

JAERI - M
89-045

家屋の放射能防護効果に関する研究(Ⅰ)
家屋の自然換気回数および構造種別分布の調査

1989年4月

村田 幹生・野口 宏・加藤 正平

国分 守信・奥山 博康*

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division
Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-
mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1989

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 榎高野高速印刷

家屋の放射能防護効果に関する研究 (I)
家屋の自然換気回数および構造種別分布の調査

日本原子力研究所東海研究所保健物理部
村田 幹生・野口 宏・加藤 正平
国分 守信⁺・奥山 博康^{*}

(1 9 8 9 年 3 月 2 7 日 受 理)

原子炉事故時等の緊急時における施設周辺の住民の防護対策の一つとして、屋内退避は容易にかつ安全に実施できる方法である。浮遊性放射性物質に対する屋内退避の内部被曝防護効果は、家屋の自然換気と密接に関係している。本報告は、日本および欧米における家屋の自然換気回数実測データを調査し、その実態をまとめたものである。また、代表的日本家屋を選定するために、日本家屋の構造種別分布の現状について調査し、まとめた。

自然換気回数実測データの調査の結果、日本の家屋に対して211データ、欧米家屋に対して500データが得られた。換気回数の頻度分布は対数正規分布に非常によく適合し、日本家屋の幾何平均換気回数と標準偏差はそれぞれ 0.79 h^{-1} と0.21であり、欧米のそれらは 0.33 h^{-1} と2.1であった。また、回帰分析結果から、日本家屋の自然換気回数 $Y(\text{h}^{-1})$ を、新しく定義した家屋の気密指標 $X_1(=1, 2, 3, 4)$ 、風速 $X_2(\text{m/s})$ 、内外温度差 $X_3(^{\circ}\text{C})$ から推定する次の経験式を得た。

$$Y = -0.20 + 0.30X_1 + 0.083X_2 + 0.016X_3$$

これらの調査の結果、家屋の自然換気回数および内部被曝低減係数を簡易に推定するために必要なデータが整備できた。

The Effectiveness of Sheltering against Internal Exposure
in Nuclear Reactor Accidents (I)
- Survey on the Natural Air Exchange Rates and
the Structural Distribution of Houses -

Mikio MURATA, Hiroshi NOGUCHI, Shohei KATO
Morinobu KOKUBU⁺ and Hiroyasu OKUYAMA^{*}

Department of Health Physics
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received March 27, 1989)

Sheltering in a house is considered one of the simple and easy protective actions taken in accidental radioactive airborne releases from nuclear power plants. The effectiveness of sheltering for airborne materials with respect to an internal exposure directly depends on natural air exchange rates of houses.

This report describes the results of the literature survey and statistical analysis on the natural air exchange rates of Japanese and foreign houses, and describes the statistical data of Japanese houses from the view point of structure.

The total number of data "measured air exchange rates" collected was 211 for Japanese houses and 500 for foreign houses, respectively. The frequency distributions of the air exchange rates well fitted in the log-normal distributions. The geometric mean and geometric standard deviation for the Japanese houses were 0.79 h^{-1} and 2.1. The same values for the foreign houses were 0.33 h^{-1} and 0.21. The regression equation obtained to estimate the air exchange rates of Japanese houses is as follows:

$$Y = - 0.20 + 0.30 X_1 + 0.083 X_2 + 0.016 X_3$$

+ Office of Operational Safety Administration
* Shimizu Construction Company

where, Y is the air exchange rate (h^{-1}), X_1 the index of air-tightness of house (1 to 4), X_2 the wind speed (m/s), and X_3 the temperature difference between indoor and out door ($^{\circ}\text{C}$).

Keywords: Sheltering, House, Air Exchange Rate, Airborne Material, Internal Exposure, Dose Reduction Factor

目 次

1. まえがき	1
2. 換気回数実態調査	2
2.1 データ収集について	2
2.2 自然換気回数の調査結果	4
2.3 回帰分析による換気回数推定式の誘導	5
2.4 自然換気回数の推定式	9
2.5 自然換気回数についての考察	10
3. 家屋の構造種別比率の地域的分布調査	15
3.1 調査の目的	15
3.2 調査結果	16
3.3 代表的日本家屋についての考察	17
4. まとめ	27
謝辞	29
参考文献	29
付録1 換気実測データの調査結果表（日本の家屋）	30
付録2 換気実測データの調査結果表（欧米の家屋）	40
付録3 自然換気回数推定式を求めた統計解析法	60
付録4 換気回数実測データの調査に用いた資料の一覧	64

Contents

1. Introduction	1
2. Survey on natural air exchange rates of houses	2
2.1 Data collection	2
2.2 Survey results	4
2.3 Derivation of empirical equations to estimate natural air exchange rates by regression analysis	5 9
2.4 Empirical equations	10
2.5 Discussion	15
3. Survey on structural distribution of Japanese houses	15
3.1 Data collection	16
3.2 Survey results	17
3.3 Discussion	27
4. Summary	29
Acknowledgement	29
References	30
Appendix 1 Summary tables of natural air exchange rates of Japanese houses	30
Appendix 2 Summary tables of natural air exchange rates of foreign houses	40
Appendix 3 Statistical method used for derivation of empirical equations	60
Appendix 4 Lists of reports used for survey	64

1. ま え が き

原子力施設の異常時に万一放射性物質が施設外に放出されるようなことがあれば、当該地域住民の浮遊性放射性物質（放射性エアロゾル、ヨウ素ガス）の吸入による内部被曝を最小限にとどめるための適切な防護対策をとる必要がある。このような場合、手近な家屋内への退避は比較的容易かつ安全に実施が可能であり、また、既存の通報網が利用できる利点もあって有効な対策の一つと考えられている。

家屋の放射能防護効果は、「屋内へ退避したときに受ける内部被曝線量」に対する「屋内へ退避しないときに受ける内部被曝線量」の比として定義され、次式の内部被曝低減係数で定量的に表わされる。

$$\text{内部被曝低減係数} = \frac{\int_0^t C(t)_{in} dt}{\int_0^t C(t)_{out} dt}$$

ここで、 $C(t)_{in}$ と $C(t)_{out}$ は、時刻 t における建物内と建物外の空気汚染物質濃度である。この係数が小さいほど防護効果は大きい。

外気の侵入による屋内濃度の時間変化は主として建物の自然換気に支配されているため、換気回数がわかれば屋内濃度変化を推定することができる。したがって防護効果の評価には家屋の換気回数についての知見がぜひとも必要である。

家屋の自然換気の実態を明らかにし、屋内退避によって得られる内部被曝低減係数を評価するため、シリーズ研究として次の項目を行ってきた。

- (1) 家屋の自然換気回数と換気要因、および日本家屋の構造種別の実態調査を行い簡易に内部被曝低減係数を評価するためのデータを準備する。
- (2) 実在する日本家屋の自然換気回数を環境要因と関係づけて実測し、(4)に必要なデータを整備する。
- (3) 自然換気と密接に関連する家屋の隙間の通気特性と、家屋外周の風圧係数を実測し、(4)に必要なデータを整備する。
- (4) 上記(2)(3)のデータを用いて、家屋の自然換気回数および内部被曝低減係数を詳細に計算するためのコードを開発する。

本報告書は、上記(1)についてまとめたもので、屋内退避による内部被曝低減係数の評価に不可欠な自然換気回数と換気の要因について調査・解析した結果と、代表的日本家屋を選定するために必要な家屋の構造種別の地域的分布調査の結果をまとめたものである。*

日本家屋の換気回数については、非放射性のトレーサガスによって測定された多くの例がある。しかしながら、家屋の種類や構造、測定時の環境条件等が種々異なっていたり、必ずしも明らかではなかったりして、一般化された形での換気回数を推定できるような式は報告されていない。

* 研究項目(2), (3)の結果は、本報告と前後しているが、既にJAERI-Mとして報告されている(参考文献, (4)と(5))。

本調査では、自然換気回数の実測データの調査から、日本家屋の自然換気回数の現状とその要因、および換気回数を大略ではあるが簡易に推定するための経験式を得ることを試みた。経験式を得るために、多変量回帰分析法を適用した。また、比較のために欧米家屋についても同様の調査と解析を行った。

続いて、代表的日本家屋を選定するための基礎データを得る目的で、全国のおよび大都市圏を除いた原発立地県を含むその他の地域（一般的地域）における日本家屋の構造種別からみた個数比率、床面積比率、都道府県別および全国的な分布状態を調べ、現状を分析した。

なお、家屋の自然換気回数は、ラドンおよびその娘核種による居住空間における被曝線量評価においても重要な項目となっている。自然換気データを必要としている分野が多くあるので、調査したデータの全てを付録に記載することとした。

2. 換気回数実態調査

2.1 データ収集について

2.1.1 調査方法

自然換気回数の実測データを文献から得ることにし、測定場所・期間、測定方法、測定条件などが記載されている研究報告・論文に焦点を絞り調査した。

自然換気回数の実測データを掲載した文献は次の2つの方法で探した。

a) 文献検索機の利用

日本科学技術情報センターのオンライン端末機に文献検索に必要なキーワード、検索語を入力し、必要な文献の所在を明らかにした。

最初に、住宅の換気回数の測定を目的とした文献を探すために、「住宅」、「自然換気」、「シミュレーション」を中心とした数個のキーワードを使用し検索したが、換気回数の測定自体を目的とした文献は少ないらしく満足な回答は得られなかった。

次に、換気回数の測定自体が目的ではなくても、省エネルギー、熱負荷計算などのテーマのために換気回数を実測し、その結果を掲載している文献を探した。用いたキーワードは、「住宅」、「自然換気」、「シミュレーション」、「省エネルギー」、「熱負荷」などである。

検索の結果、日本科学情報センターに登録されている1975年4月以後の文献の中から国内外合わせて百数件の文献の所在が明らかになった。この中から、さらに的を絞るために、文献の概要を読み、最終的に二十数件の文献を選び出した。

そのほか、日本建築学会大会論文梗概集、日本建築学会論文報告集、建築研究所年報、住宅公団調査研究報告、ASHRAE TRANSACTIONS等を直接調査した。

なお、自然換気回数の実測データを探すにあたり、次の2点に留意した。

- ・住宅のすきま風による換気回数の実測データが必要であるので、窓、戸等の開口部が開いて測定されたデータは除いた。

本調査では、自然換気回数の実測データの調査から、日本家屋の自然換気回数の現状とその要因、および換気回数を大略ではあるが簡易に推定するための経験式を得ることを試みた。経験式を得るために、多変量回帰分析法を適用した。また、比較のために欧米家屋についても同様の調査と解析を行った。

続いて、代表的日本家屋を選定するための基礎データを得る目的で、全国のおよび大都市圏を除いた原発立地県を含むその他の地域（一般的地域）における日本家屋の構造種別からみた個数比率、床面積比率、都道府県別および全国的な分布状態を調べ、現状を分析した。

なお、家屋の自然換気回数は、ラドンおよびその娘核種による居住空間における被曝線量評価においても重要な項目となっている。自然換気データを必要としている分野が多くあるので、調査したデータの全てを付録に記載することとした。

2. 換気回数実態調査

2.1 データ収集について

2.1.1 調査方法

自然換気回数の実測データを文献から得ることにし、測定場所・期間、測定方法、測定条件などが記載されている研究報告・論文に焦点を絞り調査した。

自然換気回数の実測データを掲載した文献は次の2つの方法で探した。

a) 文献検索機の利用

日本科学技術情報センターのオンライン端末機に文献検索に必要なキーワード、検索語を入力し、必要な文献の所在を明らかにした。

最初に、住宅の換気回数の測定を目的とした文献を探すために、「住宅」、「自然換気」、「シミュレーション」を中心とした数個のキーワードを使用し検索したが、換気回数の測定自体を目的とした文献は少ないらしく満足な回答は得られなかった。

次に、換気回数の測定自体が目的ではなくても、省エネルギー、熱負荷計算などのテーマのために換気回数を実測し、その結果を掲載している文献を探した。用いたキーワードは、「住宅」、「自然換気」、「シミュレーション」、「省エネルギー」、「熱負荷」などである。

検索の結果、日本科学情報センターに登録されている1975年4月以後の文献の中から国内外合わせて百数件の文献の所在が明らかになった。この中から、さらに的を絞るために、文献の概要を読み、最終的に二十数件の文献を選び出した。

そのほか、日本建築学会大会論文梗概集、日本建築学会論文報告集、建築研究所年報、住宅公団調査研究報告、ASHRAE TRANSACTIONS等を直接調査した。

なお、自然換気回数の実測データを探すにあたり、次の2点に留意した。

- ・住宅のすきま風による換気回数の実測データが必要であるので、窓、戸等の開口部が開いて測定されたデータは除いた。

- ・実態調査であるため、フィールド実験以外の模型実験によって得られたデータは除いた。

2.1.2 調査項目

家屋の自然換気を引き起こす駆動力の1つとして、室内外の温度差に対応する空気の密度差によって生じる浮力がある。もう1つは風速によってきまる外気のエネルギーが建物外周において一部、あるいは全部が静圧に変わることによって生じる風圧がある。一方、これらの駆動力が作用する家屋は、多数のチャンバとチャンバ間に存在する隙間や開口などの通気路によって構成されている。この通気路は、それをはさんでの静圧差と、それを通過する風量との関係を表わす特性値としての通気抵抗係数と抵抗指数で特徴づけられる。

本調査では、自然換気回数の実測値とその要因との関係を明らかにするために、自然換気回数の実測値とともに、その要因である風速、内外温度差、および建物の気密性の3つの項目について調査を行った。これらの項目は次のように定義されるものである。

a) 自然換気回数

換気回数とは、ある室を通過する風量 (m^3/h) をその室の容積 (m^3) で割ったものである。ほとんどの測定例においてはこの数値に規格化してあったが、通過風量しか示されていない例もあった。そのような場合は、建物の概略図などが添えてあり室容積が見積もれる測定例についてのみ採用することにした。

b) 建物の気密性

建物の気密性に関連する通気路を客観的に数量化するには隙間や開口部の流量係数を用いることが望ましい。この流量係数を知るためには一戸全体に対し送風機を用いて加圧し、その内外差圧と送風量の実測値を得なければならない。本調査によって集められた文献中のデータにはこの流量係数の実測値を伴っているものはほとんど見あたらなかった。そこで本調査では別の気密性を表わす指標を定めることにした。気密性は建物の構造と開口部のおさまりに大きく関係していると考えられるので、まず建物の構造を木造と鉄筋コンクリートに大別し、各々の構造について気密性の良いと思われるもの（断熱住宅、気密住宅など）と気密性の悪いと思われるもの（断熱、気密化を施していない住宅など）の2つに分けて全体的に次の大まかな4段階の指標を定めた。

- 1 ……鉄筋コンクリート造で気密性の良い建物
- 2 ……鉄筋コンクリート造で気密性の悪い建物
- 3 ……木造で気密性の良い建物
- 4 ……木造で気密性の悪い建物

木造、鉄筋コンクリート造以外の構造（例えば、れんが造、コンクリートブロック造など）についてはどの指標に近いかを換気回数から判断し、気密指標を対応させた。本調査において得られた測定例の建物構造種別に対応させた気密指標は、日本のものについては表2-1、欧米のものについては表2-2に示すとおりである。

c) 風速

外気風速は地上10mで地物に影響されていない標準風速が測定されていれば規格化された要因として使える。しかし風速の測定位置を明記してあるものは少なかった。また、風向も要因

の1つであるが、測定例ごとに建物の向きや形状はまちまちであるため規格化することは困難であった。従って風についての項目は単に資料に記してある風速の値のみをそのまま採用することにした。

d) 内外温度差

直接的に換気量に関係するのは内外温度差に対応する内外密度差である。したがって、内外温度差を内外密度差に換算したものを要因とするのが望ましい。しかし、測定の中には内外の温度そのものは明記されておらず、単に温度差のみのもので多いこと、また、数量としての要因の扱い易さなどから考えて内外温度差を要因としてとることにした。

なお、内外温度差のデータが欠損している場合には、原則として標本平均を入れたが、欠損していて非暖房中ということしかわからないものについては、内外温度差を5℃とした。これは、非暖房中で室温になっているとしても、日射と内部発熱等により、内外温度差は0になりえず、必ず室内は外気温より高くなるためである。

2.2 自然換気回数の調査結果

文献調査の結果、自然換気回数の実測データは、国内のものについて12件、211データ、欧米のものについて11件（アメリカ…6件、スウェーデン…1件、イギリス…1件、オランダ…1件、カナダ…1件、オーストラリア…1件）、500データを得ることができた。得られたデータは文献ごとにその出典、建物の構造と気密指標、風速、内外温度差、自然換気回数について付録1の付表1-1から1-12（日本家屋）と、付録2の1付表2-1から2-11（欧米家屋）にまとめた。

これらの報告例では、炭酸ガスをトレーサとして換気回数が測定されている例が最も多く、一酸化炭素、ヘリウム、六弗化イオウ、亜酸化窒素などが用いられている場合もあった。

換気回数の測定対象となっている家屋は付録1と2に示したように種々のものが含まれているうえ、1戸全体あるいは1戸のうち1室または数室が換気測定対象であったりした。その大きさ（床面積、容積、階数）や風速、立地条件なども異なっている。

換気回数の調査データには次のような特徴が見られた。

日本の調査データでは、換気回数、風速、室内外温度差の範囲はそれぞれ $0.05 \sim 5.0 \text{ h}^{-1}$ 、 $0 \sim 10.0 \text{ m/s}$ 、 $0 \sim 39.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ であった。また、欧米データでは、それぞれ $0.02 \sim 4.5 \text{ h}^{-1}$ 、 $0 \sim 11.1 \text{ m/s}$ 、 $0 \sim 49.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ であった。換気回数は環境および家屋条件によって日本、欧米ともに2桁の広い範囲にわたっていることがわかった。

いま、種々の環境条件下で種々の家屋について測定された換気回数データの全てをまとめて頻度分布図で表すと、図2-1のようになる。この図から、分布形は正規型ではないことがわかる。また、欧米家屋の換気回数の方が日本家屋に比べて小さいほうに分布していることが明らかである。

図2-2および図2-3は、換気回数の頻度を対数正規確率紙にプロットしたものである。日本および欧米家屋の換気回数はともに予想もしなかったことであるが対数正規分布にきれいにフィットすることがわかった。幾何平均換気回数は日本家屋が 0.79 h^{-1} 、欧米家屋が 0.33 h^{-1} で、前者が2.4倍大きかった。幾何標準偏差はともに2.1であり、両者の換気回数の広がりきわめて

似ていることがわかる。これらの結果が何を表わしているかは興味のあるところであるが、現在検討中である。

2.3 回帰分析による換気回数推定式の誘導

文献調査によって得たデータをもとに、自然換気回数と建物の気密指標、風速、内外温度差の関係を経験的に説明する換気回数推定式を多変量回帰分析によりもとめた。

換気回数を Y (h^{-1})、気密指標を X_1 、風速を X_2 (m/s)、内外温度差を X_3 ($^{\circ}C$) とするとき最も単純な線形式は次式である。

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_3 \cdot X_3 \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

さらにこれらのパラメータ a_0, a_1, a_2, a_3 が気密性によって変わるものと見なし、変数 X_1, X_2, X_3 については非線形であるとするれば次式のような形も考えられる。

$$Y = (b_0 \cdot X_1^p + b_1) + (b_2 X_1^p + b_3) \cdot X_2^q + (b_4 \cdot X_1^p + b_5) \cdot X_3^r \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

ここに p, q, r はそれぞれ変数 X_1, X_2, X_3 の指数である。換気現象の物理的なしくみから $p = 1, q = 1, r = 1/2$ と定め、回帰分析を行った。この結果と単純線形式による回帰分析結果を比較したところ、単純線形式の方が適合度が高いことがわかった。さらに回帰式の使いやすさも考え、本調査研究においては (2.1) 式の単純線形式を用いることにした。

(2.1) 式の係数 $a_0 \sim a_3$ を決定するための解析法の概要は以下の通りである。

文献調査により Y, X_1, X_2, X_3 のデータが総数 n 個集められたとすると、このうちの j 番データは次式のベクトル形式で表される。

$$Y_j = [1, X_{1j}, X_{2j}, X_{3j}] \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = X_j \cdot a \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

この方程式誤差を e_j とし、その二乗和を重み W_j 付きで総和することにより a に関する評価関数を得た。この評価関数を a に関し最小にする条件から、 a の推定値 \hat{a} は (2.4) 式のように表される。¹⁾

$$\hat{a} = \left(\sum_{j=1}^n {}^t X_j \cdot W_j \cdot X_j \right)^{-1} \cdot \left(\sum_{j=1}^n {}^t X_j \cdot W_j \cdot Y_j \right) \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

ここで、 W_j は Biweight 法による重み行列で、パラメータの推定値 \hat{a} は (2.4) 式を計算することにより得られる。解析手法および重み W_j の与え方の詳細などについては付録 3 に記した。

表 2 - 1 気密指標対応表 (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

表 2 - 2 気密指標対応表 (欧米)

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 (寒冷地) れんが造 (Sealed) モバイルホーム* (気密一体シール装) タウンハウス
2		悪	れんが造 モバイルホーム
3	木 造	良	木造 (断熱, 二重窓) 気密住宅
4		悪	木造

* 自動車によって牽引し移動可能な家屋 (長さ 66 ft, 幅 14 ft)

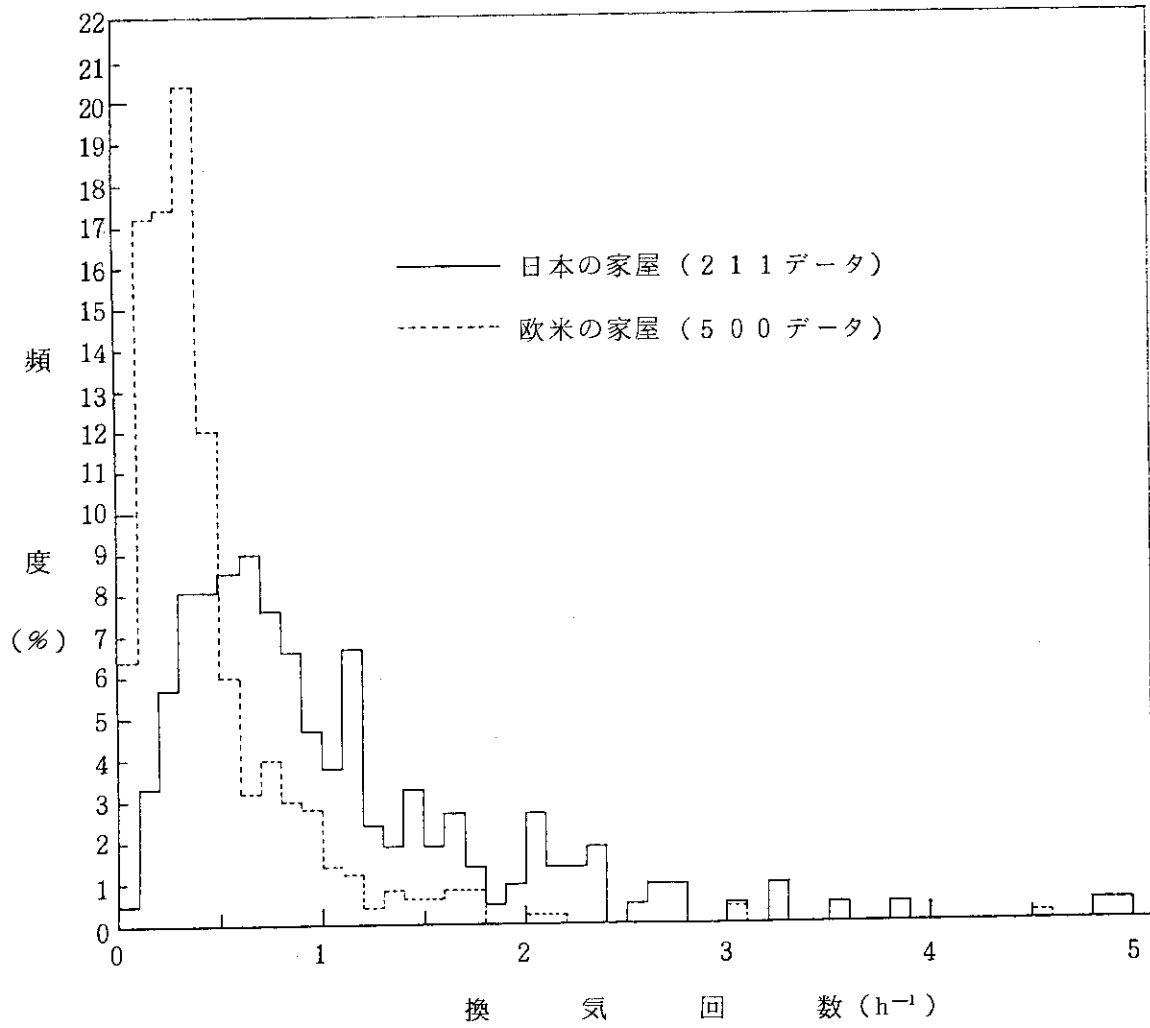


図 2 - 1 日本および欧米家屋換気回数の頻度分布

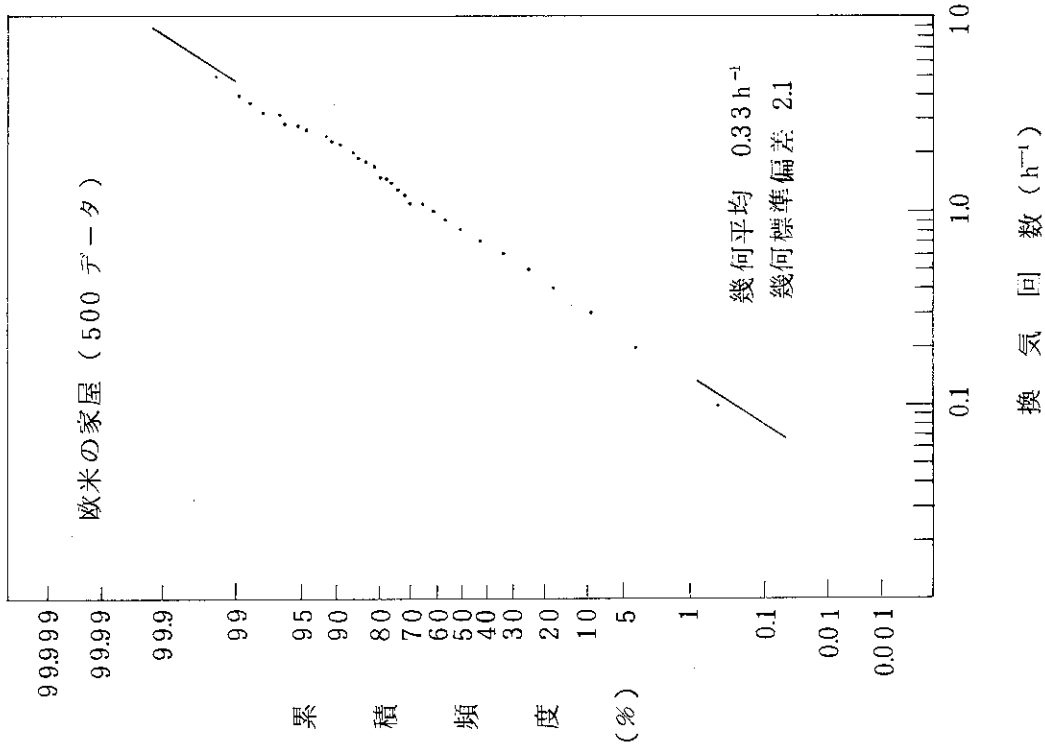


図 2-2 日本家屋換気回数の対数正規プロット

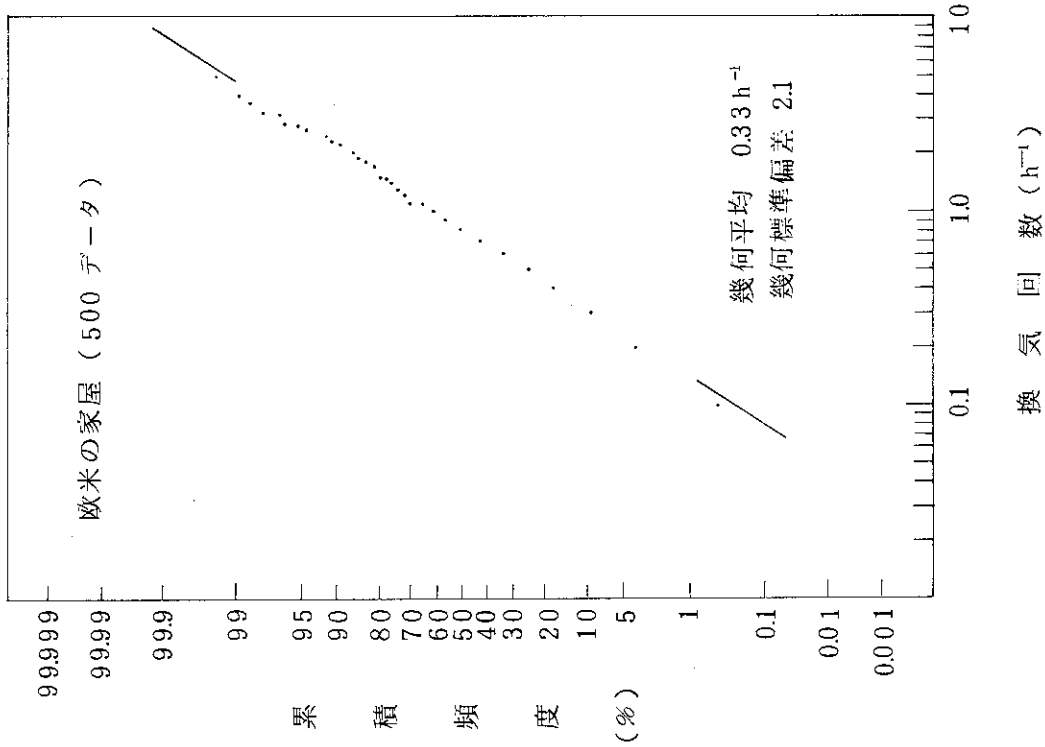


図 2-3 欧米家屋換気回数の対数正規プロット

2.4 自然換気回数の推定式

2.3で述べた回帰分析の方法を、国内と欧米の換気実測データそれぞれに適用して得られた結果について説明する。分析結果は表2-3(日本)および表2-4(欧米)に示す。

表中のYは測定された換気回数、Y'は回帰式によって計算された換気回数、X₁は表2-1, 2-2に示す気密指標、X₂は外気風速(m/s)、X₃は内外の温度差(°C)、Eは付録3の(8)式で表わされる残差、Wは付録3の(17)式で計算された重みである。

表には、Y、Y'、X₁、X₂、X₃、EおよびWについての最大値MAXと最小値MIN、重みつき平均WAVE、および分散VARが示されている。重みつき平均とは、付録3の(17)式で計算される重みを測定例ごとに乗じて和したものを、重みの和で割った数値を意味する。

ただし、分散は重みつきのものではない。また、重みが0になった測定例についてはこれらの処理からはずされている。

表2-3, 2-4にはそれぞれ日本および欧米データに対する回帰式パラメータa₀, a₁, a₂, a₃の値とその誤差標準偏差SDを示す。このSDはパラメータ誤差分散共分散マトリックスの対角要素の正の平方根である。パラメータの誤差の規格化分散共分散マトリックスは、付録3(21)式からもとまるパラメータの誤差分散共分散マトリックスから定数項a₀に関する行と列を除いたものである。この非対角要素が共分散であるが、もし(i, j)要素(i≠j)が負または小さな正数であれば変数X_iとX_j間の独立性が高いことを表わしている。また、表中の決定係数(COD)とF値は、付録3の(27)式, (28)式からもとめたものである。CODの正の平方根は重相関係数である。なお、自由度については、全体がデータ総数から1を引いた数、回帰が説明変数総数、残差は全体から説明変数総数を引いたものである。データ総数はBiweight法による重みが0になった測定例の数だけ減少している。表中のしきい値Cは、Biweight法におけるしきい値の値であり、その意味は付録3の(18)式に関連して説明してある。

回帰分析の結果は次のとおりである。

回帰式の適合度を示す決定係数(COD)は国内で0.69、欧米で0.81であった。有意性検定用のF値と自由度は表2-3と表2-4に示すが、仮りに1%の危険率で検定しても十分に回帰式は有意性を持つ。また各変数間の独立性が高いかどうかは、同表の分散共分散マトリックスの非対角要素によって調べられる。得られた回帰式においては、国内、欧米ともに、それらは負、または0.3以下の正数であり、各変数間の独立性が高いといえる。

一方、回帰式パラメータ係数の有意性の検討の結果を表2-5に示す。これらの値についてt検定を行うと、日本のデータではa₁, a₂, a₃とも有意であり、欧米のデータではa₁, a₂が有意であるが、a₃については、有意性は認められなかった。

以上のことから、日本の家屋の換気回数の推定には次式を適用することができる。

$$Y = -0.20 + 0.30 X_1 + 0.083 X_2 + 0.016 X_3$$

一方、欧米の家屋については、のちに2.5節の表2-6に示すように温度差項の影響が小さいことも考慮して、温度差項を削除した次式が実用上適用できるものと考えられる。

$$Y = 0.14 + 0.029 X_1 + 0.076 X_2$$

2.5 自然換気回数についての考察

2.2 で記したように、日本家屋の調査 (211 データ) では、換気回数の範囲は $0.05 \sim 5.0 \text{ h}^{-1}$ 、欧米家屋の調査 (500 データ) ではそれらは $0.02 \sim 4.5 \text{ h}^{-1}$ であった。幾何平均換気回数は日本家屋が 0.79 h^{-1} 、欧米家屋が 0.33 h^{-1} で前者が 2.4 倍大きかった。このことは、欧米家屋の場合、床面積あたりの開口面 (とくに窓) が日本の場合に比べて少ないことや、一方、日本家屋の場合には、湿度対策、夏の暑さ対策のために自然換気回数が欧米の場合に比べて大きくなるように設計されていることなどが原因しているものと考えられる。両者の分布の幾何標準偏差が 2.1 の同値であることについては、全く予想外のことであった。種々の異なる条件で求められた多数の換気回数実測データをプロットしたことによる偶然の結果によるものか、あるいは、後述するように自然換気に影響の大きい外気風速の頻度分布に影響された結果によるものかもしれない。しかし、現在のところ明確な説明は可能ではない。

平均的な内部被曝低減係数を評価するには、もとめられた平均換気回数を用いて次式から計算できる。

$$\text{被曝低減係数} = \left(T + \frac{1}{Y} e^{-YT} - \frac{1}{Y} \right) \cdot \frac{1}{T} \quad (\text{単室, 均一ガス混合})$$

ここで、 Y は換気回数 (h^{-1})、 T は家屋内退避しているときに家屋がブルームに包まれてからの経過時間 (h) である。いま、時間 T をパラメータとして被曝低減係数と換気回数の関係を示すと図 2-4 のようになる。この図から、外気濃度が一定濃度で持続する場合、換気回数が 0.79 h^{-1} (日本家屋平均) の家屋に退避すると、1 時間後の内部被曝低減係数は 0.31、換気回数が 0.33 h^{-1} (欧米家屋の平均) の場合 0.15 となることがわかる。

実環境では、風速、温度差が大きく変化し、換気回数の変化に寄与している。これらの変数が調査データの範囲内で変化するものとして、これらが換気回数の変化に寄与する程度を見るために、その大きさを各回帰係数の値とそれに対応する変数の標準偏差 $\sigma X_i (= \sqrt{\text{VAR}_i})$ との積で数量化した。表 2-6 にその結果を示す。

$a_i \cdot \sigma X_i$ の比較から、日本および欧米家屋ともに外気風速が換気回数の変化の原因になり易いことがわかった。また、日本家屋では気密指標の影響が欧米家屋に比べて大きくなっている。このことから、自然換気に対して欧米の家屋は比較的均質であることが推察される。

図 2-5 は、米国環境保護局 (EPA) により報告されている外国の家屋にたいする換気回数を求める経験式と、本報告の調査の結果得られた経験式を比較したものである。EPA の論文には使用した調査データそのものについての記述はなかった。また、EPA の経験式における説明変数は風速と温度差のみで、気密指標のようなものは含まれていない。図は、内外温度差 15°C として比較したものである。欧米家屋に関する経験式は、本調査で得られた式の方が EPA の式よりも風速にたいする影響が若干大きくなっているが、全体としては比較的近い値であることがわかった。また、この図からも、欧米の家屋は気密指標を変化させても換気回数に大きな差がないことから、自然換気に関して比較的均質であることがわかる。

表 2-3 日本家屋に関する自然換気回数測定データの回帰分析結果

(1) 最大, 最小, 重み付き平均, 分散

	Y	Y'	X ₁	X ₂	X ₃	E	W
MAX	5.00	1.42	4.00	10.0	39.6	3.80	1.00
MIN	0.05	0.57	1.00	0.0	0.0	-1.05	0.091
WAVE	0.97	0.95	2.28	3.81	14.9	0.02	0.88
VAR	0.48	0.03	0.37	5.52	46.9	0.45	0.018

(2) 回帰式のパラメータと誤差標準偏差

	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃
	-0.20	0.30	0.083	0.016
SD	0.22	0.083	0.022	0.007

(3) パラメータの誤差の規格化分散共分散マトリックス

	SY	S1	S2	S3
SY	1.00	-0.84	-0.53	-0.19
S1	-0.84	1.00	0.22	-0.18
S2	-0.53	0.22	1.00	-0.060
S3	-0.19	-0.18	-0.060	1.00

(4) 決定係数 (COD) 0.69

F 値 9.8

自由度 全体 : 210 回帰 : 3 残差 : 207

しきい値 (C) 5

表 2-4 欧米家屋に関する自然換気回数測定データの回帰分析結果

(1) 最大, 最小, 重み付き平均, 分散

	Y	Y'	X ₁	X ₂	X ₃	E	W
MAX	2.00	1.03	4.00	11.0	49.0	1.59	1.00
MIN	0.02	0.22	1.00	0.0	0.0	-0.74	0.001
WAVE	0.37	0.37	1.72	2.36	10.3	0.001	0.89
VAR	0.06	0.02	0.88	2.58	104.6	0.037	0.031

(2) 回帰式のパラメータと誤差標準偏差

	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃
	0.14	0.029	0.076	0.0017
SD	0.029	0.013	0.007	0.001

(3) パラメータの誤差の規格化分散共分散マトリックス

	SY	S1	S2	S3
SY	1.00	-0.58	-0.42	-0.33
S1	-0.58	1.00	-0.24	-0.12
S2	-0.42	-0.24	1.00	-0.01
S3	-0.33	-0.12	-0.01	1.00

(4) 決定係数 (COD) 0.81

F 値 47.1

自由度 全体 : 210 回帰 : 3 残差 : 207

しきい値 (C) 5

表 2-5 回帰式パラメータの有意性の検定

			a_1 (気密性)	a_2 (風速)	a_3 (温度差)
日 本	回帰係数	-0.20	0.30	0.083	0.016
	t^*		13.2	14.5	5.2
欧 米	回帰係数	0.14	0.029	0.076	0.0017
	t^*		5.2	11.8	2.1

$$*t = [\text{回帰係数} / \text{SD}]^2$$

表 2-6 各変数の換気回数へ与える影響の比較

	$a_1 \cdot \sigma X_1$	$a_2 \cdot \sigma X_2$	$a_3 \cdot \sigma X_3$
日本家屋	0.182	0.195	0.110
欧米家屋	0.027	0.122	0.017

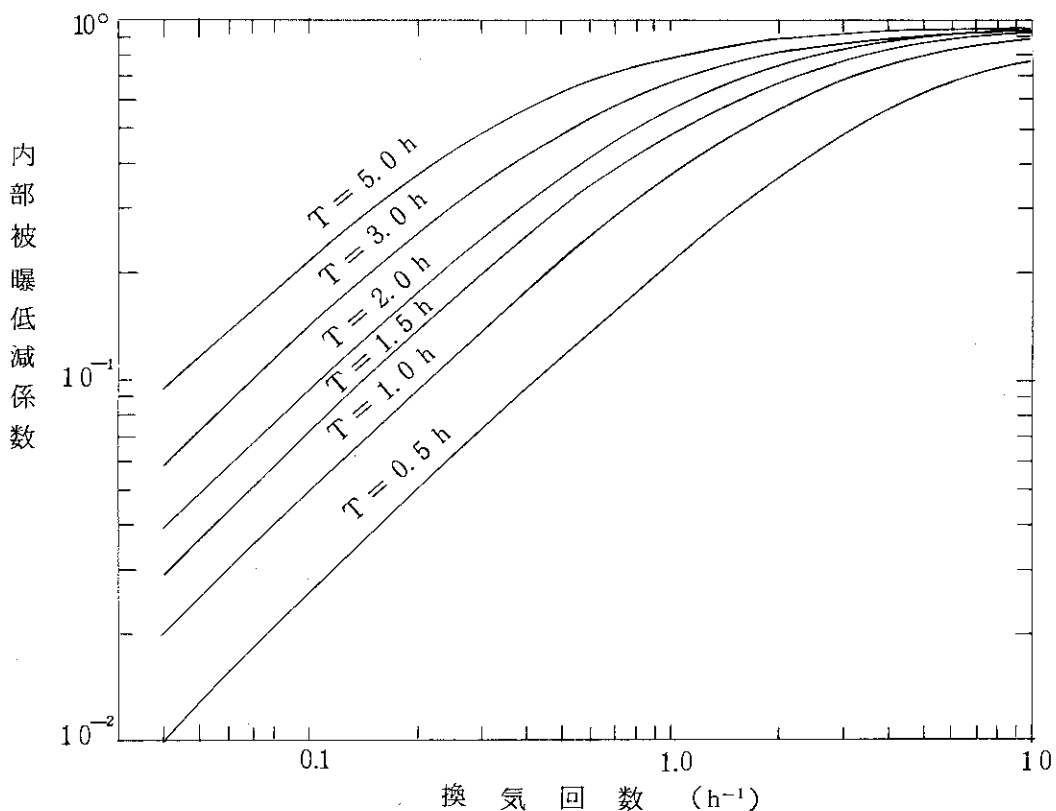


図 2-4 換気回数と内部被曝低減係数の関係 (単室, 均一ガス混合) (T: 退避時間)

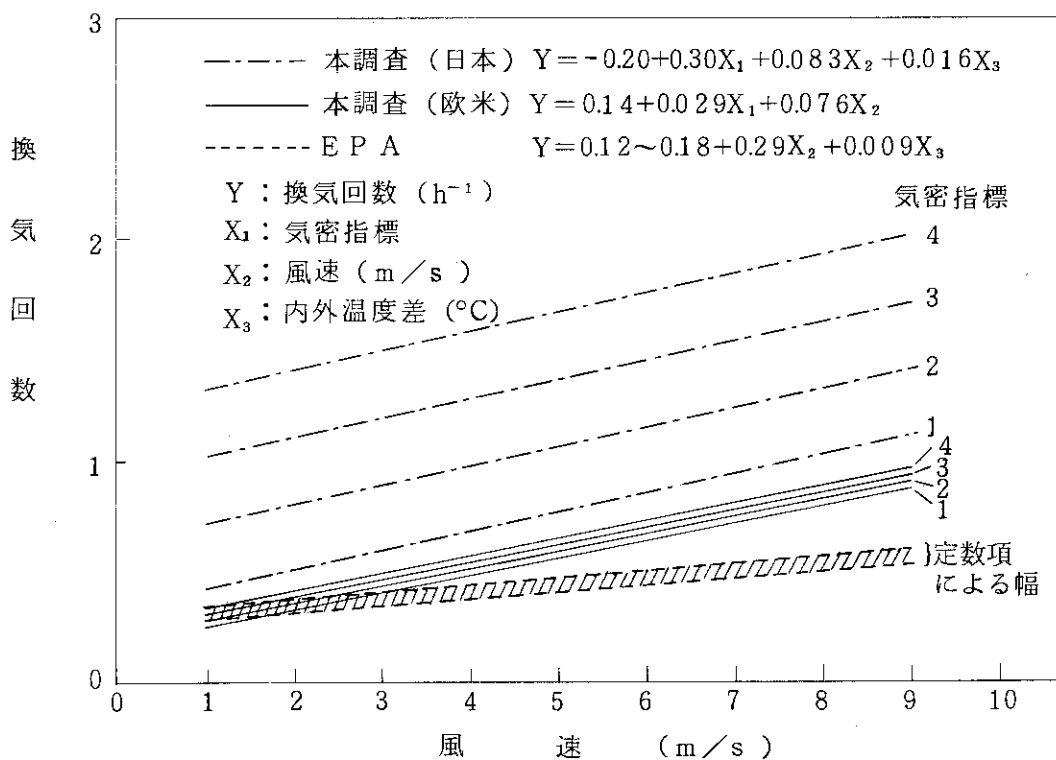


図 2-5 換気回数推定式の比較 (原研, E P A)

3. 家屋の構造種別比率の地域的分布調査

3.1 調査の目的

2.における考察によって、家屋内での内部被曝線量評価に影響する自然換気量は、 X_1 (気密性指標)、 X_2 (外気風速)、 X_3 (内外温度差) の3要因を変数とした回帰式により推定しうることを示した。さらに、この3要因のうち X_1 は、当該家屋の構造種別によって概ね決定しうることも示した。

本章では、全国のおよび一般地域(大都市圏などを除いた原発立地県を含むその他の地域)での代表的な日本家屋を選定するための基礎資料を準備するため、我が国の構造種別から見た戸数比率および床面積比率の地域的分布を都道府県別に調べた。

本章の調査は、昭和53年10月1日に総理府統計局により実施された「住宅統計調査」の報告書「第3巻 都道府県編」(47分冊)のデータに基づいて行った。「住宅統計調査」において用いられている家屋の構造分類を表3-1に示す。本調査では「住宅統計調査」における鉄骨・鉄筋コンクリート造り、ブロック造り、その他を非木造として一括分類する方法を用い、住居の換気量の推定を目的とする観点から、構造分類を、木造、防火木造および非木造の3項目にしばって取り扱うこととした。

表3-1 住宅統計調査における構造分類

木	造	住宅のおもな構造部分のうち、柱、はりなどの骨組みが木造のものをいう。「防火木造」は含まない。
防	火	柱、はりなどの骨組みが木造で、屋根や外壁など延焼のおそれのある部分が、モルタル、トタンなどの防火性能を有する材料で出来ているものを言う。
非 木 造	鉄骨・鉄筋コン クリート造り	住宅の骨組みと外壁が、鉄骨コンクリート造り、または、鉄骨鉄筋コンクリート造りのものをいう。
	ブロック造り	外壁がコンクリートブロック造りのものをいい、骨組みの材料のいかんを問わない。
	そ の 他	上記以外のもの。例えば骨組みが鉄骨などで外壁がれんがや石などで造られているもの。

日本家屋の構造種別の比率の算定に際しては、我が国の一般的な地域と明らかに家屋の分布性状の異なる表3-2の諸地域を除いて検討することにした。

表 3 - 2 一般的地域から除いた都道府県

極寒地域	北海道
大都市圏	東京圏－東京都・埼玉県・千葉県・神奈川県 名古屋圏－愛知県 大阪圏－大阪府・兵庫県 福岡圏－福岡県
極暑地域	沖縄県

3.2 調査結果

調査の結果以下のデータを図表にまとめた。

表 3 - 3 家屋の構造種別戸数比率

表 3 - 4 家屋の構造種別床面積比率

図 3 - 1 都道府県別住宅戸数比較図

図 3 - 2 都道府県別木造住宅戸数比率比較図(1)

(木造住宅に防火木造を含む)

図 3 - 3 都道府県別木造住宅戸数比率比較図(2)

(防火木造を除く)

以上の調査結果より、構造種別からみた場合の我が国の家屋の地域的分布の特徴は以下のようである。

- 防火木造を含めた木造家屋の戸数比率は、全国加重平均で 81.6%，一般地域加重平均では 88.4%に達する。(表 3 - 3)
- 防火木造を除いた木造の戸数比率は、全国加重平均で 56.2%，一般地域加重平均で 69.6%である。(表 3 - 3)
- 特に、現在原子力施設の立地点である地域では、木造家屋の占める割合が高くなっている。(図 3 - 2, 3 - 3)
- 床面積で比較すると、我が国の場合木造家屋のほうが非木造より一般に広いので、戸数比率で比較するより木造家屋の率が高くなる。
- 防火木造を含めた木造家屋の床面積比率は、全国加重平均で 86.4%，一般地域加重平均では 91.6%に達する。(表 3 - 4)
- 防火木造を除いた木造家屋の床面積比率でも、全国加重平均で 61.1%，一般地域加重平均では 71.8%に達する。(表 3 - 4)

ただし、

- 1) 一般地域：北海道・沖縄県および次の 2) の大都市圏を除いた地域
- 2) 大都市圏：東京圏（東京，埼玉，千葉，神奈川），名古屋圏（愛知），大阪圏（大阪，兵庫），福岡圏（福岡）の 1 都 1 府 6 県

3) 加重平均：各県の総戸数あるいは総床面積による重みづけ平均とする。

3.3 代表的日本家屋についての考察

前項までの分析によって、昭和53年時期における我が国の家屋分布の構造種別から見た地域的特徴を明らかにしてきたが、代表的日本家屋を選定するにあたっては、住宅構造種別の建設年時による経年変化をもとらえておく必要がある。

(1) 過去4回の住宅統計調査（昭和38, 43, 48, 53年）毎の変化

表3-5, 図3-4に昭和38, 43, 48, 53年の住宅統計調査の結果を示す。図3-4より明らかのように、各調査時の総戸数に占める木造住宅の戸数比率は、直線的な減少傾向を示し、逆に防火木造と非木造住宅の比率は、直線的に増大している。

(2) 昭和53年調査時の建設時期別住宅構造比較

昭和53年調査時に調査の対象となった住宅の構造種別を住宅の建設された時期毎に分類して表3-6および図3-5に示す。図3-5によれば昭和53年に存在した住宅の構造種別は、その建設年次が経るに従って急速に木造住宅が減少し、防火木造および非木造住宅が著しく増大してきており、昭和51年～昭和53年9月では防火木造が木造住宅の建設比率を越えている。

(3) 日本家屋の代表例

以上の考察により、住宅総数に占める割合で考えれば、木造住宅が現時点では代表的家屋と考えられる。しかし、最近の新築動向を考慮にいたした場合、換気量の実験に供すべき日本家屋の代表的構造仕様として、木造、防火木造、および非木造の代表としてのRC造の3種類の仕様を定める必要がある。

表3-3 家屋の構造種別戸数比率

都道府県名	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
総戸数(千戸)	北海道	青森県	岩手県	宮城県	秋田県	山形県	福島県	茨城県	栃木県	群馬県	埼玉県	千葉県	東京都
木造比率(%)	1,605.2	385.8	359.1	535.4	317.8	299.5	505.0	613.4	445.2	471.1	1,408.3	1,232.9	3,812.0
防火木造比率(%)	25.4	48.4	68.3	69.1	49.4	66.0	72.3	80.9	65.4	80.7	56.7	56.4	31.5
非木造比率(%)	55.4	45.1	24.6	19.3	46.0	29.7	18.1	10.1	26.0	11.1	27.8	20.7	41.1
	19.2	6.5	7.1	11.7	4.6	4.3	9.6	9.0	8.6	8.1	15.4	22.8	27.4
都道府県名	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.
総戸数(千戸)	神奈川県	新潟県	富山県	石川県	福井県	山梨県	長野県	岐阜県	静岡県	愛知県	三重県	滋賀県	京都府
木造比率(%)	1,943.6	595.1	269.9	282.7	194.6	212.1	541.1	490.0	875.3	1,640.0	435.7	260.5	709.9
防火木造比率(%)	50.3	67.2	65.0	69.0	83.7	63.2	74.3	77.1	53.4	52.4	81.7	74.7	58.5
非木造比率(%)	28.0	25.8	26.3	21.2	8.0	26.2	18.4	10.2	33.2	24.4	5.7	9.9	23.5
	21.7	7.0	8.8	9.8	8.3	10.6	7.3	12.6	13.4	23.2	12.7	15.3	18.0
都道府県名	27.	28.	29.	30.	31.	32.	33.	34.	35.	36.	37.	38.	39.
総戸数(千戸)	大阪府	兵庫県	奈良県	和歌山県	鳥取県	島根県	岡山県	広島県	山口県	徳島県	香川県	愛媛県	高知県
木造比率(%)	2,508.0	1,440.7	300.9	311.3	153.8	207.8	504.1	782.8	456.2	222.5	271.3	434.8	252.1
防火木造比率(%)	42.7	48.6	65.4	75.2	78.5	84.2	70.6	53.5	75.5	75.0	77.8	79.1	75.8
非木造比率(%)	30.2	26.9	16.2	8.9	11.4	9.4	16.1	28.9	7.7	6.8	8.3	8.2	14.2
	27.0	24.5	18.2	15.9	10.2	6.5	13.2	17.5	16.8	18.2	13.9	12.7	10.1
都道府県名	40.	41.	42.	43.	44.	45.	46.	47.					
総戸数(千戸)	福岡県	佐賀県	長崎県	熊本県	大分県	宮崎県	鹿児島県	沖縄県					
木造比率(%)	1,274.5	210.3	427.1	472.9	345.8	329.9	564.1	276.6					
防火木造比率(%)	65.8	85.2	79.2	68.4	64.9	79.3	72.8	30.5					
非木造比率(%)	12.2	8.0	6.9	21.8	18.8	7.3	15.2	3.6					
	22.0	6.7	13.8	9.8	16.4	13.5	12.0	65.9					
				全国加重平均		一般地域加重平均		大都市圏加重平均					
				32,188.7		15,046.9		15,260.0					
				56.2		69.6		46.8					
				25.4		18.8		29.2					
				18.3		11.7		24.0					

*1. 非木造：鉄骨・鉄筋コンクリート造り，ブロック造り，その他の構造種別とする。

*2. 一般地域：北海道，沖縄県及び*3の大都市圏を除いた地域とする。

*3. 大都市圏：東京圏（東京・埼玉・千葉・神奈川），名古屋圏（愛知），大阪圏（大阪・兵庫），福岡圏（福岡）の1都1府6県とする。

*4. 加重平均：各県の戸数によって重みづけした平均

表3-4 家屋の構造種別床面積比率

都道府県名	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	
北海道	1,204.5	403.7	380.0	476.8	392.5	354.1	508.6	543.8	395.5	434.6	998.8	885.5	2,076.6	
総床面積(10 ⁵ ㎡)														
木造比率(%)	25.8	49.6	70.3	72.6	50.4	67.2	75.2	82.9	66.5	82.3	58.7	60.0	32.3	
防火木造比率(%)	58.5	46.2	25.4	20.3	46.9	30.2	18.8	10.3	26.4	11.4	28.8	22.1	42.1	
非木造比率(%)	14.6	4.2	4.4	7.1	2.7	2.5	6.0	6.7	7.1	6.3	12.6	18.0	25.6	
都道府県名	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	
神奈川県	1,236.0	730.5	373.1	354.3	248.1	209.5	615.3	533.4	760.1	1,335.1	412.2	279.6	558.1	
総床面積(10 ⁵ ㎡)														
木造比率(%)	52.0	69.3	67.0	72.2	85.0	64.7	76.4	80.2	55.0	56.0	83.8	79.5	62.1	
防火木造比率(%)	29.0	26.6	27.1	22.1	8.1	26.9	18.9	10.7	34.1	26.0	5.8	10.5	24.9	
非木造比率(%)	19.0	4.1	6.0	5.6	6.9	8.5	4.7	9.2	10.9	18.1	10.5	9.9	13.1	
都道府県名	27.	28.	29.	30.	31.	32.	33.	34.	35.	36.	37.	38.	39.	
大阪府	1,513.2	1,112.6	283.3	254.6	165.4	221.0	472.4	653.3	408.7	194.1	289.7	376.5	196.1	
総床面積(10 ⁵ ㎡)														
木造比率(%)	44.3	52.2	69.7	75.6	81.9	86.3	73.7	56.2	79.7	75.2	79.6	80.0	76.7	
防火木造比率(%)	31.4	28.8	17.3	8.9	11.9	9.6	16.8	30.4	8.1	6.9	8.5	8.3	14.3	
非木造比率(%)	24.3	19.0	13.1	15.5	6.2	4.1	9.6	13.4	12.1	17.8	11.9	11.6	9.0	
都道府県名	40.	41.	42.	43.	44.	45.	46.	47.	全国加重平均		一般地域加重平均		大都市圏加重平均	
福岡県	954.7	214.0	349.1	402.8	296.3	251.8	381.1	165.8	25,826.8		14,344.0		10,112.5	
総床面積(10 ⁵ ㎡)														
木造比率(%)	71.0	87.6	82.6	70.6	68.7	81.6	73.2	26.1	61.1		71.8		50.5	
防火木造比率(%)	18.1	8.3	7.2	22.6	19.9	7.5	15.3	3.1	25.3		19.8		29.5	
非木造比率(%)	15.9	4.2	10.3	6.9	11.5	10.8	11.4	70.9	13.6		8.4		20.0	

*1. 非木造：鉄骨・鉄筋コンクリート造り、ブロック造り、その他の構造種別とする。

*2. 一般地域：北海道、沖縄県及び*3.の大都市圏を除いた地域とする。

*3. 大都市圏：東京都（東京・埼玉・千葉・神奈川）、名古屋市（愛知）、大阪圏（大阪・兵庫）、福岡圏（福岡）の1都1府6県とする。

*4. 加重平均：各県の総床面積によって重みづけした平均

表 3-5 統計調査年毎の住宅構造比較 (戸数) 単位:千戸, ()内:%

統計調査年	全 国			市 部			人 口 集 中 地 区					
	総戸数	木 造	防火木造	非木造	総戸数	木 造	防火木造	非木造	総戸数	木 造	防火木造	非木造
昭和 38年	20,372.0 (100.0)	17,565.0 (86.2)	1,851.0 (9.1)	956.0 (4.7)	13,873.0 (100.0)	11,292.0 (81.4)	1,745.0 (12.6)	836.0 (6.0)	9,435.0 (100.0)	7,272.0 (77.1)	1,544.0 (16.4)	618.0 (6.6)
昭和 43年	24,197.9 (100.0)	18,614.4 (76.9)	3,586.6 (14.6)	2,046.9 (8.5)	17,579.8 (100.0)	12,574.0 (71.5)	3,208.8 (18.3)	1,796.9 (10.2)	12,212.4 (100.0)	8,180.7 (67.0)	2,720.1 (22.3)	1,311.6 (10.7)
昭和 48年	28,730.5 (100.0)	19,111.8 (66.5)	5,664.5 (19.7)	3,954.2 (13.8)	22,256.7 (100.0)	13,559.0 (60.9)	5,128.8 (23.0)	3,569.0 (16.0)	15,910.0 (100.0)	8,931.4 (56.1)	4,226.0 (26.6)	2,752.6 (17.3)
昭和 53年	32,188.7 (100.0)	18,103.6 (56.2)	8,183.8 (25.4)	5,901.4 (18.3)	25,281.3 (100.0)	12,742.8 (50.4)	7,215.3 (28.5)	5,323.2 (21.1)	19,236.6 (100.0)	8,807.2 (45.8)	5,900.4 (30.7)	4,529.1 (23.5)

表3-6 建設時期別住宅構造比較(戸数) 単位;千戸, ()内: %

建設時期	全 国			市 部			人 口 集 中 地 区			
	総戸数	木 造	防火木造 非木造	総戸数	木 造	防火木造 非木造	総戸数	木 造	防火木造 非木造	
終 戦 前	4,902.3 (1000)	4,631.4 (94.5)	246.7 (5.0)	3,064.0 (1000)	2,839.0 (92.7)	204.8 (6.7)	2,120.5 (1000)	1,923.2 (90.7)	179.3 (8.5)	18.0 (0.8)
終戦時 ~昭和25年	1,498.2 (1000)	1,266.4 (84.5)	199.3 (13.3)	1,081.5 (1000)	872.2 (80.6)	180.0 (16.6)	852.9 (1000)	656.8 (77.0)	168.9 (19.8)	27.2 (3.2)
昭和26年 ~昭和35年	4,123.1 (1000)	2,769.0 (67.2)	869.8 (21.1)	3,290.3 (1000)	2,040.2 (62.0)	803.5 (24.4)	2,821.7 (1000)	1,622.0 (57.5)	764.6 (27.1)	435.1 (15.4)
昭和36年 ~昭和45年	10,232.1 (1000)	5,046.1 (49.3)	3,003.2 (29.4)	8,600.9 (1000)	3,885.1 (45.2)	2,716.2 (31.6)	7,049.9 (1000)	2,850.4 (40.4)	2,410.5 (34.2)	1,789.0 (25.4)
昭和46年 ~昭和50年	8,168.1 (1000)	3,232.8 (39.6)	2,632.5 (32.2)	6,641.3 (1000)	2,311.2 (34.8)	2,269.2 (34.2)	4,720.8 (1000)	1,352.1 (28.6)	1,682.6 (35.6)	1,686.1 (35.7)
昭和51年 ~昭和53年 (9月)	3,173.4 (1000)	1,121.9 (35.4)	1,205.4 (38.0)	2,516.4 (1000)	762.1 (30.3)	1,015.7 (40.4)	1,591.7 (1000)	374.7 (23.5)	670.1 (42.1)	546.9 (34.4)
不 詳	91.6	36.0	26.8	87.0	32.6	26.0	79.3	28.1	24.4	26.8
計	32,188.8 (1000)	18,103.6 (56.2)	8,183.8 (25.4)	25,281.3 (1000)	12,742.8 (50.4)	7,215.3 (28.5)	19,236.6 (1000)	8,807.2 (45.8)	5,900.4 (30.7)	4,529.1 (23.5)

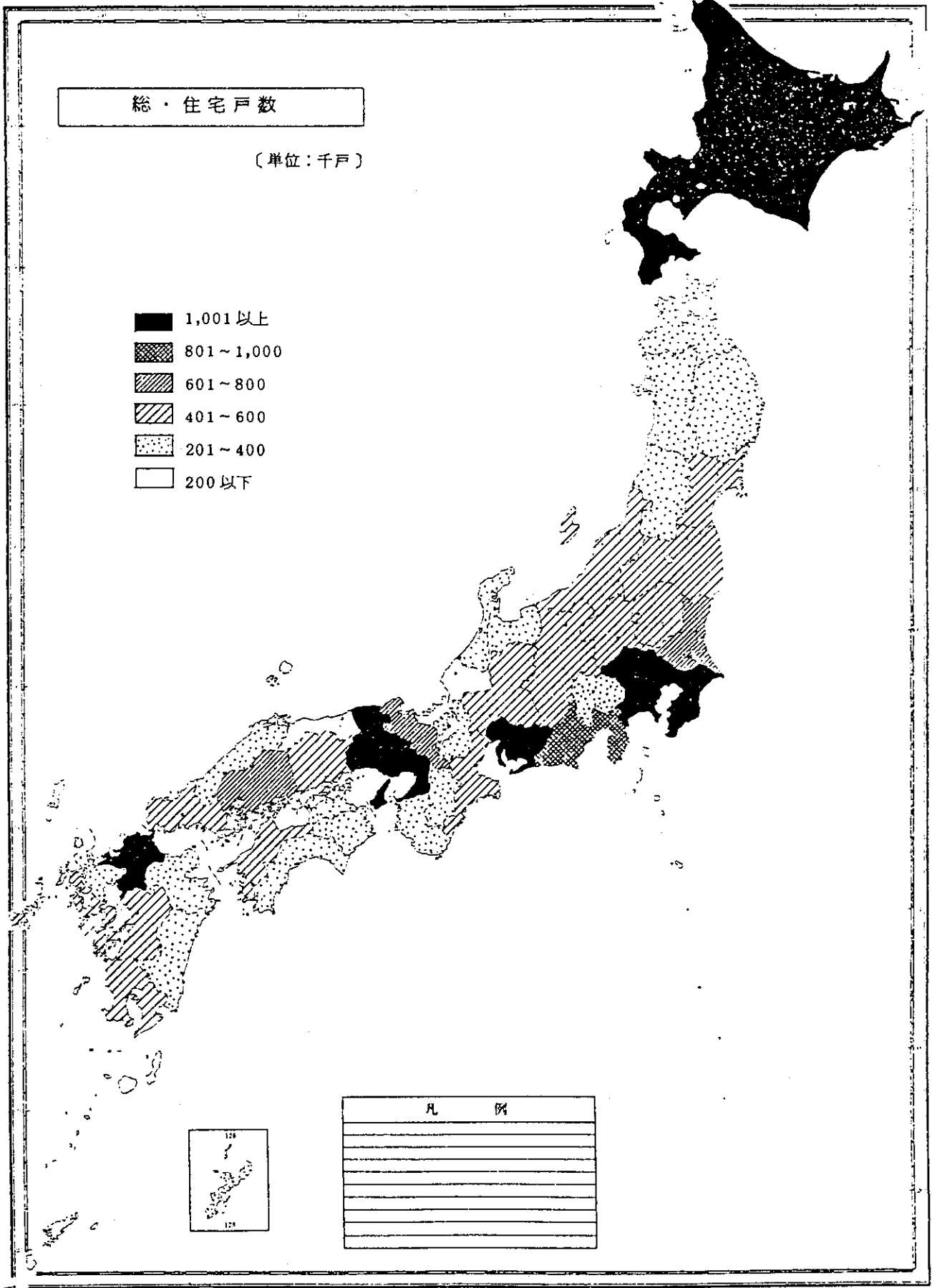


図 3 - 1 都道府県別住宅戸数比較図

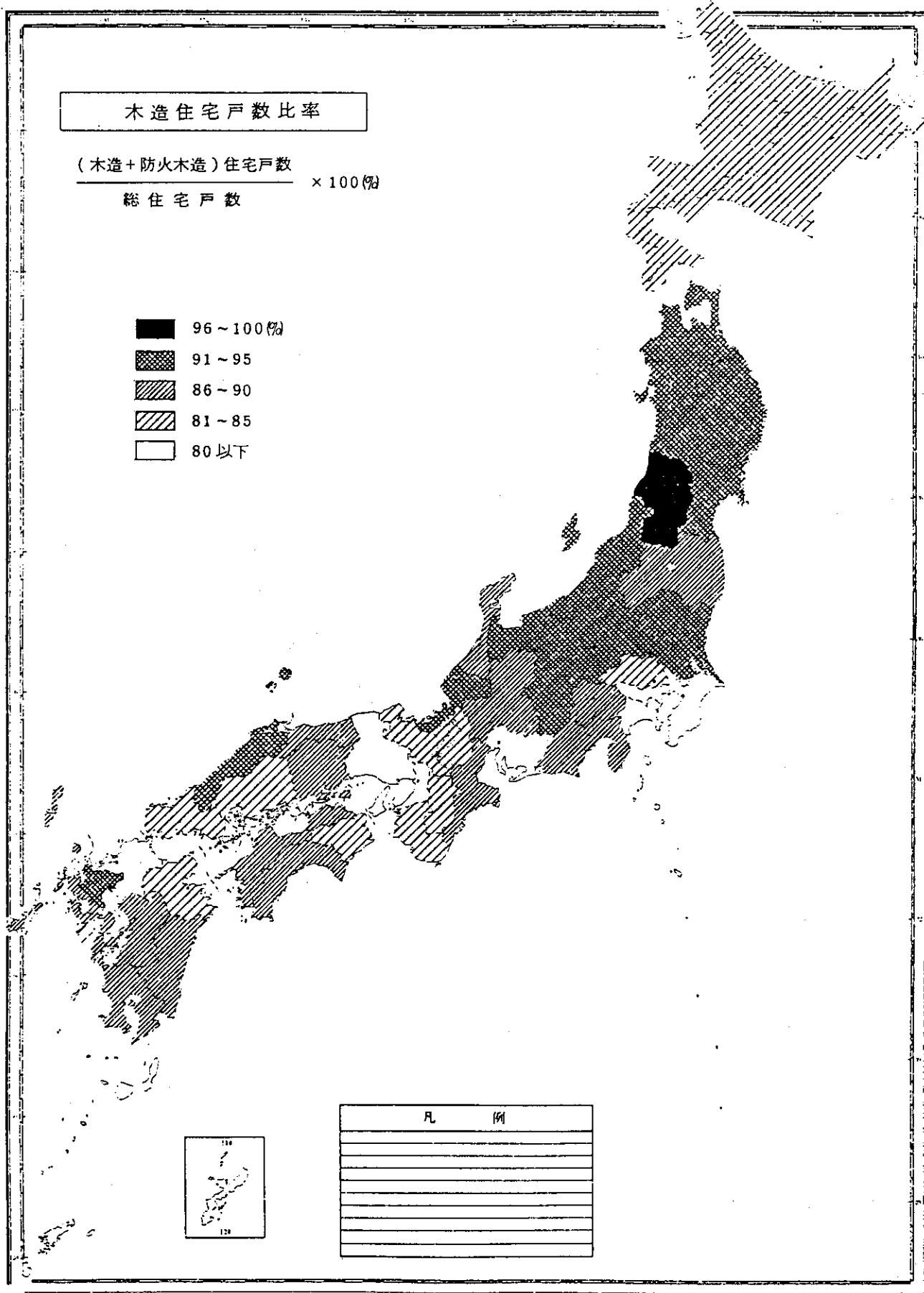


図 3 - 2 都道府県別木造住宅戸数比率比較図 (防火木造を含む)

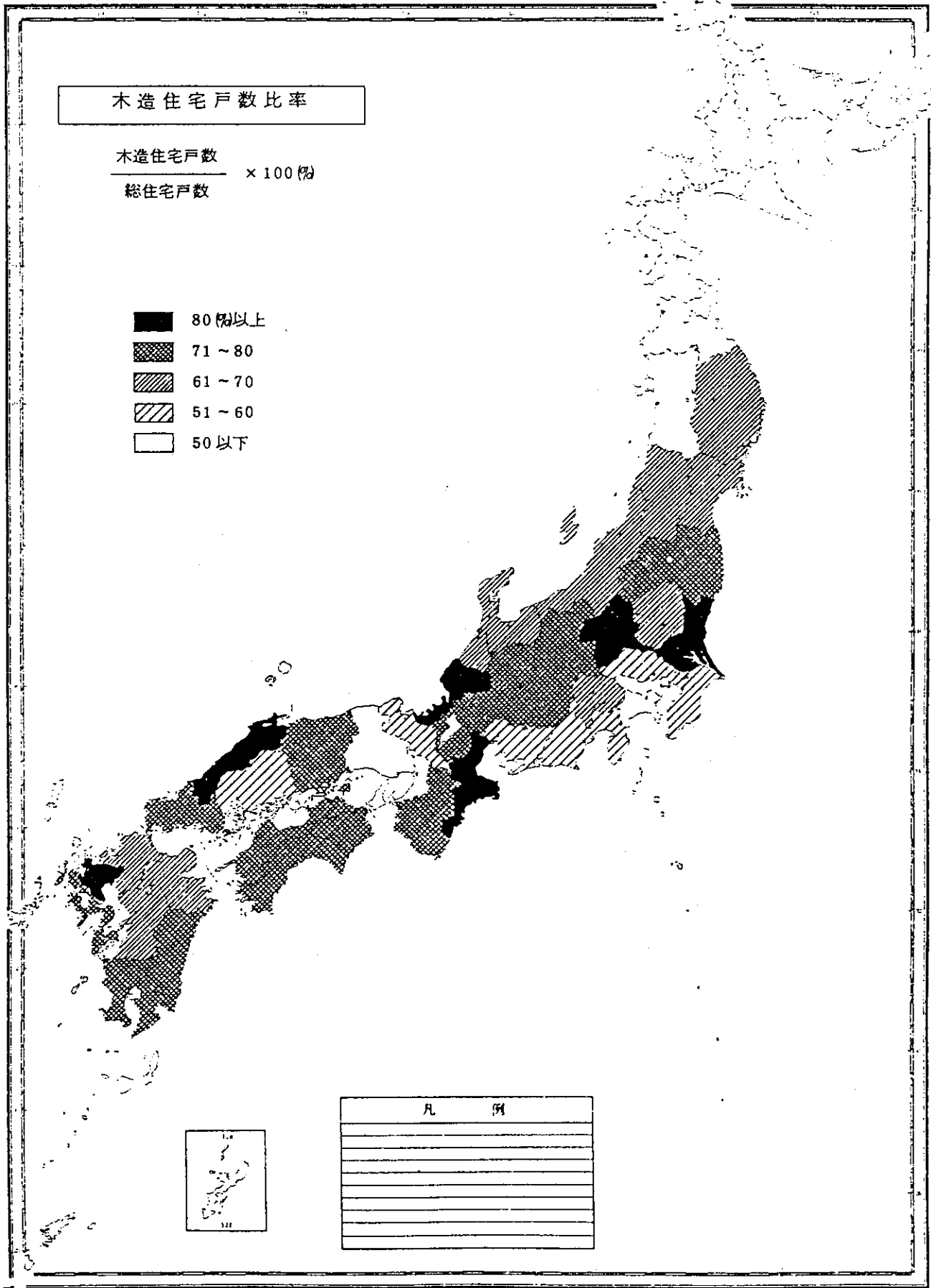


図 3 - 3 都道府県別木造住宅戸数比率比較図（防火木造を除く）

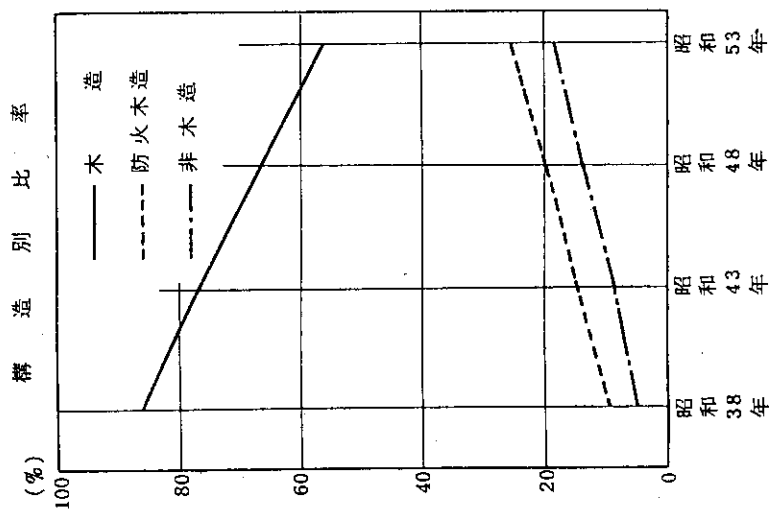
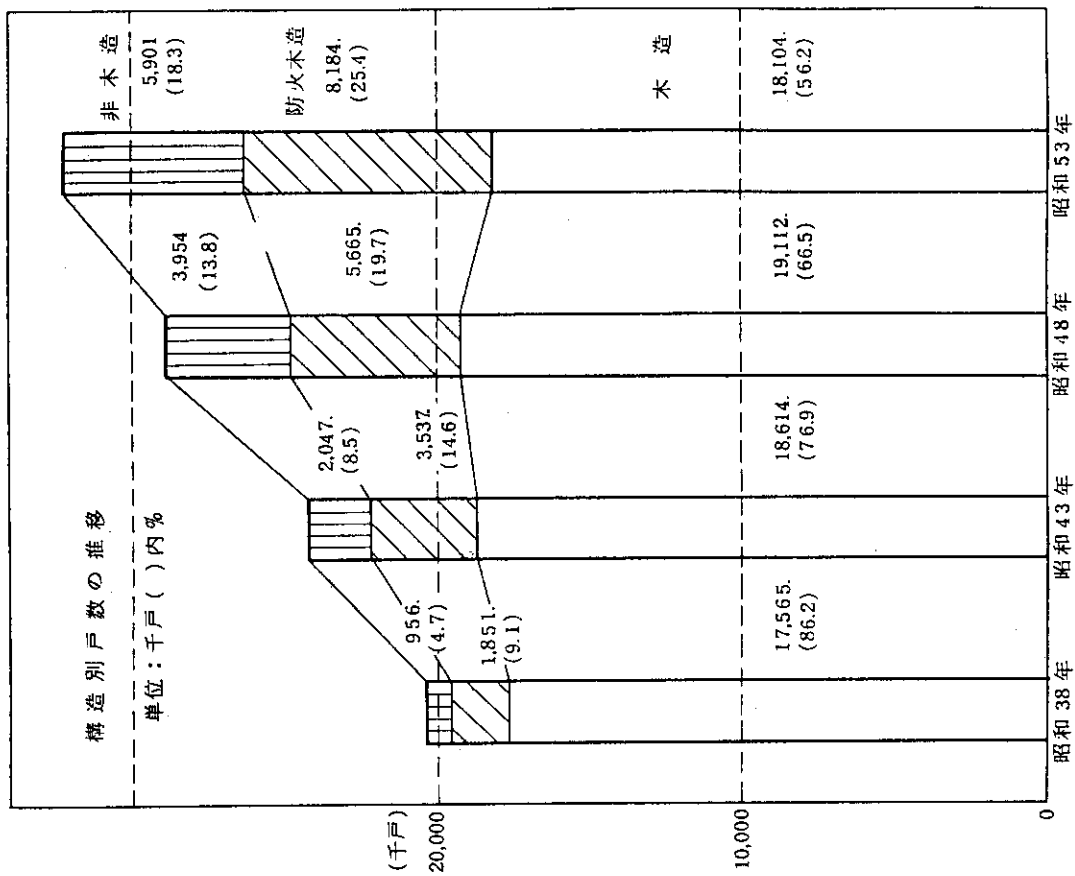


図3-4 統計調査年毎の住宅構造比較 (戸数) (全国平均)

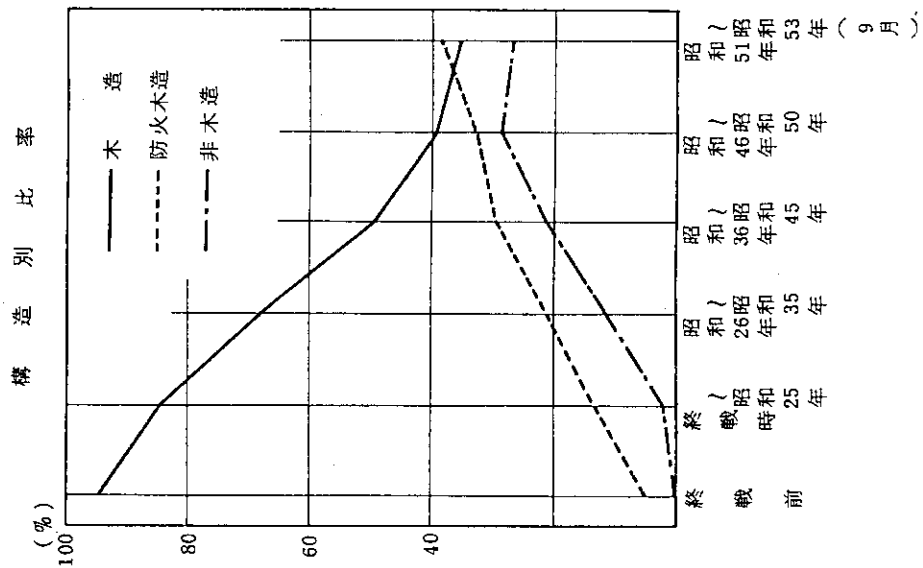
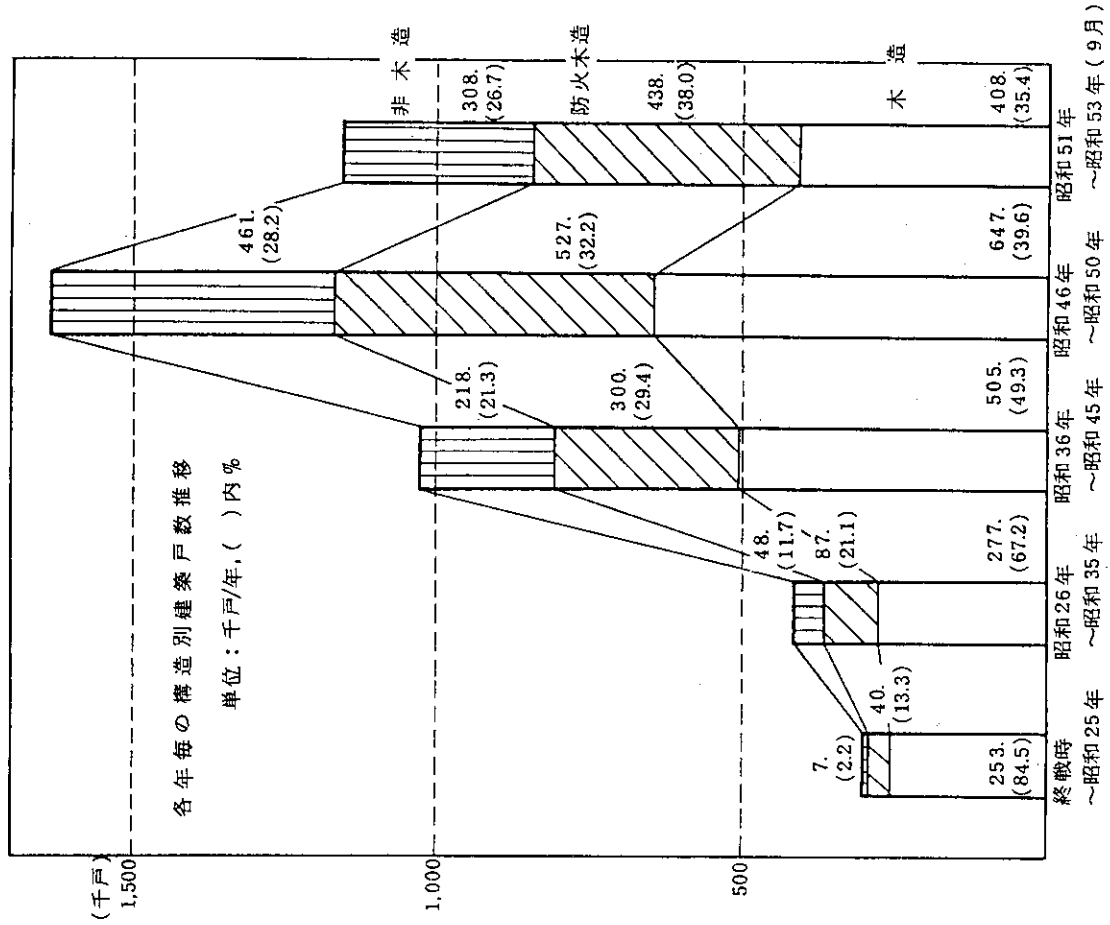


図3-5 昭和53年調査時の建設時期別住宅構造比較(戸数)(全国平均) (9月)

4. ま と め

実家屋を対象とした自然換気回数の実測データの調査と解析から、次のような知見が得られた。

- (1) 自然換気回数は、その測定時の諸条件によって大きく異なり、日本家屋の場合、 $0.05 \sim 5.0 \text{ h}^{-1}$ 、欧米家屋の場合 $0.02 \sim 4.5 \text{ h}^{-1}$ の 2 桁にわたる広い範囲に分布していた。
- (2) 換気回数の頻度分布は対数正規分布によくフィットし、その幾何平均換気回数は 0.79 h^{-1} (日本)、 0.33 h^{-1} (欧米) で、日本家屋の方が 2.4 倍大きいことがわかった。一方、幾何標準偏差は、両方とも 2.1 で、分布の広がり方がきわめて似ていることがわかった。
- (3) 平均換気回数を用いて内部被曝低減係数を単室均一ガス混合の条件のもとで計算すると、外気濃度が一定濃度で持続する場合、換気回数が 0.79 h^{-1} (日本の平均) の家屋に退避すると、1 時間後の被曝低減係数は 0.31、換気回数が 0.33 h^{-1} (欧米の平均) の家屋に退避すると、1 時間後の被曝低減係数は 0.15 となることがわかった。
- (4) 自然換気回数 $Y \text{ (h}^{-1}\text{)}$ を求める経験式は、家屋の気密指標 $X_1 (= 1, 2, 3, 4)$ 、風速 $X_2 \text{ (m/s)}$ 、室内外温度差 $X_3 \text{ (}^\circ\text{C)}$ を説明変数として次の線形回帰式で表わすことができた。

日本家屋の場合

$$Y = -0.20 + 0.30X_1 + 0.083X_2 + 0.016X_3$$

欧米家屋の場合は温度差項が有意でなかったが、その影響が小さいために次式が適用できると考えられた。

$$Y = 0.14 + 0.029X_1 + 0.076X_2$$

- (5) 実環境では風速、温度差が大きく変化し換気回数の変化に寄与している。経験式の各説明変数のうち、日本および欧米家屋ともに外気風速が換気回数の変化の原因になり易いことがわかった。また、日本家屋では気密指標の影響が欧米家屋に比べて大きいことから、自然換気に対して欧米の家屋は比較的均質であることが推察された。

日本家屋の構造種別の調査から次のことがわかった。

- 防火木造を含めた木造家屋の戸数比率は、全国加重平均で 81.6%，一般地域加重平均では 88.4% に達する。
- 防火木造を除いた木造の戸数比率は、全国加重平均で 56.2%，一般地域加重平均で 69.6% である。
- 特に、現在原子力施設の立地点である地域では、木造家屋の占める割合が高くなっている。
- 床面積で比較すると、我が国の場合木造家屋のほうが非木造より一般に広いので、戸数比率で比較するより木造家屋の率が高くなる。

- 防火木造を含めた木造家屋の床面積は、全国加重平均で86.4%、一般地域加重平均では91.6%に達する。
- 防火木造を除いた木造家屋の床面積比率でも、全国加重平均で61.0%、一般地域加重平均では71.8%に達する。

以上の調査から、今回得られた幾何平均換気回数とその標準偏差、あるいは換気回数推定の経験式を用いて家屋の自然換気回数を簡易に推定できるようになった。今回得られた経験式の有効性は、すでに行った実家屋の換気回数実測実験結果^{4,5)}と照らしあわせて検討してゆくことにしている。

本調査で収集したデータは広範な測定条件を含んでいる一方で、家屋の条件や周辺状況が必ずしも明確でない場合もあり、また、家屋に対する相対的な風向などはデータに含まれていない。今後は、ある特定の家屋や建物について換気回数および内部被曝低減係数をさらに精度よく評価する目的で、家屋全体および部屋毎の換気回数と被曝低減係数の計算や感度解析が出来るようなより一般化した計算コードの開発を行うことにしている。すでにその結果の一部は、本報告と前後しているが、報告されている。^{4,5)}

謝 辞

本調査の実施にあたり貴重な御助言を頂きました清水建設株式会社業務本部副本部長篠田雅夫氏，同原子力部課長福田克夫氏に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 奥山博康：一般拡散システムの回路網による状態方程式とそのシステムパラメータの同定理論，日本建築学会論文報告集，第 344 号，103 (1984)。
- 2) 中川徹，小柳義夫：最小二乗法による実験データ解析，東京大学出版会 (1982)。
- 3) G. H. Anno, M. A. Dore : Protective action evaluation part 1. The effectiveness of sheltering as a protective action against nuclear accidents involving gaseous releases, EPA 520/1-78-007A (1978)。
- 4) 加藤正平，野口 宏，村田幹生，国分守信，奥山博康：家屋の放射能防護効果に関する研究 (Ⅱ) 実家屋の自然換気率測定，JAERI-M 87-191 (1987)。
- 5) 野口 宏，村田幹生，加藤正平，国分守信，奥山博康：家屋の放射能防護効果に関する研究 (Ⅲ) 家屋の通気特性と風圧係数の測定，JAERI-M 88-061 (1988)。

謝 辞

本調査の実施にあたり貴重な御助言を頂きました清水建設株式会社業務本部副本部長篠田雅夫氏，同原子力部課長福田克夫氏に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 奥山博康：一般拡散システムの回路網による状態方程式とそのシステムパラメータの同定理論，日本建築学会論文報告集，第 344 号，103 (1984)。
- 2) 中川徹，小柳義夫：最小二乗法による実験データ解析，東京大学出版会 (1982)。
- 3) G. H. Anno, M. A. Dore : Protective action evaluation part 1. The effectiveness of sheltering as a protective action against nuclear accidents involving gaseous releases, EPA 520/1-78-007A (1978)。
- 4) 加藤正平，野口 宏，村田幹生，国分守信，奥山博康：家屋の放射能防護効果に関する研究 (Ⅱ) 実家屋の自然換気率測定，JAERI-M 87-191 (1987)。
- 5) 野口 宏，村田幹生，加藤正平，国分守信，奥山博康：家屋の放射能防護効果に関する研究 (Ⅲ) 家屋の通気特性と風圧係数の測定，JAERI-M 88-061 (1988)。

付録 1 換気実測データ調査結果表（日本の家屋）

付表 1 - 1

換気系の性能評価				
集合住宅の気密性と換気に関する研究（昭和54年度 建築研究所年報）				
浅野賢二（建築研究所）				
目的：集合住宅の気密性の実状を把握し、自然換気に関する性状を明らかにする。				
測定方法：一酸化炭素定常法あるいは一酸化炭素減衰法				
測定期間：不明				
構造・気密指標	風速〔m/s〕	内外温度差〔℃〕	換気回数〔回/h〕	備考
コンクリートプレハブ 2	1.5 ~ 4.5	9	0.24	
集合住宅 2	1.5 ~ 4.5	11.5	0.56	
DKL 2	1.5 ~ 4.5	13.1	0.29	
2	1.5 ~ 4.5	15	0.32	
2	1.5 ~ 4.5	19.1	0.39	
2	1.5 ~ 4.5	20	0.24	
2	1.5 ~ 4.5	21.4	0.37	
2	1.5 ~ 4.5	21.5	0.39	

付表 1 - 2

省エネルギー防寒住宅に関する研究その3（北海道立寒地建築研究所 報告集 1981）				
福島 明				
上野 栄				
石川松四郎				
五十嵐照男				
目的：省エネルギー防寒住宅の性状を調べる。				
測定方法：炭酸ガスパルス濃度応答法				
測定期間：不明				
構造・気密指標	風速〔m/s〕	内外温度差〔℃〕	換気回数〔回/h〕	備考
木造防寒住宅 3	1.5	15以上	0.59	
2階居室 3	1.5	15以上	0.63	

付表 1 - 3

住居の断熱改修について

その2 換気経路の測定結果 (建築学会大会梗概集) 1979

荒谷 登 (北海道大学)
 佐々木 隆 (")
 鍋島 晟 (")
 水迫不二雄 (旭 ダ ウ)

目 的 : 住居の断熱改修に伴って、換気経路がどのように変化したかを知る。

測定方法 : トレーサーガスを用いたパルス濃度応答法

測定期間 : 不明

構造・気密指標	風 速 [m/s]	内外温度差 [°C]	換気回数 [回/h]	備 考
木造 居間 4	報告なし	30.4	2.3	
廊下 4	"	10.7	5.6	
2階 4	"	16.6	2.1	
木造断熱改修住宅 居間 3	"	39.6	2.3	
廊下 3	"	14.9	1.3	
2階 3	"	30.5	0.7	

付表 1 - 4

或る換気経路測定法について (建築学会大会梗概集) 1978

荒谷 登 (北海道大学)
 佐々木 隆 (")

目 的 : 換気経路の効果を知るための手法を考える。

測定方法 : トレーサーガス (CO₂) 法

測定期間 : 1978. 2. 13

構造・気密指標	風 速 [m/s]	内外温度差 [°C]	換気回数 [回/h]	備 考
木造 居間 1F 和室 4	報告なし	26.5	4.9	
2F 和室 4	"	26.5	3.3	

付表 1-5

防音住宅における室内環境に関する研究 (建築学会大会梗概集) 1979, 1980

檜崎 正也 (大阪大学)

楠見 考男 (")

中根 芳一 (大阪市立大学)

横田 圭 (大阪大学)

勝岡 優 (中部工業大学)

石堂正三郎 (")

目 的: 防音実験住宅の室内環境の調査

測定方法: CO₂, CO 減衰法

測定期間: 1978.9 ~ 12 (大阪)

構造・気密指標	風速 [m/s]	内外温度差 [℃]	換気回数 [回/h]	備 考
2 級 防 音 室	3	4 ~ 5	0.5 ~ 4	0.6 ~ 0.7
"	3	1 ~ 5	17 ~ 26	0.68
"	3	0.5 ~ 9	0 ~ 12	0.3 ~ 0.4
特 殊 防 音 室	3	1 ~ 5	1 ~ 4	0.4
"	3	0.5 ~ 3	10 ~ 33	0.7 ~ 0.9
RC 造* アルミ引違窓	2	平均 4.1	間欠暖房時	0.95
" " "	2	" 3.3	非 "	0.92
" 木製引違窓	2	" 1.1	暖房時	2.1 ~ 2.6
" " "	2	" 1.1 ~ 1.7	非 "	0.7 ~ 1.2
2 級 防 音 室	3	4.00	2.5	0.62
"	3	3.09	1.7	0.65
"	3	4.12	1.0	0.40
"	3	1.42	2.4	0.34
"	3		3.8	0.30
"	3	1.03	18.9	0.69
"	3	0.86	24.2	0.68
"	3	3.27	19.3	0.52
"	3	1.34	9.4	0.42
特 殊 防 音 室	3	1.55	2.3	0.43
"	3	3.14	0.7	0.36
"	3	1.55	19.8	0.76
"	3	2.84	23.7	0.88
"	3	0.52	29.2	0.92
"	3	2.66	13.1	0.69
2 級 防 音 室	3	1.5	11.5	0.47
"	3	0.5	5	0.27

* RC 造 …… 鉄筋コンクリート造

付表 1 - 6

集合住宅の換気測定 (建築学会大会梗概集) 1981				
武田 仁 (東京理科大学)				
鈴木 雅也 (")				
目 的: 換気回数の実測				
測定方法: 炭酸ガス減衰法				
測定期間: 1980. 7. 11~31 (日本住宅公団習志野海浜秋津団地)				
構造・気密指標	風速 [m/s]	内外温度差 [℃]	換気回数 [回/h]	備 考
個室 1 (南向) 2	0.5	報告なし	0.2	
1) 2	0.3	"	0.5	
2) 2	1.0	"	0.4	
3) 2	1.0	"	0.5	
個室 2 (北向) 2	2.2	報告なし	1.3	
1) 2	1.0	"	2.4	
2) 2	2.1	"	1.5	
3) 2	1.0	"	2.5	
L D K (南向) 2	0.4	報告なし	0.4	
1) 2	0.7	"	0.6	
2) 2	2.8	"	1.2	
3) 2	0.3	"	0.5	
1) 隣室開口→開				
2) 障子又はカーテン→開				
3) 2) かつ隣室開口開				

付表 1 - 7

CO ₂ 連続発生による換気量測定について (建築学会大会梗概集) 1970, 1971				
伊与田 温 (大成建設)				
本間 宏 (北海道大学)				
荒谷 登 (")				
目 的: CO ₂ 連続発生による換気量測定法の実行				
測定方法: 炭酸ガス連続発生法				
構造・気密指標	風速 [m/s]	内外温度差 [℃]	換気回数 [回/h]	備 考
木造 2 階建住居 3	報告なし	報告なし	3.1	

付表 1-8

防音居室における空気・熱環境の実測調査				
その1 換気回数・垂直温度分布・気流分布について				
(建築学会大会梗概集 1973)				
中根 芳一(大阪市立大学)				
森山 正和(")				
横田 圭(")				
宮崎 竹二(")				
山本ふみ子(")				
目的: 将来, 住宅に防音処理を施す場合の基礎資料とする。				
測定方法: 炭酸ガス減衰法				
測定期間・状況: A 1973. 3. 19 ~ 24 (大阪空港離陸側住宅)				
B 1973. 3. 26 ~ 4. 2 (")				
構造・気密指標	風速〔m/s〕	内外温度差〔℃〕	換気回数〔回/h〕	備考
A. 木造平屋一戸建				
防音室 3	報告なし	0.0	0.55	
(二重サッシ) 3	"	10.0	1.0	
3	"	20.0	1.6	
3	"	30.0	2.1	
B. 木造平屋一戸建 4	報告なし	0.0	0.4	
(防音実験住宅)4	"	10.0	0.8	
一般室 4	"	20.0	1.3	
4	"	30.0	1.7	

付表 1-9

2種ガス連続発生による多数室建物の換気測定法について				
(建築学会大会梗概集 1973)				
荒谷 登(北海道大学)				
齊藤 純司(大成建設)				
目的: 多数室換気量実測の要領及びアパート住戸の換気特性の把握				
測定方法: 2種ガス(炭酸ガス, プロパンガス)連続発生法				
測定期間・条件: 1978. 1 (札幌, 真駒内オリンピック団地内)				
構造・気密指標	風速〔m/s〕	内外温度差〔℃〕	換気回数〔回/h〕	備考
鉄筋コンクリート造 1	報告なし	報告なし	0.40 ~ 0.71	
アパート 1	"	"	2.16 ~ 2.42	
1	"	"	0.49 ~ 0.54	

付表 1-10

住宅の換気性能 その2 実測と計算 (1974)					
その3 多数室の換気実測と計算 (1975)					
(建築学会大会梗概集)					
目 的：実測，計算による換気特性の解明					
測定方法：トレーサーガス法					
測定期間・状況：A 不明					
B 1974.3.13					
構造・気密指標	風速〔m/s〕	内外温度差〔℃〕	換気回数〔回/h〕	備 考	
A. 鉄筋コンクリート造					
アパート					
6帖	2	ほぼ無風	2.3前後	0.73	外気温 -2.75℃
4帖半	2	”	1.1 ”	0.60	
”	2	”	1.1 ”	0.09	
B. 木造住宅					
居間	3	ほぼ無風	報告なし	1.33	
玄関	3	”	”	1.60	
1階和室	3	”	”	0.58	
2階和室	3	”	”	0.39	
2階子供室	3	”	”	0.55	
C. 鉄筋コンクリート造					
5階建アパート					
北和室	1	無風	平均2.6	0.1~0.2	外気温 -3℃
南和室	1	”	” 2.6	0.4~0.6	
D.K.	1	”	” 2.6	0.5~1.7	

付表 1 - 1 1

居住状態におけるCO₂濃度変動と換気量について（建築学会大会梗概集 1975）

荒谷 登（北海道大学）

佐々木 隆（ ” ）

目 的：適切な換気の調整という課題の予備段階

測定方法：炭酸ガス減衰法

測定期間・条件：1970. 1～2（北海道の住居，窓目張りなどあり）

構造・気密指標	風 速〔m/s〕	内外温度差〔℃〕	換気回数〔回/h〕	備 考
木造モルタル				
木サッシ二重 3	1.4	4.0	1.4	
アルミ・木二重 3	報告なし	報告なし	0.9	
木サッシ二重 3	”	”	1.8	
木造モルタルアパート 3	1.3	6.6	2.1	
セラミックブロック 2	1.7	5.6	2.3	
鉄筋コンクリート造				
アパ ート 1	1.3	7.5	1.4	
木造 3	報告なし	報告なし	1.7	

付表 1-12

森之宮市街地団地における外部風と換気の関係について

その3 外部風と換気量 (建築学会大会梗概集 1977)

檜崎 正也 (大阪大学)

楠見 考雄 (")

市川 和男 (")

山本 勲 (")

光安 忠明 (中部工業大学)

目的: 熱エネルギーの消費実態と建物の熱負荷などの総合調査

測定方法: 炭酸ガス減衰法

測定期間・条件: 1977. 1~2

構造・気密指標	風速〔m/s〕	内外温度差〔℃〕	換気回数〔回/h〕	備考
鉄骨鉄筋コンクリート造 15階建アパートの8階				
西向きの部屋	2	2	15前後	0.85
	2	2.5	"	0.12
	2	2.5	"	0.4
	2	2.5	"	0.6
	2	3.5	"	0.25
	2	3.5	"	0.35
	2	3.5	"	0.5
	2	4	"	0.32
	2	4.5	"	0.45
	2	5	"	1.72
	2	5.5	"	1.78
	2	6	"	0.96
	2	6	"	0.7
	2	7.5	"	1.15
	2	7.5	"	0.7
	2	8.5	"	1.0
	2	9	"	9.5
	2	2	15前後	0.4
	2	2	"	0.45
	2	2	"	1.05
	2	2.5	"	0.25
	2	3	"	0.1
	2	3.2	"	0.7
	2	3.5	"	0.05
西向きの部屋	2	3.5	"	0.1
	2	3.5	"	0.12
	2	5	"	1.02

(続く)

構造・気密指標	風速〔m/s〕	内外温度差〔℃〕	換気回数〔回/h〕	備考
西向きの部屋	2	5	15 前後	0.65
	2	5	"	0.5
	2	5	"	0.1
	2	5.5	"	0.3
	2	5.5	"	0.8
	2	5.5	"	0.9
	2	5.5	"	0.95
	2	5.5	"	1.2
	2	6	"	0.45
	2	6	"	0.6
	2	7	"	1.12
	2	8	"	1.0
	2	8	"	1.4
	2	9.5	"	0.2
東向きの部屋	2	2.5	非 暖 房	0.16
	2	3.5	"	0.45
	2	3.5	"	0.8
	2	4	"	0.2
	2	4	"	0.65
	2	4.1	"	1.2
	2	4.5	"	1.2
	2	5	"	1.2
	2	5.5	"	1.15
	2	6	"	1.55
	2	6.1	"	1.5
	2	6.5	"	1.45
	2	6.5	"	1.05
	2	3.5	"	0.85
	2	4	"	0.8
	2	4	"	1.15
	2	4.2	"	0.75
	2	2	非 暖 房	0.9
	2	2.5	"	0.7
	2	3	"	0.5
	2	3	"	0.95
	2	3	"	1.12
	2	3.2	"	0.9
	2	3.8	"	1.08
	2	4	"	0.79
	2	4	"	0.81
東向きの部屋	2	4.5	"	0.9
	2	4.5	"	2.1
	2	4.7	"	2.2
	2	5	"	1.05

構造・気密指標	風速〔m/s〕	内外温度差〔℃〕	換気回数〔回/h〕	備考
東向きの部屋	2	5.5	非暖房	1.25
	2	5.8	"	1.05
	2	5.8	"	2.8
	2	6	"	1.05
	2	6	"	0.98
	2	2	"	0.98
	2	3	"	1.5
	2	3.2	"	0.85
	2	5.5	"	0.42
	2	5.5	"	0.65
	2	6	"	0.55
	2	6	"	0.6
	2	6.5	"	0.68
	2	7	"	0.7
	2	7.5	"	0.6
西向きの部屋	2	0.7	15前後	0.45
	2	1.5	"	0.8
	2	2.5	"	0.5
	2	3	"	0.8
	2	3.1	"	0.81
	2	3.1	"	1.48
	2	3.5	"	1.2
	2	4.5	"	1.48
	2	4.5	"	0.6
	2	4.8	"	0.3
	2	5	"	0.72
	2	5.5	"	0.2
	2	5.5	"	0.45
	2	5.5	"	2.05
	2	6	"	0.7
	2	6	"	0.8
	2	6	"	1.45
	2	6.5	"	0.95
	2	6.5	"	1.12
	2	6.5	"	1.35
	2	6.5	"	1.6
	2	6.5	"	1.7
	2	6.5	"	1.9
	2	6.5	"	2.25
	2	7.5	"	1.95
	2	8	"	0.6
	2	8	"	1.3
	2	9	"	2.05
	2	9.5	"	1.55
	2	9.5	"	2.7
	2	10	"	0.6

付録 2 換気実測データの調査結果（欧米の家屋）

付表 2 - 1

Infiltration Measurements In Two Research Houses (ASHRAE TRANS. 1969)				
R. C. JORDAN				
G. A. ERICKSON				
R. R. LEONARD				
目 的：暖房負荷へ影響する家屋内外の諸要因の調査プロジェクトに関連して				
測定方法：トレーサーガス法				
測定期間：不明（Stillwater, Minnesota: USA）				
構造・気密指標	風速〔m/s〕	内外温度差〔℃〕	換気回数〔回/hr〕	備 考
木造断熱住宅？				
日さし付密着二重ガラス窓				
House B	3	1.34	22.2	0.13
B	3	3.12	16.6	0.23
B	3	2.23	15.0	0.14
B	3	4.47	17.2	0.25
B	3	4.02	23.8	0.18
B	3	4.47	35.5	0.34
B	3	4.02	42.2	0.51
B	3	6.70	33.3	0.38
B	3	2.68	20.5	0.43
B	3	5.36	23.3	0.31
B	3	5.36	23.8	0.65
B	3	2.68	19.4	0.45
B	3	4.92	20.0	0.39
B	3	5.36	16.6	1.34
A	3	6.26	18.8	0.12
A	3	8.04	21.1	0.13
A	3	5.36	13.8	0.20
A	3	6.26	16.6	0.15
B	3	6.26	16.6	0.28
B	3	6.70	2.7	0.61
B	3	8.49	7.7	0.34
B	3	5.36	13.3	0.15
A	3	6.70	12.2	0.16
A	3	16.0	10.0	0.22
A	3	12.0	8.89	0.17

付表 2 - 2

Calculation Infiltration : An Examination Of Handbook Models (ASHRAE TRANS. 1980) JOHN E. JANSSEN, P. E. A. NOEL PEARMAN, P. E. THOMAS J. HILL					
目 的 : 換気回数による換気量計算とクラック法による換気量計算について実測と比較する。					
測定方法 : トレーサーガス法 (ヘリウム, Katharometer)					
測定期間 : 不明 (USA)					
構造・気密指標	風速 [m/s]	内外温度差 [°C]	換気回数 [回/hr]	備考	
MED II SO, Calif. 4	2 - 4	28	0.3		
Walnut Creek Calif. 4	4	28	0.75		
" 4		28	0.13		
Minnesota MN. 4	4	28	0.49		
" 4	4	28	0.46		
New Brington MN. 4	4 - 6	28	0.50		

付表 2 - 3

Wind Tunnel And On-Site Pressure Distribution Measurements On A House And Its Effect On Infiltration (ASHRAE TRANS. 1979) Willem F. de Gids Leo L. M. Van Schijndel Joap A. Ton				
目 的：エネルギー損失の大きな要因となるすきま風の研究				
測定方法：ヘリウムガスによる濃度減衰法				
測定期間：不明 (Netherland)				
構造・気密指標	風速 [m/s]	内外温度差 [°C]	換気回数 [回/hr]	備 考
3rd floor of a building	8	15	0.6	
that is located on the	7	0	0.4	
first row of the dunes	11	7	1.2	
from the North Sea	3	4	0.3	
	1	9	0.1	
	10	8	0.4	
	2.5	0	0.22	
	3.0	4	0.29	
	2.5	0	0.22	
	3.0	7	0.31	
	3.0	5	0.23	
	3.0	3	0.32	
	2.0	0	0.19	
	2.0	20	0.24	
	2.5	0	0.22	
	2.5	20	0.31	

付表 2 - 4

Ventilation Measurements In Houses And The Influence Of Wall Ventilators (Building Science 1, 1966) J. S. HOWARD				
目 的：換気量測定				
測定方法：N ₂ Oトレーサーガス法				
測定期間：不明 (Melbourne, Australia)				
構造・気密指標	風速 [m/s]	内外温度差 [°C]	換気回数 [回/hr]	備 考
木造下見板仕上げ or ブロック仕上げ (内部, しっくい or プラスターボード)				
1. 木製窓	4	1.41	0.54	
	4	1.33	0.45	
	4	1.83	1.00	
	4	1.45	2.13	
	4	1.30	1.69	
	4	1.56	0.93	
	4	1.52	0.70	
	4	1.30	0.84	
	4	1.22	0.51	
2. 木製窓	4	2.02	0.83	
	4	2.00	0.71	
	4	1.76	0.74	
	4	1.62	0.60	
	4	1.60	0.45	
	4	1.72	0.27	
3. スチール製サッシュ	4	2.39	0.83	
	4	1.86	0.73	
	4	1.86	0.74	
4. 木製二重窓	3	1.91	1.59	
	3	2.14	1.38	
5. スチール製サッシュ	4	1.64	0.30	
	4	1.31	0.24	
6. 木製二重窓	3	2.14	0.91	
	3	2.16	0.83	

付表 2 - 5

Airtight Houses And Energy Consumption (Building Research and Practice 3/4 1981) Arne Elmroth Arne Logolberg				
目的：断熱気密化はエネルギー需要を減らせるかどうかについて考察する。				
測定方法：不明				
測定期間：A 1 July 77 - 30 June 78 (Sweden) B After 1 July 78				
構造・気密指標	風速 [m/s]	内外温度差 [°C]	換気回数 [回/hr]	備考
Detached house or linked house	3		4.5	
	3		3.0	
Other building of at least 2 stories	3		3.0	
	3		2.0	
Building of 3 or more stories	3		1.5	
	3		1.0	

付表 2 - 6

Natural And Mechanical Ventilation Rate In A Detached House : Measurement (Applied Energy 8) D. W. ETHRIDGE R. GATE L. MARTIN M. A. GELL				
目的：数学モデルと比較するデータを得るため				
測定方法：0.8%のヘリウムを用いたトレーサーガス法				
測定期間・状況：不明 イギリスの伝統的な建築物について測定 (UK)				
構造・気密指標	風速 [m/s]	内外温度差 [°C]	換気回数 [回/hr]	備考
Sealed	1		0.9	
	1		0.8	
	1		1.0	
	1	1 2.3 ~ 1 6.0	1.0 5	
	1		0.8	
	1		0.7	
	1		0.9	
	1		0.9	
	1		1.3	

構造・気密指標		風速〔m/s〕	内外温度差〔℃〕	換気回数〔回/hr〕	備考
Unsealed	2	1.40	1.0 ~ 8.5	0.4	
	2	1.80		0.60	
	2	2.30		0.45	
	2	2.30		0.50	
	2	2.35		0.8	
	2	2.9		0.95	
	2	3.0		0.70	
	2	3.0		0.73	
	2	3.0		1.6	
	2	3.2		0.6	
	2	3.3		0.9	
	2	4.2		1.4	
	2	4.7		1.7	
	2	5.2		1.75	
	Unsealed	2		1.4 ~ 5.2	1.0
2		1.7	0.78		
2		2.6	0.73		
2		2.42	0.55		
2		4.84	0.4		
2		4.84	0.5		
2		4.84	0.9		
2		5.76	1.4		
2		6.25	0.7		
2		7.02	1.7		
2		7.56	1.2		
2		7.73	0.9		
2		8.12	1.72		
2		8.41	1.6		
Sealed	1	1.4 ~ 5.2	12.2	0.89	
	1		12.9	0.90	
	1		14.4	0.89	
	1		15.3	0.88	
	1		14.0	0.75	
	1		14.5	0.8	
	1		15.0	1.0	
	1		13.6	1.3	

付表 2-7

SUMMERTIME INFILTRATION RATES IN MOBILE HOMES

by V. W. Goldschmidt & D. R. Wilhelm

ASHRAE TRANS. 1979 (PH-79-10, No 4)

目 的：気密化による冷暖房エネルギー節減効果を調べる。

注記 1. North home は全ての部材間接合部を充てんして気密化。

2. South home は Continuous sheathing board によって組立てられたもの。

測定期間・場所：不明 (Indiana, USA)

構造・気密指標	風速 [m/s]	内外温度差 [°C]	換気回数 [回/hr]	備 考	
North home	2	< 1.43	0.5	0.08	Summer
	2	1		0.11	
	2	2		0.075	
	2	2.25		0.09	
	2	2.75		0.12	
	2	2.75		0.15	
	2	3		0.12	
	2	3		0.14	
	2	3.25		0.12	
	2	3.5		0.16	
	2	3.75		0.08	
	2	3.75		0.12	
	2	3.75		0.14	
	2	3.75		0.15	
	2	4		0.1	
	2	4		0.12	
	2	4		0.15	
	2	4.5		0.15	
	2	5.5		0.05	
	2	6		0.13	
	2	6.5		0.075	
	2	6.5		0.15	
	2	6.75		0.12	
	2	6.75		0.12	
	2	6.75		0.13	
	2	8.25		0.15	
	2	8.5		0.21	
	2	9.75		0.18	

(続く)

構造・気密指標	風速〔m/s〕	内外温度差〔℃〕	換気回数〔回/hr〕	備考				
North home	2	< 1.43	10.2	0.14	Summer			
	2		11	0.12				
	2		11.5	0.14				
	2		18	0.25				
	2		18.5	0.21				
	North home	2	< 1.43	13.7	0.26	Winter		
		2		17.5	0.26			
		2		18	0.27			
		2		19	0.30			
		2		21.2	0.3			
		2		24.6	0.3			
		2		25.2	0.35			
		2		26.7	0.28			
		2		27	0.39			
		2		27.5	0.34			
2		28		0.28				
North home		2		< 1.43	28.5		0.33	Winter
		2			29.7		0.33	
	2	30	0.3					
	2	30.2	0.39					
	2	30.5	0.31					
	2	30.5	0.32					
	2	30.5	0.33					
	2	31.7	0.33					
	2	33	0.33					
	2	34	0.47					
	2	38.3	0.41					
	2	39.2	0.44					
	2	40.5	0.49					
2	48.5	0.52						
South home	1	< 1.43	0	0.06	Summer			
	1		0.25	0.04				
	1		0.25	0.11				
	1		1	0.02				
	1		1	0.12				
	1		1.1	0.05				
	1		1.6	0.07				
	1		2.8	0.04				
	1		2.8	0.08				
	1		3	0.06				
	1		3.2	0.05				
	1		3.2	0.06				
	1		3.5	0.1				

構造・気密指標	風速 [m/s]	内外温度差 [℃]	換気回数 [回/hr]	備考	
South home	1	< 1.43	3.7	0.09	Summer
	1		4	0.07	
	1		4.2	0.09	
	1		5.5	0.038	
	1		5.5	0.06	
	1		5.75	0.065	
	1		5.5	0.08	
	1		5.5	0.09	
	1		6	0.09	
	1		6.5	0.10	
	1		6.5	0.11	
	1		6.5	0.12	
	1		6.75	0.09	
	1		6.75	0.19	
	1		8.75	0.17	
	1		9.2	0.11	
	1		9.75	0.13	
South home	1	< 1.43	12.8	0.12	
	1		18.5	0.13	
	1		19.5	0.10	
	1		19.7	0.11	
	1		12.8	0.16	
	1		13.0	0.1	
	1		13.5	0.18	
	1		14.5	0.19	
	1		18.5	0.15	
	1		20	0.17	
	1		21	0.21	
	1		23	0.11	
	1		26	0.22	
	1		27	0.22	
	1		27.5	0.17	
	1		27.8	0.24	
	1		28.5	0.16	
	1		28.8	0.16	
	1		29	0.21	
	1		29	0.23	
	1		29.7	0.22	
	1		29.8	0.19	
	1		20.1	0.22	
	1		31.5	0.19	
	1		31.5	0.20	
	1		32.2	0.14	
	1		32.5	0.21	

構造・気密指標	風速 [m/s]	内外温度差 [°C]	換気回数 [回/hr]	備考	
South home	1		36.5	0.23	Summer
	1		37.5	0.24	
	1		38	0.26	
	1		38.5	0.27	
	1		40.2	0.28	
	1		40.8	0.29	
	1		43	0.39	
	1		49	0.27	
North home	2	6.26	13	1.0	
	2		8	0.85	
	2		6.5	0.98	
	2		3.75	0.78	
	2		0.5	0.85	
	2		6	0.9	
	2		13	1.12	
	2		19.8	1.12	
North home	2		27	1.41	
	2		33	1.58	
	2		40	1.60	
South home	1		13	0.42	
	1		8	0.45	
	1		6.5	0.45	
	1		3.75	0.38	
	1		0.5	0.39	
	1		6	0.41	
	1		13	0.60	
	1		19.8	0.60	
	1		27	0.75	
	1		33	0.73	
	1		40	0.95	

付表 2 - 8

INFILTRATION — PRESSURIZATION CORRELATIONS :
 DETAILED MEASUREMENTS ON A CALIFORNIA HOUSE

(ASHRAE TRANS. 1979) PH-79-10 No.5

by D. T. GRIMSRUD

M. H. SHERMAN

R. C. DIAMOND

P. E. CONDON

A. H. ROSENFELD

目 的 : 自然換気量と加圧試験結果との関係を探る。

測定方法 : N₂O トレーサーガス使用の濃度減衰法 (赤外線分析計)

(比較としてトレーサーガスの注入を継続的にコントロールする方法も行った)

測定場所 : 20 miles east of San Francisco in Walnut Creek

測定期間 : 不明

測定家屋 : One-story, three-bedroom house, with wood frame

construction, typical of houses in the area, and built in
1964.

windows : single-glazed horizontal sliding and with aluminum
frame

walls : all insulated with R-11 fiberglass batts

構造・気密指標	風速 [m/s]	内外温度差 [°C]	換気回数 [回/hr]	備考
3	0.4	6	0.52	
3	0.7	2	0.51	
3	1.3	5	0.48	
3	1.35	1	0.41	
3	1.35	2	0.50	
3	1.5	2	0.37	
3	1.75	4	0.45	
3	2.0	4	0.49	
3	2.2	9	0.57	
3	2.25	5	0.58	
3	2.45	7	0.53	
3	2.65	7	0.43	
3	2.7	1	0.46	
3	2.75	11	0.53	
3	2.9	3	0.57	
3	2.9	6	0.66	

(続く)

構造・気密指標	風速〔m/s〕	内外温度差〔℃〕	換気回数〔回/hr〕	備考
3	3.15	6	0.62	
3	3.3	7	0.67	
3	3.6	9	0.5	
3	3.6	5	0.52	
3	3.6	7	0.61	
3	4.05	2	0.44	
3	4.0	12	0.51	
3	4.3	1	0.35	
3	4.5	3	0.51	
3	4.5	5	0.53	
3	4.5	7	0.63	
3	4.6	8	0.54	
3	4.0	8	1.0	
3	4.9	9	1.14	
3	4.9	7	1.13	
3	4.85	4	0.71	
3	4.9	5	0.67	
3	4.9	1	0.44	
3	5.8	2	0.69	
3	5.8	8	1.1	
3	6.7	1	0.72	
3	6.7	3	0.98	
3	7.15	7	0.81	
3	7.35	6	0.71	
3	8.0	7	1.12	
3	8.05	8	0.76	

付表 2 - 9

THE CALCULATION OF HOUSE INFILTRATION RATES (ASHRAE TRANS. 1979) No.2513 G. T. TAMURA					
目 的：計算と実測の比較					
測定方法：ヘリウムを用いたトレーサーガス法					
測定期間・場所：不明（カナダ）					
構造・気密指標		風速〔m/s〕	内外温度差〔℃〕	換気回数〔回/hr〕	備考
House No.1	3	1.4 S	29.4	0.22	Winter
	3	3.4 SW	17.8	0.24	
bungalow	3	4.3 NE	25.0	0.25	
5 room with	3	1.3 N	1.7	0.07	Summer
full basement	3	1.9 E	2.5	0.10	
	3	2.7 NW	1.1	0.16	
details	3	0.4 E	1.1	0.07	
- construction	3	3.2 SW	3.3	0.17	
insulated	3	1.5 W	1.1	0.09	
wood-frame	3	3.6 N	3.3	0.17	
- outside walls	3	1.2 W	1.1	0.08	
brick veneer on	3	1.6 SW	1.7	0.11	
four walls	3	3.2 E	3.3	0.14	
	3	0.4 S	1.7	0.06	
- inside plaster-finish	3	2.6 E	1.7	0.13	
window	3	5.4 NE	19.1	0.28	Winter -Spring
	3	2.7 E	19.7	0.22	
double horizontal	3	0.4 E	18.9	0.18	
sliding sashless-	3	2.7 NE	16.6	0.18	
wood frame	3	4.0 E	18.6	0.23	
	3	2.8 SW	16.1	0.20	
	3	4.9 W	16.6	0.25	
heating	3	3.4 W	16.1	0.18	
	3	1.2 E	18.6	0.15	
forced warm air	3	0.0 -	16.1	0.12	
with gum type	3	0.9 -	10.5	0.12	
	3	1.2 E	8.9	0.13	
oil burner					

構造・気密指標	風速〔m/s〕	内外温度差〔℃〕	換気回数〔回/hr〕	備考	
House No. 2	3	1.2 SW	14.4	0.42	Winter
	3	1.1 NW	22.8	0.39	-Spring
bungalow	3	2.6 NE	16.6	0.50	
	3	0.0 -	13.9	0.24*	
5 room with	3	2.7 SW	18.3	0.39	
full basement	3	4.1 NW	21.6	0.45	
	3	2.5 NE	10.0	0.59**	
details	3	1.9 SW	3.3	0.25	
- construction					
insulated frame					
- outside walls	3	3.6 NW	0	0.23	Summer
brick veneer and	3	3.4 SW	1.7	0.20	Test
wood siding on	3	1.9 S	1.1	0.12	
front wall,	3	2.3 W	1.1	0.14	
stucco finish or	3	0.7 N	1.1	0.11	
remaining walls	3	0.2 -	0	0.06	
		2.5 S	1.7	0.21*	
- inside finish					
plaster					
- windows					
wood double-hinge					
vertical sliding					
with storm sash					
- heating system					
same as No. 1					

* barometric damper sealed

** fireplace damper open

付表 2 - 1 0

APPROACHES TO EVALUATION OF AIR INFILTRATION ENERGY LOSSES
IN BUILDINGS

by Ake K. Blowsterberg & David T. Harrje

ASHRAE 1979 (PH-79-10 No.4)

目 的：換気の諸要因を探る。

測定方法：SF₆トレーサーガス濃度減衰法

測定期間・場所：不明 Twin River, Princeton (USA)

Retrofit: A → attic insulation to R-30

(ind. plugging of the openings along party walls)

B → caulking and sealing window and doors

C → insulating warm air distribution system in the
basement

D → plugging off the shaft around the furnace flue in
attic

構造・気密指標	風速〔m/s〕	内外温度差〔℃〕	換気回数〔回/hr〕	備 考
House Retrofit				
Town House {	4	17	0.31	
Re ABCD 1				
with {	4	17	0.36	
Wa BCD 1				
Basement {	4	17	0.42	
He ABCD 1				
Detached House Fe 1	4	17	0.82	
with Crawl space				
all 2 stories				

付表 2 - 1 1

Field Studies Of Dependence Of Air Infiltration On Outside Temperature And Wind

(Energy & Buildings, 1, 1978)

Nicholas Malik

概要: The air infiltration rate measured in two similar townhouses, is parameterized in terms of

Wind Speed

Wind Direction

Indoor Outdoor Temperature Difference

Average Rate of Furnace Firing

Fraction of Time that Doors are Open.

測定方法: SF₆トレーサガス濃度減衰法

測定期間・場所: 2月, 4月, 5月, 7月 (USA)

構造・気密指標	風速 [m/s]	内外温度差 [℃]	換気回数 [回/hr]	備考
House 1	1	1.68	0	0.14
	1	1.68	0	0.15
	1	1.68	0	0.19
	1	1.68	0	0.20
	1	1.68	0	0.21
	1	1.68	0	0.24
	1	1.68	0	0.25
	1	1.68	0	0.25
	1	1.68	0	0.28
	1	1.68	0	0.29
	1	1.68	0	0.30
	1	1.68	0	0.39
	1	1.68	0.25	0.21
	1	1.68	0.25	0.26
	1	1.68	0.25	0.36
	1	1.68	0.5	0.21
	1	1.68	0.5	0.26
	1	1.68	0.75	0.14
	1	1.68	0.75	0.14
	1	1.68	0.75	0.20
	1	1.68	0.75	0.25

構造・気密指標	風速〔m/s〕	内外温度差〔℃〕	換気回数〔回/hr〕	備考
House 1	1	1.68	1.0	0.17
	1	1.68	1.0	0.22
	1	1.68	1.0	0.24
	1	1.68	1.0	0.25
	1	1.68	1.0	0.26
	1	1.68	1.0	0.26
	1	1.68	1.0	0.27
	1	1.68	1.25	0.20
	1	1.68	1.25	0.26
	1	1.68	1.5	0.27
	1	1.68	1.5	0.30
	1	1.68	1.5	0.31
	1	1.68	1.5	0.35
	1	1.68	1.5	0.37
	1	1.68	1.9	0.26
	1	1.68	1.9	0.33
	1	1.68	2.1	0.28
	1	1.68	2.1	0.29
	1	1.68	2.1	0.30
	1	1.68	2.1	0.32
	1	1.68	2.1	0.32
	1	1.68	2.1	0.36
	1	1.68	2.1	0.37
	1	1.68	2.1	0.38
	1	1.68	2.1	0.40
	1	1.68	2.1	0.41
	1	1.68	2.5	0.38
	1	1.68	2.5	0.33
	1	1.68	2.5	0.26
	1	1.68	2.8	0.28
	1	1.68	3.0	0.27
	1	1.68	3.0	0.41

(続く)

構造・気密指標	風速 [m/s]	内外温度差 [℃]	換気回数 [回/hr]	備考
House 1	1	1.68	3.2	0.27
	1	1.68	3.2	0.28
	1	1.68	3.2	0.29
	1	1.68	3.2	0.29
	1	1.68	3.2	0.32
	1	1.68	3.2	0.33
	1	1.68	3.2	0.33
	1	1.68	3.2	0.34
	1	1.68	3.5	0.3
	1	1.68	3.5	0.42
	1	1.68	3.5	0.39
	1	1.68	4.0	0.3
	1	1.68	4.0	0.25
	1	1.68	4.0	0.26
	1	1.68	4.0	0.36
	1	1.68	4.5	0.24
	1	1.68	4.5	0.26
	1	1.68	4.5	0.27
	1	1.68	4.5	0.28
	1	1.68	5.0	0.3
	1	1.68	5.0	0.33
	1	1.68	5.0	0.33
	1	1.68	5.0	0.34
	1	1.68	5.0	0.36
	1	1.68	5.5	0.41
	1	1.68	5.5	0.38
	1	1.68	5.5	0.36
	1	1.68	5.5	0.35
	1	1.68	5.5	0.34
	1	1.68	5.5	0.33
	1	1.68	5.5	0.32
	1	1.68	5.5	0.31
	1	1.68	5.5	0.30
	1	1.68	5.5	0.31

(続く)

構造・気密指標	風速〔m/s〕	内外温度差〔℃〕	換気回数〔回/hr〕	備考	
House 1	1	1.68	5.7	0.38	
	1	1.68	5.7	0.45	
	1	1.68	6.0	0.33	
	1	1.68	6.0	0.30	
	1	1.68	6.0	0.31	
	1	1.68	6.0	0.33	
	1	1.68	6.0	0.34	
	1	1.68	6.5	0.41	
	1	1.68	6.5	0.36	
	1	1.68	6.5	0.35	
	1	1.68	6.5	0.37	
	1	1.68	6.5	0.33	
	1	1.68	6.5	0.32	
	1	1.68	7.0	0.36	
	1	1.68	7.5	0.48	
	1	1.68	7.5	0.41	
	1	1.68	7.5	0.36	
	1	1.68	7.5	0.34	
	1	1.68	7.5	0.33	
	1	1.68	7.5	0.39	
	1	1.68	7.5	0.38	
	1	1.68	8.0	0.32	
	1	1.68	8.0	0.34	
	1	1.68	8.0	0.36	
	1	1.68	8.0	0.38	
	1	1.68	8.0	0.41	
	1	1.68	8.0	0.42	
	1	1.68	8.5	0.45	
	1	1.68	8.5	0.50	
	1	1.68	8.5	0.44	
1	1.68	8.5	0.44		
1	1.68	8.5	0.43		
1	1.68	8.5	0.47		

(続く)

構造・気密指標	風速〔m/s〕	内外温度差〔℃〕	換気回数〔回/hr〕	備考	
House 1	1	1.68	9.0	0.52	
	1	1.68	9.0	0.47	
	1	1.68	9.0	0.46	
	1	1.68	9.0	0.44	
	1	1.68	9.0	0.42	
	1	1.68	9.0	0.41	
	1	1.68	9.0	0.39	
	1	1.68	9.0	0.38	
	1	1.68	9.0	0.37	
	1	1.68	9.0	0.36	
	1	1.68	9.0	0.36	
	1	1.68	9.0	0.36	
	1	1.68	9.5	0.48	
	1	1.68	9.5	0.38	
	1	1.68	10.0	0.44	
	1	1.68	10.5	0.54	
	1	1.68	10.5	0.40	
	1	1.68	10.5	0.42	
	1	1.68	10.5	0.44	
	1	1.68	10.5	0.45	
	1	1.68	10.5	0.47	
	1	1.68	11.0	0.45	
	1	1.68	11.0	0.45	
	1	1.68	11.0	0.47	
	1	1.68	11.5	0.58	
	1	1.68	11.5	0.55	
	1	1.68	11.5	0.55	
	1	1.68	11.5	0.54	

付録3 自然換気回数推定式を求めた統計解析法

統計処理に用いた解析手法は次のとおりである。換気回数 $Y(h^{-1})$ の主要因として気密指標 X_1 (表2-1と表2-2に示す), 外気風速 $X_2(m/s)$, と内外温度差 $X_3(°C)$ をとり, Y は X_1, X_2, X_3 の一次式で経験的に近似されると仮定する。

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_3 \cdot X_3 \quad \dots\dots\dots (1)$$

文献調査により Y と X_1, X_2, X_3 についてのデータが総数 n 個集められたとすると, そのうちの j 番データは, (1)式の仮定から, 次のベクトル形式で表わされる。

$$Y_j = [1, X_{1j}, X_{2j}, X_{3j}] \cdot \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} = X_j \cdot a \quad \dots\dots\dots (2)$$

その方程式誤差を e_j とすると次式で表わされる。

$$e_j = Y_j - X_j \cdot a \quad \dots\dots\dots (3)$$

方程式誤差の二乗和を重み W_j 付きで総和し, その a に関する評価関数を J とおく。

$$\begin{aligned} J &= \sum_{j=1}^n e_j \cdot W_j \cdot e_j \\ &= \sum_{j=1}^n (Y_j - X_j a) \cdot W_j (Y_j - X_j a) \\ &= \sum_{j=1}^n (Y_j W_j Y_j - Y_j W_j X_j a - a^t X_j W_j Y_j + a^t X_j W_j X_j a) \quad \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

J を a に関し最小にする条件は次式である。

$$\frac{\partial J}{\partial a} = 0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\frac{\partial J}{\partial a} = \sum_{j=1}^n (-^t X_j W_j Y_j - ^t X_j W_j Y_j + 2 ^t X_j W_j X_j a) = 0 \quad \dots\dots\dots (6)$$

よってこの条件における a の推定値 \hat{a} は次式のように表わされる。

$$\hat{a} = \left(\sum_{j=1}^n ^t X_j W_j X_j \right)^{-1} \cdot \left(\sum_{j=1}^n ^t X_j W_j Y_j \right) \quad \dots\dots\dots (7)$$

次に重み W_j のとり方として X_{1j}, X_{2j}, X_{3j} のうちいくつかは欠損している場合, また次式による残差 V_j が大きい場合に W_j が小さくなるようにする。この定式化は基本的には Tukey の Biweight 法によるものである。

$$V_j = Y_j - X_j \cdot \hat{a} \quad \dots\dots\dots (8)$$

その方法は本来、観測値の誤差分散をもとにしたものであるが、この場合は観測誤差はわからないし、むしろ0とみなした方が合理的である。従って各変数の変動の分散で代用することを考える。今それぞれの変数の変動分散を次の各式で表わす。

$$\sigma_y^2 = E[(Y_j - \bar{Y})(Y_j - \bar{Y})] \dots\dots\dots (9)$$

$$\sigma_{xi}^2 = E[(X_{ij} - \bar{X}_i)(X_{ij} - \bar{X}_i)] \quad (i = 1, 2, 3) \dots\dots\dots (10)$$

ここに $\bar{\quad}$ は平均値を意味する。ついで次式の方程式誤差の分散を σ_e 、 σ_{xi} で表わす。

$$\sigma_e^2 = E[(e_j - \bar{e})(e_j - \bar{e})] \dots\dots\dots (11)$$

j番データ $Y_j, X_{1j}, X_{2j}, X_{3j}$ はそれぞれ平均値に変動分 $\epsilon_{yj}, \epsilon_{x1j}, \epsilon_{x2j}, \epsilon_{x3j}$ が加わったものとみなすと次式が成立する。

$$e_j = (\bar{Y} + \epsilon_{yj}) - [a_0 + a_1(\bar{X}_1 + \epsilon_{x1j}) + a_2(\bar{X}_2 + \epsilon_{x2j}) + a_3(\bar{X}_3 + \epsilon_{x3j})] \dots\dots (12)$$

ここで $E(\bar{e}) = 0$ と仮定すると次式が成立つ。

$$\bar{Y} = a_0 + a_1 \bar{X}_1 + a_2 \bar{X}_2 + a_3 \bar{X}_3 \dots\dots\dots (13)$$

従って(12)式は次式のように整理できる。

$$e_j = \epsilon_{yj} - (a_1 \cdot \epsilon_{x1j} + a_2 \cdot \epsilon_{x2j} + a_3 \cdot \epsilon_{x3j}) \dots\dots\dots (14)$$

以上により(11)式の σ_e は次式のように σ_y, σ_{xi} で表わせる。

$$\begin{aligned} \sigma_e^2 &= E[e_j \cdot e_j] \\ &= E[\epsilon_{yj} \epsilon_{yj}] + a_1^2 E[\epsilon_{x1j} \epsilon_{x1j}] + a_2^2 E[\epsilon_{x2j} \epsilon_{x2j}] + a_3^2 E[\epsilon_{x3j} \epsilon_{x3j}] \\ &= \sigma_y^2 + a_1^2 \cdot \sigma_{x1}^2 + a_2^2 \cdot \sigma_{x2}^2 + a_3^2 \cdot \sigma_{x3}^2 \dots\dots\dots (15) \end{aligned}$$

ここで $E[\epsilon_{yj} \epsilon_{xij}] = 0, E[\epsilon_{xij} \epsilon_{xkj}] = 0 (i \neq k)$ など共分散は0となる性質を用いた。もし X_{ij} のデータが欠損していれば、 \bar{X}_i の標本平均を代用し、その分散は σ_{xi} の3倍で $3\sigma_{xi}$ あるとみなす。こうすると欠損を全く持たないデータは(15)式での σ_e^2 と同じ方程式誤差分散を持つが、いくつか欠損があれば方程式誤差分散は大きくなる。従ってデータごとに方程式誤差分散は変わるものとみなし、それを σ_{ej}^2 とおく。重み W_j は基本的には次式で定める。

$$W_j = \sigma_e^2 / \sigma_{ej}^2 \dots\dots\dots (16)$$

さらにBiweight法の堅固性(Robustness)は残差により、この重みに修正を加えることにあるので次式の修正を加えた有効重みを定義した。

$$w_j^{eff} = \left(1 - \frac{1}{C^2} \left(\frac{V_j}{\sigma_{ej}}\right)^2\right)^2 \cdot W_j \dots\dots\dots (17)$$

ここにCはしきい値と呼ばれるもので5~9に選ぶが、本分析においては5に定めた。しきいの意味は次のように残差 V_j がその偏差値のC倍を越えれば W_j^{eff} を0におくことにある。

もし、 $|V_j/\sigma_{e_j}| > C$ ならば $W_j^{eff} = 0$ (18)

(15)式の誤差伝播の構造は推定しようとする a に左右されており、また(8)式の残差 V_j も a に左右されているから次の繰り返し計算により a を求める。

- ① まず $W_j = 1$ ($j = 1, \dots, n$) とおいて(7)式により最尤推定 \hat{a}_0 を求める。
- ② \hat{a}_0 により (15)の誤差伝播構造の式から $\sigma_{e_j}^2$ を、また(8)式により V_j を決め、(17)式により W_j^{eff} を計算する。この W_j^{eff} を用いて(7)式によって不偏推定 \hat{a}_1 を求める。
- ③ $\|\hat{a}_1 - \hat{a}_0\| < \epsilon \cdot \|\hat{a}_1\|$ (ϵ は収束判定比率)かどうか判別し、もしそうでなければ \hat{a}_0 に \hat{a}_1 を置き換えて②へもどる。もしそうであれば推定完了とする。ただし ϵ は本分析においては 0.03 (3%) に定めた。

回帰分析結果の a のパラメーターの持つ誤差はその分散共分散マトリクスによって評価できる。この分散共分散マトリクスは方程式残差から伝播してくるものとみなして次のような考え方で計算した。まず(3)式から次式が成立つ。

$$Y_j = X_j \cdot a + e_j \quad \dots\dots\dots (19)$$

$E(e_j) = 0$ とすれば $E(W_j) = X_j a$ となるから次式が成立する。

$$\begin{aligned} \hat{a} - E(\hat{a}) &= \left(\sum_{j=1}^n {}^tX_j W_j X_j \right)^{-1} \left(\sum_{j=1}^n {}^tX_j W_j y_j \right) \\ &\quad - E \left[\left(\sum_{j=1}^n {}^tX_j W_j X_j \right)^{-1} \left(\sum_{j=1}^n {}^tX_j W_j Y_j \right) \right] \\ &= \left(\sum_{j=1}^n {}^tX_j W_j X_j \right)^{-1} \left(\sum_{j=1}^n {}^tX_j W_j e_j \right) \end{aligned} \quad (20)$$

従って \hat{a} の方程式誤差 e_j からの伝播則は次式で表わされる。

$$\begin{aligned} &E \left[(\hat{a} - E(\hat{a})) \cdot {}^t(\hat{a} - E(\hat{a})) \right] \\ &= E \left[\left(\sum_{j=1}^n {}^tX_j W_j X_j \right)^{-1} \left(\sum_{j=1}^n {}^tX_j W_j e_j \right) \left(\sum_{j=1}^n {}^t e_j W_j X_j \right) \left(\sum_{j=1}^n {}^tX_j W_j X_j \right)^{-1} \right] \\ &= \left(\sum_{j=1}^n {}^tX_j W_j X_j \right)^{-1} \left(\sum_{j=1}^n {}^tX_j W_j E(e_j \cdot {}^t e_j) \cdot W_j X_j \right) \left(\sum_{j=1}^n {}^tX_j W_j X_j \right)^{-1} \quad \dots\dots\dots (21) \end{aligned}$$

ここで $E(e_i \cdot {}^t e_j) = 0$ ($i \neq j$) なる性質を用いた。 $E(e_j \cdot {}^t e_j)$ については次のように定めた。

$$E(e_j \cdot {}^t e_j) \cong (1 / (n - 4)) \sum_{j=1}^n V_j \cdot {}^t V_j \quad \dots\dots\dots (22)$$

(21)式の分散共分散マトリクスの対角要素は推定パラメーター a の誤差分散であり、非対角要素は共分散である。定数項となるパラメーター a_0 に対応する行と列は方程式誤差の分散と共分散に等しいため、それ以外の a_1, a_2, a_3 に対応する行と列のみをとり出して結果とする。さらに共分散の性質を見やすくするため、(i, i)対角要素を σ_i^2 、(j, j)対角要素を σ_j^2 とするとき (i, j)要素と (j, i)要素を $\sigma_i \cdot \sigma_j$ で割って規格化する。

回帰式の適合度を示す決定係数 (COD) は次のようにして計算した。まず、残差 V_j の平方和 $S(\hat{a})$ を次式により計算する。

$$S(\hat{a}) = \sum_{j=1}^n {}^t V_j W_j V_j \quad \dots\dots\dots (23)$$

Yの平均値は重みつきとして

$$\bar{Y} = \left(\sum_{j=1}^n W_j \right)^{-1} \left(\sum_{j=1}^n W_j Y_j \right) \quad \dots\dots\dots (24)$$

とすると、 Y_j の \bar{Y} まわりの総変動 S_y は次式で計算される。

$$\begin{aligned} S_y &= \sum_{j=1}^n {}^t (Y_j - \bar{Y}) \cdot W_j (Y_j - \bar{Y}) \\ &= \sum_{j=1}^n {}^t Y_j W_j Y_j - {}^t \bar{Y} \left(\sum_{j=1}^n W_j \right) \bar{Y} \quad \dots\dots\dots (25) \end{aligned}$$

$$= \sum_{j=1}^n {}^t Y_j W_j Y_j - {}^t \left(\sum_{j=1}^n W_j Y_j \right) \left(\sum_{j=1}^n W_j \right)^{-1} \left(\sum_{j=1}^n W_j Y_j \right) \quad \dots\dots\dots (26)$$

従って決定係数(COD)は次のように表わされる。

$$COD = 1 - S(\hat{a}) / S_y \quad \dots\dots\dots (27)$$

決定係数の正の平方根は重相関係数である。また有意性の検定のためのF値は次式によって計算される。

$$F = \{ (S_y - S(\hat{a})) / 3 \} / \{ S(\hat{a}) / (n - 3) \} \quad \dots\dots\dots (28)$$

ここに3は変数の個数である。

付録 4 換気回数実測データの調査に用いた資料の一覧

- (1) 浅野賢二：Ⅷ-2 換気系の性能評価，集合住宅の気密性と換気に関する研究，昭和54年建築研究所年報。
- (2) 福島 明，上野 栄，石川松四郎，五十嵐照男：省エネルギー防寒住宅に関する研究（その3，2階暖房室の壁内通気による影響），北海道立寒地建築研究所調査研究報告集（1981）。
- (3) 佐々木隆，荒谷 登，鍋島 晟，水迫不二雄：住宅の断熱改修について（その2，換気経路の測定結果），日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）（1979）。
- (4) 佐々木隆，荒谷 登：ある換気経路測定法について，日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）（1978）。
- (5) 楠見孝雄，石堂正三郎，中根芳一，檜崎正也，勝岡 優，横田 圭：防音住宅における室内環境に関する研究（その2，気密性と自然換気），同上，（関東）（1979）。
- (6) 武田 仁，鈴木雅也：集合住宅の換気測定，同上，（九州）（1981）。
- (7) 本間 宏，伊与田温：CO₂連続発生による換気量測定法について，同上，（関東）（1960）。
- (8) 中根芳一，横田 圭，山本ふみ子，森山正和，宮崎竹二：防音居室における空気・熱環境の実測調査（その1）（換気回数・垂直温度分布・気流分布について），同上，（東北）（1973）。
- (9) 荒谷 登，斉藤純司：2種ガス（炭酸ガス，プロパンガス）連続発生による多数室建物の換気量測定法について（その2，多数室測定例），同上，（東北）（1973）。
- (10) 浅野賢二，原口茂毅：住宅の換気性状（その2，実測と計算），（北陸）（1974）。
- (11) 佐々木隆，荒谷 登：居住状態におけるCO₂濃度変動と換気量について，同上，（関東）（1975）。
- (12) 森の宮市街地団地における外部風と換気の関係について（その3，外部風と換気量）：同上，（中国）（1977）。
- (13) R. C. Jordan, G. A. Erickson, R. R. Leonard: Infiltration measurements in two research house, ASHRAE Trans., Vol. 75, 344 (1969)。
- (14) J. E. Janssen, A. N. Pearman, T. J. Hill: Calculating infiltration-An examination of handbook models, ASHRAE Trans., Vol. 86, 751 (1980)。
- (15) W. F. De Gids, L. L. M. Van Schijndel, J. A. Ton: Wind tunnel and on-site pressure distribution measurements on a house and its effects on infiltration, ASHRAE Trans., Vol. 85, 411 (1979)。
- (16) J. S. Howard: Ventilation measurements in houses and the influence of wall ventilators, Build. Sci., Vol. 1, 251 (1966)。
- (17) A. Elmroth, A. Logdberg: Airtight houses and energy consumption, Buil. Res. and Practice, March/April, 102 (1981)。
- (18) D. W. Etheridge, L. Martin, R. Gale, M. A. Gell: Natural and mechanical

ventilation rates in a detached house-Measurements, Applied Energy, Vol. 8, 1 (1981)。

- (19) V. W. Goldschmidt, D. R. Wilhelm : Summertime infiltration rates in mobile homes, ASHRAE Trans., Vol. 85, 840 (1979)。
- (20) G. T. Grimsrud, M. H. Sherman, R. C. Diamond, P. E. Condon, A. H. Rosenfeld : Filtration-Pressurization correlations-Detailed measurement on a California house, ASHRAE Trans., Vol. 85, 851 (1979)。
- (21) G. T. Tamura : The calculation of house infiltration rates, ASHRAE Trans., Vol. 85, 58 (1979)。
- (22) A. K. Blomsterberg, D. T. Harrje : Approaches to evaluation of air infiltration energy losses in buildings, ASHRAE Trans., Vol. 85, 797 (1979)。
- (23) N. Malik : Field studies of dependence of air infiltration on outside temperature and wind, Energy and Buildings, Vol. 1, 281 (1977)。

住宅統計調査に用いた資料

- (1) 総理府統計局 : 住宅統計調査, 第3巻 都道府県別 (47分冊) 1963, 1968, 1973, 1978。