

住宅における自然換気量及び大気浮遊粉塵濃度の測定

春山 洋一・戸崎 充男・青木 敦・三村 泰一郎*

Measurement of Natural Ventilation and Concentration of Airborne Dust of a Dwelling House

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

We have measured CO₂ concentrations of the neighboring three rooms in a dwelling house simultaneously. The ventilation volumes of these rooms are deduced from the observed changes of CO₂ concentrations. By taking into account the effects of diffusion and flow on a ventilation, the observed changes of CO₂ concentrations are reproduced very well.

At the same time, mass concentrations of airborne dust were also measured inside and outside of the dwelling house. The mass concentration ratio of airborne dust inside of the dwelling house to outside was ranging from 0.3 to 0.4, which agreed very well with our previous measurements. It was found that mass concentration of windward room was higher than that of downwind one. Such difference is interpreted qualitatively by the deduced air flow from the ventilation measurement.

(Received Aug. 10. 1990)

緒 言

住宅に於ける換気量は冷暖房時の熱損失や結露問題、汚染物質の屋内伝搬を考える際に重要な要因となることから、今迄にも幾つかの測定例が報告されている¹⁻⁵⁾。換気量は何らかのトレーサガスを用いて、その濃度変化もしくは定常状態濃度から求めることができる。榑崎等は¹⁾定常状態濃度を用いた場合と非定常状態濃度を用いた場合に求められる換気量の誤差について報告している。また、住宅が多数室の場合には測定精度が落ちることから、荒谷等は²⁻³⁾複数のトレーサガスを使う方法を提案している。柴田等は⁴⁻⁵⁾開口

部面積のよく定義された2部屋の実験住宅を用いて非定常状態濃度から換気量を求めた。同時に彼らは、温度、風速等の気象要素を測定し理論値との比較を行なっているが、2部屋の場合は理論値との一致は単室に比べると不十分であると述べている。

著者等は、これまで住宅内外の浮遊粉塵濃度の測定から住宅のもつ大気浮遊粉塵に対する遮断・調整機能について報告してきた⁶⁻⁸⁾。これらの報告で、住宅に於ける自然換気量が住宅内浮遊粉塵濃度及び粉塵の挙動に大きな影響を与えていることを指摘してきた。前報⁹⁾ではこれまで粉塵濃度測定に用いてきた住宅の自

生活科学部応用物理学講座

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

*生活科学部住居環境学講座

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

然換気量を測定し報告した。この中で、炭酸ガスをトレーサとして使う際に圧力変動を伴わない炭酸ガス源を開発し、また、濃度測定を高速化する事で濃度減少の詳細を知ることができた。

本報では、前報の測定を更に拡張し、3部屋での炭酸ガス濃度の同時測定から、複雑な部屋構成をもつ通常の住宅について自然換気量の測定を行い、同時に住宅内外の浮遊粉塵濃度を測定したので報告する。

測 定

換気量の測定方法は既に前報に詳しく報告してあるので、以下概要のみ述べる。自然換気は風や温度差によって生じると考えられる。それらの要因で生じる換気は風圧係数や温度分布、各部屋の実効開口面積が分かればある程度は評価が可能である。しかし、実際に使われている個人住宅では隣接する住宅により風向や風速は局所的に変化する。また、実効開口面積は連続的に分布する事からそれらの量を正確に知る事は極めて難しい。従って、実際上は、考えている系に含まれる全ての部屋で同時にトレーサガスの濃度を測定して、そこから換気量を推定することが必要である。また、この際に温度分布や風向・風速を同時に測定すれば先に述べた実効開口面積を評価する事が可能になる。

実験住宅は前報⁹⁾と同じ京都市北区の個人住宅の二階部分を使用した。図1に実験住宅二階の平面図と測定装置の配置状態を示す。換気量測定に用いたのは図中に北室、南室として示された西側の二部屋とこれら天井裏部分である。この住宅は前報以降に南室が改築されたため、構造上の若干の変更がなされた。改築によって、床面積が若干広くなり、南向きの窓部分がアルミサッシに変更され、天井部分が張り替えられた。この結果、この部屋の気密性は大分向上したと考えられる。

今回の測定では事前の測定から風配を考慮して、北室に炭酸ガス源を置いた。今回の測定では、80ℓの炭酸ガスを風船法で放出した。炭酸ガスの放出法及び濃度測定の詳細は前報⁹⁾を参照されたい。計測器と解析上の都合で炭酸ガスの濃度変化は北室、南室及び天井裏の3室で同時に測った。濃度測定には赤外線炭酸ガス測定器(kanomax:model-2312)を用いた。このような同時測定の場合には、個々の測定器の指示値及び精度が一致していることが必要である。使用した測定器は個々の校正後に相互に指示値にばらつきが見られたため、同一濃度のガスに対する指示値をもとに相互に校正をして用いた。

上述したように、換気量は風速、風向及び温度の関数になることからこれらのデータを同時に測定する必要がある。風速・風向は熱線風速計(Kanomax:ア

ネモマスター6071)及び16方位風向計(自作)を用いて10秒間隔で自動測定した。外気温(北,南)及び室温(北室:3点,南室:2点,天井裏:1点)は多点式デジタル温度記録計(横河 type3874)を用いて5分間隔で観測した。また、参考のため湿度を北室外,北室,南室に自記温湿度計を置いて観測した。

粉塵試料は北室外,北室,南室にローボリュームエアサンプラーを置き、約3日間16ℓ/minの流量で空気を吸引しミリポアフィルター上に採取した。この期間についても風速・風向及び気温データは上に述べた方法で観測、記録した。

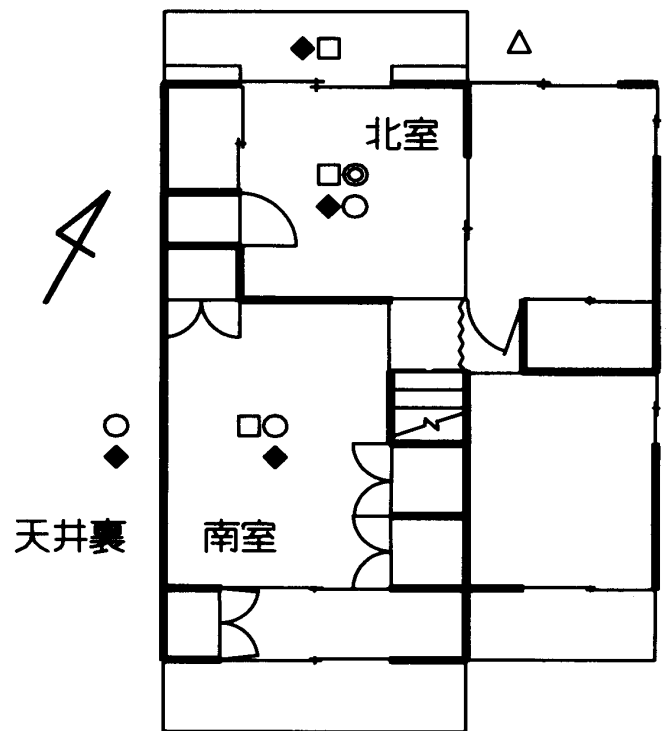


図1 実験住宅2階平面図(京都市北区)

- ◎ 炭酸ガス供給源
- 赤外線炭酸ガス測定器
- ◆ 温度計
- △ 自動風向・風速計
- ローボリューム・エアサンプラー

結 果

換気量と大気浮遊粉塵濃度の測定は、1990年5月9日から12日までの4日間行なった。換気量測定は粉塵測定をはさむように測定期間の前後に2回行なっている。どちらも同じ様な風配であったためここでは後半の測定についてのみ報告する。後半の測定は粉塵測定の直後の5月12日17時から翌朝の8時まで行なった。

この期間の風配図を図2に示す。風のデータは10秒毎にサンプリングされたものを先ず1分間の平均データにまとめた上で風配図とした。この図から容易に分かるように風は静穏が54%と過半数を占め、平均風速も0.5m/s程度の穏やかな気象状態であった。また、風向は北西から西南西の風が卓越していた。これらのことから換気に対する風の影響は少ないことが期待される。

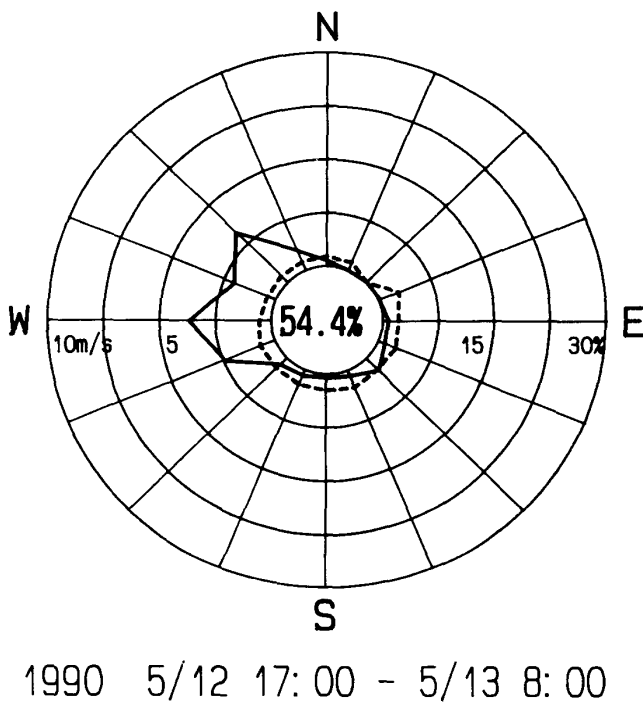


図2 換気量測定時の風配

実線：風向頻度（%），破線：風速（m/s）

測定期間中の温度を図3に示す。室内の温度は高さを変えて複数点測定しているがこの図では床上1mの点での温度を代表として記した。測定開始後10時間（午前6時頃）迄は、室内室外ともに気温は減少傾向にあり、天井での温度変化はやや大きいものの、内外温度差に大きな変化がない。このことから、この期間での温度差による換気量は各部屋毎に大体一定として解析しても良いことがわかる。

各部屋で測定した炭酸ガス濃度の変化を図4に示す（黒丸、白丸、四角はそれぞれ北室、南室、天井裏を表す）。上述したように、気温のデータから濃度変化の解析対象区間は放出直後からの10時間とし、5分毎の濃度を用いた。北室での濃度は比較的単調に減少しているが、この変化は、既に前報で報告したように単純な指数関数では再現できず、複数の部屋相互の換気の影響を示唆している。また、南室濃度はいったん上

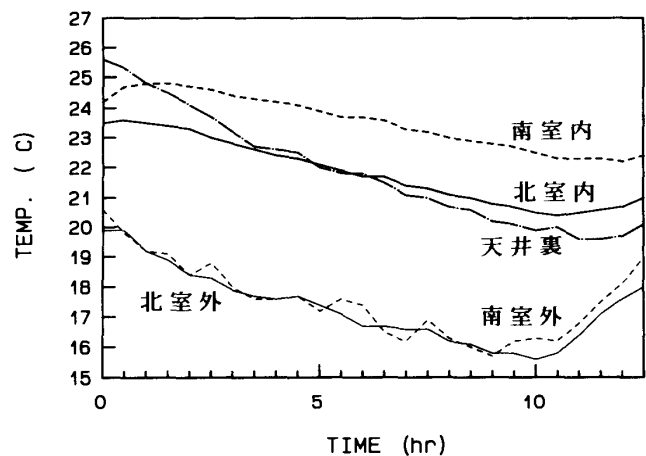


図3 換気量測定時の温度変化

昇し、北室と同濃度になった後減少に転じている。この変化から、北、南両室での相互換気が外気との換気に比べて大きいことが分かる。一方天井裏での濃度は北室での放出直後に急激に上昇しすぐに減少している。これは、天井部は換気のための通風口があるために、外気との換気量が大きくなっていることを示唆している。

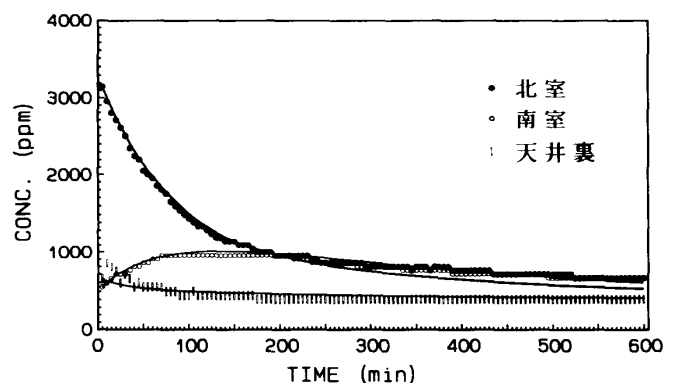


図4 炭酸ガス濃度変化

測定値 黒丸：北室 白丸：南室 四角：天井裏
実線は計算値

北室、南室は空間的に比較的良く定義されているが、この住宅の天井裏部分は実質屋根裏部屋的な構造となっており、また、当然天井の広さは二階全体にわたっており明確な境界がない。この部屋への室内からの換気が外気の換気に比べて量的に大きいと東側の部屋の寄与が無視できなくなり、3部屋のモデルの妥当性が失われる。これを確かめるために、天井裏で炭酸ガスを放出しその濃度分布を調べた。この結果、高さ方向に濃度分布が見られ天井面から45cmの所ではほぼ外気

レベルの濃度であること、また、その広がり北室、南室の上に制限されており、東側の部屋は考慮しなくてもよいことが分かった。これより、天井部の実効容量は実容積の約1/4程度であると推定される。また、天井の“境界”付近の濃度と風速とは極めて強い相関が見られ、天井裏のように通気孔がある構造では微風にも拘らず風力換気が大きな影響を与えていることが分かった。

大気浮遊粉塵のサンプリングは北室外、北室、南室の3カ所で同時に5月9日から12日までの約70時間、ローボリュームエアサンプラーを用い孔径1.2μmのミリポアフィルター上に捕集した。サンプリング期間中の風配図を図5に示す。

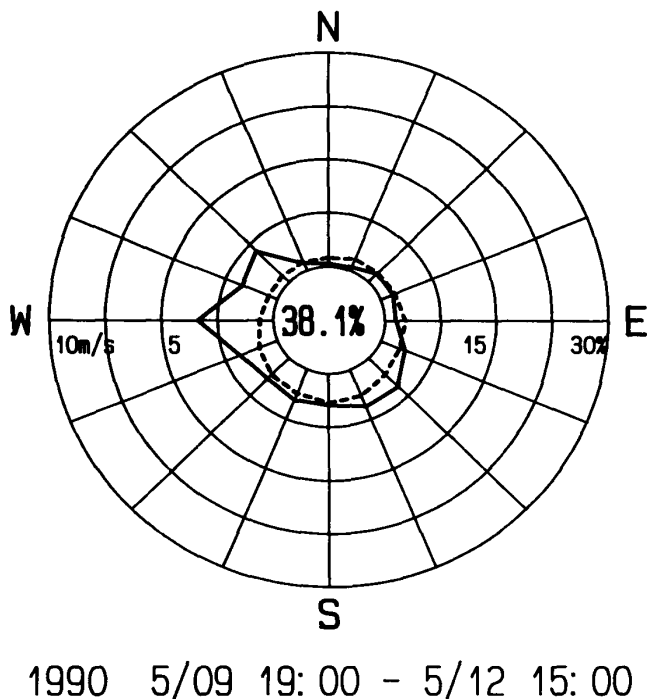


図5 粉塵測定時の風配

実線：風向頻度(%)，破線：風速(m/s)

平均風速や主要な風向は換気量測定時と余り変わっていないことが分かる。粉塵量は採取前と後のミリポアフィルターの重量をセミマイクロ天秤を用いて秤量し求めた。測定された粉塵質量濃度の結果を表1に示す。誤差は主に秤量によるものである。屋外(北室外)に対する室内濃度はいずれも低く住宅の粉塵に対する調整・遮断機能を示している。参考のために従来の測定データを表2に示す。粉塵濃度の絶対値は季節によって変動するが、室内濃度と室外濃度の比は多少ばらつきはあるものの大体0.5の付近の値となっており良い一致を示している。今回のデータで注目すべきは南室

が北室よりも粉塵濃度が誤差の範囲を越えて有意に低い事である。このような事は風向との関係で隣室がバッファ空間として作用する結果起こり得る事を筆者らは従来から指摘してきたが、今回初めて直接的に観測する事ができた。

表1 浮遊粉塵濃度(質量濃度)

測定場所	質量濃度 (mg/m³)	濃度比
北部屋	0.0314	0.406
南部屋	0.0235	0.304
屋外	0.0774	1.0

測定期間 90年5月 9-12日 (4155min)
流 量 ~65m³

表2 住宅内外における大気浮遊粉塵濃度の季節変化

測定期間	屋内	屋外	濃度比
1987:2/26:12 ~ 3/ 1:12	0.013	0.021	0.62
1987:4/19: 9 ~ 4/22: 9	0.029	0.064	0.45
1987:5/15:22 ~ 5/18:16	0.012	0.025	0.48

京都市北区 単位：mg/m³

考 察

各部屋での炭酸ガス濃度の変化は炭酸ガス源がない場合には既報⁹⁾で述べたように連立常微分方程式で表される。i番目の部屋の容積をV_i、炭酸ガス濃度をX_iとし、部屋iから部屋jへの換気量Q_{ij}とすると、X_iの変化は

$$V_i (dx_i/dt) = -\sum_{j \neq i} Q_{ij} X_i + \sum_{j \neq i} Q_{ji} X_j = \sum_j Q_{ji} X_j$$

で与えられる。但し、ここで、Q_{ji} = -∑Q_{ij}とした。2部屋の場合にはこれは簡単に積分できて、濃度は二つの指数成分とバックグラウンド成分の和として与えられる。前報⁹⁾ではこれと観測データの最小自乗フィティングから換気量を推定を行なったが、3部屋の以上の系では指数のべき成分と換気量との関係が複雑になり上式を直接解く利点は失われる。そこで今回は、上の式を適当な初期条件の下に数値積分を実行して、観測データとの比較を行なった。但し、南室と外気との間の換気は他と比較して十分小さいという仮定の下にこれを無視した。また、各部屋の容積は実容積を用いて計算しておりその値は南室40.2m³、北室21.7m³、天井裏38.2m³である。

得られた換気量から計算された濃度変化を図3に示

す。天井裏での一致があまり良くないが全体的な傾向は極めてよく再現されている。天井裏での一致の悪さは先に述べた天井部の複雑な構造と実効容積の減少によると考えられる。

このような複雑な系では換気量や換気率は先に述べたように各部屋間で定義されるが、ここで注意する必要があるのは各部屋間の換気には循環する成分が含まれている事である。このことを見やすくするために図6に換気時の空気の動きを示した。この図から明らかなように、換気は流れの成分と拡散の成分の二つで表される。流れの成分は北外から北室を通り、天井と南室に分岐して流れている。従って、住宅内の粉塵が主に外からもたらされるとすると、外より北室が粉塵濃度が低く、さらに南室が低いという結果は定性的に理解できる。

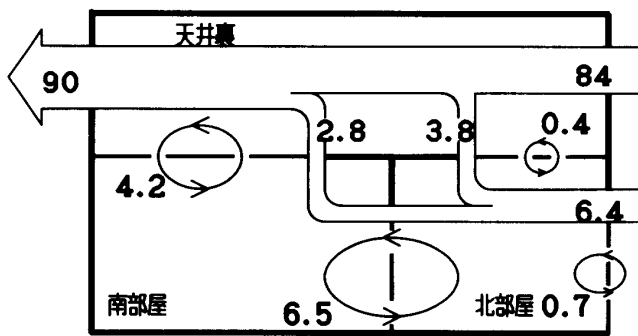


図6 換気に伴う空気の動き
数量は換気量 (m^3/h)

要 約

炭酸ガストレーサを用いて、その濃度変化を3部屋同時に測定することによって部屋相互の換気量を含めた換気量を測定した。観測された濃度変化は流れと拡散を含む換気モデルで良く再現された。同時に採取した大気浮遊粉塵の室内質量濃度は室外に比べて0.3から0.4程度で、従来の測定とよく一致した。また、風上の部屋の濃度は風下の部屋の濃度より高いという結果を得た。これは、換気量から得られる空気の流れから定性的にはよく理解できる。

文 献

- 1) 榑崎正也, 松井清史 日本建築学会大会学術講演梗概集 309 (1972)
- 2) 荒谷登, 斉藤純司 日本建築学会大会学術講演梗概集 307 (1972)
- 3) 荒谷登, 斉藤純司 日本建築学会大会学術講演梗概集 233 (1973)
- 4) 柴田克彦, 斉藤平蔵 日本建築学会大会学術講演梗概集 439 (1983)
- 5) 柴田克彦, 斉藤平蔵 日本建築学会大会学術講演梗概集 305 (1984)
- 6) 青木敦, 春山洋一, 三村泰一郎 京府大学報 (理学・生活科学) 37, 79 (1986)
- 7) 青木敦, 春山洋一, 三村泰一郎 京府大学報 (理学・生活科学) 38, 73 (1987)
- 8) 青木敦, 春山洋一, 戸崎充男, 三村泰一郎 京府大学報 (理学・生活科学) 39, 73 (1988)
- 9) 戸崎充男, 青木敦, 春山洋一, 三村泰一郎 京府大学報 (理学・生活科学) 40, 31 (1989)