

平成2年度農林水産省補助事業  
日本住宅・木材技術センター事業

# 住宅部材安全性能向上事業報告書

## 住環境に関する総合調査

平成3年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター



## 目次

まえがき	1
1. 木材と湿気——湿気伝達率、湿気伝導率と透湿量	岡野 健 4
1. 1 実験その1	4
1. 2 実験その2	8
文献	
2. 住環境における換気	鈴木 滋彦 11
2. 1 はじめに	11
2. 2 換気の評価方法	12
2. 2. 1 測定方法	12
2. 2. 2 換気量に影響する因子	13
2. 3 住宅の換気回数の実測例	13
2. 3. 1 外国の二・三の測定事例	13
2. 3. 2 国内の測定事例	14
2. 4 室内空気汚染と換気	16
2. 4. 1 汚染源	16
2. 4. 2 NO <sub>2</sub> 、CO	17
2. 4. 3 ラドン	17
2. 4. 4 ホルムアルデヒド	18
2. 5 おわりに	19
文献	
3. 建材及び住環境内におけるラドン濃度	奥山 剛、渡邊 拓 31
3. 1 はじめに	31
3. 2 木造建造物とRC建造物との比較	32
3. 3 木造住宅におけるラドン発生源	35
3. 4 ラドンシーラントとしての木材	40
3. 5 おわりに	43
4. 室内環境における落下真菌の測定及び同定	川上 日出国 56
4. 1 はじめに	56
4. 2 実験	57

4. 2. 1	使用培地	57
4. 2. 2	空中落下菌の採取方法	57
4. 2. 3	培養条件及び分離株の同定	57
4. 3	結果	58
4. 3. 1	上之保小学校の落下菌菌数	58
4. 3. 2	上之保中学校の落下菌菌数	60
4. 3. 3	理科系大学の落下菌菌数	60
4. 3. 4	文科系大学の落下菌数	61
4. 3. 5	木造一般住宅の菌数	61
4. 3. 6	RC一般住宅の菌数	62
4. 4	住環境のあるべき姿	62
	文献	
5.	木造教室内の炭酸ガス濃度と換気について	73
	服部 芳明	
	橋田 紘洋	
5. 1	はじめに	73
5. 2	炭酸ガスの許容濃度	73
5. 3	方法	75
5. 3. 1	炭酸ガス濃度と温度の測定方法	75
5. 3. 2	換気回数の推定の方法と考え方	76
5. 4	結果および考察	78
5. 4. 1	灯油ストーブによる採暖時のCO <sub>2</sub> 濃度	78
5. 4. 2	ストーブを使用しない時のCO <sub>2</sub> 濃度	79
5. 4. 3	換気回数について	80
5. 4. 4	CO <sub>2</sub> 濃度を0.15%に維持するには	81
5. 5	おわりに	82
	文献	
6.	学校・校舎を構成する建築材料による教室内環境への形成効果について	
	橋田 紘洋	103
	服部 芳明	
6. 1	はじめに	103
6. 1. 1	上之保小学校の概略	104
6. 2	教室の温湿度環境（結果の概要）	105
6. 3	教師へのアンケート調査による学校環境の比較	106
6. 4	考察	109

6. 5 おわりに	.....	114
文献		
7. 住環境教育における木材、木質構造	..... 有馬 孝礼 .....	126
7. 1 地球環境保全におけるCO <sub>2</sub> と木材	.....	126
7. 2 建築物をとりまく環境保全	.....	127
7. 3 木質構造建設に係わる投入資源、エネルギーとCO <sub>2</sub> 排出	.....	129
8. 住環境としての学校	..... 有馬 孝礼 .....	136
8. 1 「木造校舎」は一つの単語	.....	136
8. 2 マウスは生活の空間として木の床を選んだ	.....	137
8. 3 心理、行動に関連する木質環境	.....	138
8. 4 学校建築の維持管理、解体と保存	.....	140
9. 総括	..... 木方 洋二 .....	145



まえがき

昭和63年度から平成2年度にかけての3年間にわたり“住宅部材安全性能向上事業”として“住環境に関する総合調査”が行われた。

初年度の昭和63年度においては、多くの研究者が集り、1)住宅における住環境因子、2)健康に観点を置いた住環境評価指標、3)学校教育に必要とされる校舎内環境について、夫々の項目についての新たな測定に加え、従来の住環境に関する研究の流れを総合的に解析し、今後の住環境向上のための指針を提供することを目的とした調査が行われた。

すなわち、初年度においては

- 1)住宅における住環境因子の調査において、住居の場において木材は十分な通気により平衡含水率に達し、気乾状態を保つこと、を根底においた居住環境に対する種々の実験、測定、提案が行われた。
- 2)健康に観点を置いた住環境評価指標については生物学的因子の検討として、建材、土壌から放出されるラドン濃度の測定方法の開発等が行われた。
- 3)学校教育に必要とされる校舎内環境については、校舎のあり方を自然科学的、社会科学的の両面より検討することが行われた。

以上の討論の中において、今後の重要課題として屋内換気回数を取り上げることの必要性が提案された。換気回数は上記1)～3)全ての測定、調査と根底に

おいてかわりをもつ課題であり、住環境を記述するにあたり、全てに換気回数を表示すべきであるとの認識による提案であった。

このことを受けて、次年度の平成元年度の調査においては、換気回数測定と、それに関連の深いラドン濃度、落下真菌の測定がとり上げられた。また別途住宅材料の接触温度特性と小学校における温湿度環境についての測定が行われた。

この方向は最終年度の平成2年度における調査にも引き継がれて来た。最終年度の報告、すなわち今回の報告においては

- 1) 木材のもつ透湿能の測定、
- 2) 住宅環境における換気のもつ意味、
- 3) 全季節を通じて継続的に行われたラドン濃度測定結果の総まとめ、
- 4) 落下真菌の測定、
- 5) 木造校舎の炭酸ガス濃度と換気の測定

が行われた。そしてこれらの換気回数との関連における夫々の測定は、より実際的な生活の場や教育の場における提言としてまとめられている。最終年度の報告として、よりふさわしいものとなったものと思われる。その他に

6) 学校教育環境に必要とされる校舎環境のまとめとして、学校校舎を構成する建築材料のもつ教室内環境の形成効果

7) 居住環境としての学校校舎の調査、ならびにそれに関連した全国規模でのア



ンケート調査のまとめが行われた。

また8) 住環境における木材・木質構造のもつエネルギー的意味あいを論ずることも行われた。

以上3年間にわたるこの調査では、種々の新しい知見が得られたことに止まらず、より実際的に提言の形にまで測定結果が結びついたことに大きな意義をもつ調査であったと思われる。

また小学校での測定に種々の御配慮を賜った岐阜県上ノ保小学校の関係諸先生方に感謝するものである。

#### 住環境調査委員会 委員名簿 (アイウエオ順)

委員長	木方 洋二	名古屋大学農学部	木材物理学・教授
委員	有馬 孝禮	東京大学農学部	木質材料学・助教授
	岡野 建	東京大学農学部	木材物理学・教授
	奥山 剛	名古屋大学農学部	木材物理学・助教授
	川上 日出国	名古屋大学農学部	林産化学・助教授
	橋田 紘洋	愛知教育大学教育学部	木材加工学・教授
	鈴木 滋彦	静岡大学農学部	改良木材学・助手
	服部 芳明	鹿児島大学農学部	森林資源環境学・助教授
	山本 浩之	名古屋大学農学部	木材物理学・助手

# 1. 木材と湿気——湿気伝達率、湿気伝導率と透湿量

住宅の気密化が進んで自然換気回数が減り、熱効率が高まったが、裏腹に湿気対策がクローズアップされてきた。床下や壁内等の見えないところで湿気によるかびや腐朽が生じ、被害をもたらしているからである。

腐朽に至るまでには、1) 室内から床下や壁内等への湿気の移動、2) そこの結露、3) 結露水の蓄積、というプロセスがあるはずである。湿気の移動は、湿気が隙間を通り抜ける場合と床や内壁を透湿する場合とがある。隙間を通り抜けるのは、施工や構造の問題である。透湿は材料の問題である。そこで、まず木材の透湿を取り上げた。

## 1. 1 実験その1

図1に示した透湿カップを用いて、厚さ約1、6、8、20 mmのスプルス柾目板の透湿量 $Q$ を測った。定常になると $Q$ は時間 $t$ に比例する(図2)。

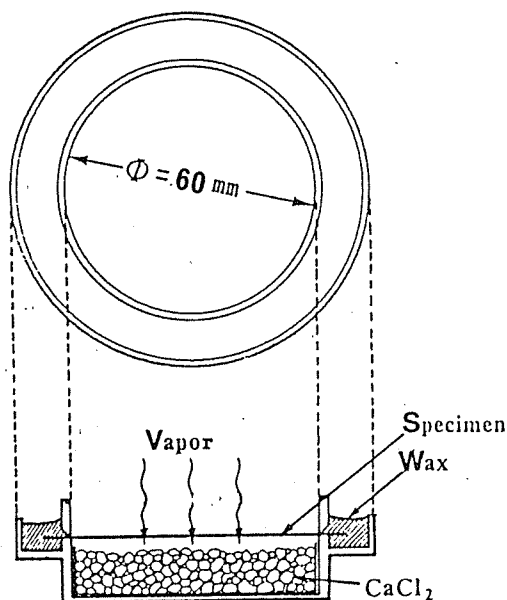


図1 透湿カップと試験片

(Z I S Z - 0 2 0 8)

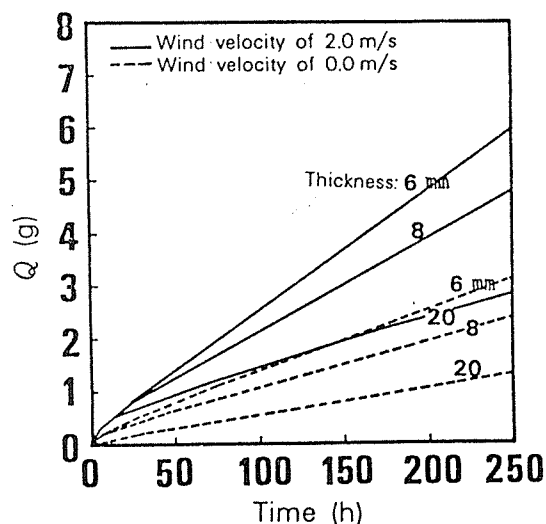


図2 透湿経過曲線

$$Q = P \cdot (f_1 - f_2) \cdot A \cdot t$$

$$= p \cdot (f_1 - f_2) / L \cdot A \cdot t$$

比例定数P、pは、それぞれ透湿係数、透湿率である。透湿抵抗Rは透湿係数の逆数で、材料の厚さLに比例する。

$$R = 1 / P$$

$$= (1 / p) \cdot L$$

ところが、風速が小さいと、図3に示したように原点を通らない。風速に依存した一定の抵抗が存在しているようである。

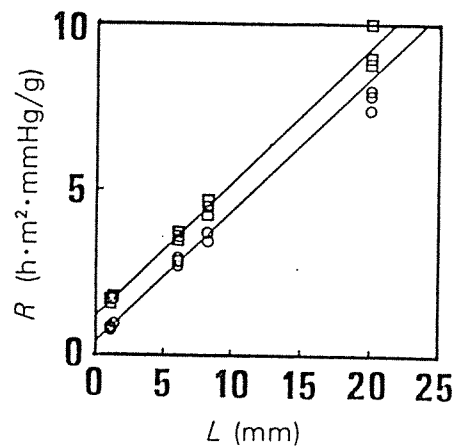


図3 試験片の厚さと透湿抵抗

Legend: ○ Wind velocity of 2.0 m/s. □ Wind velocity of 0.0 m/s.

そこで水蒸気圧の分布を求めるために、スライス法で含水率分布を調べた。その結果、含水率分布は試験片の厚さに関わらず、含水率9%を境とする2本の直線で表せることがわかった(図4)。さらに、図5に示したように、透湿速度(透湿係数と同意義)は含水率勾配に比例する。従って、透湿を熱貫流と同様に扱えることが示唆された。

すなわち透湿量Qは、図6に示した吸湿側流体、材料内、放湿側流体の含水率を用いて表すことができる。

$$Q = D_1 \cdot ((u_2 - u_1) / d_1) \cdot A \cdot t \quad \text{①}$$

$$= D_2 \cdot ((u_3 - u_2) / d_2) \cdot A \cdot t \quad \text{②}$$

$$= \alpha_1 \cdot (u_1 - u_0) \cdot A \cdot t \quad \text{③}$$

$$= \alpha_2 \cdot (u_4 - u_3) \cdot A \cdot t \quad \text{④}$$

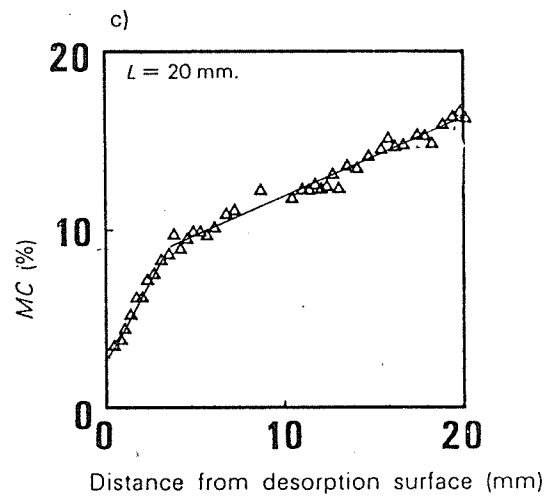
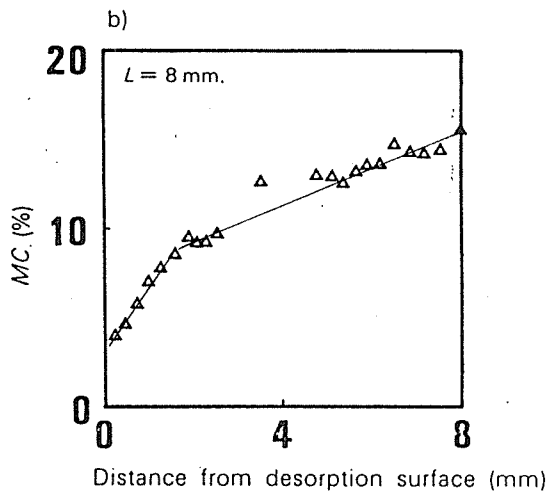
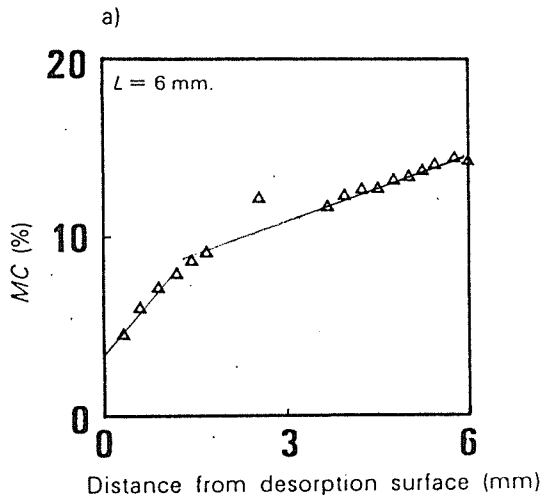


図4 材内の含水率分布  
RH: 0-93%, 20°C, 無風

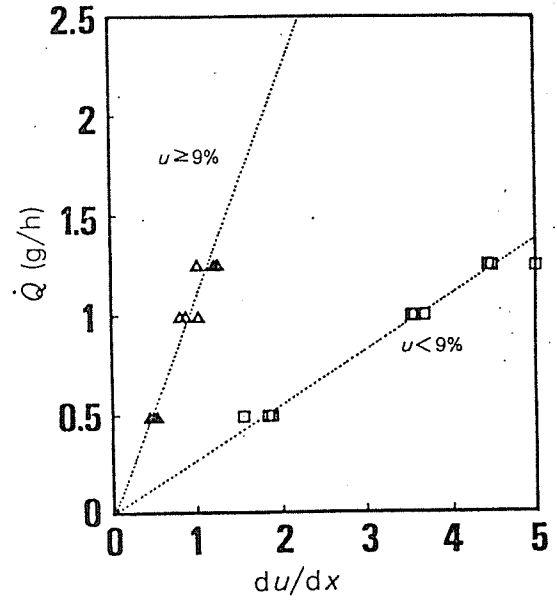


図5 含水率勾配と透湿速度

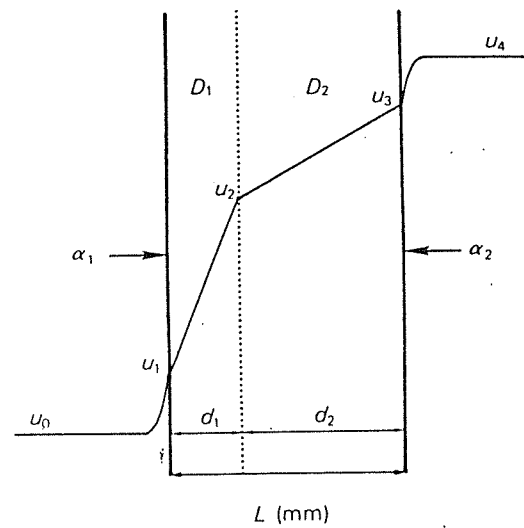


図6 透湿の含水率分布モデル

Legend:  $u_0-u_4$ : moisture content (%),  $u_0=0(\%)$ ,  $u_2=9(\%)$ .  $\alpha_1, \alpha_2$ : coefficient of moisture transfer [ $\text{g}/(\text{h}\cdot\%\cdot\text{m}^2)$ ]  $D_1, D_2$ : moisture diffusion coefficient [ $\text{g}\cdot\text{mm}/(\text{h}\cdot\%\cdot\text{m}^2)$ ]  $L$ : thickness of specimen in flow direction ( $d_1+d_2$ , mm).

ここで、 $D_1, D_2, \alpha_1, \alpha_2$ は、それぞれ放湿側、吸湿側の湿気伝導率、湿気伝

達率である。先の実験値をこれらの式にあてはめて算出した湿気伝達率、湿気伝導率を表1に示す。

表1 試験片の厚さ別の湿気伝達率、湿気伝導率

Thicknesses (mm)	$\alpha_1$ (g/(h·%·m <sup>2</sup> ))	$\alpha_2$	$D_1$ (10 <sup>-6</sup> cm <sup>2</sup> /s)	$D_2$
1.11	1.87	0.85	0.64	2.53
1.32	1.59	0.78	0.64	2.53
1.11	2.02	0.78	0.64	2.53
6.00	1.27	0.64	0.58	2.40
6.00	1.38	0.50	0.65	2.90
6.00	1.49	0.53	0.65	2.31
8.15	0.81	0.46	0.64	2.64
8.15	1.27	0.50	0.61	2.22
8.15	0.92	0.42	0.63	2.83
20.05	0.64	0.32	0.64	2.37
20.05	0.74	0.28	0.64	2.60
20.05	0.71	0.28	0.76	2.47
average	1.03	0.44	0.64	2.53
S.D.	0.33	0.12	0.05	0.23

$\alpha_1$ : desorption side,  $\alpha_2$ : absorption side,  $D_1$ :  $u < 9\%$ ,  $D_2$ :  $u \geq 9\%$ , S.D.: Standard deviation.

湿気伝達率は吸湿側、放湿側で異なるのみならず、厚さでも異なった(図7)。さらに表面の含水率との関係を調べてみると、図8に示したように直線関係がえられた。

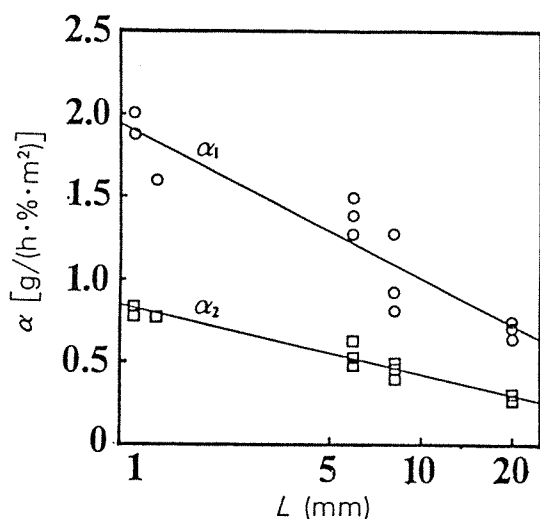


図7 試験片の厚さと湿気伝達率

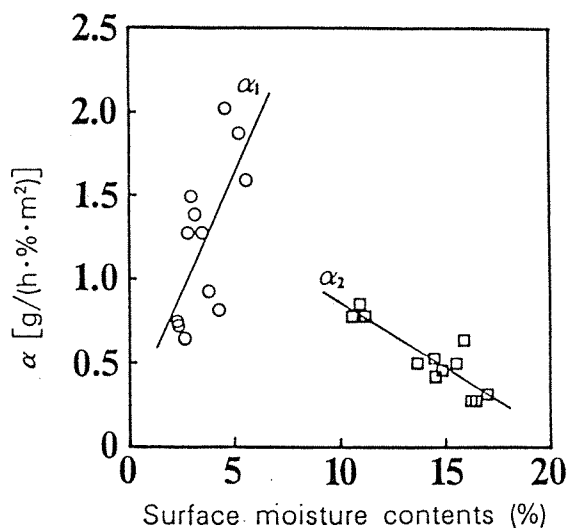


図8 表面含水率と湿気伝達率

Legend: ○: desorption side ( $\alpha_1$ ), □: absorption side ( $\alpha_2$ ).

これらの実験結果から、湿気伝達率さえわかれば透湿量を予測できることがわかった。

### 1. 2 実験その2

厚さはすべて1 cmとしたスプルース、ベイツガ、スギの柾目板と板目板、ブナ、カツラ、レッドメランチの柾目板について、図9のようなカップを用い、表2のような広い含水率範囲で実験し、含水率分布が9%を境とする2本の直線で表せるのか、湿気伝達率、湿気伝導率はどの様な値になるのかを調べた。

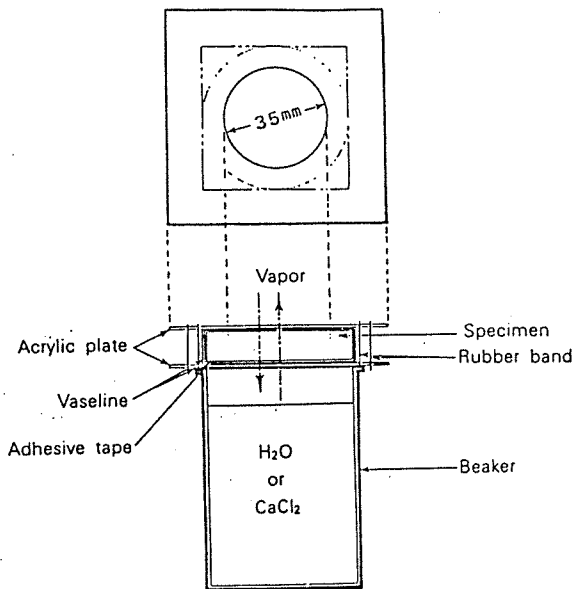


図9 特製の透湿カップ

透湿実験は図10に示したように長時間を要した。

結果は、いずれの試験片も含水率9%以上の場合は1本の直線で、9%以下にわたる場合は9%を境界とする2本の直線で表すことが出来た。

表2 試験片両側の条件、平衡含水率

$h_0-h_i$ (%)	$f_1$ (mmHg)	$f_2$ (mmHg)	EMC (%)	Saturated salts
76-0	13.3	0	14.7-0	NaCl
85-0	14.9	0	18.0-0	KCl
93-0	16.3	0	22.7-0	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
98-0	17.2	0	28.0-0	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
76-100	13.3	17.5	14.7-30	NaCl
85-100	14.9	17.5	18.0-30	KCl
93-100	16.3	17.5	22.7-30	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
98-100	17.2	17.5	28.0-30	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>

Legend:  $h_0, f_1$ : relative humidity and vapor pressure outside of beaker.  $h_i, f_2$ : relative humidity and vapor pressure inside of beaker.

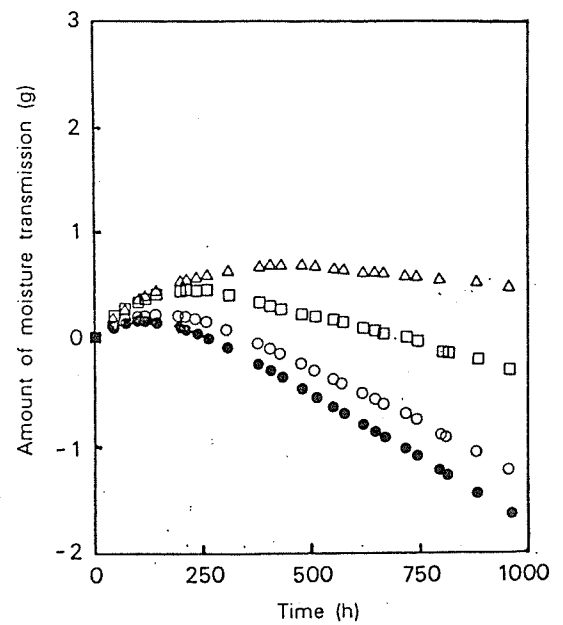


図10 透湿経過曲線

Legend: RH: ●: 76-100%, ○: 85-100%, □: 93-100%, △: 98-100%.

湿気伝達率、湿気伝導率を試験片の比重に対してプロットしたのが図 1 1、図 1 2 である。どちらもばらつきが大きく、比重に対して負の相関を示しているとは言いがたい。しかし、針葉樹材と広葉樹材とで差があるので、これらを表 3 のようにまとめた。

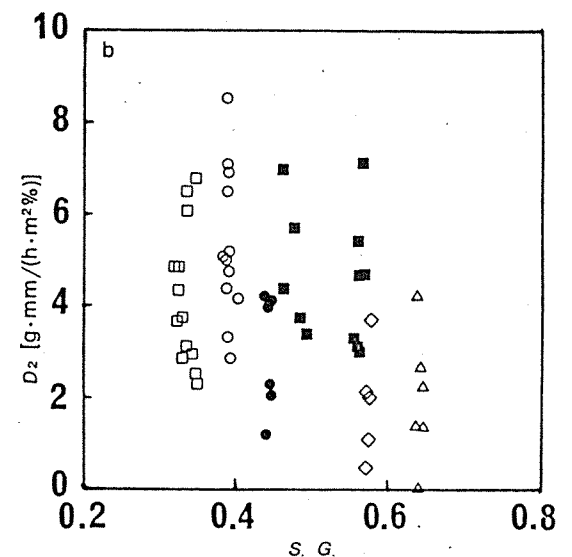
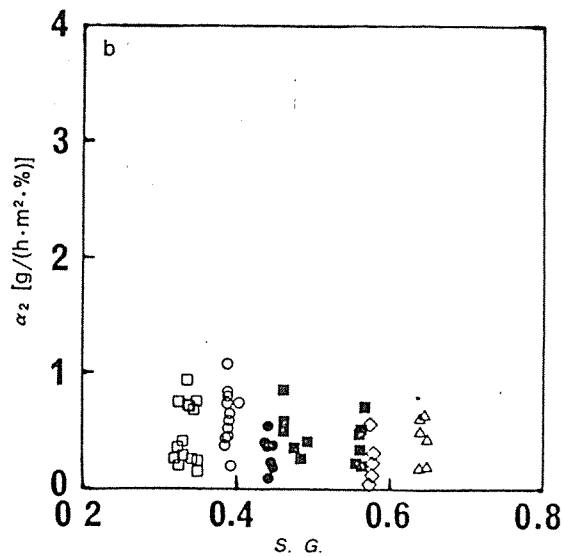
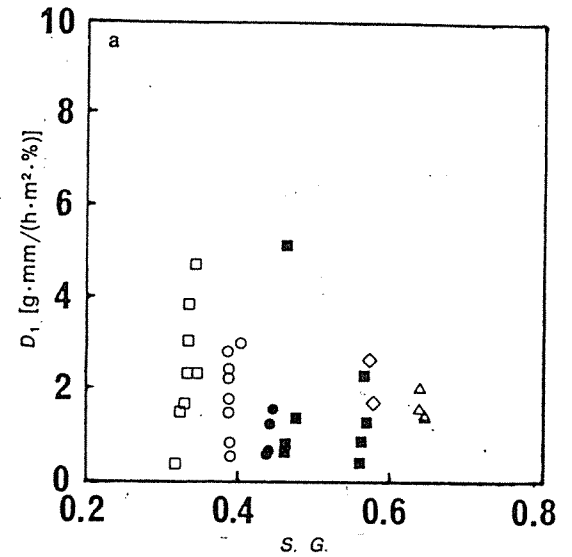
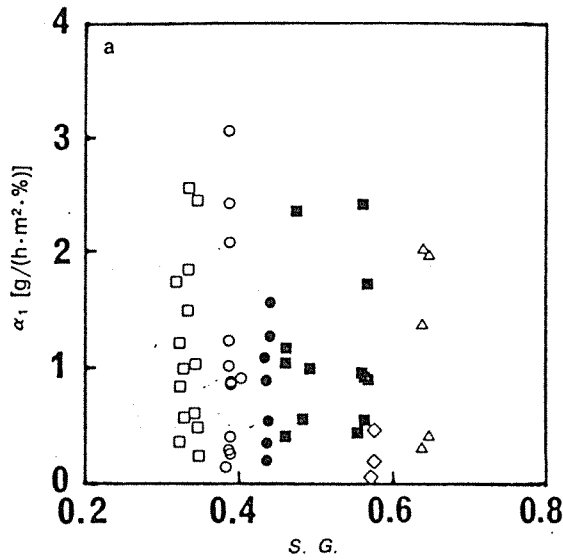


図 1 1 試験片の比重と湿気伝達率

図 1 2 試験片の比重と湿気伝導率

Legend: ○: Sitka spruce, ●: Red meranti, □: Sugi, ■: Western hemlock, △: Buna, ◇: Katsura.

表3 針葉樹材と広葉樹材の湿気伝達率、湿気伝導率

Wood	$\alpha_1$ [g/(h·m <sup>2</sup> ·%)]	$\alpha_2$	$D_1$ [g·mm/(h·m <sup>2</sup> ·%)]	$D_2$
Softwoods	1.0	0.5	2.0	5.0
S.D.	0.8	0.4	2.0	3.0
Hardwoods	0.5	0.3	1.5	2.0
S.D.	0.4	0.1	1.0	2.0

Legend:  $\alpha_1$ : desorption side,  $\alpha_2$ : absorption side,  
 $D_1$ :  $u < 9\%$ ,  $D_2$ :  $u \geq 9\%$ ,  $u$ : moisture content in wood (%), S.D.: Standard deviation.

一方、式①、②、③、④から、材の両側の条件 ( $u_0$ と $u_4$ ) さえ与えられれば、表3を用いて、透湿度 $q$  ( $= Q / (A \cdot t)$ ) を算出することができる。実験値と比較すると、満足すべき結果がえられた(図13)。

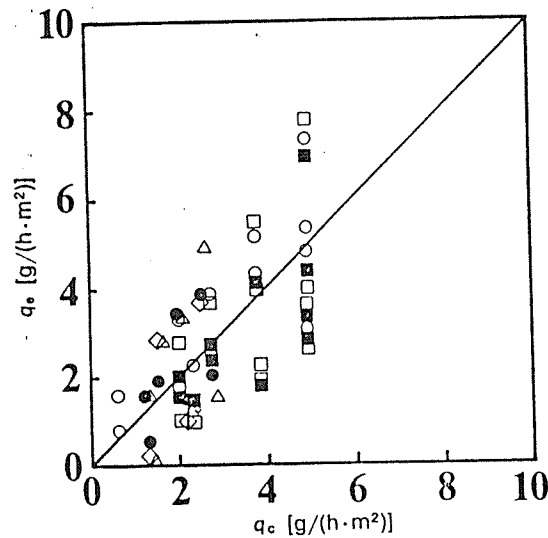


図13 透湿度の計算値と実測値

Legend: ○: Sitka spruce, □: Sugi, ■: Western hemlock, △: Buna, ●: Red meranti, ◇: Katsura.

文献: Moisture Transmission in wood. Moisture transfer and velocity of moisture transmission in a steady state.

W.H.Lee, T.Okano and M.Ohta, Mokuzai Gakkaishi, 37, 101-108(1991)

木材の透湿に関する研究(第2報)湿気伝達率、湿気伝導率とそれによる透湿量の推定

李元熙、岡野健、太田正光、木材学会誌、37、291-296('91)



## 2. 住環境における換気

### 2.1 はじめに

住宅の換気量が日本で問題とされ始めたのは、いわゆるオイルショック後である。冷暖房時のエネルギー効率を考慮した省エネルギー対策として、住宅の気密性が向上したことと対応する。また、それまでの在来構法住宅に代わって工業化住宅が普及したことや、窓枠がアルミサッシに置き換えられるなど、工法の変化に伴う気密度の向上も一因である。

建物の気密性を向上させ換気回数を小さくすることは、冷暖房時の省エネルギー対策の基本的な考え方であるが、換気回数の減少は室内における汚染物質の濃度を高めることになり、新たな課題が浮上することになる。すなわち、換気量は省エネルギーと室内空気汚染問題の両者に関連しており、互いに合い反する要求を有している。

住宅における換気の問題は最近になって注目を集めているとはいえ、国内では建物の換気量の調査例は少なく、実態は把握できていないといってもよいであろう。また、測定例の多くは無人状態を取り扱っているため、肝心な生活時の住環境と換気についてはほとんど情報が見当たらないのが実情である。

本稿では、既往の研究を参照し換気回数の測定事例に基づいて、住宅の換気

の実態、測定方法に触れ、室内空気の汚染物質として、CO、NO<sub>2</sub>、ラドン、ホルムアルデヒドについて述べた。

## 2. 2 換気の評価方法

換気量の評価には「換気回数」が用いられる。これは、部屋または建物の容積を空気の入出量で割った値であり、1時間あたりにその部屋の空気が何回入れ換わるかを示すものである。換気量の測定は、特定のガスや粒子状物質の濃度を指標とする方法と、それらを使用しない方法の二通りに大別される。測定方法の詳細は参考文献<sup>1-4)</sup>に詳しい。

2. 2. 1 測定方法      ガスや粒子状物質をトレーサーに用いる方法を、一般にトレーサーガス法と呼ぶ。これには、トレーサーを定常的に発生させ、定常状態での濃度を測定することにより換気量を求める定常法と、一時的にトレーサー濃度を高めた後、発生を停止し、その後の濃度減衰から換気率を求める減衰法の二通りがある。トレーサーガスとしては、CO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、SF<sub>6</sub>、CO、N<sub>2</sub>O、ヘリウム、などが使用されているが、発生が容易であることや、毒性、コスト、また空気との密度差など、使用ガスとしての条件は測定対象物や目的により異なっている。一般には、二酸化炭素を用いた測定例が多い。二酸化炭素を用いたトレーサーガス法については、JIS A1

406 に規格化されている。

それ以外の方法としては、ファンを用いて室内外に圧力差をあたえ気密度を測定しそれから換気量を推定する気圧差法と、部屋の内外を結ぶ全ての開口の面積とそこでの通過風速を測定して換気量を求める通過風速測定などが有力な手法として試みられている。

2. 2. 2 換気量に影響する因子 換気量は建物または部屋の性能を示す物理定数の一つであり、開口および隙間の位置とその通気特性などによって左右される。また、その測定には様々な因子の影響を受ける。測定時の風速、風向、気温などの気象要因の他にも、建物の形状や周囲の状況が影響する。周囲の建物の配列や地形は、建物外面の風圧などに関連する要因となる。これらに加えて、居住者による窓やドアの開閉などが自然換気以上の効果をもたらす。居住者の住まい方と換気との関係は、建物の性能とは直接の関連はないが、気密性の向上による室内汚染物質と健康や安全性といった、居住に関する課題については、建物の性能以上の大きな要因となっている。

## 2. 3 住宅の換気回数の実測例

2. 3. 1 外国の二・三の測定事例 換気回数の測定は、国内よりも海外において、特に欧米において盛んに報告されている。これは、冬季の気候が

日本よりも欧米の方が一般に厳しく、したがって、暖房時のエネルギー効率が重要な課題となっているためと思われる。

英国のWarrenらが、25種の建物について430回測定した建物全体の換気回数<sup>6)</sup>のヒストグラムを図2-1に示す。平均値は0.7で、1.3を越すものは10%程度となっている。同時に、容積15m<sup>3</sup>以上のベッドルームの換気回数290例を示した。平均値は0.73、中央値は0.55であった。建物全体の換気回数と、部屋別の換気回数とは異なった分布を示している。Shaw<sup>7)</sup>は暖房と換気との関連を検討し、強制換気の有無による換気量の推定式を提案している。図2-2は2階建て住宅の換気回数と、127mmの開口(暖房気用煙突)の有無と、室内外の温度差および換気回数の関係を示した<sup>7)</sup>。換気回数は0.2~0.4に分布している。スイスのRouletら<sup>8)</sup>は亜酸化窒素(100ppm)の定濃度法により、居住状態での室内の換気回数を12日間に亘って測定した(図2-3)。換気量はたとえドアが締めてあっても時間により大きく変動し、また部屋の種類によっても異なることを示している。このほか、汚染物質と換気回数との関係を継続測定した例<sup>9)</sup>など換気に関する研究例は多数ある<sup>10, 11)</sup>。

2.3.2 国内の測定事例 日本で住宅の換気回数が問題とされ始めたのは、オイルショック以降といわれている。古くは、1921年に測定されたという報告<sup>13)</sup>があるが、元来日本の一般住宅は気密性が低く、したがって公衆衛

生の課題としての換気回数はそれほど重要視されていなかったものと思われる。

戦後出版された専門書<sup>14)</sup>には、木造大壁洋室の換気回数が0.5～1.5、木造真壁和室で0.5～3.0および2.5～6.5という数値が記載されている。昭和20年代の木造住宅の換気回数の一例ではあるが、室内外の温度差や風速の影響などにより変化する値であったとしても、隙間風が偲ばれる数値である。

換気回数は様々な研究分野で補助的な数値として計測・検討されている。高度経済成長期以降、日本（北海道などの寒冷地を除く）の採暖方法が火鉢からストーブに変化するに連れて、暖房効率の視点から住宅の気密性に関心が寄せられた<sup>15)</sup>。火災や防災の分野<sup>16, 17)</sup>では住宅の気密性と安全性が問題とされている。室内の空気汚染は公衆衛生の課題である。日本原子力研究所がまとめた調査報告<sup>18)</sup>では、原子炉事故等の緊急時に浮遊性放射性物質の吸入による内部被爆に対して、屋内への避難がどの程度の防護効果があるのかを、家屋の換気回数との関連で評価している。図2-4は文献調査によりまとめた日本の家屋211戸と欧米の家屋500戸の換気回数の分布を示している<sup>18)</sup>。日本の家屋の場合、換気回数は0.05～5.0に分布し、欧米では0.02～4.5となっているが、幾何平均の換気回数は、日本が0.79であるのに対して欧米では0.33となり、明らかな差が認められる。調査の規模から推して、換気回数0.79は現時点での日本の建物の平均値と見なしてよいと思われる。また、同報告書では、日本の建

物を気密性から4グループに大別している(表2-1)。同じ木造でも、北海道の建物は気密性が良い方に分類されているのは、前述の通り冬季の暖房が問題となるためであろう。

## 2. 4 室内空気汚染と換気

室内空気の汚染は、かつては外部の汚染空気の流入が主な原因であったが、現在では室内に発生源があるものが問題視されている。これは、住宅の気密性が向上したためで、それまでは自然換気により回避できていたものが、窓の開閉や強制換気によらなければ、居住者の健康、安全、快適性が保たれにくくなってきたことの現われである。

2. 4. 1 汚染源 室内空気の汚染源は主に燃焼によるものと建物の構成部材に起因するものに大別される。前者は、燃焼に伴って発生する一酸化炭素、窒素酸化物、粒子状物質などであり、喫煙も燃焼に含まれる。後者は、建材から放出される化学物質で、特殊なものを除けばホルムアルデヒドとラドンが注目されている。このほかに、最近アレルギーとして話題のダニの死骸や微生物なども室内環境を汚染する物質の一種である。汚染物質の影響は時間と濃度の積として表現されるため、日常生活を営む住宅の居室では、低い濃度であっても健康への配慮が必要となる。ホルムアルデヒドは主に木質材料系の建材か

ら発生する。ラドンはコンクリートなどの建築材料の他、土壌や地下水にも原因があるとされており、室内外に原因が存在する。一般に、室内空気汚染物質とはその濃度が屋外環境に比べて室内の方が高い値を示すものを指している。

2. 4. 2 NO<sub>2</sub>、CO 窒素酸化物の濃度が問題となるのは、冬季の暖房時である。一般家庭では1時間値の最高値が0.1ppmに達する場合があることが知られている<sup>19)</sup>。非暖房時はそれほど高くはないが、ガスの燃焼の有無により濃度は変化する。全電化家庭85世帯とガス併用家庭73世帯の二酸化窒素濃度の調査結果（新田ら<sup>19)</sup>）を図2-5に示した。一般家庭の室内空気汚染は、暖房を目的としてNO<sub>2</sub>を発生させるのも、汚染に曝されるのも同一家庭内でのことであり、「ビル管理衛生法」、「労働安全衛生法」、「学校保健法」などが対象とする屋内環境と、私的空間との違いにより規準の設定が困難であると指摘している。Hollowellら<sup>20)</sup>は、ガストーブ（容積27m<sup>3</sup>の実験住宅）から放出されるCO、NO<sub>2</sub>、HCHOの濃度と換気回数との関係を報告している（表2-2）。彼は、室内の汚染物質を低減させる努力は住宅の省エネの方針に大きなインパクトを与える可能性があるとし唆している。

2. 4. 3 ラドン 現在のところ、喫煙の影響を除けば、室内汚染物質の健康への影響に関して十分な科学的知見が得られているものは少ない。放射性物質は健康への影響が心配されているものの一つである。最近では、住環境

の因子の一つとしてラドンが取り上げられている<sup>21, 22)</sup>。池田ら<sup>23)</sup>は床下空間を持たないコンクリート造の室内では、換気回数が0.07程度ではラドン濃度が $300 \text{ Bq/m}^3$ まで高まることを示し(図2-6)、換気回数の影響を受けることおよび床下換気の重要性を指摘した。床下空間の換気率の測定は、ラドンのように室内空気汚染が土壌を起源とする場合には、今後重要性が増すであろう。海外でも、ラドンはCO、NO<sub>2</sub>、HCHOなどと同様に関心が高く、換気回数と濃度との関係が求められている。図2-7に測定例を示した<sup>20)</sup>。

2. 4. 4 ホルムアルデヒド      ホルムアルデヒド系樹脂接着剤は、木材および木質材料用の主要接着剤として大量に使用されている。合板、パーティクルボード、繊維板などには接着剤の硬化過程で発生するものあるいは接着剤中に含まれる遊離ホルムアルデヒドが含まれており、これが徐々に空気中に放散される。建物の気密性が高く冬季の気候が日本よりも厳しいヨーロッパでは、木質系建材や家具が室内空気の汚染源の一つとして捉えられているため、パーティクルボードやMDFなどの木質ボード類のホルムアルデヒドに対する規制が厳しくなっている。ホルムアルデヒドはこの他に、燃焼過程でも発生する。温度、湿度条件や個人差もあるが、一般には $100 \sim 200 \mu\text{g/m}^3$ ほどで匂いとして感じられる。それ以上の濃度になると目や鼻に刺激を覚え、健康への影響が心配されている。



エネルギー危機により住宅の気密性の向上が課題となった時代は、丁度、木質系の複合材料が新たに開発され、住宅用の構造部材としての使用が増大を見た時期とほぼ一致する。日本でも素材に換わり、再構成木質材料の住宅部材への使用は増大する傾向にあり、室内環境とホルムアルデヒドの関連が浮上して来ることが予想され、この点からも換気が一層重要となる。

1988年に Figlryら<sup>24)</sup>が発表した、モービルホームの換気回数とホルムアルデヒド濃度の関係を図2-8に示した。モービルホームは一般住宅に比べホルムアルデヒド汚染の可能性が高いため、特に関心が寄せられている。欧米では室内環境として0.1ppm ( $120\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) が推奨されているが、同図はホルムアルデヒド濃度が換気に大きく影響されることを示している。また、木質材料から放出されるホルムアルデヒドは経過年と共に減衰していくことも知られている。

## 2.5 おわりに

住宅の気密性、断熱性を向上させ冷暖房時のエネルギー効率を上げることで省エネに貢献する方向が模索されているが、気密性の向上に伴い室内の汚染物質の濃度が問題となり、健康や安全性、快適性といった課題がクローズアップされつつあることを考慮しなければならない。現時点で特に問題となるのは、

冬季の暖房など燃焼に伴って発生する汚染物質への暴露であろう。省エネと健康とのバランスを考慮した場合、気密性に対応した換気システムが必要となる。

吉野<sup>1)</sup>は、気密性能グレードに対応した暖房・厨房・換気設備を提案している（表2-3）。

燃焼に伴い発生する物質の次に注目されるのが、建物の材料から発生する汚染物質である。建材から放出される物質を低減させるためには以下の方策が考えられる。たとえば、建材については、①汚染物質を放出する材料は使用しない、②原料の選定、製造方法の改良などにより汚染物質の放出を十分低減させた材料を供給する、③材料をシールすることにより汚染物質の放出を抑制する、などである。このほか、床下も含めた建物の換気、熱交換機システムの使用などによる室内空気の浄化、などを考慮した住宅の設計が求められるであろう。

省エネルギーを目的とした住宅の気密性向上には上限があること、すなわち、省エネの先には健康問題が控えていることを念頭におきつつ、両者の調和を図る工夫が必要となるであろうし、研究面でも両課題を並行して究明する必要があるものと思われる。

## 文献

- 1) 吉野 博：住宅の気密性能と漏気量の現状、空気清浄、23(2)、29-39、(1985).
- 2) 鎌田元康：建物の気密性・漏気量の測定方、空気清浄、23(2)、2-12、(1985).
- 3) 西岡利晃：漏気量の推定法、空気清浄、23(2)、59-68、(1985).
- 4) 池田耕一：換気量の測定法、空気清浄、24(2)、12-21、(1986).
- 5) J I S A1406.
- 6) Warren, P. R.; Webb, B. C.: Ventilation Measurements in Housing, Natural Ventilation by Design, 22-34(19nd).
- 7) Shaw, C. Y.: Methods for Estimating Air Change Rates and Sizing Mechanical Ventilation Systems for Houses, ASHRAE Trans, 93(Pt 2), 1279-1285(1987).
- 8) Roulet, C.; Scartezzini, J. L.: Measurement of Air Change Rate in an Inhabited Building with a Constant Tracer Gas Concentration Technique, ASHRAE Trans, 93(Pt 1), 1371-1380(1987).
- 9) Parker, G. B.: Measured Air Exchange Rates and Indoor Air Quality in Multi-family Residences, Energy and Buildings, 9(4), 293-303(1986).
- 10) Dickson, D. J.: Methods of Measuring Ventilation Rates and Leakage of Houses, PB Rep., No. PB-81-214546, 27p (1981).
- 11) Levin, P.: Tracer Gas Measurement in Apartment Buildings, PB Rep., No. PB-89-127666, 268-273 (1988).
- 12) Persily, A. K.; Grot, R. A.: Air Infiltration and Building Tightness Measurements in Passive Solar Residences, Trans. ASME J. of Solar Energy Engineering, 106(2), 193-197(1984).
- 13) 高津寄 章：日本家屋之研究、換気之部、京都医学雑誌、13(3)、286-305(1921).
- 14) 佐藤 鑑：「建築環境学」、紀元社(1948).
- 15) 須須 高：住宅設備の今昔、住宅設備、2(10)、59-64(1981).
- 16) 村上周三、田中俊彦：建物の気密性能と酸欠・中毒・爆発事故について、火災、31(3)、7-17(1981).
- 17) 伊藤献一、山根清隆：換気回数の低い室内における都市ガスの燃焼と一酸化炭素の発生、北海道大学工学部研究報告、105、9-18(1981).
- 18) 村田幹生、他4名：家屋の放射能防護効果に関する研究Ⅱ、家屋の自然換気回数および構造種別分布の調査、日本原子力研究所JAERI-Mレポート、No. JAERI-M-89-45、1-71(1989).
- 19) 新田裕史、前田和甫：公衆衛生の課題としての室内空気汚染；一般家庭におけるNO<sub>2</sub>濃度測定の結果を中心に、産業公害、22(6)、464-468(1986).
- 20) Hollowell, C. D.; Berk, J. V.; Boegel, M. L.; Miksch, R. R.; Nazaroff, W. W.; Traynor, G. W.: Building Ventilation and Indoor Air Quality, LBL-Report LBL-10391, EEB-Vent 80-3, 1-12(1980).
- 21) 奥山 剛、飯田孝夫：建材および住環境でのラドン・トロン濃度、住宅部材安全性能向上事業報告書；住環境に関する総合調査、(財)日本住宅・木材技術センター、143-177(1989).
- 22) 奥山 剛：室内ラドン濃度と換気について、住宅部材安全性能向上事業報告書；住環境に関する総合調査、(財)日本住宅・木材技術センター、57-118(1990).
- 23) 池田耕一、他3名：住居におけるラドン濃度構成機構に関する研究Ⅰ；実験住宅における実測、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、1227-1228(1987).
- 24) Figley, D. A.; Makohn, J. T.: Measured Formaldehyde Levels and Ventilation Rates in Mobil Homes, Proceedings of Annual Meeting of Air Pollution Control Assosiation, 81(4), pp. 74. 2. 1-74. 2. 20 (1988).

表 2 - 1 気密性指標対応表 (日本)

指 標	構 造	気密性	構造名称
1	コン ク リ ー ト 造	良	鉄筋コンクリート造 (断熱、二重窓、北海道)
2		悪	鉄骨鉄筋コンクリート造 鉄筋コンクリート造 (一重窓) 軽量コンクリート造 コンクリートプレハブ セラミックブロック造
3	木 造	良	断熱気密住宅 木造モルタル (二重窓) 木造 (断熱改修住宅) 木造防音住宅 木造 (北海道)
4		悪	木造

村田ほか：文献18)

表 2 - 2 試験台所の汚染物質濃度 (文献20)

換気条件	機械換気 速度 ( $m^3/hr$ )	換気回数	汚染物質濃度*1		
			CO ( $mg/m^3$ )	NO <sub>2</sub> ( $\mu g/m^3$ )	HCHO*2 ( $\mu g/m^3$ )
なし		0.25	48	2500	460
換気孔のみ		1.0	25	1500	280
換気扇低速	85	2.5	14	800	150
換気扇高速	240	7.0	4	200	40
	試験期間中の屋外濃度		1.5	50	5
	健康規準値		40*3	470*4	120*5

\*1：ガスオーブンを180℃で燃焼させたときの台所中央での1時間の平均濃度、  
\*2：計算値、 \*3：EPA規準値、 \*4：EPA推奨値、 \*5：欧州規準値

表2-3 気密性能グレードと暖房・厨房・換気設備 (吉野<sup>1)</sup>)

グレード	1	2	3	4	5
単位床面積当りの 隙間の相当開口面積( $\text{cm}^2/\text{m}^2$ )	1. 2.5 (ほぼ完全気密)	2. 2.4 (かなり気密)	4. 0.7 (やや気密)	7. 1.0 (やや隙間有り)	1 2. 5 (隙間有り)
暖房設備	中央方式 全室暖房 + パジャラーシステム	中央方式 (居室のみ暖房)	局所方式 密閉型ストープ 又は ヒートポンプ	局所方式 (移動型) 1) 半密閉又は密閉型ストープ 2) 電気ごたつ	局所方式 (移動型) 1) 開放型石油・ガスストーブ 2) 電気ごたつ
台所レンジ	電子レンジ	電子レンジ	ガスレンジ	ガスレンジ	ガスレンジ
換気設備	居室	機械換気 室ごとに熱交換型換気扇を設置	居間のみ機械換気 (給気口あり) 他は自然換気	自然換気 (換気口あり)	自然換気 (窓の開閉による)
	台所	機械換気 レンジ周辺で局所換気、熱交換器付	機械換気 レンジ周辺で局所換気	機械換気 (台所に給気口あり)	機械換気 (給気口なし)
	浴室 便所	機械換気 (局所換気)	機械換気 (廊下から給気)	自然換気 (換気口による)	自然換気 (窓の開閉による)

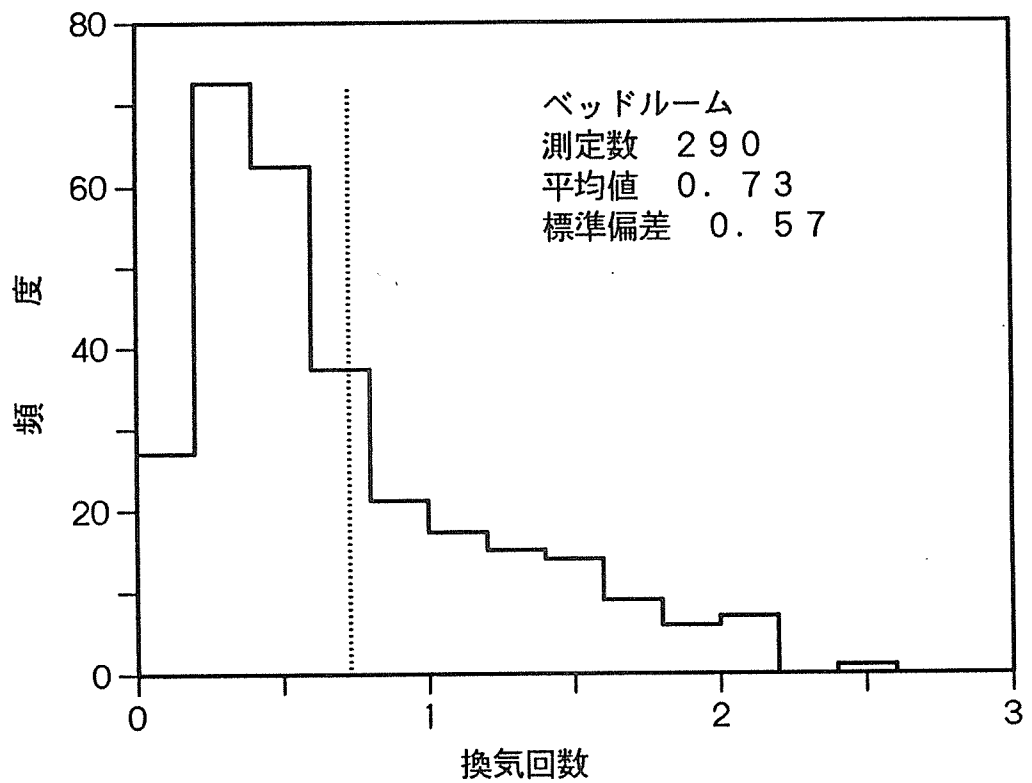
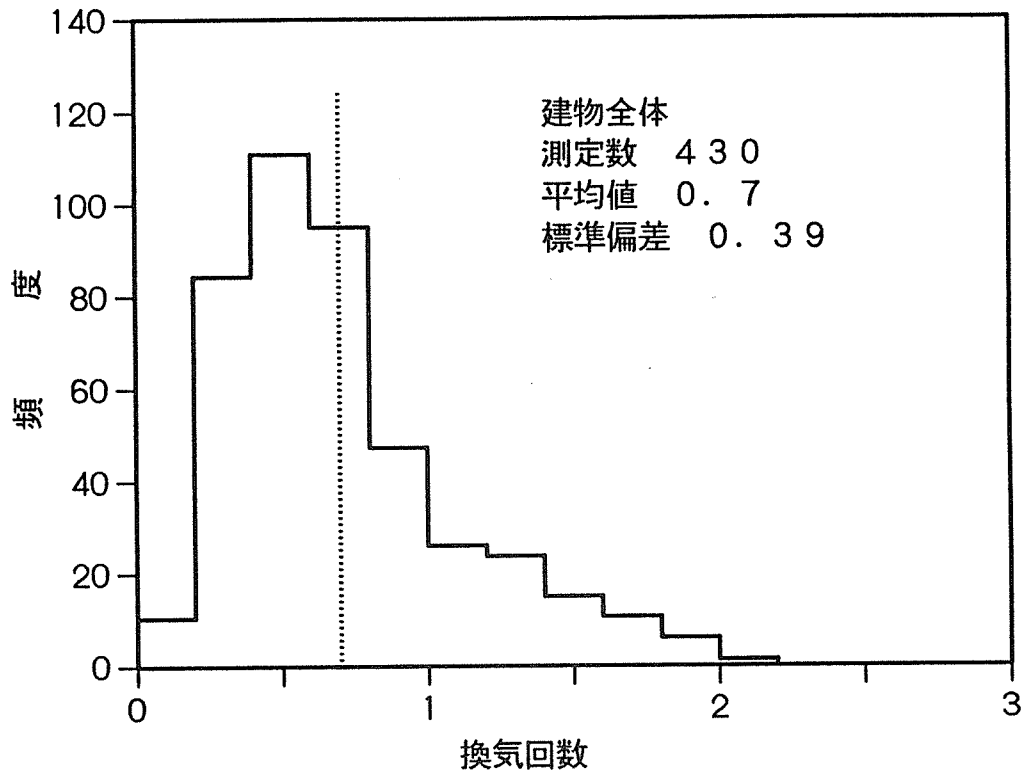


図2-1 建物全体およびベッドルームの換気回数の分布 (英国)

(Warrenら<sup>6)</sup>)

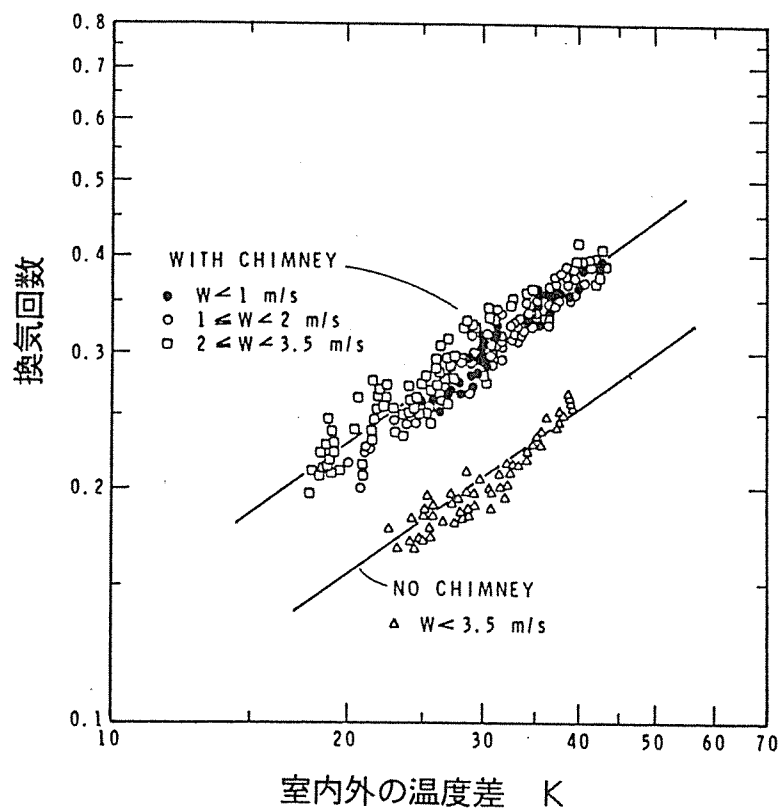


図 2-2 トレーサーガス減衰法による換気回数の評価  
煙突からの漏気のある場合と無い場合

(Shaw<sup>7)</sup>)

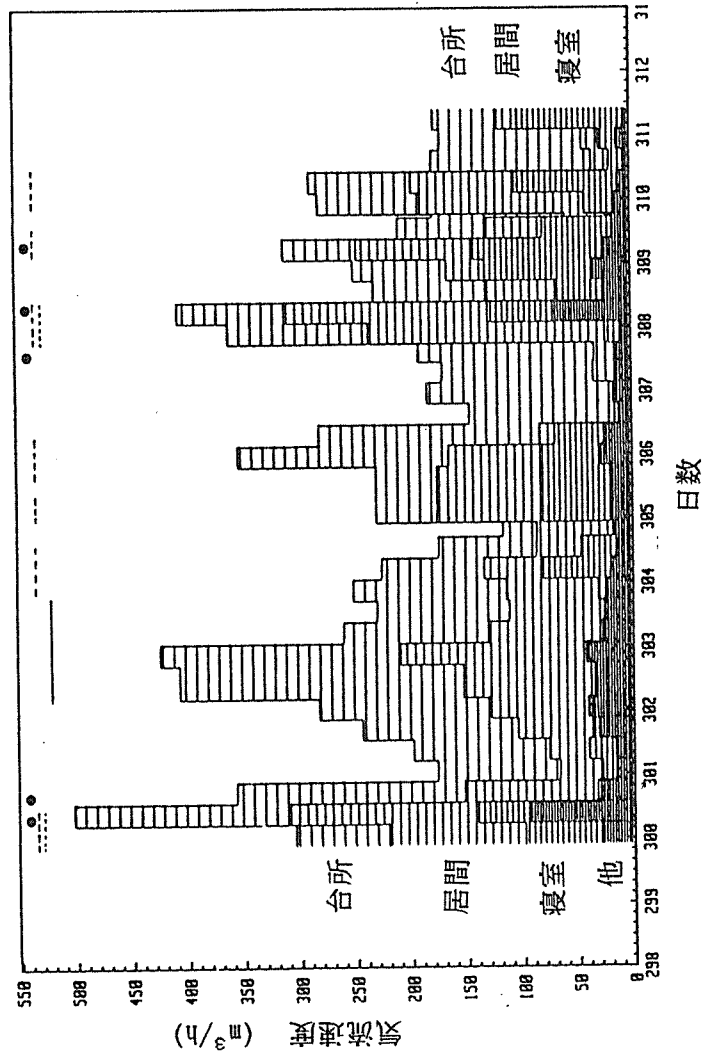


図2-3 定濃度法による3階建て住宅の換気量測定例 (Roulet他<sup>8)</sup>。  
 8時間ごとの平均値12日間にわたって示した。

● : 換気用ガラス扉を15分間開ける、.....: 寝室の窓を開ける、  
 — : 浴室の天窓を開ける、--- : 寝室の窓を夜間開ける



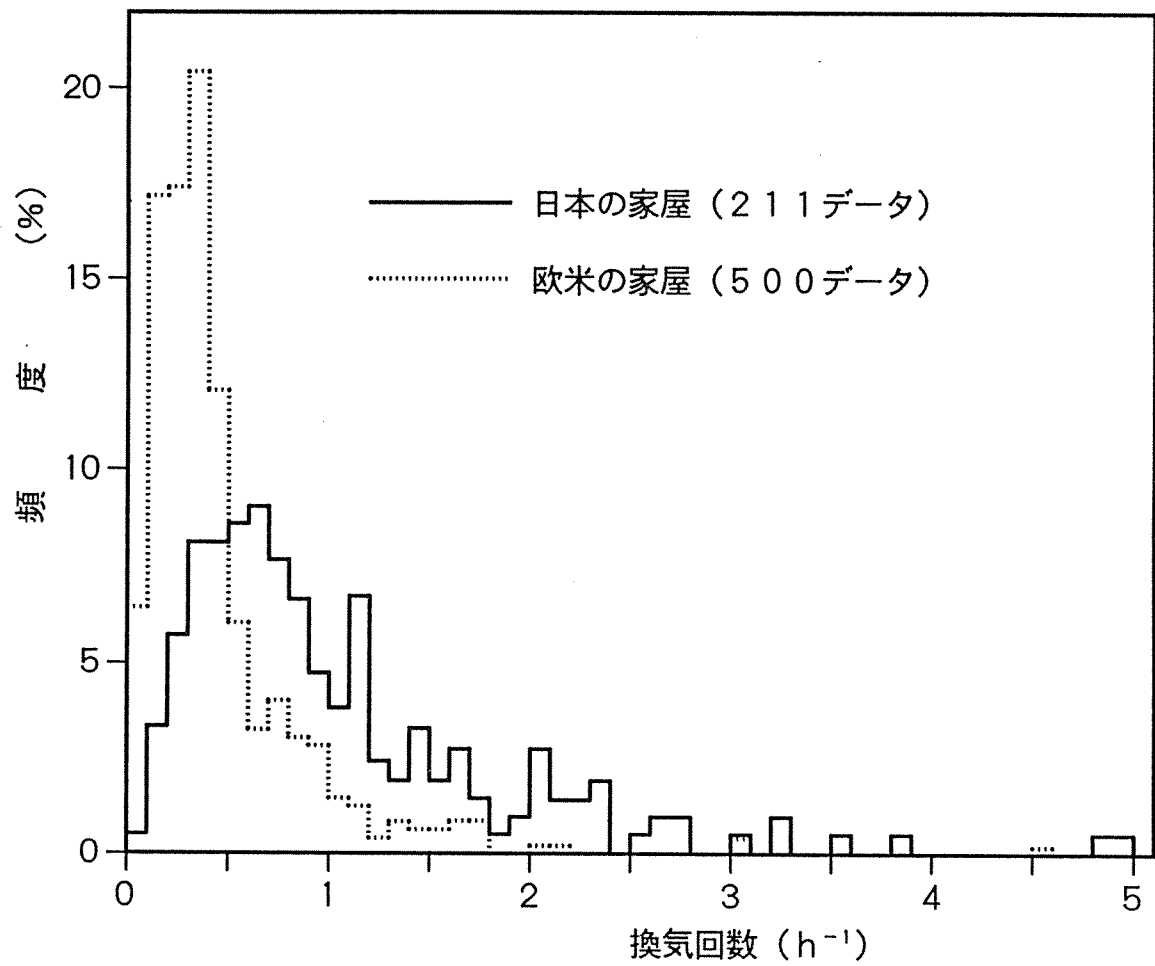


図2-4 日本および欧米家屋換気回数の頻度分布 (村田ら<sup>18)</sup>)

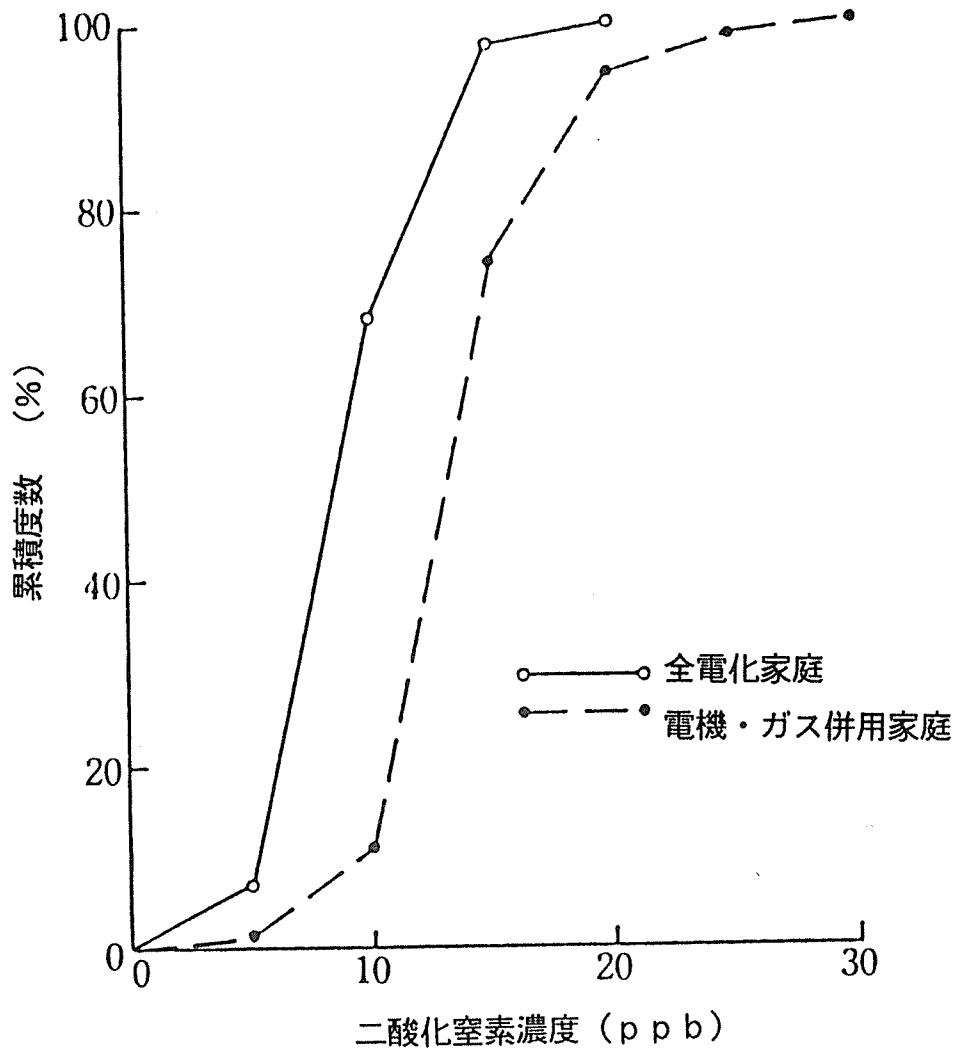


図2-5 一般家庭158世帯の二酸化窒素濃度の累積度数分布図(非暖房期、居間) (新田ら<sup>19)</sup>)

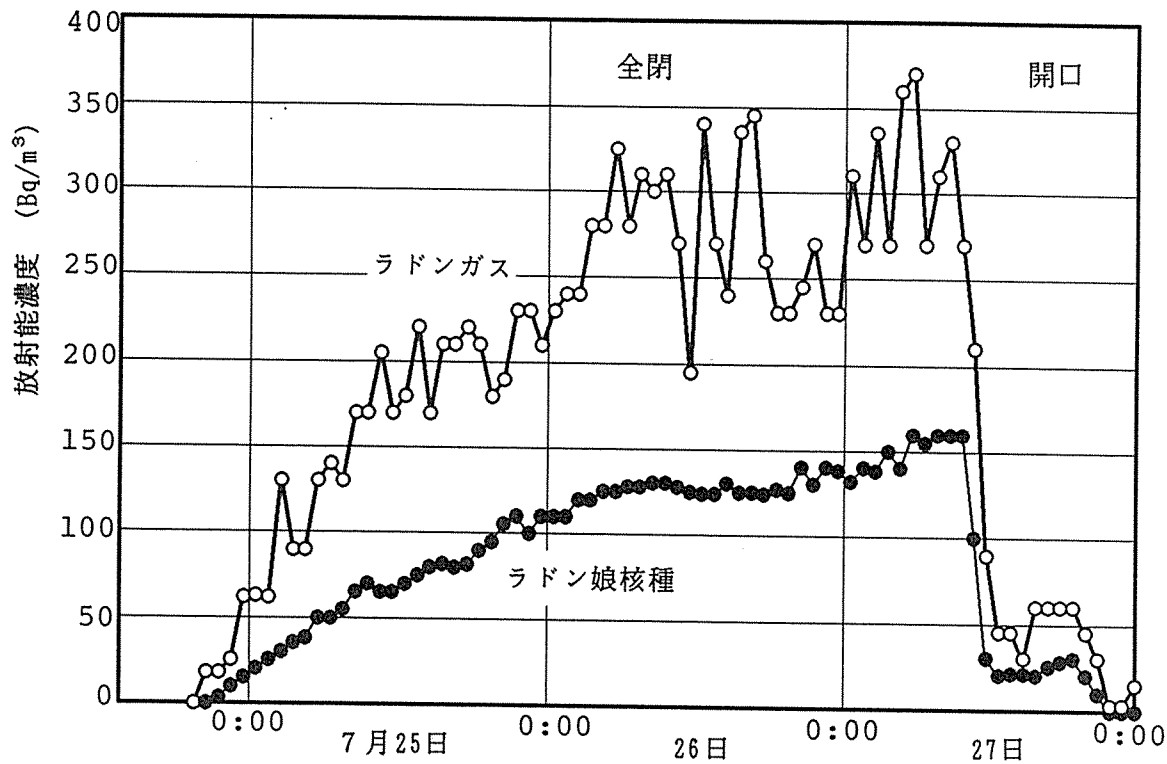


図2-6 重量コンクリート造実験住宅における室内ラドンおよびその娘核種の濃度の経時変動 (池田ら<sup>23)</sup>)

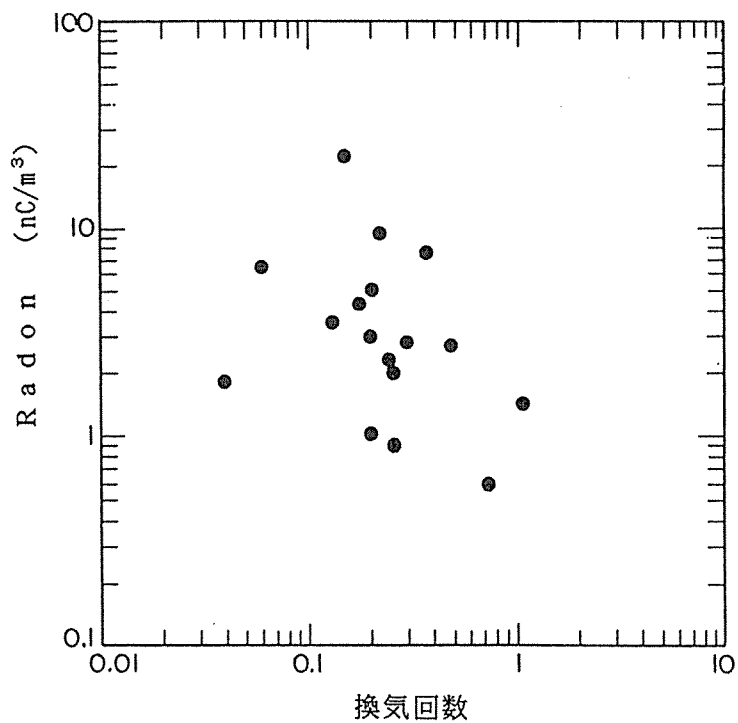


図2-7 ラドン濃度と換気回数に関する測定結果 (Hollowellら<sup>20)</sup>)

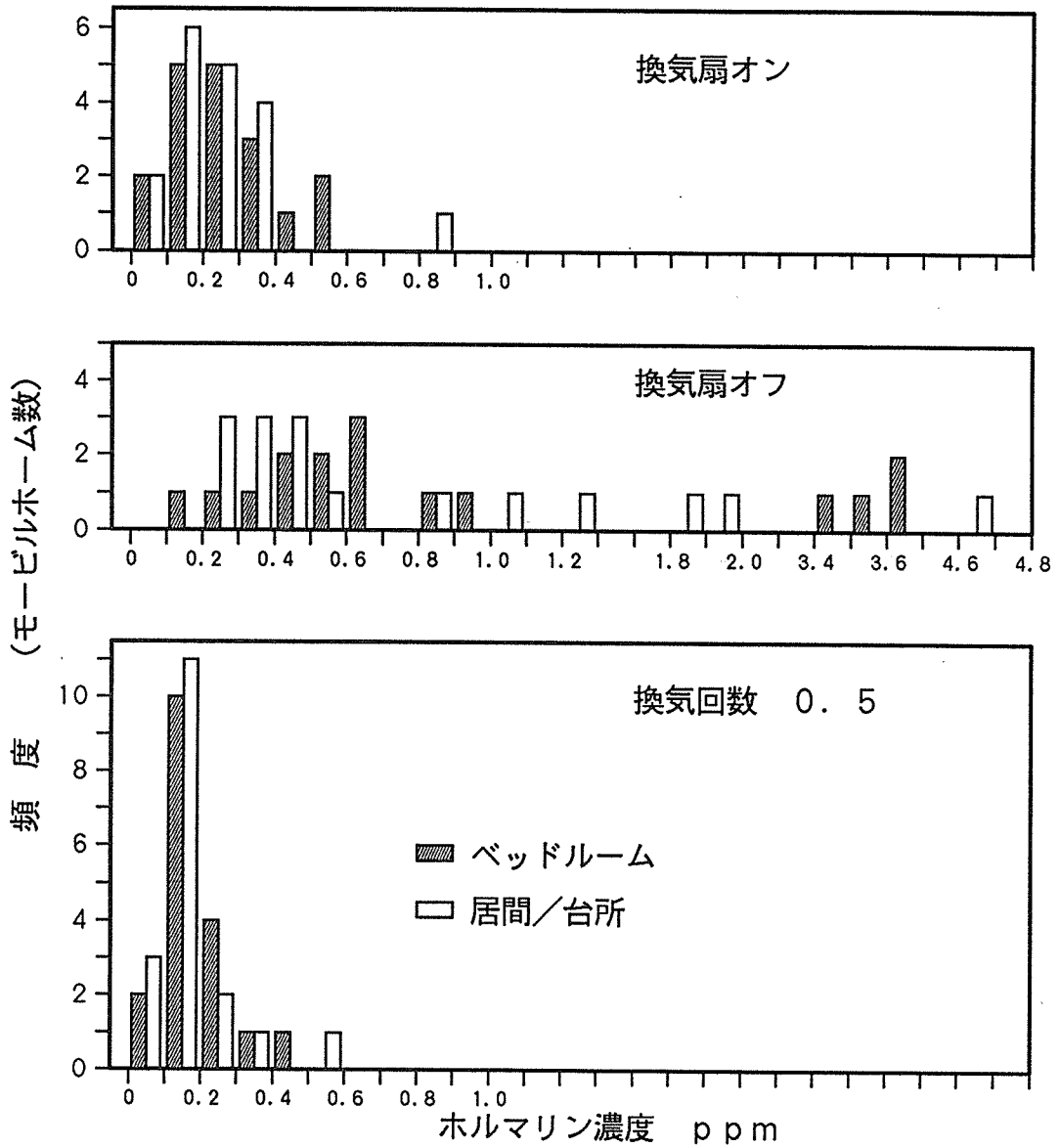


図2-8 換気率が異なる条件下でのベッドルームおよび居間/台所のホルマリン濃度の頻度分布

(Figleyら<sup>24)</sup>)

### 3. 建材及び住環境内におけるラドン濃度

#### 3. 1 はじめに

平成元年と2年度にひきつづき、住宅内での放射線被曝の最大の要因であるラドンについての測定及び考察をすすめている。

温度、湿度など他の環境因子も全て同じであるが、ラドン濃度の測定は一時点の限られた場所での測定データではせまい情報に終わるし、判断を誤る危険性が大きい。この研究では目的をしばった測定を行っているが、現行の測定法を用いる限り最短、一測定に2ヶ月間を要する。このことは測定法の短所ではなく、環境因子の測定のためには長所である。その意味からも、長期にわたって同一手法による研究を続行することによって、より確実な情報を得ることができる。

この研究も開始してから3年を経過し、定点の一年間の測定値の経過について記述できるデータもそろい始た。さらに、環境条件のことなる地域のデータを集め、これまでの測定結果を普遍化する作業や、各測定結果の意味の理解やラドン発生機構の解明のための各種の解析的研究へと広がりつつある段階である。

この報告では、これまでの報告の延長として、ラドン濃度の年間をとおした測定データを示し、住宅内におけるラドンの挙動について考察し、木造住宅におけるラドン濃度低減策についての現時点での提言を試みた。

なお、これは当研究室大学院博士課程 渡邊 拓 君の博士研究の一部である。

### 3. 2 木造建造物とR C建造物との比較

図3. 1～4に木造とR C造の住宅および校舎についての年間測定結果を示す。

各測定対象建物の説明及び平面図などは、平成元年度の報告書に詳しく記載してあるが、それらの図にあげた建物の条件のみをあげると、

木造住宅1 : 築後60年の古い2階建て住宅で、床下地面はコンクリート打ちなどの防湿施工なし。以下の木造住宅2、3とは同一地域に建てられているもの。

木造住宅2 : 築後5年の比較的新しい2階建て住宅で、床下地面はコンクリート打ちが施されている。

木造住宅3 : 築後1年で最も新しい2階建て住宅で、床下地面はコンクリート打ちが施されている。

R C造住宅 : 築後10年のコンクリート住宅で、5階建て集合住宅の4階部分の一室である。

木造校舎 : 築後1年の新しい校舎で、床下地面はコンクリート打ちがなされている。下記のR C造校舎とは同一敷地内に新たに建造された2階建て校舎である。

R C造校舎 : 築後20年の古い校舎であるが、床は木質フローリング施工の教室であり、冬季以外は窓を開放している。

まず、木造住宅とRC造住宅の年間を通じての室内ラドン濃度は、図3. 1から明らかなように、明確に差がみられる。この図に示した木造住宅3とRC造住宅とは立地場所は異なる。すなわち、木造住宅は、愛知県東海市でありRC造住宅は名古屋市千種区にある。しかし、この立地によるバックグラウンド濃度の差は有意差がみられない程度であることから、この差はやり住宅の種類による差であろう。

木造住宅の室内では、RC造の  $30 \sim 40 \text{ Bq/m}^3$  にたいして木造住宅では  $7 \sim 17 \text{ Bq/m}^3$  (この図に示した木造住宅3での最高値は  $9 \text{ Bq/m}^3$  であるが、木造住宅1において最高  $17 \text{ Bq/m}^3$  の値が測定されているので範囲をこの値で表わした) といった値となった。さきに報道された調査値、「RC造住宅は木造住宅の1.6倍の濃度」よりは大きな開きがみられた。

木造住宅のラドン濃度はRC造住宅のそれより低いことが明らかである。

一方、これらのことを小学校の校舎の例で比較したのが図3. 2である。

木造校舎・教室では、年間を通して  $7 \sim 20 \text{ Bq/m}^3$  であるのに対してRC造校舎では  $60 \text{ Bq/m}^3$  内外と非常に大きな値となっている。木造校舎の教室ではRC造のその1/3程度の濃度であることがわかる。

住宅のみならず、校舎においても木造校舎のラドン濃度が低いことが明確である。

以上の測定結果からみて、建物内のラドンの発生源としてコンクリートが大きいと考えられる。

コンクリートからのラドン発生が多いことは、特に外気との換気の少ない建物について特に顕著に観測される。図3. 3は、その例であるRC造図書館内各場所での測定結果である。この図書館は完全冷暖房施設が整い、四季をとおして出入り口玄関以外に大きな換気口はない。従って、屋内空気の循環、集塵は行われているもののラドンの外気への拡散は期待できない建物である。

図のように、年間をとおしてラドン濃度は $50\sim 100\text{ Bq/m}^3$ を越える。この図書館と同様に、実験室2も特に濃度が高い。この実験室も冷暖房完備の特殊な実験室であり外気との換気は少ない。人の出入りの頻繁な通常の実験室1の10倍近くの高い濃度レベルを示す。

**換気回数**            普通の住宅や事務室でのラドン濃度と換気回数とは逆相関があることは確かであるが、ラドン濃度は長期間の積分値であるから、一時点での測定値である換気回数をラドン濃度の測定値に厳密に対応させるのは難しい。ところが、外気との換気が極端に少ないために一時点での換気回数のデータが長期間のデータの代表値に近いと考えられる図書館や実験室では両者により対応がみられる。

図3. 3の図書館の中でも倉庫やマイクロフィルム資料室の換気回数は0. 2



9～0.31回/時間と換気回数は低いが、実験室1では、2.12～2.26回/時間で、時々用いる換気扇をつけた時は5回/時間と換気回数は大きくなる。

コンクリートからのラドン散逸が同じでも換気の違いによってラドン濃度が大きく異なることが明らかである。

木造住宅でもこれと同様のことが言え、居室のラドン濃度は低くても押入れなど換気の少ない場所のラドン濃度は確実に高くなる。また、床下においても床下換気口の配置によって濃度は大きく異なる。換気の良い床下では、地面が露出している場合でもラドン濃度は低い場合が多い。換気がラドン濃度低下に大きく寄与する。

### 3.3 木造住宅におけるラドン発生源

大気中のラドン濃度の測定例をみると、岐阜県中津川地区などで年間 $10\text{ Bq}/\text{m}^3$ 内外と高いレベルにある場所もあるものが多い。これらの木造住宅が建つ地域の愛知県東海市では夏期に $6\text{ Bq}/\text{m}^3$ 、冬から春にかけて $4\text{ Bq}/\text{m}^3$ の値を示した。ところが、RC造住宅に比べその濃度値が低いとはいえ木造住宅においても大気レベルよりも高い濃度（最高 $17\text{ Bq}/\text{m}^3$ ）を示す場合が多い。木造住宅において、ラドンの発生源が無い場合には、大気が室内に滞留するにしてもこの大気レベルよりも高くなることは考えられない。

そこで、木造住宅で考えられるラドン発生源として、建材、床下地面からのラドン散逸が考えられる。

### 床下地面からのラドン散逸

図3. 4は、木造住宅1、2についてのラドン濃度を床下および1階、2階で測定した結果である。図から明らかなのは、床下地面にコンクリート施工のない住宅1の床下のラドン濃度が、コンクリート施工のしてある住宅2の10倍程度の高い値を示していることである。これは、明らかに床下地面からラドンが散逸していることを表わすものである。このことは、別途行った全国測定の結果でも明らかになっている。

さらにこの図から、ラドンの散逸経過が理解できる。すなわち、木造住宅1では高い濃度の床下につづいて1階の濃度が高い。ところがその2階では木造住宅2の2階での濃度にほぼ等しい値となっている。一方、木造住宅2では床下地面がコンクリート施工してあるため、木造住宅1の床下のそれより低い値であるが、床下の濃度が高く1、2階が低くなっている。このことから、床下地面で発生したラドンは、1階に移動していくと考えられる。しかし、2階にまでは影響を及ぼしていないことは、住宅1、2の2階のレベルが一致していることから明らかである。

別途行った全国の木造住宅の測定結果を図3. 5に示す。北海道、千葉、鹿児

島および静岡の住宅において床下のラドン濃度が高くなっている。後述するが、これらの住宅の床下は、鹿児島は例外として、床下地面は露出しており、やはり地面からのラドン散逸の結果であろう。ただし、1、2階の濃度に差がみられないが、今後、年間をとおした測定値が得られれば差のあるものは明確になると考えられる。

### 床下地面の防湿施工のラドン散逸阻止効果

以上のように、地面からラドンが散逸が、特に1階のラドン濃度を高めていることから、地面からのラドン散逸を抑制することを考慮する必要がある。別途行って実験で明らかになったことであるが、地面からとは限らずラドンはラジウム含量の多い無機物から水分とともに散逸するから、床下地面の防湿施工がラドン散逸抑制に効果的であると予想される。また、床下の空気の滞留はラドン濃度を高める効果をもつことも考えられる。

図3. 4の木造住宅1は古い住宅であり、床下地面は露出している。一方、同一地域に建てられた新しい住宅である木造住宅2の床下地面はコンクリートによる防湿施工がほどこされている。両者の床下のラドン濃度には大きな差がみられ、防湿施工の効果がはっきりみられる。その濃度に対応して、1階居室のラドン濃度にも差が現れている。すなわち、床下地面の防湿施工のない住宅1の1階居室では、施工されている住宅2の床下と同じ程度の高い濃度となっている。

図3. 5において岩手、神奈川、愛媛、鹿児島住宅の床下は、コンクリートスラブまたはビニールシートによる防湿施工がなされており、床下において特に高いラドン濃度は測定されてはいない。静岡では防湿施工がなされてはいないにもかかわらずラドン濃度は低く、鹿児島ではモルタル施工がなされているがレベルが高いなどの矛盾がみられるが、今後測定時期（回数）が増えてくると、この点も明らかにされると思われる。

### 壁土や無機建材の影響

木造住宅において、ラドン散逸源となるものに壁土があげられる。最近の木造住宅では、壁土を用いずに無機建材である石膏を使用したプラスターボードなどの多用もめだつところである。

表3. 1に、土壁のサンプルのデシケータ内平衡ラドン濃度と散逸量の測定結果を示す。同時に、比較のため平成元年度の報告書に記載した各種無機建材の測定結果も示した。

表に示すように、土壁のラドン・トロン散逸は非常に高く、セメント板と同じかそれよりも高い値をとる。また、実際に施工に用いられている石膏ボードはいままで測定されたことがないほどの高い値が測定された。これらの材料の測定値の固体差は大きく、同一名の材料が同じ程度のラドンを散逸するとは限らない。現に、表の中には二種類の石膏ボードのデータがあるが、そのラドン濃度は6倍

も異なる。ラジウム含有量はメーカーや製造ロットごとに異なると考えられが、いずれにせよ、これらの石膏ボードは、副産石膏であるリン酸石膏（測定値は平成元年度の報告書参照）を原料としていることは明らかである。

無機建材の原材料となる物質にはいろいろなものがあるが、表3. 2に比較的一般的に使われるものについての測定データを示す。RC建造物に使われるコンクリートはセメントに骨材である砂利を混ぜて固めるが、表の結果でみるようにセメント自体にもかなりのラドン散逸がみられる。コンクリートは、その骨材である砂利のラジウム含量もコンクリートのラドン散逸量を左右する因子である。セメントの種類によって、ラドン散逸量が異なるのは添加される石膏の種類によって考えられる。

石膏のうち、美術工芸用に用いられる天然石膏のラジウム含量は少ないが、建築材料の原料としてよく使われる副産石膏のうちリン酸石膏は非常にラドン散逸が大きい。これは、肥料の硫化アンモニウムを作る過程で副産されるもので、安価であり大量に用いられたが、不純物としてラジウムの含量が多いためラドンの散逸量が多い。

表3. 1に示した石綿スレート板のラドン散逸量が多いのは、表3. 2で明らかのようにアスベストそのもののラドン散逸が大きいことによるが、それ以上に原料であるセメント、ひいては石膏の種類によるものと思われる。

これらの材料が室内空気の換気の少ない室内に多量に使われると、木造住宅といえど、室内ラドン濃度が上昇することが懸念される。そういったことがないにしても、施工時に石膏や土の粉末が肺粘膜に付着することによって、施工作業員の健康に悪影響を及ぼすことも考えられよう。また、土壁を用いる場合も、あらかじめラドン濃度の高くない材料を選択することや、施工時には適当な吸い込み予防措置を講じることも必要なことであろう。

### 3. 4 ラドンシーラントとしての木材

これまでに、住宅内のラドン濃度のレベルは概略つかむことができた。その発生源も、コンクリートなど無機建材であったり、木造住宅では床下の地面であったりする。

日本の将来の住宅事情を考えると、特に都市型住宅ではRC造が多くなることは避けられないであろうし、木造住宅においても防火、施工の安易さなどから無機建材は多用されるであろう。さらに、省エネルギーの要求もますます強くなることが考えられ、室内空気の換気の改善にも限界があるだろう。その場合に、ラドンを発生する建材も適当な材料で被覆することによってラドン散逸量を低減させる施策が考えられよう。そのような目的で使われる材料をラドンをシールする物という意味で、ラドンシーラントとよぶ。

すでに、ビニールシートや各種塗料のラドンシーラントとしての性能が測定されている。しかし、これらビニール系の材料は透水性も少なく、住環境の改善という目的からは実用に遠いものと考えざるを得ない。

木材は、調湿機能、断熱機能に加えその色、模様など視覚特性にもすぐれた高性能な住環境材料である。しかもその水分拡散能（横方向水分拡散係数： $10^{-6} \text{ cm}^2 / \text{sec}$ ）から類推して、気体分子の拡散透過にも一定の時間がかかることが考えられる。このことが、木材のラドンシーラントとしての性能を期待させる。

表3. 3 (a)、(b)は、一般に工業的に用いられている「つき板」について試みたラドン低減率の測定値である。その値は数%から60%近くの値までばらついているが、それらの目ぎれなどによるラドンの透過を考えると、ラドンシーラントとしての木材の性能には実用的に期待させるものがある。

図3. 6は、3種類の針葉樹についてその厚みに比例してラドン濃度の低減が増大する例である。

これらの測定値は、その測定法にまだ多少の問題があり、それらの詳しい解析をするまでには至っていない。しかし、そのラドン低減の機構としては、木材中をラドンが拡散していく間の時間とラドンの半減期（約3.8日）との相互作用で、拡散途中でラドンが放射能を失うものと考えられる。

このように、木材によって無機建材から散逸するラドンの放射能を低減させ得ることが期待されることから、木材を内装材として使用することの重要性がさらに認識される。

これからの住宅には、良好な住環境の維持のためにRC造住宅にも木造住宅にも内装材として木材・木質建材が積極的に多用されるべきである。



### 3. 5 おわりに

#### 屋内ラドン濃度を抑えるために

人間の健康に与えるラドンの影響についてはいろいろ議論のあるところである。

高レベルの放射能の危険性については、一般の認識は高く、特に日本においては過敏なまでに周知されている。しかし、低レベルの放射能についての認識は、そのデータが不足していることもあって一般には認識は低いといえる。

「昔からラドン温泉は健康には良いとされてきた」、「ラドンは各種疾病の治療に用いられてきた」、「太古の人類はラドン濃度が高いであろう穴居生活をしていたではないか」など、もろもろの事例から、ラドンの危険性については懐疑的な見方も多い。

しかし、低レベルの放射能においても、「長期間さらされる場合には安全なレベルなど存在しない」というのが放射線安全工学の分野での共通認識である。それは、放射能の発癌機構にレベルの高低による差異がないこと、低レベル放射能の発癌率は、高レベル放射能による発癌データの疫学データの延長上にあり、その確率がゼロではないことなどによる。

この項目では、3年間にわたり、いろいろな条件のもとでの屋内ラドン濃度を測定解析してきた。それは、安全なラドン濃度のめやすを提供するための研究ではない。放射線安全工学の認識にたって、自然放射能を人為的に高める住環境を

避けることを目的として行っているものである。この考えはまた、欧米先進諸国でも同様であり、日本においてもこれからの住環境の一因子として位置づけられるであろう。

現時点で、屋内ラドン濃度を高めない施策の提言を行うとすれば以下の点である。

1) ラドン発生源は、床下地面と無機建材である。それを低減するには、床下地面を防湿施工する。コンクリート打ちやビニール引きが効果的である。最近、活性炭で防湿する試みがあるが、活性炭はラドン・トロンの吸着機能があり効果的かもしれない。別途測定を試みている。いずれの場合も床下換気が複合的に有効であろう。

2) 無機建材は、特に高いラジウム含有量をもつ副産石膏などの原材料を使用していないものを用いることが重要である。高いラジウム含量の無機建材でも換気の良い場所に使用すれば室内ラドン濃度を高めることは無いが、施工時や解体時の作業員の健康や粉末飛散のことを考えれば、現在のアスベストの問題と同様な注意がはらわれるべきであろう。

いずれにせよ、無機建材を製造する段階でラドン散逸量の測定はなされるべきである。

3) 壁土も、ラドン発生源になることを考えると、とくに高いレベルの壁土の

使用は、無機建材と同様に、使用にあたっては注意が必要である。これもラドン散逸量の測定はなされるべきであろう。

4) R C造住宅も含め、外気との換気には注意がはらわれるべきで、少なくとも1回/時間程度の換気回数は必要と考えられる。これは、省エネルギーとは対する考えであるが、高性能の熱交換器の開発が伴えば両者の両立は可能であろう。

5) R C造住宅など、無機建材の使用が不可欠な場合はラドンシーラントの施工が効果的であろう。その場合、木質系建材の使用は温湿度環境の維持の面からも有効で最良の内装材となる。ラドンシーラントとしての木材の性能は、樹種や方向性、厚さなどによって異なるがその数値については現在研究中であり、今後の研究に待たねばならない。

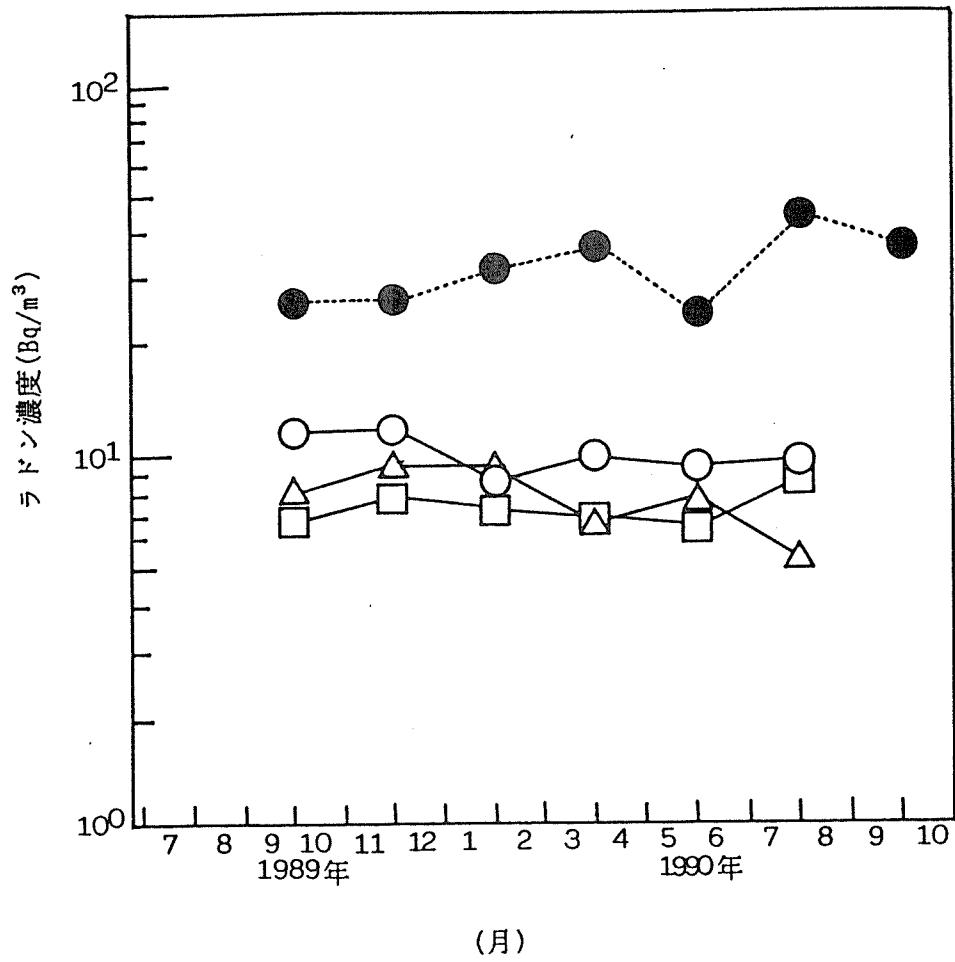


図3. 1 木造住宅内及びR C造住宅内ラドン濃度の年間推移

- : 木造住宅3・床下
- △ : 木造住宅3・1階
- : 木造住宅3・2階
- : R C造住宅

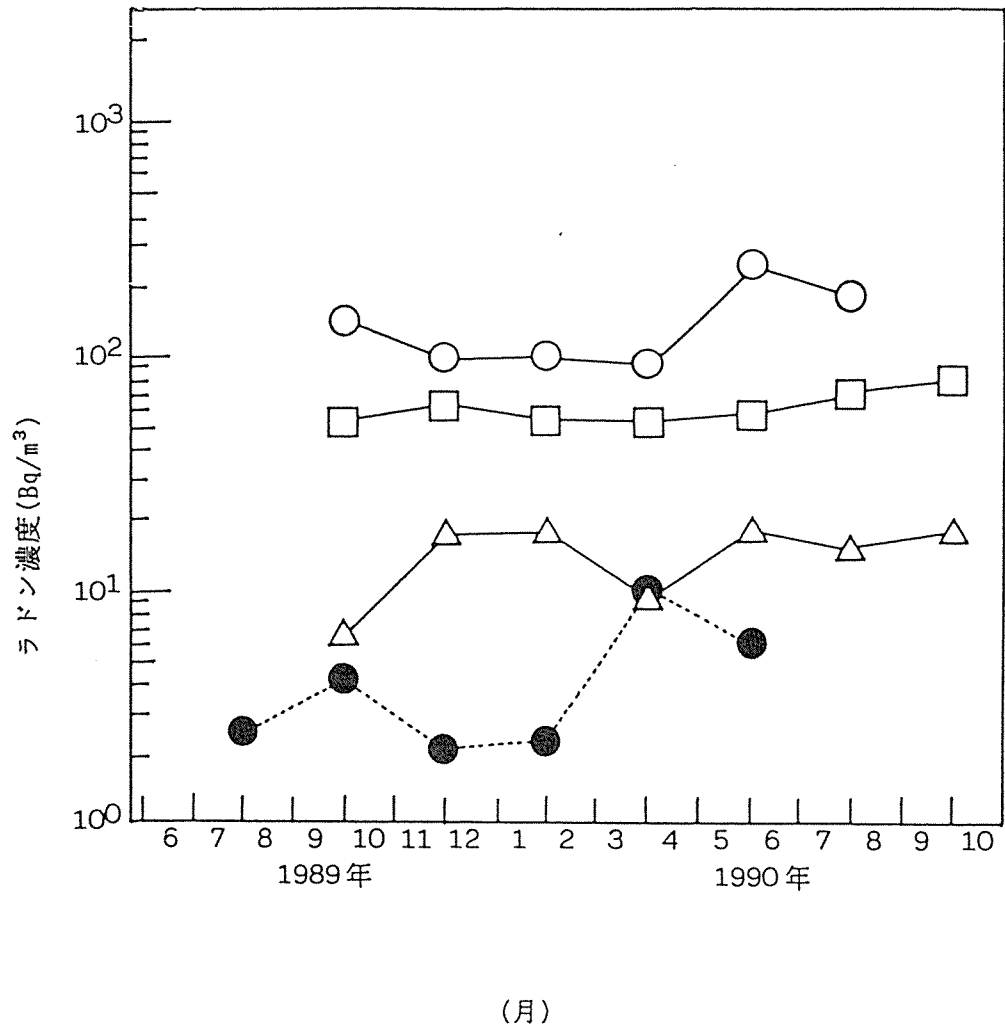


図3. 2 校舎内及び鉄骨倉庫内ラドン濃度の年間推移

- : 木造校舎・床下
- △ : 木造校舎・教室
- : R C 造校舎・教室
- : 鉄骨倉庫

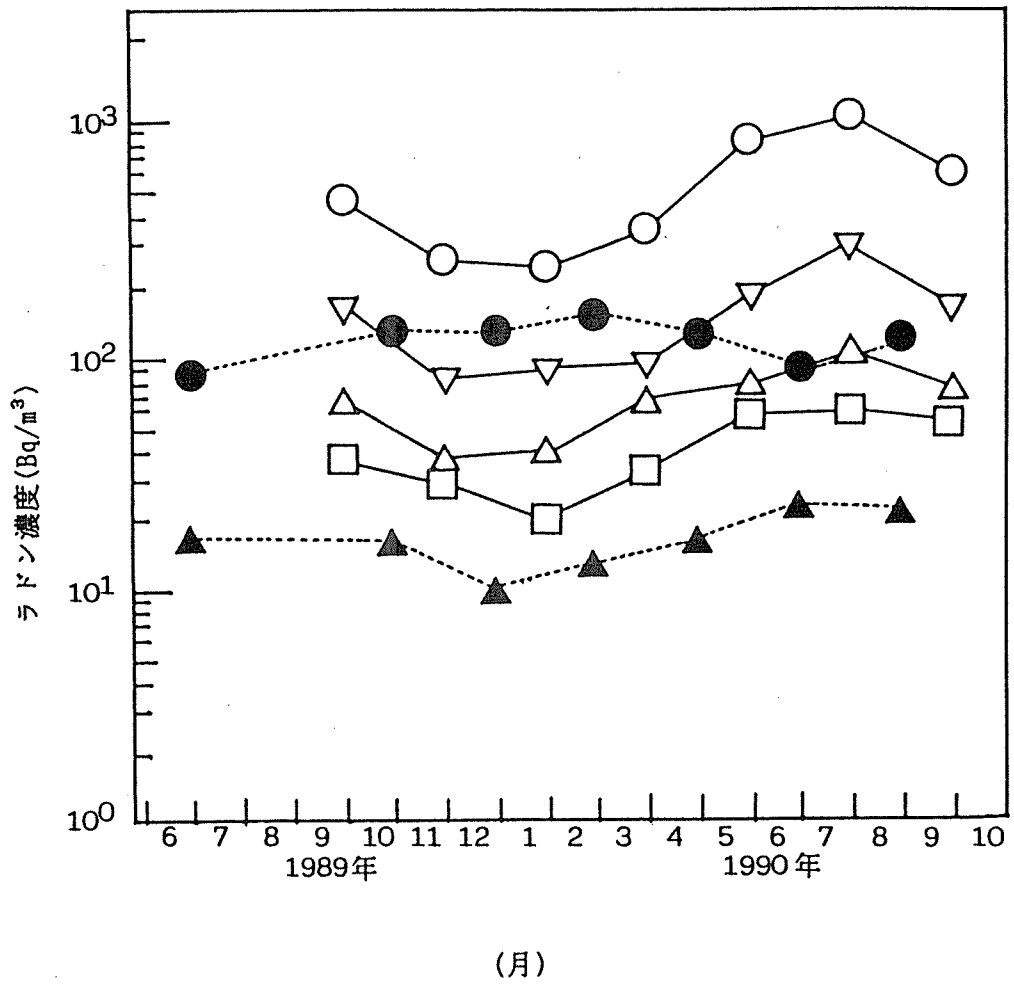


図3. 3 R C造図書館及びR C造実験室内ラドン濃度の年間推移

- : 図書館・倉庫
- △ : 図書館・書架
- : 図書館・通路
- ▽ : 図書館・マイクロフィルム資料室
- ▲ : 実験室 1
- : 実験室 2

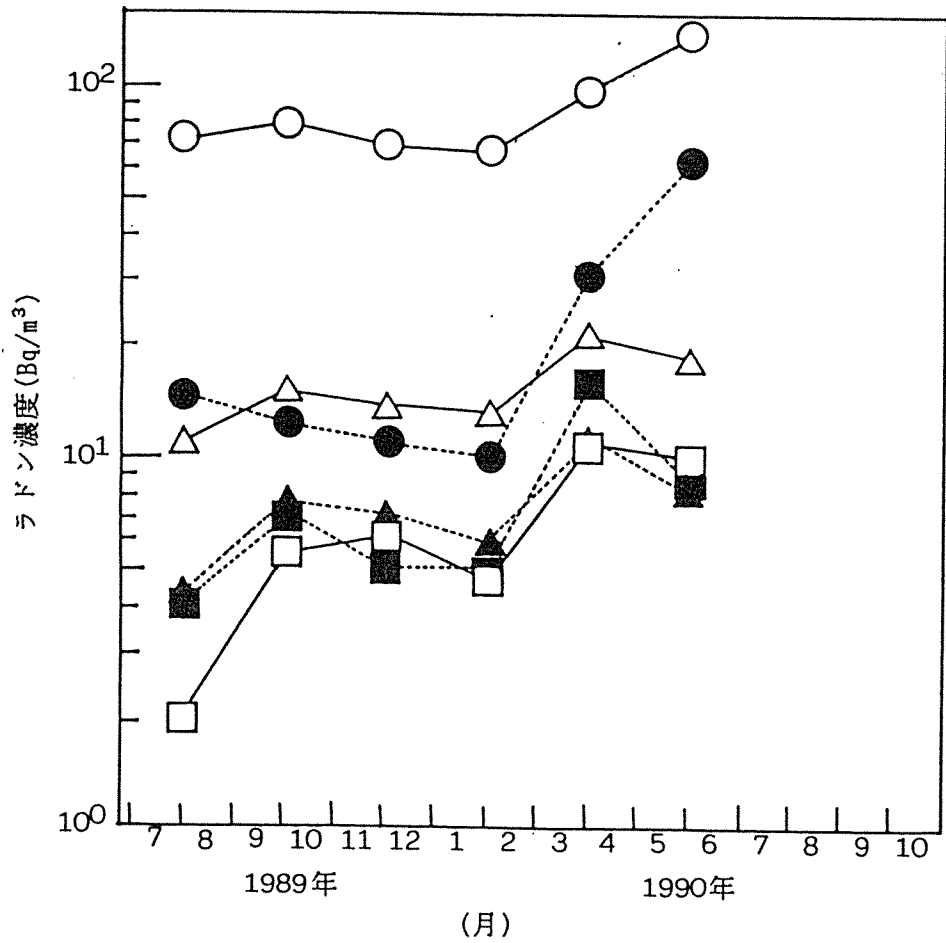


図3. 4 木造住宅内ラドン濃度の年間推移

- : 木造住宅1・床下
- △ : 木造住宅1・1階
- : 木造住宅1・2階
- : 木造住宅2・床下
- ▲ : 木造住宅2・1階
- : 木造住宅2・2階

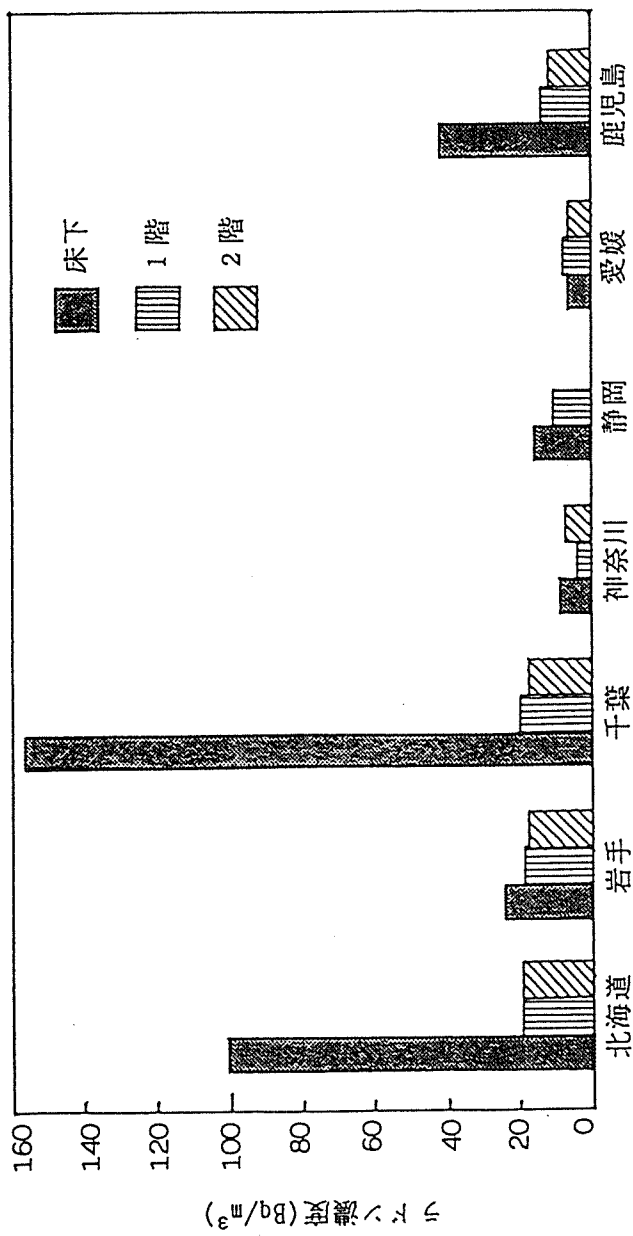


図3. 5 木造住宅内ラドン濃度の全国測定例  
(1990年夏~秋)



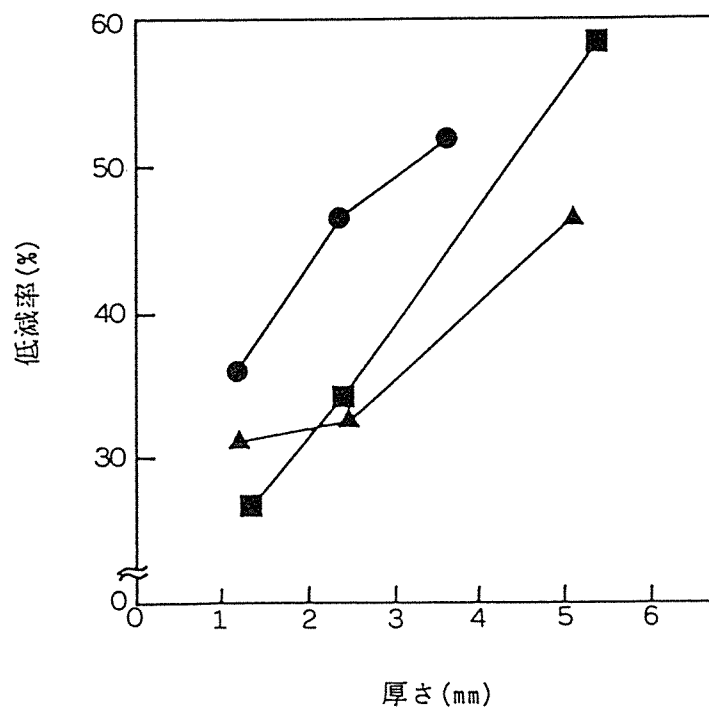


図3. 6 木材を透過したあとのラドン濃度低減率

- : ベイツガ
- : スプルー ス
- ▲ : スギ

表3. 1 各種建材のデシケータ内平衡ラドン濃度と  
それから計算したラドン散逸量

試料	平均ラドン濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )	ラドン散逸量 (Bq/kg)
石綿スレート板	1120-1260	11.3-13.0
パルプセメント板	696-719	7.21-7.29
フライアッシュセメント板	579-668	5.87-6.92
石膏ボード	571-607	5.91-6.15
木片セメント板	328-356	3.40-3.61
石綿セメントケイ酸カルシウム板	217-253	2.25-2.56
コンクリートブロック	130-135	1.02-1.16
ロックウール板	23-30.3	0.24-0.31
ラワン合板	11.5-12.1	0.119-0.123
-----		
アスベスト (愛知県東海市の鉄骨倉庫)	80.5	2.48
土壁1 (愛知県東海市の築後60年の木造住宅)	410	4.21
土壁2 (名古屋市の住宅)	1028-1446	10.5-14.8
石膏ボード (愛媛県松山市の住宅)	2963	29.8

表3. 2 建材に使われる各種無機材料の平衡ラドン濃度とラドン散逸量

試料	平均ラドン濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )	ラドン散逸量 (Bq/kg)
セメント		
アルミナセメント	228	2.38
ポルトランドセメント	191	2.72
ポルトランド白色セメント	171	2.44
フライアッシュセメント	23.2-32.4	0.24-0.33
高炉セメント	184	2.62
インスタントセメント(砂入り)	21.4-44.3	0.22-0.45
インスタントセメント(白色)	13.9-18.8	0.142-0.193
セッコウ		
無水セッコウ	6-10	0.062-0.102
天然セッコウ	3	0.030
焼セッコウ	18.6-19.9	0.191-0.205
αセッコウ	8-10	0.079-0.099
排煙脱硫セッコウ1 (C電力O火力発電所)	7-22	0.072-0.225
“ 2 (間接法・二水)	14.5	0.147
“ 3 (灰色)	118.8	1.20
“ 4	38.6	0.39
“ 5	11.9-16	0.123-0.165
硫安セッコウ	22	0.22
チタンセッコウ	360	3.62
リン酸セッコウ	4700-7800	48-93
その他		
アスベスト	202	8.63
フライアッシュ	55.7	0.58
ソーダ石灰(小粒状ソーダライム)	39.5	0.41
ロックウール(樹脂コーティング)	13.1	0.82
ケイ酸カルシウム	1.2-3.6	0.012-0.037
ジブカル(膨張性混和剤)	37.2	0.39

表3. 3 (a) 木材つき板を透過したあとのラドン濃度低減率  
(広葉樹材)

試料	厚さ(mm)	低減率(%)
ヤチダモ	0.98	21.4
ミズナラ	0.88	56.4
オニグルミ	0.90	32.7
キハダ	0.86	10.6-24.2
ブビンガ	0.97	45.4
ウエンジ	0.85	34.6
ケンバス	1.15	33.7
サトウカエデ	1.17	44.5
レッドアルダー	1.15	33.1
ハルニレ	1.01	6.5
ヤマザクラ	1.00	20.0
カリン	1.08	41.9
ブラック ウォルナット	1.01	4.1
サペリ	1.01	47.4
チーク	0.86	27.1
セン	1.16	31.0

表3. 3 (b) 木材つき板を透過したあとのラドン濃度低減率  
(針葉樹材)

試料	厚さ (mm)	低減率 (%)
ローソンヒノキ	1.02	31.5
ベイツガ	0.81	34.2
ヒノキ	0.81	32.0
スギ	1.22	31.3
ウエスタン		
レッドシーダー	0.86	26.3-67.0
スプルース	0.82	31.6-48.3
ダグラスファー	1.04	11.4-59.9

## 4. 室内環境における落下真菌の測定及び同定

### 4.1 はじめに

住環境における空気汚染要素の主要なもののひとつに、微生物、特に真菌類があり、保健上重要なものとされている。真菌類は糸状菌、いわゆるカビであり藻状菌、子のう菌、担子菌、および有性世代の不明な不完全菌より構成される。

住環境では、その様態に応じて室内塵（ハウスダスト）が発生することは不可避の現象である。一般に室内塵の組成は鉱物質が最も多く、ついでタンパク質、炭水化物、及び脂肪が含まれるといわれる<sup>1)</sup>。これらのダスト中には様々な生物が生存するが、真菌類はアレルゲンとして、一世紀以上も前から知られており、特に過去2、30年カビによるアレルギー患者が激増してきており、注目されているものである。

真菌類のうち、37°Cで生育可能なものは、その全てがヒトや動物に対して、病原性を持ち得るといわれている<sup>2)</sup>。しかし、真菌類は、その複雑さの故に、汚染物質の中では不明な点が多いものといわれている。

今回は、前回<sup>3)</sup>に引続き、公共の住環境として小学校を中心に、中学校、文科

系の大学、理科系の大学を測定の対象とした。更に、前回と同様に一般家庭の空中落下菌の測定も行い、これらの住環境の実態の一部を調査することとした。

## 4.2 実験

### 4.2.1 使用培地

クロランフェニコール入りPDA培地を用いた。剥皮し細切した馬鈴薯200gを1リットルの水に加え30分間蒸煮する。この蒸煮液を2重ガーゼで濾過し、濾液にグルコース20g、細菌の発育を抑制するためにクロランフェニコール50mgを加え加熱し溶解する。この培地を滅菌済み綿栓試験管に分注し、120°C、15分滅菌する。測定直前に、この培地を加熱溶解し、直径90mm滅菌ペトリー皿に分注して用いた。

### 4.2.2 空中落下菌の採取方法

ペトリー皿の開蓋時間は10分として、1件について2枚のペトリー皿を用いた。採取時、ペトリー皿の位置は、測定場所の様態に応じて、床上50cmないし1mとした。

### 4.2.3 培養条件及び分離株の同定

採取済みのペトリー皿は、28°Cの恒温器にいれ培養を行い、5日目の発生コロニー数を計測、記録した。各コロニーは適当な時期に検鏡し、必要に応じ斜面培地に接種して保存した。

分離株の同定検索は宇田川らの”菌類図鑑”<sup>4)</sup>及び長谷川らの”微生物の分類と同定”<sup>5)</sup>に従い、同定は属の段階でまとめ各表の備考欄に掲げた。同定の困難なもの及び同定不能なものは記入しなかった。

#### 4.3 結 果

##### 4. 3.1 上之保小学校の落下菌菌数

前回に引続き、岐阜県武儀郡上之保の上之保小学校を測定の対象とした。この小学校の校舎は木造とRCによって構成されている。空中落下菌の採取は1990年8月6日(表-1)、12月26日(表-2)、1991年2月18日(表-3)の3回実施した。8月6日は夏期休暇、12月26日は冬期休暇であり、学童は登校していなかった。また、2月18日は授業終了前後で学童の動きの大きい時間帯であった。

表-1の、8月6日及び前日8月5日の天候は共に晴れ、当日測定時の外気温及び湿度はそれぞれ35.5°C及び43%、職員室の室温及び湿度はそれぞれ33.0°C及び50%であった。職員室及び校長室の菌数は、前回同様、一般事務所なみの数値である。教室の菌数も学童が登校していないのでほぼ同様の数値である。廊下は菌数がやや多く、1階の菌数が2階のそれより多く、一般に観測されているのと同様の傾向が示されている。屋外の菌数は風の強さに大きく影響を受けるものであるが、今回は特に午後は菌数が少なく、風の穏やかな日であったことを示している。また、



前回の結果も含め、小学校の校舎に於て真夏に落下菌の菌数の測定をしたのは始めてのことであるが、コロニーにペニシリウム属が多く見いだされ、一般的な傾向を示している。また、この表を見る限りにおいては、木造とRCとの間に差異は見いだされない。

表-2には12月26日の結果を示した。前日の天候は晴れときどき小雨、当日は曇り、測定時の外気温及び湿度は13.5°C及び80%、職員室の室温及び湿度はそれぞれ14.5°C及び54%であった。校長室の菌数は表-1の結果に比べてかなり少なく、夏季と冬季の大気中の菌数の差異を示している。学童のいない教室の菌数は表-1の場合と同様、一般事務所なみの菌数である。屋外の菌数はかなり多く、当日が風のかなり強い日であったことを示している。また、1階RC廊下のみが菌数が多くこの廊下の窓が解放されていた可能性が強い。なお、冬季のコロニーには夏季のように多数のペニシリウム属は見いだせず、むしろアスペルギルス属が多く見いだされた。

2月18日の結果は、表-3に示すとおりである。この日及び前日の天候は曇り、測定時の外気温及び湿度はそれぞれ5.0°C及び35%、職員室の室温及び湿度はそれぞれ14.0°C及び48%であった。校長室の菌数に関しては表-2の結果と同様である。この日は通常の授業が行われていた。しかし、教室の菌数は一般に少ない。特に測定中に授業が終了し学童に一定の動きのあった5年生の教室の菌数も少ない。また、

測定中に工作の授業が行われ、教室の後部では掃除が行われていた3年生教室でも特に大きい菌数ではない。なお、コロニーの同定については表-2の場合と同様である。

#### 4.3.2 上之保中学校の落下菌菌数

上之保中学校の菌数測定は、表-3と同じ2月18日に行った。この中学校の校舎はRCである。職員室の菌数は一般事務所の菌数なみである。一方、教室の菌数はその測定数は少ないが、測定時教室は無人であったためと考えられる。

#### 3.3 理科系大学の落下菌菌数

測定時期は、1990年11月29日から翌1991年1月18日までの冬季に限られたが、会議室、研究室とも一部の例外を除いて菌数は少なく、一般事務所なみであった。学生実験室では、測定当時10数名の学生が有機合成の実験を行っていたが、落下菌コロニー数は意外に少なかった。廊下は測定時、人の通行がかなり多かったがこれも少ない数値であった。この建物の清掃は清掃業者によって月1回行われ、年に1回自主的に大掃除が行われている。その程度で上記のような結果である。しかし、測定時にかなり粉塵の出る作業が行われていた研究室aでは、やはり多いコロニー数が得られた。なお、注目に値するのはエレベーター内である。このエレベーターは毎日かなりの回数、各研究室から排出される廃棄物をまとめて運搬する

のに使用されている。測定時も廃棄物の運搬車の出入りがあったのでこのように極めて多数のコロニーが出現したものと考えられる。

#### 4.3.4 文科系大学の落下菌数

この場合も測定は12月1日で冬季であった。ここも比較的少ない菌数であった。特に講義室aは学生100数名の一般教室、講義室bは200数名が受講していた階段教室であったが、落下菌コロニー数は極めて少なかった。この大学のキャンパスは良く整備され、建物の内部は毎日清掃されて清潔に維持されているためと考えられる。

#### 4.3.5 木造一般住宅の菌数

昨年に引続いて、愛知県瀬戸市住宅団地内の木造在来2階建ての住宅の調査を行った。測定は1990年8月6日、12月6日及び1991年1月11日の3回である。結果は表-7のように前回と基本的には同様であり、日が当たり乾燥しやすい南面の居室は、北面の居室に比べて菌数が少ない傾向がある。夏季には上之保小学校の場合と同様ペニシリウム属が見いだされ、冬季にはむしろアスペルギルス属が多く見いだされている。浴室は夏期は菌数が比較的多く、ペニシリウム属、クラドスポリウム属、及び酵母類が見いだされた。空中の真菌類の数は一般に冬季は最小で、春から夏にかけて増加するが、冬季、暖房されている一般住宅では菌の質はともかく、菌数には大きい差異は認められなかった。

#### 4.3.6 RC一般住宅の菌数

昨年と同様、名古屋市千種区のマンション4階を1990年12月6日に調査した。結果は表-8のように木造住宅の場合とほぼ同様である。しかし、今回は浴室の菌数は比較的少なかった。炊事場の調査は今回が初めてであるが、菌数は0であり、この家庭の生活ぶりが窺えるようである。

なお、浴室では、石鹼の泡などが付着し、その材料の脂肪酸（オレイン酸など）が真菌生育の炭素源となり、クラドスポリウム、アクレモニウム、ロドトルラなどの酵母類、ペニシリウム、アルテルナリア、フォーマ、オーレオバシデイウム、アスペルギルス、フザリウム、トリコデルマ属などがよく見いだされるといわれる。今回の調査においては、落下菌の調査を行ったのみであるが、前年度の結果も含めて、木造住宅の浴室からはクラドスポリウム、酵母類、ペニシリウム、及びアスペルギルス属が検出された。また、RC住宅の浴室からは酵母類及びペニシリウム属が見いだされた。

#### 4.4 住環境のあるべき姿

過去2ヶ年にわたり、公的な住環境として小、中校及び大学、また個人の住環境として木造及びRC住宅の落下菌数の測定を行ってきた。その結果夏季は冬季よりも菌数が多く、また、水の使用を伴う浴室などの菌数は他の居室のそれに比べ多

い菌数を示した。しかし、いずれにせよ、若干の例を除き落下菌に関する限り、夏季においてさえ、特に問題になりそうな数値ではなかった。

また、浴室の菌数においても特に大きい数値でなかったことについては、調査対象の住宅では、そのいずれも換気を十分に行い湿度を常に低く保つような努力がなされていた点があげられる。

公共の住環境に関連して、小中校の教室においては、特に大きい数値ではなく、多人数が群居する授業中の教室環境においても、菌数に関する限り問題はなさそうである。ただし、平成2年度に行われた調査に明らかのように、授業終了後は特に、木造教室において落下菌数が多く、教室の材質が学童の活動度に影響を及ぼすらしいという結果が得られたことは興味深いことである。

一方、200人以上が聴講する大学の講義室や学生実験室などについても文科系、理科系の差異なく共に低い菌数である。また、事務室、研究室、会議室、廊下などでも問題になるような菌数は見いだせなかった。

以上のように調査した一般の公共及び個人の住環境の落下菌数については特に問題になる点は見いだせなかった。ただし、廃棄物を運搬する際使用されるエレベーター内の落下菌は異常に多く、不安を感じさせる菌数である。特に、夏季などは扇風機を回転させつつエレベーターが運行されることが多いので、エレベーター内の清掃及び殺菌は不可欠であろう。

この調査を行うにあたり、落下菌の採取に協力された名古屋大学農学部 服部芳

明 博士及び奥山 剛 助教授に深謝致します。

## 文 献

- 1) Bronswijk, J (森谷清樹訳) : ハウス ダストの生物学, p. 29, 西村書店, 東京  
(1990)
- 2) Al-Doory, Y. and Domson, J. F., (田中健治ら訳) : かびアレルギー, p. 37, 学  
会出版センター, 東京(1989)
- 3) 日本住宅木材技術センター: 住宅部材安全性能向上事業報告書 住環境に関  
する総合調査, 119-144(1990)
- 4) 宇田川俊一ら, 菌類図鑑, 上, 及び下, 講談社, 東京, (1978)
- 5) 長谷川武治 (編) : 微生物の分類と同定, p. 30-35, 東京大学出版会, 東京  
(1975)
- 6) 神野節子: 日本防菌防ばい学会第5回年次大会講演要旨集, 63-64(1978)

表-1 上之保小学校の落下菌コロニ一数 (1990年8月6日)

	採取場所	構造	階数	採取時間	コロニ一数	
1	廊下	木造	1	午前	11	Pen., 酵母
2	校長室	同	同	同	0	Paecilomyces sp., 酵母
3	同	同	同	午後	0	酵母
4	職員室	同	同	午前	2	Pen.
5	廊下	RC	同	同	1	Pen., Asp.
6	1年生教室	同	同	同	2	Pen.
7	同	同	同	午後	1	
8	廊下	木造	2	午前	1	Pen., Asp.
9	6年生教室	同	同	同	1	Pen., Asp.
10	同	同	同	午後	2	Pen.
11	廊下	RC	同	午前	1	
12	3年生教室	同	同	同	1	Pen.
13	同	同	同	午後	1	
14	屋外			午前	5	Pen., Clad., Asp., 酵母
15	同			午後	3	Pen., Asp., 酵母

表-2 上之保小学校の落下菌コロニ数 (1990年12月26日午前11時14分-11時40分)

	採取場所	構造	階数	コロニ数	
1	廊下	木造	1	2、	Pen.
2	校長室	同	同	0、	Asp.
3	廊下	RC	同	7、	Asp., Clad., Pen.
4	1年生教室	同	同	4、	Asp.
5	廊下	木造	2	2、	Pen.
6	5年生教室	同	同	0、	Alternaria sp.,
7	廊下	RC	同	0、	Asp.
8	3年生教室	同	同	0、	
9	屋外			8、	Clad., Asp., 酵母



表-3 上之保小学校の落下箇ココニ一数 (1991年2月18日 午前11時18分-12時32分)

	採取場所	構造	階数	ココニ一数	
1	廊下	木造	1	0、	Clad.
2	校長室	同	同	1、	Asp.
3	廊下	RC	同	3、	Asp., Clad.
4	2年生教室	同	同	1、	Asp.
5	廊下	木造	2	1、	Asp.
6	5年生教室	同	同	1、	酵母
7	廊下	RC	同	2、	Asp., Pen.
8	3年生教室	同	同	3、	Pen.,
9	屋外			4、	Asp., Clad., 酵母

表-4 上之保中学校の落下菌コロニー数（1991年2月18日 午後2時28分-44分）

	採取場所	構造	階数	コロニー数	
1	廊下	RC	1	0、	0
2	職員室	同	同	2、	0 Asp.
3	廊下	同	3	0、	0
4	教室	同	同	1、	1 Asp.
5	外気			2、	2 Alternaria sp., Asp., 酵母

表-5 名古屋大学農学部の落下菌コロニー数 (1990年11月29日-1991年1月18日)

	採取場所	構造	階数	採取時間	コロニー数	
1	廊下 a	RC	5	12月4日 pm	3、	Asp., 酵母
2	同 b	同	同	同	3、	Asp., 酵母
3	会議室	同	4	11月30日 pm	2、	Clad., 酵母
4	研究室 a	同	5	11月29日 pm	4、	Asp., Alternaria sp., 酵母
5	同 b	同	同	1月18日 am	1、	Asp.
6	同	同	同	同 pm	1、	酵母
7	同 c	同	同	1月17日 pm	1、	酵母
8	同 d	同	同	同 am	0、	
9	同 e	同	同	12月4日 pm	1、	酵母
10	学生実験室	同	同	同	1、	酵母
11	エレベーター内			11月30日 am	26、	Asp., Clad., Pen., 酵母
12	同			1月17日 pm	18、	Asp., 酵母, Clad.

表-6 文科系大学の落下菌コロニー数 (1990年12月1日 am)

採取場所	構造	階数	コロニー数	
1 廊下	RC	2	2、	Asp., 酵母
2 教授控室	同	同	1、	酵母
3 講義室 a	同	1	1、	Asp., 酵母
4 同 b	同	3	2、	Clad.

表-7 一般住宅（木造在来）の落下菌コロニ数

	採取場所	階数	採取日時	コロニ数	
1	北居間	1	8月6日	3、	Pen.
2	南居間	同	同	2、	Asp.
3	浴室	同	同	4、	Pen., Clad., 酵母
4	北居間	2	同	3、	Pen.
5	北居間	1	12月6日	2、	Asp.
6	南居間	同	同	2、	Asp.
7	浴室	同	同	2、	酵母
8	北居間	2	同	1、	
9	北居間	1	1月11日	1、	Clad.
10	南居間	同	同	1、	Asp.
11	浴室	同	同	2、	Pen., 酵母
12	北居間	2	同	1、	

表-8 一般住宅(RC)の落下菌コロニ数

	採取場所	階数	採取日時	コロニ数	
1	北居間	4	12月6日	2、	酵母
2	南居間	同	同	1、	Asp., 酵母
3	同	同	同	0、	酵母
4	浴室	同	同	1、	酵母
5	炊事場	同	同	0、	

## 5. 木造教室内の炭酸ガス濃度と換気について

### 5. 1 はじめに

木造校舎とそれに隣接する鉄筋コンクリート造（RC造）校舎内の温湿度環境を調査した結果、木造校舎の方が温湿度環境に関してはより好ましい環境になっていることを筆者らは明らかにしてきた<sup>1)</sup>。このような好ましい温湿度環境が形成されている理由の一つとして木造校舎の気密的な性能の向上があげられる。気密的な性能が向上すれば、室内空気を新鮮に保つための換気計画が今までよりも重要問題として扱わなければならないようになってくる。

本報告では、暖房期における教室内のCO<sub>2</sub>濃度の実態をとらえ、近年建築された木造教室の換気における問題点を実測値をもとに整理し、教室の換気を維持することの必要性和改善への指針を明らかにすることを目的とした。

### 5. 2 炭酸ガスの許容濃度

炭酸ガス（CO<sub>2</sub>）の人体に対する毒性は他の有毒ガスに比べて弱く、また、日常生活や学校生活においては数%の高濃度のCO<sub>2</sub>を吸入することはほとんどないため<sup>2)</sup>、それほど注意の注がれることは多くない。

大気中のCO<sub>2</sub>濃度は0.03%（300ppm）程度であるが、この濃度が3%程度まで高くなっても生体にとって危険な影響はないとされている。しかし、4%の高濃度になると生理的に悪影響が現れ、頭痛、めまい、顔面紅潮、耳なり、徐脈、血

圧上昇、眼および上部気道の刺激症状が起こるとされている<sup>2)</sup>。日常生活で遭遇するCO<sub>2</sub>濃度はこのような高い値ではなく、たとえば人混みにおけるCO<sub>2</sub>濃度値は、デパートで0.04～0.31%、映画館では0.05～0.5%、オフィスでは0.05～0.3%である<sup>3)</sup>。

日本産業衛生学会は労働環境についての許容基準の中でCO<sub>2</sub>許容濃度を0.5% (5,000ppm) としている。自然換気よりも空気調和方式による換気のほうがCO<sub>2</sub>濃度の増加が少なく、このため法的管理基準を中央管理式の空気調和設備ビルでは0.1%と厳しくされているが、自然換気を行う一般の事務所においてはCO<sub>2</sub>濃度の法的基準値は0.5%と高目に設定されている。ここで対象にしている学校教室においては、自然換気を行う一般の事務所よりも基準値は低く設定され、0.15%以下とされている。

このようにCO<sub>2</sub>自体が有害ではないにもかかわらず法的許容濃度を低く抑えている理由は、CO<sub>2</sub>濃度を室内空気の汚染の指標として用いているためである。すなわち、人間が室内にいる時は呼気によってCO<sub>2</sub>が増大するにつれて、酸素の減少とともに臭気・湿度・温度・空中のほこり等の因子も不良化する傾向があるため、CO<sub>2</sub>濃度をその総合指標として取り扱い、この濃度を一定の許容度にとどめることにしているのである。

わが国の学校建築は、騒音対策にともなって空気調和設備を導入している場合



を除いて、換気を自然換気に依存している。自然換気によってCO<sub>2</sub>濃度を低レベルに維持しようとするると相当多量な換気量となるため、特に冬季では防寒のためにかえって換気を極力抑えているのが普通であり、冬季0.1%以下を保つような教室はほとんどないと言われている<sup>2)</sup>。

なお、住居内施設、すなわち、暖房設備、湯沸器、炊事設備によるガスの燃焼にともなうCO<sub>2</sub>の発生については、有毒ガスとして扱うので、その許容濃度は0.1%より多く、0.5%を用いてよいとされており<sup>3)</sup>、学校教室においても開放型ストーブを使用している場合にも、濃度0.5%を基準に考えて良いのではなかろうか。ただし、「学校環境衛生の基準」においては開放型ストーブを使用したときの基準については触れられておらず、このような場合は廃ガス抜きを完全に施設するように指示している<sup>4)</sup>。

### 5. 3 方法

#### 5. 3. 1 炭酸ガス濃度と温度の測定方法

対象とした学校校舎は上之保小学校（岐阜県武儀郡上之保村）である。校舎の概要については文献1)を参照いただきたい。

CO<sub>2</sub>の濃度は2階に位置する木造ならびにRC造教室の後部において測定し、CO<sub>2</sub>の取入れ高さは床上100cmとした。測定器として赤外線CO<sub>2</sub>コントローラ、ZFP9型を用いた。同時に気温の垂直分布を測定した。測定時間インタ

ーバルは1分間隔とした。測定期間は、木造教室については1991年2月18日～23日、3月1日～7日、RC造教室については1991年2月23日～3月1日、3月9日～3月14日、3月19日～25日である。

### 5. 3. 2 換気回数の推定の方法と考え方

換気率の推定方法には種々な方法があるが、その一つに炭酸ガスを用いる方法があり、CO<sub>2</sub>濃度の減衰あるいは増加経過から推定する。その方法は次のようにさらに細かく3つに分類できる。(1)呼気や暖房設備から発生したCO<sub>2</sub>の蓄積による方法、(2)蓄積した呼気の減衰による方法、(3)人為的に放出したCO<sub>2</sub>の減衰曲線による方法、である。ここでは、(1)のCO<sub>2</sub>の蓄積をもとに換気回数を推定する。この方法の長所として教室空気の悪化の過程を定量的に把握でき、さらに、採暖時に内外温度差、室内の上下温度が急激に変化する場合にも適用できることが挙げられよう。

一般に、ガスが一定量M (m<sup>3</sup>/h) で発生した場合、換気量とその室のガス濃度と時間の関係は、次のガス蓄積の一般式で示される<sup>5)</sup>。

$$K_2 = K_0 + (1 - e^{-qt/v}) M/Q + (K_1 - K_0) e^{-qt/v} \quad \dots (1)$$

ここに、 $K_0$ ：外気中に含まれるガス濃度（％）

$K_1$ ：換気のはじめにおけるその室のガス濃度（％）

$K_2$ ： $t$ 時間後に到達するガスの濃度（％）

$V$ ：室の容積（ $m^3$ ）

$Q$ ：換気量（ $m^3/h$ ）

換気のはじめにおいて、室内の $CO_2$ 濃度が外気の濃度に等しいとすれば、 $K_1 = K_0$ である。換気回数 $E$ （回/h）は $Q/V$ であるから、一人当りの $CO_2$ 発生量を $m$ とし、在室者人数を $n$ とすると一人当りの気積は $V/n$ であるから、式（1）は次のようになる。

$$K_2 = K_0 + (1 - e^{-Et}) m [E (V/n)]^{-1} \quad \dots (2)$$

一人当りの $CO_2$ 発生量は成人の場合安静時で $0.022$ （ $m^3/h$ ）とされている<sup>5)</sup>。児童の場合には成人の約半分とみなすことが多いが<sup>5)</sup>、ここでは成人の6割の $0.013$ （ $m^3/h$ ）であると仮定した。

当小学校の教室の容積は $9.2 \times 7.2 \times 3 \approx 200$ （ $m^3$ ）である。一人当りの気積は、児童36名+先生一人とすると約 $5 m^3/人$ となる。

外気の $CO_2$ 濃度 $K_0$ は $0.033\%$ とした。

以上の数値を(2)式に与え、Eに種々の値を与えて経時変化を描き、実測値と比較することによって換気回数Eが推定できる。

なお、灯油ストーブからのCO<sub>2</sub>発生量は未知であるが、シミュレーションによって1.67m<sup>3</sup>/hと推定し、この値を用いた。ただし、この値については研究の余地が残る。

#### 5. 4 結果および考察

図5.1～図5.5にCO<sub>2</sub>濃度の経時変化を示す。図5.1～5.2は木造教室、図5.3～5.5はRC造教室についての結果である。灯油ストーブを点火して採暖した日は、木造教室では2月19日、20、21、22、3月2、4、5日の7日間であり、RC造教室では2月25日、26、27、28、3月11日の5日間である。一方、ストーブを使用しなかった日は、休日を除くと、木造教室では3月6日、RC造教室では3月12、13、14、20、22、23日であった。次に、灯油ストーブにより採暖した場合と採暖しなかった場合に分けて検討する。さらに、木造教室とRC造教室との換気回数の比較を行う。

##### 5. 4. 1 灯油ストーブによる採暖時のCO<sub>2</sub>濃度

木造ならびにRC造教室におけるCO<sub>2</sub>濃度の日最高値を表5.1に示す。いずれの教室においてもCO<sub>2</sub>濃度は0.35～0.42%という高い濃度であった。

先に述べたように、暖房設備のガスの燃焼にともなって発生したCO<sub>2</sub>の場合の基

準濃度を0.5%と考えると、いずれも基準以内におさまっている。しかし、文部省の「学校環境衛生の基準」は開放型ストーブを使用する場合は扱っていない<sup>4)</sup>。このため、開放型ストーブを使用した場合のCO<sub>2</sub>の許容濃度については全く触れられていない。この意味から「学校環境衛生の基準」はCO<sub>2</sub>濃度に関しては学校教室の実態とはかけ離れているといわざるをえない。

図5.6、図5.7にはそれぞれ木造教室、RC造教室において灯油ストーブを使用した場合のCO<sub>2</sub>濃度の経時変化を7時から19時まで示す。

午前8時過ぎ頃から子どもが登校してCO<sub>2</sub>濃度がわずかに上昇した後、授業が始まりストーブを点火する9時前後からCO<sub>2</sub>濃度は急上昇した。ストーブ点火後50分でほぼ飽和に近づいている。最大値は木造教室では9時40分頃、RC造教室では10時10分頃に記録されその値はそれぞれ0.42、0.38%であった。

#### 5.4.2 ストーブを使用しない時のCO<sub>2</sub>濃度

表5.2に採暖しなかった場合の木造ならびにRC造教室におけるCO<sub>2</sub>濃度の日最高値を示す。

灯油ストーブによる採暖時に比べて濃度は多少低いものの0.27~0.38%の濃度であり、「学校環境衛生の基準」に示されている0.15%をはるかに越えている。

「学校環境衛生の基準」において示されているCO<sub>2</sub>濃度の基準値は、その前提として、①放課時の窓開放により始業時は常に教室内は外気程度に新鮮であること、②授業中の換気は冬季を対象とし、室の高所の開口、すなわち、外窓または廊下側窓の欄間を開放して自然換気することとしている<sup>4)</sup>。

図5. 8と図5. 9には、それぞれ木造教室ならびにRC造教室において灯油ストーブを使用していない場合のCO<sub>2</sub>濃度の経時変化を7時から19時まで示す。

午前8時過ぎ頃から子どもが登校し、CO<sub>2</sub>濃度はわずかに上昇した後、授業の始まる8時過ぎ～9時前からCO<sub>2</sub>濃度は急上昇する。授業開始後50分で木造教室の場合0.05%から0.22%に、RC造教室の場合には0.05%から0.16%に上昇している。最大値はそれぞれ10時30分前後に記録されその値は木造教室では0.27%、RC造教室では0.21%であった。

「学校環境衛生の基準」に示されたCO<sub>2</sub>濃度0.15%以下を自然換気によって実現しようとするならば、どのくらいの換気回数が必要になるだろうか。これについては次節において検討する。

#### 5. 4. 3 換気回数について

図5. 10～5. 13に推定されたCO<sub>2</sub>濃度の経時変化（破線）を実測値（実線）に重ねて示す。ただし、換気回数の絶対値については確定的なことを言うにはまだ研究の余地が残されているが、木造とRC造教室の比較は可能である。

木造教室におけるストーブ使用時の経時変化から（図5. 10）換気回数は2.8回/h、RC造教室においては（図5. 11）3回/hとなった。

ストーブを使用していないときは、木造教室（図5. 12）において1.4回/h、RC造教室においては（図5. 13）1.4回/hという結果が得られた。

換気回数を整理してみると表5. 3、5. 4のようになる。

自然換気の場合には内外温度差の平方根に比例するとされているが、室温が急上昇している非定常過程においては単純には求められない。本項において述べた方法によれば実際に近い換気率が求められよう。

CO<sub>2</sub>減衰法では、室温の垂直分布が著しく生じるような暖房時における換気率を求めることは難しいが、本項に記した方法によると比較的簡単に換気率を求めることができる。

5. 4. 4 CO<sub>2</sub>濃度を0.15%に維持するには

図5. 14～5. 17にCO<sub>2</sub>濃度を0.15%に維持するための換気回数を求めるために実施したシミュレーション結果を示す。CO<sub>2</sub>濃度を0.15%に保つために必要な換気回数は、開放型灯油ストーブを使用した採暖時には9.5回/h、ストーブを使用していないときでは2.3回となる。これらの換気回数は木造教室とRC造教室ともほぼ等しい回数になっている。

ストーブを使用していないときには自然換気によって可能な換気回数であり、

欄間の開放等を意識的に実施すれば十分に許容濃度以下に保てると考えられる。

また、授業終了時には必ず窓を開放して室内空気を充分に入れ換えることも効果的であろう。要は、換気と保温のバランスに配慮しながら換気を心がければ許容基準以下にCO<sub>2</sub>濃度を維持できるであろう。

一方、ストーブによる採暖時にCO<sub>2</sub>濃度を基準値である0.15%に維持しようとするると開放型ストーブによる採暖時では10回/hの換気回数を実現しなければならない。もしこのような激しい換気をすれば、熱損失が膨大になることやこれ以外にも寒気の流入によってとうてい勉学生活しうる状況ではなくなる。対策としては廃ガスを外に直接導く形式のストーブを使う以外にはなからう。

## 5.5 おわりに

近年建築された木造校舎は、意匠的にもすぐれており、実際に使用している子どもや先生からも良い評価を得ている。また、すでに述べたように温湿度環境においてもすぐれており、特に冬季に快適な教室環境を提供している。その温熱環境は校舎全体のエアータイトな仕様に大きく依存している。

一方、このような気密的性質が向上していることを考えると、冬季においては室内空気の換気が重要問題として浮き上がってくる。

実際に換気の実態を調査してみると、自然換気に依存しているだけでは換気は極めて不十分であった。暖房設備の早急な改善が求められる。



## 謝辞

本研究に快く協力して下さった上之保小学校校長安田良二先生、ならびに、教頭早川敏文先生、および上之保小学校の先生方に謝意を表す。

## 文献

- 1)服部芳明、橋田紘洋：「隣接する木造校舎と鉄筋コンクリート校舎内の温湿度環境の実態」、木材工業、46、220-225 (1991)
- 2)関 邦博、坂本和義、山崎昌廣：「人間の許容限界ハンドブック」1990年、朝倉書店、366-373
- 3)豊川行平、林 路彰、重松逸造：「衛生公衆衛生学」1969年、医学書院
- 4)文部省：「学校環境衛生の解説」1965年、教育図書、75-82
- 5)建築学大系・編集委員会：「建築学大系 2 2 室内環境計画」1988年、彰国社、403-459

表 5. 1 木造ならびにRC造教室のCO<sub>2</sub>濃度の  
日最高値 (灯油ストーブ使用時)

木造		RC造	
日付	CO <sub>2</sub> 濃度(%)	日付	CO <sub>2</sub> 濃度(%)
2/19	0. 4 0	2/25	0. 3 8
2/20	0. 4 2	2/26	0. 3 5
2/21	0. 4 0	2/27	0. 3 8
2/22	0. 4 0	2/28	0. 3 7
3/2	0. 3 8	3/11	0. 3 6
3/4	0. 4 1		
平均	0. 4 0	平均	0. 3 7
標準偏差	0. 0 1	標準偏差	0. 0 1

表 5. 2 木造ならびにRC造教室のCO<sub>2</sub>濃度の  
日最高値 (灯油ストーブを使用していない時)

木造		RC造	
日付	CO <sub>2</sub> 濃度(%)	日付	CO <sub>2</sub> 濃度(%)
3/6	0. 2 7	3/12	0. 3 8
		3/13	0. 3 5
		3/14	0. 3 8
		3/20	0. 3 7
		3/22	0. 3 6
		3/23	0. 2 5
		平均	0. 3 5
		標準偏差	0. 0 5

表 5. 3 CO<sub>2</sub>の蓄積から求めた換気回数  
(灯油ストーブ使用時)

木造		R C造	
日付	回/h	日付	回/h
2/19	3. 0	2/25	3. 0
2/20	2. 8	2/26	3. 6
2/21	3. 0	2/27	3. 4
2/22	3. 0	2/28	3. 0
2/23	2. 8	3/11	3. 4
3/2	3. 2		
3/4	2. 8		
平均	2. 9	平均	3. 3
標準偏差	0. 2	標準偏差	0. 3

表 5. 4 CO<sub>2</sub>の蓄積から求めた換気回数  
(灯油ストーブ未使用時)

木造		R C造	
日付	回/h	日付	回/h
3/6	1. 4	3/12	1. 2
		3/13	1. 4
		3/14	1. 2
		3/22	1. 2
		3/23	1. 0
		平均	1. 2
		標準偏差	0. 1

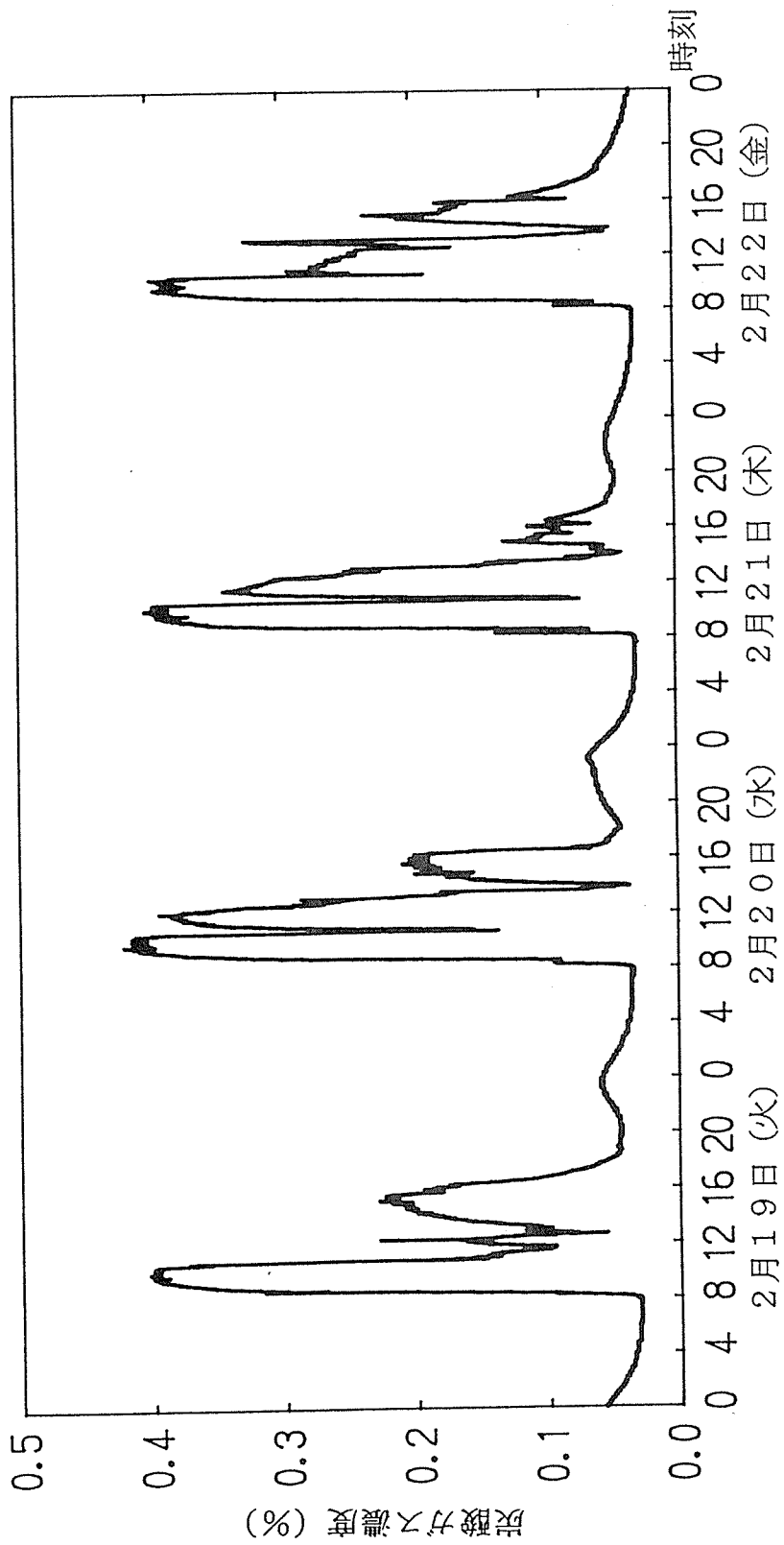


図 5. 1 炭酸ガス濃度の経時変化 (木造 2 階教室、1991 年)

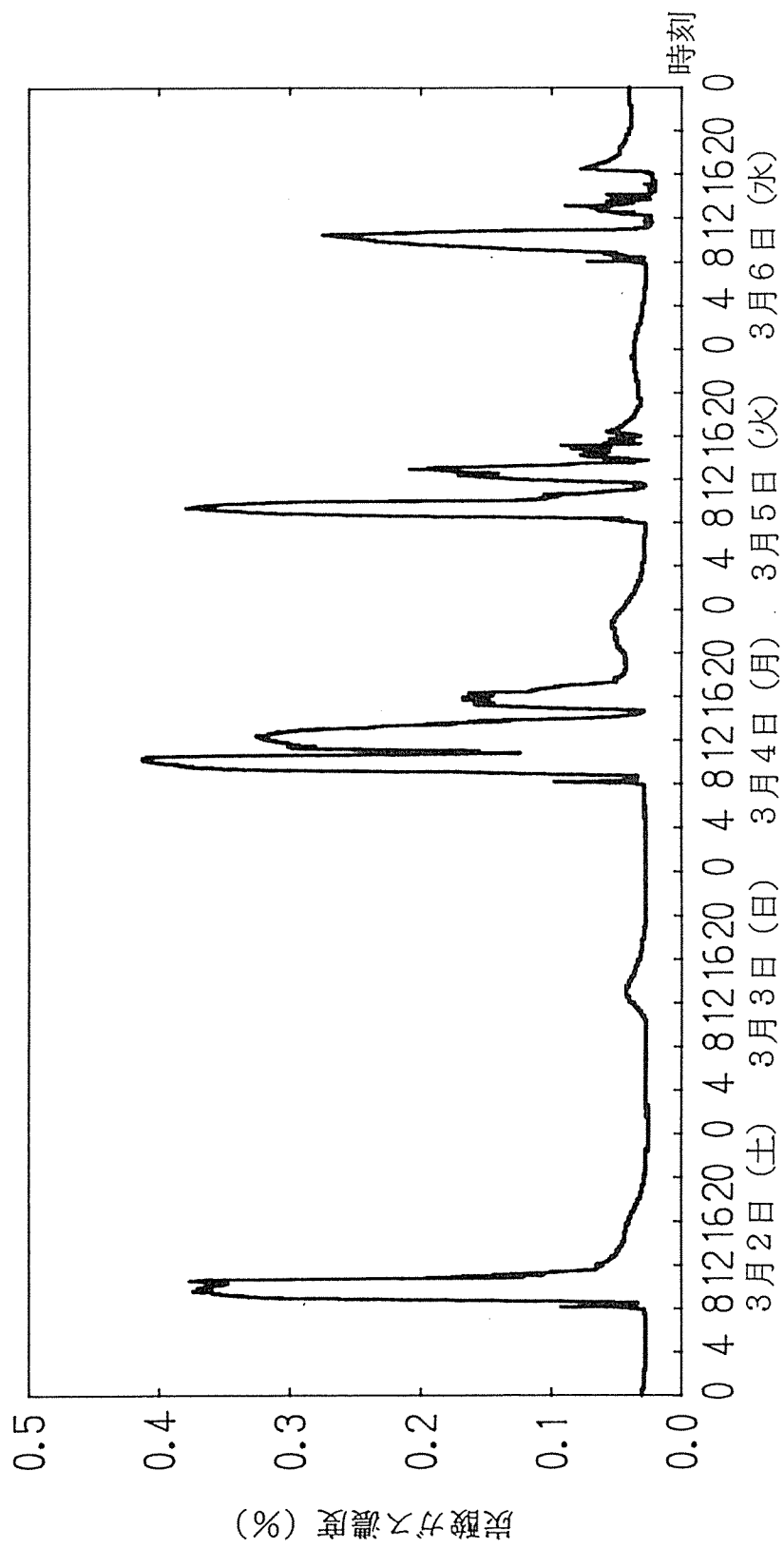


図 5. 2 炭酸ガス濃度の経時変化 (木造2階教室、1991年)

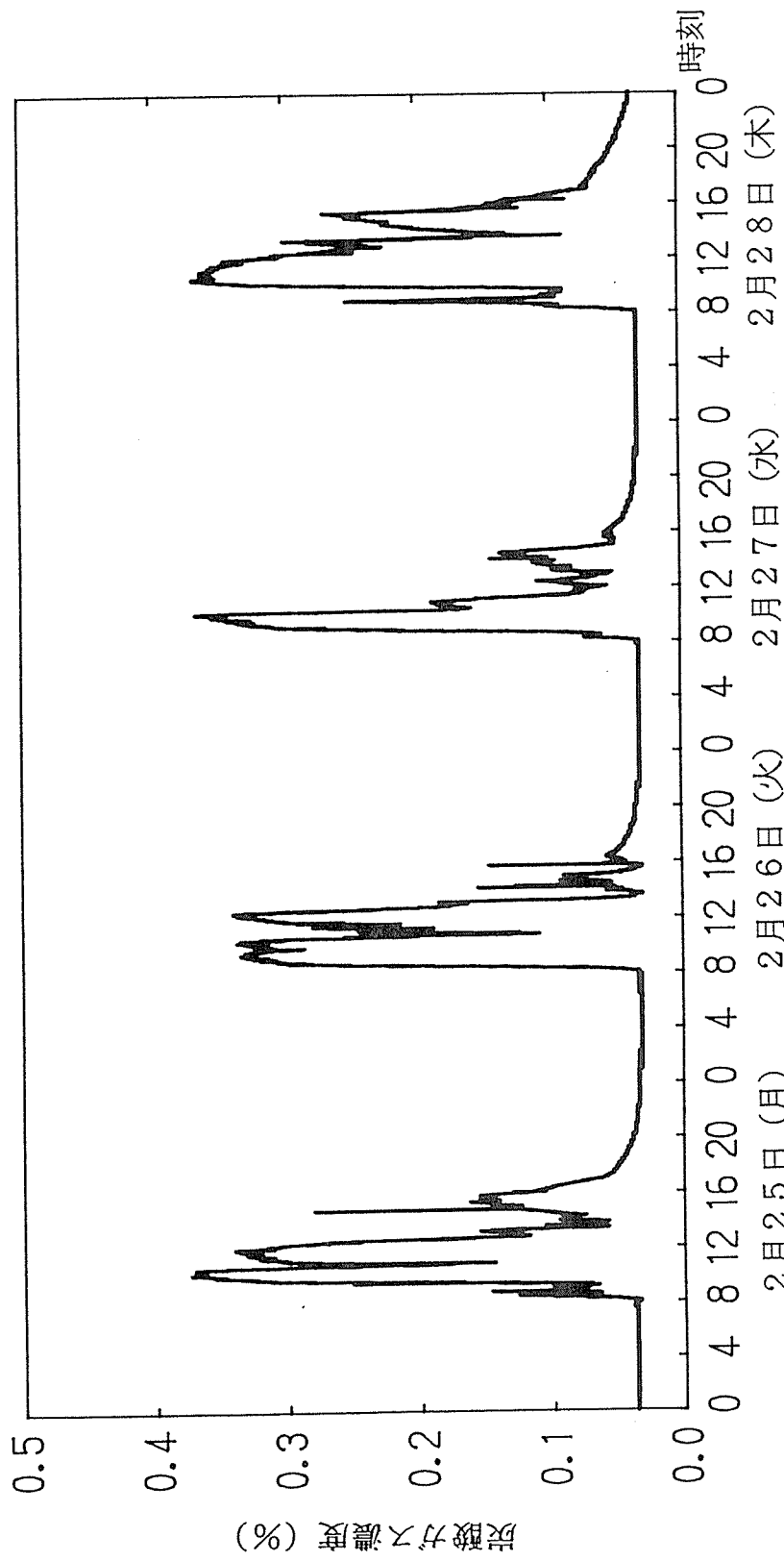


図 5. 3 炭酸ガス濃度の経時変化 (R C 造 2 階教室、1991 年)

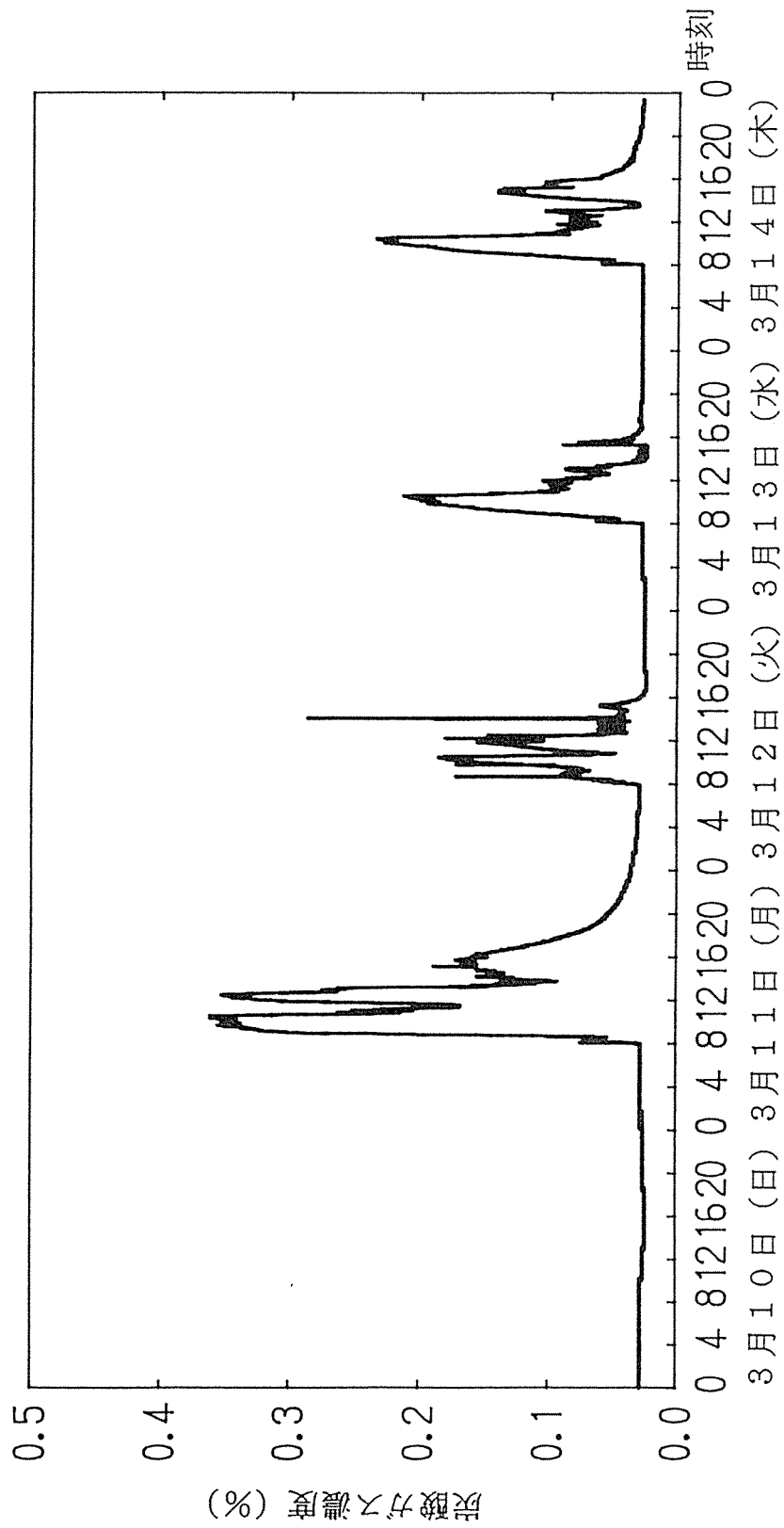


図 5. 4 炭酸ガス濃度の経時変化 (RC造2階教室、1991年)

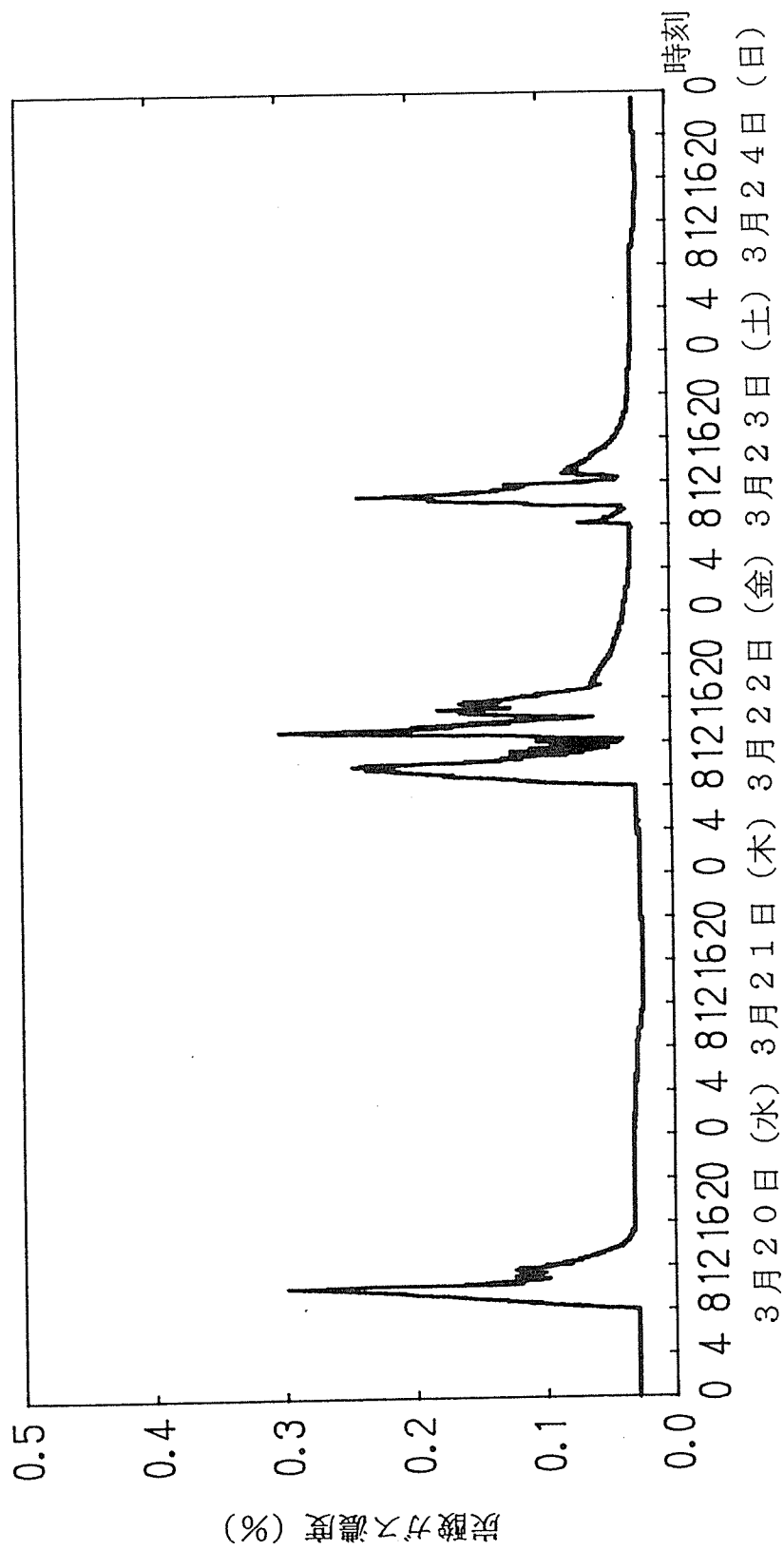


図 5. 5 炭酸ガス濃度の経時変化 (RC造2階教室、1991年)



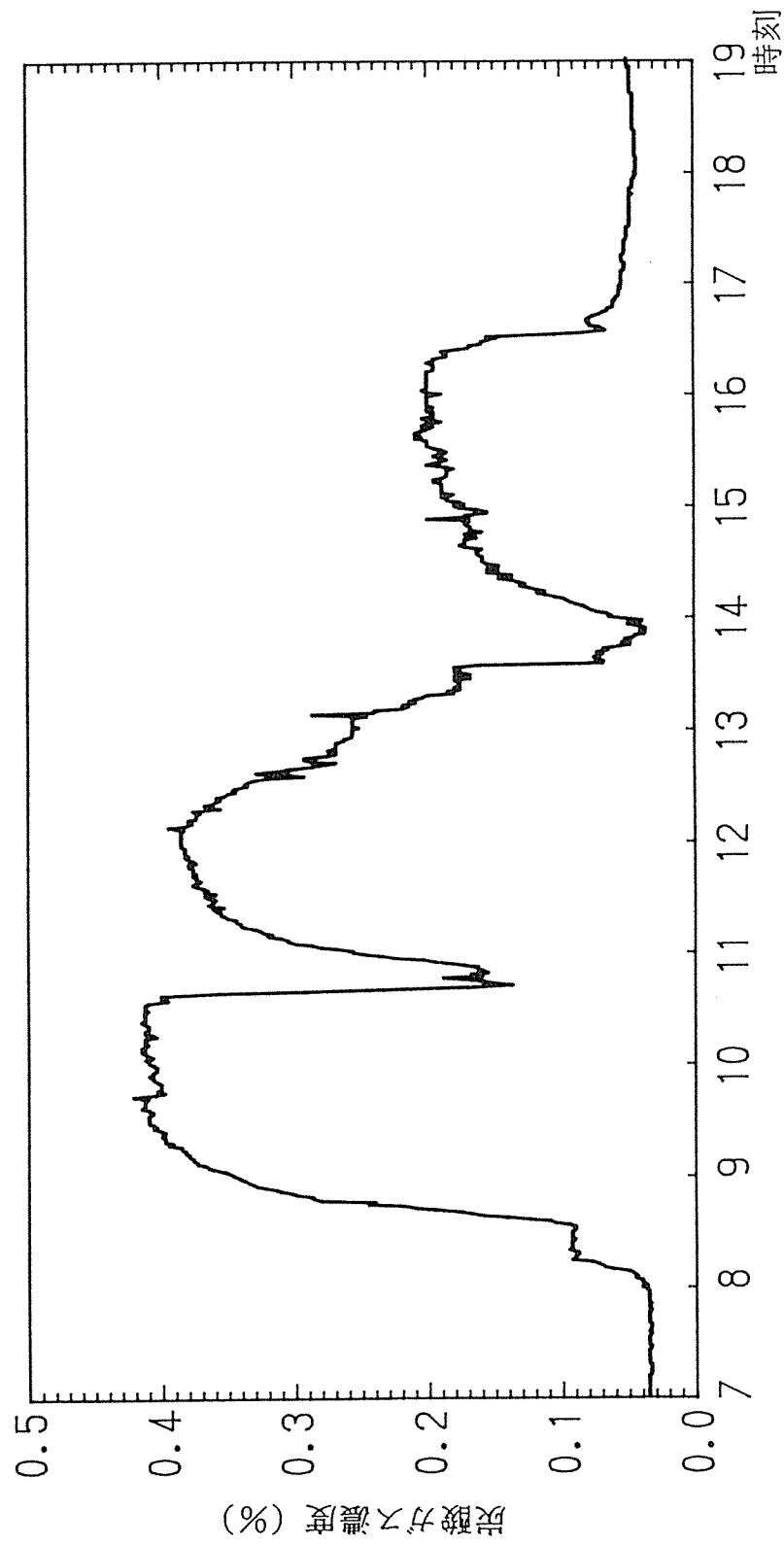


図 5. 6 炭酸ガス濃度の経時変化  
 (木造2階教室、灯油ストーブ使用、1991年2月20日)

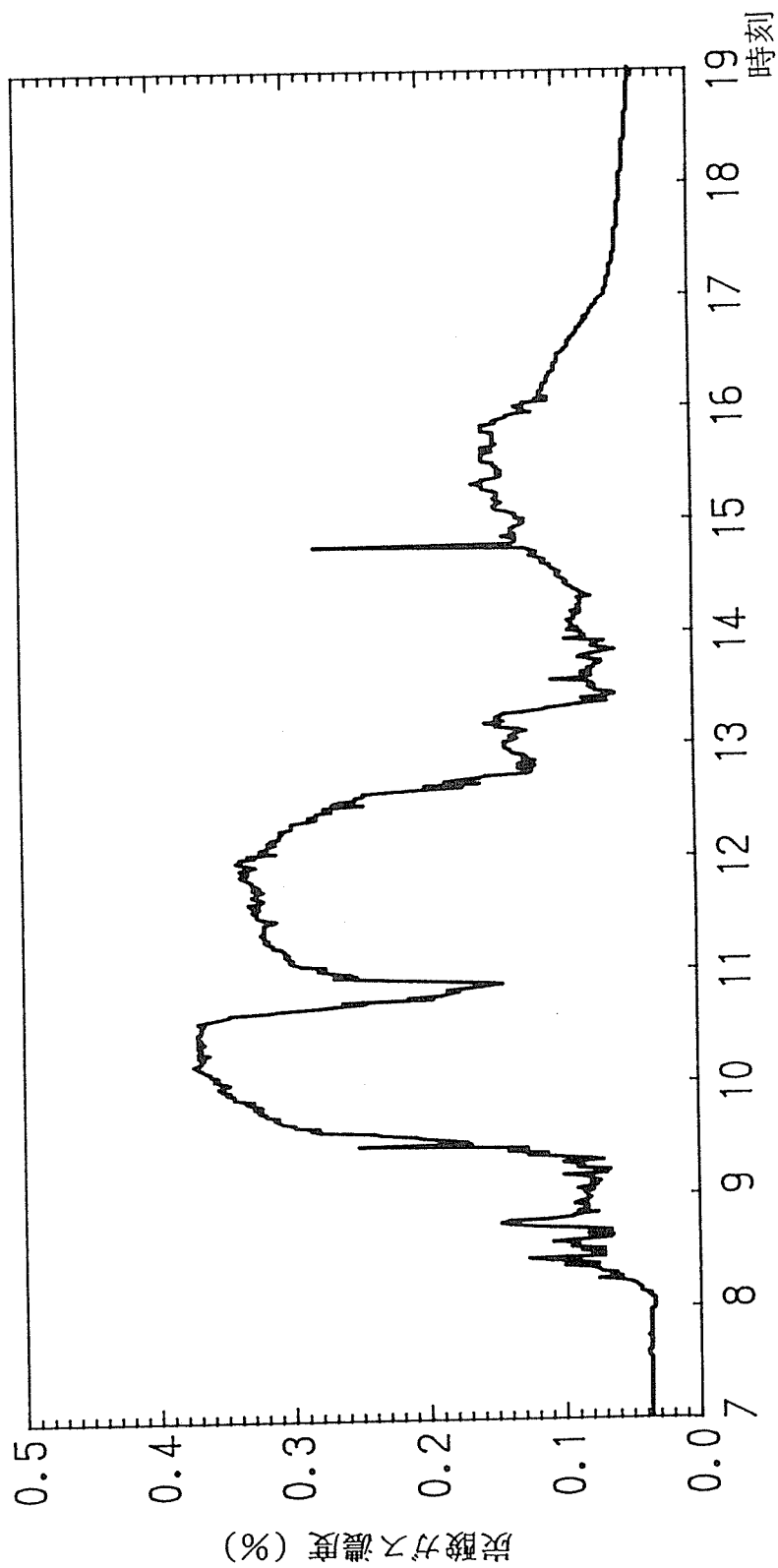


図 5. 7 炭酸ガス濃度の経時変化  
 (RC造2階教室、灯油ストーブ使用、1991年2月25日)

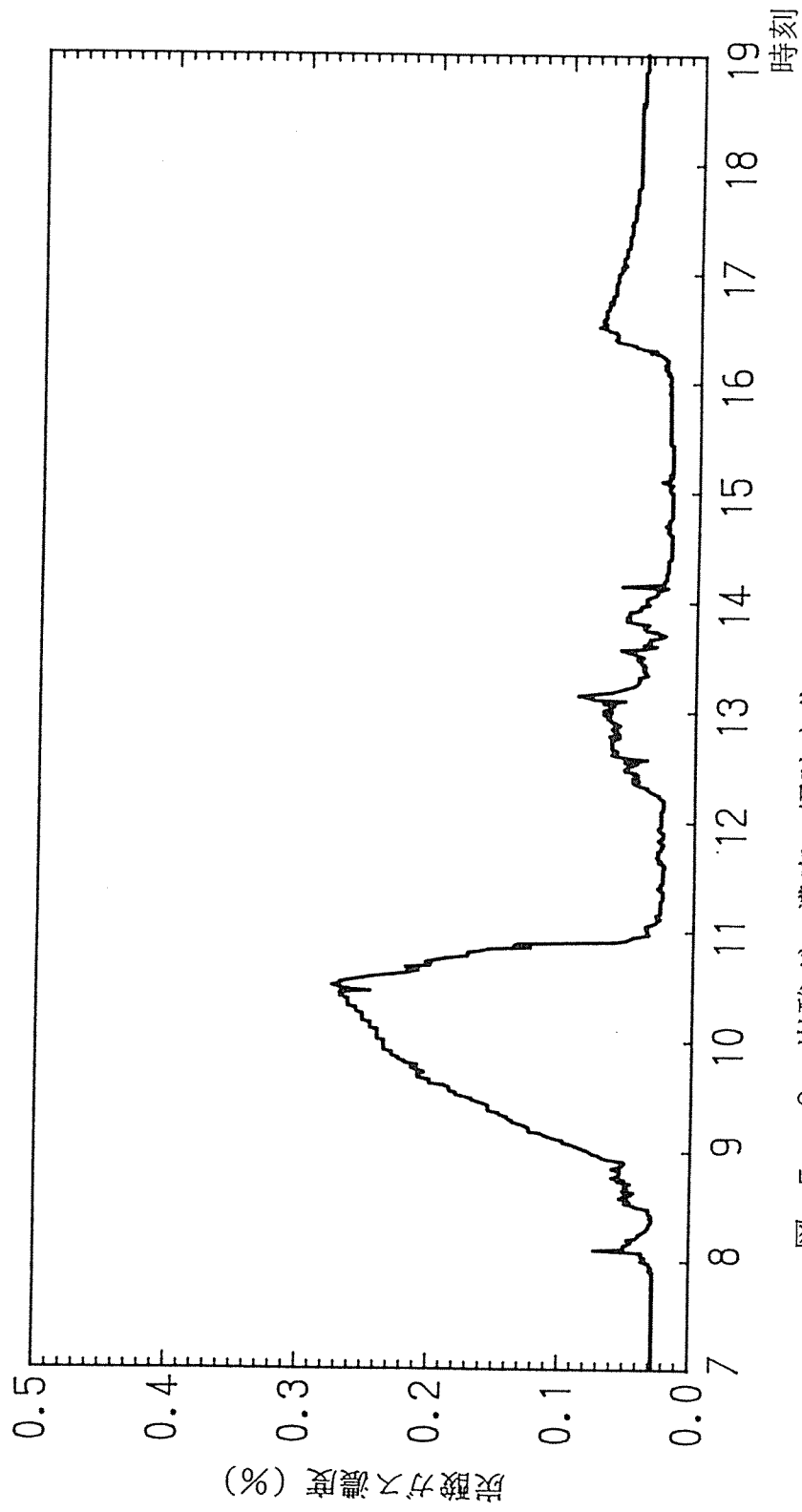


図 5. 8 炭酸ガス濃度の経時変化  
(木造2階教室、1991年3月6日)

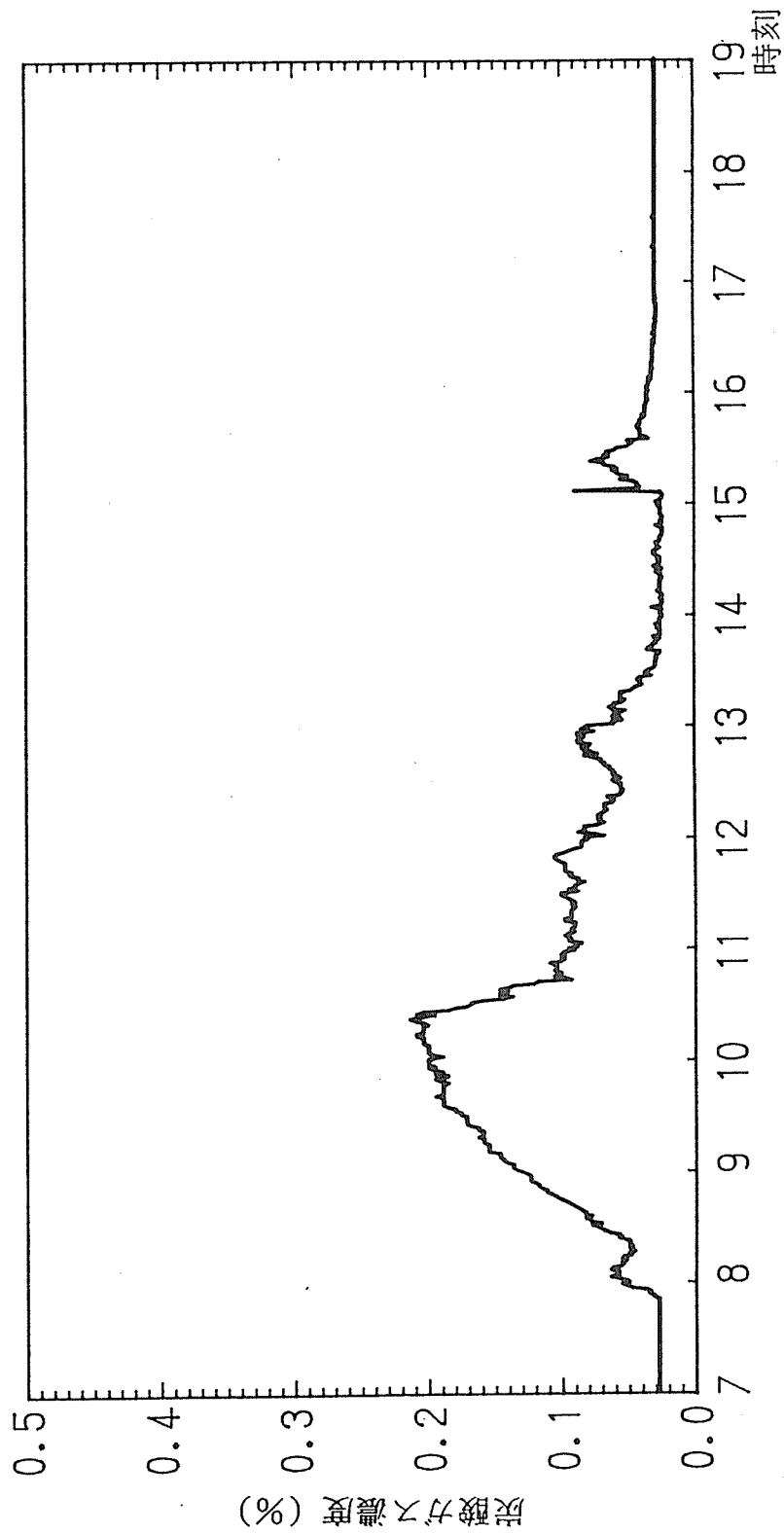


図 5. 9 炭酸ガス濃度の経時変化  
(RC造2階教室、1991年3月13日)

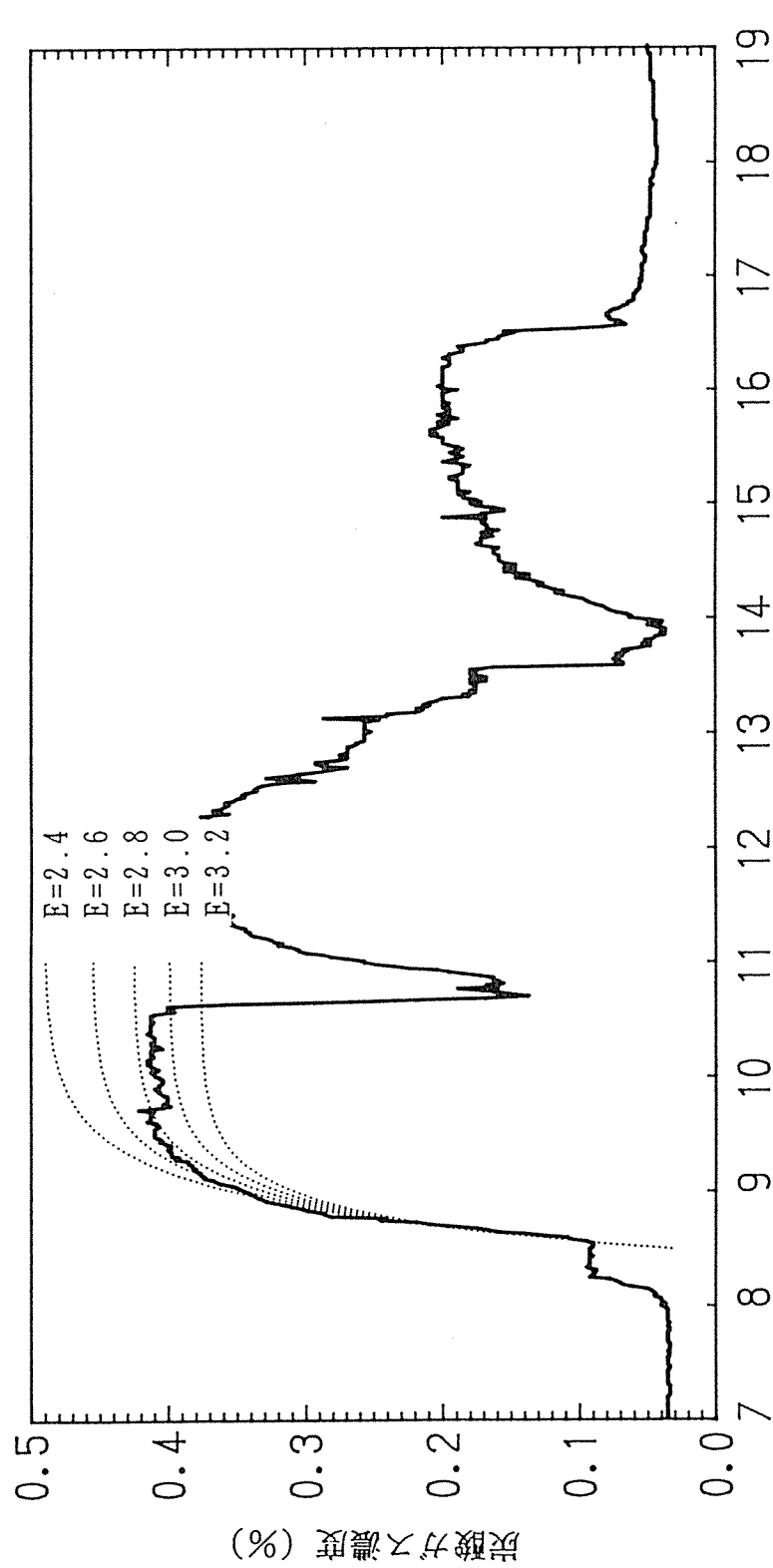


図 5. 10 炭酸ガス濃度の経時変化  
 (木造2階教室、灯油ストーブ使用、1991年2月20日)  
 実線：実測結果、破線：シミュレーション結果、E：換気回数(回/h) 時刻

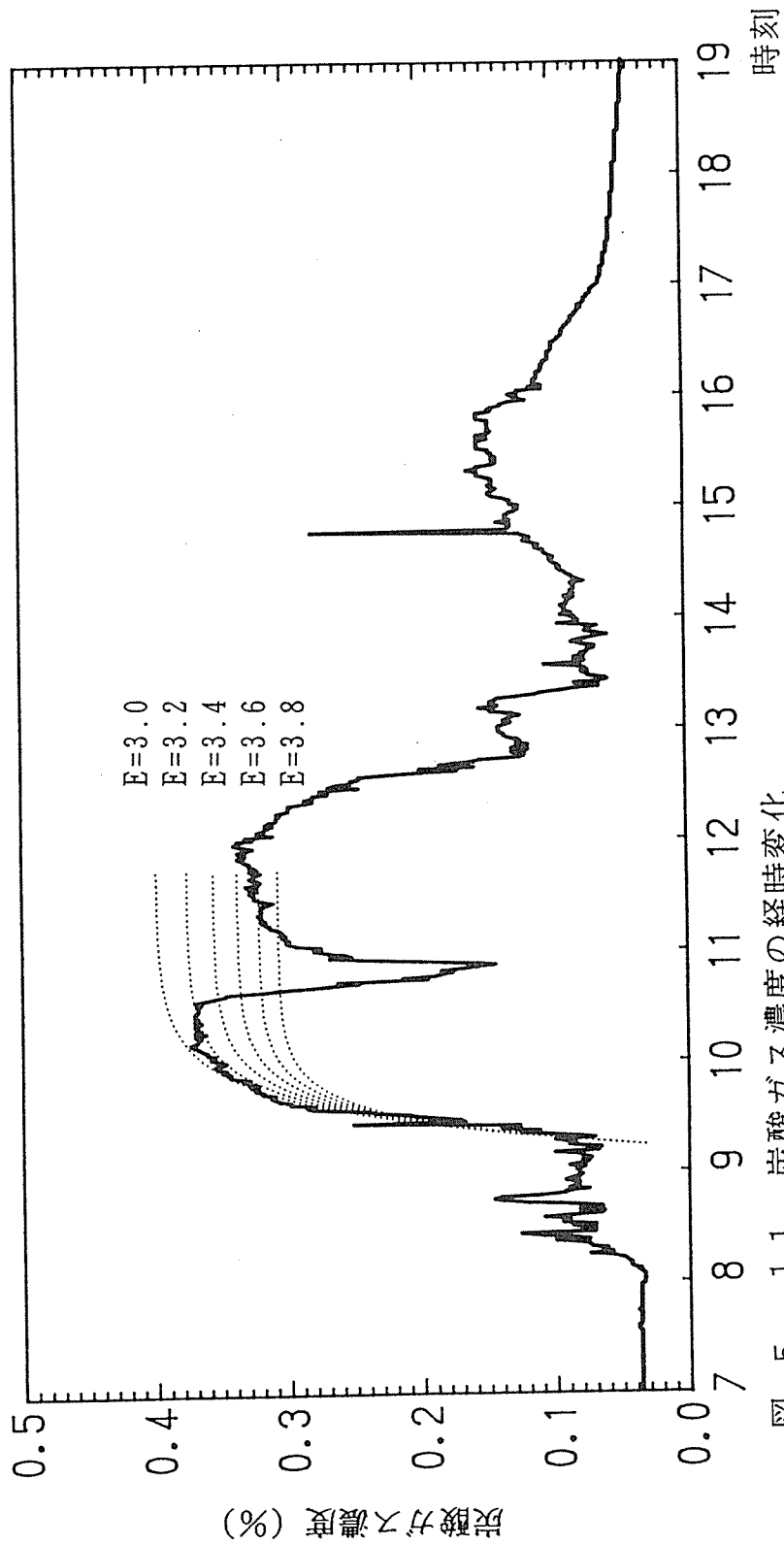


図 5. 11 炭酸ガス濃度の経時変化  
 (R C 造 2 階教室、灯油ストーブ使用、1991年2月25日)  
 実線：実測結果、破線：シミュレーション結果、E：換気回数 (回/h)

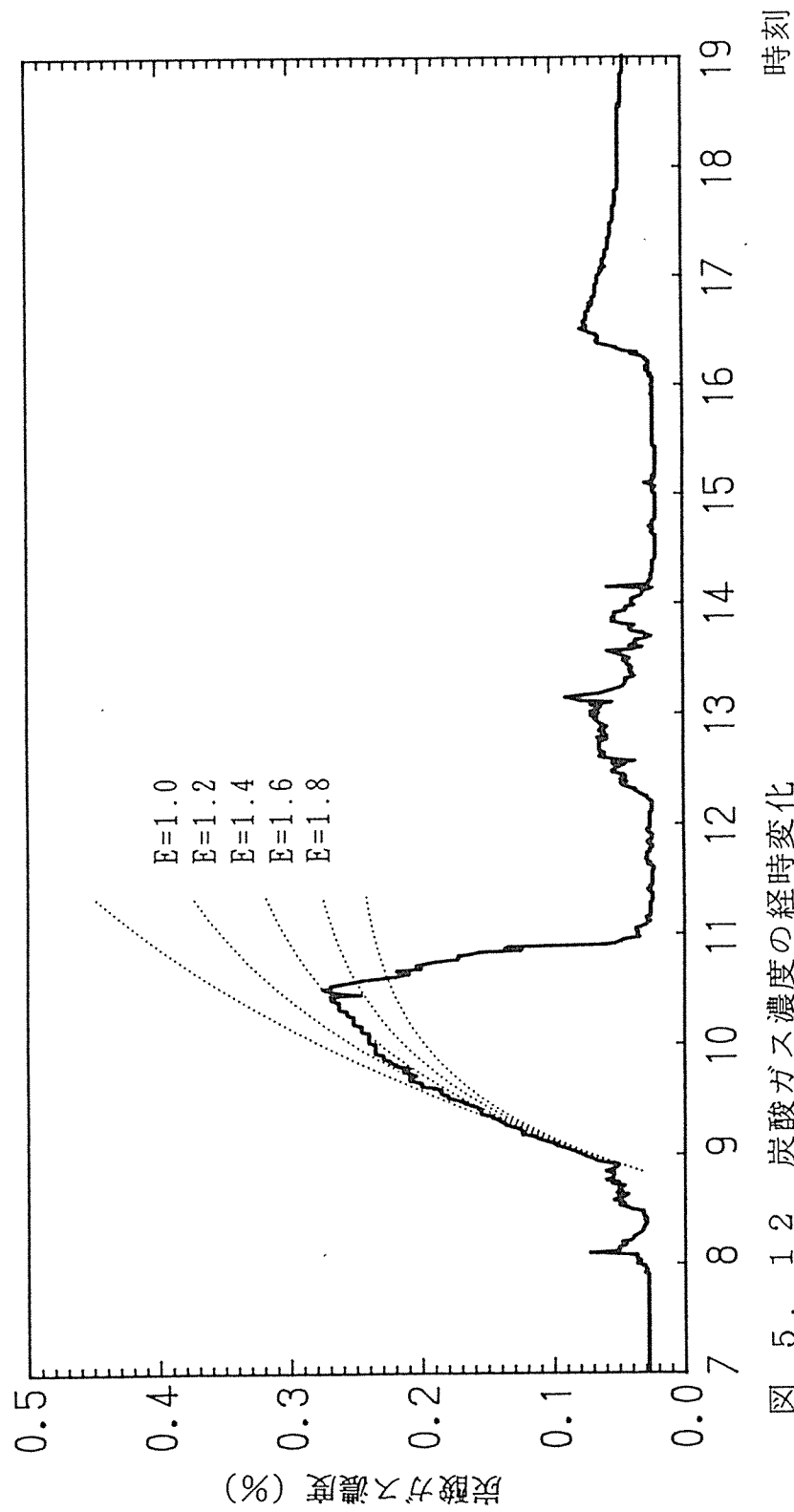


図 5. 12 炭酸ガス濃度の経時変化  
 (木造2階教室、1991年3月6日)  
 実線：実測結果、破線：シミュレーション結果、E：換気回数 (回/h)

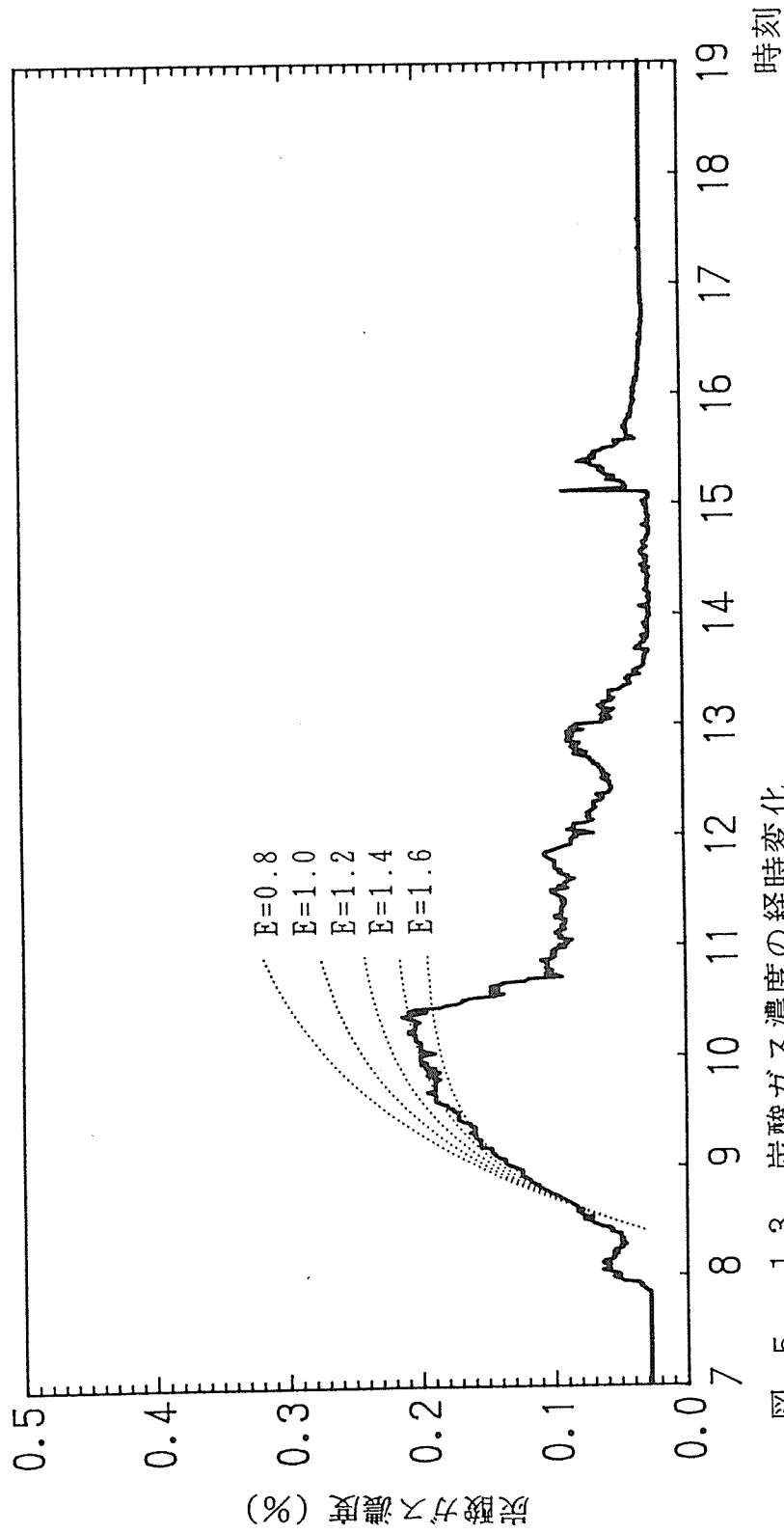


図 5. 13 炭酸ガス濃度の経時変化  
 (RC造2階教室、1991年3月13日)  
 実線：実測結果、破線：シミュレーション結果、E：換気回数(回/h)



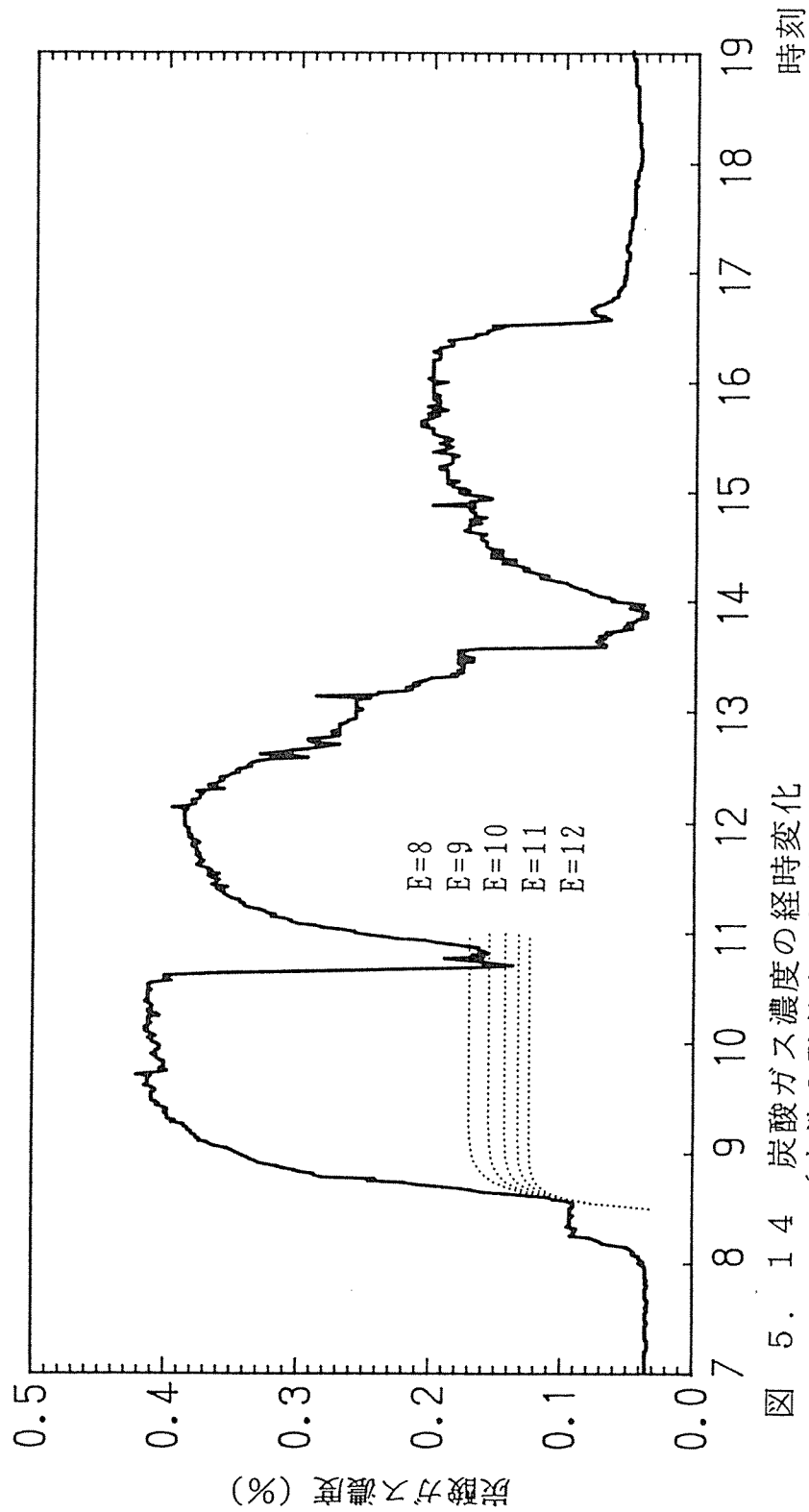


図 5. 14 炭酸ガス濃度の経時変化  
 (木造2階教室、灯油ストーブ使用、1991年2月20日)  
 実線：実測結果、破線：シミュレーション結果、E：換気回数 (回/h)

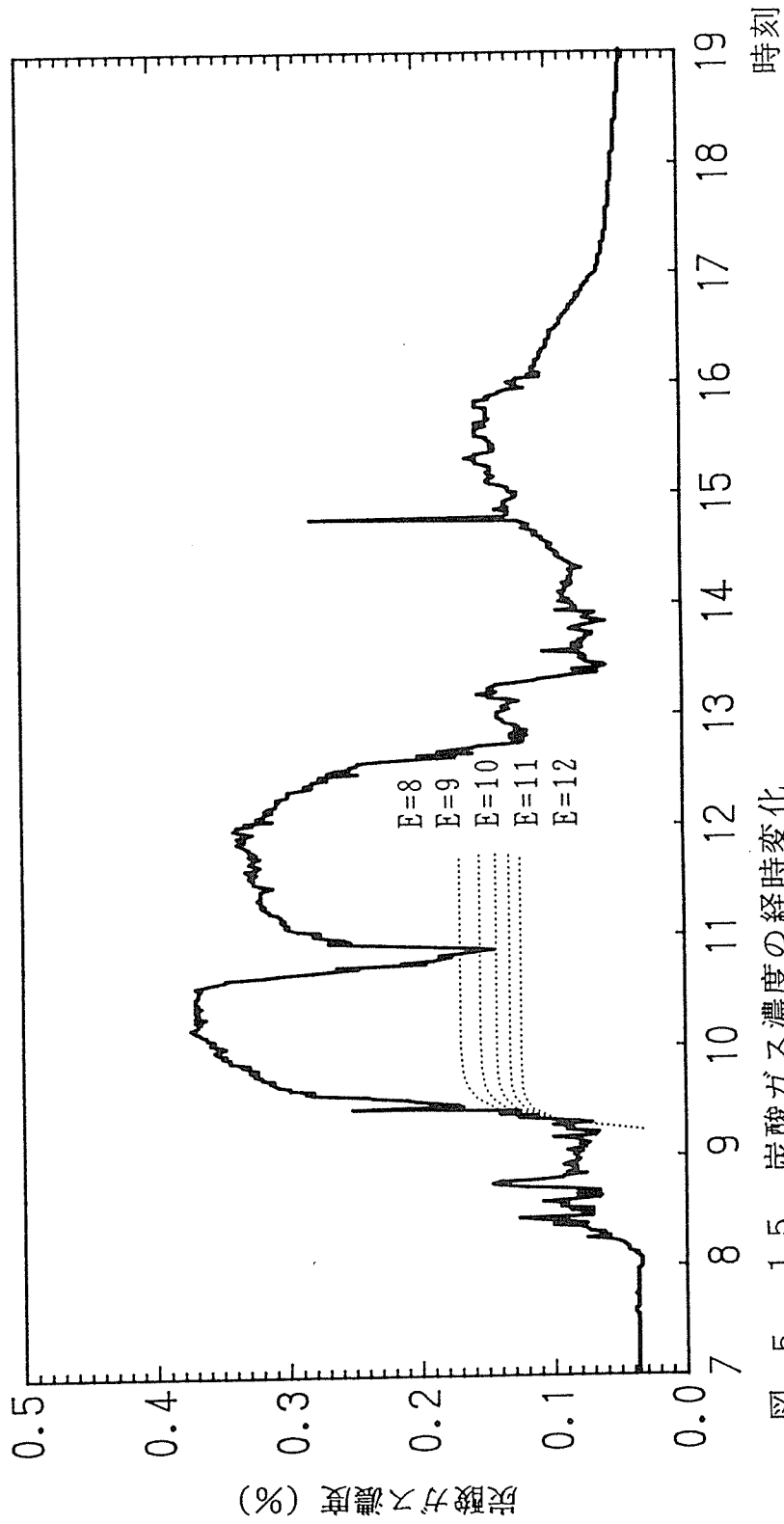


図 5. 15 炭酸ガス濃度の経時変化  
 (RC造2階教室、灯油ストーブ使用、1991年2月25日)  
 実線：実測結果、破線：シミュレーション結果、E：換気回数 (回/h)

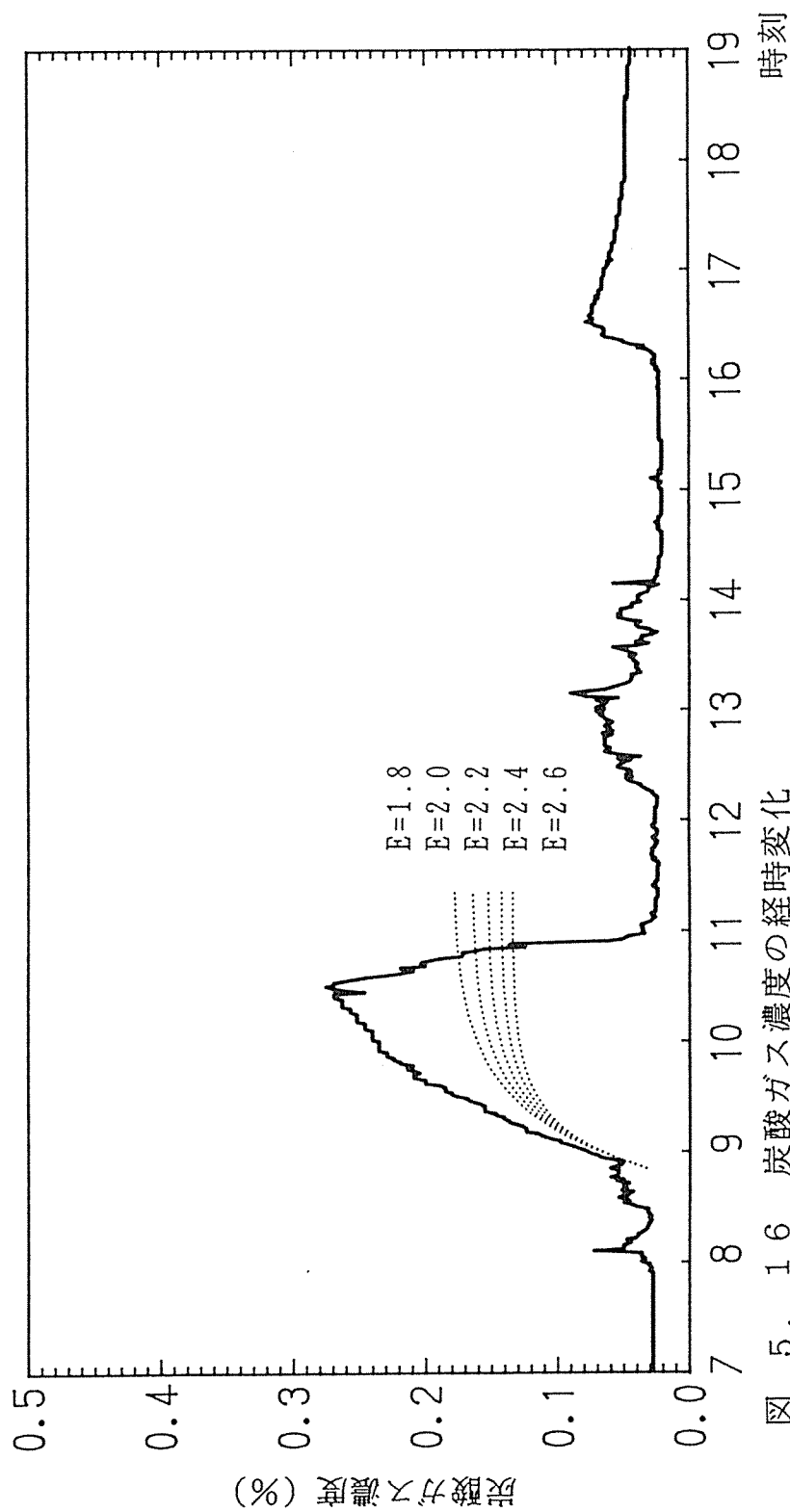


図 5. 16 炭酸ガス濃度の経時変化  
 (木造2階教室、1991年3月6日)  
 実線：実測結果、破線：シミュレーション結果、E：換気回数 (回/h)

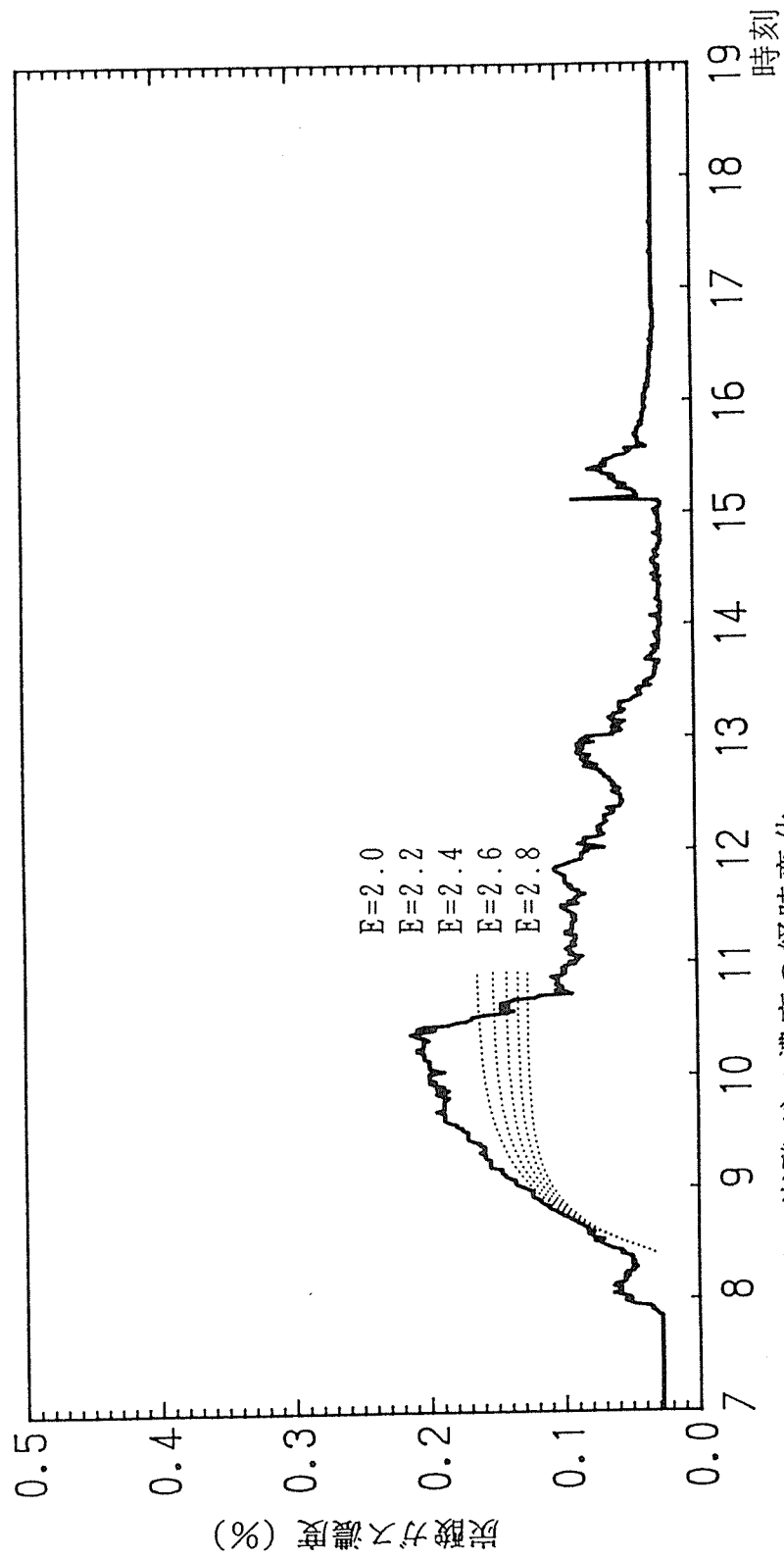


図 5. 17 炭酸ガス濃度の経時変化  
 (RC造2階教室、1991年3月13日)  
 実線：実測結果、破線：シミュレーション結果 E：換気回数(回/h)

## 6. 学校・校舎を構成する建築材料による教室内環境への形成効果について

### 6. 1 はじめに

人は環境と調和しながら生活している。学校での子どもや教師も例外ではない。環境には、子ども集団や教師集団、あるいは子どもと教師との人間関係から形成される社会的な環境と校舎のつくる物理的な環境とがある。環境からの影響が適度の際は心地よさを覚えるが、それ以外の場合には心理的、生理的機能に悪影響を与え、ストレスを起す原因になる危険性をもっている。

中学生が意識している学校での主要なストレス源は「自己像及び重要な大人との関係」「友人関係と将来」「学校の組織や機構」「教師との関係」「課題」「いじめ」「成績」となっており<sup>1)</sup>、圧倒的に社会的な環境に原因を求めている。しかし、物理的な環境に影響されていることは十分に考えられるところであり、飛躍した例のようではあるが、コンクリートの飼育箱で飼われたマウスが短命で、かつ生まれた子供をかみ殺す（家畜の場合にはストレスによると考えられている）というショッキングな報告がある<sup>2)</sup>。人間の場合には高い環境適応能力をもつので、このようなドラスチックなことは起きないと考えたいが、「コンクリートとガラスでできた人間性のない学校工場、狭い空間、遊んだり活動したりする余裕のない殺伐とした校庭が生徒の攻撃性と破壊への衝動を増大させる」として、校

舎の物理的な環境が校内暴力の1因になっているとの指摘もある<sup>3)</sup>。

社会的な環境を形成する個々の人間が、校舎のつくる物理的な環境から絶えず影響を受けている以上、社会的な環境自体が多かれ少なかれ物理的な環境に影響されているとも考えられる。このような視点に立ったとき、精神集中を要求される学校では種々のストレスを生じやすいので、教室における物理的な環境は適正に形成されている必要があると考えることができる。そこで、筆者らは木造校舎とコンクリート造（RC造）校舎とを比較しながら、実際に教育活動が営まれている状況下での教室内温湿度環境を中心にして、校舎を構成している建築素材が形成する教育的環境の違いを検討してきた。

本章においては、フィールドワークの対象としている岐阜県武儀郡にある上之保村立上之保小学校における調査結果とともに、建築材料の違いがそこに生活する教師に及ぼす影響に関するアンケート調査結果を基にして、建築素材と学校環境について検討していく。

#### 6. 1. 1 上之保小学校の概略

フィールドワークの対象とした上之保小学校は、林業を主産業とする人口密度59.13人/Km<sup>2</sup>の山村にあり、生徒数は175人である。校舎の立地環境は平成2年度報告にその詳細が記されているが<sup>4)</sup>、木造校舎（昭和63年竣工）とRC造校舎（昭和43年竣工）が同一敷地内に並列して建っているので、日照や外

的気象条件は同一と見なせる。RC造校舎は土間床構造であり、教室の床には木製フローリングタイルが敷かれ、廊下はコンクリートの上に硬質ビニールが貼られている。木造校舎の構造は、土間コンクリートの上に揚床形式をとり、外壁はセメント中空押出し成形板を胴張りし、外壁断熱材としてグラスウールが用いられている。内装は木材であるが、ヒノキ集成材が大部分を占めている。

## 6. 2 教室の温湿度環境（結果の概要）<sup>4)</sup>

a. 子どもの就学期間内である8時から15時までにおける教室の床付近の湿度を、1年間にわたって調べた結果、夏期、冬期ともにRC造教室の床付近の温湿度は木造のそれより広範囲に分布する傾向を示していたが、その傾向は冬期において顕著であった。冬期における特徴を要約すると以下のようであった。

すなわち、RC造教室では1階、2階ともに10℃以下に冷えている時間が多く現れるとともに、全体として10℃前後の低温域に分布していた。また、湿度も1、2階ともに80%付近の高湿度状態が比較的多く、特に1階では低温度で高湿度の状態が現れていた。

木造教室では10℃以下になる時間は1階、2階ともに非常に少なく、RC造より高い15℃付近を中心として分布していた。また、湿度はRC造に比して分布幅が狭く、50±15%に集中して分布していた。木造教室には低温高湿度状態が見られないことは、RC造教室と比較して特に顕著な特徴といえる。

なお、木造、RC造教室ともにストーブによる採暖は随時行われている。

b. 教室内での温度の垂直分布を調べた結果、木造教室、RC造教室ともに上に行くに従って温度が高くなっており、その傾向は2階より1階の方に顕著に見られたが、床面からの温度上昇の程度はいずれの階においてもRC造教室の方が大きかった。すなわち、椅子に座った生徒の頭部の位置を1mとして床面と頭部の温度差を見ると、木造教室では1階2階ともに4℃前後であったが、RC造教室では1階の教室で9℃もの差が生じていた。さらに、立っている教師の頭部を160cmとして床面との温度差を見ると、木造教室では相変わらず4℃前後であるが、1階RC造教室では11℃、2階RC造教室でも7℃もの温度差を生じていた。

c. 灯油ストーブによる採暖時の周壁面の温度にも、木造教室とRC造教室との間に明確な違いが見られた。。

すなわち、採暖前ではRC造の壁面が若干低温を示しているが、木造とRC造ともにほぼ同じ値とみなせた。ところが採暖1時間経過後においては、木造教室では床面、壁面ともに室温（床上1mの高さの気温）とほぼ同じ温度になっているのに対して、RC造教室では床面、壁面ともに室温より低く、室温と周壁面との間には8～10℃もの温度差ができていた。

### 6. 3 教師へのアンケート調査による学校環境の比較



教室の温湿度環境には、建築素材による大きな違いがあることが明らかになったので、小・中学校に生活している教師の健康状態及び教師からみた建築素材の違いによる校舎の評価を調べることにした。

主対象は全国各地にある竣工10年以内の木造校舎とし、比較対象として同一地域にあるRC校舎及び内装木質造校舎（床及び、腰板または天井が木質材料で内装されたRC校舎）とした。回答してきた学校は、主対象と比較対象が同一地域からそろって回答してきた所は~~は~~少なかったが、学校所在地の地域の人口密度を比較すると、主対象校と比較対象校ともに、図1のようにほぼ同様な分布をしていた。主対象校となった木造校舎の所在地域は表1に示すとうりであり、関東地域、中京地域及び京阪神地域などの大都市圏には新設の木造校舎が殆どないことがわかる。

アンケート内容は表2に示す通りである。回答教師は2,136名であり、各質問事項に対する回答数は表3-1, 3-2のようであった。程度の大小は問わずに半数以上の教師たちが感じている症状としては「夏期の教室が暑い」が顕著に多く、次いで「冬期の教室が寒い」「イライラすることがある」「冬期の足元が冷える」「長時間立っているのがつらい」「喉が乾く」といった因子がある。また、女性教師は半数以上が生理不順を訴えていることが明らかになった。

性差を問わずに校舎種別間で比較した $\chi^2$ 検定値を表4の「対木造校舎比較」覧

に示す。RC造校舎にいる教師は木造校舎にいる教師に比して「喉の渇き」や、「冬期の教室の寒さ」を訴えている。また、RC造校舎の女性教師は木造校舎よりも生理不順を起こしていることが解る。教室の明るさについては、木造校舎よりもRC造校舎や内装木質造校舎の方が明るいと感じているようである。内装木質造校舎については、木造校舎より冬期の教室内が寒いと感じる割合が多いにも関わらず、足元の冷えは木造校舎の方がより多く感じている点は興味深い。

表4の「同一校舎内男女間比較」欄は同一環境下における男性教師と女性教師の反応の違いとを比較している。木造校舎では2因子についてのみ男女間の反応の違いがみられるだけであるが、RC造校舎では5因子にわたって性差による反応の違いが認められた。これらの有為な反応を示した症状はいずれも女性の方に顕著に現れていた。原因については慎重に検討する必要があるが、少なくとも女性教師の方が男性教師より周囲の環境を敏感に意識していることがうかがわれる。

表3-2の2に示されるようにほぼ半数の教師が、校舎の建築材料が教育活動に影響していると考えていた。そこで、影響されると思われる事項について自由記述式で答えてもらった。表5-1, 5-2, 5-3は全部の回答について、できるだけ回答者の表現を生かしながら整理したものである。

RC造校舎については27因子があげられたが、ほとんどの因子がマイナスに影響を与えると判断されていた。木造校舎については、あげられた因子はほとん

どがプラスの評価であり、RC造校舎とは大きな違いをみせていた。回答数の多かった影響因子としては、RC造校舎では床の弾力性の無さ、結露の発生、大怪我の危険、反響音、冷たい感じなどであり、材料の物理的性質に起因する因子が目立った。一方、木造校舎では暖かみ、落ち着いた雰囲気、柔らかさ、床の弾力、怪我が少ないなどであり、人の情感に関わる因子が目立っている。内装木質造校舎については、互いに矛盾する因子が目立ち、木造校舎の持つ側面とRC造校舎の持つ側面とが混在しているようである。

#### 6. 4 考察

建築素材の環境に及ぼす効果は室内気候の調節機能と人の五感への感覚刺激性能の二面から見ると良いが、筆者らは主として温湿度を中心とした教室内の気候を明らかにしてきた。

温度や湿度などを主要な因子とする室内気候は、そこに生活する人の脳の覚醒状態を左右したり生理機構に影響を与える大切な環境因子であるとともに、結露や浮遊菌などの保健衛生上の問題とも関連してくることは、すでに多くの報告がある<sup>5,6,7)</sup>。学校においては、小学生はしばしば床に座って作業したり遊ぶ傾向をもっている<sup>8)</sup>。床面の低温は眼性疲労など疲労感を高め、全身不快の原因となること<sup>9,10,11)</sup>、また周壁面の温度は人の感覚温度に大きな影響を与えることなどを考慮すると<sup>11)</sup>、教師も含めた室内生活者の生理機構への影響や快適性を探

るには教室内の温湿度状況は重要な因子となる。調査結果では、木造教室の床付近温湿度環境は比較的温かく、湿度も50%前後と過ごし易い環境になっているが、RC造教室の床面付近は低温で湿度も高かった。さらに、採暖によって室内空気が温まると木材周壁面は比較的速やかに温まるので室温と周壁面との間に大きな差は生じないが、熱容量の大きいRC壁面はなかなか昇温しないために室温との間に大きな差が生じてしまい、感覚温度を下げている。このような環境では、指示温度以上に温度を上げなければ適切な温感が得られないことになる。その結果、RC造教室では生徒及び教師ともに足より頭の方が温まってしまい、ますます精神集中のしにくいのぼせ易い状況になるという悪循環をきたす危険性をもっている。以上のように、温湿度条件ではRC造教室は厳しい環境になっていると見ることができる。アンケート調査結果においても、木造校舎はRC造校舎や内装木質造校舎より教室内の冷えを感じる程度が弱いことが解る。しかしながら、冬期の足元の冷えには木造校舎とRC造校舎との間に有意な差がでず、むしろ内装木質造校舎と比較したとき、木造校舎の方が足元の冷えを感じているようであった。この点は一見矛盾するようであるが、通風式になっている木造校舎の床面温度は床下の気温に左右されるので<sup>4)</sup>、設計の仕方によっては四周の木材壁面は暖まっても床面だけは冷えているといった現象が起こる可能性がある。その結果、教室内の内感覚温度は高くても足の裏を中心として足元だけは別な感覚を

持つことになるものと思われる。

快適な温度を求めてむやみに採暖すると炭酸ガス濃度を高めてしまうといった環境衛生の悪影響をもきたすこととなる。筆者らの調査によると、解放型のポット式ストーブを用いている教室では、授業中におけるCO<sub>2</sub>濃度の最高値が0.33%と外気中のCO<sub>2</sub>濃度(0.03%)の10倍、学校環境衛生基準値(0.15%)の2倍以上にも達してしまっ<sup>12)</sup>。空気汚染を押さえるために半解放型のストーブを用いた場合には、CO<sub>2</sub>濃度の増加は押さえることができるが、暖房効果が落ちてしまうといった問題がおきるようである<sup>13)</sup>。

学校における環境衛生は昭和39年に学校保健分科審議会によって答申された「学校環境衛生の基準」<sup>14)</sup>に基づいて行われている。それによると、教室内の湿度は児童生徒の机上で測定することとされており、判定基準と事後措置は次のように示されている。

〈判定基準〉

冬期では10℃(感覚温度9.5℃)以上、夏期では30℃(感覚温度26℃)以下であることが望ましく、最も望ましい温度は、冬期では18℃～20℃、夏期では25℃～26℃である。

教室内の湿度は30%以下、80%以上でないことが望ましく、最も望ましい湿度は50%前後である。

〈事後措置〉

温度は、10℃以下の場合には採暖し、湿度は、30%以下の場合には適当な調節をする。

上記の基準値は、アメリカ空調学会の示した坐位軽作業時の快適温湿度範囲（冬期有効温度20℃～22.9℃、夏期有効温度22.8℃～26.1℃、相対湿度20～70%：ASHRAEST55-81）<sup>15)</sup>あるいは職場における座業時の快適温度（冬期17.2℃～21.7℃、夏期18.9℃～23.9℃）<sup>16)</sup>と比べると、温湿度の範囲はかなり幅の広いものとなっている。「学校環境衛生の解説」によると<sup>17)</sup>、基準値は低温においては仕事への支障と手指の冷えや冷感とを考慮しており、高温については熱中症の起きないことを考慮して設定されている。つまり上記の値は「望ましい温度」というよりは高温、低温での学習・作業の限界値を示しているものであり、学習活動時の適切な温湿度環境を設定したものではない。ちなみに環境衛生基準値を上之保小学校における冬期の床付近温度に当てはめると、木造教室では就学時間の80%前後が基準値内にはいるが、RC造教室では45%前後と半減している。一般に冬期の床面温度は快適度の点から13℃を下限温度としているが、この点からも座位活動を好む子どもたちにとって、RC造教室の床付近はあまりにも厳しい状況が起きているといえよう。学校環境

衛生の基準では事後措置についても低温対策だけであり、高温については触れていない。そのため大多数の学校では、夏期の高温対策は自然環境に任せているので、夏期の温湿度が判定基準値内に収まる地域は極一部の地域に限られてしまうことになる<sup>18)</sup>。

当環境衛生基準が制定された昭和39年の時点では木材校舎も多かったことと思われるので、机上の温度を基準にしても環境評価にそれほど大きな誤差が生じなかったとも受け取れるが、RC造校舎に対しては前述してきたように机上の温湿度だけで教室の環境を評価することは危険であり、規準の改善が図られる必要があるものと思われる。

アンケート結果を基にして、三種類の校舎を比較するとRC造校舎が教師の生活に最も悪影響を与えているようである。校舎に対する評価もRC造校舎はほとんどがマイナス評価であり、また、危険率5%以内の有意差には達しなかったが(7%危険率で有意)イライラする頻度も高いところからストレスが生じやすくなっていることが懸念される。前記したように、「教師との関係」も中学生の意識する主要なストレス源となっている<sup>1)</sup>。また、児童生徒の抑うつや不安を主とする精神的自覚症状の主要な因子の一つに先生との関係や学校生活などの「学校環境」が含まれているように<sup>19)</sup>、子どもにとって、教師は常に大きな影響力を与える存在である。従って、校舎環境は教師が快適に過ごせるような環境でもある

必要がある。

## 6. 5 おわりに

冬期の校舎の温湿度環境を中心として木造教室とR C造教室との相違を調べてきたが、周壁面に用いられている材料が教室の温湿度環境に大きく影響していることが明らかになった。すなわち、木造教室はR C造教室に比して室内温度が高く、かつ室内の温度の分布が少ないこと。さらに、湿度が50%前後に保たれ易く、快適な温湿度環境を形成し易い。一方、R C造教室は居住空間としての快適性が得られ難いことが明らかになった。

このような温湿度環境の相違は、そこで生活する子供や教師の情操面や生理機構などに様々な影響を与えていることが十分に考えられる。子どもを逞しい人間に育てようとして、厳しい環境におくことは意義のあることではあるが、その際は教育的配慮が伴わなければならない。教室のように精神集中を要求されるような環境は、それに対応した環境づくりをしていく必要がある。

## 文 献

1) 上田礼子, 他: ストレス源に関する調査, 学校保健研究, 31, 191-199

(1989)

2) 山田 正編: 木質環境科学, 海青社 (1987)

3) 沖原豊: 校内暴力, 小学館 (1985)



- 4) 服部芳明、他：住環境に関する総合調査，住宅部材安全性能向上事業報告書，日本住木センター，145-263 (1990)
- 5) 山田正：人の発達に関わる木質環境の機能に関する研究，京大昭和63年度教育研究学内特別経費実施報告書，京大，1-19 (1989)
- 6) 葉石猛夫：木材利用啓発推進調査事業報告書（温度編），住木センター (1988)
- 7) 川上日出国：住環境に関する総合調査，住宅部材安全性能向上事業報告書，日本住木センター，119-144 (1990)
- 8) 小川正光，他：子どもの評価・使い方からみた木造校舎とコンクリート造校舎の比較，愛教大教科教育センター報，愛教大，No15，91-100 (1991)
- 9) 鈴木正弘、他：生活環境と眼性疲労，臨眼，20，573-581 (1966)
- 10) 山本孝、他：木材及び建築材料の居住性について，木材工業，22，22 (1967)
- 11) 建築学大系編集委員会：建築学大系22，彰国社 (1976)
- 12) 橋田紘洋、他：教育効果に及ぼす学校・校舎内環境に関する研究I，愛教大教科教育センター報，愛教大，No14，89-96 (1990)
- 13) 益子詔次：暖房方法の違いによる教室内の空気性状について，学校保健研究，31，490-494 (1989)

- 14) 保健体育審議会：学校環境衛生の基準，保健体育審議会昭和39年6月3日答申，東山書房（1964）
- 15) American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers:Hndbook of Fundamentals, Chapter9, 14, New York(1989)
- 16) 真辺春蔵、他：人間工学概論，朝倉書店，126（1977）
- 17) 文部省：「学校環境衛生の解説」，教育図書株式会社（1965）
- 18) 梶原麻佐路：「学校環境衛生の基準」に関する考察，学校保健研究，27，442-450（1985）
- 19) 齊藤和雄，他：最近の児童生徒をとりまく環境とストレス問題，学校保健研究，33，52-62（1991）

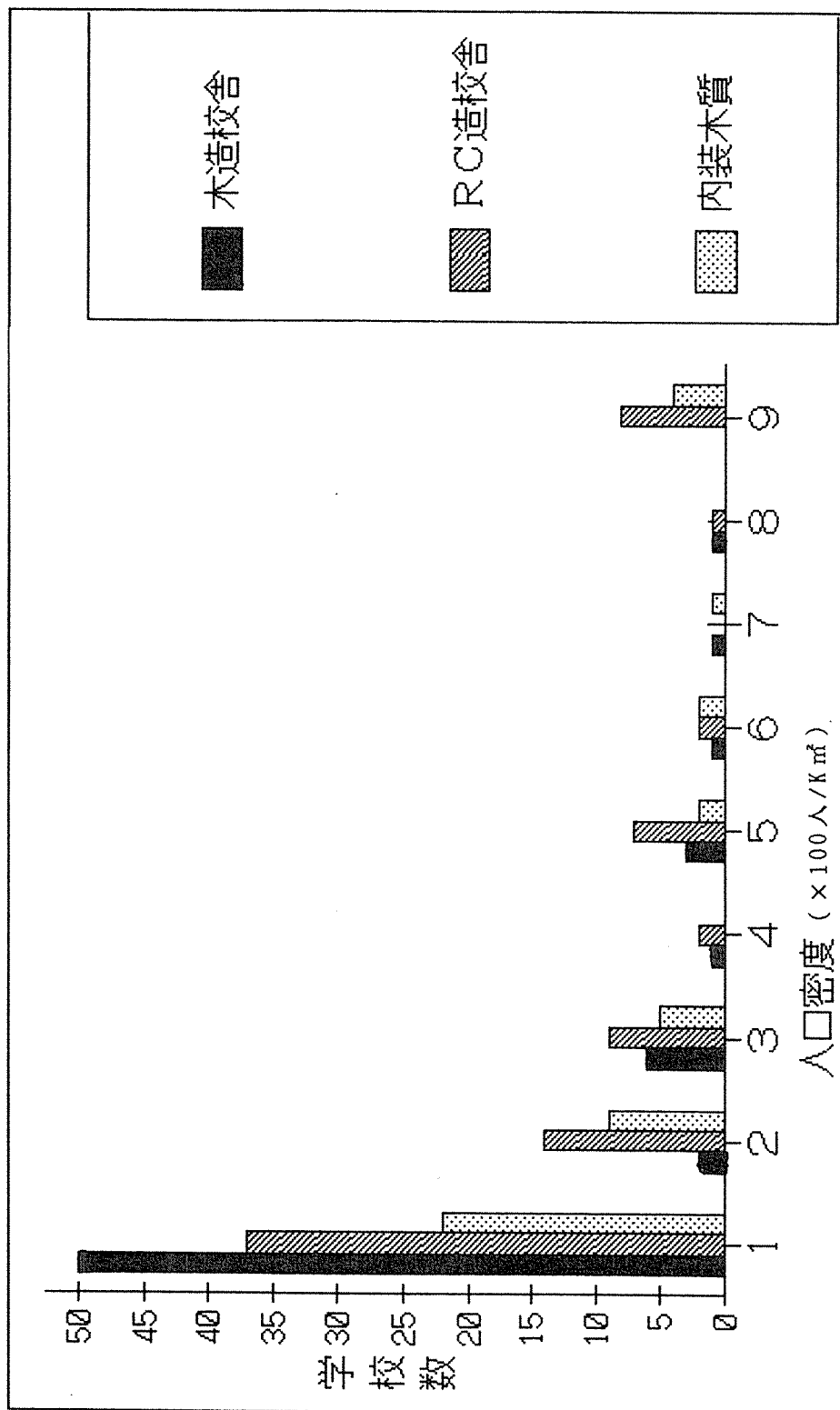


図1 回答校所在地の人口密度分布

表1 アンケート対象木造校舎数

地域	発送	回収			地域	発送	回収		
		全	新	旧			全体	新	旧
北海道	10	8	6	2	滋賀	-	-	-	-
青森	11	7	4	3	京都	2	1	0	1
岩手	14	7	5	2	大阪	-	-	-	-
宮城	-	-	-	-	兵庫	-	-	-	-
秋田	6	5	5	0	奈良	1	1	0	1
山形	3	2	2	0	和歌山	1	1	1	0
福島	-	-	-	-	鳥取	2	2	1	1
茨城	-	-	-	-	島根	1	0	0	0
栃木	2	3	3	0	岡山	2	2	2	0
群馬	-	-	-	-	広島	-	-	-	-
埼玉	-	-	-	-	山口	1	1	1	0
千葉	-	-	-	-	徳島	1	2	1	1
東京都	-	-	-	-	香川	-	-	-	-
神奈川県	-	-	-	-	愛媛	2	2	2	0
新潟	4	2	1	1	高知	10	5	4	1
富山	-	-	-	-	福岡	2	0	0	0
石川	1	2	1	1	佐賀	2	2	2	0
福井	1	0	0	0	長崎	1	0	0	0
山梨	2	1	1	0	熊本	6	5	2	3
長野	1	1	1	0	大分	2	1	1	0
岐阜	1	1	1	0	宮崎	3	1	1	0
静岡県	-	1	1	0	鹿児島	2	0	0	0
愛知県	-	-	-	-	沖縄	-	-	-	-
三重	-	-	-	-					
					合計	97	66	49	17

表2 アンケートの内容

構造の種類	イ・ロ・ハ・ニ
-------	---------

VI 先生方の健康状態についてお聞きします。

- ・ 学校名を記入して下さい。( 県 学校 )
- ・ 性別に○をつけて下さい。( 男 ・ 女 )
- ・ 年齢を記入して下さい。( 歳 )

1 授業中に次の a～k に示す事項のような症状を感じたことがありますか。  
該当するものに○をつけて下さい。

a	長時間立っているのがつらい。	イしばしば	ロときどき	ハぜんぜん
b	喉が乾く。	イしばしば	ロときどき	ハぜんぜん
c	イライラすることがある。	イしばしば	ロときどき	ハぜんぜん
d	残響音が気になる。	イしばしば	ロときどき	ハぜんぜん
e	冬期は、足元が冷える。	イしばしば	ロときどき	ハぜんぜん
f	他教室からの音が気になる。	イしばしば	ロときどき	ハぜんぜん
g	教室の明るさはどうですか。	イ明るい	ロ普通	ハ暗い
h	夏期の教室内の暑さはどうですか。	イ非常に暑い	ロ時々暑い	ハ気にしない
i	冬期の寒さはどうですか。	イ非常に寒い	ロ時々寒い	ハ気にしない
女性 <small>の</small> 先生におたずねします。				
j	生理不順がおきますか。	イしばしば	ロときどき	ハぜんぜん
k	流産の経験がありますか。	イある	ロない	

2 生徒の健康や勉学活動あるいは教師の学内での生活が、校舎の材質（木造、RC造）に影響されている場合があると思いますか。

は い ・ いいえ

- ・ はいと答えた方にお聞きします。  
どんな点が関係していると感じられますか。  
ご意見を下の空欄にお書き下さい。

表3-1 教師の健康状態

VI

性別	木造	R C 造	内装木質	その他	計
男	272	513	352	15	1152
女	237	487	246	11	981
無回答	0	2	1	0	3
合計	509	1002	599	26	2136

年齢	木造	R C 造	内装木質	その他	計
10代	1	0	1	0	2
20代	168	279	174	7	628
30代	140	314	160	7	621
40代	80	159	115	7	361
50代	109	230	137	4	480
60代	10	14	10	1	35
無回答	1	6	2	0	9
合計	509	1002	599	26	2136

1 a 長時間立つのがつらい

	木造	R C 造	内装木質	その他	計
しばしば	39	61	37	0	137
ときどき	248	551	323	15	1137
ぜんぜん	208	382	219	9	818
無回答	14	38	20	2	74
合計	509	1002	599	26	2136

b 喉が乾く

	木造	R C 造	内装木質	その他	計
しばしば	17	56	30	0	103
ときどき	187	408	228	10	833
ぜんぜん	292	499	324	15	1130
無回答	13	39	17	1	70
合計	509	1002	599	26	2136

c イライラする

	木造	R C 造	内装木質	その他	計
しばしば	45	116	62	0	223
ときどき	293	581	353	17	1244
ぜんぜん	158	263	169	7	597
無回答	13	42	15	2	72
合計	509	1002	599	26	2136

d 残響音が気になる

	木造	R C 造	内装木質	その他	計
しばしば	31	55	26	0	112
ときどき	133	244	149	10	536
ぜんぜん	329	657	402	14	1402
無回答	16	46	22	2	86
合計	509	1002	599	26	2136

e 冬期、足元が冷える

	木造	R C 造	内装木質	その他	計
しばしば	135	252	129	6	522
ときどき	192	351	190	5	738
ぜんぜん	163	359	255	13	790
無回答	19	40	25	2	86
合計	509	1002	599	26	2136

表3-2 教師の健康状態

f	他教室の音が 気になる		木造	R C 造	内装木質	その他	計
		しばしば	52	87	49	0	188
		ときどき	224	452	254	14	944
		ぜんぜん	218	418	272	9	917
		無回答	15	45	24	3	87
		合計	509	1002	599	26	2136
g	教室の明るさ		木造	R C 造	内装木質	その他	計
		明るい	142	286	208	6	642
		普通	238	528	327	19	1112
		暗い	121	158	54	0	333
		無回答	8	30	10	1	49
		合計	509	1002	599	26	2136
h	夏期の教室内の 暑さ		木造	R C 造	内装木質	その他	計
		非常に	174	382	249	7	812
		ときどき	268	498	285	18	1069
		ぜんぜん	56	97	56	0	209
		無回答	11	25	9	1	46
		合計	509	1002	599	26	2136
i	冬期の教室内の 寒さ		木造	R C 造	内装木質	その他	計
		非常に	113	189	90	2	394
		ときどき	238	550	289	17	1094
		ぜんぜん	130	210	187	5	532
		無回答	28	53	33	2	116
		合計	509	1002	599	26	2136
j	生理不順		木造	R C 造	内装木質	その他	計
		しばしば	18	50	29	2	99
		ときどき	83	200	89	6	378
		ぜんぜん	131	204	112	2	449
		無回答	5	33	16	1	55
		合計	237	487	246	11	981
k	流産の経験		木造	R C 造	内装木質	その他	計
		ある	29	66	26	0	121
		ない	201	401	211	10	823
		無回答	7	20	9	1	37
		合計	237	487	246	11	981
2	校舎の材質に よる影響		木造	R C 造	内装木質	その他	計
		はい	294	448	259	13	1014
		いいえ	193	484	310	11	998
		無回答	22	70	30	2	124
		合計	509	1002	599	26	2136

表4 教師の健康状態- $\chi^2$ 検定-

症 状	対木造校舎比較		同一校舎内男女間比較	
	RC造校舎	内装木質校舎	木造校舎	RC造校舎
長時間立っているのが辛い	1.78	1.96	0.48	12.8 **F
喉が乾く	6.56 *	1.12	0.55	0.42
イライラすることがある	3.16	1.08	0.05	6.89 **F
残響音が気になる	0.59	0.0	1.04	0.00
他教室からの音が気になる	0.03	0.99	0.07	4.00 *F
教室が明るい	13.4 **	45.1 **	0.02	0.88
夏期の教室内は暑い	0.62	0.90	4.60 *F	1.62
冬期の教室内は寒い	5.80 *	4.45 *	1.38	4.09 *F
冬期は足元が冷える	0.02	13.8 **木	10.8 **F	34.3 **F
生理不順が起きる	8.17 **	2.80	-	-

\*\* :危険率1%以内で有意

\* :危険率5%以内で有意

F :女性に顕著

木 :木造校舎に顕著



表5-1 木造校舎が影響を与えていると思われる因子（数字は回答教師数）

影 響 因 子	回答時に生活している校舎			合計
	木造	RC造	内装木質	
1. 暖かみがある	46	8	36	90
2. 落ち着いた雰囲気がある	31	5	29	65
3. 柔らかい	33	5	15	53
4. 床に弾力があり、足腰が疲れない	32	6	15	53
5. 怪我が少ない	8	2	11	21
6. 湿度の面で優れている	12	4	2	18
7. 温もりがある	7	1	7	15
8. 室内が暗い	14	1	0	15
9. 室温の変化が少ない	11	0	3	14
10. 清掃面でよい	4	4	6	14
11. 他教室の音が聞こえる	14	0	0	14
12. 裸足ですごせる	10	3	0	13
13. 結露しない	5	0	7	12
14. 音が反響する	12	0	0	12
15. 夏は涼しく、冬温かい	5	1	4	10
16. 精神面によい	7	2	1	10
17. 冬は寒さが厳しい	7	2	0	9
18. 音の響きがよい	4	3	1	8
19. 古くなると隙間風が入る	8	0	0	8
20. 木の香りがよい	5	1	1	7
21. 震動する	6	0	1	7
22. 足元が冷えない	5	0	0	5
23. 肌触りがよい	4	1	0	5
24. 木目調がよい	0	0	4	4
25. 行動が丁寧になる	1	1	1	3
26. 明るい	3	0	0	3
27. 夏の暑さがきつい	3	0	0	3
28. 光を和らげ、目の疲れを防ぐ	3	0	0	3
29. 掲示物が張りやすくなる	1	0	1	2
30. 自然に近い状況になる	1	1	0	2
31. 風邪が流行しにくい	2	0	0	0
合 計	304	51	145	500

表5-2 RC造校舎が影響を与えていると思われる因子（数字は回答教師数）

影 響 因 子	回答時に生活している校			合計
	木造	RC造	内装木	
1. 床に弾力がなく、長時間立つのがつらい	8	32	32	72
2. 結露が生じる	8	47	9	64
3. 怪我の程度が大きく、安全面でよくない	2	16	7	25
4. 音が反響する	2	19	4	25
5. コンクリートの冷たさを感じる	6	2	14	22
6. 足元が冷える	4	7	8	19
7. 室内が暗い	0	15	0	15
8. 湿度の調節ができない	2	4	7	13
9. 他教室の音が聞こえる	0	9	2	11
10. 風邪が流行し易い	0	7	3	10
11. 風通しが悪い	3	7	0	10
12. 換気が必要精神面でよい	0	9	1	10
13. 冬の寒さがきつい	1	5	3	9
14. 夏期・梅雨時は蒸し暑い	0	8	0	8
15. 自然のぬくもりがない	3	4	0	7
16. 夏の暑さ、冬の寒さが厳しい	0	6	1	7
17. 清掃が雑になりやすい	0	1	3	4
18. 掲示物が貼りにくい	0	4	0	4
19. 温度変化が激しい	0	2	0	2
20. 喉が乾きやすい	1	2	0	2
21. カビが発生する	0	1	0	2
22. 精神面に悪影響する	0	2	0	1
23. 床音が響かない	0	1	0	1
24. 視力の低下に影響する	0	1	0	1
25. 防音設備が必要	0	1	0	1
26. 空調が必要	0	1	0	1
27. 清潔である	1	0	0	1
合 計	41	212	94	347

表5-3. 内装木質造校舎が影響を与えていると思われる因子  
(数字は回答教師数)

影 響 因 子	回答数
1. 結露が生じる	46
2. 音が反響する	37
3. 他教室の音が聞こえる	25
4. 落ち着いた雰囲気がある	22
5. 暖かみがある	17
6. 床に弾力があり、足腰が疲れない	16
7. 風通しが悪い	13
8. 怪我の程度が大きく、安全面でよくない	11
9. 結露しない	8
10. 湿度の調節ができない	8
11. 夏期・梅雨時は蒸し暑い	7
12. 精神面でよい	5
13. 柔らかな雰囲気がある	4
14. 風邪が流行し易い	4
15. 清掃面でよい	3
16. 裸足ですごせる	3
17. 冬の寒さがきつい	3
18. ぬくもりがある	2
19. 木の香りがよい	2
20. 湿度の面で優れている	2
21. 音の響きがよい	2
22. 精神面に悪影響する	2
23. 換気が必要	2
24. カビが発生する	2
25. 防音設備が必要	2
26. 室内が暗い	2
27. 怪我が少ない	2
28. 掲示物が張りやすい	2
29. 足元が冷えない	1
30. 足元が冷える	1
31. 肌触りがよい	1
32. 木目調がよい	1
33. 自然の温もりがない	1
34. コンクリートの冷たさを感じ	1
34. 明るい	1
35. 清潔である	1
合 計	261

\* 回答者は内装木質校舎に生活する教師のみ

## 7. 住環境教育における木材、木質構造

### 7. 1 地球環境保全におけるCO<sub>2</sub>と木材

最近、温暖化をはじめとする地球規模の環境保全を話題とした記事、会議、シンポジウムなど目白押しである。CO<sub>2</sub>は「予算獲得ガス」、環境は「学生確保名称」となっていると嘆く人も少なくない。それに関する書物なども大変な量で、その紙の浪費は「環境保護を口実にした環境破壊ではないか」の感すらする。環境保護の「Think globally , act locally」の合言葉もthinkはともかく、肝心のact locallyはムードに乗り遅れるなに利用されているという感じがしないでもない（著者が5年ほど前に、国際会議で耳にした講演では「Thinking globally , acting locally」でingがついていた。そこには主体性、自律性が感じられたのだが、日本でまかり通っているingのない命令形は他人まかせで、自律性が感じられないのでこの問題解決の本質をはずれているように感じる）。人間の豊かさ追求や経済活動が基本的に資源およびエネルギー消費そして生態系の破壊をもっているが故に、問題解決の本質は人間の豊かさ追求がものを中心とした経済的価値感でなく、「簡素」、「自己抑制」、「自然への敬意」でなければならないのだが、どのように銚先をかわすかという動き（きわめて「Act locally」!）も少なくない。とくに、森林、樹木、木材は生態環境のなかで目にみえて形作っているだけに生態系という言葉から森林伐採、木材利用がすべて悪のようにとらえられ、地

地球環境破壊問題のスケープゴートにされているとしたら由々しき問題と言わざるをえない。建築分野では企業姿勢としても脱型枠合板や針葉樹合板への転換も加速されそうである。もちろん、我が国の合板などへの南洋材の今までの状況からみるならば、国際的な環境保全における日本の木材利用のあり方をもう一つの重要課題として考えねばならない状況にある。それは林業の「切ったら植える」という本質が確保されない木材利用は樹木伐採、森林の破壊と直接的につながり、CO<sub>2</sub>の吸収能力の減少によって温暖化への影響が危惧されるばかりでなく、地元民の生活の場を奪うことが起こり易いからである。したがって、木材利用の地球保全における寄与を明確にする必要があり、樹木生産という再生資源とリサイクルにおける木質の再資源化にいたる役割と、それらに通じる有効利用、耐久性確保といった居住者や都会人の役割を認識する必要がある。とくに、教育、マスメディアでの正確な情報が要求されよう。木材を利用する立場のものは単に価格が高い、量がまとまる、効率的という市場原理だけでなく、林業地域の活性化や地球規模のエコロジカルな評価を加え、川上から川下までの科学的な連携のある利用の協力、展開が必要であろう。同時に熱帯多雨林においては今までの恩恵に対して森林の再生、保護、そして適切な利用に積極的な協力をすることが要求されているといえよう。

## 7. 2 建築物をとりまく環境保全

建築物の生産は基本的に資源、エネルギーを消費することで成り立っていた。大量生産コストダウン、効率主義、人件費軽減のための設備投入は経済的あるいは効率的であった反面、それは化石燃料によるエネルギーを使ってきた結果、温暖化をはじめとする地球規模の環境保全に少なからぬ影響をもっていることは衆知のことである。また、木材資源の利用は樹木、森林といった生態系との関連をもっているだけに、先に述べたようにとすれば一面的に地球環境破壊の元凶と捉えられていることも少なくなかった。このように人間の豊かさ追求や都市化の経済活動が基本的に資源およびエネルギー消費そして生態系の破壊の側面をもっているが故に、地球環境問題の解決の本質はものを中心とした経済的価値や効率とは異なる評価尺度を同時にもっていることが必要とされる。その代表がエネルギーの投入に伴うCO<sub>2</sub>の発生軽減、廃棄物の軽減というエコロジカルな評価と資源のストック、再資源としての評価である。とくにエネルギー投入に関する評価体系が広く論議されたのは1973年のオイルショックに伴う資源・エネルギー問題対策の時期である。CO<sub>2</sub>の問題は本質的にはエネルギーを化石燃料によるCO<sub>2</sub>に換算したものである。したがってCO<sub>2</sub>という表示に代わったことに加え、廃棄物質という評価がなされていることである。

建築学会の特別研究「建築と地球環境」では建築と地球環境との係わり合いを種々の観点（ライフスタイル、資源利用、エネルギー、エコシテイ、地域環境、

環境変化、パッシブ建築WG) から検討しているが、その資源利用WGでは建築物の建設という入口と解体という出口に焦点を当て、(1) 近年の建築生産過程における大きく変わりつつある資源、エネルギーの投入評価とそれに伴うCO<sub>2</sub>の発生など、(2) 建設後の資源のストックとしての建築物の評価、すなわち耐用年数の資源、エネルギーとしての評価、建物廃棄後の再資源化について調査研究を行うこととしている。

### 7. 3 木質構造建設に係わる投入資源、エネルギーとCO<sub>2</sub>排出

木材を原料とした製品の生産過程におけるエネルギー消費が他の材料に比較するときわめて少なく、エネルギー消費を化石燃料からのCO<sub>2</sub>の放出量に換算すると表7-1のようになる。表中の炭素貯蔵量は木材が大気中のCO<sub>2</sub>と水を原料に太陽エネルギーで蓄積した炭素C量である。このように生産に伴うCO<sub>2</sub>の放出量よりも蓄積量の方が大きく、地球環境に対しては影響が少ない。たとえば、火災で燃えたとしても鋼材、アルミニウムの製造に伴うCO<sub>2</sub>の放出量よりも少ない。

第1次オイルショックの直後の昭和54年に各種構造別の住宅のライフエネルギーが算出されている。表7-2のように在来構法木造住宅は建設時の投入エネルギーは木質、軽量鉄骨プレハブより大きいが、鉄筋コンクリート造に比較するとかなり少ない。しかしながらライフサイクルエネルギーとしては耐用年数の低さからむしろ劣っているという結果になっている。算出の方法が必ずしもエネル

ギーを直接算出していないとかデータの裏付けが少ないなどの問題はあるが、注目される点は当時の戸建住宅の耐用年数が低く算出されていることと在来木造の保守エネルギーの大きさである。これと同時期に、戸建住宅について実際の建設図面から使用建築資材を拾い出して算出した投入エネルギーは図7-2のようになっている。傾向および概算の数値は前表に比較的類似している。当時と近年の状況を概観してみると構造材料では大きな差はなく、外壁仕上げがモルタルが減り無機系サイディングに、床仕上げがカーペットの比率が若干減り、フローリングにおき代わっている程度であろう。その他は高級化、性能の向上に伴い資源エネルギー的にはやや上昇していると推測される。住生活の環境は機器、住宅部品などに変化をもたらしていると思われるが、後に述べるように投入されるエネルギーは性能の改良によって大きな増加は少なく、むしろ横這い程度になると考えられる。耐久性能は材料あるいは工法の工夫で改良されてきているので、耐久年数についてみるならば木質系住宅は長くしてもよいと思われる。鉄筋コンクリート造については60年耐用年数を疑問視する向きもある。このような状況では構成部材に直接投入されるエネルギーや木部におけるCO<sub>2</sub>の固定といったエコロジカルな評価が重要になっているといえよう。

木造建築物を建設するということは樹木に炭素固定した大気中の炭酸ガスを炭素資源（有機資源）として保存するという意味をもっている。言葉を替えれば、



都市にもう一つの森林を形成することになる。すなわち、燃えたり、腐ったりしない（大気中にCO<sub>2</sub>として放出しない）木造建築物、木製品は樹木のように大気中のCO<sub>2</sub>を吸収はしないが、山にあった木材を都市に移動して、炭素の固定保存庫になっている。伐採された森林には再び樹木が植えられ、新たな生命活動によってCO<sub>2</sub>の固定が太陽エネルギーによって育まれることになる。

我が国の現状の住宅について生産から解体にいたるエネルギーを前記したライフサイクルエネルギー調査から参照して求め、それをもとに年間CO<sub>2</sub>放出量（C換算）を算出した概略値が図7-1である。また、住宅に蓄えられた木材量をストック量（C換算）として求めた（図7-2）。前提となった統計的な諸元は表7-3、7-4のとおりである。

これらから認められる主な点は以下の通りである。

1) 住宅生産に伴う材料製造エネルギーに関するCO<sub>2</sub>の放出量はかなり大きく、150万戸生産で年間C換算で約1000万tonになる。施工に要する放出量はそれに比較するとその10%以下である。これに対して全世帯が年間で使用した給湯、冷暖房に要したエネルギーをC換算すると約3000万tonである。したがって日常的な生活の場におけるエネルギー消費への配慮がいかに重要か理解できよう。同時に住宅の耐久性、すなわち更新サイクルが重要であることが認められる。

2) 木造と集合住宅の他構造でCO<sub>2</sub>放出にさほど大きな差はない。しかしながら、木材を使用した（主として木工事）部分のCO<sub>2</sub>量は極めて少なく、木造といえども他の材料の投入が大きなウェイトを占めていることになる。

3) ストックされたCは木造では大きく、CO<sub>2</sub>の収支ではほぼ0である。

4) 全住宅にストックされたCはきわめて大きく、日本の森林の材積の約22%、人工造林木の48%に相当する。重要な資源が蓄積されていることになり、耐用年数、再資源としての利用はきわめて重要である。

5) CO<sub>2</sub>放出型の建築材料、部材を木材をベースにしたものに代替することを十分検討する必要がある。

このように住宅にかかわるCO<sub>2</sub>の放出、ストックはきわめて重要な意味をもっている。現在は材料投入エネルギーの大きさに価格は反映しておらず、木材の樹種あるいは品質、さらに人件費に代表される生産コストに支配されているが、CO<sub>2</sub>の放出の軽減、木部の炭素固定というプラスを含めた評価、すなわち地球環境に対してのエコロジカルな評価も必要となってくる。それをどのように考えるべきか地球環境問題はそれが問われているといえよう。

表7-1 各種材料製造における消費エネルギーと炭素放出量

材 料	化石燃料エネルギー		製造時炭素放出量		製品中の炭素貯蔵量kg/m <sup>3</sup>	±炭素量kg/m <sup>3</sup>
	MJ/kg	MJ/m <sup>3</sup>	kg/t	kg/m <sup>3</sup>		
天然乾燥製材 (比重:0.50)	1.5	750	30 (32)	15 (16)	250* <sup>1</sup>	-235 -234
人工乾燥製材 (比重:0.50)	2.8	1,390	56 (201)	28 (100)	250* <sup>1</sup>	-222 -150
合 板 (比重:0.55)	12	6,000	218 (283)	120 (156)	248* <sup>2</sup>	-128 -92
パーティクルボード (比重:0.65)	20	10,000	308 (345)	200 (224)	260* <sup>3</sup>	-60 -36
鋼 材	35	266,000	700	5,320	0	5,320
アルミニウム	435	1,100,000	8,700	22,000	0	22,000
コンクリート	2.0	4,800	50	120	0	120
紙	26	18,000		360		

( )内は廃材燃焼による熱エネルギーの利用を考慮した場合、廃材からの関連エネルギーを天乾材20 MJ、人乾材1820MJ、また合板は天乾材の1/2、パーティクルボードは1/3とした。

\*1, \*2, \*3 : 炭素含有率をそれぞれ50, 45, 40%とした。

±炭素量 : 製造時に放出された炭素量 - 製品中に蓄えられた炭素量 (木材が生育地に大気中から摂取して固定した炭素量)

(Buchanan A., 1990 ITEC Proceedings, 1990)

表7-2 構造別住宅の投入エネルギー

(単位: 10<sup>6</sup>Kcal)

構造別モデル (延床面積82.5m <sup>2</sup> )		建設エネルギー			保守 エネルギー	解体 エネルギー	ライフサイク ルエネルギー
		部 材	施 工	小 計			
木 造 (在来工法) 耐用30年	総量	69.14	5.07	74.21	27.20	2.29	103.70
	1m <sup>2</sup> 当たり	0.84	0.06	0.90	0.33	0.03	1.26
	1年当たり	2.30	0.17	2.47	0.91	0.08	3.46
木 質 系 (プレハブ) 耐用25年	総量	61.42	1.73	63.15	20.51	1.54	85.20
	1m <sup>2</sup> 当たり	0.74	0.02	0.76	0.25	0.02	1.03
	1年当たり	2.46	0.07	2.53	0.82	0.06	3.41
軽量鉄骨系 (プレハブ) 耐用25年	総量	58.91	1.73	60.64	10.78	0.95	72.37
	1m <sup>2</sup> 当たり	0.72	0.02	0.74	0.13	0.01	0.88
	1年当たり	2.36	0.07	2.43	0.43	0.04	2.90
鉄筋コンクリート造 (プレハブ) 耐用60年	総量	92.32	1.73	94.05	36.20	3.37	133.62
	1m <sup>2</sup> 当たり	1.12	0.02	1.14	0.44	0.04	1.62
	1年当たり	1.54	0.03	1.57	0.60	0.06	2.23
鉄骨鉄筋コンクリート造 (集合住宅) 耐用60年	総量	116.55	7.71	124.25	30.06	2.97	157.28
	1m <sup>2</sup> 当たり	1.41	0.09	1.50	0.36	0.04	1.90
	1年当たり	1.94	0.13	2.07	0.50	0.05	2.62

(科学技術庁「ライフサイクルエネルギーに関する調査研究」<sup>2)</sup>)

表7-3

我が国の住宅建設投入（資材エネルギー）による年間CO<sub>2</sub>（C換算）発生量

● 年間新設住宅着工数	150万戸/年		
戸建住宅（40%）	60	木造（80%）	48万戸
		非木造（20%）	12
集合住宅（60%）	90	木造（20%）	18万戸
		非木造（80%）	72
● 平均床面積（m <sup>2</sup> ）			
戸建住宅	100m <sup>2</sup>		
集合住宅	67m <sup>2</sup>		
● 住宅建設投入（資材エネルギー）による床面積あたりCO <sub>2</sub> （C換算）発生量（kg/m <sup>2</sup> ）			
戸建住宅 木造	70		
非木造	60	（鉄骨プレハブ想定）	
集合住宅 木造	70		
非木造	118		
● 住宅建設投入（資材エネルギー）による年間CO <sub>2</sub> （C換算）発生量（万ton/年）			
戸建住宅	408	木造	336
		非木造	72
集合住宅	653	木造	84
		非木造	569
全住宅	1061		

表7-4

住宅に木材でストックされる年間CO<sub>2</sub>（C換算量）  
（万ton）

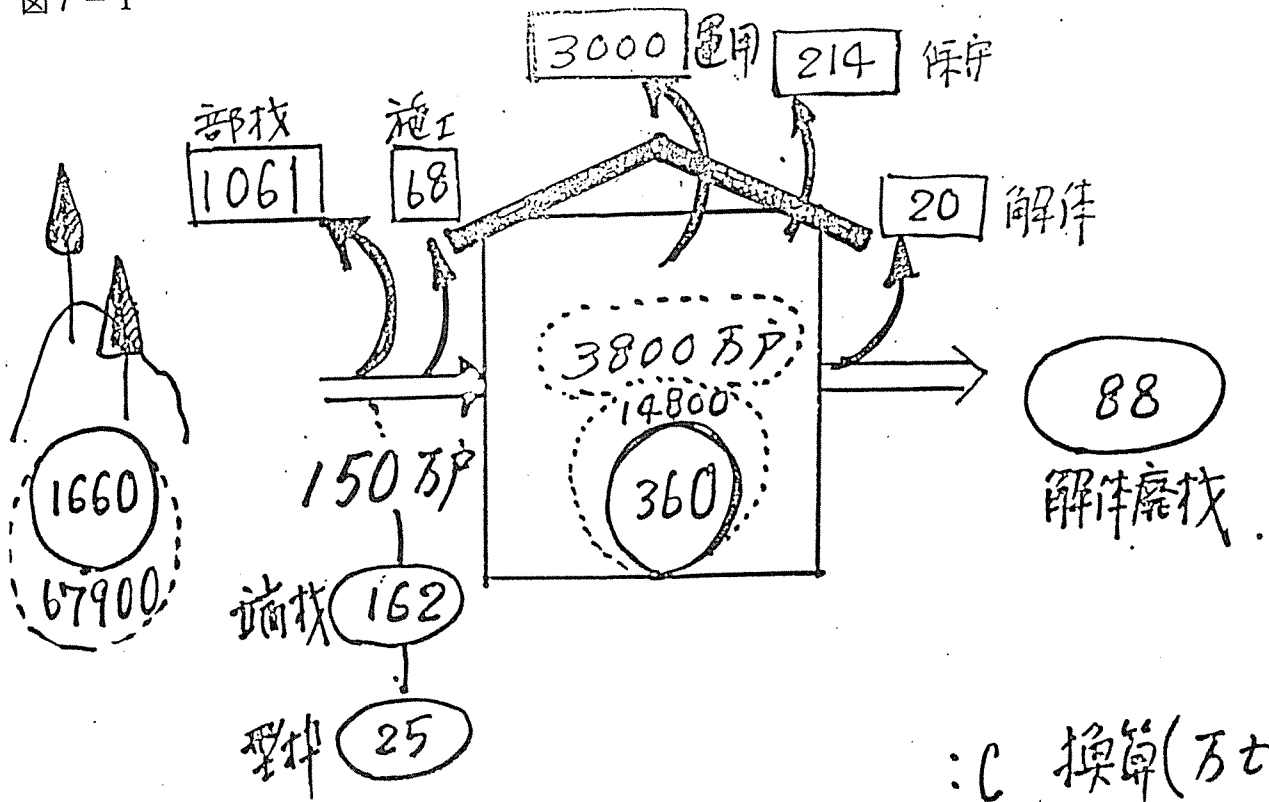
戸建住宅	252	木造	240
		非木造	12
集合住宅	108	木造	60
		非木造	48
全住宅	360		

現在住宅（3800万戸）に木材で  
ストックされているCO<sub>2</sub>（C換算量）  
（億ton）

木造	1.425（48年分）	非木造	0.06（10年分）
全住宅	1.48（約1.5億ton、40年分）		
	人工林蓄積の48%に相当		
	全森林蓄積の22%に相当		

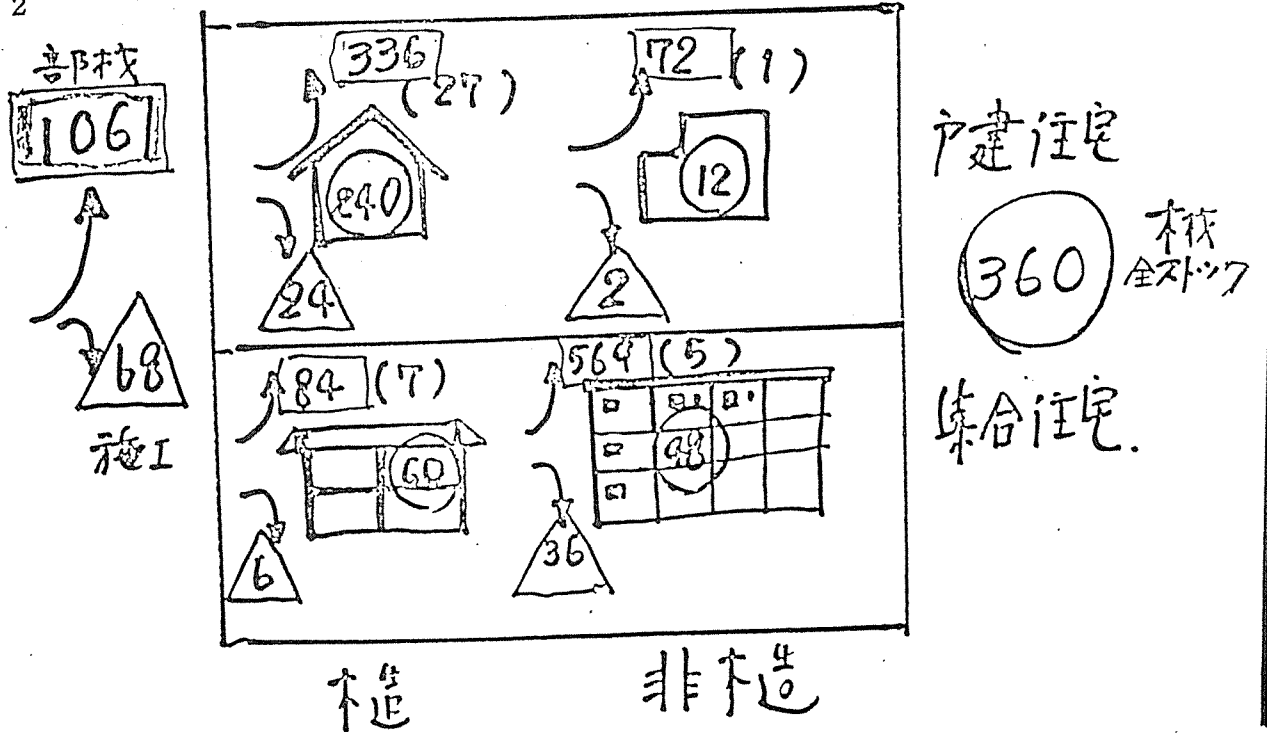
日本の森林に蓄積されているCO <sub>2</sub> （C換算量）	6.79億ton
人工林	3.08
天然林	3.71

図 7-1



日本の住宅ライフサイクルにおける年間CO<sub>2</sub>

図 7-2



住宅への建設投入 C とライフサイクル C (万ton/年)

## 8. 住環境としての学校

### 8. 1 「木造校舎」は一つの単語

木造建築物や木材製品など木材の利用に関する研究に関心のある我々は、それらを解体するとき、実態調査に出かけることが少なくない。どのようなところが、どのように痛んでいたのか、どんな使い方をしていたのかといった、耐久性などに関係する事柄を調査し、技術の向上の基礎資料を得たいこととならんで、材料や構法などの時代の背景を知ることが興味深いものでもある。しかしながら、その現場に立ち、無造作に放り投げられ、埃をかぶった中に使用した人々の歴史が刻まれているのを見ると胸が痛くなることが多い。離れる者の想いや手放す想いなどと同時に、主人を失った物の淋しさがそこにある。

木造校舎の解体作業は夏休みとか春休みに行われる。おそらく学童は終業式の時などに取り壊されるのを知らされるのであろう。黒板におもいおもいの落書き（落書きというより想い）が記されている。「ありがとう木造校舎」「思い出いっぱいの木造校舎」「木造校舎をこわすな」「・・・木造」など木造校舎という単語がきわめて多いのである。そこには単なる校舎ではなく「木造校舎」という一つの単語の中に個々の想いが宿っているように思えてならないのである。解体される学校とくに分校の場合、そこは集落施設、すなわち公民館などに替わり運動場はゲートボール場になることも少なくない。ゲートボールを楽しんでい

る人々の声にも木造校舎の解体を惜しむ声は多い。学校は、とくに小学校は心のふるさとそのものであるはずであるし、またそうでなければならない。単なる大人のノスタルジアだとはいえないものがあるように思えてならない。記憶をたどるものがなくなっては愛着は薄れよう。木造校舎の解体は記憶や愛着をもたらすもっとも重要な術をなくしていると訴えているようにみえるし、過疎問題と無縁ではないように思えるのである。

#### 8. 2 マウスは生活の空間として木の床を選んだ

静岡大学の研究グループはたいへん興味深い実験を行っている。マウスをコンクリート製飼育箱に入れ、その中央に通路用の穴をあけた隔壁で部屋を二分し、それぞれの床に材質の異なる建材を床張りし、マウスがどちらの部屋を休息の場を選ぶかを調べた。床材は合板、塗装合板、クッションフロアの他に、スギ板、ヒノキ板、アルミニウム板とコンクリート床のままの7種類でそれぞれを組み合わせ比較した。図8-1はその代表的な例である。横軸は観測した時間で、縦軸の白部分は静止していないマウスを上下に二分し、黒部分が静止しているマウスの数を示している。スギとコンクリート床では明らかにスギの側に片寄っている。各々の組み合わせから、スギ=合板>ヒノキ>クッションフロア>塗装合板>コンクリート>アルミとなって、マウスの休息する場の嗜好性の順位が分かる。その中であって興味深い結果がヒノキとコンクリートの組合せで、1日目は明ら

かにコンクリート側に片寄っていたのが、2日目にヒノキに片寄っている。その理由として初日目はヒノキの香りが強烈で避けていたが、2日目には熱の奪われないヒノキに移行したと推測される。この嗜好性の順位が別に実験した子マウスの生存率や内臓の発達の順位と一致していることは大変興味深い。動物が自身の生存に適する環境を生活の場を選び、それが生理的にも有利な環境を求める能力を備えていることは驚異でもある。もちろん、人間は、マウスとは比較にならないぐらい高度で複雑で、知恵も働いているので、マウスの試験結果をもって居住性を云々することは適切でないと思われるが、人間の生活の中で拘束状況が予測される居室の材料の選択には慎重にならねばならないという警鐘である。すなわち、学校やオフィスなどが、それに当たるであろう。気温が同じであっても熱伝導の低い、別の言葉でいえば足が冷えにくい、木材は床材料として総合的にみて適しているといえよう。発育段階にある児童が過す校舎ではいうまでもない（頭寒足熱!!）。

### 8. 3 心理、行動に関連する木質環境

名古屋大学のグループの実験ではマウスを木材、コンクリート、アルミニウム飼育箱で生活させ、巣を作るためのチップとして木片、プラスチックを与え、ほぼ一年間三世代にわたり妊娠、出産、哺育と仔の成長について観察した。その結果、マウスの繁殖状況ではコンクリートやアルミの飼育箱では哺育が進行せず、



哺乳食（親が子を食べる）などの異常が発生したのに対し、木で床敷きが木チップの場合は異常は1例も生じなかったことが述べられている。

静岡大学の研究グループは同じくマウスを木製、コンクリート製、亜鉛鉄板製の飼育箱で飼育し、成長、繁殖、嗜好性について広範な実験を行った。心理、生理的評価に飼育箱の材質がどのように関係したか調べている。温暖期の乳仔の生存率はコンクリート製飼育箱で極端に悪く、生存率で差のない夏季においても体重の増加が低かった。木製飼育箱では生存率も高く、体重の増加も大きかった。とくに、注目すべき点はコンクリート飼育箱ではメスの子宮、卵巣、オスの精巣といった生殖器の発達が悪く、生物学的評価で、より敏感な違いを示している。哺乳中の乳仔の成長や生存などの反応は、母マウスの生理機能および心理的要因の総合と乳仔の生理機能への直接的な部分が複合している。これらが床材の熱伝導という物理的諸性能に影響を受けていることは注意すべきであろう。

大迫氏は表8-1に示すような木造校舎から鉄筋コンクリート校舎に移動した教師の評価から鉄筋コンクリート校舎が落ち着いて学習できない環境であることを示唆しているが、表8-2の木製とコンクリートの各飼育箱でのマウスの状態と行動の主な差異を比較すると、驚くほどの類似性が認められる。外周温度が同じであっても熱を奪われるという現象が学童にストレスをもたらし、授業中の行動に影響を及ぼしていると推測できよう。したがってコンクリート校舎にあって

も床材として木材が用いられる最近の傾向は好ましい、教育環境としてごく当然の措置といえよう。

#### 8. 4 学校建築の維持管理、解体と保存

都市周辺地域でも校舎の解体、新築や改修が行われている。学童の激減は多くの地域でみられており、今後もその傾向はますます加速されるといわれている。

したがって、既存の校舎では多くの教室が空き室となっていることが多く、解体、新築の理由はみつけにくいので、建て替えの理由は木造校舎の老朽化と施設の充実といったものになっている。しかしながら、倒壊といった危険を伴う物理的にみた老朽化はほとんど見受けられないし、たとえ調査の結果「危険」と判断されたとしても改修、補強は十分可能であるというのが我々の実態調査の実感である。

また、建て替えに際して改修、補強が同列で検討されることは少ないようで、鉄筋コンクリート造といった大規模な近代化シンボルの建設といった関係者の思い入れが大きなウエイトとなっていることも少なくない。また、近年の学童の減少から学校のみ規模の拡大は困難なことから、生涯教育とか多目的利用といったものとの併用がなされることもあるようである。しかしながら安易な建物の規模拡大は学校教育における校舎の位置づけをあいまいにする。また、学校の（とくに小学校の）建設されている地域は歴史的な経緯からしても恵まれたところであることが少なくないし、土や樹木などの自然環境を可能な限り残すことは我が国

の今日的な課題でもある。木造は規模や重量からして建設に当たって基礎工事などでも土や樹木などの自然環境を著しく損傷しない。またなんらかの事情によっ壊すにしても比較的壊しやすいものである。それは決して地震などで壊れやすいことを意味していない。ただ、木造校舎を建設しようとしたときに当事者の中で未だに木造の耐震性が問題になることがあるという。その不勉強さに呆れると同時に木造技術者と情報の不足を反省させられる。また、学校は放火が多いことが木造を否定的にすることもあるようである。しかしながら教育の環境として校舎を論じるときには管理面は一応置いた上でなされるべきであろう。学校の主役はあくまでも発育する生徒であり、そして先生なのだ。

街作り、地方の活性化など論議されるときに公共建築物を地元の木材で、木造をという声は少なくない。そのとき、木造校舎は保存されるにしろ、新築されるにしろ、もっとも重要な公共建築物であり、心の故郷であって欲しいし、住環境の基本であることはもっと認識されて良い。

表8-1 木造校舎から鉄筋コンクリート校舎に移動した教師の評価

うるさい、声がこもる、冷たい、疲れる、子供が落ち着かない、  
湿気が多くなる、あふない、すべりやすい、硬い、掃除の方法が変わる

表8-2 各飼育箱でのマウスの状態と行動の主な差異

	木製飼育箱	コンクリート飼育箱
しっぽなどの温度	温かい	冷たい
乳児の皮膚表面	さらさらしている	べたべたしている
つかまえたとき	比較的静かにしている	あばれることが多い
共同生活させたとき	おっとりしている	けんかが目立つ
母親の授乳	ゆったりと与える	授乳時間が短い
母親の飼育	子をかき集める	かき集める度合いが少ない
活動	木部をかじる	金網をかじる
給水	給水の減少が早い	比較的遅い

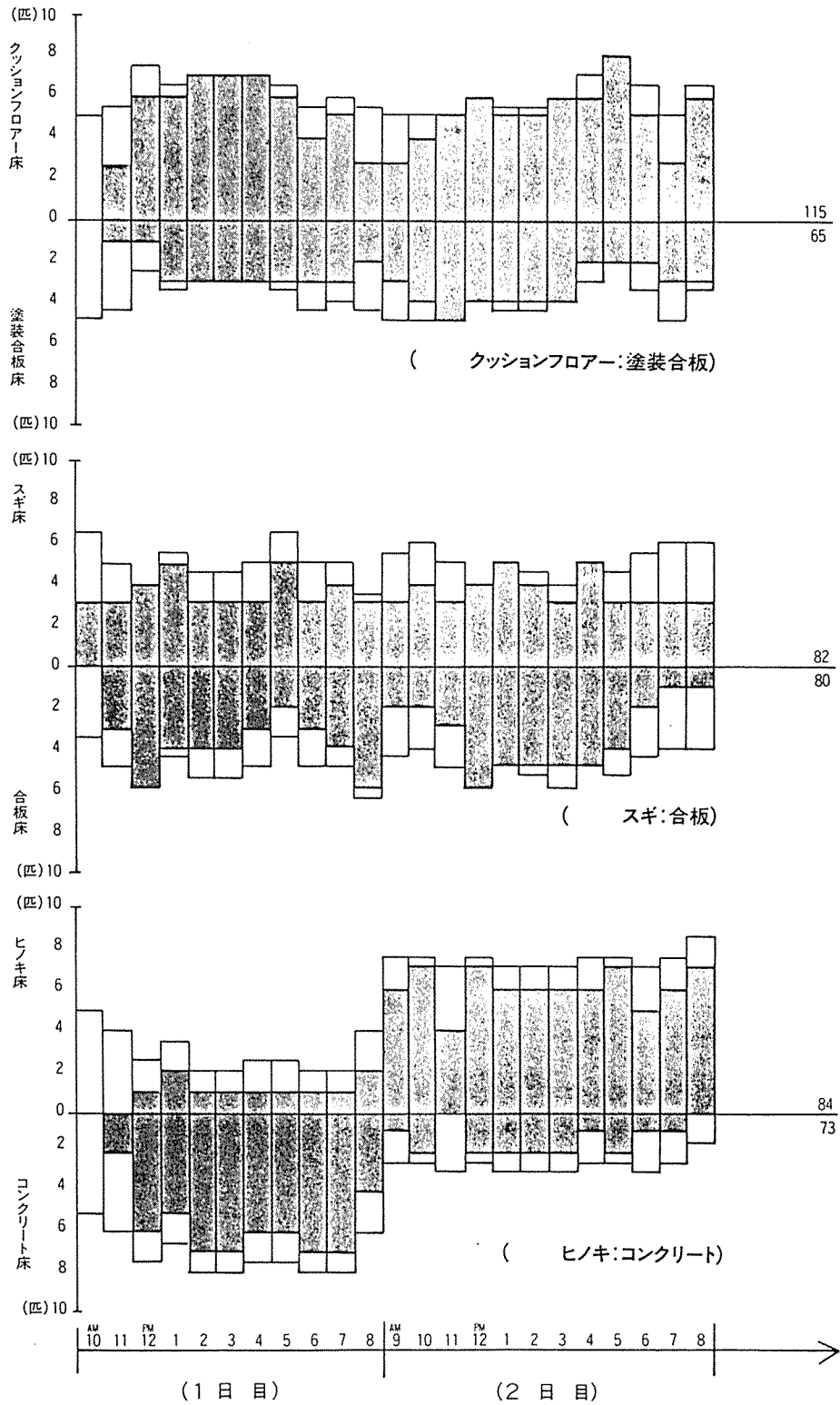
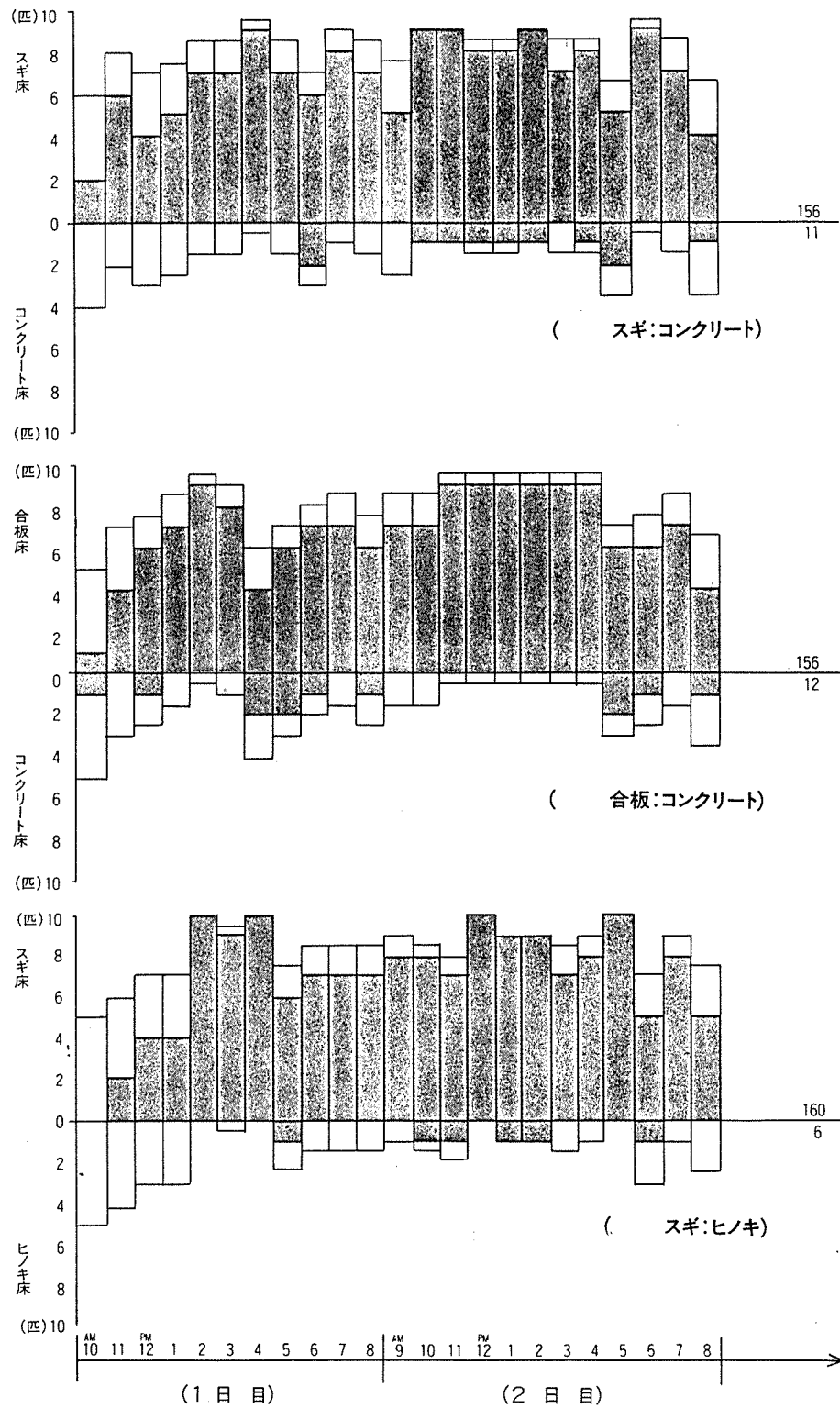


図8-1(a) 床材の嗜好性試験



☒ 8-1 (b) 床材の嗜好性試験

## 総 括

前年度の調査に引き続き、換気回数が住環境のすべての根底にあって重要な役割をはたしているとの認識に基いた調査が行われた。

まず基礎的研究として木材のもつ透湿能についての測定が行われた。ついで換気と住環境、学校環境との関連についての測定が数項目について行われた。そして教育の場としての教室環境を測定し、さらに全国規模でのアンケート調査が行われ、とりまとめがなされた。そしてより地球的規模での環境にかかわるものとして木材・木質構造のもつエネルギー的意味あいについての調査もとり上げられている。

1) 木材のもつ基礎的物性として透湿能を測定する試みがなされた。住宅における湿気の移動には湿気が隙間を通り抜ける場合と、床や内壁を透湿する場合とに分けられる。隙間を通り抜けるのは施工構造の問題であり、透湿は材料の問題である。

透湿速度（透湿係数）は含水率勾配に比例するとし、透湿を熱貫流と同様に扱ったもので、透湿カップを用い湿気伝達率、湿気伝導率が求められた。

湿気伝達率は吸湿側、放湿側でことなるのみならず木材の厚さによりことなってくる。また湿気伝導率は含水率9%を境にしてちがった値を示す。さらに湿気伝達率、湿気伝導率は針葉樹材と広葉樹材とで差が出る。これらの結果より、材の

両側の条件が与えられれば、透湿度或は透湿量を算出することが出来るようになった。

## 2) 住環境における換気

建物の換気量についての調査例は少なく、特に生活時の住環境と換気についてはほとんど情報がみられないといって良い。この調査では国内外の既往の研究を参考にして住宅換気の実態や換気の測定方法等を明らかにし、さらに室内空気の汚染物質としてCO、NO<sub>2</sub>、ラドン、ホルムアルデヒドについて記述をとりまとめている。

## 3) 建材および住環境におけるラドン濃度

ラドン濃度の測定は、ある一時点での、限られた場所での測定データでは、極めて狭い情報しか入手出来ず、判断を誤る危険性がある。この研究では環境因子の測定のために長期にわたって同一手法による同一場所での研究を継続することにより、より確実な情報をうることを試みたものである。すなわちこの測定では、定点の一年間を通じた、全季節での測定値について、その測定値の変動の経過について記述するデータを得ることが出来た。そして住宅内におけるラドンの挙動について考察することが可能となった。そして木造住宅におけるラドン濃度低減策についての現時点での提言が行われている。すなわち

①ラドン発生源は、床下地面と無機建材である。それを低減するには床下地面に



防湿施工をほどこす。いずれにしても床下換気が複合的に有効であろう。

②無機建材には、特に高いラドン含有量をもつ副産石膏などの原材料を使用していないものを用いることが重要である。

③壁土もラドン発生源となる。特に高いレベルの壁土の使用には注意が必要である。

④R C造住宅も含め、外気との換気に注意すべきである。少なくとも1回/時間程度の換気回数が必要と考えられる。

⑤R C造等、無機建材の使用が不可欠な場合はラドンシーラントの施工が効果的であろう。その場合、木質建材の使用は温湿度環境の維持の面からも有効で最良の内装材となる。

#### 4) 室内環境における落下真菌の測定と同定

室内環境における落下真菌の測定と同定が、小学校、中学校、理科系大学、文科系大学、木造一般住宅で行われた。その結果夏季は冬季より菌数が多く、水の使用を伴う浴室等の菌数は他の居室に比し多いことが知られた。しかし若干の例を除き落下真菌に関する限り、菌数の多い夏季においても特に問題になりそうな数値は示されなかった。小学校においては授業終了後に木造教室において落下真菌が多くなることがみられたが、教室を造っている木材のもつ木質が学童の活動を活発にしているものと思われ、住居の場の材質が活動度に影響を及ぼしている

ことをうかがわせた。

一般の公共、個人の住環境の落下真菌数については特に問題となる点は見い出せなかったが、廃棄物の運搬に使用されているエレベーター内の落下真菌が異常に多く、不安を感じさせる菌数を示した。このようなエレベーター内の清掃、殺菌は不可欠であろう。

#### 5) 木造教室内の炭酸ガス濃度と換気

本調査では暖房時における教室内のCO<sub>2</sub>濃度の実態をとらえ、近年建築された木造教室の換気における問題点を実測値をもとに整理し、教室の換気の必要性和教室の改善についての指針を明らかにした。CO<sub>2</sub>濃度は、日本産業衛生学会の示している許容濃度では、中央管理式の空気調和設備ビルでは0.1%、自然換気の一般の事務所では0.5%とされている。また学校の教室では0.15%とされる。さらに住居内の施設すなわち暖房、湯沸器、炊事設備によりガス燃焼にもなって生ずるCO<sub>2</sub>については0.5%を用いることとされている。

測定の結果は

①灯油ストーブによる採暖時のCO<sub>2</sub>濃度はRC造、木造の教室共に0.35%～0.42%と高い値を示している。ちなみに文部省の「学校の環境衛生の基準」では開放型ストーブを使用する場合を扱っていない。この意味から「学校環境衛生の基準」はCO<sub>2</sub>濃度に関しては実態とかけはなれている。

②ストーブを使用していない時の教室のCO<sub>2</sub>濃度は0.27～0.38%を示し「学校環境衛生の基準」の値0.15%をこえている。この基準値0.15%という値は、授業中の換気を冬季でも室の高所の開口を解放し、自然換気を行うことにより得られるものであるとした値である。

③測定した小学校での自然換気による換気回数はストーブ使用時、木造教室では2.8回/時間、RC造教室では3回/時間を示し、ストーブを使用していない状態では木造教室で1.4回/時間、RC造教室で1.4回/時間という結果を得た。

④CO<sub>2</sub>濃度を基準値の0.15%に保つためには開放型ストーブ使用時（採暖時）では9.5回/時間、ストーブを使用していない時で2.3回/時間必要であるとのシュミレーションの結果を得た。この回数は木造教室、RC造教室ともにはほぼ等しい回数である。このような激しい換気による熱損失は膨大であり、寒気の流入も激しいものとなるであろう。対策としては廃ガスを直接外に排気する形のストーブの使用が考えられる。

#### 6) 学校校舎を構成する建築材料による教室内環境の形成効果について

岐阜県武儀郡上之保村立上之保小学校において木造教室とRC造教室について種々測定を行うと共に、建築素材と学校環境について全国的なアンケート調査を行いその結果について検討を行った。

結果、教室の壁面に用いられている材料が教室の温湿度環境に大きく影響していることが明らかになった。すなわち木造教室はRC造教室に比べ、室内温度が高く、かつ室内温度の分布に差が少ないこと、また湿度が50%前後に保たれ易く、快適な温湿度環境を形成していることが知られた。RC造教室で居住空間としての快適性を得ることは難しいことのように思われた。

アンケートの結果ではこのような温湿度環境の相違が、そこで生活する子供や教師の情操面や生理機構等に種々の影響を与えていることがうかがわれた。

#### 7) 住環境としての学校

マウスを用いた種々の材料を用いた生活空間選択実験では、マウスは生活空間として木の床を選んだ結果を得た。そしてそれら各種の材料で作った飼育箱でのマウスの状態や行動が、木造教室、RC造教室での先生の生活、子供の状態等に及ぼしている、材料の影響についての結果に類似していることが認められている。この結果は木造教室とRC造教室での授業を共に経験している教師の評価に基づくものである。

同時にいまだに木造の校舎等木造の公共建物に対する建設当時者の不勉強による偏見が木造校舎等に対する保存・新築等の障害となっていることが指摘された。

#### 8) 住環境教育における木材・木質構造

ここでは住宅にかかわるCO<sub>2</sub>の放出、住宅中での炭素(C)のストックが論じ

られている。すなわち地球環境という観点から、木造住宅を論ずる場合、住宅生産全体を通じて、生産に必要な材料エネルギーとそれに関連するCO<sub>2</sub>の放出量を論じ、それらが木造住宅では他材料造住宅に比し極めて小さいこと、木造住宅の中に貯蔵されている炭素（C）の固定量が日本での森林材積の22%にも相当すること等が論じられている。

CO<sub>2</sub>放出型の建築材料や部材を、木材をベースとしたもので代替することの必要性を検討する時期が来ているものと思われる。地球規模での環境が論じられる現在では、住宅建設の場でもこの様な観点から木材を見直すことが必要である。建築用木材のリサイクル問題を含め、今後の研究テーマの1つとなるであろう。