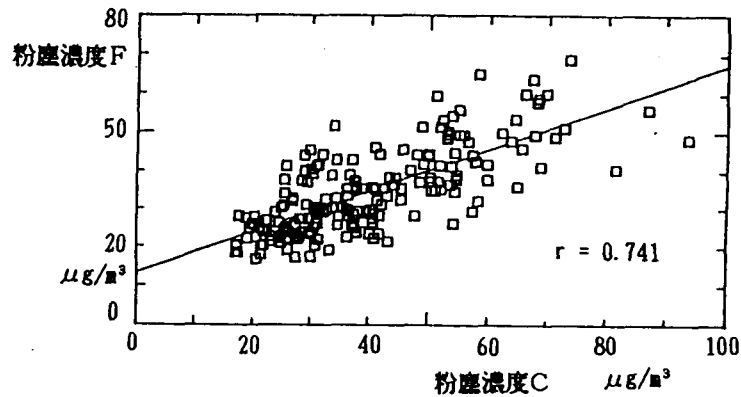


図 1-6 粉塵濃度CとFとの相関 (各月データ)

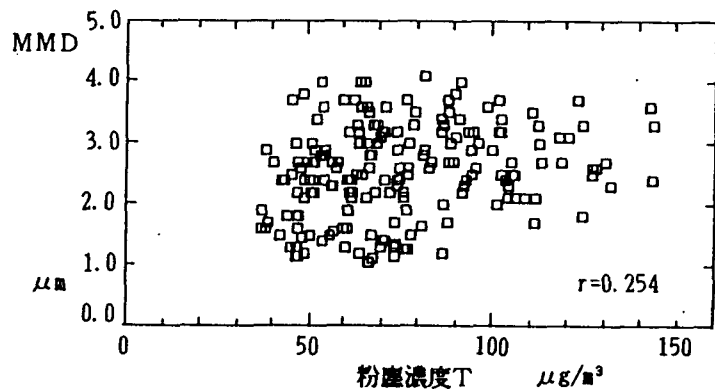


図 1-7 粉塵濃度TとMMDとの相関 (各月データ)

すなわち気象要素に大きく影響されることを示している。月データでの粉塵濃度TとMMDとの相関を図1-7に示すが、相関は低い。このことから、粉塵濃度Tが高くなるのが、濃度CやFの単一の影響でないことがわかる。各月での傾向をみるために、16年間での各月平均データでの粉塵濃度 (T) とMMD間の関係を求めたのが図1-8 (添え数字は月) であるが、それらの相関も月データの場合と同様低い。その

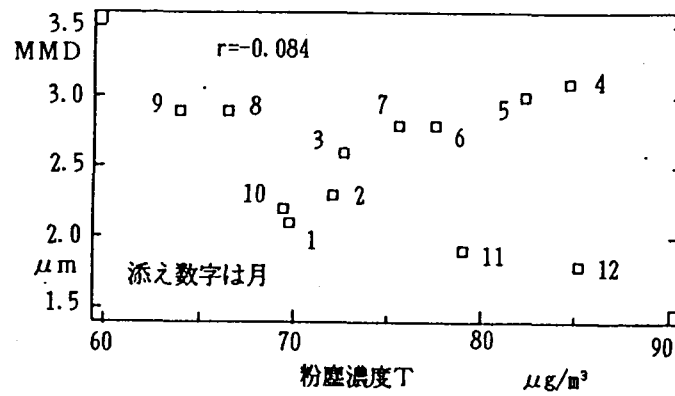


図1-8 粉塵濃度TとMMDとの相関（各月平均データ）

表1-2 粉塵濃度（T、C、F）、MMDと気象要素間の相関

	粉塵-T	粉塵-C	粉塵-F	MMD
気温	-0.087	-0.018	-0.165	0.157
湿度	-0.190	-0.230	-0.106	-0.063
気温差*	-0.209	-0.125	-0.281	0.143
風速	-0.267	-0.128	-0.410	0.178
降水量	-0.134	-0.109	-0.147	-0.020
日射量	0.026	0.155	-0.152	0.465
気温	-0.099	-0.006	-0.214	0.324
湿度	-0.184	-0.185	-0.155	-0.001
気温差*	-0.238	-0.195	-0.255	-0.039
風速	-0.159	-0.039	-0.300	0.287
降水量	-0.078	-0.014	-0.155	0.164
日射量	0.002	0.166	-0.226	0.546
気温	-0.260	0.078	-0.498	0.645
湿度	-0.297	-0.176	-0.280	0.307
気温差*	-0.825	-0.647	-0.616	0.103
風速	-0.178	0.156	-0.457	0.329
降水量	-0.112	0.303	-0.506	0.743
日射量	0.026	0.553	-0.557	0.919

*気温差：大阪市内と生駒山（高さ626m）の気温差

T：全体 C：2.1μm以上 F：2.1μm以下

原因として、図1-2の季節変化からも類推できるように、4、5月は粉塵濃度も高いが、MMDも大きく、11、12月は粉塵濃度も高いがMMDは小さく、また8、9月は粉塵濃度は低いがMMDは大きいため、全体として相関が低くなったと考えられる。

（5）粉塵の粒径に及ぼす気象要素の影響

1976-1991年度の各月平均データ（n=12）および各月データ（n=192、気温差についてはn=177）、旬データ（n=549、気温差についてはn=512）についての気象要素と粉塵濃度（T、C、F）、MMDの相関を表1-2に示す。気温差と粉塵濃

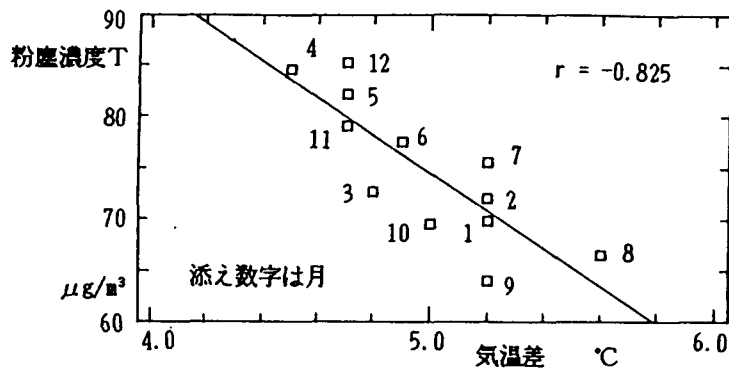


図1-9 気温差と粉塵濃度Tの相関（各月平均データ）
気温差：大阪市内と生駒との気温差

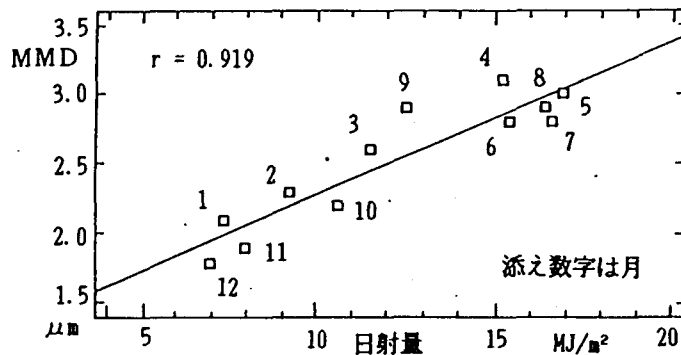


図1-10 日射量とMMDとの相関（各月平均データ）

度Tとの相関は、旬データ、月データでは相関は低いが、その原因として平均化時間が10日ないしは1月と長いことがあげられる。各月の傾向をみるための各月平均データについては、気温差と粉塵濃度Tとの相関は高い。（図1-9） 風速と粉塵濃度との相関では、C、Fともそれほど高い相関ではないが、Cとの相関よりFとの相関が少し高く、Fの方が風速の影響を受けやすい傾向が伺われる。

MMDと気象要素との相関のうち、気温、日射量との相関が高い。その傾向は、月データや旬データより各月平均データにおいて顕著である。日射量とMMDとの相関を図1-10に示す。日射量が、MMDを大きくしているということではなく、日射量が多い季節に濃度Cが高く、日射量が少ない季節に濃度Fが高くなる結果としてMMDが大きくなったと考えら、その原因については今後の課題である。

1. 3. 2. 金属、イオン、元素状炭素の粒径分布

（1）粒径分布

金属、水溶性イオン、元素状炭素の粒径分布を図1-11、図1-12、図1-13、図1-14（1988年10月から1992年3月平均）に示す。ただし、元素状炭素のみは、1988年8月下旬と11月下旬の平均である。それらの粒径分布を2山型、1山型（CとFの2種類）に分類すると、Mn、Cu、Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻、元素状炭素は2山型、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Feは1山型C、K⁺、V、Zn、Cd、Pb、NH₄⁺は1山型Fに分類される。2山型

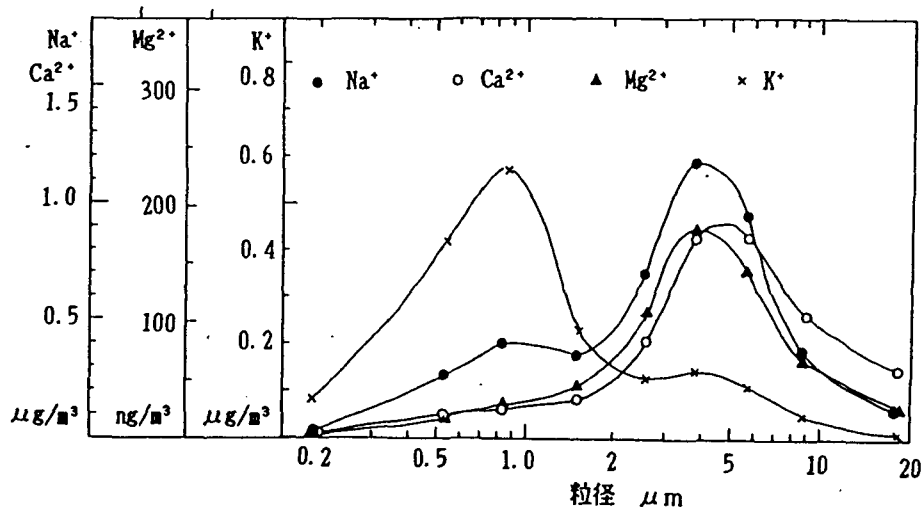


図 1 - 11 金属、水溶性イオンなどの粒径分布 (1)
(1988.10-1992.3平均)

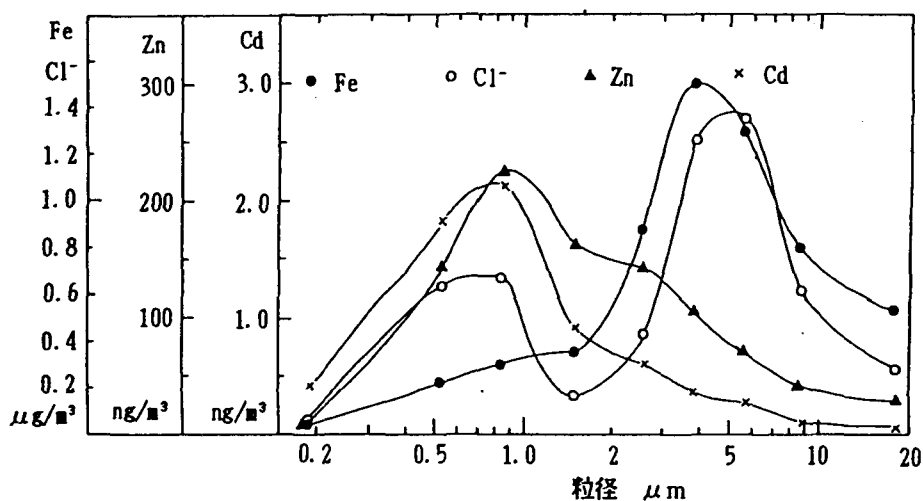


図 1 - 12 金属、水溶性イオンなどの粒径分布 (2)
(1988.10-1992.3平均)

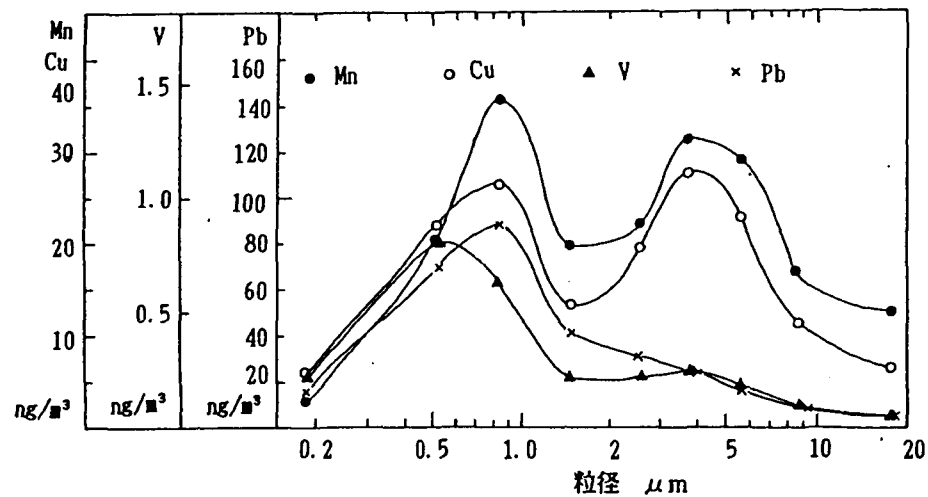


図 1 - 13 金属、水溶性イオンなどの粒径分布 (3)
(1988.10-1992.3平均)

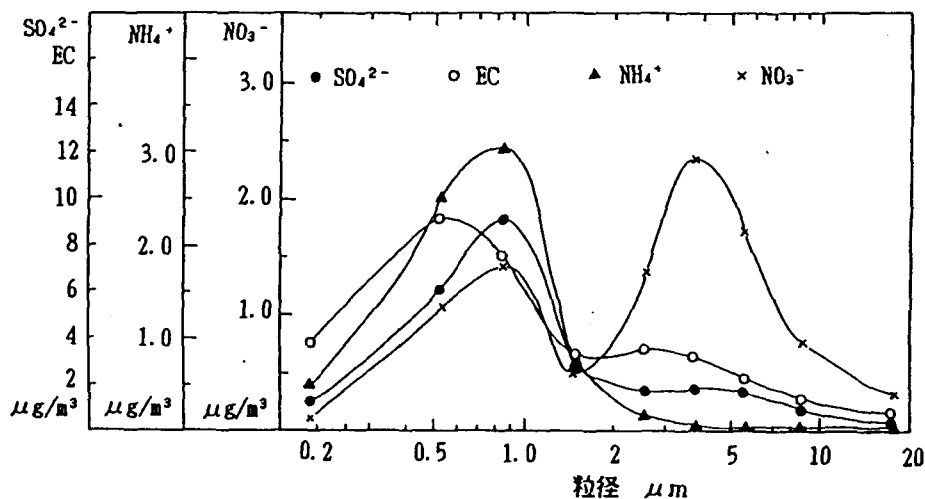


図1-14 金属、水溶性イオンなどの粒径分布(4)
(1988.10-1992.3平均ただし、ECは1989年8月下旬と11月下旬の平均)

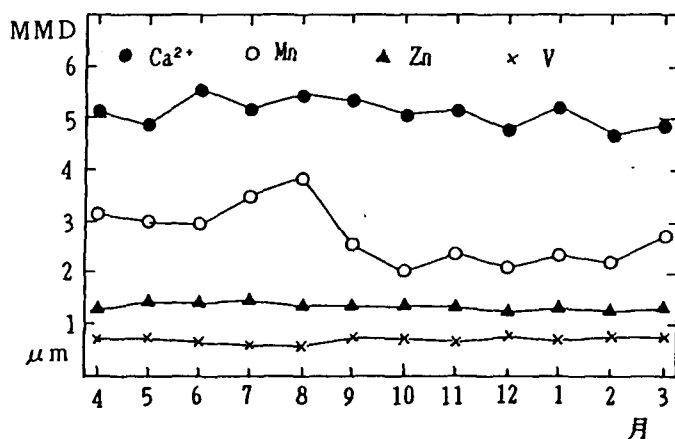


図1-15 金属のMMDの季節変化

の分布を示す金属、イオンは2種類以上の発生源あるいは発生機構に由来すると思われる。

粉塵中金属、イオンなどの粒径分布を示したが、これらが単独の形で存在することはありえず、酸化物なり他の元素と化学結合していたり、他の化合物に付着していたりしていると思われる。ここに求めた金属、イオンなどの粒径分布もそうした状態での粒径分布であることを補足しておく。

(2) MMDの季節変化

1 山型の粒径分布を示す金属や水溶性イオンについてはMMDの季節による差は見られない。2 山型の分布を示す金属や水溶性イオンについてはCとFの割合に応じて、MMDは変化する。例として、1 山型の Ca^{2+} 、 Zn 、 V 、2 山型の Mn のMMDの季節変化を図1-15に示す。2 山型のうち、特に Cl^- 、 NO_3^- についてはMMDの季節変化が顕著であり、それらを含めた水溶性イオンのMMDの季節変化を図1-16に示す。冬に Cl^- 、 NO_3^- のMMDが小さくなるのは、図1-17に示すようにFの濃度が冬に高くなる

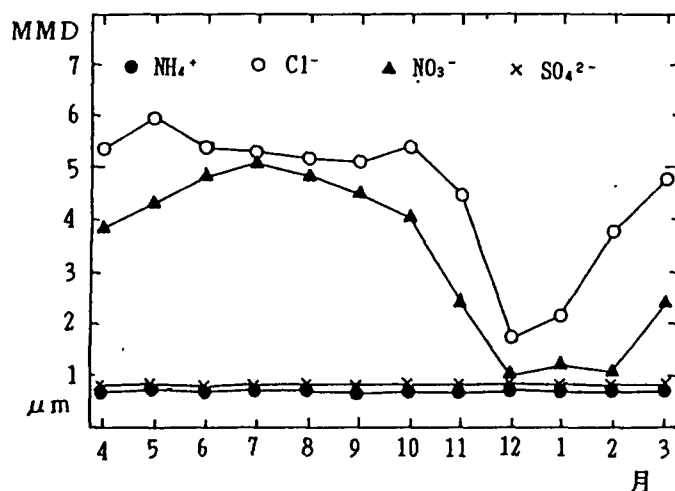


図 1-16 水溶性イオンのMMDの季節変化

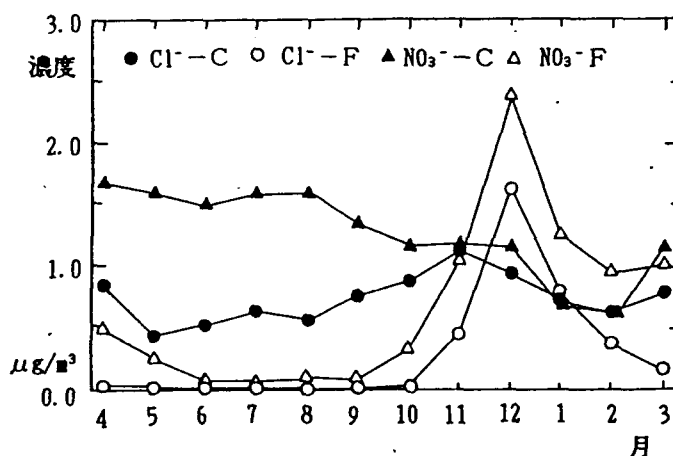


図 1-17 Cl⁻, NO₃⁻のC、F濃度の季節変化

からである。

1988年10月から1992年3月までの全平均での粉塵、金属、水溶性イオンのMMDを表1-3に示す。また図1-2でみたように、高濃度期にも4、5月と11、12月とでC、Fの濃度が異なったことからその表には、11、12月平均、4、5月平均での粉塵、金属、水溶性イオンのMMDも併せて示す。前述したように、粉塵、Mn、Cu、Cl⁻、NO₃⁻のMMDが季節により大きく異なっている。

(3) C、F別金属、水溶性イオン間の相関

C、F別の粉塵、金属、水溶性イオン間の相関を表1-4に示す。Cについては、粉塵との相関の高いのは相関係数が高い順にMn、Fe、Ca²⁺、Mg²⁺であり、それらは主として土壌成分である。NO₃⁻、SO₄²⁻、Cl⁻などの水溶性イオンともある程度相関は高い。粉塵以外の相関では、Na⁺とMg²⁺、Mg²⁺とSO₄²⁻（ともに海塩粒子由来成分である）、MnとFe、Ca²⁺とSO₄²⁻（ともに土壌粒子由来成分である）間で相関が高い。

Fについては、Ca²⁺、Mg²⁺以外のほとんどにおいて粉塵との相関はのが高いが、その

表 1 - 3 粉塵、金属、水溶性イオンのMMD

	年間	11、12月平均	4、5月平均
粉塵	1.70	1.30	2.9
Na ⁺	3.5	3.5	3.4
Mg ²⁺	4.0	4.4	4.1
K ⁺	0.85	0.86	0.85
Ca ²⁺	5.1	4.9	4.9
V	0.69	0.72	0.72
Mn	2.6	2.3	3.1
Fe	4.6	4.4	4.6
Cu	1.9	2.0	1.35
Zn	1.30	1.30	1.35
Cd	0.78	0.80	0.82
Pb	0.86	0.88	0.83
NH ₄ ⁺	0.69	0.68	0.68
Cl ⁻	4.0	1.9	5.8
NO ₃ ⁻	3.2	1.25	4.0
SO ₄ ²⁻	0.82	0.82	0.82

単位：μm

表 1 - 4 粉塵、金属、イオン間の相関 [右上：C (2.1μm以上)、左下：F (2.1μm以下)]

	粉塵	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	V	Mn	Fe	Cu	Zn	Cd	Pb	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
粉塵	1.000	0.336	0.729	0.325	0.774	0.353	0.835	0.746	0.223	0.337	0.138	0.210	0.145	0.400	0.606	0.522
Na ⁺	0.588	1.000	0.637	0.326	0.273	-0.009	0.342	0.277	0.337	0.356	0.167	0.168	0.165	0.595	0.202	0.344
Mg ²⁺	-0.036	0.121	1.000	0.478	0.723	0.232	0.539	0.464	0.295	0.335	0.066	0.241	0.204	0.607	0.557	0.662
K ⁺	0.646	0.607	0.386	1.000	0.428	0.343	0.325	0.214	0.248	0.388	0.152	0.309	0.075	0.086	0.385	0.474
Ca ²⁺	0.131	0.126	0.742	0.402	1.000	0.316	0.596	0.574	0.060	0.256	0.156	0.103	0.123	0.212	0.630	0.646
V	0.441	0.302	0.281	0.560	0.388	1.000	0.211	0.366	0.144	0.363	0.079	0.239	-0.108	-0.245	0.329	0.374
Mn	0.757	0.669	-0.203	0.513	0.039	0.328	1.000	0.795	0.258	0.385	0.367	0.257	0.156	0.360	0.461	0.421
Fe	0.499	0.392	-0.239	0.302	-0.081	0.291	0.525	1.000	0.318	0.386	0.363	0.313	0.169	0.280	0.308	0.423
Cu	0.607	0.291	-0.127	0.253	0.075	0.362	0.612	0.376	1.000	0.820	0.199	0.820	0.289	0.474	-0.124	0.273
Zn	0.834	0.587	-0.310	0.490	-0.079	0.270	0.887	0.507	0.551	1.000	0.118	0.797	0.211	0.333	0.029	0.436
Cd	0.751	0.326	-0.267	0.352	-0.040	0.241	0.743	0.401	0.681	0.786	1.000	0.266	-0.156	-0.018	0.043	0.115
Pb	0.893	0.550	-0.225	0.491	0.019	0.367	0.804	0.474	0.735	0.862	0.847	1.000	0.321	0.383	-0.142	0.486
NH ₄ ⁺	0.439	0.066	0.274	0.346	0.064	0.499	0.091	0.091	0.219	0.085	0.188	0.196	1.000	0.252	0.078	0.421
Cl ⁻	0.721	0.253	-0.045	0.346	0.116	0.183	0.375	0.292	0.506	0.521	0.683	0.700	0.372	1.000	-0.124	0.219
NO ₃ ⁻	0.796	0.355	-0.024	0.517	0.084	0.106	0.510	0.264	0.359	0.640	0.643	0.724	0.261	0.797	1.000	0.450
SO ₄ ²⁻	0.123	0.035	0.420	0.308	0.203	0.572	-0.032	0.007	0.052	-0.146	-0.187	-0.102	0.745	-0.156	-0.177	1.000

中でもPb、Zn、NO₃⁻、Mn、Cl⁻、Cd、K⁺と相関が高い。NO₃⁻、Cl⁻は二次粒子である。粉塵以外の相関では、Mn、Zn、Cd、Pbの間、またPb、CdとCl⁻、NO₃⁻の間、NH₄⁺とSO₄²⁻の間 (0.745、これは硫酸アンモニウムと思われる)、Cl⁻とNO₃⁻の間 (0.797、後述するように、ともに温度の影響を受けるためと思われる) で相関が高い。

(4) 水溶性イオンの当量バランス

全平均、11、12月平均、4、5月平均での陽イオンの当量濃度 (Na⁺、Mg²⁺、K⁺、Ca²⁺、NH₄⁺ の合計) と陰イオンの当量濃度 (Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻ の合計) をC (2.1μm以上) とF (2.1μm以下) にわけて図1-18に示す。陰イオンの炭酸イオンなど一部分析していない項目もあるが、陽イオンにおいては、Fではアンモニウムイオン、C

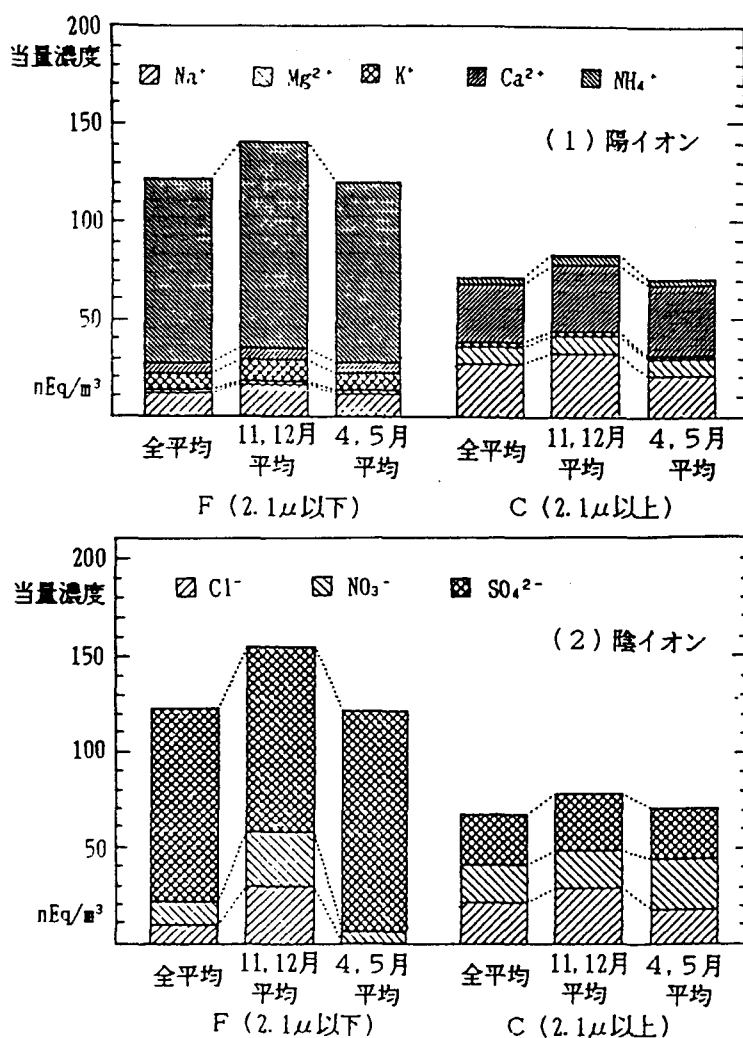


図1-18 陽イオンと陰イオンのイオンバランス

ではナトリウムイオンとカルシウムイオンが多い。陰イオンにおいては、Fでは硫酸イオンがかなりの部分を占めており、Cでは塩素イオン、硝酸イオン、硫酸イオンが同程度に多い。また、陽、陰イオンのイオンバランスをみると、F、Cともに、全平均、11、12月平均、4、5月平均すべてにおいて釣り合っており、水溶性イオンにおいてこれらでほとんど説明されると考えられる。

(5) 水溶性イオンと気象要素、ガス状物質との関係

NH₄⁺、Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻などの水溶性イオンは、アンモニア、塩素ガス、塩化水素ガス、NO₂、NO、SO₂などのガス状物質からの生成も含まれていると考えられる。2.1 μm以下の塩素イオン（以下、塩素イオン-Fとする。他のイオンも同様）は、塩化アンモニウム、硝酸イオン-Fは硝酸アンモニウム、2.1 μm以上の硝酸イオン（以下、硝酸イオン-Cとする。他のイオンも同じ）は、硝酸ナトリウム、硫酸-Fは、硫酸アンモニウムとされている。^{1) 2)}

それらの生成には、それらのガス状物質濃度だけでなく、気温などの気象要素の影

響も大きいと考えられる。それら水溶性イオンと気温、日射量の気象要素との相関、 SO_2 、 NO_2 や NO などのガス状汚染物との相関を表1-5に示す。

塩素イオン-Fと硝酸イオン-Fは、冬期に濃度が高くなることを先述したが、その原因として気温（あるいは日射量）が考えられ、気温が高いほどガス状物質からの変化が起こりにくく、塩素イオン-Fは 15°C 以上では、硝酸イオン-Fは 20°C 以上ではほとんど生成されない（図1-19）。逆に、硝酸イオン-Cは、温度が高いほど生成されやすい（図1-20）。先述したように、海塩粒子中の塩化ナトリウムと窒素酸化物との反応により硝酸ナトリウムが生成される。硫酸イオン-Fもまた同様の傾向にあるが、気温よりも日射量との相関の方が高い。

硝酸イオンは NO_2 や NO からの、硫酸イオンは SO_2 からの変換と考えられるが、表1-5に示すように、 SO_2 と硫酸イオン-Fとの相関は低く、（ $r=0.204$ ）、 NO_2 や NO と硝酸イオン-Cとの相関は低いけれども負の相関であるが、 NO_2 、 NO と塩素イオン-F、硝酸イオン-Fとの相関は高く（図1-21、図1-22）、塩素イオン-F、

表1-5 水溶性イオンと気温、日射量、 SO_2 、 NO_2 、 NO 、 NO_x との相関

	気温	日射量	SO_2	NO_2	NO	NO_x
NH_4^+-F	-0.050	0.118	0.456	0.191	0.200	0.213
Cl^--F	-0.560	-0.599	0.603	0.559	0.836	0.800
NO_3^--F	-0.710	-0.711	0.510	0.681	0.809	0.813
$\text{SO}_4^{2-}-\text{F}$	0.435	0.537	0.204	-0.104	-0.285	-0.246
NH_4^+-C	-0.099	-0.176	0.307	0.172	0.382	0.347
Cl^--C	-0.313	-0.398	0.432	0.376	0.531	0.514
NO_3^--C	0.637	0.604	-0.053	-0.280	-0.441	-0.417
$\text{SO}_4^{2-}-\text{C}$	-0.090	-0.167	0.427	0.365	0.290	0.326

C: $2.1\mu\text{m}$ 以上 F: $2.1\mu\text{m}$ 以下

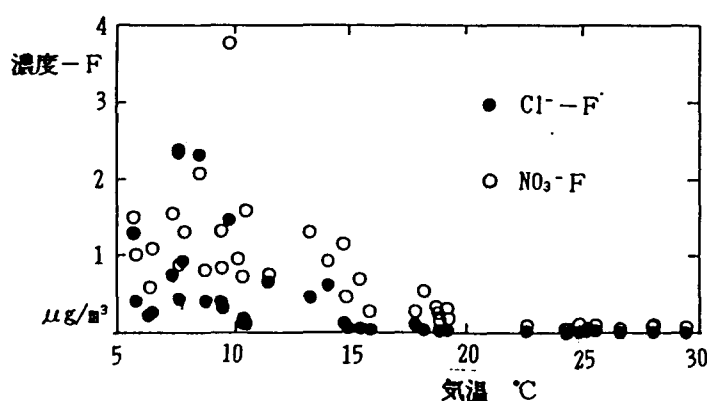


図1-19 気温と Cl^--F 、 NO_3^--F 濃度の関係

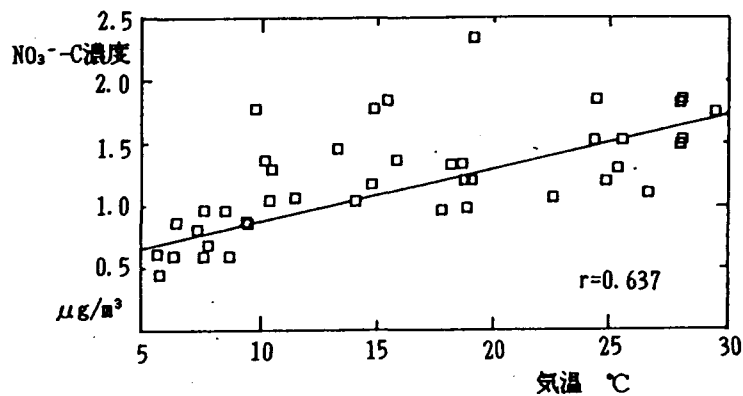


図 1 - 20 気温と $\text{NO}_3\text{-C}$ との相関

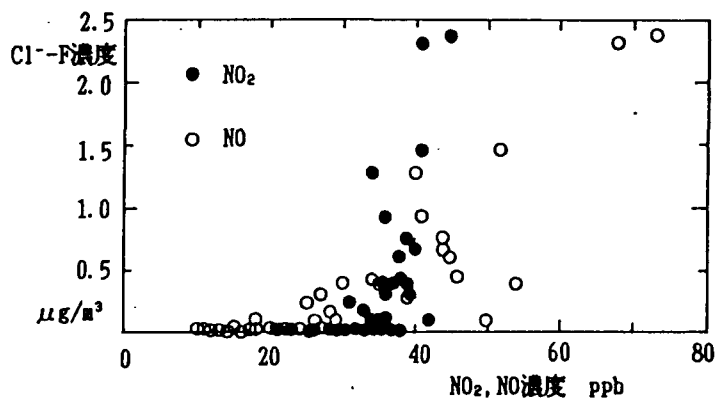


図 1 - 21 NO_2 , NO 濃度と Cl--F 濃度の関係

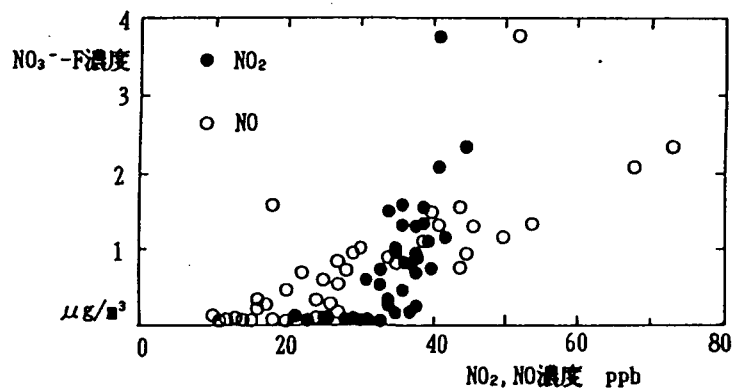


図 1 - 22 NO_2 , NO 濃度と $\text{NO}_3\text{-F}$ 濃度の関係

硝酸イオン-Fとも NO_2 濃度が30ppb以上になれば増加する。硝酸イオン-Fはともかく、塩素イオン-Fは NO_2 とは直接関係はないが、塩素イオン-F、硝酸イオン-Fと NO_2 、 NO との相関が高い原因として、気温と NO_2 や NO 濃度との相関が、それぞれ-0.761、-0.709 と高いことが挙げられる。

1. 3. 3. 高濃度期の特徴

ハイボリウムエアサンプラーの結果から、11、12月と4、5月に粉塵の高濃度があること、11、12月と4、5月で同じ高濃度でも粉塵成分に違いがみられることを確かめた^{11) 12) 13)}。今回のA. S. の場合も、図1-2でみたように、同じ粉塵濃度

が高くても11、12月と4、5月では粒径が異なることから、粉塵中の金属や水溶性成分濃度が異なると考えられる。それゆえ1988年10月から1992年3月までのうち11、12月の平均、4、5月の平均を粉塵、金属、水溶性イオン濃度について求めたのをC、F別に表1-6に示す。

年間値と比較して11、12月平均で濃度が高いのは、CよりもFにおいて顕著である。成分としては、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、V、Mn、Fe、Cu、Zn、 NH_4^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- などの濃度が高いが、 NH_4^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- などは二次粒子である。多くの成分において濃度が高いということは、11、12月平均が特定の発生源の寄与よりも気象要素が原因と考えられることと一致する。

年間値と比較して4、5月平均で濃度が高いのは、Fでは SO_4^{2-} 以外ほとんど差がなくCでは Ca^{2+} 、V、Mn、Feであり、それらは主に土壌成分である。

そこで土壌成分、海塩粒子成分、二次粒子について高濃度期の特徴について検討した。

(1) 土壌、海塩粒子寄与濃度の算出

CのMnは土壌粒子、Naは海塩粒子の由来と考えられるので、土壌中および海塩粒子中のそれらの成分(Mn0.135%、Na30.42%¹⁴⁾)から年平均、11、12月平均、4、5

表1-6 C、F別粉塵、金属、水溶性イオン濃度

	C			F		
	年間	11、12月 平均	4、5月 平均	年間	11、12月 平均	4、5月 平均
粉塵	24.7	28.3	30.9	27.2	38	24.7
Na^+	609	734	487	270	360	252
Mg^{2+}	98	111	100	23.8	23.1	22.1
K^+	83	101.4	78.2	326	424	336
Ca^{2+}	594	672	709	105	121	103
V	1.50	1.67	1.76	5.11	6.10	5.75
Mn	23.0	27.4	30.3	19.0	26.0	20.4
Fe	1019	1216	1278	249	327	264
Cu	16.9	23.4	15.5	18.0	23.7	20.6
Zn	76.4	103.3	75.4	140	196	142
Cd	0.27	0.30	0.34	1.35	1.88	1.32
Pb	16	23	15	56	81	55
NH_4^+	64	97	55	1691	1893	1644
Cl^-	751	1028	630	341	1046	22
NO_3^-	1222	1162	1621	734	1704	359
SO_4^{2-}	1243	1414	1247	4830	4608	5459

単位：粉塵のみ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、他はすべて ng/m^3

C：2.1 μm 以上 F：2.1 μm 以下

表 1-7 土壌粒子寄与濃度、海塩粒子寄与濃度

土壌粒子寄与濃度、海塩粒子寄与濃度		
年間	17.0 (68.8)	2.0 (8.1)
11、12月平均	20.3 (71.7)	2.4 (8.5)
4、5月平均	22.4 (72.5)	1.6 (5.2)

単位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、()中は粉塵Cに占める割合(%)

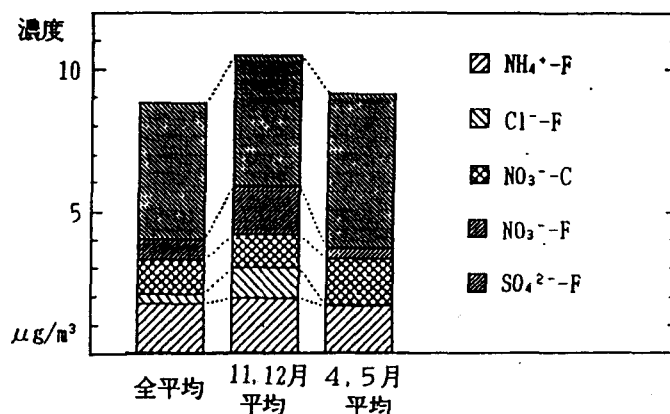


図 1-23 二次粒子の濃度 (1988.10-1992.3)

月平均でのそれらの寄与を求めた。その結果を表 1-7 に示す。

土壌寄与濃度については、全平均に比較して、11、12月平均では $3.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 高いが、4、5月平均では $5.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 高い。海塩粒子濃度については、全平均に比較して、11、12月平均では $0.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 高いが、4、5月平均では逆に $0.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 低い。

(2) 二次粒子の寄与の算出

アンモニウムイオン、塩素イオン、硝酸イオン、硫酸イオンのうち、二次粒子と考えられるのは、アンモニウムイオン-F、塩素イオン-F (例えば NH_4Cl であり、Cは海塩粒子 NaCl)、硝酸イオン-C (例えば NaCl との反応で生成される NaNO_3)、硝酸イオン-F (例えば NO_x からの2次生成 NH_4NO_3)、硫酸イオン-F (例えば SO_2 からの2次生成 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ であり、Cは海塩粒子 MgSO_4 など)であり、それらの合計を二次粒子とすると、全平均、11、12月平均、4、5月平均でのそれらの寄与濃度は、図 1-23 のようになる。

全平均値と比較して11、12月平均では硝酸イオン-Cで少し低くなるが他はすべて多くなり特に塩素イオン-F、硝酸イオン-Fが顕著である。年間値と比較して4、5月平均では塩素イオン-F、硝酸イオン-Fが低くなるが硝酸イオン-C、硫酸イオン-Fは高くなり、二次粒子の合計としては結果として少しだけ高くなる。

1. 4. 本章のまとめ

大阪市における1976-1991年のA. S. による浮遊粉塵の粒径分布の測定結果より次のことが明らかになった。

(1) 粉塵濃度の経年変化はC、Fとも減少傾向にあったが、濃度としてはCの方がFより高かったが、最近3年間ではほぼ同程度である。粉塵のMMDの経年変化は、87年までは約 $3\mu\text{m}$ であったが、最近4年間では約 $2\mu\text{m}$ と小さくなった。

(2) 粉塵濃度の季節変化についてはCは4、5月に高く、Fは11、12月に高く、Tとしては4、5月と11、12月に高い。粉塵のMMDの季節変化は、4、5月に大きく、11、12月に小さい。

(3) 気象要素のうち、粉塵濃度との相関が高いのは、気温差、風速であり、MMDとの相関が高いのは日射量、気温であった。

(4) 粉塵の粒径分布は、年間平均では約 $2\mu\text{m}$ を境に、約 $1\mu\text{m}$ のピークと $5\mu\text{m}$ のピークをもつ2山型の分布を示しているが、4、5月平均では約 $5\mu\text{m}$ のピークが高いが逆に約 $1\mu\text{m}$ のピークは低い。11、12月平均では約 $1\mu\text{m}$ のピークがかなり高いが、約 $5\mu\text{m}$ のピークも全平均より少し高くなっている。

(5) 粉塵濃度CとF間の相関は高いが、粉塵濃度TとMMDの相関は低い。

(6) 金属、水溶性イオンの粒径分布を2山型、1山型(CとFの2種類)に分類すると、Mn、Cu、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} は2山型、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、Feは1山型C、 K^+ 、V、Zn、Cd、Pb、 NH_4^+ は1山型Fに分類される。

(7) 金属、水溶性イオンのMMDの季節変化は、 Ca^{2+} 、Zn、Vなどの1山型の粒径分布を示す金属や水溶性イオンについてはMMDの季節による差は見られないが、Mn、 Cl^- 、 NO_3^- などの2山型の分布を示す金属や水溶性イオンについてはCとFの割合に応じて、MMDは大きく変化する。

(8) 水溶性イオンのうち塩素イオン-Fおよび硝酸イオン-Fと気温との相関は負であり、塩素イオン-Fは 15°C 以上では、硝酸イオン-Fは 20°C 以上ではほとんど生成されない。

(9) 塩素イオン-F、硝酸イオン-Fと NO_2 、NOとの相関は高く、ともに NO_2 濃度が30ppb以上になれば増加する。

(10) 土壌寄与濃度は、年間 $17.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ であるが、11、12月は年間より $3.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 高く、4、5月では年間より $5.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 高い。

(11) 二次粒子の寄与濃度は、全平均値と比較して11、12月平均では硝酸イオン-Cで少し低くなるが他はすべて多くなり特に塩素イオン-F、硝酸イオン-Fが顕著である。全平均値と比較して4、5月平均では塩素イオン-F、硝酸イオン-Fが低くなるが硝酸イオン-C、硫酸イオン-Fは高くなり、二次粒子の合計としては結果として少しだけ高くなる。

第1章の参考文献

- (1) Kadowaki, S.: Size distribution of atmospheric total aerosols, sulfate, ammonium and nitrate particulates in the Nagoya area, *Atmospheric Environment*, 10, 39-43 (1976)
- (2) Kadowaki, S.: Size distribution and chemical composition of atmospheric particulate nitrate in the Nagoya area, *Atmospheric Environment*, 11, 671-675 (1977)
- (3) 溝畑朗、真室哲雄：堺における大気浮遊粒子状物質中の諸元素の発生源の同定 (Ⅱ)、大気汚染学会誌 第15巻第6号 p. 225-233 (1980)
- (4) 瀬戸信也他：大気汚染濃度の統計解析 (Ⅲ) 粒子濃度、硫酸塩濃度の粒径別分布特性、大気汚染学会誌 第23巻第4号 p. 233-240 (1988)
- (5) 吉岡他：東京都における粒子状物質中のAl、Mn、V、Na及びClの粒径分布 東京都環境科学研究所年報1990 p. 59-62
- (6) 田中茂他：都市大気中における粒子状物質、塩化物、硝酸塩、硫酸塩、の大気濃度および粒度分布の季節的変動 大気汚染学会誌 第19巻 pp. 104-113 (1984)
- (7) 内山茂久：大気中の粒子状物質におけるイオン成分の粒度別季節変動 大気汚染学会誌 第25巻第1号 p. 77-84 (1990)
- (8) 松本光弘他：田園都市地域におけるエアロゾルの無機イオン成分の粒度分布と挙動 大気汚染学会誌 第21巻第6号、p. 501-511 (1986)
- (9) 宮崎竹二他：大阪市内浮遊粉じんおよび金属の粒径分布、大阪市立環境科学研究所報告・調査研究報告、44, 19-23 (1981)
- (10) Whitby, K. T.: The physical characteristics of sulfur aerosols, *Atmospheric Environment*, 12, 135-159 (1978)
- (11) 宮崎竹二、神浦俊一、藁科宗博、山岡茂夫、森田茂：粉じんの高濃度日を形成する要因について 大阪市立環境科学研究所報告調査・研究年報 第50集 p. 27-37, 1988
- (12) T. Miyazaki and S. Yamaoka: Meteorological Factors Causing High Dust Concentration, *Energy and Building*, 15-16, 691-698 (1990/1991)
- (13) T. Miyazaki and S. Yamaoka: Meteorological Factors Causing High Dust Concentration, *Proceedings for IFHP/CIB/WMO/IGU International Conference on Urban Climate, Planning and Building*, p. 87, 1989
- (14) 吉岡他：環境大気中における粒子状物質中の金属成分への土壌寄与 東京都環境科学研究所年報1989 p. 75-78

第2章 自然換気の室内における浮遊粉塵、金属、イオンの性状

2. 1. 本章の目的

室内環境中の粉塵、粉塵中金属の測定は、竹内¹⁾、長良²⁾、D. J. Moschandreas³⁾などによってなされてきた。粉塵の測定はそれ自体人体影響の面から重要であるが、金属の測定は、特に有害な金属については特殊の場合以外は濃度的にも低いので、あまり重要でないと思われる。しかし粉塵中金属成分の割合を知ることは、大気中の粉塵についてよくなされているように、例えば喫煙の寄与など粉塵の発生源を同定するのに有効である。第3章で事務室などの粉塵にその手法を適用している。

室内粉塵濃度を考える時、外気濃度の影響をまず知ることが必要であるが、粉塵の室内濃度と外気濃度との関係についての研究も、過去には数多くなされている^{4) 5) 6) 7) 8)}。しかし、まず室内発塵のないまた除塵されない自然換気の条件での室内外の関係調べる必要がある。室内での発生源がない場合、空調がなされていないならば、室内粉塵濃度に影響する因子として外気粉塵濃度とその粒径分布、換気量、開口条件などが考えられる。また諸因子のうち、外気濃度が変化した場合、その濃度に比例して室内濃度が決まると考えられている。そこで、いままで粉塵の外気濃度に対する室内濃度の比（以下I/O比とする）について0.80 (Biersteker et al., 1965)⁹⁾、0.69 (Ib Andersen, 1972)¹⁰⁾などの値が発表されているが、L. Alzona (1979)¹¹⁾によって報告されているように、その比は換気量、粉塵の粒径分布、開口条件などによっても異なってくると考えられる。

粉塵の粒径分布については、今回の結果からも外気のMMD (Mass Median Diameter、質量中央径) は、0.90-3.8 μm の範囲であるが、金属のMMDについては、種類により大きく異なり、今回の外気の結果から、FeのMMD 5.1 μm からVのMMD 0.63 μm まで大きく変化するが、1山型の特定の金属に限ればMMDはおおよそ一定である¹²⁾。それゆえ、粒径とI/O比の関係をみるのに、粉塵濃度だけでなく粉塵中の金属成分も分析すれば、広い範囲での粒径についての情報を得ることができ、その結果、外気の濃度と粒径分布から室内への影響をある程度知ることができる。

本章の目的は、自然換気と想定されうる当研究所の研究室で約2年に渡って、粉塵の発生がない場合について、室内外粉塵および金属濃度とそれらの粒径分布を測定した結果に基づいて、外気粉塵や金属のMMDとI/O比の関係および換気量とI/O比の関係について検討することである^{13) 14)}。また、自然換気の住宅においても同様の測定を行い、研究室の結果と比較検討した¹⁵⁾。

それらの関係を知ることによって、外気の粉塵および金属濃度やそれらの粒径分布から室内濃度へのそれらの影響を予測することが可能となる。

2. 2. 測定方法

2. 2. 1. 研究所における測定

粉塵および金属の実測に用いた部屋は、当研究所の7階の図2-1に示す研究室（容積、 71m^3 ）である。本来は、空調がなされているが、吹き出し口を塞ぐことによって自然換気のみとした。吸い込み口はない。

粉塵の発生源については、この部屋が倉庫として用いられているため、測定器の流量の確認やろ紙の取り替えなどのため立ち入る以外は入室は少なく、そのため歩行などによる人体からの発生は少ないと考えられる。喫煙は、この部屋では禁じられている。

測定は、昭和61年8月から63年6月（中断約3カ月）まで行ったが、そのうち昭和62年9月までは部屋の窓を閉めた状態で、奇数月は室内外粉塵および金属濃度とそれらの粒径分布を、2台のアンダーセンエアサンプラー（高立機器製、2100型、以下A. S. と略す）により、前半、後半の2回に分けて測定した。（昭和61年8月のみ3回に分けた）その吸引流量は 28.3 l/min である。A. S. は、インパクター方式により、粉塵を粒径別に全部で9段に分けて捕集できる測定機である。

偶数月は外気のみ粒径分布の測定を行う一方、1-4日の採気日数でローボリウムエアサンプラー（ $10\mu\text{m}$ 以上の粒子も含む、以下L. V. と略す）により室内外粉塵および金属濃度の測定を行った。A. S. では半月程度の長期のサンプリングが必要であり、換気量との関係を知るためL. V. での短期の測定を行った。その吸引流量は 20 l/min である。

昭和62年10、11月と昭和63年4、5、6月においては、部屋の窓（高さ 120 cm 、幅 73 cm 、開口面積 0.876 m^2 ）を開放して、室内外の粉塵および金属濃度とそれらの粒径分布の測定を行った。廊下側のドアは閉められている。また同時に、L. V. による室内外の粉塵および金属の測定を行った。

トレーサースガス（低濃度でのCO）による部屋の換気回数の測定を、窓を閉めた状態で昼間のみ延べ128回行った。また窓を開放した状態で、窓中央での風速の連続測定を、昭和62年10月1-5日の間行った。測定には、微風速計（柴田科学）およびデータプリンター（ダイレック製、DY-9000）を用いた。なお、A. S. の吸引流量は2

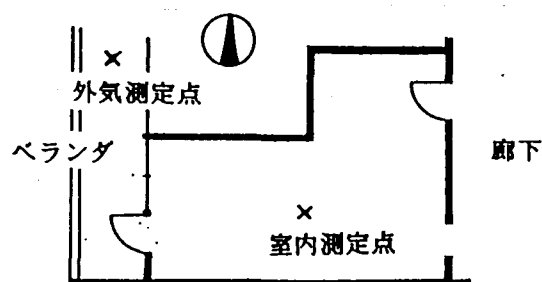


図2-1 粉塵および金属の測定に使用された室内

8.3 l/minなので、換気回数に変換すると0.024回/hとなり少ないので、測定による影響は考慮しなかった。

2. 2. 2. 住宅における測定

大阪府下の戸建て住宅（以下M宅とする）で、昭和63年11月13日から12月8日までの期間、粉塵および粉塵中金属、イオンの測定を行った。室内での測定箇所は2Fの洋室（約36m³）中央であり、高さ約1mである。この部屋は人の出入りが少なく、また喫煙もなされていない。外気は洋室の南側に面したベランダから少し突き出して測定した。測定方法は、10μmカットを行わずにL. V.（吸引流量は20 l/min）による測定であり、時間は朝7時半頃から夜10時頃までである。12月3日と4日は、前半は窓を開放し、後半は閉鎖した。なおその他の日は、窓はほとんど閉鎖されているが一時開放されることがある程度である。

また平成2年4～6月にはA. S. による室内外粉塵濃度の測定を追加した。室内外の測定は同時ではなく、隔日に1台のポンプで内外を交互に測定した。吸引流量は28.3 l/minで、測定時間はローボリの場合と同様朝7時半頃から夜10時頃までである。窓の開閉状態は、季節からしてローボリの測定時期より開放されることが多かった。

2. 2. 3. 粉塵濃度および粉塵中の金属成分、イオン成分濃度の測定

A. S. およびL. V. とともに、粉塵の捕集には石英ろ紙（東洋ろ紙QR100）を用い、ろ紙の秤量は恒温恒湿室（温度20℃、湿度50%）に1日以上放置後行った。

金属の測定は、A. S. では研究室の場合1カ月分を、住宅の場合3カ月分をひとまとめにして分析した。L. V. では研究室、住宅ともに1月分ごとに粉塵濃度ランク別に2～8日分をひとまとめにして分析した。分析方法は、ろ紙の半分について硝酸、過塩素酸で湿式灰化後V、Mn、Fe、Cu、Zn、Cd、Pbを原子吸光光度法で分析した。残りのうち、ろ紙の1/4について、蒸留水で超音波抽出後、同じく原子吸光光度法によってNa⁺、Mg²⁺、K⁺、Ca²⁺を分析した。M宅では、水抽出試料についてCl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻、NH₄⁺のイオンの分析を追加したが、イオンクロマトグラフィーによった。これらの金属やイオンは、浮遊状態では酸化物や塩などの形で存在していると思われる。

粉塵および金属の粒径分布の作図は、粒径の累積度数分布曲線を粒径の対数で微分することにより求めたが、その簡易計算法である角脇による方法によった¹⁶⁾。

2. 2. 4. A. S. の機差

研究所や住宅の室内外の粉塵および粉塵中金属の粒径分布を比較する前に、外気測定用と室内測定用のA. S. の機差について検討した。測定期間は、昭和62年12月から63年2月にかけてであり、外気について5回行った機

差試験の結果を図2-2に示す。粉じん濃度については外気用 $61.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ に対して室内用 $60.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ とほとんど差がない。粒径分布については機差がみられるものの常に一定の傾向にあるので、機差試験の結果から、室内用、外気用ともに各ステージの重量割合がそれらの平均値になるように補正係数を求め、それを掛けることにより補正した。以下、すべて補正後のデータに基づいている。

2. 3. 測定結果

2. 3. 1. 研究所における粉塵濃度、粉塵中金属成分濃度および換気回数の測定

(1) A. S. の測定結果

室内外の粉塵濃度およびそのMMDの径月変化を図2-3に示す。外気については、冬に粉塵濃度は高く、MMDは小さく、夏にそれらの逆になる傾向が認められる。室内については、濃度、MMDともほぼ一定である。

窓を閉めた状態での室内外の粉塵、および金属のうちMn、Fe、Pbについてのみ粒径分布を、図2-4に示す。外気は昭和61年8月から昭和62年9月までの平均（粉塵 $N=31$ 、金属 $N=15$ ）、室内は昭和61年9、11、昭和62年1、3、5、7、9月の平均（粉塵 $N=14$ 、金属 $N=7$ ）である。

窓を開けた状態での同様の結果を、図2-5に示す。室内外とも、昭和62年10、11月と昭和63年5、6月の平均（粉塵 $N=8$ 、金属 $N=4$ ）である。昭和63年4月後半は、黄砂現象がみられた時であり、平均値からは除いた。

外気の粉塵、Mnの粒径分布は、 $0.5 \mu\text{m}$ と $4 \mu\text{m}$ 付近にピークを示す2山型を示し、

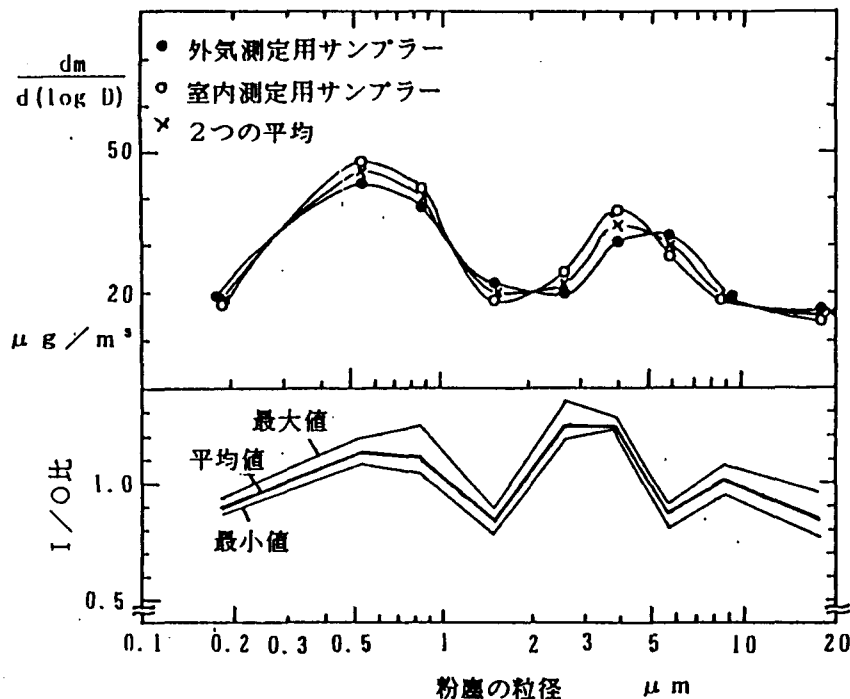


図2-2 2つのアンダーセンエアサンプラーの比較

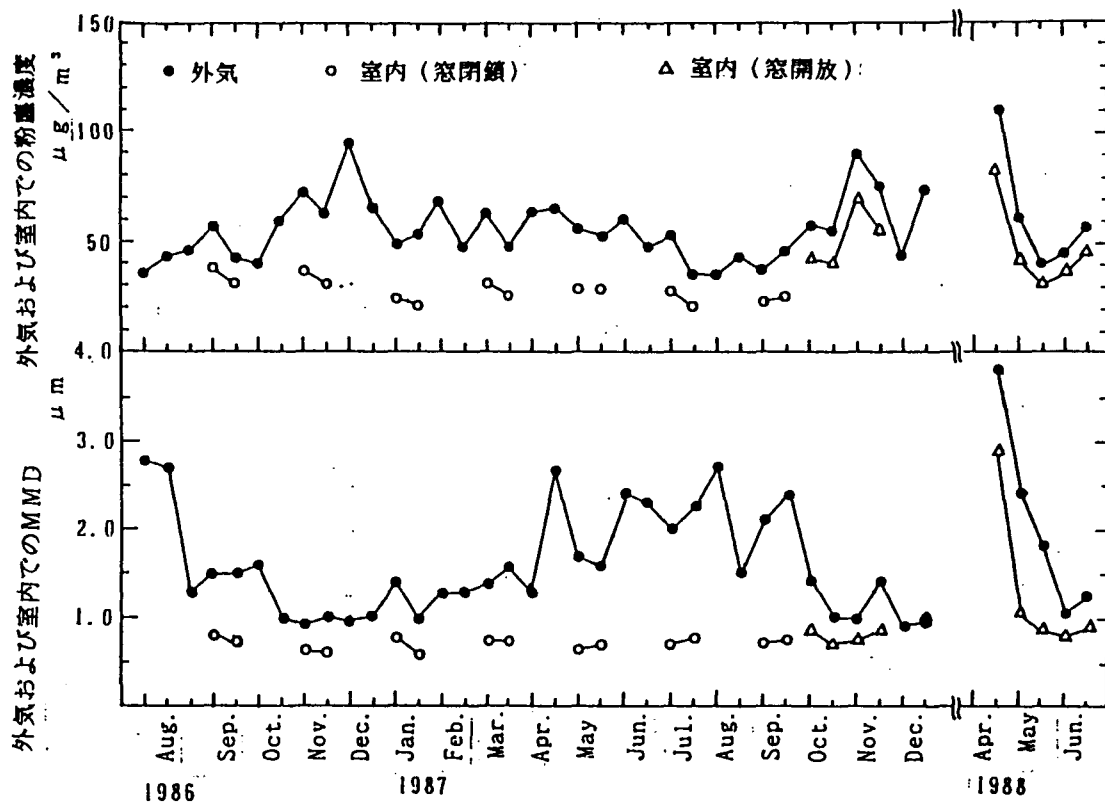


図 2-3 外気および室内での粉塵濃度およびそのMMDの変化

Feは大粒径に、Pbは小粒径にピークをもつ1山型を示す。室内でのそれらの粒径分布は、外気と比較して大粒径ほど低くなる。窓を開放すれば、閉めた時より外気に粒径分布が近くなる。

今回の測定期間中において、外気の粉塵のMMD（以下MMD。とする）の範囲は、黄砂時の $3.8\mu\text{m}$ は例外として最大 $2.8\mu\text{m}$ 、最小 $0.9\mu\text{m}$ である。それに対して金属については、1山型の金属の場合粒径の大きい順に、Fe $7.8-4.2\mu\text{m}$ 、 $\text{Ca}^{2+}5.0-3.1\mu\text{m}$ 、 $\text{Mg}^{2+}4.2-2.6\mu\text{m}$ 、Zn $1.5-1.05\mu\text{m}$ 、Pb $1.05-0.69\mu\text{m}$ 、 $\text{K}^{+}0.88-0.58\mu\text{m}$ 、Cd $0.83-0.57\mu\text{m}$ でありMMD。の変化は少ない。2山型のMnでは $4.6-1.5$ と、粉塵と同様に広範囲である。2山型の粉塵や金属はそれぞれのピークに対応した少なくとも2つ以上の発生源をもっていることになり、それ故MMD。が大きく変化する。

(2) L. V. の測定結果

窓閉鎖時の測定回数Nは140であり、粉塵濃度の平均および標準偏差は外気 $65.9 \pm 34.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、室内 $32.1 \pm 13.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。これらのデータのうち、風向が比較的一定の時のデータを、換気量とI/O比の関係を調べるのに用いた。粉塵中金属成分濃度は、分析したが今回の解析には用いなかった。

窓開放時の測定回数Nは35であり、粉塵濃度の平均および標準偏差は外気 $89.2 \pm 44.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、室内 $54.7 \pm 27.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。外気濃度は、窓閉鎖時と比較すると、高かった。

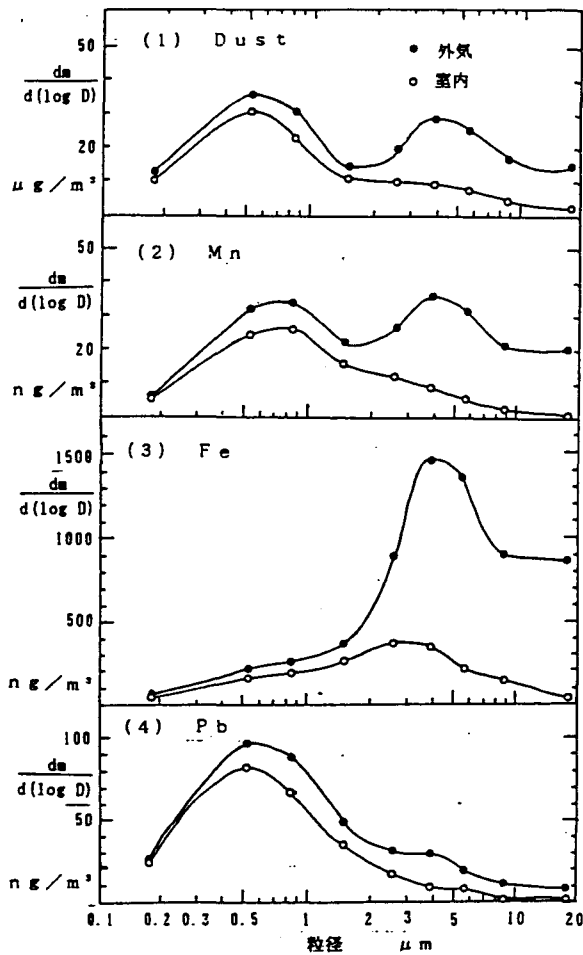


図2-4 粉塵、Mn、Fe、Pbの粒径分布（窓閉鎖）

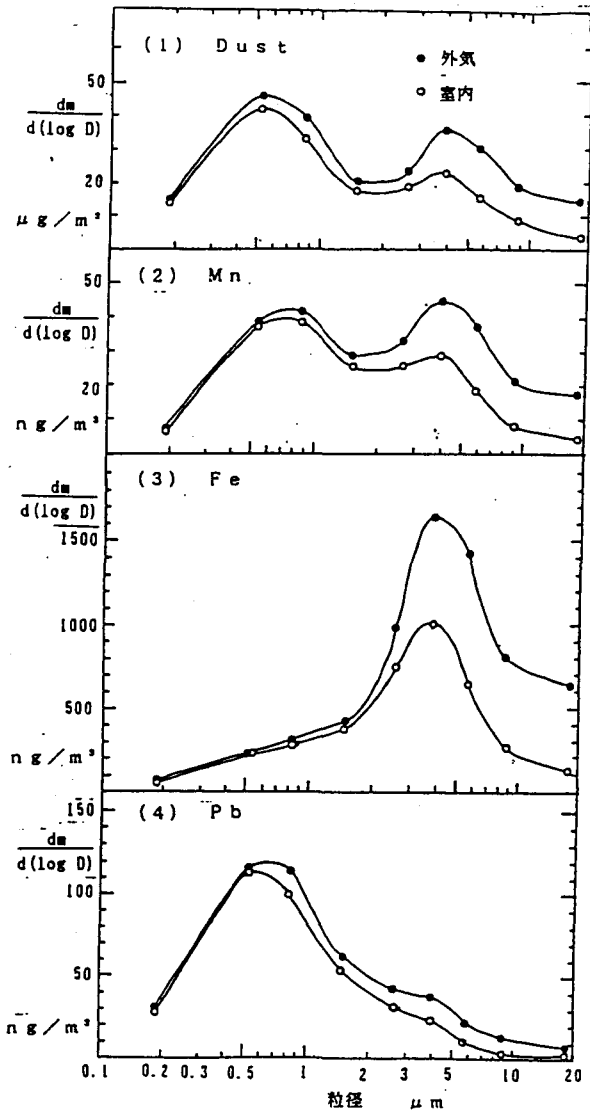


図2-5 粉塵、Mn、Fe、Pbの粒径分布（窓開放）

（3）換気回数の測定結果

トレーサースガスによる部屋の換気回数の測定を、窓を閉めた状態で昼間のみ延べ128回行ったが、その平均および標準偏差は 1.18 ± 0.69 回/hであった。換気回数の算出方法は、Seidelの式によった（付録参照）。またその時の大阪管区気象台（当研究所の北西2.3Kmに位置する）の風向、風速データより西風の場合の風速と換気回数との関係、北風の場合の風速と換気回数との関係を求めたのが図2-6である。ただし、西北西から西南西の範囲の風を西風、北北西から北北東の範囲の風を北風とした。部屋の窓が西向きであり、ベランダの奥にあるため、北風による換気回数の増加は少ないが、西風では著しく増加し、相関も高い。

窓を開放した状態で、窓中央での風速の連続測定を行ったが、その期間は風速は比較的穏やかであった。その平均風速が0.086m/sであることから予想される換気回数は3.8回/hであった。風向については、数回の測定より西側のベランダから東側の廊下

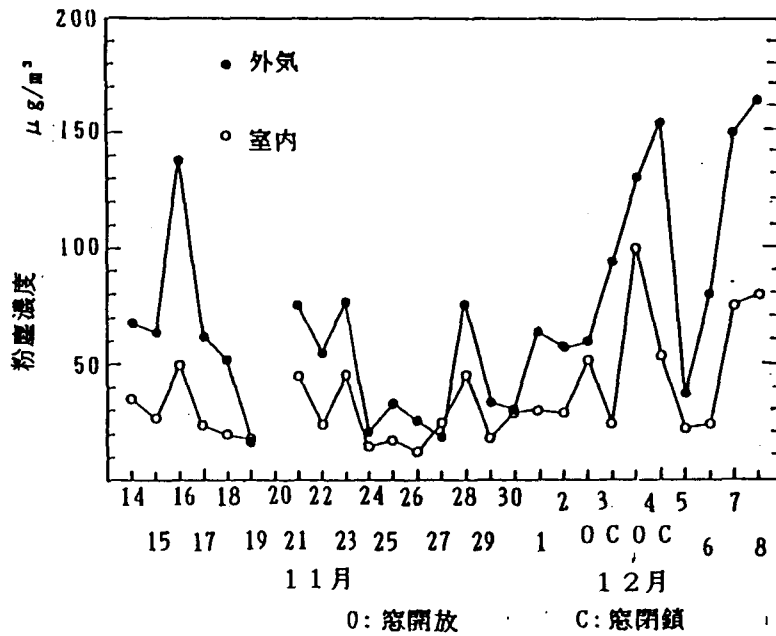


図2-7 M宅における粉塵濃度の変化

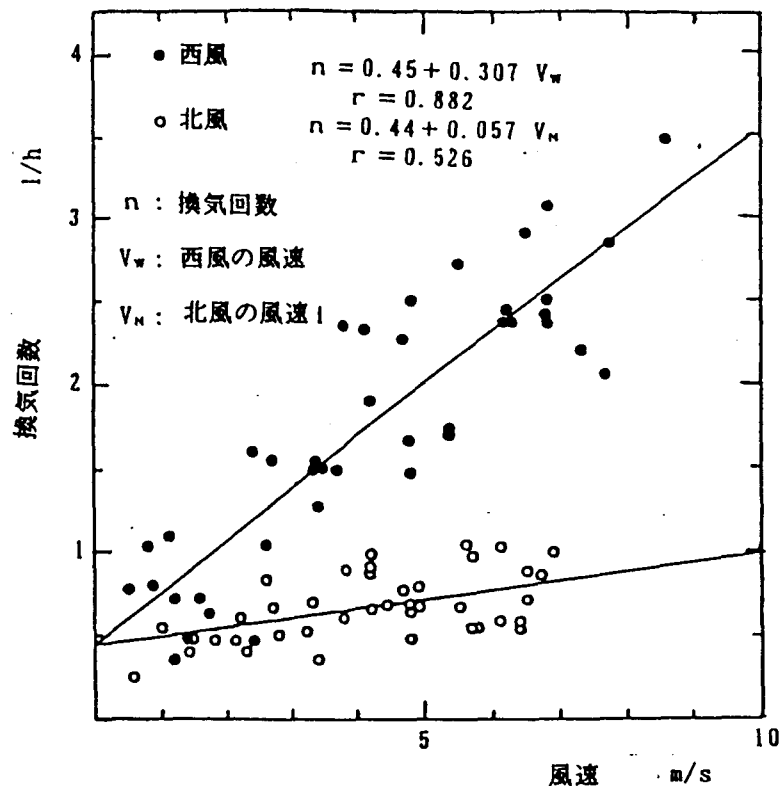


図2-6 換気回数と風速との関係

への気流が主体であるが、逆の場合もあった。

2. 3. 2. 住宅における粉塵濃度、粉塵中金属成分、イオン成分濃度の測定

(1) L. V. の測定結果

住宅における測定結果を図2-7に示す。室内粉塵濃度は、窓をほとんど閉鎖し、

時折開放する程度の一般の日（以下「通常」とする）と比較して、窓を開放した3日と4日の前半は外気濃度に近くなるが、窓を閉鎖した同日の後半は外気濃度に比較して低くなる。

「通常」での粉塵濃度の平均および標準偏差は、外気について $63.6 \pm 39.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、室内について $32.3 \pm 17.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。窓開放での外気の平均濃度は $95.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、その値より高く、窓閉鎖での平均濃度は $124.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ とさらに高かった。

(2) A. S. の測定結果

粉塵濃度は外気 $50.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、室内 $38.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、L. V. の濃度と比較して外気は低く、逆に室内は高い。室内外の粉塵の粒径分布についてのみ図2-8に示すが、大粒径では室内が外気に比較してある程度低くなるが、小粒径ではそれほど違わない。

2. 4. 考察

2. 4. 1. 研究所における外気粉塵濃度とMMD。の関係

室内と関係付けるための外気粉塵濃度（C。とする）とそのMMD。の関係を図2-9に示す。全体では相関係数はそれほど高くないが、室内を測定している時の窓閉鎖時に限れば -0.733 と高い負の相関を示す。高濃度が小粒径粒子の増加によって生じることが多いことを示している。

また、比較的風向が安定している時のL. V. の測定期間中の平均風速と外気粉塵濃度の関係を北風と西風にわけて図2-10に示すが、ともに高い負の相関である。先の図2-6に示したように、風速と換気量との間に高い正の相関があったことから、風速により換気量が増える状況では、外気粉塵濃度が低くなる傾向にある。

2. 4. 2. 研究所における外気粉塵濃度とI/O比の関係

L. V. による外気粉塵濃度とI/O比の関係を図2-11に示す。窓を閉鎖した場合、I/O比は濃度と負の相関であるが、窓を開放した場合、濃度が変化してもI/O比はそれほど変わらない。

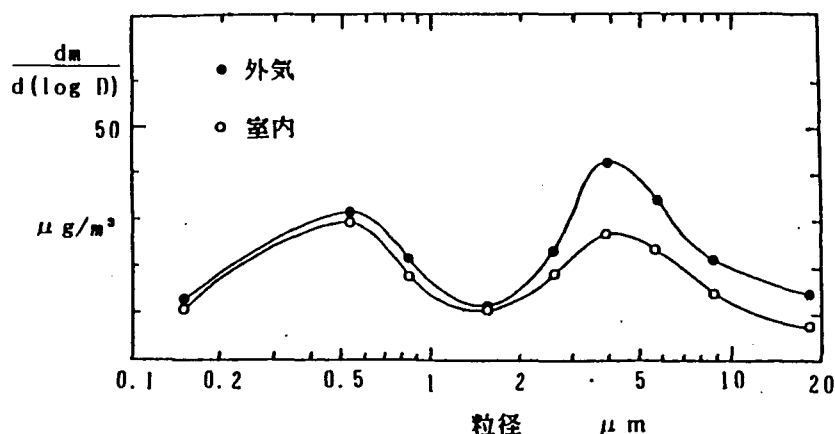


図2-8 M宅における粉塵の粒径分布

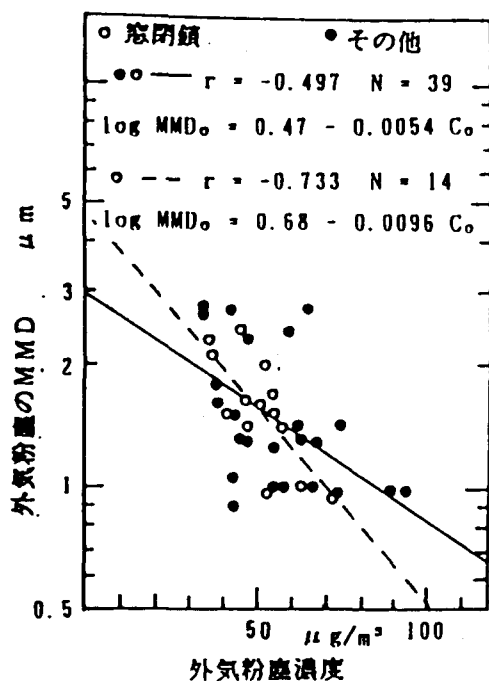


図2-9 外気粉塵濃度と外気粉塵のMMDとの関係

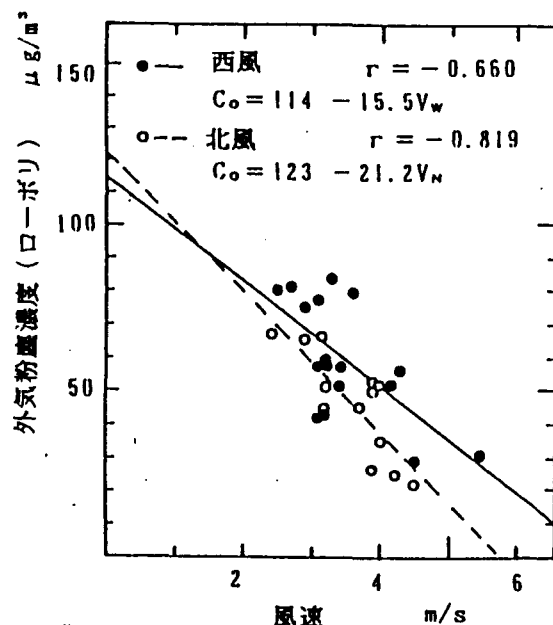


図2-10 外気粉塵濃度 (ローボリ) と風速の関係

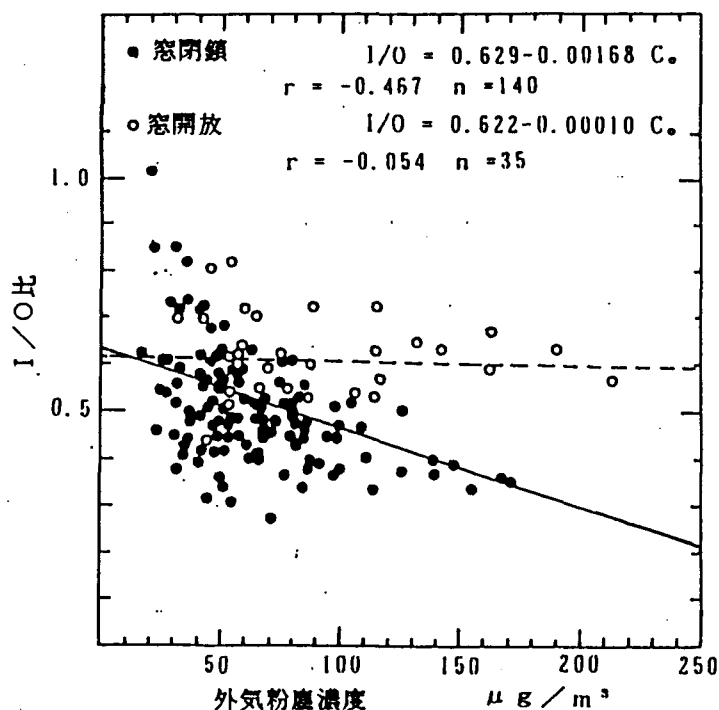


図2-11 I/O 比と外気粉塵濃度との関係 (ローボリ)

A. S. での外気粉塵濃度と I/O 比の関係を図2-12に示す。その傾向はL. V. の場合と同様であるが、窓閉鎖あるいは開放どちらの場合もA. S. での I/O 比がL. V. の場合と比較して高いのは、測定期間が長時間のため平均化され、外気粉塵濃度の範囲が狭くなっていることも一因であると考えられる。

2. 4. 3. 研究所におけるMMD。とI/O比の関係

A. S. の各ステージにおける粉塵のI/O比を図2-13に示すが、窓閉鎖、開放の場合ともに粒径が $2\mu\text{m}$ 以下ではI/O比はそれほど変化しないが、 $2\mu\text{m}$ 以上ではI/O比は著しく低下する。

粉塵についてのMMD。の対数とI/O比の関係を図2-14に示すが、相関は低く、また窓を閉めた場合正の相関であり、大粒子はサッシなどのフィルター効果により室内に侵入しにくいことからすると矛盾する。その原因として、外気粉塵濃度が高い時、MMD。は小さくなり（図2-9）、I/O比も小さくなり（図2-12）、結果としてMMD。とI/O比の間に正の相関がみられたと考えられる。

A. S. での粉塵、金属濃度およびそれらのMMDの測定結果を表2-1（窓閉鎖）、表2-2（窓開放）に示す。図2-4、図2-5と同じ期間での平均値である。それらの結果より、粉塵および金属のMMD。の対数とI/O比の関係を、窓を開けた場合と閉めた場合について図2-15に示す。両方とも高い負の相関を示しているが、窓

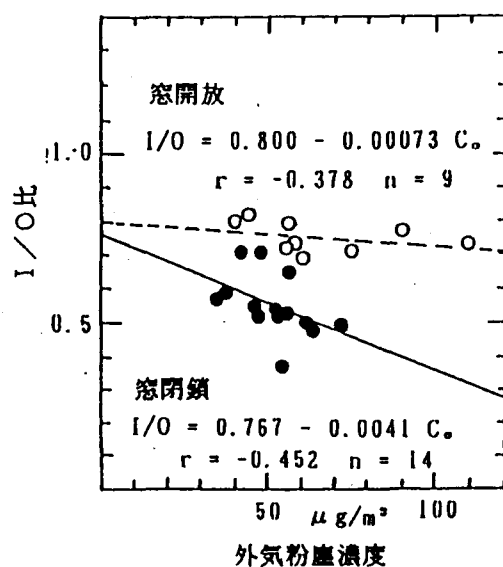


図2-12 I/O比と外気粉塵濃度との関係（アンダーセン）

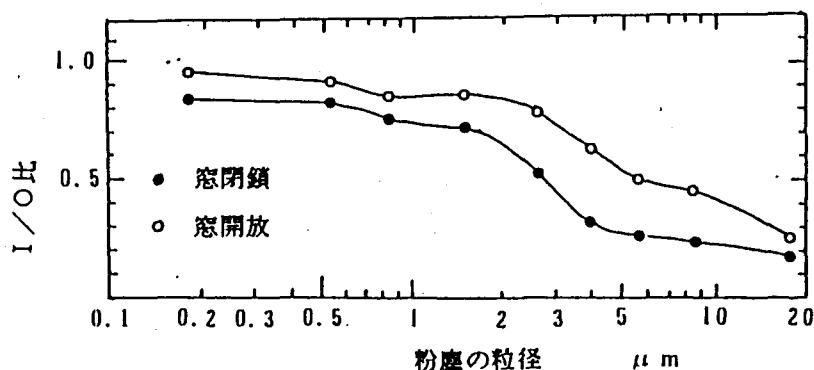


図2-13 I/O比と粉塵の粒径との関係

表2-1 粉塵および金属濃度とそのMMD（窓閉鎖）

	濃度 ng/m ³		I/O 比	MMD μm	
	室内	外気		室内	外気
Dust	27.7*	49.2*	0.56	0.70	1.45
Na ⁺	849	1540	0.55	1.20	2.4
Mg ²⁺	61	151	0.40	1.8	3.8
K ⁺	294	422	0.70	0.59	0.70
Ca ²⁺	302	737	0.41	1.35	4.0
V	3.41	5.15	0.66	0.50	0.63
Mn	24.2	53.8	0.45	0.89	2.6
Fe	384	1434	0.27	2.2	5.1
Ni	6.4	10.3	0.62	0.92	1.30
Cu	19.9	37.7	0.53	0.70	1.6
Zn	179	268	0.67	0.84	1.25
Cd	2.35	2.98	0.79	0.57	0.66
Pb	62.6	89.9	0.70	0.62	0.80

*μg/m³

表2-2 粉塵および金属濃度とそのMMD（窓開放）

	濃度 ng/m ³		I/O 比	MMD μm	
	室内	外気		室内	外気
Dust	43.9*	58.7*	0.75	0.85	1.30
Na ⁺	1450	1880	0.77	1.20	1.75
Mg ²⁺	82	137	0.60	2.6	3.8
K ⁺	388	459	0.85	0.63	0.72
Ca ²⁺	401	705	0.57	2.8	4.6
V	4.31	5.22	0.83	0.53	0.68
Mn	45.5	62.5	0.73	1.30	2.3
Fe	811	1407	0.58	3.2	4.6
Ni	6.8	90	0.76	1.2	1.6
Cu	32.3	44.1	0.73	0.89	1.7
Zn	278	330	0.84	1.00	1.20
Cd	2.94	3.26	0.90	0.68	0.74
Pb	94	109	0.86	0.72	0.80

*μg/m³

を閉めた方が開けた場合より I / O 比が低くなる。粉塵についての図 2-14 では、窓閉鎖の場合正の相関であった。粉塵の場合、各データについては外気濃度、気象条件なども異なってくるが、図 2-15 では長期間の同一気象条件での結果のため相関が高くなったと考えられる。

粉塵の各粒径範囲別にみると（図 2-13）、粒径が 2 μm 以下では I / O 比がそれ

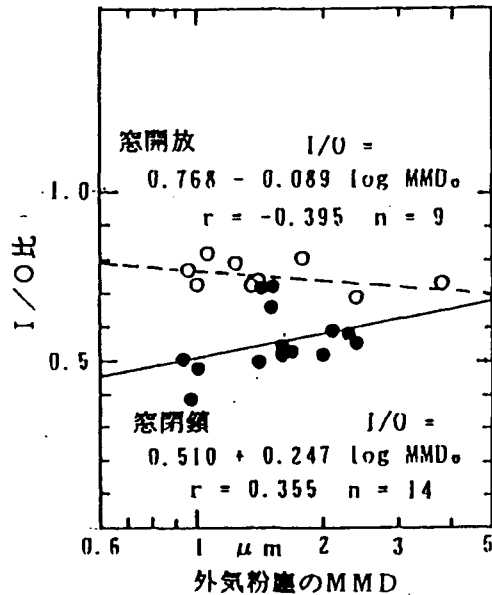


図2-14 I/O比と外気粉塵のMMDとの関係 (アンダーセン)

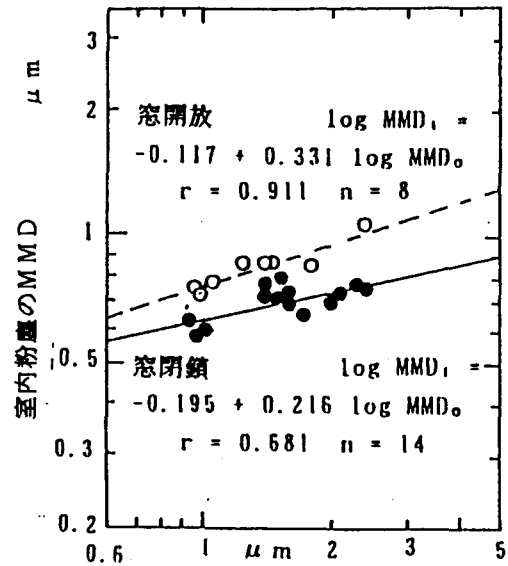


図2-16 室内および外気の粉塵のMMDとの関係

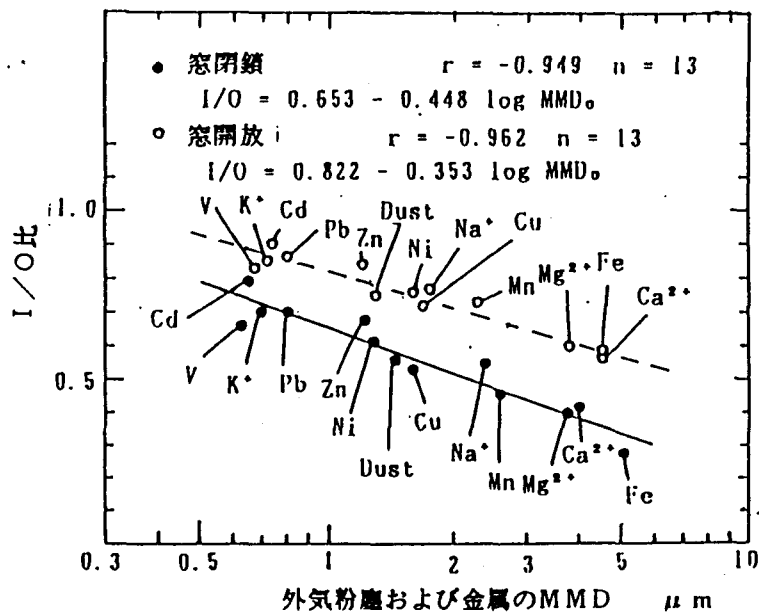


図2-15 I/O比と外気粉塵および金属のMMDとの関係 (アンダーセン)

ほど変わらないが、 $2 \mu m$ より大きくなるにつれてその比が小さくなるのに対して、粉塵や金属のMMDとI/O比との関係では直線的となる (図2-15)。

2. 4. 4. 研究所におけるMMD_oとMMD_iの関係

粉塵についてのMMD_oの対数と室内でのMMD (以下MMD_iとする)の対数の関係は、図2-16に示すとうり、相関はある程度高く、特に窓開放の場合相関係数は0.911である。

粉塵および金属についてのMMD_oとMMD_iの関係を図2-17に示すが、高い正

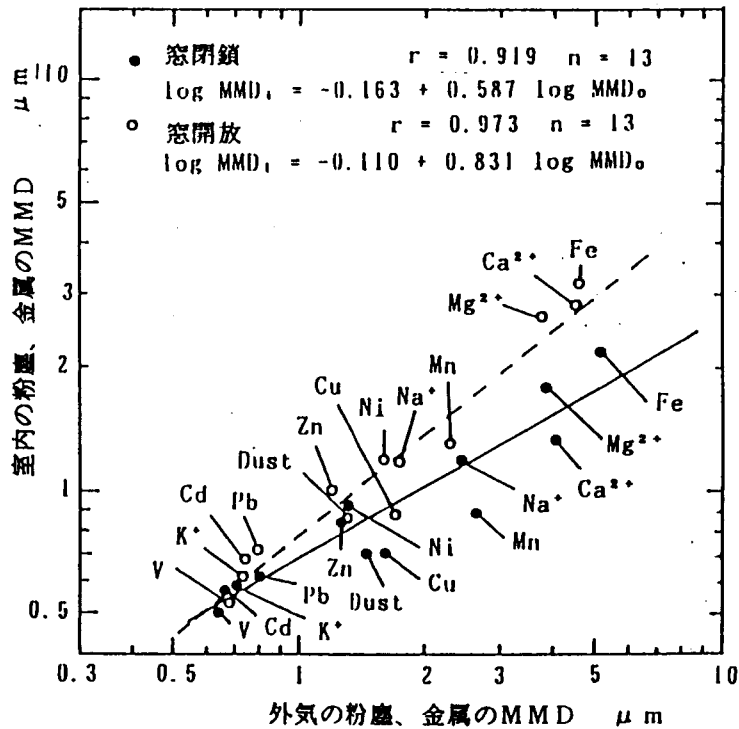


図2-17 室内および外気の粉塵、金属のMMDとの関係

の相関を示す。小粒径では窓の開閉による差は少ないが、大粒径ではその差は大きくなる。粉塵についての図2-16と比較すると、粒径範囲が広く、また傾きも大きくなっている。

2. 4. 5. 研究所における換気量とI/O比の関係

窓を開放することによる換気量の増加は、図2-11、図2-12に示したように、I/O比を増加させるが、窓を閉鎖した状態での換気量の増減のI/O比に及ぼす影響について検討した。

先述したように、北風あるいは西風別には風速と換気回数との間に正の相関関係があることから、換気量の代わりに風速とL.V.による粉塵のI/O比との関係をみたが図2-18である。北風の場合、風速が高いほどI/O比も高くなっている。その原因として、図2-10に示されているように、風速が高いほど外気粉塵濃度が低くなり、また先に図2-11で示したように、外気粉塵濃度が低いほどI/O比が高くなることが考えられる。

西風の場合、北風と比較して同程度の風速であれば、図2-6より換気量は多いと思われるが、I/O比はそれほど変わらない。窓を閉鎖した状態での外部風速による換気量の増加のI/O比への影響はそれほど大きくはないと思われる。

2. 4. 6. 住宅における外気粉塵濃度とI/O比の関係

L.V.による外気粉塵濃度とI/O比の関係を図2-19に示す。通常と比較して

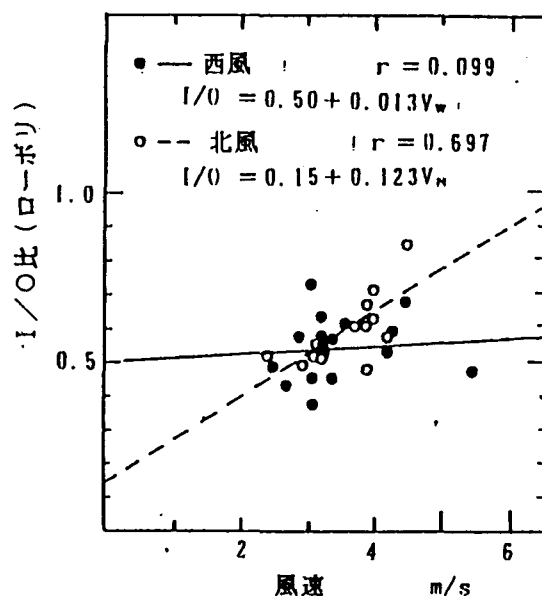


図2-18 I/O比(ローボリ)と風速との関係

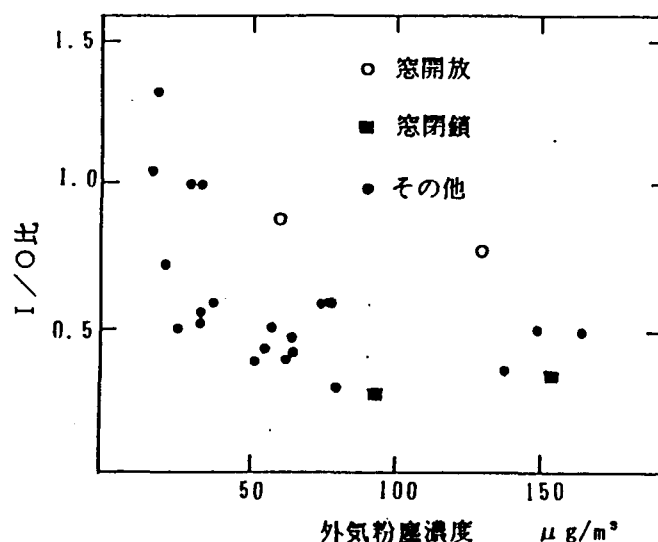


図2-19 M宅におけるI/O比と外気粉塵濃度との関係(ローボリ)

例数は少ないが、窓を開放すると、その比が大きくなり、窓を閉鎖するとその比が小さくなることが示されている。

I/O比に外気粉塵濃度が影響することから、窓開放および窓閉鎖の場合と外気粉塵濃度の条件をできる限り一致させるために、外気粉塵濃度が $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の日のみを選び求めた「通常」での粉塵および金属の平均濃度と、窓開放および窓閉鎖の場合の平均濃度を表2-3に示す。粉塵のI/O比は、窓開放の場合0.80、窓閉鎖の場合0.31であるのに対して、「通常」はその間の0.48であった。

A. S. の測定結果を表2-4に示す。A. S. でのI/O比はL. V. の窓開放

時の I / O 比に近い。その原因として、測定時での窓の開閉の程度が異なることもあるが、A. S. での外気濃度が L. V. と比較して低いことがあげられる。

粉塵の場合と異なり、吸着性のガスでは外気濃度と I / O 比の関係は異なり、例え

表 2-3 M 宅における室内外の粉塵および金属濃度
(ng/㎥³, 粉塵のみ μg/㎥³)

	外気粉塵濃度 70 μg/㎥ ³ 以上 n=7			窓開放 n=2			窓閉鎖 n=2		
	I	O	I/O	I	O	I/O	I	O	I/O
Dust	52	109	0.48	76	95	0.80	39	124	0.31
Na ⁺	360	950	0.38	510	640	0.80	260	550	0.47
Mg ²⁺	52	171	0.38	73	95	0.77	42	142	0.30
K ⁺	300	530	0.57	480	710	0.68	310	760	0.41
Ca ²⁺	400	1470	0.27	610	930	0.66	360	1530	0.24
Mn	26	62	0.42	26	35	0.74	14	45	0.31
Fe	490	1800	0.27	480	990	0.50	210	1110	0.19
Zn	185	285	0.65	118	186	0.63	137	542	0.25
Pb	141	207	0.68	105	134	0.78	—	—	—
Cl ⁻	280	2420	0.12	1670	2870	0.58	460	5480	0.08
NO ₃ ⁻	1930	7360	0.26	4460	5840	0.76	1360	7390	0.18
SO ₄ ²⁻	3570	5200	0.69	4140	4910	0.84	3010	4640	0.65

表 2-4 粉塵および金属濃度とその MMD (M 宅)

	濃度 ng/㎥ ³		I/O 比	MMD μm	
	室内	外気		室内	外気
Dust	38.4*	50.7*	0.76	1.8	2.7
Na ⁺	328	533	0.61	1.8	2.8
Mg ²⁺	59.8	118.0	0.51	2.6	3.3
K ⁺	301	321	0.94	0.63	0.67
Ca ²⁺	401	551	0.73	2.9	4.1
V	2.8	4.2	0.67	0.42	0.48
Mn	18.6	31.8	0.58	2.0	3.4
Fe	614	1054	0.58	4.0	4.4
Cu	15.4	15.8	0.97	0.90	2.0
Zn	74.5	113.4	0.66	0.75	0.83
Cd	0.79	1.11	0.71	0.70	0.84
Pb	39.9	48.4	0.82	0.65	0.83
NH ₄ ⁺	1409	1604	0.88	0.49	0.53
Cl ⁻	133	299	0.44	4.9	4.5
NO ₃ ⁻	834	1435	0.58	3.6	4.1
SO ₄ ²⁻	5106	6142	0.83	0.58	0.67

*μg/㎥³

ばNO₂の場合、各種建築材料への沈着速度は表2-5に示す値であり^{17) 18)}、それゆえI/O比も発生がみられる台所では外気濃度に対する比は0.84であるが、発生がほとんどみられない寝室では0.40である¹⁹⁾。

2. 4. 7. 住宅におけるMMD_oとI/O比の関係

A. S. のデータより粉塵および金属、イオンのMMD_oとI/O比の関係を示したのが図2-20である。相関係数は-0.791と高く、その回帰直線は研究所での窓開放と閉鎖の間にある。

A. S. の粉塵および金属、イオンのMMD_oとL. V. の窓開閉別のI/O比との関係をみたのが図2-21である。窓閉鎖および開放時の相関係数はデータが少ないためもありそれほど高くないが、窓を開放することによるMMDの大きな金属のI/O比の増加が示されている。

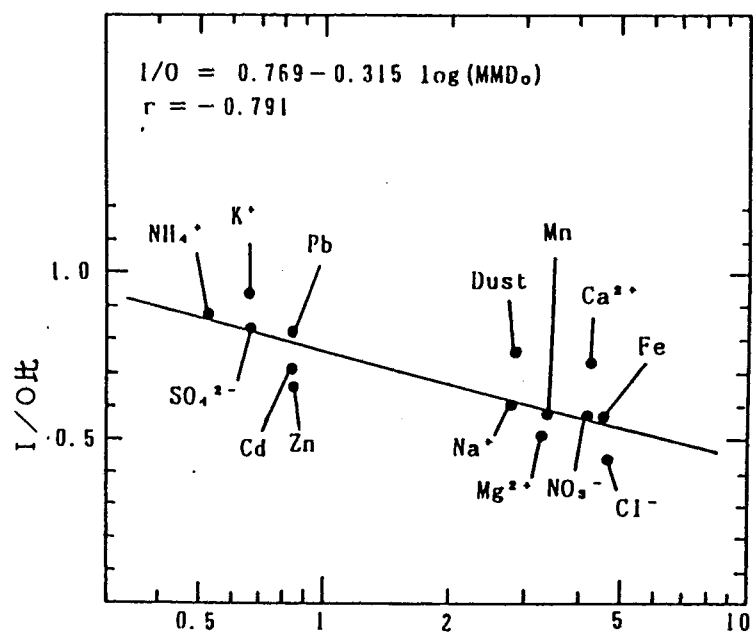
金属種のI/O比については、A. F. Cohenによれば住宅平均でCa 0.23 Fe 0.25 Pb 0.53、J. Alzonaによれば気密性の高い住宅の寝室でFe 0.27 Pb 0.70、気密性の低い住宅の寝室でFe 0.33 Pb 0.47などの値が出されているが、それらの値は今回の結果のうち窓閉鎖時の研究室での結果と近似している。

2. 4. 8. 住宅におけるMMD_oとMMD_iの関係

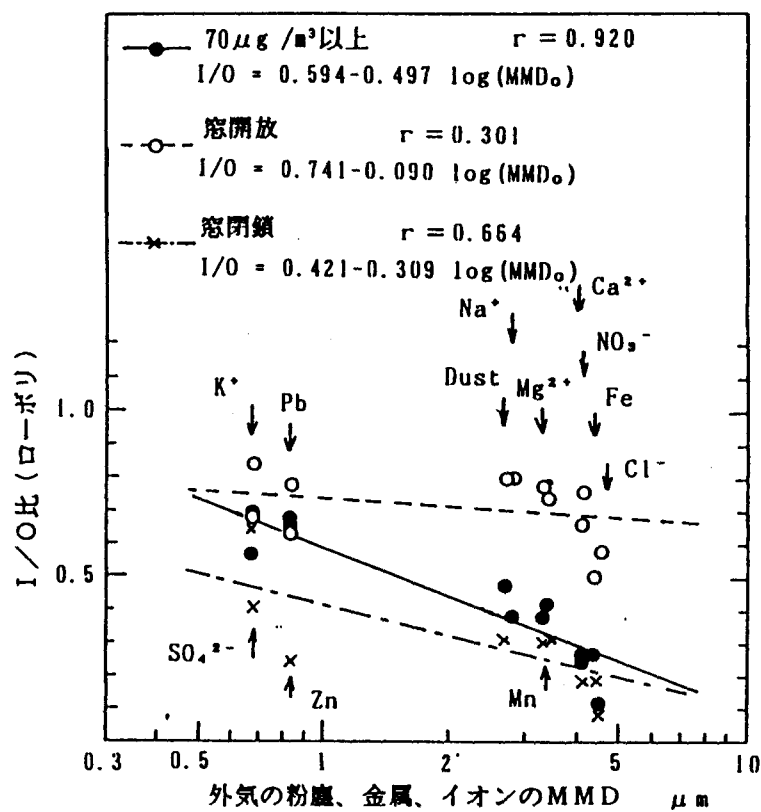
A. S. の粉塵および金属、イオンのMMD_oとMMD_iとの関係を図2-22に示すが、相関係数も0.980と高い。短期間での住宅での測定結果ではあるが、長期間での研究所での測定結果と傾向が一致している。

表2-5 各種建築材料のNO₂の沈着速度(m/h)

材料名		材料面の風速	
		0.2-0.5m/s	0.1-0.2m/s
床材	カーベット1	1.21	0.58
	〃 2	0.74	0.36
	〃 3	0.55	0.33
	〃 4	2.18	0.86
	〃 5	3.46	1.17
	畳表	0.46	0.22
	ニードルパンチ	0.47	0.36
	バスマット	1.97	0.76
天井材	テックス	4.31	1.12
	化粧テックス	2.13	0.68
	プラスターボード	0.66	0.68
	木毛セメント板	1.17	1.03
	石綿セメント板	1.47	0.78
壁材	壁紙1	0.08	0.04



外気粉塵、金属、イオンのMMD μm
 図2-20 M宅におけるI/O比と外気粉塵、金属、イオンのMMDとの関係（アンダーセン）



外気の粉塵、金属、イオンのMMD μm
 図2-21 M宅におけるI/O比（ローボリ）と外気の粉塵、金属、イオンのMMDとの関係

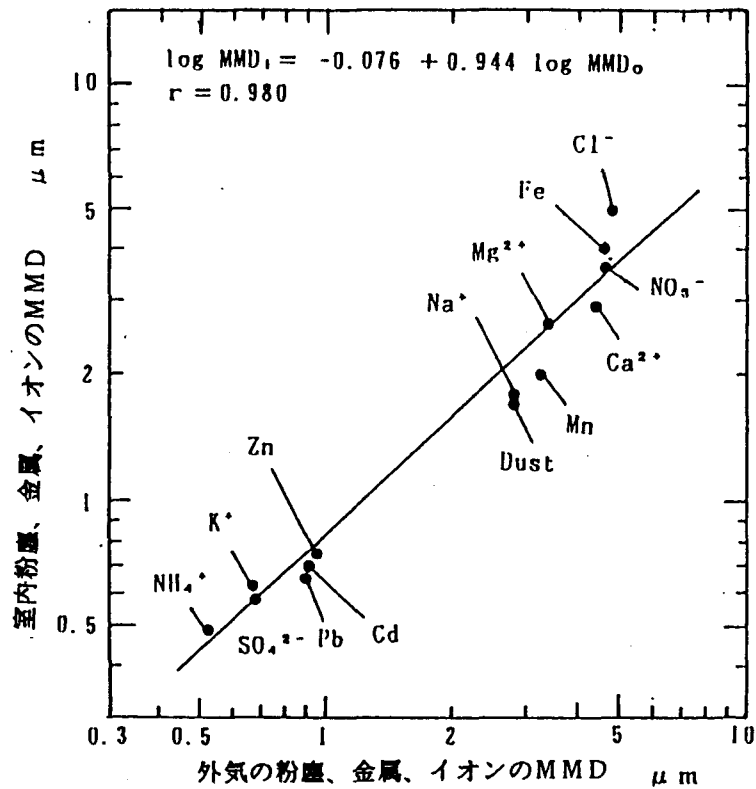


図2-22 M宅における室内および外気の粉塵、金属、イオンのMMDの関係（アンダーセン）

2. 5. 本章のまとめ

外気粉塵による室内影響を予測する時、室内発生がない場合、室内濃度は外気濃度に一定の係数（I/O比）を乗じて得られれば便利である。本来、I/O比は、自然換気の場合、外気濃度に関係なく、外気の粒径分布、開口条件、換気量などによって決まると考えられる。すなわち粒径が大きければ、I/O比は小さく、窓が開放していれば閉鎖した時と比較して大きく、換気量が大きければ大きくなると推測される。

発生源がほとんどないと考えられる、吹き出し口を塞いだ部屋および自然換気の住宅で、室内外の粉塵および金属、イオン濃度とそれらの粒径分布の測定を行い、以下の結論を得た。

1) 開口条件、換気量が一定の時、外気粉塵の粒径が大になると、室内への流入時のフィルター効果や室内での沈積作用が強く作用し、濃度の減少割合、即ちI/O比は小さくなることが実証できた。開口条件、換気量が一定ならば、外気の粒径分布（MMD_o）が得られると、I/O比がある程度予測できる（図2-15、図2-20、図2-21）。またMMD_iはMMD_oのべき関数として決まり、ある粒径以上になると室内にほとんど流入しない（図2-16、図2-17、図2-22）。

2) 開口条件で窓開放時と閉鎖時を比較すると、I/O比は常に窓開放時の方が大であり、1に近い。このことは、一般に換気量が大になると、I/O比が大になる傾向を

示している。しかし、現実には外気粉塵濃度と粒径分布は発生源、外部風などにより変化するし、またその室内への影響は、開口条件、換気量などにより変わる。これらの要因が互いに複雑に関係しあっている。

3) 今回の測定では、風速大になると、外気濃度は小となり(図2-10)、 MMD_o は大となる(図2-9)。その結果、 I/O 比は小なる傾向を示すはずであるが結果は逆であった(図2-11、図2-12、図2-19)。一方、風速大になると、開口条件一定ならば、換気量は大となり(図2-6)、 I/O 比は大になる傾向を示すはずである。

従って、風速変化による換気量と MMD_o の変化が I/O 比に対して相反する作用をしており、外気濃度と粒径分布だけから I/O 比を決めることができないことがわかった。即ち、窓閉鎖時、外気濃度が大になる時、 MMD_o が小となり、 I/O 比は大になると考えられるが逆の結果を得た。これは、濃度が大のとき、風速小で換気量も小さく、この換気効果が強く影響し、 I/O 比は小さくなったと解釈できる。

以上、室内外の粉塵、金属、イオンの濃度とその粒径分布の関連を調べてきたが、外気濃度と I/O 比の関連は一義的には決まらず、その粒径分布、開口条件、換気量などを明確にして論じなければならない。また、この意味から室内外の金属、イオンの分析は価値あるものと考えられる。

なお、今後は一層多くの I/O 比とその諸要因との関連を決める資料を積み重ねる必要がある。

また、外気粉塵濃度とその発生源や気象条件との関連や喫煙など室内発生のある場合のその室内での寄与などについて調査する必要がある。

第2章の参考文献

- 1) 長良健次：室内浮遊塵の粒径分布と元素組成について、空気清浄、第22巻、第6号、pp. 28-31、1985
- 2) 竹内貢三ほか2名：室内浮遊粉塵中の金属成分について、空気清浄、第12巻、第2号、pp. 33-42、1974
- 3) D. J. Moschandreas et al. : Fine Particle Residential Indoor Air Pollution、Atmospheric Environmental, Vol. 13, pp. 1413-1418, 1979
- 4) 石堂正三郎ほか2名：住居内の空気条件について、特に塵あい数及び細菌数についての考察、大阪市立大学家政学部紀要、第3巻、第4号、pp. 127-135、1955
- 5) J. E. Yocom et al. : Indoor/Outdoor Air Quality Relationships, A. P. C. A., Vol. 21, No. 5, pp. 251-259, 1971
- 6) F. B. Benson et al. : Indoor-Outdoor Air Pollution Relationships: A Literature Review, E. P. A. 1972
- 7) C. R. Thompson et al. : Outdoor-Indoor Levels of Six Air Pollutants, A. P. C. A., Vol. 23, No. 10, pp. 881-886, 1973
- 8) A. F. Cohen et al. : Protection from being Indoors against Inhalation of Suspended Particulate Matter of Outdoor Origin, Atmospheric Environment, Vol. 14, pp. 183-184, 1980
- 9) K. Biersteker et al. Indoor Air Pollution in Rotterdam Homes, Int. J. Air Wat. Poll. Vol. 9, pp. 343-350, 1965
- 10) Ib Andersen: Relationships between Outdoor and Indoor Air Pollution, Atmospheric Environment, Vol. 6, pp. 275-278, 1972
- 11) J. Alzona et al. : Indoor-Outdoor Relationships for Airborne Particulate Matter of Outdoor Origin, Atmospheric Environment, Vol. 13, pp. 55-60, 1979
- 12) 宮崎竹二ほか2名：大阪市立環境科学研究所調査研究年報 44, pp. 19-23, 1981
- 13) 宮崎竹二、榑崎正也：室内環境における粉塵および金属濃度 その1 外気由来の粉塵および金属濃度とそれらの粒径分布、日本建築学会大会講演梗概集、昭和62年10月 pp. 1201-1202
- 14) 宮崎竹二、榑崎正也：室内環境における粉塵および金属濃度 その2 換気と粉塵および金属濃度 日本建築学会大会講演梗概集、昭和63年10月 pp. 797-798
- 15) 宮崎竹二、榑崎正也：室内環境における粉塵および金属濃度 その3 事務室および住宅における実測例 日本建築学会大会講演梗概集、pp. 647-648, 1989
- 16) 角脇怜：大気浮遊粉じん中のケイ素およびアルミニウムの粒度分布と濃度比 日本化学会誌 pp. 1911-1916, 1977

- 17)宮崎竹二：各種建築材料のNO_xの吸着性状について、日本建築学会論文報告集第333号、pp.92-100(1983)
- 18)T.Miyazaki:Adsorption characteristics of NO_x by several Kinds of Interior Materials,Proceedings for the Third International Conference on Indoor Air Quality and Climate ,Vol.4,pp103-110,1984
- 19)宮崎竹二、田村憲司、山岡茂夫、藁科宗博、黒田孝一、中土井隆：沿道周辺住宅の室内空気汚染、第33回大気汚染学会講演要旨集、p.304、1992

第3章 空調室内における浮遊粉塵、金属、イオンの性状

3. 1. 本章の目的

空調がなされている事務室などの室内における粉塵濃度については、数多く測定がなされてきたが、^{1) 2) 3) 4) 5)} 自然換気の場合と異なり、空調機のエアフィルターにより粉塵がある程度除去されるため、空調がなされていない住宅などに比較して外気の寄与が少なくなると考えられる^{6) 7)}。そのかわりに、在室人員が多いところでは喫煙者の数も多く、喫煙の影響が大きくなる。^{8) 9)} また、事務室などでは、住宅の場合と異なり、靴をはいている関係で、土壌のもちこみによる発塵も考えられる。

粉塵濃度だけでなく、粉塵の粒径分布や粉塵中の金属成分などを測定し、それらから空調機による粉塵や金属の除去率をみたり、¹⁰⁾ 室内外比をみた報告も既にあるが^{11) 12) 13) 14) 15) 16)}、粒径（すなわちMMD、Mass Median Diameter）と室内外比を直接関連付けた報告は少ない。前章において自然換気の住宅の場合について外気の粉塵や金属のMMDとそれらの室内外濃度比とを関連付けたが、この章では空調がなされている事務室において同じ手法を適用した。

この章の目的は、空調がなされている事務室における粉塵、金属、イオンなどの性状を把握することであり、具体的には空調機で粉塵や金属が除去される程度をそれらの粒径との関係でまずとらえ、次に事務室における粉塵、金属、イオン、有機炭素（以下、OCと略す）、無機炭素（以下、ECと略す）濃度の実態を報告し、それらの結果より喫煙と浮遊粉塵濃度の関係、浮遊粉塵濃度とCO₂、CO、NO₂濃度との関係、外気浮遊粉塵濃度と室内濃度および室内外比との関係、粉塵、金属などの粒径と室内外比との関係を検討し、さらにそれらの濃度および粉塵発生源のそれらの成分量から外気、喫煙、土壌の室内粉塵濃度への寄与を評価した。

3. 2. 方法

3. 2. 1. 空調機による粉塵の除去

当研究所7Fの外気取入れ口近くと、7FのA室での給気口においてアンダーセンエアサンプラー（以下、A. S. と略す）で粉塵の粒径分布の測定を行った。給気口での測定は、給気口から吹き出し方向に約60cm離れた所に測定器を設置したので、測定器の吸引口での風速の影響は少ないと思われる。

捕集した粉塵についてはさらに粉塵中の金属、イオン成分の分析を行い、それらのMMDと外気濃度に対する比について検討した。なお空調装置のエアフィルター（粘着式の不織布）を通過する空気には外気だけでなく再循環空気が15%程度含まれているが（実測結果より）、その粉塵濃度は外気の半分程度であった。

また参考までに、室内での発生がほとんどない場合の空調された部屋（給気口の測定と同じ部屋）において、空調期間のみおよび夜間、日曜など空調されていない期間

も含む終日での測定を行い、外気濃度との比較を行った。

3. 2. 2. 事務室における粉塵、金属、イオンなどの濃度の実測

大阪市北区に位置する事務所ビル（16階）の4、5、6 Fの事務室において粉塵、金属、イオン濃度などの実測を行った。2回にわたって延べ14カ所において行い、各場所について1週間以上測定した。1回目の期間は1987.10.6-11.5、2回目の期間は1989.10.9-1990.1.16である。1回目に測定した室名をK室、D室、G室、2回目に測定した室名をNo.1-No.11とした。エアフィルターは中性能のフィレドンフィルターである。なお外気の測定は、屋上の外気取入れ口近くで行った。

粉塵の測定方法は、室内外ともデジタル粉塵計A型（柴田科学製）による連続測定とローボリウムエアサンプラー（以下L. V. と略す、 $10\mu\text{m}$ カットは室内では多段式、外気はサイクロン式を採用）を併用した。L. V. は夜間も含む終日での測定であり、ろ紙は2、4日で交換した。2回目の調査ではA. S. も使用し、ろ紙は場所ごとに交換した。デジタル粉塵計A型による測定値は1時間値であり、光散乱によるCPMの値で求まるが、並行して測定したローボリの測定値より校正係数を求め重量濃度に換算した。

L. V. 、A. S. に使用したろ紙は、東洋QR100であり、秤量は温度 20°C 、湿度50%の環境中に1日以上放置後行った。その後、L. V. はろ紙1枚ごと、A. S. はNo.1-4、No.5-7をそれぞれひとまとめにして、金属、イオン、炭素（OC、EC）の分析に使用した。金属の分析は、硝酸・過塩素酸による湿式分解後、原子吸光光度法によった。イオンの分析は、超音波抽出後、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Ca^{2+} については原子吸光光度法により、 NH_4^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} についてはイオンクロマトグラフィにより分析した。またOC、ECはCHN計にて分析した。

1回目、2回目ともに、調査期間中に、分布測定をデジタル粉塵計P3型で行った。ただし重量濃度への換算係数は機器に記載の $0.01\text{ mg}/\text{m}^3/\text{CPM}$ を使用した。また測定中の在室者数、喫煙者数を数え、喫煙者率などを求め、浮遊粉塵濃度との対応をみた。

浮遊粉塵の測定以外に、連続測定では二酸化炭素は富士電気製赤外線方式により、一酸化炭素は定電位電解法（ダイレック製）により、分布測定では二酸化炭素は北川式検知管法により、一酸化炭素は一旦バッグに採気してから定電位電解法によりそれぞれ測定を行った。また分布測定ではフィルムバッジ法（アドバンテック東洋）による NO_2 の測定を行った。

3. 2. 3. 喫煙粒子の発生量および粒径分布の測定

半密閉空間のブース（ $0.7\text{m}\times 0.7\text{m}\times$ 高さ 1m 、容積約 0.5m^3 ）内で喫煙を行い、その煙を小型のハイボリ（柴田科学製、空気流量約 $500\text{ l}/\text{min}$ ）により捕集し、粉塵および粉塵中金属、イオン、OC、ECを定量した。また喫煙粒子の粒径分布を求めるた

めにA. S. (空気流量28.3 l/min)でも同様にして捕集した。A. S. の場合、空気流量が少ないため幾分の漏れが生じたので、粒径分布をみるためにのみ用い、発生量については評価しなかった。

使用したタバコはマイルドセブンであり、その4 cmを燃焼させた。喫煙ばかりでなく、比較のため置きタバコの状態(副流煙)で発生する成分についても同様に調べた。

3. 3. 結果

3. 3. 1. 空調機による粉塵の除去

外気濃度が $106.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と少し高濃度であるが、外気と給気口における粉塵の粒径分布を図3-1に示す。全粒径についての外気濃度に対する給気の濃度の比は0.25であり、 $11 \mu\text{m}$ 以下の粒子に限れば外気濃度は $87.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、濃度比は0.30となる。

また空調されている期間での室内外の粉塵の粒径分布を図3-2に示す。室内での分布は、図3-1の給気の場合とかなり近似している。喫煙などの発生源がない場合、空調されている部屋での粉塵の粒径分布は、エアフィルターの性能にもよるが、中性能ではそのような傾向と思われる。

全粒径についての外気濃度に対する室内濃度の比は、空調期間のみの測定の場合外気濃度 $65.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($11 \mu\text{m}$ 以下の粒子については $55.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$)に対して0.39 (同0.44)、終日での測定の場合外気濃度 $50.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (同 $43.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$)に対して0.49 (同0.54)であった。

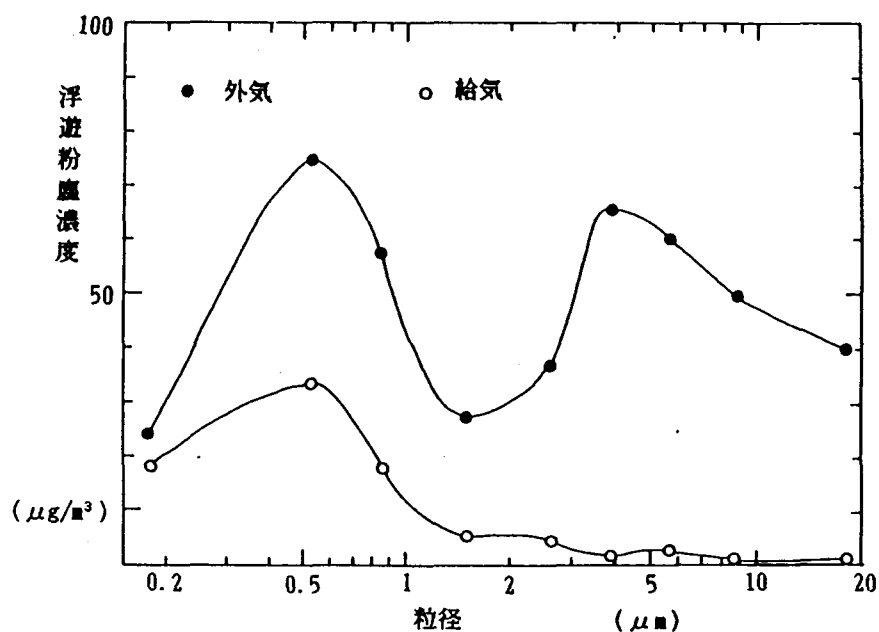


図3-1 外気と給気の粉塵の粒径分布

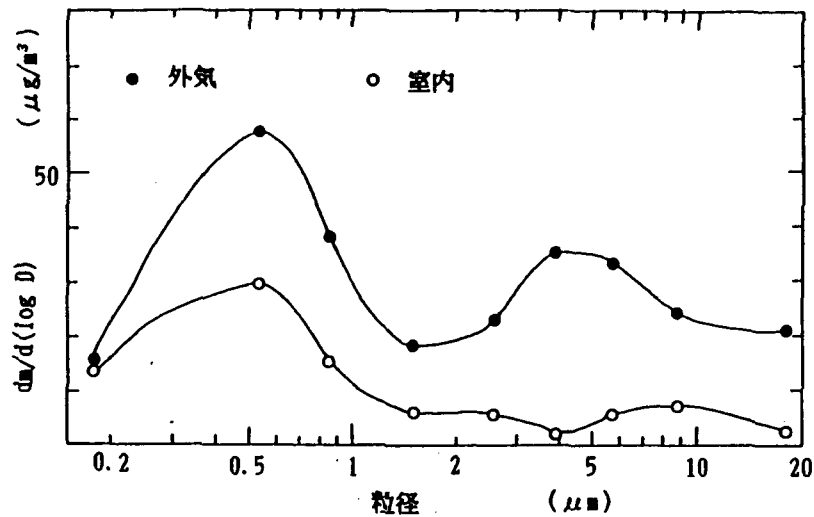


図3-2 空調されている室内と外気の粉塵の粒径分布

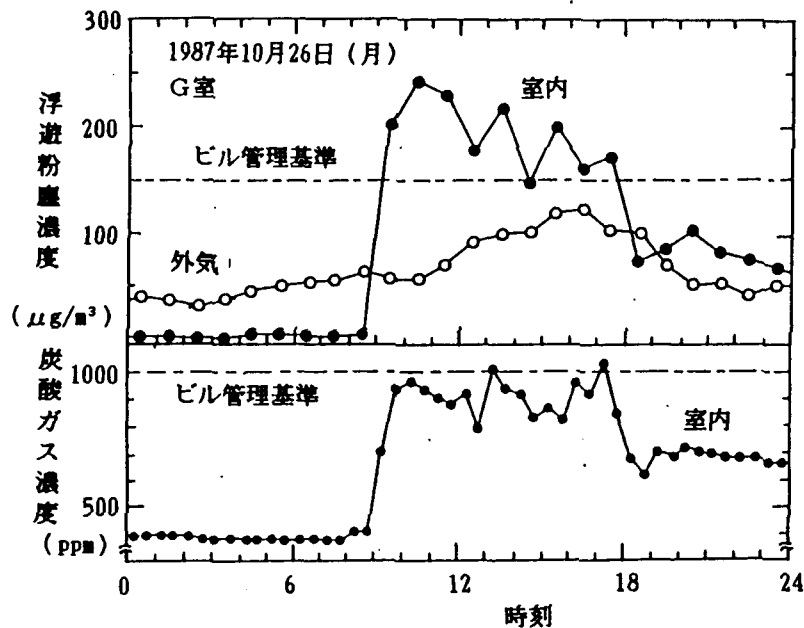


図3-3 浮遊粉塵濃度および炭酸ガスの日変化の一例
(第1回調査よりG室)

3. 3. 2. 事務室における粉塵、金属、イオンなどの濃度

(1) 連続測定結果

1回目の調査から事務室Gにおける浮遊粉塵濃度の日変化の一例を図3-3に示す。その図には、在室人数のめやすになる炭酸ガスの濃度変化も同時に示す。正規の就業時間は9時15分より17時15分までであるが、始業後即座にビル管理基準の $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えている。

各測定箇所における就業時間中の室内の平均粉塵濃度とその時の外気濃度を表3-1に示す。すべての測定点において、外気濃度より室内濃度の方が高い。

また2回目の調査から事務室No.1、No.2、No.3、No.5についての浮遊粉塵濃度の累

表3-1 浮遊粉塵濃度測定結果（連続測定）

	室名	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
		室内	外気
第1回目	K室	219 $\pm$ 46 (n=60)	36 $\pm$ 15 (n=60)
	D室	195 $\pm$ 43 (n=54)	26 $\pm$ 15 (n=50)
	G室	182 $\pm$ 41 (n=80)	59 $\pm$ 46 (n=79)
	全体	197 $\pm$ 46 (n=194)	43 $\pm$ 35 (n=189)
第2回目	No. 1	154.8 $\pm$ 31.9 (n=37)	39.6 $\pm$ 26.1 (n=37)
	No. 2	76.3 $\pm$ 31.2 (n=46)	36.5 $\pm$ 31.9 (n=46)
	No. 3	178.5 $\pm$ 38.4 (n=46)	54.5 $\pm$ 25.6 (n=46)
	No. 4	170.6 $\pm$ 33.4 (n=56)	32.9 $\pm$ 25.9 (n=56)
	No. 5	200.2 $\pm$ 58.5 (n=46)	34.1 $\pm$ 24.8 (n=46)
	No. 6	166.7 $\pm$ 43.1 (n=52)	53.4 $\pm$ 32.0 (n=52)
	No. 7	158.7 $\pm$ 42.1 (n=52)	45.3 $\pm$ 40.0 (n=52)
	No. 8	116.6 $\pm$ 28.0 (n=56)	58.9 $\pm$ 42.1 (n=56)
	No. 9	147.1 $\pm$ 33.6 (n=47)	57.0 $\pm$ 51.9 (n=47)
	No. 10	96.3 $\pm$ 19.0 (n=50)	76.6 $\pm$ 73.1 (n=36)
	No. 11	156.9 $\pm$ 58.5 (n=47)	77.9 $\pm$ 56.1 (n=47)
	全体	147.2 $\pm$ 52.7 (n=535)	51.0 $\pm$ 43.4 (n=521)

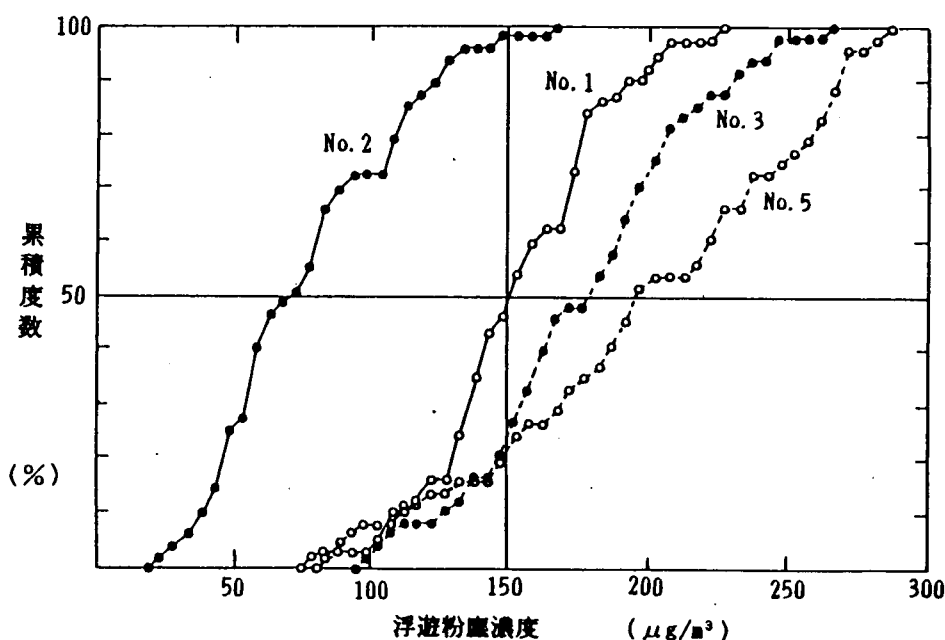


図3-4 浮遊粉塵濃度の累積度数分布（第2回調査より）

積度数分布を図3-4に示す。表3-1の平均値で最も低いNo.2はビル管理基準は150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるのはわずかであるが、最も高いNo.5では、全体の約80%が基準を超えていることになる。

(2) L. V. の測定結果

L. V. で測定した粉塵、金属、イオン濃度は、本来は終日（夜間も含む）での値であるが、それらより求められる粉塵あたり金属、イオン量が常に同じであるとして、その値とデジタル粉塵計A型で求めた各測定点での就業時間中（9時から18時までとする）の平均粉塵濃度とから、室内外とも就業時間中の平均金属、イオン濃度を求め

表3-2 K、D、G室の浮遊粉塵および金属濃度（就業時間平均）

	K室		D室		G室	
	室内	外気	室内	外気	室内	外気
粉塵	220.6	34.3	194.8	26.1	179.7	58.3
Na ⁺	510	800	460	640	420	650
Mg ²⁺	43	93	37	76	47	83
K ⁺	2180	280	1740	160	2070	430
Ca ²⁺	400	610	260	590	380	830
V	2.5	2.9	2.7	2.3	5.7	6.9
Mn	11.4	23.8	14.7	20.5	22.4	52.8
Fe	181	591	243	496	286	962
Cu	21.3	27.7	33.0	22.7	74.9	61.6
Zn	105	137	131	111	234	299
Cd	6.3	1.3	7.9	1.9	7.2	2.8
Pb	34	62	49	46	60	112

単位：粉塵のみ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、他は ng/m^3 表3-3 室内外粉塵、金属、イオン濃度（第2回調査、ローポリ）
事務室No. 4、No. 5、No. 8（就業時間平均**）

	事務室No. 4		事務室No. 5		事務室No. 8	
	室内	外気	室内	外気	室内	外気
	ng/m^3 (* $\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
Dust*	168.9	28.0	207.4	34.3	122.7	56.3
Na ⁺ *	0.44	1.14	0.54	1.38	0.3	1.05
Mg ²⁺ *	0.047	0.166	0.025	0.124	0.032	0.099
K ⁺ *	1.73	0.13	2.30	0.09	1.39	0.60
Ca ²⁺ *	0.41	0.40	0.23	0.28	0.31	0.43
V	3.8	4.9	2.8	4.4	3.3	5.6
Mn	15.6	29.6	3.3	16.9	12.9	30.2
Fe	460	680	250	460	370	670
Cu	28.0	67	14.5	66	30.8	98
Zn	165	212	80	198	151	234
Cd	4.0	1.0	4.2	0.8	3.4	1.9
Pb	49	80	24.7	59	52	95
NH ₄ ⁺ *	0.30	0.41	0.13	0.26	0.36	1.66
Cl ⁻ *	1.31	0.40	1.61	0.41	1.62	0.39
NO ₃ ⁻ *	1.86	1.06	1.13	0.68	1.86	1.80
SO ₄ ²⁻ *	2.48	3.62	1.54	4.5	4.02	6.48
TC*	103.4	13.9	92.7	11.6	60.9	16.1
EC*	19.0	5.4	12.1	6.1	6.9	7.0
OC*	84.5	8.5	80.7	5.4	54.0	9.0

**就業時間9-18時

た。その結果を1回目について表3-2に、2回目のうちNo. 4、No. 5、No. 8について表3-3に示す。

（3）A. S. の測定結果

A. S. で測定した値もL. V. と同じく、終日での結果であるが、室内外のMMDの変化を、図3-5に示す。その図には建物の北東約1 Kmの大阪市北区扇町中学校（モニステ）での粉塵のMMDの変化も併せて示す。外気については調査したビルの屋上の場合も、モニステである扇町中学校の場合も粉塵のMMDは変化するが、室内

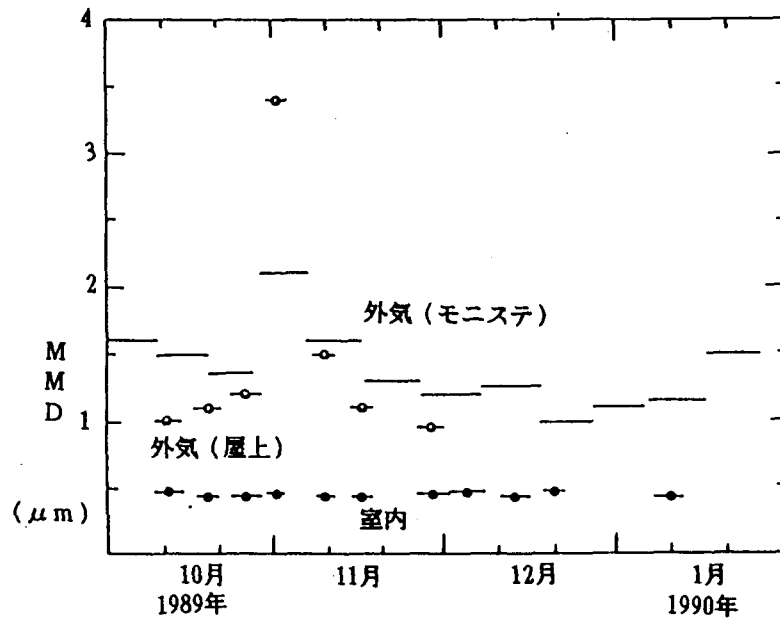


図3-5 浮遊粉塵のMMDの変化(アンダーセン)

表3-4 室内外粉塵、金属、イオン濃度
(第2回調査、アンダーセン)
事務室No. 1-7平均(終日)

	濃度		I/O	MMD	
	室内	外気		室内	外気
	ng/m ³ (*μg/m ³)			μm	
Dust*	145.0	58.9	2.46	0.44	1.15
Na ⁺ *	0.259	1.376	0.19	0.56	3.6
Mg ²⁺ *	0.048	0.143	0.34	3.6	4.1
K ⁺ *	1.10	0.448	2.45	0.43	0.75
Ca ²⁺ *	0.318	0.642	0.50	3.8	5.0
V	1.48	6.38	0.23	(0.4)	0.65
Mn	9.6	51.3	0.19	0.50	1.8
Fe	297	1527	0.19	2.8	4.8
Cu	12.4	50.9	0.24	0.55	2.1
Zn	110	312	0.35	1.5	1.6
Cd	3.91	2.26	1.73	(0.35)	0.68
Pb	25.7	89.8	0.29	(0.38)	0.73
NH ₄ ⁺ *	0.637	1.427	0.45	0.51	0.57
Cl ⁻ *	1.315	1.154	1.14	0.45	5.0
NO ₃ ⁻ *	1.42	2.24	0.63	0.46	2.9
SO ₄ ²⁻ *	2.04	5.74	0.36	0.49	0.75

()は推定

での粉塵のMMDはほとんど変化しない。室内においては、外気の影響よりも喫煙の影響がはるかに大きいと思われる。

A. S. で求めた事務室No. 1-7平均での粉塵、金属、イオン濃度およびそれらのMMDを表3-4に示す。それらのうち粉塵、Na⁺、K⁺、V、Mn、Cu、Cd、Pb、NH₄⁺、Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻の粒径分布を図3-6(1)-(12)に示す。粉塵については2μm以上は室内外ともそれほど違わないが、2μm以下において室内が外気に比較して著しく高い。

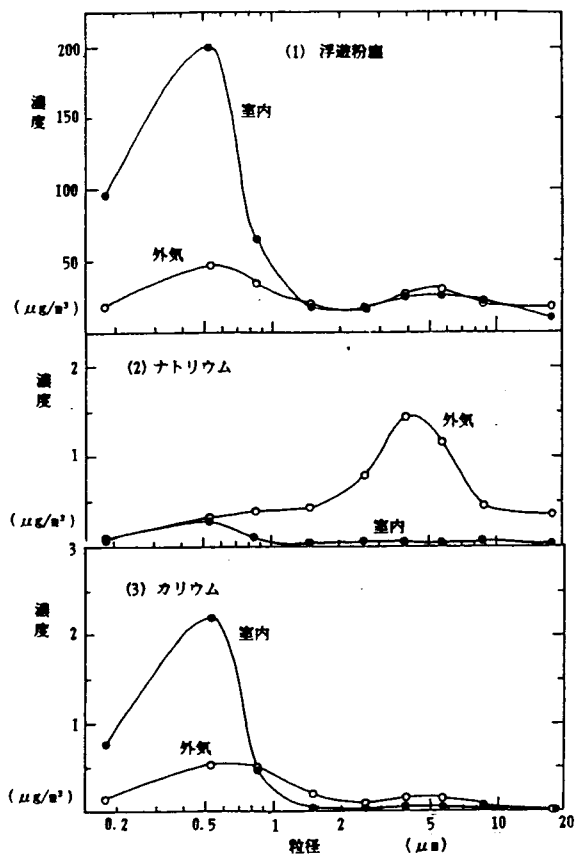


図3-6-1 事務室における粉塵、金属、イオンなどの粒径分布 (No. 1-7平均)

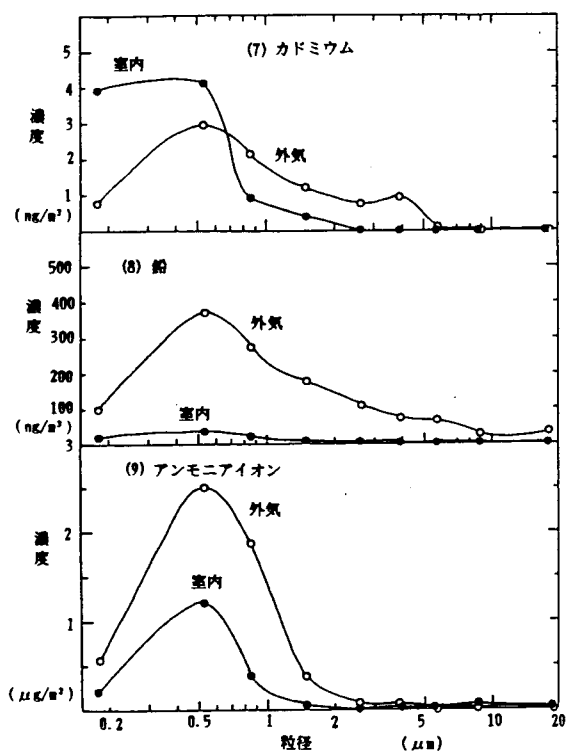


図3-6-3 事務室における粉塵、金属、イオンなどの粒径分布 (No. 1-7平均)

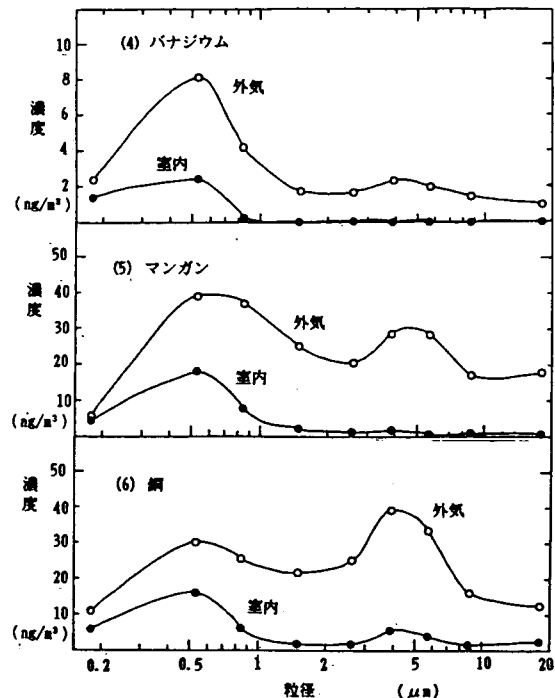


図3-6-2 事務室における粉塵、金属、イオンなどの粒径分布 (No. 1-7平均)

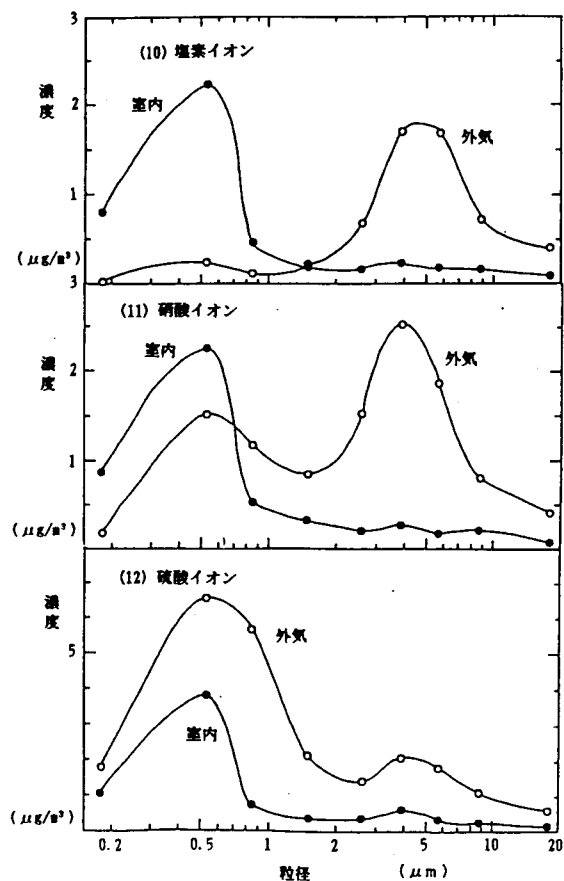


図3-6-4 事務室における粉塵、金属、イオンなどの粒径分布 (No. 1-7平均)

表3-5 タバコからの粉塵、金属、イオンなどの発生量

	粉塵	Na ⁺ *	K ⁺ *	Cd*	NH ₄ ⁺ *	Cl ⁻ *	NO ₃ ⁻ *	SO ₄ ²⁻ *	EC	OC
喫煙	mg/本	27.3	22	117	0.28	24	58	12.1	38	1.5
	μg/mg	-	0.81	4.3	0.010	0.88	2.12	0.44	1.39	15.7
副流煙	mg/本	11.7	14	33	0.39	8.4	25	3.0	24	0.6
	μg/mg	-	1.20	2.8	0.033	0.71	2.14	0.26	2.05	7.9
									51	675

*はμg/本、

表3-6 タバコからの粉塵、金属、イオンの発生量
(アンダーセンエアサンプラーによる)

	粉塵	K ⁺	Cd	Cl ⁻
喫煙	μg/本	21.5	88	0.24
	μg/mg	-	4.09	0.011
	MMD (μm)	0.55	0.58	(0.38)
副流煙	μg/本	8.1	2.2	0.285
	μg/mg	-	0.27	0.035
	MMD (μm)	0.44	0.42	(0.36)
				22
				2.7
				0.52

後述するように、K⁺、Cd、Cl⁻、NO₃⁻などの喫煙粒子中に含まれている金属やイオンについては、粉塵と同様2μm以下において室内が外気に比較して著しく高い。それらの中でもCl⁻、NO₃⁻は、外気においては2μm以上が2μm以下より高いが、室内ではその逆であり、発生源そのものが異なっていると考えられる。

V、Mn、Cu、Pb、NH₄⁺、SO₄²⁻などの喫煙粒子に含まれていない金属やイオンについては、小粒径でも外気に比較して室内濃度は低くなるが、特に大粒径では著しく低くなる。

3. 3. 3. 喫煙粒子の発生量および粒径分布

ハイボリで求めた喫煙による粉塵、金属、イオンなどの発生量およびそれらの粉塵中の含有量を表3-5に、およびA. S. で求めたそれらのMMDを表3-6に示す。また喫煙粒子、副流煙の粉塵の粒径分布、喫煙粒子中K⁺、Cd、Cl⁻の粒径分布を図3-7に示す。喫煙粒子と副流煙とでは、副流煙の方が少し粒径が小さい。金属についてはすべて粉塵と近似した分布を示している。

ろ紙の秤量は、温度20℃、湿度50%の環境中で1日以上放置後行ったが、水分も含まれていると思われるので、参考までに温度50℃の環境中で1日以上放置後秤量した場合、温度20℃の時に比較して喫煙粒子について5.1%の減少、副流煙について6.6%の減少であった。

3. 4. 考察

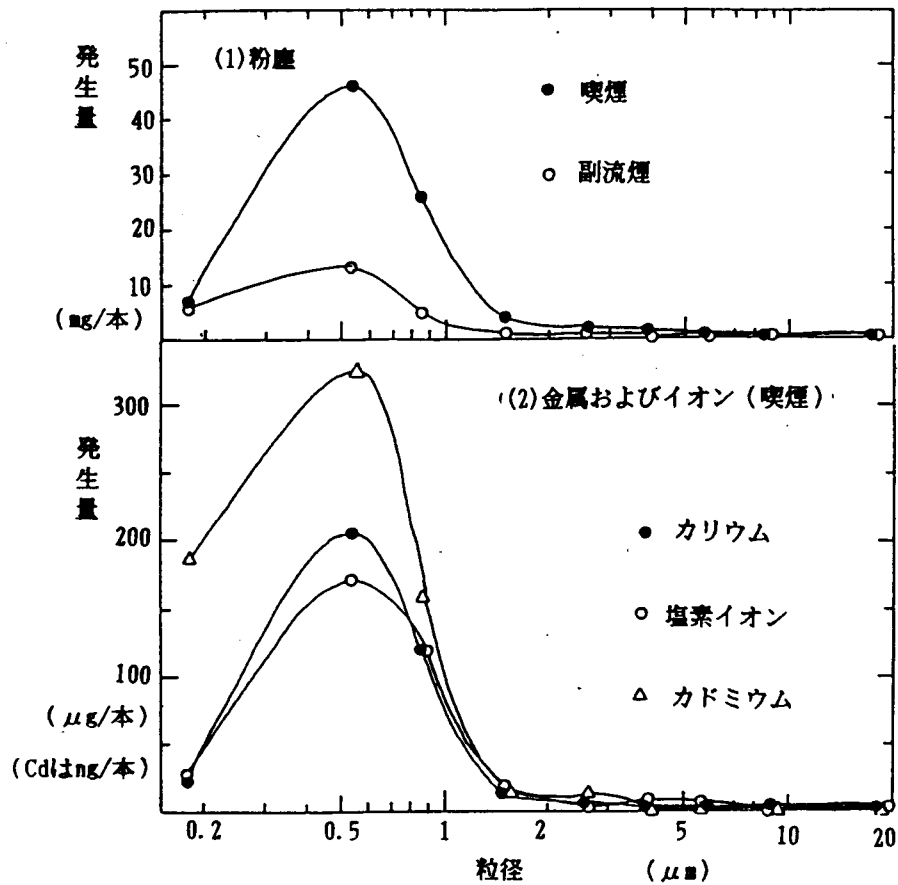


図 3-7 喫煙粒子の粉塵、金属などの粒径分布

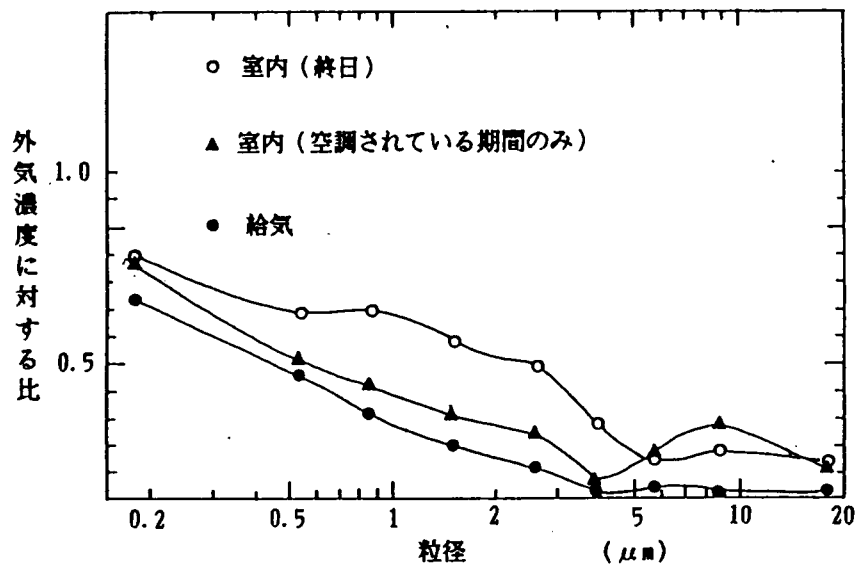


図 3-8 粒径別の外気に対する室内および給気での粉塵濃度の比

3. 4. 1. 空調装置による粉塵の除去

粒径別の外気の粉塵濃度に対する給気あるいは室内の粉塵濃度の比を図 3-8 に示す。粒径が $0.2 \mu\text{m}$ 付近では 3 者ともその比はそれほど変わらないが、粒径が大きくな

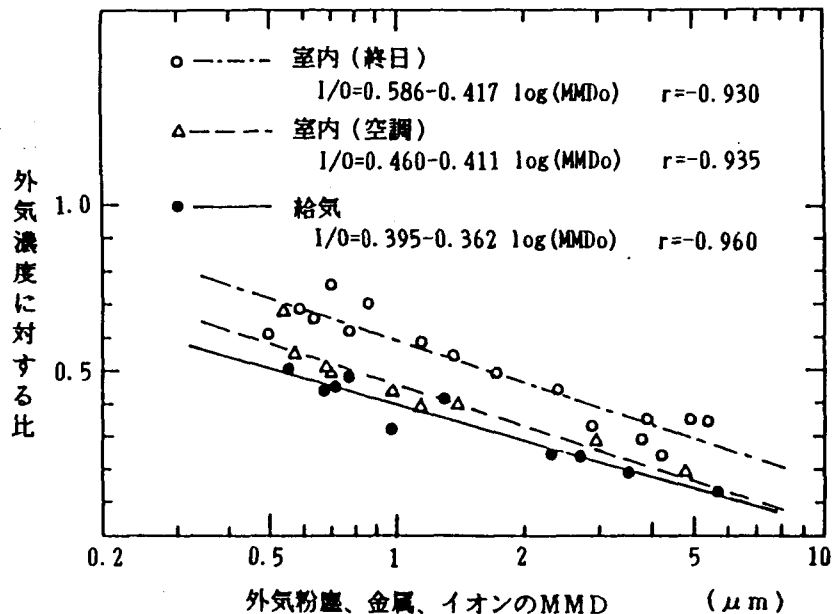


図3-9 外気粉塵、金属、イオンのMMDと外気濃度に対する室内および給気濃度の比

るにつれて、給気および空調されている期間での室内の場合、その比が低下していくが、空調されていない期間も含む終日での室内の場合ではそれほど低下しない。夜間、日曜などの空調されていない期間での自然換気による外気粉塵の影響によると思われる。

次に、粉塵中の金属、イオン成分の分析を行い、粉塵も含めた金属、イオンの外気のMMDとそれらの外気濃度に対する給気あるいは室内濃度の比について検討した。その結果を図3-9に示す。各点が、それぞれの金属、イオンに対応している。いずれの場合も、粉塵、金属、イオンのMMDの対数と外気濃度に対するそれらの比は高い負の相関関係にあり、またそれらの比は給気、空調されている期間での室内、空調されていない期間も含む終日での室内の順に低い。

3. 4. 2. 事務室における浮遊粉塵、金属、イオンなどの濃度

(1) 喫煙と浮遊粉塵濃度

表3-5で示したように、喫煙によりかなりの粉塵が発生するので、喫煙が多いと、浮遊粉塵濃度も高くなると考えられるが、実測でどの程度対応しているかをみた。

1回目の調査(分布調査)より、喫煙の指標として、測定空間内の喫煙者数、在室者数のうちの喫煙者数(喫煙者率)、床面積あたりの喫煙者数の3つを選び、それらと浮遊粉塵濃度との相関をみたが、相関係数で順に0.243、0.507、0.642であった。それらの関係のうち、最も相関の高かった床面積あたりの喫煙者数と浮遊粉塵濃度の関係を図3-10に示す。

(2) 浮遊粉塵濃度とCO₂、CO、NO₂濃度

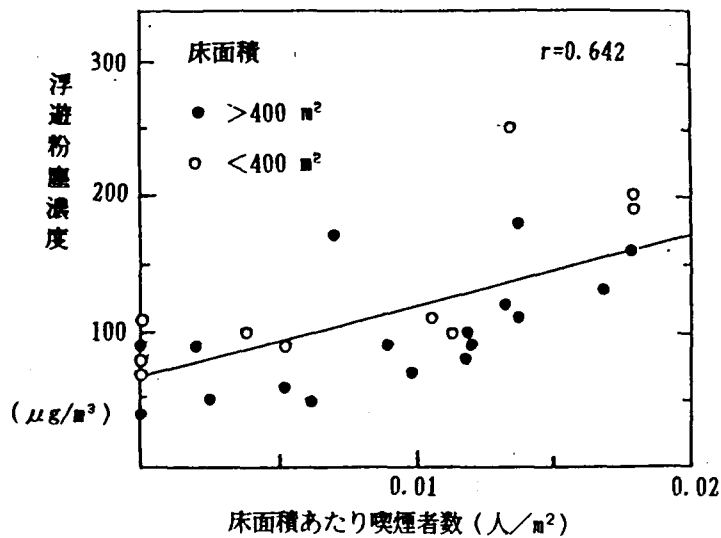


図 3-10 床面積あたりの喫煙者数と浮遊粉塵濃度の関係
(分布測定より)

表 3-7 浮遊粉塵とCO₂、COとの相関
(連続測定結果より)

	浮遊粉塵との相関	
	CO ₂	CO
第1回目K室	0.421 (n=60)	0.159 (n=60)
D室	0.473 (n=54)	0.159 (n=58)
G室	0.649 (n=80)	0.742 (n=33)
全体	0.387 (n=194)	0.252 (n=151)
第2回目NO. 1	0.547 (n=37)	0.366 (n=31)
No. 2	0.633 (n=46)	0.401 (n=45)
No. 3	0.438 (n=46)	0.028 (n=46)
No. 4	0.292 (n=56)	0.014 (n=56)
No. 5	0.614 (n=46)	0.723 (n=46)
No. 6	0.516 (n=52)	—
No. 7	0.588 (n=52)	0.333 (n=52)
No. 8	—	—
No. 9	0.442 (n=47)	—
No. 10	0.479 (n=50)	0.391 (n=50)
No. 11	0.385 (n=47)	0.517 (n=47)
全体	0.586 (n=490)	0.371 (n=380)

喫煙により浮遊粉塵、CO、NO_xが発生するので、それらの間に相関があると思われる。またある程度在室者数と喫煙者数が比例することからすると、CO₂と浮遊粉塵間にも相関があると思われる。第1回目、第2回目の連続測定の結果より各測定点について浮遊粉塵とCO₂、COとの相関をみたのが表3-7であり、NO₂も加えた分布測定での結果が表3-8である。一般的に浮遊粉塵とCO₂、COとの間には相関が認められる。そのうち、相関の高いNo.5室での相関図を図3-11(1)(2)に示す。

浮遊粉塵とNO₂との間に相関が認められない原因として、測定時間が異なること(浮遊粉塵は3分での測定であるのに対して、NO₂の方は約6時間の測定)、喫煙

表3-8 浮遊粉塵とCO₂、CO、NO₂との相関
(分布測定結果より)

	浮遊粉塵との相関		
	CO ₂	CO	NO ₂
第1回目全体	0.532 (n=191)	0.583 (n=191)	-0.081 (n=184)
G1室	0.782 (n=27)	0.938 (n=27)	-0.121 (n=27)
第2回目全体	0.557 (n=222)	0.481 (n=222)	0.240 (n=111)

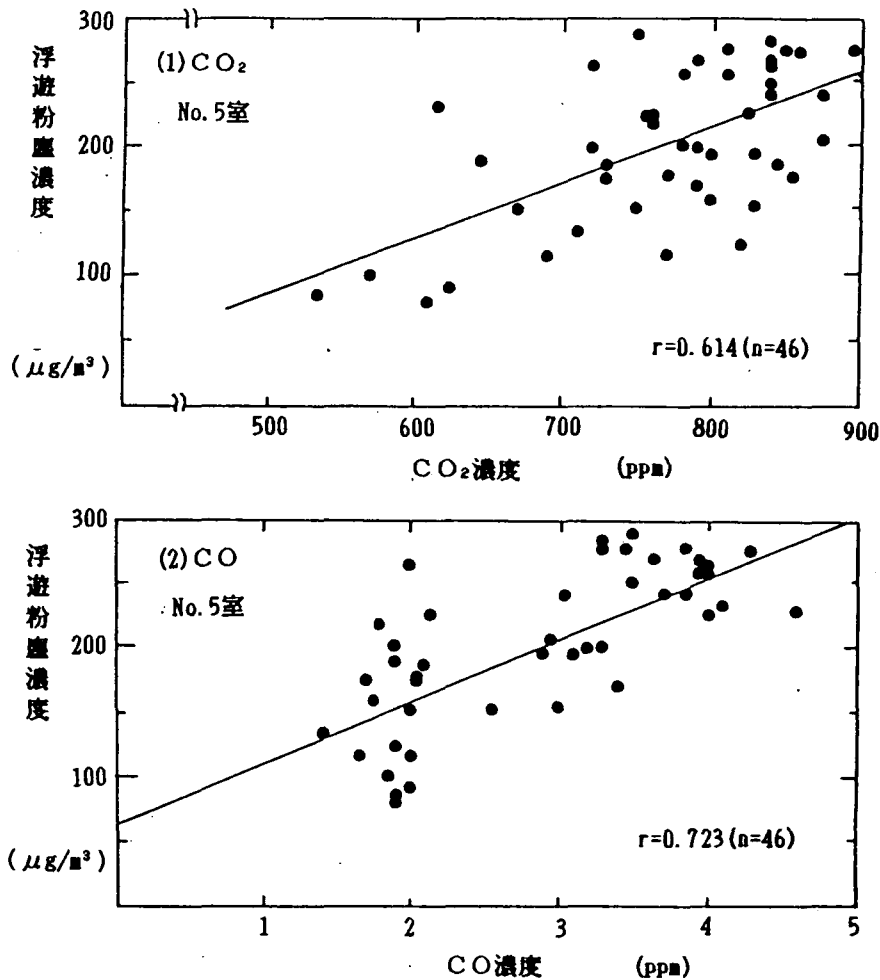


図3-11 (1)(2)浮遊粉塵濃度とCO₂、COとの相関

によって発生するNO_xはほとんどNOであり、そのNOが時間とともにNO₂に変化していくこと¹⁶⁾、NO₂は室内仕上げ材に吸着されやすいこと¹⁹⁾があげられる。

(3) 外気粉塵濃度と室内濃度

粉塵発生源がほとんどない自然換気の室内では、外気粉塵濃度と室内濃度の間に高い相関がみられたが、¹⁷⁾ 発生源のある空調された室内でのそれらの関係について検討した。

粉塵濃度についての外気と室内濃度との相関、外気濃度と室内外濃度比との相関、外気濃度の逆数と室内外濃度比との相関を表3-9に示す。概して外気濃度と室内濃

表3-9 浮遊粉塵についての外気濃度と室内濃度との相関（連続測定結果より）

	n	相関係数		
		INとOUT	OUTと IN/OUT	OUTの逆数 とIN/OUT
第1回目K室	60	0.416	-0.708	0.845
D室	50	0.208	-0.730	0.818
G室	79	0.532	-0.800	0.925
全体	189	0.257	-0.726	0.871
第2回目NO.1	37	0.525	-0.858	0.935
No.2	46	0.116	-0.653	0.796
No.3	46	0.070	-0.736	0.933
No.4	56	-0.174	-0.789	0.953
No.5	46	0.371	-0.720	0.864
No.6	52	0.047	-0.783	0.755
No.7	52	0.250	-0.742	0.894
No.8	56	0.339	-0.713	0.922
No.9	47	0.081	-0.683	0.934
No.10	36	0.518	-0.731	0.931
No.11	47	0.167	-0.668	0.893
全体	521	0.072	-0.632	0.815

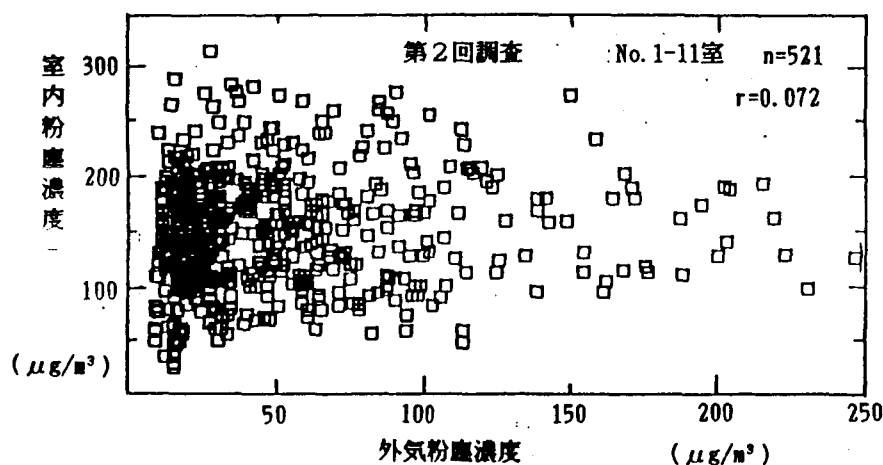


図3-12 外気粉塵濃度と室内濃度との相関

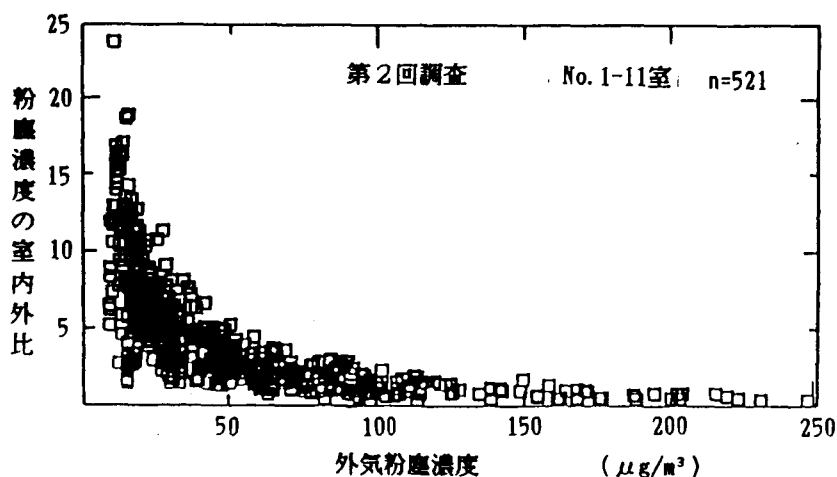


図3-13 外気粉塵濃度と室内外濃度比との相関

度の相関は低い（図3-12）、外気濃度と室内外濃度比との相関は高く（図3-13）、外気濃度の逆数と室内外濃度比との相関はさらに高い。それらの原因として、外気濃度に比較して室内濃度はかなり高く、また室内濃度はほとんど外気濃度に影響されずある程度一定であるので、室内外濃度比はほぼ外気濃度によって決定されるためと考えられる。

（4）粒径と室内外比

発生源がない自然換気の室内の場合も、空調された室内の場合も、粉塵、金属、イオンのMMDの対数と室内外比の間に高い負の相関がみられたが、¹⁷⁾ 発生源のある空調された室内でのそれらの関係について検討した。

1回目の調査においては、粒径分布の測定を行っていないので、当事務所ビルの北東約1kmにある大阪市における粉塵の粒径分布のモニタリングステーションである扇町中学校における測定値を用いた。それらの結果を表3-10、図3-14に示す。喫煙粒子中に含まれている金属、イオン（K⁺、Cd）を除くと、金属のMMDの対数とそれらの室内外比との相関はかなり高く、それらの回帰式および相関係数は次の通りとなる。

$$\text{K室} \quad I/O = 0.67 - 0.31 \log(\text{MMD}_0) \quad r = -0.626 \quad (3-1)$$

$$\text{D室} \quad I/O = 1.01 - 0.84 \log(\text{MMD}_0) \quad r = -0.949 \quad (3-2)$$

$$\text{G室} \quad I/O = 0.65 - 0.35 \log(\text{MMD}_0) \quad r = -0.689 \quad (3-3)$$

2回目の調査においては、A. S. で粒径分布の測定を行ったので粉塵、金属、イオンのMMDはその値を用いた。しかし室内外濃度比については、A. S. の測定が終日であるので、その室内外濃度比を用いるのは適当でない。それゆえ、室内外濃度比はL. V. の値を用いた。L. V. の室内外濃度比は、表3-3のように求めた11

表3-10 浮遊粉塵、金属のMMDおよび事務室における
浮遊粉塵、金属の室内外濃度比（第1回調査）

	MMD* (μm)	室内外濃度比		
		K事業所	D事業所	G事業所
浮遊粉塵	2.7	6.43	7.46	3.08
Mg ²⁺	4.1	0.46	0.49	0.57
K ⁺	1.05	7.79	10.88	4.81
Ca ²⁺	4.6	0.66	0.44	0.46
V	0.59	0.86	1.17	0.83
Mn	1.85	0.48	0.72	0.42
Fe	4.4	0.31	0.49	0.30
Cu	1.7	0.77	1.45	1.22
Zn	1.20	0.77	1.18	0.78
Cd	0.86	4.85	4.16	2.57
Pb	0.71	0.55	1.06	0.54

*扇町中学校における粉塵、金属のMMD（昭和62年10月）

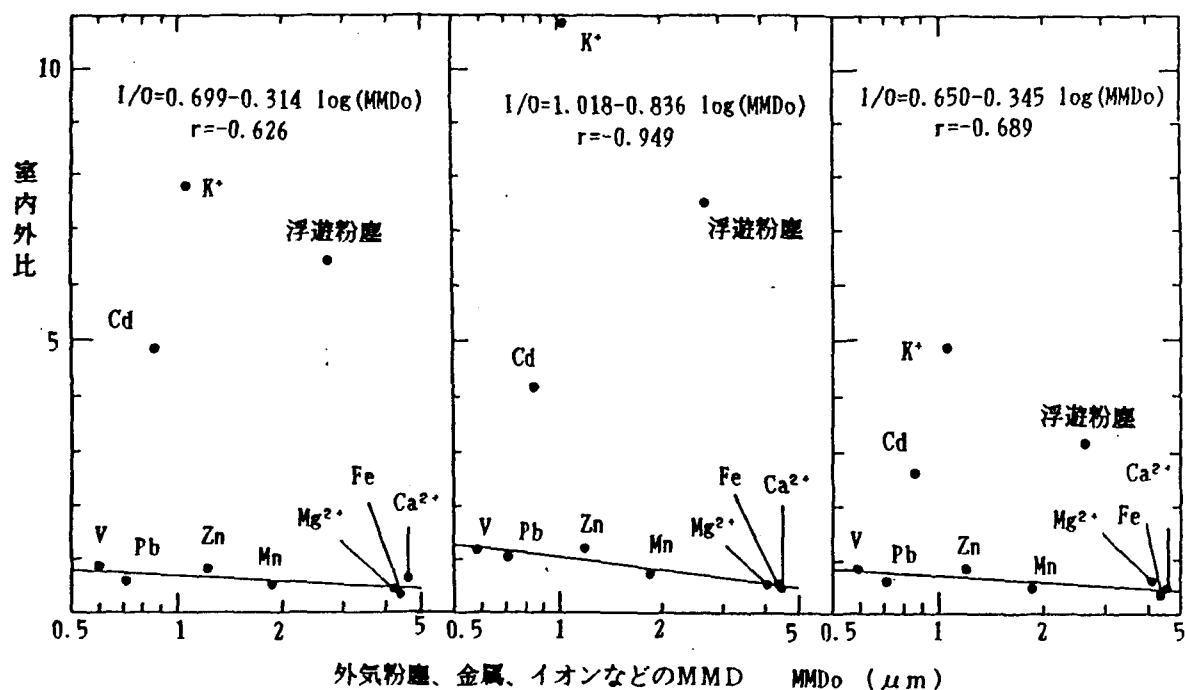


図3-14 外気粉塵、金属、イオンなどのMMDと室内/外比の関係
(第1回調査)

表3-11 粉塵、金属、イオン濃度(第2回調査、
ローポリ)事務室No.1-11平均(就業時間)

	濃度 ng/m ³ (*μg/m ³)		I/O
	室内	外気	
Dust*	150.9±36.0	50.4±14.6	2.99
Na ⁺ *	0.402±0.113	1.25±0.39	0.32
Mg ²⁺ *	0.038±0.020	0.111±0.041	0.35
K ⁺ *	1.86±1.07	0.37±0.20	5.04
Ca ²⁺ *	0.277±0.076	0.489±0.128	0.57
V	3.4±1.6	6.6±1.8	0.52
Mn	12.5±9.2	30.6±7.7	0.41
Fe	360±129	665±123	0.54
Cu	31.9±15.3	99.4±29.0	0.32
Zn	126±73	259±62	0.49
Cd	3.1±1.5	1.8±0.7	1.74
Pb	51.5±20.3	92.3±21.8	0.56
NH ₄ ⁺ *	1.14±0.86	1.35±1.27	0.84
Cl ⁻ *	1.64±0.56	0.58±1.18	2.84
NO ₃ ⁻ *	2.96±3.77	1.66±1.27	1.78
SO ₄ ²⁻ *	3.16±1.41	6.08±2.03	0.52
TC*	86.9±21.8	16.2±4.13	5.36
EC*	11.0±3.8	7.9±2.4	1.38
OC*	75.9±20.1	8.3±2.6	9.28

カ所での就業時間中の平均室内濃度と平均外気濃度からそれぞれ平均値を求め、その値より求めた比である。それらの室内濃度、外気濃度の平均およびその比を表3-11に示す。

粉塵、金属、イオンなどの外気でのMMDとそれらの室内/外濃度比を、図3-15に示すが、室内発生がないと考えられる室内での場合(図3-2)と異なり、喫煙粒子

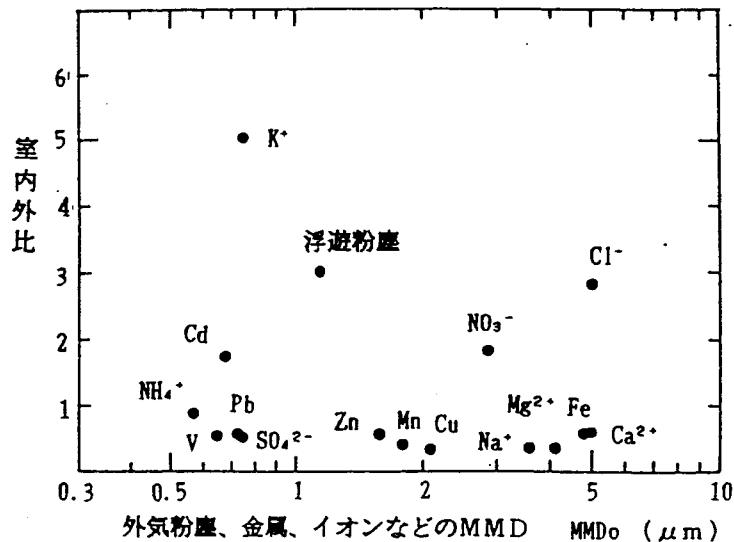


図3-15 外気粉塵、金属、イオンなどのMMDと室内外比の関係(第2回調査)

中に含まれている金属、イオン (K^+ 、 Cd 、 Cl^-) は室内外濃度比はかなり高くなり、土壌粒子中に含まれている金属やイオン (Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Fe) も少し室内外濃度比が高くなっている。

(5) 粉塵発生源の寄与の評価

大気中の粉塵について、その成分濃度と発生源データから、粉塵の発生源の寄与を評価する試みは数多くなされているが²⁰⁾、同手法を今回得られた室内での粉塵濃度に適用した。

前述の事務室No.1-11平均(表3-11)の場合について行う。表3-12には、事務室No.4、事務室No.7、事務室No.1-11平均での室内および外気についての粉塵あたり金属、イオン含有量を示すが、喫煙粒子中に多く含まれている金属、イオンと言えども、OC以外は外気粉塵での含有量とそれほど変わらない。例えば、外気に対する室内での含有量の比でいえば、事務室No.1-11平均で K^+ は1.69 ($12.3/7.3$)であるが、 Cd は0.58 ($21/36$)とむしろ1より低い。 Cl^- 、 NO_3^- については、図3-6の粒径分布でみたように、外気と室内では粒径分布が異なるためもあり、ともに1より低く、 Cl^- 0.95、 NO_3^- 0.60である。

室内粉塵濃度に寄与する発生源を外気、喫煙、土壌とした。まず喫煙粒子の指標としてどの金属やイオンが適当かを検討した。OC以外の K^+ 、 Cd 、 Cl^- 、 NO_3^- など喫煙粒子中に多い成分について、室内で測定されたそれらの濃度がすべて喫煙によるとして、それらの室内濃度を喫煙粒子中のそれらの割合(表3-5)で割ると、 K^+ 濃度から求められる喫煙粒子濃度 $433 \mu g/m^3$ 、 Cd は $310 \mu g/m^3$ 、イオンの場合は Cl^- $774 \mu g/m^3$ 、 NO_3^- $6730 \mu g/m^3$ とさらに高くなる。その原因として、室内でのそれらの濃度がすべて

表3-12 事務室（第2回調査、ローボリ）
事務室No.4、No.7、No.1-11平均（就業時間平均）
粉塵あたり金属、イオンなどの量

	事務室No.4 外気		事務室No.7 外気		事務室No.1-11平均 外気	
Na ⁺ *	2.62	40.6	2.16	23.5	2.66	24.8
Mg ²⁺ *	0.28	5.9	0.30	2.08	0.25	2.20
K ⁺ *	10.2	4.6	10.4	12.8	12.3	7.3
Ca ²⁺ *	2.4	14.2	2.3	10.8	1.84	9.7
V	23	177	36	149	24	131
Mn	93	1056	94	737	83	607
Fe	2710	24150	2400	18040	2386	13200
Cu	170	2380	190	1960	211	1970
Zn	980	7590	760	5470	835	5130
Cd	24	34	10.8	42	21	36
Pb	288	2850	468	2204	341	1830
NH ₄ ⁺ *	1.7	14.6	8.3	26.1	7.6	26.8
Cl ⁻ *	7.8	14.2	12.8	2.6	10.9	11.5
NO ₃ ⁻ *	11.0	37.8	12.0	30.1	19.6	32.9
SO ₄ ²⁻ *	14.7	129	24.6	151	20.9	121
TC*	612	494	645	332	576	321
EC*	112	193	64	193	73	157
OC*	500	304	581	141	503	165

単位：ng/mg（*μg/mg）

喫煙によるものではないこと、表3-5の喫煙粒子中の金属、イオン量は、マイルドセブンについてであり、銘柄が変わればそれらの量も異なってくる、特にCl⁻、NO₃⁻などのイオンで高くなる原因として、ガス状物質からの粒子状物質への変換も考えられるので指標物質としては適当でないためと考えられる。それ故、喫煙粒子の指標としてOCを用いた。

土壌の指標としてはFeを選んだ。外気の寄与を見積るのには大きな粒子と小さな粒子とでは外気の寄与が異なると考えらるが、ここでは小さな粒子のZnを選んだ。外気塵の金属、イオン含有量として表3-12（事務室No.1-11平均）、喫煙粒子のそれらの含有量として表3-5を使用した。土壌のそれらの含有量については、表層土壌、道路堆積塵の両方が考えられるが、ここでは東京都が求めた道路堆積塵の含有量を用いた。²¹⁾ それぞれの含有量はFe 0.074μg/μg、OC 0.0072μg/μg、Zn 0.0006μg/μgである。

外気塵の寄与濃度をC_o、喫煙粒子の寄与濃度をC_{sm}、土壌粒子の寄与濃度をC_{so}とし、Fe、OC、Znについての次の連立式よりそれぞれの寄与濃度を求めた。

$$0.074 C_{so} + 0 C_{sm} + 0.0132 C_o = 0.36 \quad (3-4)$$

$$0.0072 C_{so} + 0.575 C_{sm} + 0.164 C_o = 75.9 \quad (3-5)$$

$$0.0006 C_{so} + 0 C_{sm} + 0.00513 C_o = 0.126 \quad (3-6)$$

それらの連立式を解くと、 $C_{so} = 0.5 \mu g/m^3$ 、 $C_{sm} = 125.0 \mu g/m^3$ 、 $C_o = 24.5 \mu g/m^3$ となる。残りは Cl^- 、 NO_3^- などの2次粒子であると考えられる。

ここで行った評価は、今回用いた発生源での成分量より計算されたもので、別の発生源データを用いればそれらの寄与濃度も異なってくると考えられる。図3-8(1)の浮遊粉塵において $2 \mu m$ 以上が室内と外気でそれほど変わらないことから、本来は土壌の寄与が今回の値より高くなると考えられる。

3. 5. 本章のまとめ

当研究所の外気、給気、空調された室内において粉塵の粒径分布を測定し、外気での粉塵、金属、イオンのMMDの対数とそれらの外気濃度に対する比は、給気、空調された室内、空調されていない期間（夜間など）を含む室内とも高い負の相関を示し、またその比はその順に低かった。

空調された事務室において浮遊粉塵、金属、イオン、OC濃度などの実測を行い、以下の結論を得た。

(1) 床面積あたり喫煙者数と浮遊粉塵濃度との間には相関がみられた。

(2) 粉塵濃度と CO_2 、CO濃度との間にはある程度の相関がみられたが、 NO_2 濃度との間には相関がみられなかった。

(3) 外気濃度と室内濃度との相関は低く、外気濃度に関係なく室内濃度が決定されることが考えられる。

(4) 外気における粉塵、金属、イオンのMMDの対数とそれらの室内外比との間には、喫煙によって発生する粉塵、 K^+ 、 Cd 、 Cl^- 、 NO_3^- 以外については高い負の相関が得られた。

(5) 事務室における粉塵、金属、イオン、OC濃度から、外気、喫煙、土壌による寄与を見積り、 $C_{so} = 0.5 \mu g/m^3$ 、 $C_{sm} = 125.0 \mu g/m^3$ 、 $C_o = 24.5 \mu g/m^3$ の値を得た。

第3章の参考文献

- 1) Ib Andersen: Relationships between Outdoor and Indoor Air Pollution, Atmospheric Environment, Vol. 6, pp. 275-278, 1972
- 2) C. R. Thompson et al.: Outdoor-indoor Levels of Six Air Pollutants, A. P. C. A., Vol. 23, No. 10, pp. 881-886 (1973)
- 3) M. Halpern: Indoor/Outdoor Air Pollution Exposure, A. P. C. A., Vol. 28, No. 7, pp. 689-691 (1978)
- 4) J. E. Yocom: Indoor/Outdoor Air Quality Relationships, A. P. C. A., Vol. 21, No. 5, pp. 251-259 (1971)
- 5) C. J. Weschler et al.: The Effect of Building Fan Operation on Indoor-outdoor Dust Relationships, A. P. C. A., Vol. 33, No. 6, pp. 624-629 (1983)
- 6) 本間慶一ほか2名: 室内の浮遊粉じん濃度と除じん装置、空気清浄、第12巻、第2号、pp. 24-32、1974
- 7) 藤井正一、南野ほか: 室内の空気汚染制御に関する研究 その5 一般空調用中性能濾材の粉じん除去性能について、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 309-310 1980
- 8) 植崎正也: 喫煙と室内空気汚染、空気清浄、第14巻、第4号、pp. 12-22、1976
- 9) J. L. Repace: Indoor Air Pollution, Tobacco Smoke, and Public Health, Science, Vol. 208, pp. 464-472 (1980)
- 10) 呂俊民ほか2名: 浮遊粒子状物質による室内空気汚染、空気清浄、第14巻、第4号、pp. 1-11、1976
- 11) 長良健次: 室内浮遊塵の粒径分布と元素組成について、空気清浄、第22巻、第6号、pp. 28-31、1985
- 12) 竹内貢三ほか2名: 室内浮遊粉塵中の金属成分について、空気清浄、第12巻、第2号、pp. 33-42、1974
- 13) A. F. Cohen et al.: Protection from being Indoors against Inhalation of Suspended Particulate Matter of Outdoor Origin, Atmospheric Environment, Vol. 14, pp. 183-184, 1984
- 14) J. Alzona et al.: Indoor-outdoor Relationships for Airborne Particulate Matter of Outdoor Origin, Atmospheric Environment, Vol. 13, pp. 55-60, 1979
- 15) R. E. Lee Jr.: The Size of Suspended Particulate Matter in Air, Nature, Vol. 178, pp. 567-575 (1972)
- 16) J. D. Sinclair et al.: Indoor/Outdoor Concentrations and Indoor Surface Accumulations of Ionic Substances, Atmospheric environment, Vol. 19, pp. 315-323, 1985

- 17)宮崎竹二、植崎正也：自然換気の室内における粉塵および金属の性状、日本建築学会計画系論文報告集 第432号、 pp.35-44(1992)
- 18)宮崎竹二：各種燃焼排ガスの NO_2 生成速度、大阪市立環境科学研究所報告調査・研究年報 第52巻 pp.36-44 1990
- 19)宮崎竹二：各種建築材料の NO_x の吸着性状について、日本建築学会論文報告集第333号、pp.92-100(1983)
- 20)G.S.Kowalczyk et al.:Chemical Element Balances and Identification of Air Pollution Sources in Washington,D.C. Atmospheric environment, Vol.12, pp.1143-1153,1978
- 21)芳住邦雄ほか7名：東京都における浮遊粒子状物質へのリセプターモデルによる発生源寄与の評価、東京都環境科学研究所年報1989pp.3-10

第4章 室内における沈積粉塵、金属、イオンの性状

4. 1. 目的

アレルギーとの関連で、住宅内での沈積塵が注目されているが、住宅に限らず室内での沈積塵が形成される過程は、図4-1のようになる。沈積塵には、その図に示すように室内浮遊塵の沈積によるものも多く含まれていると思われる。^{1) 2) 3) 4)}

室内沈積塵と室内浮遊塵との関わりを調べる目的で、研究所に長期にわたり沈積した粉塵を秤量、成分分析し、室内の浮遊粉塵の成分と沈積塵の成分を比較することにより、室内で沈積している粉塵、金属、イオン量と室内で浮遊している時のそれらの濃度および粒径との関係について検討した。

併せて、沈積塵そのものではないが、住宅での掃除機捕集粉塵について同様のことを行った。掃除機で捕集された粉塵は、掃除の丁寧さ、掃除機の吸引力にもよるが、室内沈積塵の一部にすぎない。だが、捕集の容易さから、掃除機で捕集された粉塵中のダニやカビを測定する試みはよくなされているところである。

また喘息、鼻炎などの吸入性のアレルギーは吸入されることによって生じるので、沈積塵が再飛散するから問題なのである。再飛散のしやすさからすると沈積塵の粒径が重要になってくる。^{5) 6)}それゆえ沈積塵および沈積塵中の金属、イオンの粒径としてフルイによるMMDを求め、それらと浮遊状態でのそれらのMMDとの関係についても検討した。

4. 2. 方法

4. 2. 1. 研究所における沈積塵

昭和49年12月竣工の当研究所において竣工後約14年2カ月（170カ月）たった平成

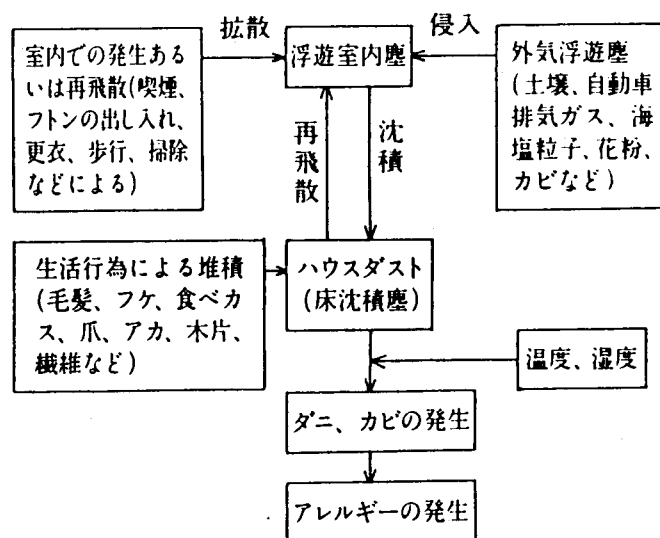


図4-1 ハウスダストの成り立ち

元年1月27、30日の両日の2回にわけて7階のA～Hの8室（天井高さ283 cm）の10台のファンコイルユニットの上（天井下28cm）に沈積した粉塵を採取した。高さによる粉塵の沈積量の差をみるために、空調機室（天井高さ355 cm）に沈積した粉塵を高さ別に4カ所から採取した。

またG、Iの2室のみ、窓台（高さ90cm）に堆積した粉塵を採取した。さらに参考のためA、H室の吹き出し口のグリルに付着した粉塵、A室の吸い込み口のグリルに付着した粉塵、7階外気取入れ口のグリルに付着した粉塵を採取した。

採取方法は、沈積塵、付着塵ともハケで採取し、110℃で2時間乾燥させ、スリ鉢にとり、スリ棒で叩き、繊維状と粒子状粉塵を分離させ、繊維状のものを繊維状粉塵、残りを粒子状粉塵とし、別々に秤量した。粒子状粉塵については、粉塵中の金属およびイオン量を分析したが、V、Cr、Mn、Fe、Cu、Ni、Zn、Cd、Pbについては硝酸、過塩素酸による湿式分解後、原子吸光光度法にて分析した。また、超音波による水抽出後、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Ca^{2+} のイオンを原子吸光光度法で、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ のイオンをイオンイオンクロマトグラフィで分析した。

粉塵量の少ないNo. 9, 10以外の粒子状粉塵については、フルイ分け法により粒子状粉塵の粒径分布（フルイ上MMD）を求めた。フルイNo. 200（公称目開き $74\mu\text{m}$ ）以下の各段に捕集された粉塵は、前記と同様の方法で金属とイオンを分析し、それらの粒径分布（フルイ上MMD）を求めた。粒子状粉塵と金属やイオンとはMMDを求めるためのフルイナンバーが異なっている。また、イオンのうち Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ は測定しなかった。

沈積塵の成分と比較するため、G室において平成元年2、3月のうち1カ月間A、S、で浮遊粉塵、金属、イオン濃度およびそれらのMMDを測定した。

4. 2. 2. 住宅における掃除機捕集粉塵

大阪府高槻市の住宅（以下M宅とする、掃除面積は約 96m^2 ）において、平成元年2月から翌年の1月の1年間、掃除機のゴミパックを1カ月ごとに交換し、掃除機に捕集された粉塵を集めた。掃除はその家の主婦がした。

集められた粉塵は、まず繊維状のもの（以下、繊維状粉塵とした）を分離し、次にフルイNo. 14（分離径 $1190\mu\text{m}$ ）上に残るもの（以下、固形物とした）とフルイNo. 14を通過するもの（以下、粉塵とした）とに分離した。粉塵については、さらにより細かい目にフルイ分け、フルイNo. 70（分離径 $210\mu\text{m}$ ）より上に残る粉塵（以下、大型粉塵とした）とフルイNo. 100（分離径 $149\mu\text{m}$ ）以下において捕集される粉塵（以下、粒子状粉塵とした）に分けた。研究所での粒子状粉塵の定義と少し異なっている。振とう時間は約30分間であり、振とうは手で行った。振とうによる誤差をみるために、4月分について2つに分割してフルイに掛けたが、それらの粒径分布にはほとんど差

がなかった。(フルイ上MMDで $77\mu\text{m}$ と $80\mu\text{m}$)

秤量は、水分を除くため研究所での沈積塵の場合 110°C で2時間乾燥させたが、高温のため NH_4^{+} が検出されなくなったので、掃除機捕集粉塵の場合は温度 20°C 、湿度50%の環境中で24時間以上放置後行った。

粒子状粉塵については各フルイに捕集された粉塵別に金属、イオンを前記と同様の方法で分析した。

別途、M宅2階洋室における浮遊粉塵濃度および金属、イオン濃度ならびにそれらの粒径分布をA. S. により測定した。期間は平成2年4-6月である。¹⁾

4. 3. 結果

4. 3. 1. 研究所での結果

(1) 沈積塵の量

居室のファンコイルユニット上の沈積塵についての採取場所、採取面積、乾燥後の粒子状粉塵、繊維状粉塵およびそれらの合計の沈積量を表4-1に示す。H室のファンコイル上は、約1年前に掃除がなされていた。F室とG室は機器室などであり、人の存在時間は他の部屋と比較して少ない。傾向として、在室時間が長い部屋ほど沈積塵が多く、また繊維状粉塵の割合が多い。

空調機室でなされた高さ別の沈積塵の結果を表4-2に示す。空調機室自体がリターン空気の流れになっており、No.12は各室からのリターン空気が空調機室内に入ってくるグリルの近くの制御板上であるが、それ以外は、大体空調機のリターン空気の入取れ口近くの場所であるので、No.12を除いた高さ別の沈積塵量を図4-2に示す。下ほど沈積塵が多くなっているが、繊維状粉塵の割合は高さによる差はあまりみられ

表4-1 ファンコイルユニット上の沈積塵量

No	室名	採取面積 m^2	乾燥後の重量 g/m^2			繊維**の割合
			粒子*	繊維**	合計	%
1	A室	0.140	4.21	0.45	4.66	9.6
2	A室	0.080	5.00	0.87	5.87	14.8
3	B室	0.080	5.13	3.01	8.14	37.0
4	C室	0.080	6.44	0.68	7.12	9.6
5	D室	0.080	2.52	0.38	2.90	13.0
6	E室	0.080	2.75	0.90	3.13	24.6
7	F室	0.338	1.81	0.06	1.87	3.3
8	G室	0.080	5.58	0.28	5.86	4.8
平均	(No 1-8)	-	4.18	0.83	5.01	16.6
9	H室	0.180	0.16	0.06	0.22	26.5
10	H室	0.196	0.34	0.26	0.60	44.5

*粒子状粉塵 **繊維状粉塵

表4-2 空調機室の沈積塵量

No	採取場所	高さ m	採取面積 m ²	乾燥後の重量 g/m ²			繊維**の割合 %
				粒子*	繊維**	合計	
11	ダクト上	2.5	0.163	3.94	0.65	4.59	14.1
12	制御板上	2.0	0.120	2.38	0.91	3.29	27.7
13	ダクト上	1.0	0.081	6.60	0.98	7.58	12.9
14	ダクト隅	0.25	0.041	7.18	1.12	8.30	13.5

*粒子状粉塵 **繊維状粉塵

表4-3 窓台上の沈積塵量

No	採取場所	高さ m	採取面積 m ²	乾燥後の重量 g/m ²			繊維**の割合 %
				粒子*	繊維**	合計	
15	G室	0.90	0.063	0.89	0.01	0.90	0.9
16	I室	0.90	0.600	10.9	0.08	11.0	0.7

*粒子状粉塵 **繊維状粉塵

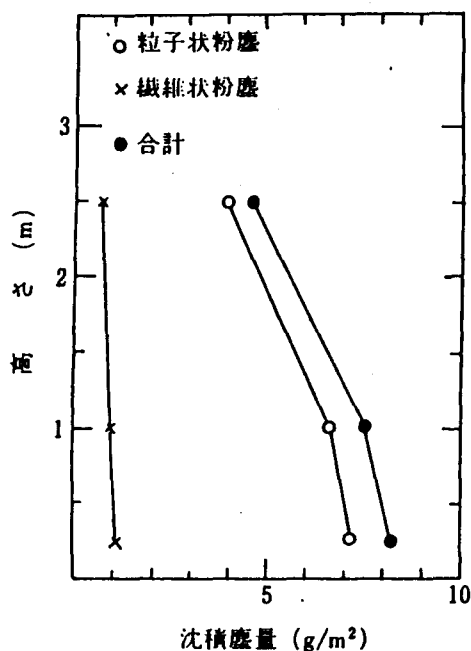


図4-2 空調機室での高さ別沈積塵量

表4-4 外気取入れ口などのグリルの付着塵

No.	採取場所	繊維*の割合 %
17	外気取入れ口	0.0
18	G室吹き出し口	0.0
19	A室吹き出し口	0.0
20	A室吸い込み口	6.5

*繊維状粉塵

ない。

G室とI室での窓台上の沈積塵の結果を表4-3に示す。No.15は、表4-1のG室であり、1、2年前に掃除がなされていた。No.16のI室は、機械室であり、数年間掃除がなされていない。ともに、表4-1の結果と比較して、繊維状粉塵の割合が少ない。また沈積期間のわりに、高さの違いもあるが沈積塵量がファンコイル上と比較して多い。

付着塵についての結果を表4-4に示すが、吸い込み口で採取した場合のみ繊維状粉塵を含み、その割合は6.5%であった。

表 4-5 研究所での沈積塵中金属量

Na	V*	Cr*	Mn	Fe	Ni*	Cu*	Zn	Cd*	Pb
1	32	110	0.84	41.6	162	267	2.69	12.9	0.99
2	40	118	0.78	38.5	181	371	2.23	13.2	0.48
3	24	172	0.57	26.9	188	255	2.43	15.4	0.71
4	32	175	0.84	42.7	176	347	2.68	11.2	0.46
5	28	154	0.69	34.3	258	343	2.36	13.7	0.72
6	24	39	0.58	23.4	168	392	2.15	16.1	0.48
7	34	46	0.58	26.7	141	251	2.06	16.7	0.45
8	38	108	0.78	28.4	119	172	1.91	12.3	0.41
平均	32	115	0.71	32.8	174	300	2.31	13.9	0.59
9	20	184	0.69	29.0	171	190	2.14	8.0	0.67
10	20	58	0.80	38.1	168	172	1.79	9.5	3.87
11	27	86	0.65	29.9	118	212	2.72	12.3	0.68
12	36	242	0.76	35.5	177	275	3.97	17.9	1.05
13	36	135	0.83	52.5	165	242	3.75	27.2	0.87
14	22	200	0.80	48.7	160	224	4.42	14.1	0.77
15	51	245	1.63	87.5	178	234	2.56	16.7	1.04
16	50	402	1.45	67.5	242	245	2.04	22.3	0.69
17	32	163	1.36	73.5	124	284	1.81	7.8	0.37
18	58	86	0.73	82.4	78	135	5.68	15.1	0.86
19	51	157	0.54	33.9	122	353	5.41	16.6	1.51
20	49	289	0.79	44.0	232	301	3.32	16.5	1.02

単位: $\mu\text{g}/\text{mg}$ (*は ng/mg)Na1-10は表1参照、Na11-14は表2参照、Na15,16は表3参照
Na17-20は表4参照

表 4-6 研究所での沈積塵中イオン量

Na	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
1	6.6	2.09	3.84	37.6	10.3	40	72
2	6.8	2.21	3.81	46.3	11.8	32	81
3	6.7	1.44	3.75	27.8	18.8	18	39
4	7.8	2.05	3.37	41.0	20.7	22	67
5	8.3	2.08	3.95	36.7	18.0	17	60
6	7.5	1.83	3.55	43.3	18.9	22	57
7	7.5	2.18	3.27	58.5	17.6	19	117
8	6.7	2.16	2.89	66.5	18.1	14	124
平均	7.2	2.01	3.55	44.7	16.8	23	77
9	9.8	1.69	4.61	17.5	18.0	24	16
10	6.7	1.25	3.61	18.3	14.9	28	22
11	5.9	1.70	2.43	42.0	17.0	17	64
12	8.4	2.05	3.01	35.2	21.0	27	43
13	6.1	1.88	2.39	35.1	15.0	15	47
14	5.4	1.71	2.28	37.7	18.7	16	54
15	6.0	1.51	1.75	19.8	14.0	3.3	29
16	8.3	2.46	1.70	30.2	18.3	3.3	66
17	3.6	1.41	1.28	32.8	8.3	2.1	84
18	5.6	1.30	2.48	17.6	12.9	20	32
19	5.0	1.47	2.90	16.5	-*	-*	-*
20	7.2	6.55	3.58	27.5	12.1	30	23

単位: $\mu\text{g}/\text{mg}$ *測定せず Na1-10は表1参照、Na11-14は表2参照、
Na15,16は表3参照、Na17-20は表4参照

(2) 金属、イオンの沈積量

沈積した粒子状粉塵中の金属、イオン量を表4-5、表4-6に示す。また、それらより求めた沈積金属、イオン量を表4-7、表4-8に示す。

(3) 沈積塵および沈積塵中金属、イオンの粒径分布

ファンコイルユニット上の沈積塵(No.1-8平均)、グリルに付着していた粉塵の粒径分布を図4-3に示す。ファンコイルユニット上の粉塵のフルイ上MMDは $35\mu\text{m}$ (No.1-8平均)であり、A室吸い込み口付着塵のそれとほぼ同じであるのに対して、外気取入れ口に付着していた粉塵のフルイ上MMDが最も大きく $59\mu\text{m}$ であった。

空調機室での高さ別の粒子状粉塵の粒径分布を図4-4に示すが、下ほど粒径が大きく、フルイ上MMDでは、高さ2.5mで $31\mu\text{m}$ 、1mで $36\mu\text{m}$ 、0.5mで $44\mu\text{m}$ であった。

各フルイナンバーに捕集された粉塵中金属、イオン量を表4-9に示すが、小粒径に多いのはCr、Mn、Fe、Ni、Cuなどがあり、大粒径に多いのに Na^+ 、 Mg^{2+} 、 K^+ などがある。Zn、Cdは粒径による差は少ない。

累積度数分布曲線より求めた沈積塵、金属およびイオンのフルイ上MMDをファンコイルユニット上の沈積塵について表4-10に、空調機室の沈積塵、グリル付着塵について表4-11に示す。フルイ上MMDが大きいのは Na^+ 、 Mg^{2+} 、 K^+ であり、小さい

表 4 - 7 研究所での沈積金属量

№	V*	Cr*	Mn	Fe	Ni*	Cu	Zn	Cd*	Pb
1	135	460	3.5	175	680	1.12	11.3	54	4.2
2	200	590	3.9	193	910	1.86	11.2	66	2.4
3	123	880	2.92	138	960	1.31	12.5	79	3.6
4	206	1130	5.4	275	1130	2.23	17.3	72	3.0
5	71	390	1.74	86	650	0.86	5.9	35	1.8
6	66	107	1.60	64	460	1.08	5.9	44	1.3
7	62	83	1.05	48	260	0.45	3.7	30	0.81
8	212	600	4.4	158	660	0.96	10.7	69	2.3
平均	134	530	3.06	142	710	1.23	9.8	56	2.4
9	3.2	29	0.11	4.6	27	0.030	0.34	1.28	0.11
10	6.8	20	0.27	13.0	57	0.058	0.61	3.2	1.32
11	106	340	2.6	118	460	0.84	10.7	48	2.68
12	86	580	1.8	84	420	0.65	9.4	43	2.50
13	238	890	5.5	347	1090	1.60	24.8	180	5.7
14	158	1440	5.7	350	1150	1.61	31.7	101	5.5
15	45	220	1.45	78	160	0.21	2.28	14.9	0.93
16	547	439	15.8	738	2650	2.68	22.3	244	7.5

単位: mg/m² (*はμg/m²)

№1-10は表1参照、№11-14は表2参照、№15,16は表3参照、

表 4 - 8 研究所での沈積イオン量

№	Na*	Mg ²⁺	K*	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
1	27.8	8.8	16.2	158	43	168	303
2	34.0	11.1	19.1	232	59	160	405
3	34.4	7.4	19.2	143	96	92	200
4	50.2	13.2	21.7	264	133	142	431
5	20.9	5.2	10.0	92	45	43	151
6	20.6	5.0	9.8	119	52	61	157
7	13.6	3.9	5.9	106	32	34	212
8	37.4	12.1	16.1	371	101	78	692
平均	29.9	8.3	14.8	186	70	97	319
9	1.6	0.27	0.74	2.8	2.9	3.8	2.6
10	2.3	0.43	1.22	5.2	5.1	9.5	7.5
11	23.2	6.7	9.6	165	67	67	252
12	20.0	4.9	7.2	84	50	64	102
13	40.3	12.4	15.8	232	99	99	310
14	38.8	12.3	16.4	271	134	115	388
15	5.3	1.3	1.6	18	12	7.8	26
16	90.7	26.9	18.6	330	200	36	721

単位: mg/m²

№1-10は表1参照、№11-14は表2参照、№15,16は表3参照、

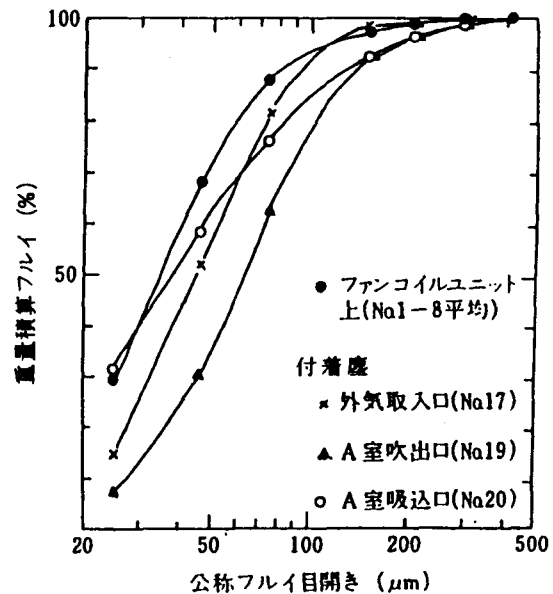


図 4 - 3 沈積塵、付着塵の粒径分布

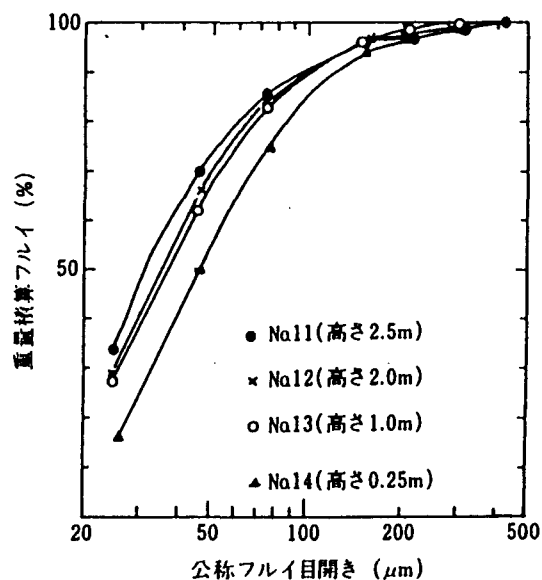


図 4 - 4 高さ別沈積塵の粒径分布

表 4 - 9 ファンコイルユニット上沈積塵 (Na1-8 平均) についてのフルイナンパー別粉塵中金属、イオン量

分離径 (μm)	Na200 74	Na300 46	Na500 25	Na500 以下
V*	41	34	39	44
Cr*	150	150	190	260
Mn	0.52	0.58	0.66	0.79
Fe	20.9	23.4	29.4	42.0
Cu	460	580	610	640
Ni*	150	170	180	190
Zn	2.27	2.28	2.25	2.23
Cd*	13	14	14	13
Pb	0.97	0.68	0.61	0.75
Na ⁺	9.09	8.25	6.94	5.93
Mg ²⁺	2.32	2.21	1.93	1.73
K ⁺	4.33	3.84	3.51	3.11
Ca ²⁺	33.5	45.8	45.9	43.8

単位: μg/mg (*はng/mg)

表 4 - 10 ファンコイルユニット上の沈積塵および沈積塵中金属、イオンのフルイ上MMD

	Na 1	Na 2	Na 3	Na 4	Na 5	Na 6	Na 7	Na 8	平均
粉塵	33	31	30	34	36	49	30	38	35
V	32	28	29	31	35	39	30	32	32
Cr	28	25	26	26	33	44	24	30	30
Mn	29	28	26	32	32	45	29	35	32
Fe	28	26	24	30	30	42	27	30	30
Ni	29	29	28	32	35	46	28	35	33
Cu	32	30	30	35	35	42	28	35	33
Zn	32	30	30	34	35	50	30	36	35
Cd	32	31	29	36	36	49	30	38	35
Pb	36	31	27	40	-*	45	28	33	34
Na ⁺	36	36	33	38	37	51	32	38	38
Mg ²⁺	35	33	31	37	36	50	30	39	36
K ⁺	36	32	31	37	36	52	30	37	36
Ca ²⁺	32	31	29	34	35	47	30	37	34

単位: μm

Na1-8は表 1 参照

*異常値のため省略

表 4 - 11 空調機室の沈積塵およびグリルなどの付着塵ならびにそれらの沈積塵中金属、イオンのフルイ上MMD

	空調機室沈積塵				グリル付着塵		
	Na11	Na12	Na13	Na14	Na17	Na19	Na20
粉塵	31	34	36	44	44	59	36
V	27	28	34	44	42	55	35
Cr	-*	30	33	46	38	52	38
Mn	29	33	35	45	42	54	32
Fe	27	29	34	44	40	58	29
Ni	27	31	37	51	41	54	33
Cu	29	31	35	45	46	54	34
Zn	30	33	36	46	46	56	38
Cd	28	32	32	41	46	63	31
Pb	29	31	34	43	46	62	34
Na ⁺	31	36	35	44	47	56	36
Mg ²⁺	30	36	36	44	46	56	36
K ⁺	28	34	34	43	43	58	36
Ca ²⁺	30	34	35	44	48	48	34

単位: μm

Na11-14は表 2 参照、Na17-20は表 4 参照

*異常値のため省略

のはV、Mn、Feであった。

(4) 外気塵、室内浮遊塵

後に、沈積塵との関係を見るために、G室で測定を行った浮遊粉塵、金属、イオン濃度、金属、イオンの粉塵中量およびそれらのMMDの結果を表 4 - 12に示す。Cr、

表 4-12 当研究所のG室における粉塵・金属・イオン濃度、粉塵中金属、イオン量およびそれらのMMD

	濃度 ng/m ³	粉塵中量 μg/mg	MMD μm
粉塵*	22.5	—	0.70
V	1.91	0.085	0.40
Mn	19.0	0.84	0.76
Fe	456	20.3	1.9
Cu	15.7	0.70	0.61
Zn	116	5.16	0.73
Cd	0.84	0.037	0.52
Pb	43.4	1.93	0.67
Na ⁺	354	15.7	1.70
Mg ²⁺	44.8	1.99	2.3
K ⁺	248	11.0	0.55
Ca ²⁺	184	8.18	2.8
Cl ⁻	1910	85	2.5
NO ₃ ⁻	530	23.6	1.15
SO ₄ ²⁻	2890	128	0.55

*濃度の単位μg/m³

表 4-13 掃除機捕集粉塵のフルイによる分類（1年間）

フルイ No	分離径 (μm)	1年間での 捕集粉塵量 (g)	粉塵の名称
303.6			繊維状粉塵 (A)
14	1190	195.9	固形物 (B)
20	840	12.2	
35	420	28.1	
48	297	19.0	
70	210	16.2	大型粉塵 (C)
100	149	17.0	
200	74	53.3	
300	46	56.7	
500	25	10.9	粒子状粉塵 (D)
500以下		4.7	
繊維状粉塵以外合計 414.0			B+C+D
合計 717.6			A+B+C+D

A、C、Dの合計を粉塵とすると繊維状粉塵の割合は、 $A/(A+C+D) \times 100 = 58\%$ であり、AとDのみを粉塵とすると繊維状粉塵の割合は $A/(A+D) \times 100 = 68\%$ となる。

Niは、検出限界以下であった。

4. 3. 2. 住宅での結果

(1) 掃除機捕集粉塵量

表 4-13に、1年間での掃除機に捕集された繊維状粉塵量、固形物量、大型粉塵量、および粒子状粉塵量を示す。固形物には、例えば平成元年11月分では輪ゴム、ヘアピン、毛髪、紙切れ、ご飯粒、食べ物の切れ端、爪、フケ、畳や板の片などがあつた。

大型粉塵のうち、フルイNo. 35あたりまでは、木切れ、爪の小さいの、小さな石、No. 48あたりでは、フケ、木切れなどが識別できた。それ以下のフルイでは、見た目では識別不可能であつた。繊維状粉塵の割合は、大型粉塵と粒子状粉塵との合計からは58%であるが、大型粉塵を除いて粒子状粉塵との合計からは68%となり、研究所での沈積塵の場合と比較してかなり高い。表 4-14に、固形物、大型粉塵、粒子状粉塵、繊維状粉塵の量の経月変化を示す。そのうち、繊維状粉塵量、粒子状粉塵量およびその両者のうち繊維状粉塵の割合の経月変化を図 4-5に示す。ここにおいて、繊維状粉塵の割合を求めるのには、再飛散が考えられない大型粉塵は除いて粒子状粉塵との合計から計算した。

粒子状粉塵量は外気の影響が大きく、閉め切ることが多い冬や冷房の関係で閉め切れることも多くなってきた夏に少なく、窓を開放する頻度の多い春や秋の中間期に多い。繊維状粉塵量については、1月で少し低い、冬に多く、夏に少ない傾向である。繊

表4-14 掃除機捕集粉塵の経月変化
(平成元年2月から平成2年1月まで)

	A	B	C	D	A+D	E
2月	29.1	19.7	4.77	8.21	37.3	78.0
3月	24.5	10.7	3.91	10.24	34.7	70.8
4月	29.5	11.0	4.98	12.34	41.9	70.5
5月	27.5	11.5	5.23	17.39	44.8	61.4
6月	25.3	17.2	7.82	13.57	38.9	65.1
7月	17.5	16.6	3.55	8.33	25.8	67.7
8月	21.8	20.4	6.35	10.62	32.5	67.3
9月	18.9	11.4	4.68	10.36	29.2	64.6
10月	28.4	23.4	8.27	14.44	42.8	66.3
11月	27.4	20.0	9.66	13.35	40.8	67.3
12月	29.9	21.6	10.59	14.90	44.8	66.7
1月	23.8	12.4	6.61	8.88	32.7	72.8

A:繊維状粉塵(g) B:フルイNo14に残るもの(固形物、g) C:フルイNo14を通過し、No70上に残る粉塵(大型粉塵、g) D:フルイNo70を通過する粉塵の量(粒子状粉塵 g) E:繊維の割合(%) $A/(A+D) \times 100$

表4-15 粒子状粉塵中のイオン量(掃除機捕集粉塵)

	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺
2月	3.95	0.306	2.53	2.53	-*	-*	-*	-*
3月	4.57	0.388	3.20	4.18	4.27	0.88	8.9	0.28
4月	3.35	0.413	2.70	5.19	3.66	1.42	10.4	0.60
5月	3.59	0.300	2.90	3.00	3.95	1.06	5.3	1.35
6月	4.30	0.349	3.14	3.05	4.24	1.14	4.8	0.35
7月	2.74	0.276	2.68	3.65	3.23	1.64	6.9	1.14
8月	3.48	0.407	3.79	4.36	4.05	1.53	7.1	0.46
9月	3.79	0.379	4.19	3.77	4.02	1.29	6.4	0.99
10月	4.78	0.327	3.20	3.27	4.85	1.26	6.0	0.34
11月	4.93	0.277	2.32	2.21	4.47	0.92	6.3	0.34
12月	5.53	0.320	2.90	3.65	5.14	0.79	6.5	0.65
1月	5.57	0.352	1.88	3.54	5.56	0.78	7.1	0.57
平均	4.26	0.340	2.96	3.50	4.08	1.05	6.4	0.65

*測定せず
単位: $\mu\text{g}/\text{mg}$

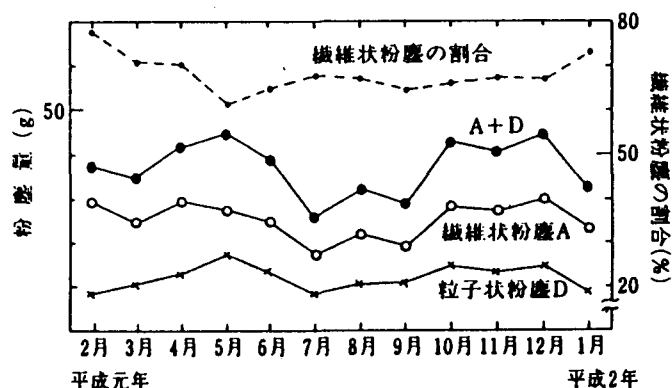


図4-5 掃除機捕集粉塵中繊維状粉塵量、粒子状粉塵量および繊維状粉塵の割合の経月変化

繊維状粉塵は、ほとんど室内での発生と考えられるので、冬に厚着であることを考えると、更衣等の時多く発生するためと思われる。家族構成が異なれば、それらの傾向も異なってくると考えられるが、子供1人と夫婦の3人家族である。

(2) 掃除機捕集塵中金属、イオン量

掃除機捕集粉塵のうち粒子状粉塵についての粉塵中イオン量および金属量の結果を表4-15、表4-16に示す。Cd、Pbに異常値が現れた。

(3) 掃除機捕集塵、金属、イオンの粒径分布

各フルイナンバーに捕集された粉塵中金属、イオン量を表4-17に示すが、小粒径に多いのはV、Cr、Mn、Fe、Ni、Zn、Cd、Pb、Ca²⁺であり、大粒径に多いのはCu、Na⁺、Cl⁻である。

表 4-16 粒子状粉塵中の金属量 (掃除機捕集粉塵)

	V*	Cr*	Mn*	Fe	Cu	Ni*	Zn	Cd*	Pb*
2月	10.8	90	174	9.8	2.47	57	0.88	1.96	—**
3月	12.6	70	200	10.2	2.26	55	0.86	2.63	151
4月	12.3	62	230	10.6	1.29	53	0.64	1.98	80
5月	11.4	54	218	11.2	0.56	54	0.47	1.07	71
6月	9.0	52	269	14.1	0.23	46	0.41	2.06	62
7月	13.1	56	242	11.6	0.20	48	0.68	2.00	96
8月	9.8	63	269	14.5	0.16	58	0.74	2.50	101
9月	12.8	20	197	11.1	0.16	49	0.55	1.90	73
10月	10.2	60	226	12.8	0.39	45	0.64	2.80	85
11月	12.8	63	204	13.0	0.29	53	0.52	2.63	79
12月	9.9	63	201	11.5	0.89	54	0.67	2.10	76
1月	15.5	83	161	10.9	1.49	78	0.85	—**	104
平均	11.5	60	218	11.9	0.79	54	0.64	1.99	81

**異常値のため省略

単位: $\mu\text{g}/\text{mg}$ (*は ng/mg)

表 4-17 掃除機捕集粉塵についてのフルイNo別粉塵中金属、イオンの量

分離径 (μm)	Na100 149	Na200 74	Na300 46	Na500 25	Na500以下	加重 平均
Na ⁺	5.03	4.30	4.18	3.66	3.37	4.26
Mg ²⁺	0.31	0.32	0.37	0.34	0.36	0.34
K ⁺	2.36	2.64	3.43	3.00	3.16	2.96
Ca ²⁺	2.78	3.23	3.76	4.16	4.45	3.50
V*	6.9	8.7	13.3	17.2	24.5	11.5
Cr*	35	50	71	72	104	60
Mn*	119	174	252	315	435	218
Fe	8.2	10.6	12.7	15.9	20.8	11.9
Cu	0.82	1.21	0.54	0.33	0.18	0.79
Ni*	26	45	62	75	91	54
Zn	0.40	0.66	0.66	0.71	0.79	0.64
Cd*	0.84	1.73	2.33	2.81	3.14	1.99
Pb*	64	63	93	111	134	81
Cl ⁻	5.34	3.99	4.06	3.15	3.05	4.08
NO ₃ ⁻	0.72	0.87	1.28	1.14	1.24	1.05
SO ₄ ²⁻	5.44	6.21	6.64	6.85	6.95	6.37
NH ₄ ⁺	0.68	0.57	0.75	0.59	0.57	0.65

単位: $\mu\text{g}/\text{mg}$ (*は ng/mg)

粒子状粉塵および粒子状粉塵中イオン量のフルイ上MMDの経月変化を表4-18に、粒子状粉塵中イオン量のフルイ上MMDの経月変化を表4-19に示す。それらのうち粉塵、Cu、Fe、Vの結果を図4-6に示すが、Fe、Vなどほぼ粉塵と同様の変化を示している。

(4) 室内浮遊塵

後に、掃除機捕集粉塵との関係を見るために、M宅2階洋室で測定した浮遊粉塵濃度それらの粉塵中金属、イオン量およびそれらのMMDを表4-20に示す。Cr、Niは、

表4-18 粒子状粉塵および粒子状塵中イオンのフルイ上MMD (掃除機捕集粉塵)

粉塵	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺
2月	80	83	76	70	73	-*	-*	-*
3月	61	64	62	59	66	64	57	62
4月	78	78	78	72	76	71	76	76
5月	78	78	76	72	72	80	72	75
6月	78	73	72	75	67	84	70	72
7月	63	69	62	63	61	78	59	62
8月	65	72	64	68	59	70	59	62
9月	69	73	67	62	63	69	59	70
10月	69	68	64	62	62	72	63	62
11月	70	69	64	60	72	65	60	70
12月	85	86	83	82	80	90	59	81
1月	72	80	67	57	64	90	69	68
平均	73	77	70	66	68	77	64	70

*測定せず
単位: μm

表4-19 粒子状粉塵中金属のフルイ上MMD (掃除機捕集粉塵)

	V	Cr	Mn	Fe	Cu	Ni	Zn	Cd	Pb
2月	66	61	54	66	90	63	82	63	-*
3月	53	60	58	58	86	60	73	68	62
4月	68	69	56	68	90	71	80	70	69
5月	67	72	60	74	93	80	79	66	72
6月	66	70	68	72	81	64	70	69	68
7月	55	52	59	57	70	52	57	60	58
8月	56	57	60	59	61	57	63	-58	54
9月	57	51	55	64	60	56	60	56	59
10月	61	62	66	61	87	53	61	58	59
11月	59	65	70	68	80	64	62	58	63
12月	72	80	68	74	98	78	82	76	69
1月	58	57	54	63	88	55	74	-*	64
平均	59	65	60	64	88	62	70	63	63

*異常値のため省略
単位: μm

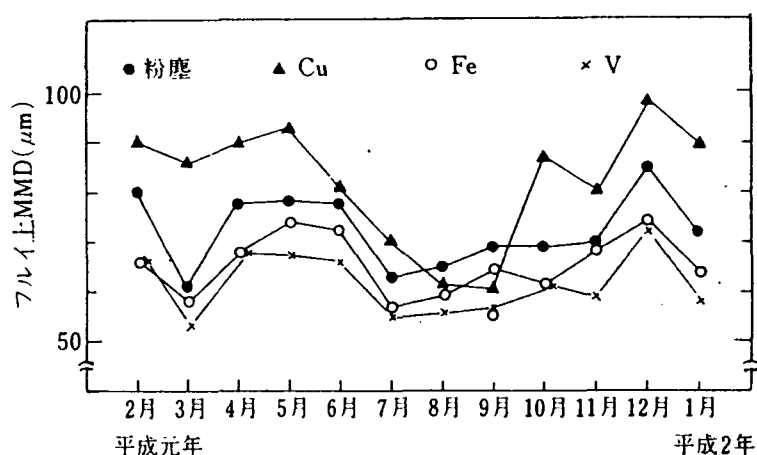


図4-6 粉塵, Cu, Fe, Vのフルイ上MMDの経月変化

検出限界以下であった。

4. 4. 考察

4. 4. 1. 研究所における結果についての考察

(1) 高さ別沈積塵量

空調機室での高さ別の沈積塵量Aを、天井高さHと採取場所の高さhとの差(すなわち、沈積高さH-h)の関数として(1)式のように表し、最小自乗法によりa, bを求めると、全沈積塵量についてa=4.50、b=0.530、粒子状沈積塵量についてa=3.86、b=0.539、繊維状沈積塵量についてa=0.63、b=0.472になる。

$$A = a (H - h)^b \quad (4-1)$$

A : 沈積量 (g/m^2)
H : 天井高さ (m)
h : 測定点の高さ (m)
H - h : 沈着高さ (m)

それらの関係を図4-7に示す。その図には、ファンコイルユニット上の沈積塵も併せて示しているが、空調機室の場合と比較して沈着高さが低い割に沈積塵量が多い。

空調機室の制御板上でダクト上より沈積塵量が沈着高さの割に少なかったり、G室の窓台で沈着期間の割に沈積量が多かったように、沈積塵量は高さだけでなく、外気塵の室内への侵入経路、部屋の気流の流れなどの影響も大きい。

それゆえ、今回のファンコイルユニット上での沈積塵量から机上の沈積塵を正確に予測することは困難であるが、高さ別傾向が両者とも同じ（すなわち(1)式のbが同じ）として予測した。

沈着高さ0.28mでの実際の沈積塵量から(1)式のaを求めることにより、机の上（沈着高さを2mとする）での沈積塵量を計算すると、全沈積塵量 $14.20\text{g}/\text{m}^2$ 、粒子状沈積塵量 $12.05\text{g}/\text{m}^2$ 、繊維状沈積塵量 $2.09\text{g}/\text{m}^2$ になる。

(2) 沈積指数

沈積塵に対する浮遊塵の寄与を評価するために、金属、イオンについて次の沈積指

表4-20 M宅内粉塵・金属・イオン濃度、室内浮遊塵中金属・イオン量およびそれらのMMD

	濃度 ng/m^3	粉塵中量 $\mu\text{g}/\text{mg-Dust}$	MMD μm
粉塵*	38.4	—	1.8
V	2.8	0.073	0.42
Mn	18.6	0.484	2.0
Fe	614	16.0	4.0
Cu	15.4	0.401	0.90
Zn	74.5	1.94	0.75
Cd	0.79	0.0206	0.70
Pb	39.9	1.04	0.65
Na ⁺	328	8.5	1.8
Mg ²⁺	59.8	1.56	2.6
K ⁺	301	7.84	0.63
Ca ²⁺	401	10.4	2.9
Cl ⁻	133	3.46	4.9
NO ₃ ⁻	834	21.7	3.6
SO ₄ ²⁻	5106	133	0.58
NH ₄ ⁺	1409	36.7	0.49

*濃度 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

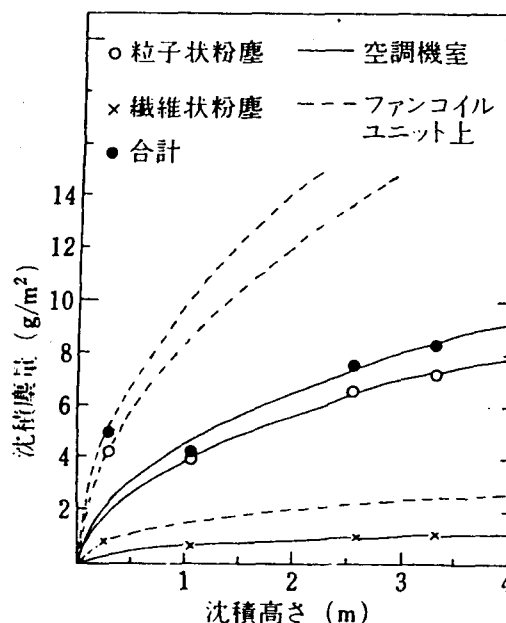


図4-7 沈着高さと沈積塵量の関係

数 A. I. を求めた。

$$A. I. = D_s / D_a \quad (4-2)$$

A. I. : 沈積指数

D_s : 沈積塵中量 (ng/mgあるいは μ g/mg)

D_a : 浮遊粉塵中量

(ng/mgあるいは μ g/mg)

ファンコイルユニット上の沈積塵についての沈積指数 (No. 1-8 平均) を表 4-21 に示す。この値が大きいほど沈積塵への浮遊塵の影響が大きいことになる。沈積量には、浮遊量だけでなく、浮遊状態での粒径 (MMD) が重要になってくる。MMD が大きいほど沈積しやすいと考えられる。

(3) MMD と沈着速度

沈積量は、次式のように浮遊濃度と沈積期間の関数として示され、その比例係数が沈着速度である。²⁾

$$A = v_s \times C \times T \quad (4-3)$$

A : 沈積量 (mg/m²)

v_s : 沈着速度 (m/s)

C : 浮遊濃度 (mg/m³)

T : 沈積期間 (s)

ファンコイルユニット上の粉塵、空調機室の粉塵について粉塵、金属、イオンの沈着速度を次式より求めた。その結果を表 4-22 に示す。(ただし、この式では沈積高さは考慮していない。)

$$v_s = A / C / T \quad (4-4)$$

沈積量は今回のデータ (表 4-7、表 4-8) を、浮遊濃度は本来 15 年間の平均でなくおかつ各室についてのデータが必要であるが、ここでは G 室での 1 カ月間の粉塵、金属、イオン濃度およびそれらの MMD (表 4-12) を用いた。なお沈積期間は 170 カ月とした。

ファンコイルユニット上の粉塵、金属およびイオンについての浮遊状態での MMD と沈着速度の関係を図 4-8 (No. 1-8 平均) に示す。図には、比重 1 の粒子の粒径と

表4-21 研究所のファンコイルユニット上の沈積塵および掃除機捕集粉塵中の金属、イオンの沈積指数、およびそれらの比

	沈積指数		比
	A*	B**	B/A
V	0.38	0.158	0.42
Mn	0.85	0.45	0.53
Fe	1.62	0.74	0.46
Cu	0.43	1.97	4.58
Zn	0.45	0.33	0.73
Cd	0.38	0.097	0.26
Pb	0.31	0.078	0.25
Na ⁺	0.46	0.50	1.09
Mg ²⁺	1.01	0.218	0.22
K ⁺	0.32	0.38	1.19
Ca ²⁺	5.46	0.34	0.06
Cl ⁻	0.198	1.18	5.96
NO ₃ ⁻	0.97	0.048	0.05
SO ₄ ²⁻	0.60	0.048	0.08

*A: ファインコイルユニット上の沈積塵

**B: 掃除機捕集粉塵

表4-22 粉塵、金属、イオンの沈着速度 (研究所)

	ファンコイル ユニット上 Na1-8平均	空調機室			
		Na11	Na12	Na13	Na14
粉塵	42.1	39.6	24.0	66.4	72.3
V	15.9	12.5	10.2	28.3	18.8
Mn	36.6	31.0	21.5	65.5	68.0
Fe	70.6	58.7	41.7	172.4	174.0
Cu	17.8	12.2	9.3	23.1	23.3
Zn	19.2	20.8	18.3	48.5	51.8
Cd	15.2	12.9	11.6	48.5	61.8
Pb	12.7	14.0	13.1	29.7	28.8
Na ⁺	19.1	14.9	12.7	62.7	24.9
Mg ²⁺	42.2	34.0	24.7	14.5	62.3
K ⁺	13.5	8.8	6.6	14.5	62.3
Ca ²⁺	229	203	104	286	334
Cl ⁻	53.9	51.4	38.3	76.1	102.8
NO ₃ ⁻	41.5	28.5	27.2	42.1	48.9
SO ₄ ²⁻	24.9	19.7	7.9	24.2	30.4

単位: $\times 10^{-3}$ cm/s

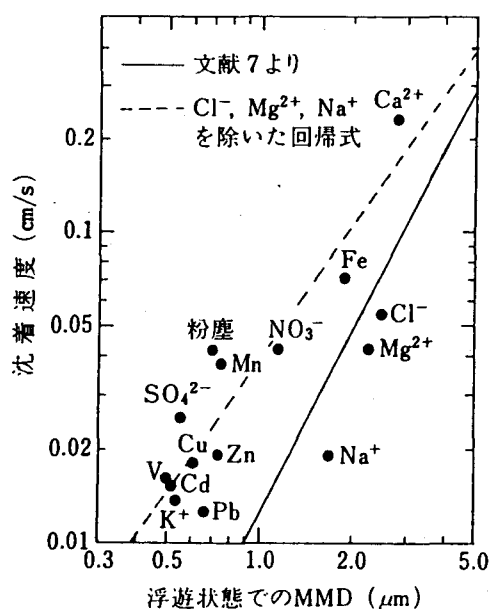


図4-8 浮遊状態でのMMDと沈着速度の関係

沈着速度の関係 (高橋⁷⁾) も併せて示す。浮遊濃度およびMMDを測定したのは、特定の一室でしかも1カ月程度の測定なので、参考程度であるが、直線から逸脱したCl⁻、Mg²⁺、Na⁺を除くと、次のように高い相関 ($r=0.917$) が得られる。

$$\log (v_s) = -1.404 + 1.42 \log (\text{MMD}) \quad (4-5)$$

MMD：粉塵、金属、イオンの質量中央径（ μm ）

Cl^- 、 Mg^{2+} 、 Na^+ が直線から逸脱する理由は不明である。

（４）浮遊状態でのMMDとフルイ上MMDとの関係

粉塵、金属、イオンの浮遊状態でのMMDと沈積塵中のフルイ上MMDとの関係を図４－９に示すが、相関係数は0.112と低い。浮遊状態でのMMDが大きいFe、 Ca^{2+} などは、フルイ上MMDは小さい。沈積後の堆積、採取時のかくはん、フルイにかける段階での凝縮や破碎などが原因で、フルイ上MMDは浮遊状態でのMMDを反映していないと考えられる。

４．４．２．住宅における結果についての考察

（１）MMDと沈積指数

研究所の沈積塵と同様、掃除機捕集粉塵についても沈積指数を求めた。沈積塵中量は、１年間平均値（表４－１５、表４－１６）、浮遊粉塵中量はM宅２階洋室での測定値（表４－２０）を用いた。金属、イオンの沈積指数を表４－２１に、金属、イオンの室内浮遊MMDと沈積指数の関係を図４－１０に示す。

沈積指数は、粒径の大きな粒子（例えばFeのMMDは $4.0\mu\text{m}$ ）では室内に沈積しやすいので大きく、小さな粒子（例えばMnのMMDは $2.0\mu\text{m}$ ）では小さくなる。 $2.0\mu\text{m}$ より小さい粒子については、普通の掃除機では捕集できない可能性もあるので、かなり低い値になり、Pbでは0.078となる。また、 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- などは室内において発生かつ沈積しやすいので、それらの沈積指数はそれらのMMDの割に他の金属やイオンと比較して高くなると考えられる。

（２）浮遊状態でのMMDとフルイ上MMDの関係

M宅での金属やイオンの浮遊状態でのMMDと沈積塵のフルイ上MMDの関係を図

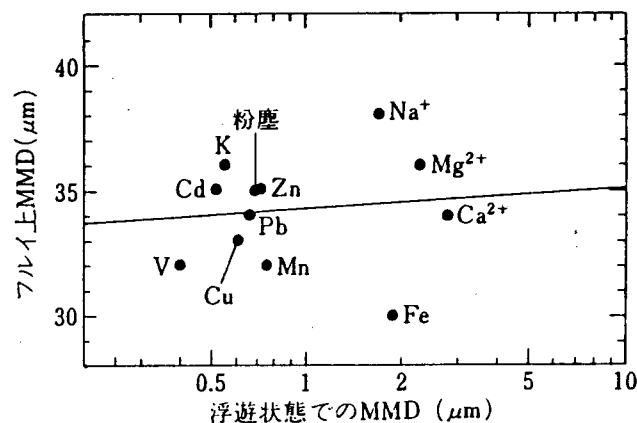


図４－９ 浮遊状態でのMMDとフルイ上MMDの関係
(研究所)

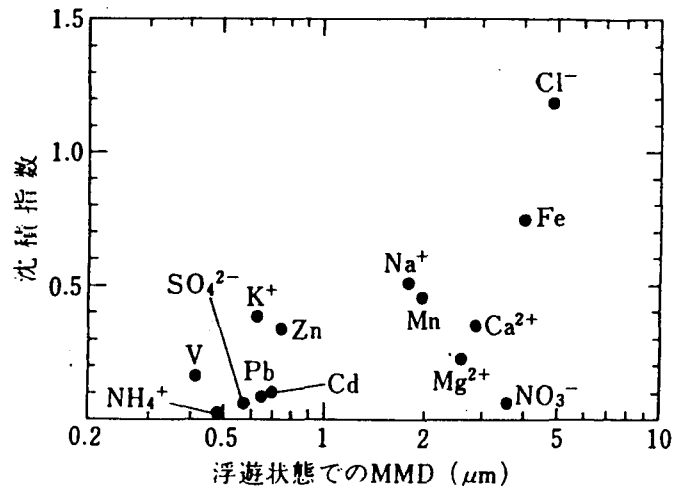


図 4-10 浮遊状態での MMD と沈積指数との関係 (M 宅)

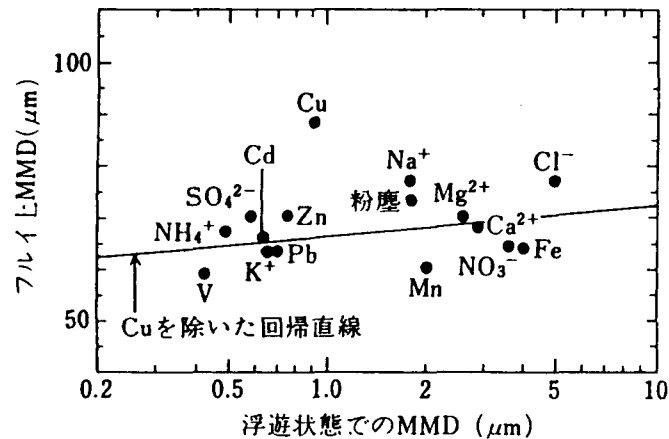


図 4-11 浮遊状態での MMD とフルイ上 MMD の関係 (M 宅)

4-11に示す。研究所の場合と同様、相関は低い。直線から大きく逸脱したCuを除いても、相関係数は0.345である。研究所での沈積塵の場合と同様、掃除機で捕集する段階や、フルイにかける段階での粉塵の破碎や凝縮が生じていることなどが原因と考えられる。

4. 4. 3. 研究所と住宅での沈積塵の比較

住宅の沈積塵は、研究所のファンコイルユニット上の沈積塵と異なり、生活行為によって落下してくる粉塵も多く含まれると思われる。ここでは、研究所の沈積塵としてファンコイルユニット上No.1-8平均値、住宅の掃除機捕集粉塵として1年間平均値を用いて、両者の比較を行った。

(1) 研究所と住宅での沈積指数の比較

研究所での沈積塵中金属、イオンの沈積指数と住宅での掃除機捕集粉塵中金属、イオンの沈積指数を比較すると(表4-21)、ほとんどの金属やイオンにおいて前者に

比較して後者の方が小さい。前者に対する後者の比でいうと、Cd0.26、Pb0.25であり、この比が低いものほど住宅での発生が少ないことを意味している。食べ物のカスなどに多く含まれており、住宅で発生すると考えられる Na^+ 、 K^+ などはこの比が高くなり、それぞれ1.09、1.19である。Cuはなんらかの汚染によると思われるが、その比が特に高く、逆に Ca^{2+} はその比が特に低い。

(2) 研究所と住宅での沈積塵中金属、イオンのフルイ上MMD

研究所での沈積塵、金属、イオンのフルイ上MMD（表4-10）と住宅での掃除機捕集粉塵、金属、イオンのフルイ上MMD（表4-18、表4-19）とを比較すると、住宅での掃除機捕集粉塵、金属、イオンの方が2倍ほど大きい。粒子状粉塵、金属、イオンの粒径分布を求めるのに、研究所での沈積塵と住宅での掃除機捕集粉塵で若干異なるが、研究所での沈積塵（ファンコイルユニット上）においてフルイNo.100以上の占める割合が少ないことから（図4-4）、住宅でのフルイ上MMDは研究所でのそれより明らかに大きいと思われる。その原因として、掃除機では $2\mu\text{m}$ 以下の粒子の捕集が難しいこと、住宅では、浮遊粒子以外の大きな沈積物が多いことなどがあげられる。

図4-9、図4-11から、V、Mn、Feなどは研究所および住宅の場合ともフルイ上MMDは小さく、 Na^+ は大きい傾向にある。

4. 5. 本章のまとめ

研究所における沈積塵および住宅における掃除機捕集粉塵について検討し、浮遊塵と沈積塵の関係を調べて以下のことが明らかになった。

(1) 当研究所のファンコイルユニット上の沈積塵量は、 $5.01\text{g}/\text{m}^2$ であり、そのうち繊維状粉塵の割合は16.6%であった。

(2) 高さ別沈積塵量は下ほど多く、またフルイ上MMDは下ほど大きかったが、繊維状粉塵の割合は高さによる差はなかった。

(3) 付着塵のうち、外気取入れ口、吹き出し口には繊維状粉塵は含まれておらず、吸い込み口のみ含まれていた。

(4) 住宅における1年間での掃除機捕集粉塵については、繊維状粉塵303.6g、大型粉塵75.5g、粒子状粉塵142.5gであった。季節変動としては窓を閉め切ることの多い冬期に粒子状粉塵は少なく、春や秋の中間期に多かった。また繊維状粉塵は、冬に多く夏に少なく、着衣量に関連していると思われる。

(5) 各フルイナンバー別粉塵中金属、イオン量において、小粒径に多いのはFe、Mnなどであり、大粒径において多いのは Na^+ であった。

(6) 沈積塵中あるいは掃除機捕集粉塵中金属、イオン量から求めた沈積指数あるいは

は沈積速度は、それらの浮遊状態でのMMDと正の相関であった。

(7) 沈積塵中あるいは掃除機捕集粉塵中金属、イオンのフルイ上MMDとそれらの浮遊状態でのMMDとの相関は低かった。

第4章の参考文献

- 1) J.D.Sinclair and L.A.Psota-Kelty:Indoor/Outdoor Concentrations and Indoor Surface Accumulations of Ionic Substances ,Atmospheric Environment,19(2),315-323(1985)
- 2) J.D.Sinclair and L.A.Psota-Kelty:Indoor/Outdoor Ratios and surface Accumulations of ionic substances at Newark,New Jersey,Atmospheric Environment,22(3),461-469(1988)
- 3) 宮崎竹二：ごみの種類とその影響 住まいと電化 4(4) 42-45(1992)
- 4) 宮崎竹二、檜崎正也：ファンコイルユニットの上にたまった沈積塵について言えること、D C ジャーナル第7巻第39号日本ダストコントロール協会（1990）
- 5)K.W.Nicholson:A Review of Particle Resuspension Atmospheric Environment 22(12) 2639-2651(1988)
- 6)辻本光代、丸谷裕二、中根芳一：堆積塵の歩行による再発塵量の検討 大阪市立大学生生活科学部紀要 第23巻101-108(1975)
- 7) 高橋幹二：基礎エアロゾル工学、p.20、養賢堂(1972)

総括

室内外大気環境における粉塵および粉塵中金属の性状を知ることにより、室内外でのそれらの関係を粒径との関連で把握し、室内外環境における粉塵対策の資料とするために本研究を行った。各章において得られた結論は以下の通りである。

第1章においては、大阪市におけるモニタリングステーションでの測定結果より、①粉塵濃度の経年変化はC、Fとも減少傾向にあったが、最近3年間では横ばいであり、粉塵のMMDの経年変化は最近4年間では約 $2\mu\text{m}$ と小さくなったこと、②粉塵濃度の季節変化については、Cは4、5月に高く、Fは11、12月に高く、Tとしては4、5月と11、12月に高いこと、③粉塵の粒径分布は、年間平均では約 $2\mu\text{m}$ を境に、約 $1\mu\text{m}$ のピークと $5\mu\text{m}$ のピークをもつ2山型の分布を示しており、4、5月平均では約 $5\mu\text{m}$ のピークが高いが、11、12月平均では約 $1\mu\text{m}$ のピークと約 $5\mu\text{m}$ のピークの両方が高いこと、④金属、水溶性イオンの粒径分布を2山型、1山型（CとFの2種類）に分類すると、Mn、Cu、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} は2山型、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、Feは1山型C、 K^+ 、V、Zn、Cd、Pb、 NH_4^+ は1山型Fに分類されること、⑤金属、水溶性イオンのMMDの季節変化は、 Ca^{2+} 、Zn、Vなどの1山型の粒径分布を示す金属や水溶性イオンについてはMMDの季節による差は見られないが、Mn、 Cl^- 、 NO_3^- などの2山型の分布を示す金属や水溶性イオンについてはCとFの割合に応じて、MMDは大きく変化すること、⑥水溶性イオンのうち塩素イオン-Fおよび硝酸イオン-Fと気温との相関は負であり、塩素イオン-Fは 15°C 以上では、硝酸イオン-Fは 20°C 以上ではほとんど生成されないこと、⑦4、5月の粉塵の高濃度は土壌粒子の寄与が大きく、11、12月の高濃度は気温差などの気象要素による他、塩素イオン-F、硝酸イオン-Fの寄与が大きいことなどが明らかになった。

第2章においては、発生源がほとんどないと考えられる、吹き出し口を塞いだ部屋および自然換気の住宅で、室内外の粉塵および金属、イオン濃度とそれらの粒径分布の測定を行い、①外気粉塵濃度が高くなれば、I/O比が減少すること、その時窓を開ければその比が大きくなること、②外気の粉塵や金属のMMDとI/O比とが強い逆相関の関係にあること、その比は窓を開放することによって大きくなること、③MMD_iとMMD_oの間に強い正の相関があること、④換気量とI/O比との関係で言えば、外部風速が強くなるほど換気量を増加させるが、同時に外気粉塵濃度を低下させるため、換気量とI/O比の関係は明確でないことなどが明らかになった。またその結果は、住宅での測定結果からも裏付けられた。

第3章においては、空調された事務室において浮遊粉塵、金属、イオン、O₃濃度などの実測を行い、①床面積あたり喫煙者数と浮遊粉塵濃度との間には相関がみられたこと、②外気濃度と室内濃度との相関は低く、外気濃度に関係なく室内濃度が決定されること、③外気における粉塵、金属、イオンのMMDの対数とそれらの室内外比との間には、喫煙によって発生する粉塵、K⁺、Cd、Cl⁻、NO₃⁻以外については高い負の相関が得られたこと、④事務室における粉塵、金属、イオン、O₃濃度から、外気、喫煙、土壌による寄与を見積ることが可能であることが明らかになった。

第4章においては、研究所における沈積塵および住宅における掃除機捕集粉塵について検討し、①研究所のファンコイルユニット上の沈積塵量は、5.01g/m²であり、そのうち繊維状粉塵の割合は16.6%であったこと、②付着塵のうち、外気取入れ口、吹き出し口には繊維状粉塵は含まれておらず、吸い込み口のみ含まれていたこと、③住宅における1年間での掃除機捕集粉塵については、繊維状粉塵303.6g、大型粉塵75.5g、粒子状粉塵142.5gであり、季節変動としては窓を閉め切ることの多い冬期に粒子状粉塵は少なく、春や秋の中間期に多かったこと、④沈積塵中あるいは掃除機捕集粉塵中金属、イオン量から求めた沈積指数あるいは沈積速度は、それらの浮遊状態でのMMDと正の相関であったこと、⑤沈積塵中あるいは掃除機捕集粉塵中金属、イオンのフルイ上MMDとそれらの浮遊状態でのMMDとの相関は低かったことなどが明らかになった。

全体を通して得られたことを整理すると、外気における粉塵、金属の粒径などの性状およびそれらと気象要素との関係を把握できたこと、第2、3章における今回測定した住宅、事務室についてのI/O比などは、絶対値としては換気量、エアフィルターの性能、室内での発生量などの点で他の居室では異なってくると考えられるが、外気濃度に対するI/O比、金属などの粒径とI/O比の関係などの傾向としては他の居室でも今回の結果と同様と思われ、今回の結果が外気濃度から室内での粉塵濃度を予測するための基礎資料となり得ることができたことである。

また、外気や室内での粉塵発生源の寄与を評価する方法を確立することは、外気にあっても、行政的対策のためにぜひとも必要であり、室内にあっても、喫煙の影響を知ることにより、禁煙なり分煙なりの対策が必要かどうかを決定するための方法として求められている。

今後の課題

外気の粉塵については、本論で述べたように、大気の粉塵濃度が高くなる原因として、土壌粒子、二次粒子、気象要素があげられるが、今後の課題として二次粒子、土壌粒子の寄与の解明が必要である。特に、二次粒子の生成過程の解明、本論では粗大粒子中のマンガンを指標にして土壌の寄与を評価したが、アルミニウムを分析しての土壌寄与濃度の評価が求められている。

室内粉塵濃度が形成される過程を、自然換気の場合と空調のある場合に分けて検討したが、今回は、自然換気の部屋では発生源がない場合について、空調ビルでは喫煙による粉塵の発生がある場合について検討したが、それ以外の場合については検討されておらず、今後の課題である。また検討した場合でも例数は少なく、自然換気の部屋、空調ビルいずれの場合でもデータの蓄積が必要である。

さらに、本論でも、事務室内での金属などの測定データから粉塵発生源の寄与を評価したが、より正確な発生源データ、より指標として適当な金属やイオンなどの成分を用いて、より精度のある評価が必要である。

今回得たような室内外の粉塵濃度の関係を蓄積していくことは、建築計画的、設備計画的な観点に立てば、外気の汚染されている所での換気計画、例えば自然換気の住宅の場合、窓による換気により室内濃度はどの程度上昇するか、どの程度の外気の汚染状態なら、空気清浄器が必要かを定める基礎資料となり得るし、空調ビルにあっては、外気の汚染状態、室内での喫煙による粉塵発生量からどの程度の性能のエアフィルターが必要か、またその交換期間はどの程度がいいかを定める基礎資料になるであろう。

本研究に関連した発表論文

論文

- (1) 宮崎竹二、榎崎正也：自然換気の室内における粉塵および金属の性状、日本建築学会計画系論文報告集 第432号、35-44(1992)
- (2) 宮崎竹二、榎崎正也：空調室内における浮遊粉塵、金属、イオンなどの性状、日本建築学会計画系論文報告集 (投稿予定)
- (3) 宮崎竹二、榎崎正也：外気における浮遊粉塵および金属の性状－大阪市の場合－、日本建築学会計画系論文報告集 (投稿予定)
- (4) 宮崎竹二：各種建築材料のNO_xの吸着性状について、日本建築学会論文報告集 第333号、pp. 92-100(1983)
- (5) 宮崎竹二、山岡茂夫、岡三知夫：大阪市内浮遊粉じんおよび金属の粒径分布 大阪市立環境科学研究所報告調査・研究年報 第44集 p.19-23, 1981
- (6) 宮崎竹二、神浦俊一、藁科宗博、山岡茂夫、森田茂：粉じんの高濃度日を形成する要因について 大阪市立環境科学研究所報告調査・研究年報 第50集 p.27-37, 1988
- (7) 宮崎竹二、山岡茂夫、芳倉太郎、中土井隆：某事務所ビルにおける空気汚染実態調査 大阪市立環境科学研究所報告調査・研究年報 第53集 p.79-87, 1991
- (8) 宮崎竹二：室内での沈積塵について 大阪市立環境科学研究所報告調査・研究年報 第54集 p.9-21, 1992
- (9) T.Miyazaki and S.Yamaoka: Meteorological Factors Causing High Dust Concentration, Energy and Building, 15-16, 691-698(1990/1991)

国際シンポジウム

- (1) T.Miyazaki: Adsorption characteristics of NO_x by several Kinds of Interior Materials, Proceedings for the Third International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Vol. 4, pp103-110, 1984
- (2) T.Miyazaki and S.Yamaoka: Meteorological Factors Causing High Dust Concentration, Proceedings for IFHP/CIB/WMO/IGU International Conference on Urban Climate, Planning and Building, p.87, 1989

口頭発表

- (1) 宮崎竹二、榎崎正也：室内環境における粉塵および金属濃度 その1 外気由来の粉塵および金属濃度とそれらの粒径分布、日本建築学会大会講演梗概集、昭和62

年10月 pp.1201-1202

(2) 宮崎竹二、楢崎正也：室内環境における粉塵および金属濃度 その2 換気と粉塵および金属濃度 日本建築学会大会講演梗概集、昭和63年10月 pp.797-798

(3) 宮崎竹二、楢崎正也：室内環境における粉塵および金属濃度 その3 事務室および住宅における実測例 日本建築学会大会講演梗概集、pp.647-648,1989

(4) 宮崎竹二、楢崎正也：室内環境における粉塵および金属濃度 その4 研究所における沈積塵について 日本建築学会大会講演梗概集、pp.637-638,1989

(5) 宮崎竹二、楢崎正也：室内環境における粉塵および金属濃度 その5 粉塵発生源の寄与の評価 日本建築学会大会講演梗概集、pp.651-652,1991

(6) 宮崎竹二、楢崎正也：外気における浮遊粉塵および金属等の粒径分布－大阪市の場合－ 日本建築学会大会講演梗概集、(投稿中)

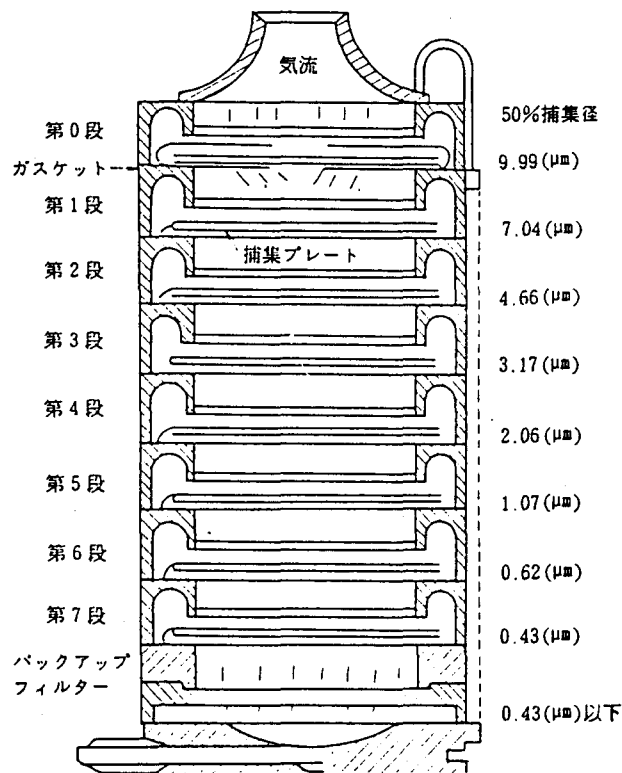
(7) 宮崎竹二、山岡茂夫、藁科宗博、森義明、中土井隆、楢崎正也：事務所ビルにおける空気汚染実態調査、第19回建築物環境衛生管理技術研究集会 p.32-33,1991

付録 (Appendix)

1. 測定器の説明

(1) アンダーセンエアサンプラー¹⁾

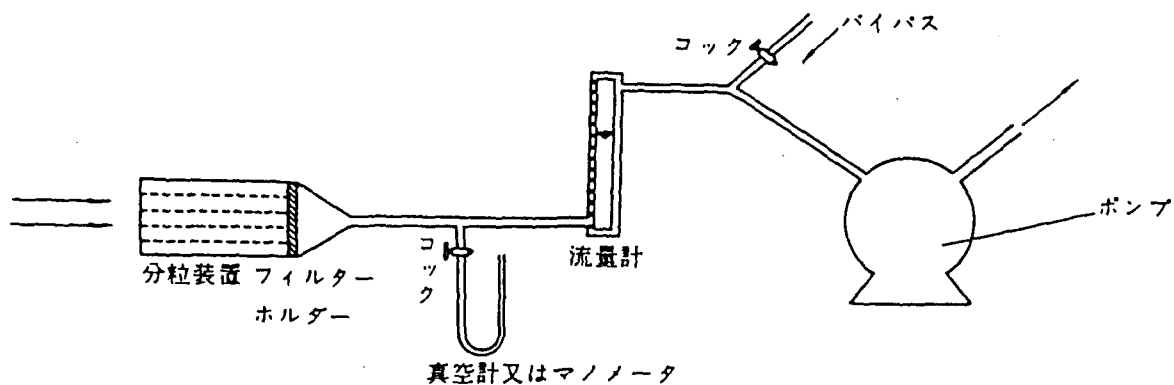
環境大気中に浮遊する粉塵の粒径別組成分析用試料を捕集するのに、用いられる測定器である。本体の構造は付図1に示す通りであり、流量計、ポンプと組み合わせて使用する。捕集板上に慣性衝突効果を利用して第0 stage からバックアップフィルターまで全9段に粉塵を分級捕集できる。空気流量は28.3 l/min (1.0 cfm) であり、各ステージの捕集板の上にはろ紙（石英繊維ろ紙）を置く。粒径分布は、分級捕集板上に捕集された粒子状物質の質量を、各分級ステージ毎に秤量して、空気動力学的実効分離径に対する頻度の分布から求めることができる。（後述の「粒径分布の求め方」参照）。



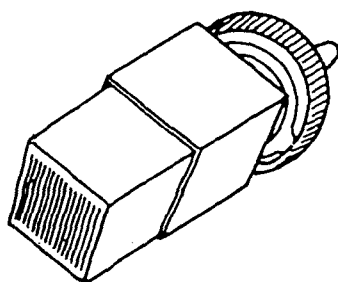
付図1 アンダーセンエアサンプラー

(2) ローボリウムエアサンプラー¹⁾

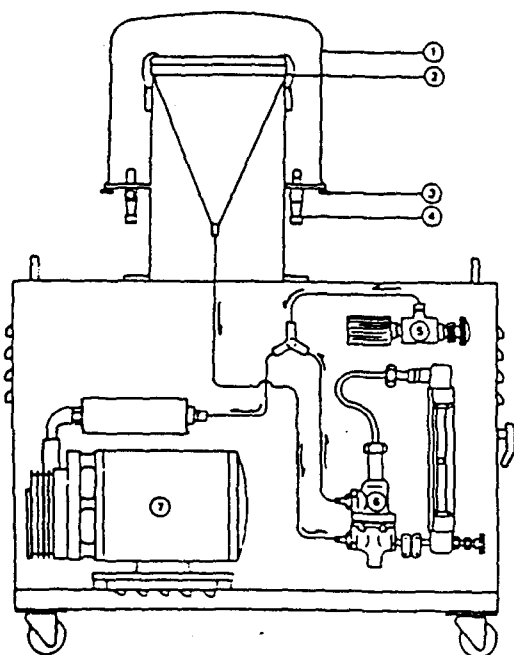
環境大気中に浮遊する粒子状物質のうち粒径が $10\mu\text{m}$ 以下の粉塵を捕集する測定器であり、分粒装置、流量計、ポンプからなり、第3章の事務室内での測定に使用したのは、付図2に示すように、分粒装置に多段型分粒装置（付図3）を用いた。外（屋上）で使用したのは、付図4に示すように、それらが一体となった測定器であり、分粒装置にサイクロンを用いている。空気流量は20 l/minである。



付図2 ローボリウムエアサンプラー
(室内用、分粒装置に多段型分粒装置を用いた)



付図3 多段型分粒装置



- ① トップカバー (ステンレス)
- ② フィルターホルダー、フィルター押え金具(ステンレス)
- ③ トップカバー締付ねじ (5 コプラスチック)
- ④ サイクロン (3コ)
- ⑤ 調整弁及びフィルター (ステンレス)
- ⑥ 定差圧弁 (ステンレス、カバーはアクリル)
- ⑦ ロータリーポンプ (200W)

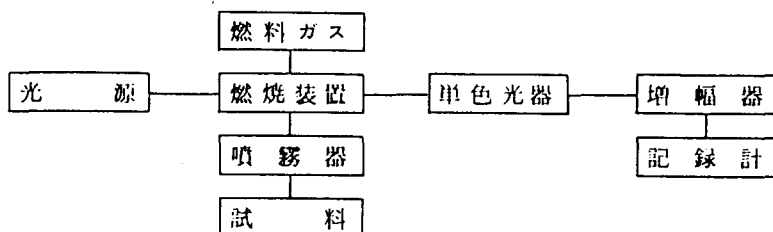
付図4 ローボリウムエアサンプラー
(屋外用、分粒装置にサイクロンを用いている)

2. 分析方法の説明

(1) 原子吸光法¹⁾

原子化された蒸気層に単色光が照射される時、生じた基底状態の原子に特有な波長が吸収される。その吸収の度合いは原子の蒸気密度に比例する。原子吸光法は、この現象を利用して個々の特有波長における吸光度を測定し、試料中の元素濃度を求める分析法である（付図5）。V（バナジウム）はフレイムレスであり、他はフレイムによった。

使用した機器は、島津AA640-12、GFA-4である。

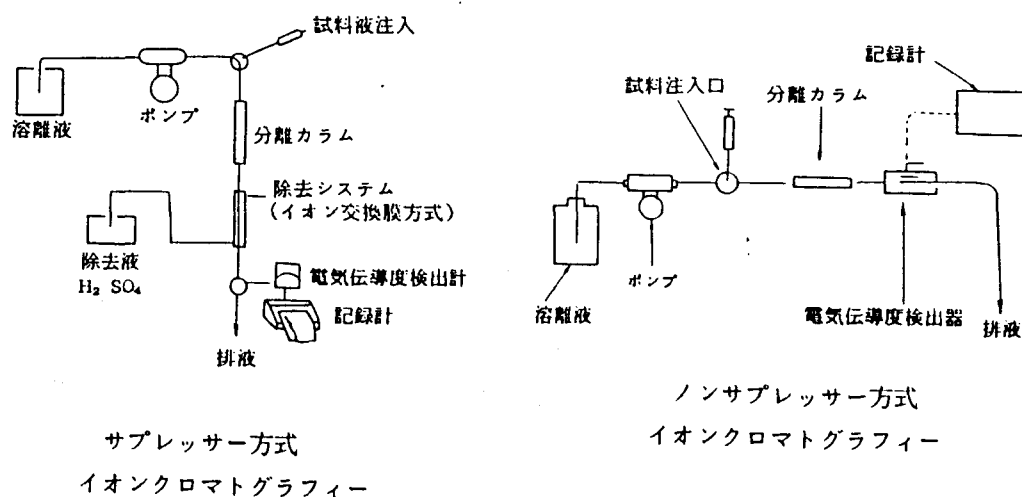


付図5 原子吸光法分析計の構成

(2) イオンクロマトグラフ法¹⁾

溶離液を移動相に、イオン交換体を固定相とし、分離管内で液体試料中のイオン種成分を展開溶離させ、電気伝導度検出器により測定する方法である。装置は、溶離液槽、定流量加圧液送ポンプ、試料導入部、分離カラム、除去システム、電気伝導度検出器及び記録計からなり、付図6に示すように、分離カラムの後に溶離液として用いる酸または塩基性の電解質を除去するための除去システムのあるサプレッサー方式とこの除去システムを必要としないノンサプレッサー方式とがある。

使用した機器は、Water 600E、電気伝導度検出器TOA CONDUCTOMETRIC DETECTOR MODEL ICA-3030である。



付図6 イオンクロマトグラフ法分析計の構成

(3) CHN計

粉塵試料中の炭素成分を検出するための分析計であり、650℃で揮発、熱分解する有機炭素と、950℃でしか揮発、熱分解しない元素状炭素に分けて分析できる。

試料をヘリウム気流 650℃で揮発、熱分解させた後、更にヘリウムと酸素気流 950℃下で酸化分解した物質中の炭素（元素状炭素）を検出する。試料をヘリウム気流 650℃で揮発、熱分解させずに同様に炭素（全炭素）検出する。

使用した機器は、ヤナコCHN CORDER MT-5型である。

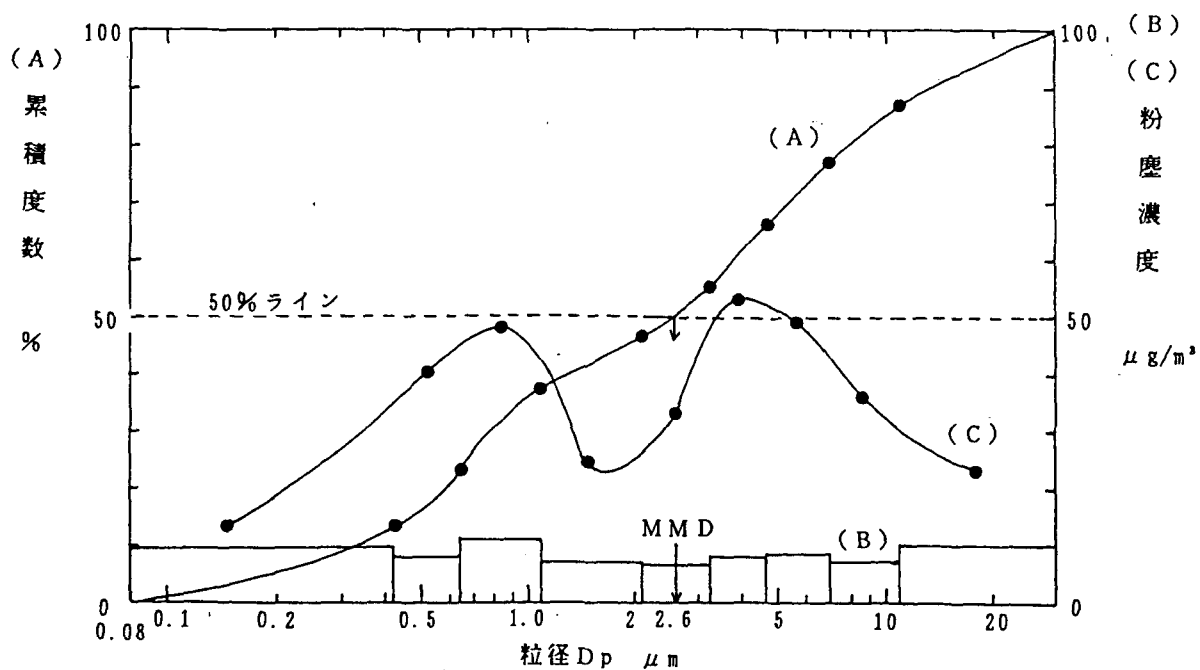
3. 粒径分布の求め方²⁾

アンダーセンエアサンプラーで測定された粉塵の各ステージの粉塵量から粒径分布の求め方を、扇町中学校1976-1991年度平均データ（付表1）を用いて説明する。に示す。

粉塵の粒径の最少を0.08 μm 、最大を30 μm と仮定すると、付図6に示すような累積度数曲線（A）が描け、MMD（50%での粒径）が2.6 μm と求まる。各粒径範囲ごとに濃度を図示すると（B）のような棒グラフになるが、粒径範囲がそれぞれ異なっているので、どの粒径において濃度が高いかを知ることはできない。粒径分布曲線は、累積度数分布曲線を粒径で微分すれば求められるので、近似的に各ステージの境界粒径の中央での粒径（幾何平均径）において、累積度数分布曲線の傾きすなわち $dm/d(\log D_p)$ （付表2）をプロットすれば求められる（図のC）。

付表1 扇町中学校における1976-1991年度平均のアンダーセンエアサンプラーの測定結果

ステージ	粒径 μm	粉塵濃度 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	%	C %
Stage 0	11以上	10.06	13.4	100.0
Stage 1	7-11	7.08	9.5	86.5
Stage 2	4.7-7	8.38	11.2	77.1
Stage 3	3.3-4.7	8.12	10.8	65.9
Stage 4	2.1-3.3	6.50	8.7	55.1
Stage 5	1.1-2.1	6.97	9.3	46.4
Stage 6	0.65-1.1	10.99	14.7	37.1
Stage 7	0.43-0.65	7.22	9.6	22.4
Back up	0.43以下	9.58	12.8	12.8
合計		74.92	100.0	



付図6 粒径分布曲線の描き方

付表2 粒径分布の求め方

ステージ	中央径 μm	d_m $\mu\text{g}/\text{m}^3$	$d(\log D_p)$ μm	$d_m/d(\log D_p)$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Stage 0	18.2	10.06	0.436	23.1
Stage 1	8.8	7.08	0.196	36.1
Stage 2	5.7	8.38	0.173	48.4
Stage 3	3.9	8.12	0.154	53.1
Stage 4	2.6	6.50	0.196	33.0
Stage 5	1.5	6.97	0.281	24.8
Stage 6	0.85	10.99	0.228	48.2
Stage 7	0.53	7.22	0.179	40.1
Back up	0.15	9.58	0.730	13.1

粒径の最少を $0.08\mu\text{m}$ 、最大を $30\mu\text{m}$ と仮定

4. 換気回数の求め方（濃度減衰法）³⁾

室内におけるガス濃度の増減は、次式で表される。

$$C_t = C_o + (1 - e^{-nt}) M / Q + e^{-nt} (C_{t0} - C_o)$$

C_t : t 時間後の室内平均ガス濃度 (m^3/m^3)

C_{t0} : $t=0$ 時の室内平均ガス濃度 (m^3/m^3)

C_o : 外気のガス濃度 (m^3/m^3)

Q : 換気量 (m^3/h)

n : 換気回数 $n = Q / V$ (回/h)

V : 室容積 (m^3)

M : 室内ガス発生量 (m^3/h)

濃度減衰法を用いるので、 $M=0$ とにおいて、

$$e^{-nt} = \frac{C_t - C_o}{C_{t0} - C_o}$$

$t=1-2$ 時間の濃度減衰から、換気回数 n を求めた。

付録の参考文献

- 1) 環境庁大気保全局大気規制課 編集：大気汚染物質測定法指針 p. 59 p. 30 環境公害新聞社1987
- 2) 角脇怜：日本化学会誌 p. 1911, 1977
- 3) 石堂正三郎、檜崎正也：住居環境学 p. 136 化学同人 1969

謝辞

本論文で扱った室内外の粉塵のテーマは、恩師の元大阪市立大学、石堂正三郎先生が昭和30年代になされたテーマの延長であり、それらより示唆を受けたことを明記し、先生に感謝します。

第1章においては、A. S. の調査依頼者である大阪市環境保健局環境部の方々、CHN計の使用につきお世話になった大阪市環境情報センターの方々、ならびに本論文をまとめるにあたり示唆を戴いた当所、中土井隆課長、元当所、山岡茂夫研究主任に感謝します。

また第3章においては、調査対象ビルの関係者の方々ならびに調査に協力戴いた元当所、山岡茂夫研究主任、当所、芳倉太郎、森義明、藁科宗博、稲垣智昭、鈴木康平の諸氏および中土井隆課長に感謝します。

最後に、全般にわたり、ご指導戴いた大阪大学工学部、植崎正也教授に深く感謝いたします。