

高断熱・高気密住宅の健康性と省エネルギー性

吉野 博 (東北大学教授)

キーワード：1) 高断熱・高気密住宅, 2) 健康性, 3) 省エネルギー, 4) アンケート調査, 5) 実測調査,
6) 室内熱・空気環境, 7) 暖房用エネルギー消費量

1. はじめに

住宅に対する省エネルギー法^{註1)}が1992年2月に改正され、ほぼ4年が経過した。新しい基準の主な改正点^{文1)}は、断熱性能の強化、気密住宅の概念の導入、日射遮蔽の考慮などであり、これらのことが盛り込まれたことにより、寒冷地のみならず、暖地においても新築住宅の断熱気密化が進みつつある。また本年、いわゆる次世代省エネルギー基準^{註2)}が策定される見込みであり、さらに、断熱気密化に拍車がかかろうとしている。この断熱気密化の流れのなかで、設計者や工務店、ユーザーの中には、断熱気密化がとにかく重要であるとして、これを盲目的に受け入れてしまう方や、一方では断熱気密化に対して様々な問題点をあげて拒絶する方もあるが、筆者は、断熱気密化に対して慎重な態度をとりつつ、積極的に受け入れて欲しいと考えている。しかしながら、断熱気密化の是非を問うためには論議の焦点となっている健康性や省エネルギー性に関して明確にすることがなによりも必要である。本論では、高断熱・高気密住宅の理念について解説した上で、既往の研究成果をもとにして、健康性と省エネルギー性について検証することとする。

本論文では高断熱・高気密住宅をおおよそ以下のよう
に定義づけることとする。

- 1) その地域における従来までの断熱水準(新省エネルギー基準が一つの目安)を上まわる断熱性能を備えている。
- 2) 気密性能として床面積当たりの隙間の相当開口面積が5 cm²/m²以下であること。
- 3) 全室暖房が可能なこと。
- 4) 居室が機械換気できること。

なお、次世代省エネルギー基準の策定に関わる財団法人住宅・建築省エネルギー機構における検討委員会^{註3)}では、高断熱・高気密住宅の定義について議論しているが、その定義^{文2)}によれば、上の3)と4)は同じであるが、断熱水準は次世代省エネルギー基準以上の性能であること、気密性は2 cm²/m²以下であることとしている。

2. 高断熱・高気密住宅の理念

2.1 断熱気密化の必要性

(1) 省エネルギー

暖房環境における断熱・気密化の意義を述べると、まず、第1は、断熱・気密化を進めることにより、室内からの熱の損失が少なくなるということである。従って、室内の温度を一定に保つということを前提にした場合には、暖房に必要な熱量は断熱・気密化によって少なくなる。

しかしながら、現実には、断熱・気密化が直ちに省エネルギーにつながるとはいえない。北海道の新しい住宅を除くと、ほとんどの住宅においては居間や食堂などの一部を暖房しているのに過ぎないので、もともと暖房用のエネルギー消費量は少ないということになる。従って、このような状況を考えれば、住宅を断熱・気密化して全室を快適な温度にしようするときには、多くの場合、エネルギー消費量は増加してくることになる。

ここで、断熱・気密化によってどのようにエネルギー消費量が変化するかについて、計算結果を引用^{文3)}して説明する。図2-1は、東京における平均的な戸建住宅を対象として、暖房、給湯、厨房などに使われるエネル

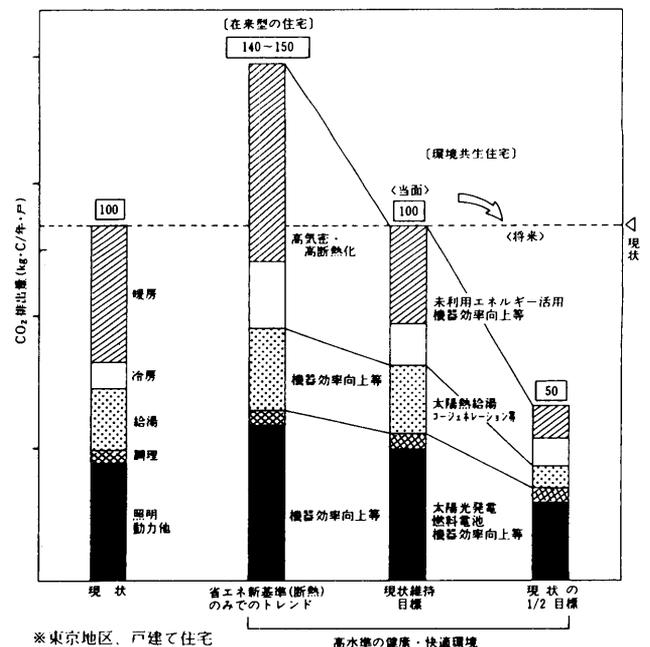


図2-1 環境共生住宅における二酸化炭素削減イメージ^{文3)}

ギー消費量を二酸化炭素の発生量に置き換え、住宅の性能や導入する設備に対応させて検討したものである。

これによると現状の二酸化炭素の発生量の合計を1とした場合、新しい省エネルギー基準を満たす住宅性能で、しかも住宅全体を快適な温度に保つように暖房した場合には、約1.5倍の発生量となってしまう。さらに、断熱性能を向上させると、ようやく現状の発生量と変わらない状態となる。このレベルが現在、建設省が推進している環境共生住宅^(注4)の第1の目標レベルである。そして、さらに、太陽熱などの自然のエネルギーを利用して給湯や発電を行うと、現状の発生量を約半分にすることができると予測しており、これが環境共生住宅の将来の目標レベルである。

高断熱・高気密住宅におけるエネルギー消費量の実態に関しては4章で詳細に検討し、省エネルギー性について議論する。

(2) 快適性の向上

断熱・気密化の2番目の意義は、快適性の向上ということである。壁に断熱材が施されると、室内に面する壁の表面の温度は上昇し、室温に近づく。そうすると冷放射が小さくなり、快適性が向上する。ここで放射について簡単に説明する。放射はすべての物体から放出されている。太陽から地球に伝わるエネルギーは放射の典型的な例であるが、人の表面からも放出され、人体から熱が逃げていく。お互いに放射の熱を放出しあって、結果的に温度の高い表面から温度の低い表面へと熱が移動していく。断熱性能の向上によって、床、壁、天井の表面温度が高まれば、人体からの放射による熱の逃げ方が少なくなり快適性が増すということになる。特に、窓を2重、3重にすると、この効果は大きくなる。一方、気密化により隙間が少なくなれば、いわゆるコールドドラフトという隙間風も減少し、暖房を行ったときに頭の方だけ暖かく足元が寒いというような状況は解消される。

以上のように、断熱・気密化を進めて行くと、放射環境の向上と温度分布の改善という2重の効果によって快適性が向上する。この点に関しては、実測データを基にして3章で議論することとする。

(3) 結露防止

断熱・気密化の3番目の意義は、壁表面での結露が発生しにくくなるということである。結露は温度の低いガラス表面などにおいて、室内の空気中に含まれる湿気が凝縮して水滴となり、表面に付着する現象である。断熱材がない場合、あるいは不十分な場合には壁表面においても発生しやすくなる。結露が生じるとカビの発生につながり、その結果、建物が傷んでくるということになるので、壁面の結露は防止しなければならない。断熱材を十分に施せば、表面温度が室内温度に近づくので、結露も発生しにくくなる。

2.2 断熱・気密化における室内環境問題に対する考え方

断熱・気密化を否定する人の主張するところは、おおよそ次のようなことだと思われる。断熱・気密化を押し進めていくと、①外の環境に対して閉鎖的になり、自然との触れ合いが少なくなる、②内部結露、すなわち壁の中での結露が生じやすくなると同時に木材が外気と接触しないので、家が腐りやすくなる、③外気が入りにくくなるので室内の空気が汚れる、④暖かい快適な住宅は体の抵抗力を弱め健康によくない、というようなことである。これらの批判に対しては、どのように考えればよいであろうか。

第1の自然との触れ合いに関しては、確かに窓を閉じたときには閉鎖的になって外の環境の影響は少なくなる。しかし、外の環境とのつながりが欲しいときは窓を適度に開放すればよく、通風が十分得られるように窓の配置を考えて設計しておけば問題はないので、閉鎖的であるという主張は当たらないと考える。断熱気密化した上で大きな開口部を設けて夏の通風を十分配慮した和風の住宅も建設^(注5)されている。ただし、常に開放的なことが日本の伝統であるとして、それをよしとする考えならば、反論はできない。

第2は断熱すると内部で結露しやすくなるということであるが、この点に関しては壁の中に湿気が侵入しないように防湿層をしっかりと施すことにより防止することが可能である。また、何らかの理由で湿気が溜まった場合には、外部に放散されるように断熱材の外側に通気層と呼ぶ外部につながる空気の層を設けることによって、湿気の除去が可能となる。これは同時に木材が外気に触れる機会を作ることになるので、木材の腐朽も避けられよう。

第3の室内の空気の汚れについては、外気の侵入が少なくなるので、確かに可能性が高くなるであろう。従って、気密住宅では、設計段階で換気計画を綿密に行い、適切な換気設備を設けることが第1に必要であり、生活面では日常的に換気運転を心がけること、水蒸気や燃焼ガスが室内で発生しないタイプのストーブを使用することなどが必要である。暖房時に暖まった室内の空気を外に捨ててしまうことによるエネルギーの浪費に対しては、熱交換換気扇の利用によって避けることができる。住宅の気密化と換気は常にセットで考えることが大切である。

4番目は健康への影響に関してである。欧米先進国の住宅や北海道の新築住宅の多くは、全室が暖房されているが、そのことによって健康への影響がみられるという報告は聞いたことがない。逆に、全室暖房の住宅に移った結果、それまでの1室暖房の住宅では部屋に閉じ籠もりがちであったが、全室がある温度に維持されることにより、家の中での行動が活発になり、外出の頻度も高くなったという話はよく聞くところである。断熱・気密化

によって得られる快適な環境は、何よりも高齢者にとっては好ましいといえよう。東北地方では脳卒中の死亡率が他の地方より高いが、その原因の一つは暖房時における室内の環境であることを筆者等は調査結果に基づいて指摘^(文4),文5)した。すなわち、室内において、暖房している部屋と暖房していない部屋の温度差が大きいと、暖房室から非暖房室へ移動した際には生理的なストレスが生じ、そのことが脳卒中の発症につながるということである。高断熱・高気密住宅における健康性に関しては、次章で改めて検討する。

3. 高断熱・高気密住宅における居住性と健康性の実態

本章では既往の調査資料をもとにして高断熱・高気密住宅における居住性と健康性の実態を明らかにする。

3.1 暖房時の熱環境

(1) 従来の住宅における熱環境の特徴

従来の住宅に比べて、高断熱・高気密住宅の暖房時の室内環境はどのような差があるのであろうか。ただし、従来の住宅といっても極めて幅があり、地域によっても異なるし、同じ地域でも断熱の状況や住まい方は大幅に異なる。そこで、本論文では暖房形態として、居間、あるいは居間と食堂など住宅全体ではなくその一部を暖房しており、しかも一日中ではなく、間欠的に暖房している住宅を呼ぶこととする。そのような従来型の住宅における温熱環境の一例^(文6)を次に示す。平面図は図3-1の通りである。

この住宅は1984年に仙台市に建設されたものであり、壁、床、天井にそれぞれ厚さ5、5、7.5cmのグラスウ

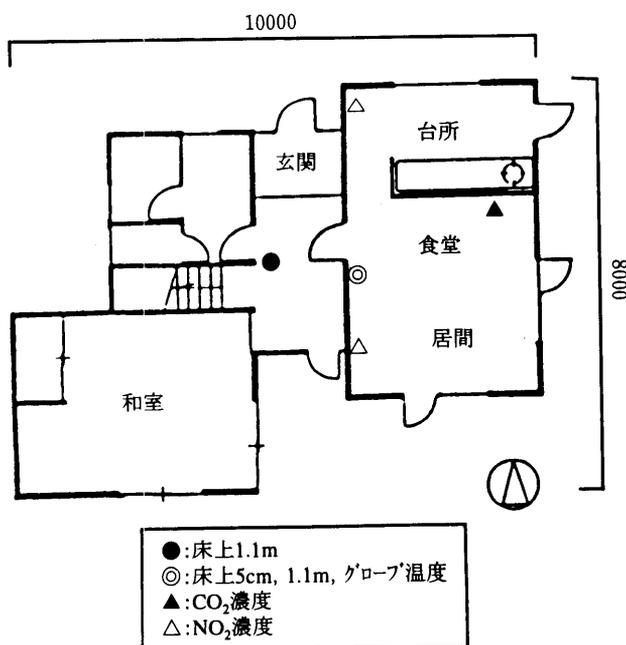


図3-1 従来型住宅の平面図

ールが施され、窓には樹脂サッシで複層ガラスが入れている。気密性は床面積当たりの隙間の相当開口面積で表すと4.2cm²/m²である。また、暖房はFF式の石油ストーブが居間兼食堂に設置されている。測定時期は1985年1月である。暖房時の室温を図3-2に示す。

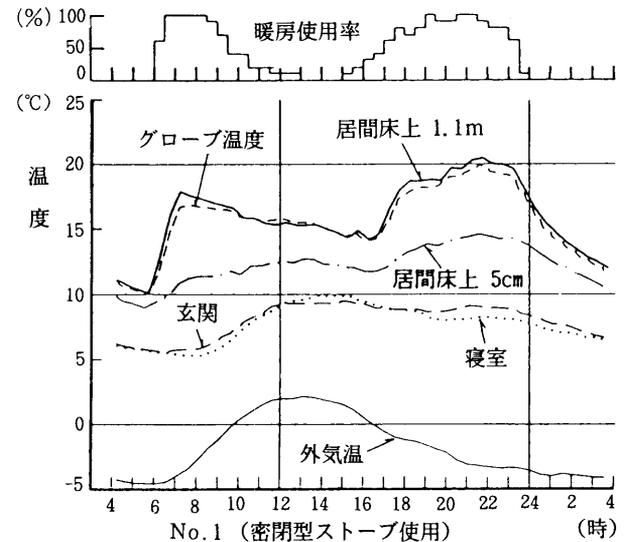


図3-2 従来型住宅における室内温度変化

グラフは約1週間の測定データを各時刻毎に平均して示したものである。図より以下のことが指摘できる。

- 1) 居間の温度は暖房使用率の変化とともに上下する。
- 2) 床上1.1mの温度は団らん時には20℃になるが、暖房停止後は急激に下降し、明け方には10℃となる。
- 3) 床上5cmの温度は最高で15℃であり、1.1mの温度との差は6℃と大きい。
- 4) グローブ温度は乾球温度よりも暖房時で最大約1℃低い。
- 5) 玄関、寝室の温度は変化が少なく、5～10℃の範囲にあり、暖房室との温度差が最大で11℃に達する。

以上のような特徴は、従来の住宅では多かれ少なかれみることができる。

(2) 高断熱・高気密住宅における熱環境の特徴

一方、高断熱・高気密住宅における室内温度の測定例^(文7)を次に紹介する。住宅の平面図は図3-3の通りである。この住宅は、カナダR2000住宅^(注6)の仕様に準じて1988年8月に仙台市内に建設されたものである。外壁の断熱にはグラスウール14cm+ポリスチレンフォーム5cm、床にはポリスチレンフォーム20cm、天井にはグラスウール40cmが施され、窓は樹脂製のサッシで3枚の複層ガラスがはめ込まれている。熱損失係数は0.8kcal/m²h℃と極めて小さく、次世代省エネルギー基準^(文2)のI地域の値である1.38kcal/m²h℃を、さらに、下回っている。換気設備としては、顕熱交換型換気システムが施され、全室が常時換気されている。暖房設備は

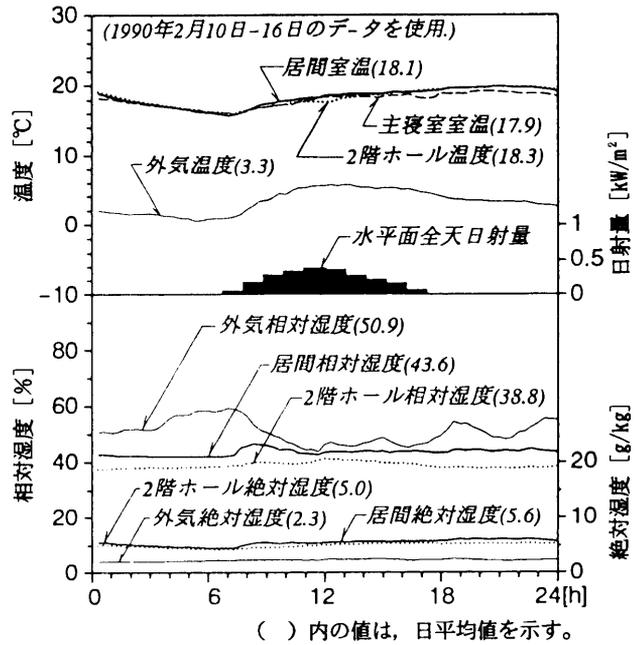
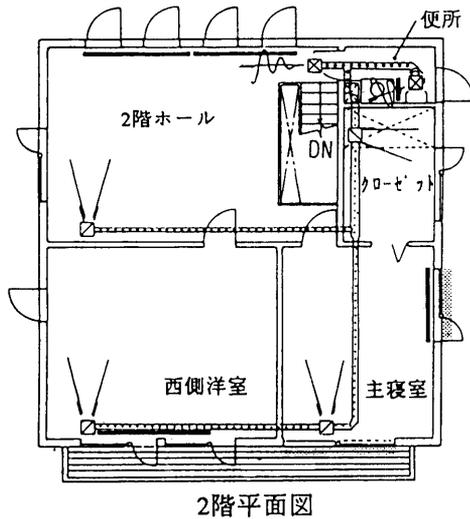


図3-4 カナダ R2000型住宅における温湿度変化

おり、1.1m の位置の温度とほとんど変わらず、上下方向の温度差はみられない。

(3) 各種の住宅における熱環境の比較

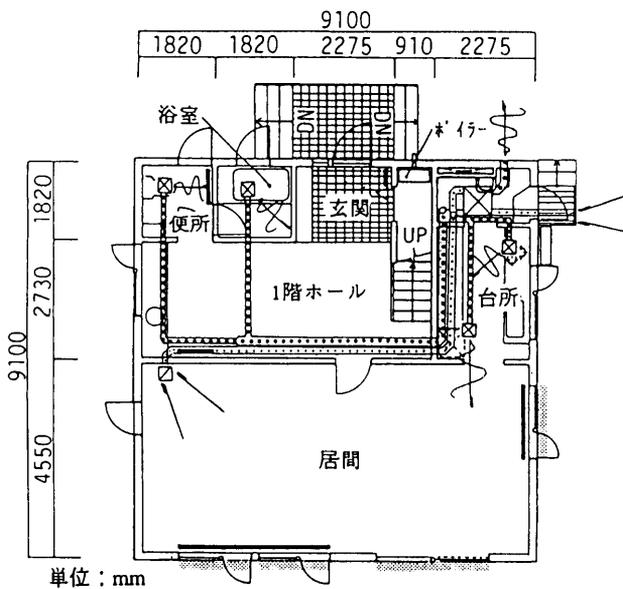
R2000仕様の住宅は高断熱・高气密住宅の極端な例ともいえるので、同様の測定方法で調べた各種の住宅合計157件における熱環境について、特に①居間の上下温度差、②居間と廊下または便所との温度の差、に関して比較した結果を示す。

図3-5は上下温度差を室内外温度差との関係で示したものである。

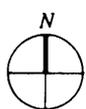
図中の r を上下温度差係数と呼ぶこととし、上下温度差 (床上5cm と1.1m の温度の差) と室内外温度差の比として定義する。 r の値が小さいほど室内の温熱環境が快適であるといえる。住宅はAからHまでのグループに分けて示されているが、図では大きく2つに分類される。すなわちグループAからD並びにGがその1つであるが、これらのグループにおける r は0.25~0.5の範囲でばらついている。なかには上下温度差が14℃にも及ぶ住宅も見られる。また、グループDは比較的断熱性能がよい方であり、 r は比較的小さい。先に示した図-2の住宅はこのなかの1つである。他のグループE, F, Hは新しい高断熱・高气密住宅であり、 r は小さいことがわかる。グループEは床暖房が施された住宅であり、特に r が小さい。

次に居間と廊下、または、便所との温度の差について図3-6に示す。

図中の r は温度降下率と呼び、廊下あるいは便所の温度 (外気温からの差) と居間温度 (外気温との差) の比として表す。この値が1に近いほど両室の温度差が小さ



1階平面図



- : 温水パネルヒーター
- ▨ : 断熱シャッター
- — — : 換気システム給気側ダクト
- ▤ : 換気システム排気側ダクト

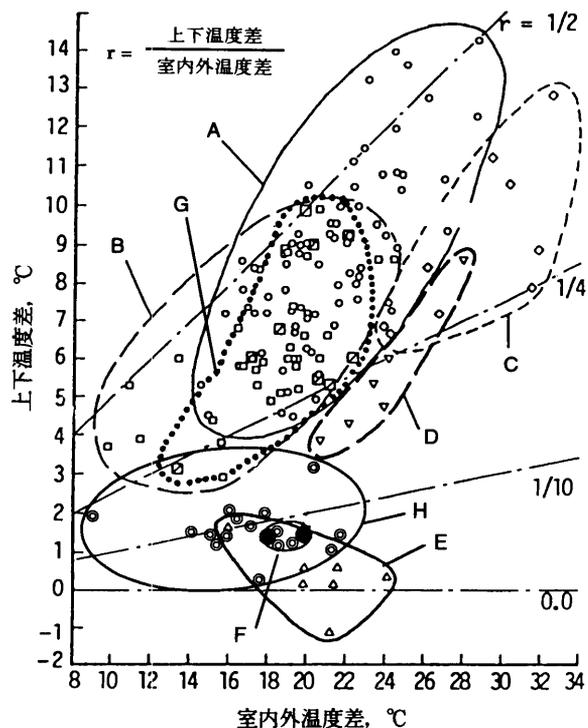
図3-3 カナダ R2000型住宅の平面図

灯油を熱源とした温水パネルヒーティングシステムであり、各室に放熱器が設置されている。

室温の測定結果を図3-4に示す。

図から明らかなように、従来の住宅とは室温の状況が全く異なっており、以下のような特徴が現れている。

- 1) 室間の温度差が全くない。
- 2) 夜中の0時頃に暖房を停止するが温度の降下はわずかであり、明け方の最低温度は16℃位で高く維持されている。
- 3) 床上5cmの温度は図には示していないが測定して



- A : 東北地方主要 8 都市の公社分譲住宅 (78 戸, 1968 年～1979 年建設)
- B : 山形県の農村部の住宅 (30 戸, 1978 年以前建設)
- C : 岩手県沢内村の住宅 (9 戸, 1 戸を除いて 1970 年～1981 年建設)
- D : 仙台市近郊で断熱気密性能の比較的高いストーブ暖房の住宅 (6 戸, 1982～1984 年建設)
- E : 仙台市近郊で断熱気密性能の比較的高い床暖房の住宅 (6 戸, 1982～1984 年建設)
- F : カナダ R2000 仕様の住宅 (2 戸, 1988 年建設)
- G : 仙台市近郊の鉄筋コンクリートの集合住宅 (9 戸, 1989～1992 年建設)
- H : 仙台市及び盛岡市の断熱気密住宅 (16 戸 < 1989～1992 年建設)

図3-5 各種住宅における上下温度差と室内外温度差の関係

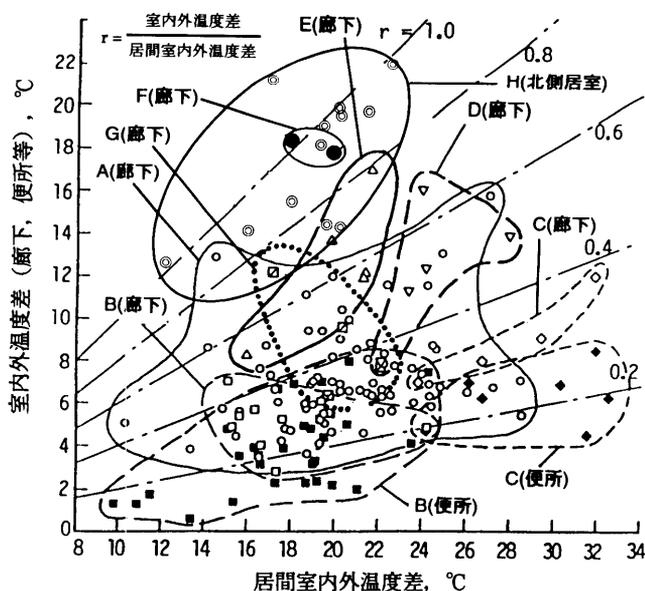


図3-6 各種住宅における居間温度と廊下、便所の温度との関係

いことを示し、住宅の中で温度の低い場所がないことを意味する。図によれば、住宅によって大きくばらついており、例えば農村部の住宅であるグループBやCの中には寝室温度が外気温度とほとんど変わらないほど低いものも見られる。これらの住宅では、暖房している居間との温度差が20℃にも達することになり、2章で述べたように居間から寝室や便所に移動した際に、生理的なストレスが生じて血圧が上昇し、脳卒中の発症につながるおそれがある。この点については、文献4), 5)を参照していただきたい。

一方、高断熱・高気密住宅のrは0.7～1.2の範囲に入り、居間と廊下、または、便所との温度差は小さく、快適性、健康性の上で、より好ましい環境にあるといえる。

3.2 気密化と室内空気環境

住宅の気密化に伴う問題点の1つとして、室内空気汚染があげられる。これは気密化による自然換気量の低下が大きな原因の1つである。住宅を気密化する場合には適切な換気設備を設ける必要があることはいうまでもないが、気密な住宅における空気環境はどのようになっているのであろうか。

先に室内温度のデータを示したグループD, E, Fの住宅では、建物の気密性能の測定と同時に室内のCO₂, NO₂ (D, Eグループのみ)の測定も行っている。測定結果を図3-7^{x7)}, 図3-8^{x6)}に示す。

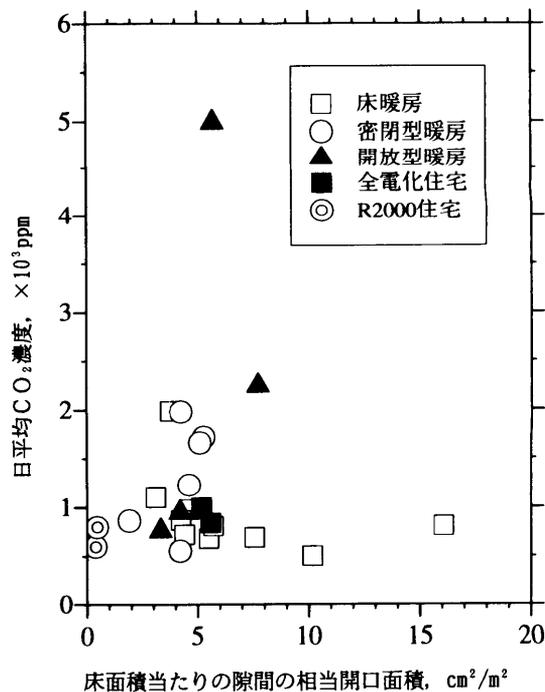


図3-7 気密性能と室内CO₂濃度との関係

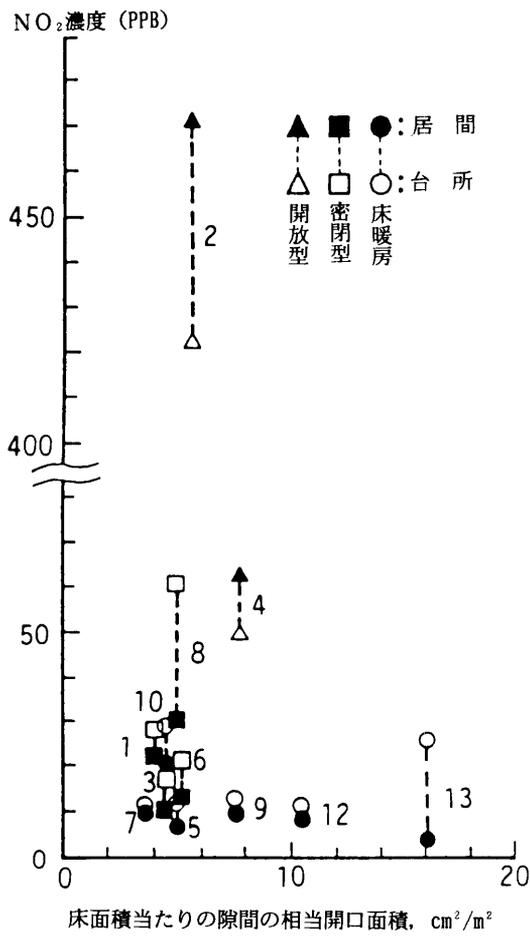


図3-8 気密性能と室内 NO₂ 濃度との関係

横軸は、床面積当たりの隙間の相当開口面積、縦軸は測定期間（ある1日）の平均値である。この図より、以下のことが指摘できる。

- 1) 開放型燃焼器具を使用している住宅 (No.2とNo.4) の CO₂, NO₂ の濃度は他の住宅に比較して高い。特に住宅 No.2 は、著しく高い。
- 2) 気密な住宅の中には、CO₂, NO₂ 濃度の高い住宅もみられる。CO₂ 濃度は最高は2,000ppmに達している。これらの住宅では換気が不十分であることが推察される。
- 3) セントラル換気システムを備え24時間運転している R2000住宅2戸(それぞれ換気回数0.3回/h, 0.4回/h) の CO₂ 濃度は700ppm 前後となっている。

以上のことから、暖房用に開放型燃焼器具を使用せず、換気計画が適切に行われ常時運転されていれば CO₂, NO₂ は低濃度に押さえられるということがいえるが、どの程度の換気量を確保すればよいか、また、他の汚染物質についてはどうかなどは、さらに、検討する必要がある。

3.3 居住者の健康変化

3.1で示したように高断熱・高気密住宅における暖房時の環境は、温熱的な面では良好であり、室間の温度差に

よる生理的なストレスは押さえられ、その意味で健康的であるといえよう。しかしながら、一方では、「乾燥している」、「アトピー性皮膚炎になった」などの健康上の障害を訴える人もいるようであり、別の健康問題が指摘されている。筆者らは高断熱・高気密住宅を対象として室内環境や住まい方など各種の項目について1994年にアンケート調査を行う機会を得たが、そのときに健康上の変化とその内容についても調査した。以下にその結果^{文8)}について紹介する。対象とした住宅は、入居後1年以上経過しており、断熱気密化され全室暖房及び居室の機械換気が可能な住宅である。地域は東北地方を中心としているが北海道その他の地域も含まれる。有効回答数は294(回収率46%)である。以下、本論でアンケート調査という場合には、断りのない限りこの一連の調査^{注7)}のことを指す。

高断熱・高気密住宅に移って住まい方にどのような変化があったかに対する回答率を図3-9に示す。

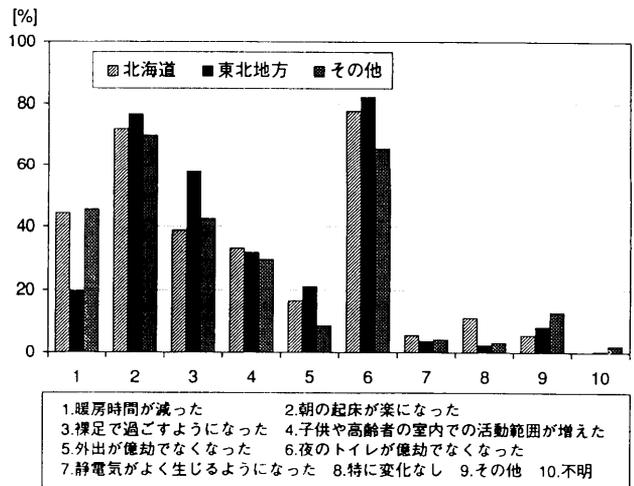


図3-9 高断熱・高気密住宅に移った後の住まい方の変化

図によれば、「朝の起床が楽になった」、「夜のトイレが億劫でなくなった」と答えている居住者が多いことがわかる。また、「裸足で過ごすようになった」、「子供や高齢者の室内での活動範囲が増えた」という指摘もみられる。これらは、いうまでもなく温熱環境の向上を示すものである。

次に、高断熱・高気密住宅に移った後に、何か健康上の変化があったかという問いに対しては、55%の住戸で変化があったと答えている。その内訳はよい変化が40%、悪い変化が15%である。良い変化の内容について自由記述による回答を整理すると図3-10のようになる。

即ち、「風邪をひかなくなった」の指摘率が最も高く50%である。次いで、サンプル数の多い東北地方では「神経痛、腰痛、肩凝りがなくなった」や、わずかであるが、「アレルギー性鼻炎がなくなった」、「アトピーの症

状が軽くなった」の指摘がみられる。

一方、悪い変化についてまとめると図3-11のようになる。

「乾燥肌になった」と「喉の具合が悪くなった」との指摘がそれぞれ35%前後みられる。また、「皮膚炎が悪化した」やその他の中で「風邪をひきやすくなった」などの指摘がみられた。このような健康上の悪い変化は室内の乾燥と関係があるものと推察される。

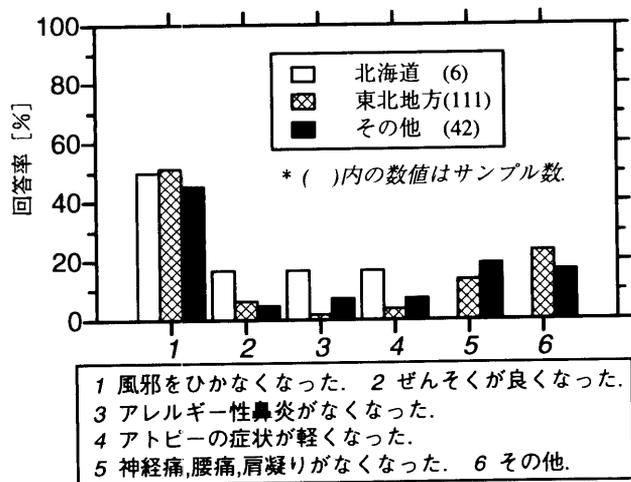


図3-10 良い変化の内容

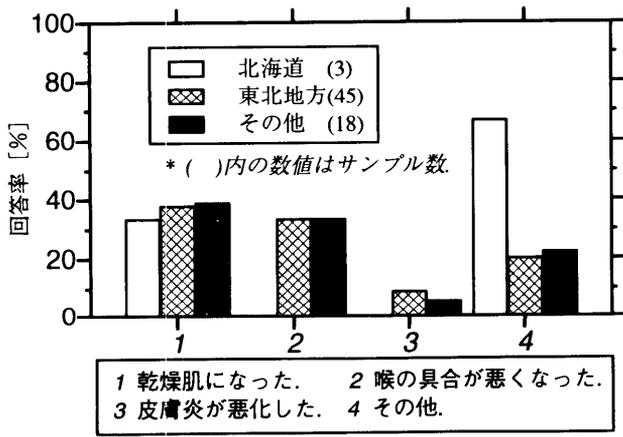


図3-11 悪い変化の内容

3.4 乾燥感とその原因

次に乾燥の問題に関する先のアンケート調査結果によれば、乾燥気味になったと答えた住宅は約50%に達した。そこで、東北地方のアンケート調査対象住宅の中から60件を選んで、さらに、温度と湿度の測定と乾燥感に関するアンケート調査^{※9)}を行った。その際、室内空気の乾燥を感じている住宅と、特に感じていない住宅を半々ずつ選んだ。測定は1996年2月から3月に実施している。

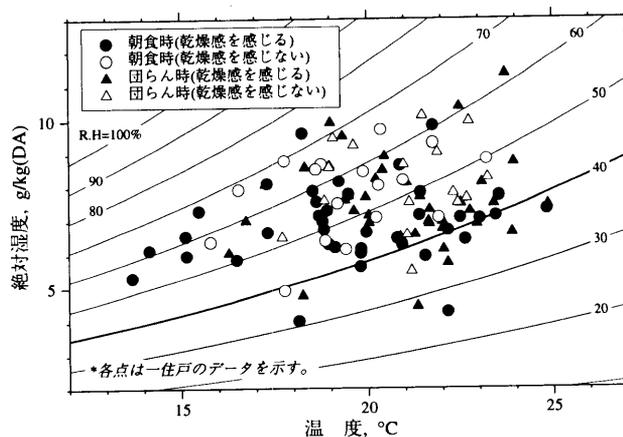


図3-12 高断熱・高气密住宅における室内温湿度

5日間の平均の室内温度と湿度の関係は図3-12のようになる。

図中の黒の印は「乾燥すると感じている」と答えた住宅を示している。図によれば、乾燥すると答えた住宅の相対湿度は必ずしも低くはなく、また、高い相対湿度の住宅でも乾燥すると答えていることがわかる。次に、乾燥感について7段階の尺度で主婦に答えてもらっているが、その答えと温度または湿度との関係をそれぞれ、図3-13、図3-14に示す。

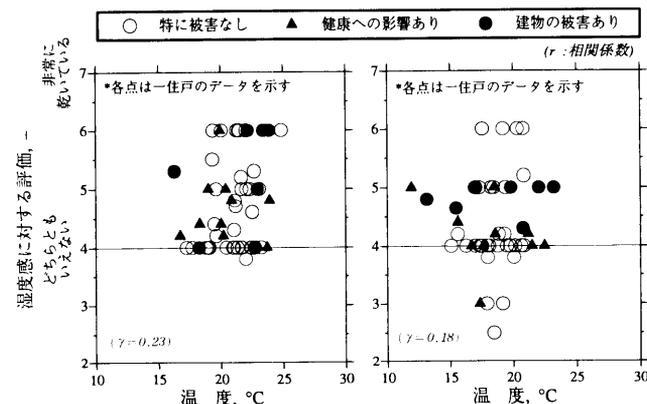


図3-13 室内温度と湿度感との関係

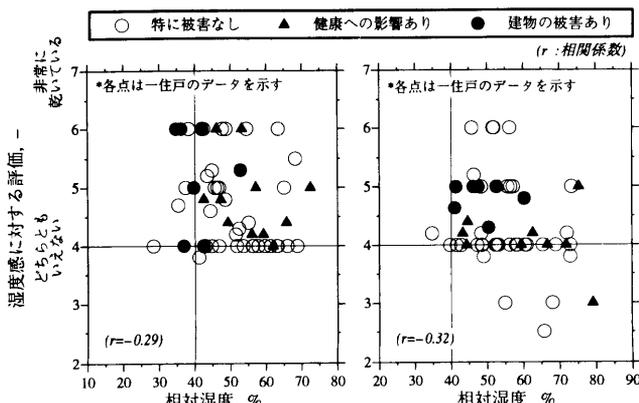


図3-14 相対湿度と湿度感との関係

この図によれば、次のことが指摘できる。

- 1) 室内温度と湿度感の関係では、温度が高くなると乾燥感が強くなる傾向がみられる。
- 2) 相対湿度と湿度感との関係では、北側の寝室では負の相関がみられるが、居間の場合にはほとんど相関がみられない。高い湿度の環境にあっても乾燥感を感じている住宅がかなりみられる。
- 3) 乾燥すると答えた住宅で、そのことが問題であると感じている住宅は24件、そのなかで家族の健康に影響を受けているからと答えた住宅は15件であるが、それらの住宅の居間における相対湿度は40～70%にばらついている。
- 4) 建物の被害を受けているからと答えた住宅は7件であるが、それらの住宅の居間における相対湿度は40%前後であり、この場合には納得できる結果となっている。

最近、乾燥感は相対湿度のみならず空気汚染物質であるホルムアルデヒドや揮発性有機化合物 (VOC) などとの関係が指摘^{(10),(11)} されている。先のアンケート調査の分析⁽⁹⁾ でも、空気の汚れがあると答えた住宅ほど乾燥気味になったと答えていることが明らかとなっており、この問題は今後の重要な研究課題であるといえよう。

3.5 夏の暑さ

(1) アンケート調査の結果

高断熱・高気密住宅の問題点の1つとしてよくあげられることは、夏の暑さに関するものである。近年高断熱・高気密住宅が本州を南下して普及しつつあり、夏の暑さが厳しい地域ではこの問題に対して神経質となっており、高断熱・高気密住宅を受け入れない理由の1つとなっている。

冷房設備の使用状況や夏期の住まい方の変化についてのアンケート調査結果を図3-15に示す。

図によれば冷房設備の保有率は東北地方では30～65%で南の地方ほど少なくなっている。北海道と東北を除く地域では80%の住宅で冷房設備を保有しているが、常に用いる住宅は少なく、時々用いているようである。冷房を使用しない理由としては、窓の開放で十分という回答がほとんどであるが、日射遮蔽による効果、扇風機等の使用をあげている住宅もみられる。住まい方の変化では、冷房が不必要になったことをあげている住宅が最も多く、「通風確保に気を使う」、「日射遮蔽に気を使う」などもあげている。

また、夏期における問題点に関する自由記述の回答の中で暑さをあげた住宅は20%であった。しかし、調査し

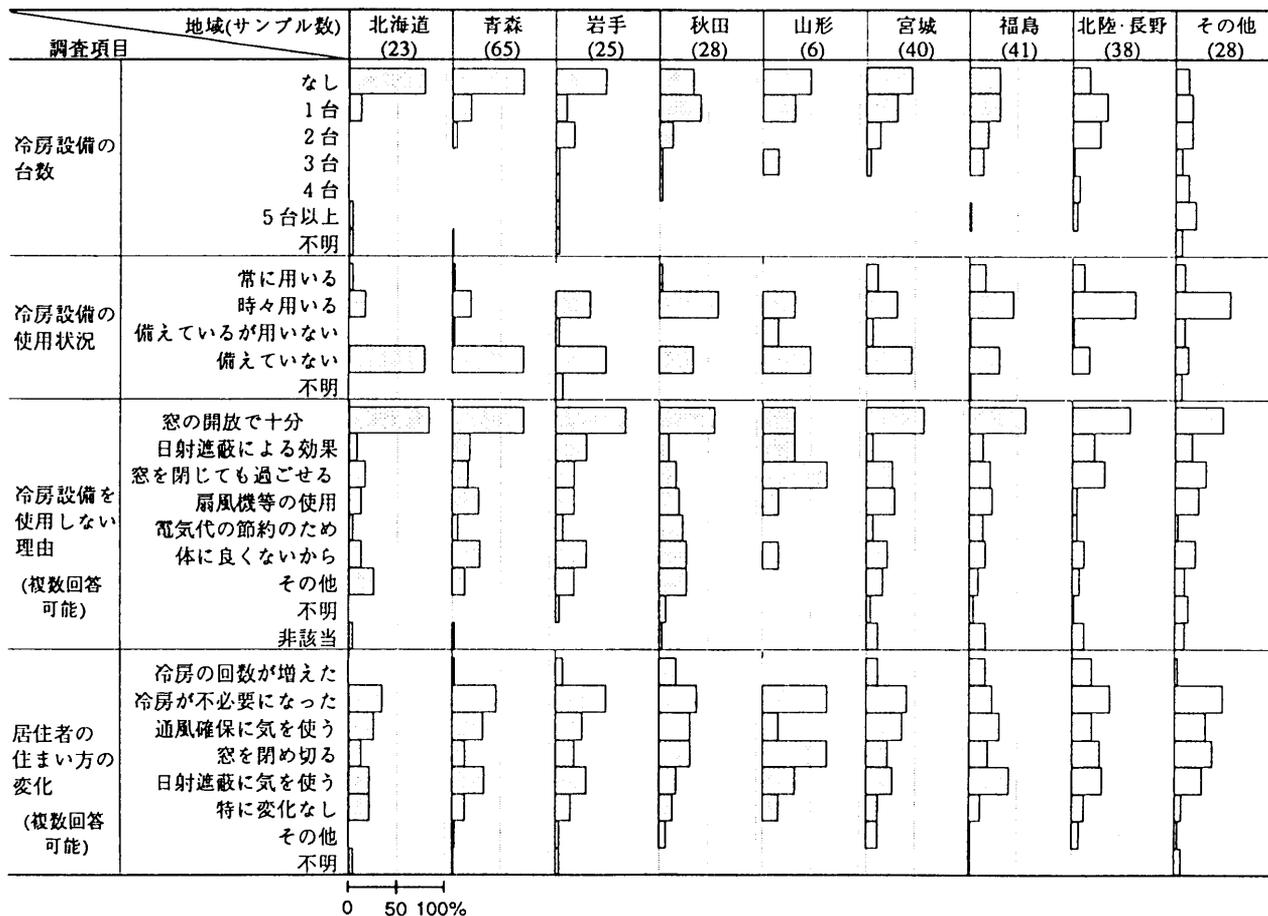


図3-15 冷房の使用状況と夏期の住まい方の変化に関する調査結果

た年(1993年)は冷夏であった^{注8)}ため、翌々年(1995年)調査内容を若干変えて再調査した。図3-16は暑さに対する回答結果であるが、「とても暑い」と答えた住宅は8.4%、「暑い」と答えた住宅は28.9%であった。

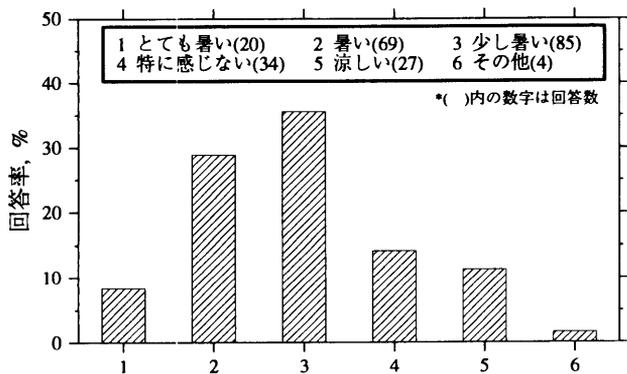


図3-16 夏の暑さに対する回答

(2) 夏期の室内温湿度の測定結果

アンケート調査を行った住宅の中から盛岡市の住宅を対象として夏期における室内環境の実測をおこなった。その結果を図3-17に示す。

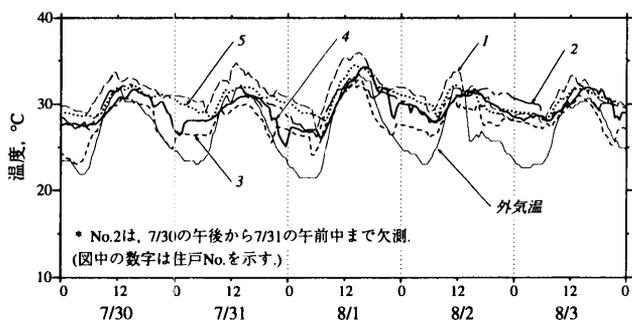


図3-17 盛岡市内の高断熱・高気密住宅5戸における夏期の室温変化

調査した年(1994年)の8月の気温は平年より2~3℃高く、測定期間の外気温は27.0℃であった。図によれば、室温は一日中外気温よりも高い住宅が多く、夜間でも室温は低下しない。

夏期のアンケート調査では、暑さをしのぐための住まい方として、カーテンなどによる日射遮蔽や、朝方に窓を開放し冷気を室内にとり入れ、日中窓を閉め切るといった回答がみられた。また、日射遮蔽については、対象住宅のすべての居住者が積極的に行っている。No.3の住宅では日中の室温は外気温よりも2~3℃低くなっており、窓の開閉により暑さをしのいでいる様子を読みとれる。外気温は明け方には21~24℃まで低下しており、冷気をうまく室内に取り入れれば、日中の室温上昇は抑えられる可能性がある。

鎌田らは、東北地方、関東地方の高断熱・高気密住宅

の夏期の室内温度の測定^{文12)}を数多く行っており、日射遮蔽の効果がよく現れている例として、図3-18に示すような盛岡の住宅における室内温度の結果を報告している。図によれば日中は室内温度が外気温よりも2℃程度低くなっていることがわかる。

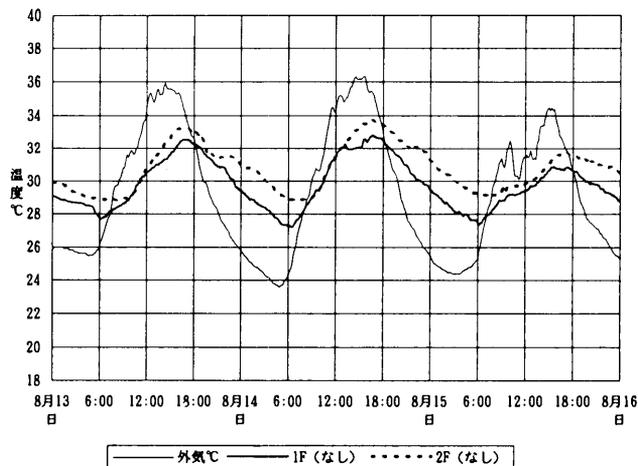


図3-18 日射遮蔽が効果的に行われた高断熱・高気密住宅における夏期の室温変化(盛岡市内)^{文12)}

以上のように、日射遮蔽と夜間換気を効果的に行えば、高断熱・高気密住宅においては夏期の室温上昇が押さえられるものと推察される。

4. 高断熱・高気密住宅の省エネルギー性

4.1 住宅におけるエネルギー消費の動向

(1) 我が国の住宅エネルギー消費量

高断熱・高気密住宅におけるエネルギー消費量について述べる前に、一般的な住宅のエネルギー消費の動向についてみてみることにする。我が国の住宅における1戸当たりのエネルギー消費量の推移は図4-1の通りである。

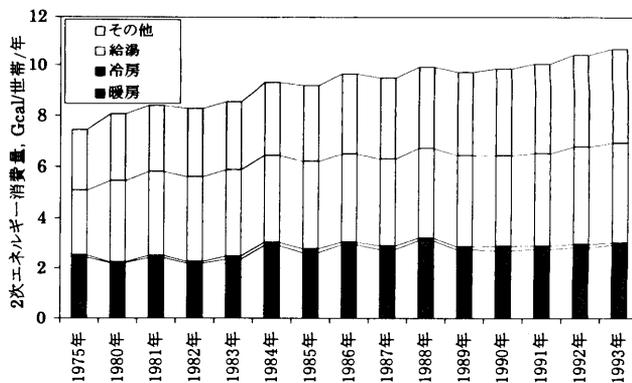


図4-1 家庭用途別エネルギー消費量の推移^{文13)}

これは、家計調査年報の光熱費をもとに算出されたもの^{文13)}であるが、住宅用エネルギー消費量は年々増加の傾向にあり、特に最近では暖冷房よりもむしろ給湯、その他用の増加が大きいことがわかる。1984年から1993年ま

での10年間の増加率は、暖房用が2.0%、給湯用が16.0%、その他用が29.5%である。

(2) 欧米諸国との比較

次に、欧米諸国との比較で1973年と1988年における1戸当たりのエネルギー消費量をみると、図4-2^(注9)のようになる。

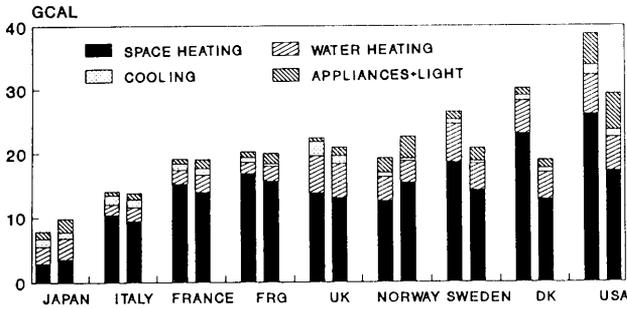


図4-2 欧米諸国のエネルギー消費量(1973年,1988年)^{注8)}

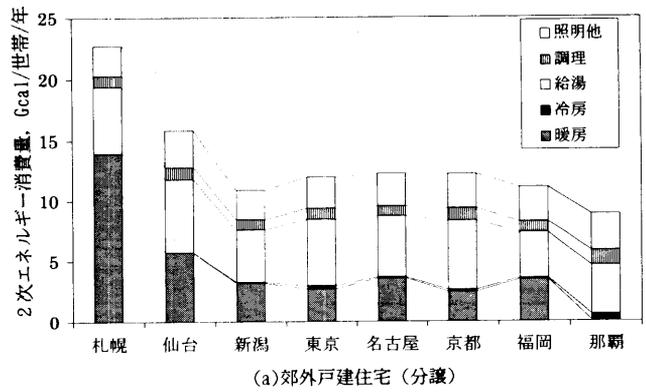
図によれば、まず第1に我が国における住宅用エネルギー消費量は欧米諸国と比べてはるかに少ないことが明白であるが、それと同時に暖房用エネルギーが全体の2~3割程度であるのに対して、欧米諸国では6~8割を占めていることがわかる。この違いは、我が国の住宅では北海道を除くと暖房の使い方が間欠的かつ部分的であるのに対して、欧米では連続的に全室を暖房しており、この両者の暖房形態の差異によるものである。

第2に欧米諸国ではノルウェーを除けば、暖房用エネルギー消費量が15年間でかなり減少しており、特に、アメリカとデンマークでは2/3と少なくなっている。これは石油危機以降、各国で省エネルギーのための断熱気密化が推進されており、その効果が現れたものと推察される。エネルギー消費の観点からいえば、我が国の場合には消費量の少ない現状をできる限り維持させて、快適な環境を実現することが望ましいといえる。

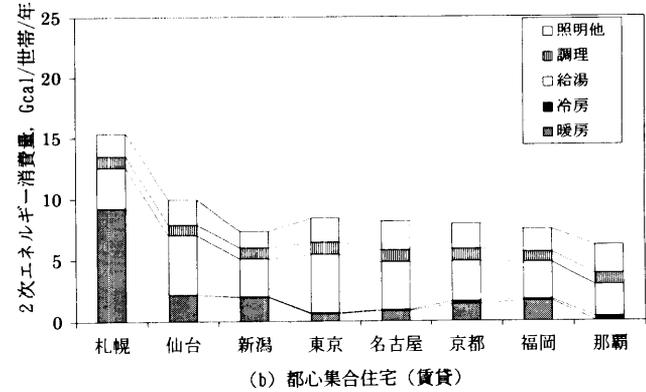
(3) 地域性とエネルギー消費

地域の気候条件との関連でみた場合に、エネルギー消費量はどの程度の違いがあるであろうか。全国8都市域(札幌、仙台、新潟、東京、名古屋、京都、福岡、那覇)における戸建・集合住宅の用途別エネルギー消費量に関する調査^(注14)が、1992年度の夏期と冬期に建設省建築研究所が中心となり行われた。図4-3は、地域別の郊外戸建(分譲)と都心集合(賃貸)住宅における用途別エネルギー消費量を推計した結果である。

図によれば、各地域とも戸建住宅のエネルギー消費量の方が集合住宅と比べて、平均値、ばらつきともに大きくなっており、また、札幌、仙台と南下するに従って、少なくなっていることがわかる。用途別の構成をみても、札幌とその他の地域とは大きく異なっており、札幌では暖房用エネルギー消費量の比率が最も大きく約60



(a) 郊外戸建住宅(分譲)



(b) 都心集合住宅(賃貸)

図4-3 8都市域における住宅の用途別エネルギー消費量^(注14)

%を占めているのに対して、その他の地域では35%以下と小さく、一方給湯用エネルギー消費量が最も大きな割合を占めている。暖房用の割合は特に都心の集合住宅において小さく、集合住宅の熱性能がよいことを反映して

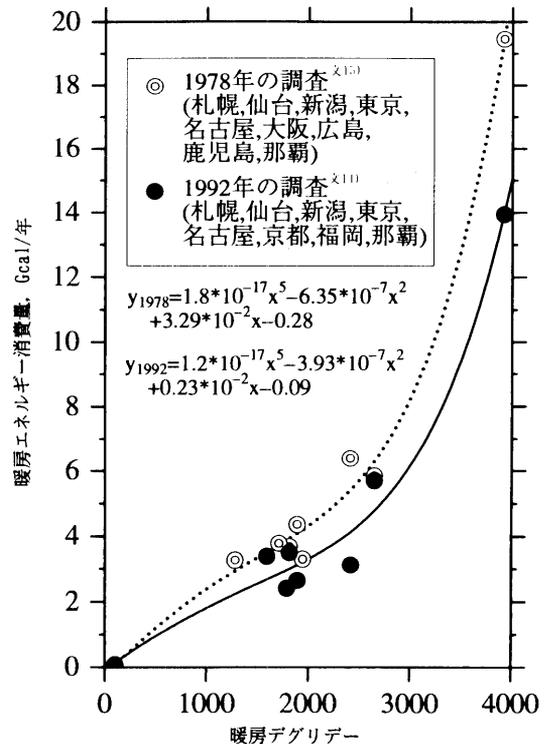


図4-4 暖房用エネルギー消費量と暖房デグリーデーの関係

いる。ここで、暖房エネルギーと地域性との関連についてみてみることにする。図4-4は、戸建住宅における暖房用エネルギー消費量と暖房デグリデーの関係である。

同図にはデータはやや古いが尾島ら^{x15)}の調査結果も示している。図によれば、当然のことながら、暖房デグリデーが大きい地域ほど暖房用エネルギーは多くなっているが、札幌だけが暖房デグリデーに対する割合が特に大きい。これは札幌地域の住宅においては、欧米先進国と同様に全室連続暖房が一般的に行われているためである。

4.2 高断熱・高気密住宅におけるエネルギー消費量

(1) 住宅全体のエネルギー消費量

3章で紹介したアンケート調査では、エネルギー消費量に関する調査^{注10)}も行っている。調査対象住宅の平均床面積は161m²であり、暖房設備としては灯油セントラル式のパネルヒーティングや灯油FF式暖房機が設けられている。表4-1に東北6県における年間エネルギー消費量の平均値と分散を示した。

表4-1 年間エネルギー消費量の平均と標準偏差

	年間エネルギー消費量の平均値, Gcal/年	床面積当たりの年間エネルギー消費量の平均値, Gcal/年・m ²
青森 (28)	22.4 [9.8]	0.158 [0.057]
岩手 (3)	18.5 [5.3]	0.118 [0.014]
秋田 (31)	21.0 [6.5]	0.133 [0.040]
宮城 (10)	16.0 [5.8]	0.102 [0.033]
山形 (3)	26.9 [10.7]	0.181 [0.047]
福島 (12)	21.0 [6.3]	0.153 [0.030]
東北全体 (87)	22.4 [8.39]	0.142 [0.047]

() 内の数字はサンプル数を, [] 内の数字は, 標準偏差を示す。

1世帯当たりの年間エネルギー消費量の平均値は22.4 Gcal/年, 床面積当たりの平均値は142Mcal/m²・年である。次に, これらの値を家計調査年報の光熱費から推定された一般の戸建住宅^{x13)}と比較すると図4-5のようになる。

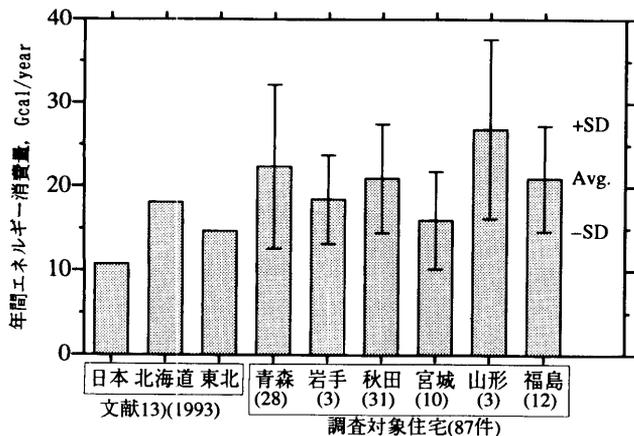


図4-5 年間エネルギー消費量の比較

厳密に比較するためには, 床面積の違いなどを考慮する必要があるが, 単純な比較では調査対象住宅の消費量は東北の平均値よりも多く, さらに, 岩手, 宮城県以外の住宅の消費量は北海道よりも多いという結果となっている。以上のことから, 今回の調査の範囲内では高断熱・高気密住宅の全エネルギー消費量は従来の住宅よりも多いということがいえる。

(2) 暖房用エネルギー消費量

アンケート調査対象のなかで暖房用に灯油のみを使用している住宅は22件と少なかったが, それらの住宅の灯油消費量を従来の住宅と比較してみると図4-6のようになる。

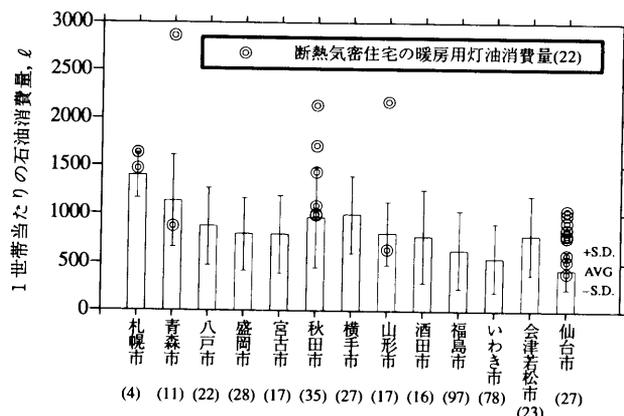


図4-6 1世帯当たりの石油消費量の比較

従来型の住宅の灯油消費量のデータは, 東北地方都市部 (12都市) と札幌, 府中の戸建住宅, 合計900戸を対象として1992年に冬期の灯油消費量を含めて暖房実態を調査して得たものである。この調査では小・中学校の児童を通してその児童の家庭を対象として行っており, 様々な戸建住宅が含まれている。これらの住宅の中から暖房用に灯油のみを使用している住宅402戸を選んで灯油消費量の平均値と分散を示している。

図によれば, ほとんどの高断熱・高気密住宅において灯油の消費量は多くなっており, サンプル数の比較的多い仙台, 秋田の住宅では1~2倍にばらついている。図4-3に示した建築研究所の調査によれば, 仙台市の戸建住宅における暖房用のエネルギー消費量の平均値は5.7 Gcalとなっており, 図4-6における仙台市の高断熱・高気密住宅における灯油消費量の平均値を熱量に換算すると6.9 Gcalとなり, 約1.2倍の増加となる。

次に, 図4-7は家計調査年報を基に算出された北海道, 東北, 日本全体の平均値^{x13)}と仙台市内に建設されたカナダのR2000仕様に準じて建設された高断熱高気密住宅 (S邸) における2年間の結果^{x7)}との用途別エネルギー消費量の比較を示したものである。図によれば, R2000住宅の室内熱環境は3.1で示したように極めて良

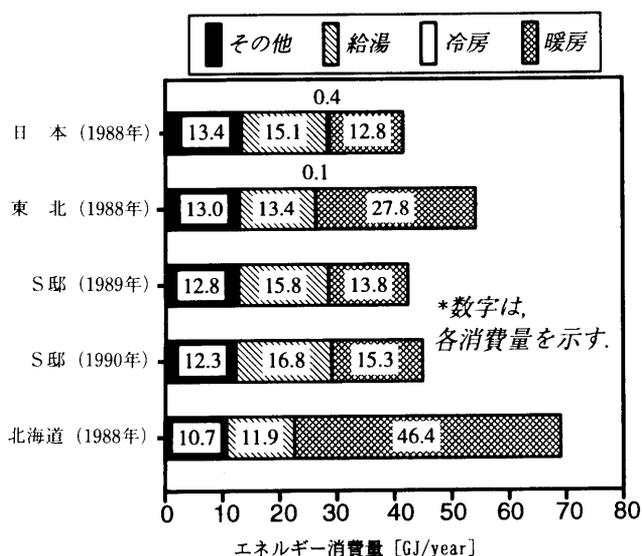


図4-7 カナダ R2000住宅における年間エネルギー消費量

好であると同時に年間エネルギー消費量は、東北全体の平均値よりも小さく、かつまた、暖房用は半分近くで済んでいることがわかる。

なお、山本^{x16)}は秋田県内の戸建住宅118軒を対象として年間の光熱費に関する調査を行っており、個室暖房住宅と全館暖房住宅（断熱気密住宅）との間で、年間の光熱費には統計的に有意な差はみられないことを示している。

4.3 省エネルギー性からみた高断熱・高気密住宅の評価

我が国における住宅用エネルギー消費量はさき示したように年々増加する傾向にあり、これは住宅規模の増大や住宅設備の高度化・大型化、居住者の快適性向上に対する要求などがその背景にあるものと推定される。ただし、暖房用に関していえばこの数年間の増加率は小さく、増加の要因は特に給湯消費量の増大によるものである。

高断熱・高気密住宅の場合には、全体のエネルギー消費量は増加することが調査結果から明らかにされた。この理由は全般的な生活の質の向上によるものであろう。また、暖房用に関しても増加の傾向がみられた。これは、従来の住宅の場合には、一部の部屋のみを暖房しているに過ぎないためであると推察される。一方、R2000住宅の例によれば暖房用のエネルギー消費量は従来の住宅に比べて少なく済んでいることが示された。しかし、従来の住宅といっても、どのような住宅でどのような生活をしているかということが問題であり、また、高断熱・高気密住宅といっても、断熱気密性能にはかなり幅があるから、厳密な意味で比較することには限界があろう。強いて表現するとすれば、同じ規模の住宅で生活水準も同様であると仮定して、部分的に暖房している旧省エネ

ルギー基準の住宅と、全室暖房の新省エネルギー基準の住宅を比較した場合には、暖房用エネルギーは増加し、R2000住宅のレベルの断熱水準となると、ほぼ同様のエネルギー消費量で済むというところであろうか。なお、住まい方を考慮した数値計算にもとづく検討は、図2-1で示したものをはじめとして、吉野ら^{x17)}、宇田川ら^{x18)}が行っており、このような傾向を補完する結果を報告している。

5. まとめ

- ①各種の調査結果によれば、高断熱・高気密住宅の冬季の温熱環境は従来の住宅に比べて、明らかに良好となることが示された。
- ②しかしながら、多くの高断熱・高気密住宅において乾燥感を訴えており、その原因は必ずしも低湿度によるものではなく、室内空気汚染物質である可能性のあることが示唆された。この問題は今後の研究課題である。
- ③また、室内空気汚染物質としてCO₂の測定結果から、機械換気が適切に行われていれば、CO₂濃度は問題のないレベルに押さえられることが示された。しかし、必要換気量や他の汚染物質に関しては今後、さらに、検討する必要がある。
- ④夏期の暑さに関しては、暑さを感じている住宅が多いことは事実であるが、適切な日射遮蔽と夜間換気を行えば、日中の暑さを押さえることが可能であるということが、実測結果より示唆された。この点は高断熱・高気密住宅が少しずつ普及している関東以南の地方において設計上大切である。
- ⑤エネルギー消費量に関しては、主として東北地方の住宅の調査結果によれば高断熱・高気密住宅では従来の住宅に比べて住宅全体ならびに暖房用エネルギーは、それぞれ増加することが示されたが、R2000住宅の水準で断熱を行えば、暖房用は増えないであろうことが明らかにされた。ただし、北海道では住宅暖房の形態は全く異なるので、この点は当てはまらない。

<注>

- 1) 「住宅に係わるエネルギーの使用の合理化に関する建築主の判断の基準」(1980年通商産業省・建設省告示第1号)
- 2) 建設省の委託により、財団法人住宅・建築省エネルギー機構に設けられた委員会「次世代省エネルギー技術基準検討委員会」(1995年1月～1996年8月委員長：藤井正一)において検討されたもので、新省エネルギー基準よりも高い性能水準を目指したもので、誘導基準として位置付けている。
- 3) 基準部会(主査：坂本雄三)にて審議。
- 4) 民間企業と行政機関などが協力して、財団法人住宅・建築省エネルギー機構に設けられた「環境共生住宅研究会」(1990年12月から1993年12月、座長：茅陽一)において提案されたもの。
- 5) 仙台市に1995年に建設された大村邸。
- 6) カナダにおいて進められている省エネルギー住宅建設のプロ

ジェクトであり、西暦2000年には現状の半分まで減少させるように、断熱気密化をはじめとする省エネ化が図られている。

- 7) 1993年より研究を開始した。アンケート調査は、1993年9月、1994年2月、1995年8月、1996年2月の4回実施した。
- 8) 8月の平均気温は盛岡を例にとると20.8℃であり、平年よりも2.4℃低かった。
- 9) Lee Shipper の分析結果による。
- 10) 1993年1月～12月の消費量。カロリー換算には次の値を用いた。電気：860kcal/kWh, 都市ガス：4,200～11,000kcal/m³ (地域ごとの標準発熱量による), LPG：12,000kcal/kg (比容積値は地域ごとの値を使用), 灯油：8,900kcal/l

<参考文献>

- 1) 住宅の新省エネルギー基準と指針, 財団法人 住宅・建築省エネルギー機構, 1992.6
- 2) 住宅の次世代省エネルギー技術基準の策定検討調査報告書, 財団法人 住宅・建築省エネルギー機構, 1996.9
- 3) 環境共生住宅宣言, 建設省住宅局住宅生産課, pp.64～70, ケイブ出版株式会社, 1992.10
- 4) 吉野 博: 脳卒中の発症と住宅条件, 公衆衛生, 第48巻第2号, pp.49～55, 日本公衆衛生学会, 1984.2
- 5) 長谷川房雄ほか5名: 脳卒中の発症と住環境との関係についての山形県郡部を対象とした調査研究, 日本公衛誌, 第32巻第4号, pp.181～193, 日本公衆衛生学会, 1985.4
- 6) 吉野 博ほか5名: 仙台市の枠組壁工法による戸建住宅における温熱・空気環境およびエネルギー消費量の実態調査, 日本建築学会論文報告集, 第375号, pp.19～28, 日本建築学会, 1987.5
- 7) 吉野 博ほか5名: カナダ R2000仕様に基づいて建設された高断熱高気密住宅の熱空気環境に関する長期測定, 日本建築学会論文報告集, 第471号, pp.19～28, 日本建築学会, 1995.5
- 8) 吉野 博ほか2名: 東北地方における高断熱高気密住宅の熱空気環境と健康性に関する調査, 第12回日本雪工学会全国大会 パネルディスカッション資料 pp.3～14, 日本雪工学会, 1996.1
- 9) 吉野 博, 長谷川兼一: 東北地方における高断熱高気密住宅の健康性と熱空気環境 その4 冬期における室内の乾燥感に関する調査研究, 第20回人間-生活環境系シンポジウム報告集, pp.198～201, 人間-生活環境系会議, 1996.12
- 10) 池田耕一: 室内空気汚染のメカニズム, 鹿島出版会, 1992.9
- 11) 岩下 剛, 赤坂 裕: カーペットから放たれる揮発性有機化合物が在室者の知覚空気質評価に及ぼす影響に関する研究, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.993～996, 空気調和・衛生工学会, 1996.9
- 12) 新在来木造工法 技術情報 第8号, 新木造住宅技術研究協議会, 1995.10
- 13) 家庭用エネルギー統計年報, 住環境計画研究所
- 14) 澤地孝男ほか9名: 用途別エネルギー消費量源単位の算出と推定式の作成 全国的調査に基づく住宅のエネルギー消費とライフスタイルに関する研究 (第1報), 日本建築学会論文報告集 第462号, pp.41～48, 日本建築学会, 1994.8
- 15) 尾島俊雄, 増田康広: 住宅におけるエネルギー消費実態調査 第5報 エネルギー消費実態にする全国調査(3), 空気調和・衛生工学会論文集 No.16, pp.1～9, 空気調和・衛生工学会, 1981.6
- 16) 山本里見: セルローズファイバー系断熱材の吸湿特性調査(1) 一般住宅でのエネルギー費用の実態調査, 秋田高専寒冷センター年報 No.9, pp.7～14, 1995
- 17) 吉野 博ほか4名: 住宅における断熱・気密性能の向上が室内熱環境と暖房負荷に及ぼす影響 - 室間相互換気を考慮した多数室伝熱計算 -, 日本建築学会東北支部研究報告集, pp.159～164, 日本建築学会東北支部, 1993.6

- 18) 佐藤 誠, 宇田川光弘: 高断熱・高気密住宅における冷暖房負荷要素による検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.169～170, 日本建築学会, 1995.8