

新潟県の戸建て住宅を対象とした居住環境評価に関する研究

F99G550A 高橋 勝幸
指導教官 赤林 伸一助教授

1 研究目的

近年、住宅のエネルギー消費量を削減し、快適な住生活や室内環境を形成することが可能であると考えられる、高気密・高断熱住宅が普及しており、新潟県も例外ではない。しかしながら高気密・高断熱住宅では、夏季の熱環境や冬季の室内空気汚染などの問題が生じる可能性が高く、冷暖房や換気設備、居住者の住まい方などの整合性が悪い場合に特に問題が生じやすいと考えられる。また、新潟県は南北に長く、北西は海、南東は山に囲まれているため、地域により室内外の温熱環境が大きく異なると考えられる。そこでこれらの外部環境に適した住宅性能を明らかにすることが、住宅のエネルギー消費を削減し、快適な住生活や室内環境を形成する上で重要であると考えられる。

本研究では新潟の気候・風土に適した住宅のシェルター性能・空調設備の開発を行う為の基礎資料を蓄積することを目的として、新潟県の各地域における一戸建て住宅を対象とした室内の温熱環境、シェルター性能、住まい方、エネルギー消費量に関する実態調査を行う。また、収集したデータを基に、新潟県の住宅におけるエネルギー消費構造や居住者の住まい方などの把握・検討を行う。

表1 調査対象住宅

地域	市町村名	98年度調査戸数	99年度調査戸数
上越地域	上越市	2戸	
	新井市	2戸	
	糸魚川市	5戸	
	その他	8戸	
小計		17戸	
中越地域	長岡市	18戸	
	三条市	8戸	
	見附市	4戸	
	柏崎市	3戸	12戸
	北魚沼郡小出町	9戸	1戸
	その他	6戸	6戸
小計		48戸	19戸
下越地域	新潟市	16戸	14戸
	新津市	12戸	4戸
	新発田市	9戸	5戸
	その他	8戸	11戸
佐渡地域			6戸
小計		45戸	40戸
合計		110戸	59戸

表2 室内温湿度調査の測定方法と測定箇所

	測定点	測定方法	測定期間
居室	・床上110cm ・床上5cm ・天井下10cm	・各点10分間隔で温湿度を自動計測 ・グローブ球を用いて温度測定(110cm)	約1週間
非暖房室	・床上110cm	・各点10分間隔で温湿度を自動計測	
屋外	・住宅北側	・百葉箱内で10分間隔に温湿度を自動計測	

2 調査概要

2.1 調査対象地域

地域別の調査対象住宅を表1に示す。調査は新潟県内の上越・中越・下越地域において実施し、上越地域17戸、中越地域67戸、下越地域85戸の計169戸を調査対象とする。調査対象住宅の選定には、新潟県内の建築業者に対し協力を依頼する。

2.2 調査期間

調査は夏季と冬季の2回行う。98年度の夏季調査期間は7月30日～9月16日、冬季調査期間は1月12日～3月15日とし、99年度の夏季調査期間は8月5日～9月22日、冬季調査期間は1月30日～3月22日とする。調査期間は、各調査対象住宅とも約1週間である。

3 調査内容

3.1 室内温湿度

室内温湿度調査の測定方法と測定箇所を表2に示す。測定箇所は、居間の床上110cm、床上5cm、天井下10cm、通常冷暖房を行わない部屋、外気温の5箇所である。また、居間の床上110cm地点ではグローブ温度も同時に測定する。測定にはメモリ内蔵の温湿度計を使用し、10分間隔で約1週間自動計測する。なお、居住者の方々には、普段と変わらない生活をする様依頼した。

3.2 居住者意識

居住者意識に関する、アンケート調査を世帯主に対して実施する。アンケート調査の項目を表3に示す。アンケート調査項目は、住まい方、冷暖房・換気設備、温熱環境、空気質環境、満足度、エネルギー消費量、結露、居住者及び住宅の属性等である。また、温冷感や満足度などは主に団らん時(19:00～22:00)を対象としている。

表3 アンケート調査項目

調査項目	質問項目
A、住まい方	平日、休日の在宅状況 平日、休日の窓の開閉状況 着衣状況等
B、冷暖房・換気設備	冷暖房設備の種類と台数 冷暖房設備の運転方法 換気設備の運転方法等
C、温熱環境	居間の温冷感 居間の団らん時の室温温度差等
D、空気室環境	居間の団らん時の空気の汚れ 居間の団らん時の換気、等
E、満足度	総合的な熱環境への満足度 総合的な空気環境への満足度 光熱費への満足度等
F、エネルギー消費量	電気・ガス・灯油の消費量
G、結露	結露発生場所等
H、居住者・住宅属性	家族構成(年齢、性別、職業) 世帯の収入等

3.4 シェルター性能

対象住宅の気密性能の測定及び熱損失係数の算出を行う。気密性能測定は室内温度調査と同時に進行。測定の対象となる住宅の室内に風量測定用ダクトがつけられたファンを設置し、ファンを運転してダクト内の通過風量を測定しその時の室内外の圧力差を測定する。ファンの能力を何段階かに変化させ、室内外圧力差と風量を測定し両者の関係を求める。測定は外部風が静穏な時を選んで行う。

熱損失係数は、調査対象住宅の設計図書より床面積、構成部材を収集し、計算により算出する。

3.5 エネルギー消費量

電気及びガスに関するエネルギー消費量は居住者の承諾を得た上で、エネルギー供給事業者からデータを収集する。灯油に関してはアンケート調査の一部として居住者に回答を依頼する。

4 調査結果

4.1 世帯属性

調査対象住宅の世帯人数を図1に示す。4人家族が25%と最も多く、次いで6人が22%、3人が20%である。家族人数の平均は4.2人であり、新潟県の戸建て住宅の平均値4.0人(文献1)と比較してやや多い値を示す。調査対象住宅の延べ床面積を図2に示す。100~150㎡未満の住宅が38%と最も多く、次いで150~200㎡未満が32%、200~250㎡未満が19%である。延べ床面積の平均値は175.9㎡であり、新潟県における戸建て住宅の平均の約146㎡(文献1)と比較してやや規模の大きな住宅である。

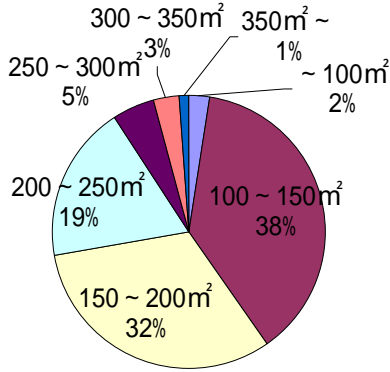
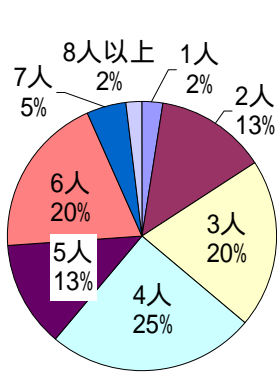


図1 対象住宅の世帯人数

図2 対象住宅の延べ床面積

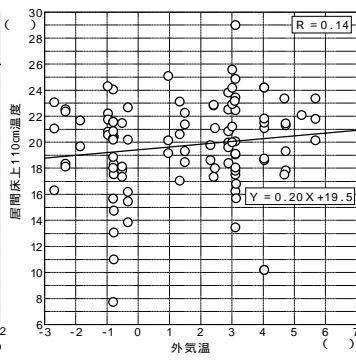
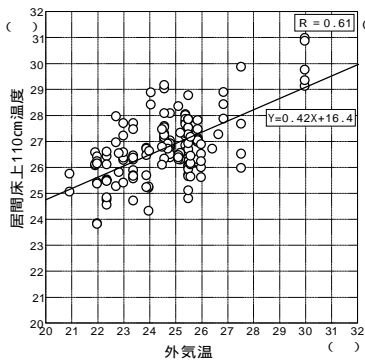


図3 夏季の団らん時における
床上110cm温度と外気温との関係

図4 冬季の団らん時における
床上110cm温度と外気温との関係

4.2 室内温湿度

夏季、冬季の団らん時(19:00~22:00)における居間の床上110cm温度と外気温との関係を図3、4に示す。夏季の外気温は21~30、居間温度は24~31の範囲に入る。相関係数は0.61で比較的高い。冬季は外気温にかかわらず、室温16~24の範囲に入る世帯が多く、相関係数は0.14と低い。

4.3 居住者意識

調査対象住宅の夏季における窓の開閉状況を図5に示す。約半数の世帯が、平日、休日ともに在宅時には窓を開け、就寝時には窓を閉鎖している。図6に冬季の窓の開閉状況を示す。調査した世帯の多くが一日中窓を閉鎖しているか、換気が必要と感じたときのみ窓を開けると回答している。そのため冬季は夏季と比較して住宅のシェルター性能が室温、暖房運転状況、エネルギー消費量に影響を与えやすいと考えられる。居住者の室内温熱環境に関する満足度を図7に示す。夏季、冬季ともかなり満足していると答える世帯が最も多く全体の約40%となっている。しかしながら不満足側の割合が夏季に比較して冬季はやや高い。

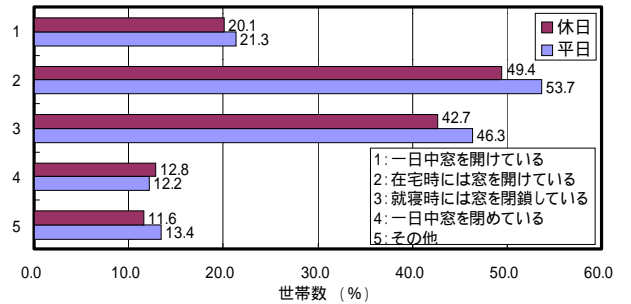


図5 夏季における窓の開閉状況

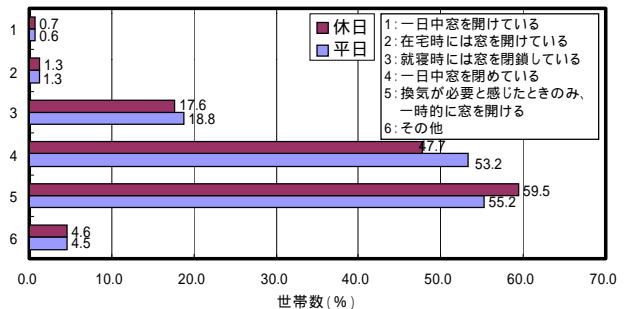


図6 冬季における窓の開閉状況

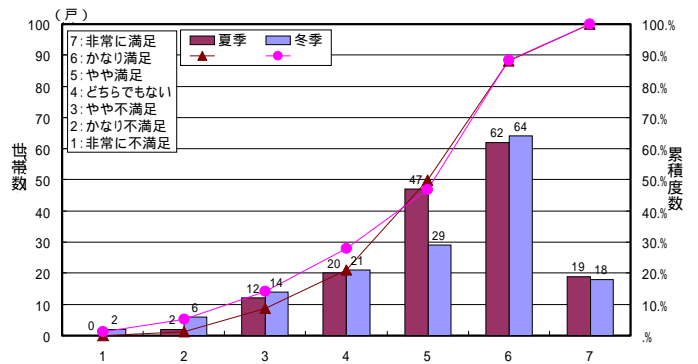


図7 居住者の温熱環境に関する満足度

4.4 使用冷暖房設備

調査対象住宅の使用冷房機器を図8に示す。80%以上の世帯で、個別冷房（エアコン）が使用されている。セントラル方式の冷房を行っている世帯は2.5%と少ない。使用暖房機器を図9に示す。ファンヒーター、ストーブを使用する世帯が70%と最も多い。セントラル方式の暖房を使用している世帯は約20%である。

4.5 シェルター性能

調査対象住宅の熱損失係数の分布を図10に示す。1.5～2.0kcal/m²・hの範囲に入る住宅が36.2%と最も多く、ついで2.0～2.5kcal/m²・hが28.6%と多い。新潟県は次世代省エネルギー

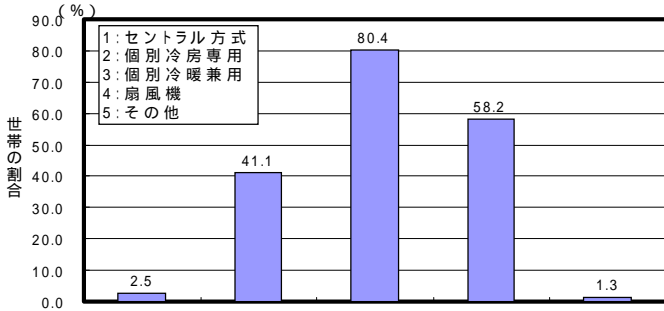


図8 使用冷房機器

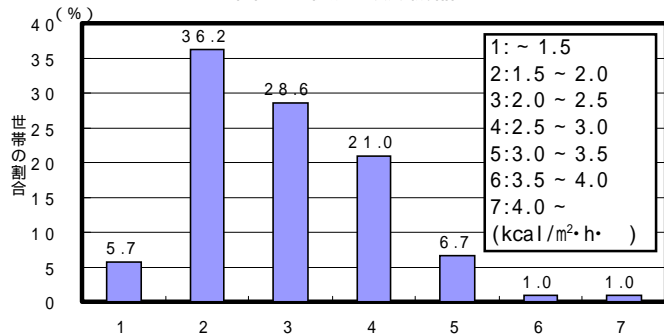


図10 熱損失係数の分布

表4 気密性能のグレード

気密性能グレード	1	2	3	4	5	6		
床間隙の割合	0.41	0.71	1.25	2.24	4.1	7.1	12.5	22.4
気密性能の目安	0.25	0.5	1	2	4	8	16	32
既往の基準など	1.17	2.2	4.5	8.5	16	32	64	128

※ 今回の調査結果は、表4のグレード1～2に相当する。

基準では 地域（基準値2.3kcal/m²・h以下）に属しているが、この基準を満たす住宅は全体の約60%である。隙間相当面積の分布を表4に示す。3.0～9.0cm²/m²（図中グレード3～4）の範囲に入る住宅が特に多い。

4.6 エネルギー消費量

対象住宅におけるエネルギー消費量の平均年変化を図11に示す。電力の消費量は、ガス、灯油と比較して、年間を通じての変化が小さい。ガス、灯油は冬季になると消費量が大幅に増大し、暖房の使用が最も多い1～3月には、月の総エネルギー消費量に対するガス、灯油のエネルギー消費量の割合は70%を超える。本研究では、7～

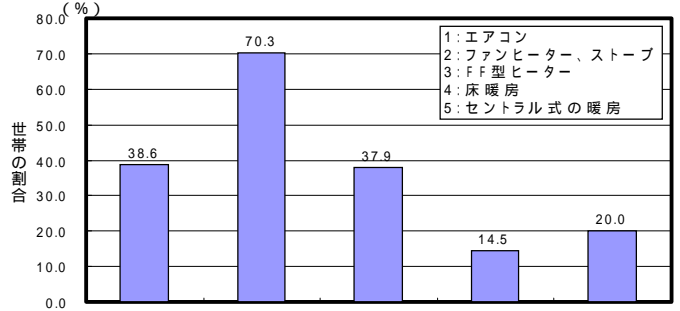


図9 使用暖房機器

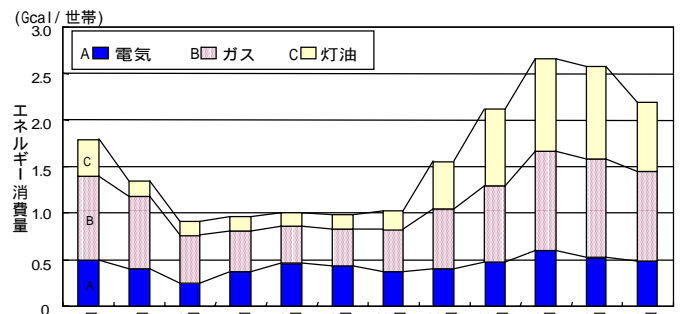


図11 エネルギー消費量の平均年変化

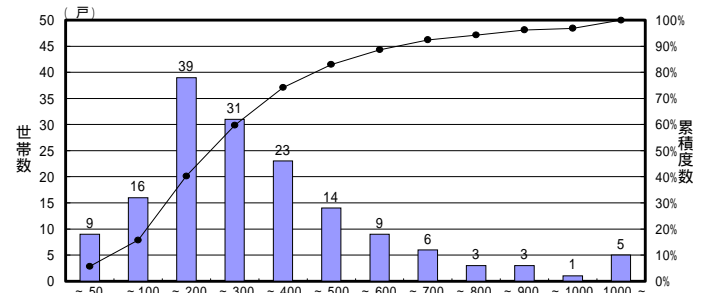


図12 冷房用エネルギーの分布

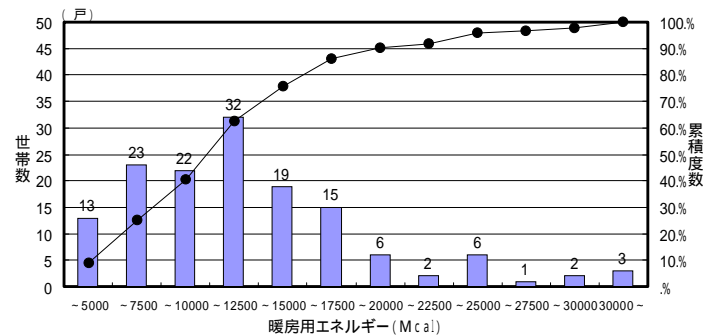


図13 暖房用エネルギーの分布

9月の電力エネルギーから6月の電気エネルギーを差し引いたものを冷房用エネルギー、11～3月エネルギーを暖房用エネルギーと定義する。それぞれの分布を図12、13に示す。冷房エネルギーでは100～200Mcal 使用している世帯が約23%と最も多く、暖房エネルギーでは10000～12500Mcal 使用している世帯が約22%と最も多い。

4.7 冷暖房運転時間

各世帯の冷暖房パターンの把握のため、室内温湿度調査の結果から冷暖房の運転時間を読みとった。室内温湿度と冷房運転時間の例を図14に、暖房運転時間の例を図15に示す。冷房の日平均運転時間を図16に示す。一日に1～2時間使用している世帯が約30%と多い。暖房の日平均運転時間を図17に示す。一日に9～12時間暖房を使用している世帯が約52%と多い。これは、夏季は冷房をほとんど使用せず、窓の開放などにより室内の温熱環境を調整している世帯が多いことが原因と考えられる。冷房運転開始時、停止時の温度

を図18に、暖房運転の場合を図19に示す。夏季は、対象世帯の約74%が26～29の範囲で冷房を開始しており、約79%が25～28の範囲で停止している。夏季は25～29の範囲で冷房を運転している世帯が多いと考えられる。冬季は夏季に比較して暖房運転開始時の温度にばらつきが見られるが、11～13及び17～18の範囲で暖房を開始している世帯が約40%と多く、約60%の世帯が20～25の範囲で暖房を停止している。これは、間欠暖房を行っている世帯では暖房停止間は室温が下がるため11～25の範囲で暖房の運転を開始し、連続暖房を行っている世帯は室温が下がりにくいため、17～25の範囲で暖房を運転していることが原因と考えられる。

4.8 クロス集計結果

夏季の冷房用エネルギーと冷房の日平均運転時間との関係を図20に示す。運転時間が0～3時間、冷房用エネルギーが0～400Mcalの範囲に該当する世帯が多い。相関係数は $R = 0.53$ である。回帰式は

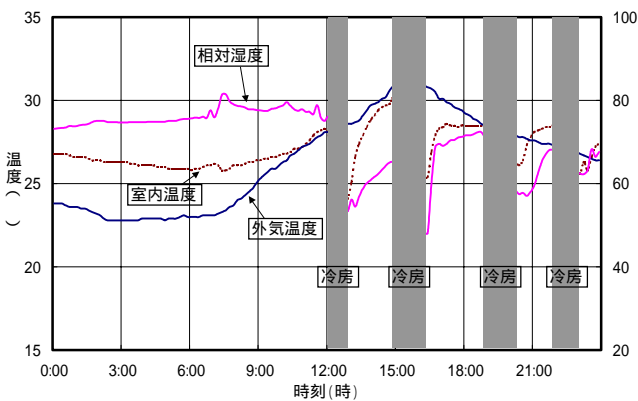


図14 冷房運転時間の例

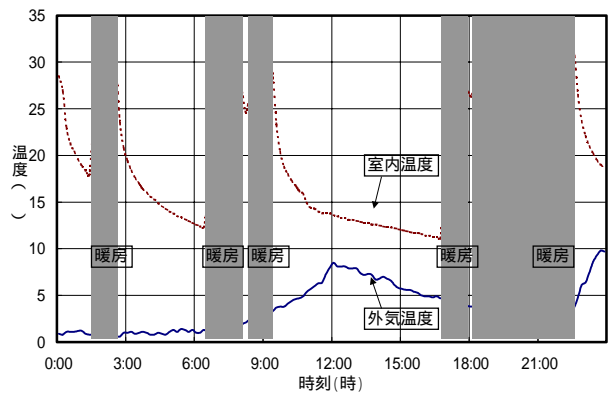


図15 暖房運転時間の例

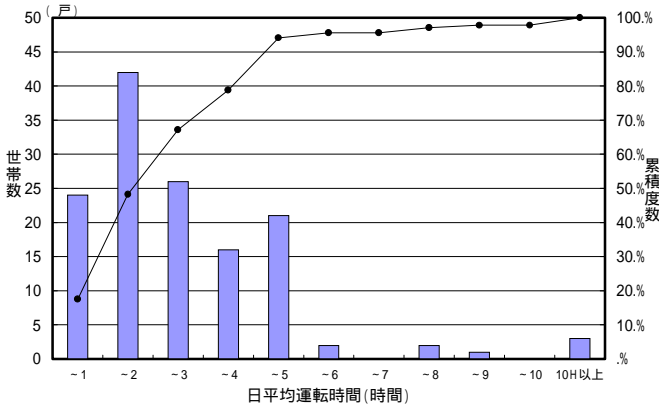


図16 日平均冷房運転時間

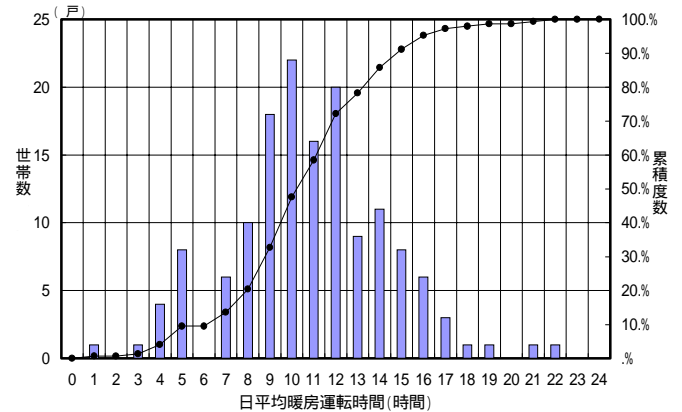


図17 日平均暖房運転時間

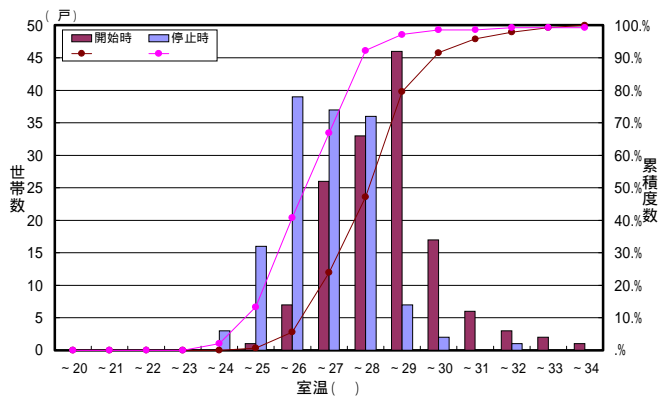


図18 冷房運転時の室温

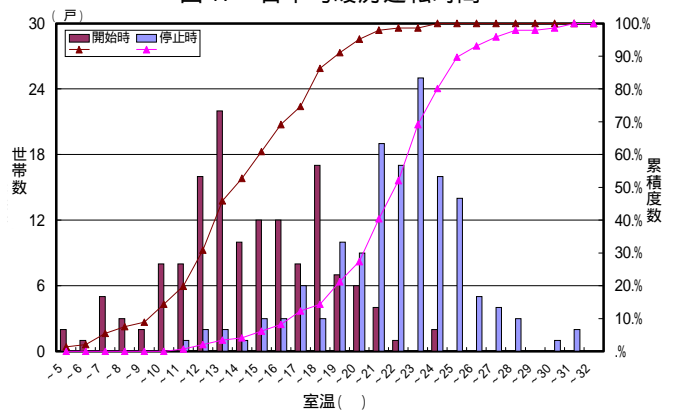


図19 暖房運転時の室温

$Y(\text{冷房用エネルギー}) = 51 \times (\text{冷房機器の日平均運転時間}) + 178$

 となっており、冷房時間が1時間増加すると、冷房エネルギーは51Mcal増加する。冬季の暖房用エネルギーと暖房の日平均運転時間との関係を図21に示す。運転時間が8~12時間、暖房用エネルギーが7500~17500Mcalの範囲に該当する世帯が多い。相関係数は $R = 0.26$ であり、弱い正の相関が見られるが、夏季に比較して相対的に低い。夏季の冷房用エネルギーと冷房開始時の室温との関係を図22に示す。冷房開始室温が26~30、冷房用エネルギーが50~400Mcalの範囲の世帯が多い。相関係数は -0.07 である。冬季の暖房用エネルギーと、暖房開始時の室温との関係を図23に示す。暖房開始温度が12~16、暖房用エネルギーが5000~17500Mcalの範囲に該当する世帯が多い。相関係数は $R = 0.33$ であり、夏季に比較して相対的に高い。冬季は夏季と比較して暖房開始時の室温が世帯ごとにばらついていることから、冬季は暖房の運転時間よりも、室温がエネルギー消費量に影響を与えていると考えられる。居住者の室内温熱環境に関する満足度と冷房用エネルギーとの関係を図24に、暖房用エネルギーとの関係を図25示す。夏季は、やや正の相関が見られるが相関係数は $R = 0.20$ と低い。冬季も同様にやや正の相関が見られるが、相関係数 $R = 0.11$ と低い。このため夏季、冬季とも単なる冷暖房エネルギーの増減は、居住者の快適性には大きく影響していないと考えられる。

5 E T'による室内温熱環境の評価

室内温熱環境調査及び着衣量調査結果からE T'(新有効温度)を

算出する。ただし、夏季は室内気流0.3m/s、代謝量1met、冬季は室内気流0.0m/s、代謝量1metと仮定する。夏季と冬季の団らん時(19:00~22:00)におけるE T'と、居住者の室内温熱環境に関する満足度との関係を図26、27に示す。夏季はE T'が25~29の範囲に該当する世帯が多い。E T'が上昇すると満足度が減少するという負の相関がやや見られるが相関係数は $R = -0.16$ と低い。冬季はE T'が19~23の範囲に該当する世帯が多い。相関係数は $R = 0.10$ とやや正の相関を示している。

6 重回帰分析によるエネルギー消費構造の解析

6.1 投入変数の選定

エネルギー消費量を目的変数とする重回帰分析を行い、エネルギー消費構造を解析する。投入変数はエネルギー消費量に対する関連の深さ及び多重共線性を考慮し選定する。

6.2 相関係数行列

夏季、冬季それぞれの投入変数の相関係数行列を表4、5に示す。冷房用エネルギーとの相関が高い変数は、日平均運転時間、窓の開閉状況である。また、冷房機器グレードの相関が比較的低い。これは、対象住宅の多くがエアコンを使用しているため、冷房エネルギーの大小に拘わらずグレードが変化しないためと考えられる。これに対して、暖房エネルギーとの相関が特に大きい要素は見つからない。冷房用エネルギーと比較して暖房用エネルギーは複数の要素が平均的に影響を及ぼしていると考えられる。

6.3 分析結果

標準偏回帰係数の算出結果を図28、29に、得られた重回帰式を

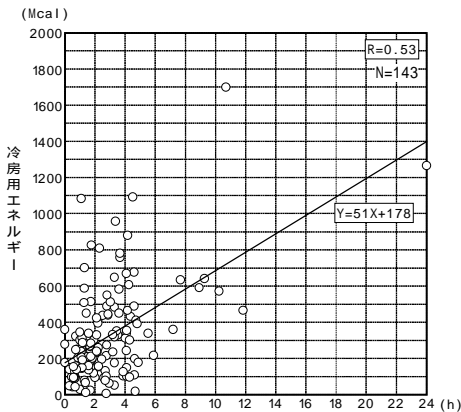


図20 冷房用エネルギーと冷房機器の日平均運転時間との関係

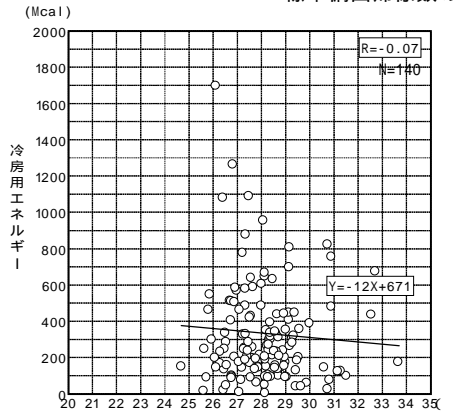


図22 冷房用エネルギーと冷房機器運転開始時の室温との関係

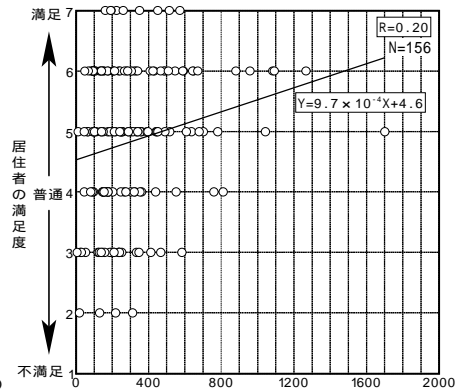


図24 居住者の温熱環境に関する満足度と冷房用エネルギーとの関係

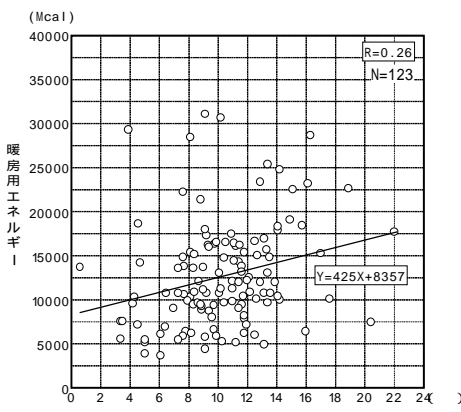


図21 暖房用エネルギーと暖房機器の日平均運転時間との関係

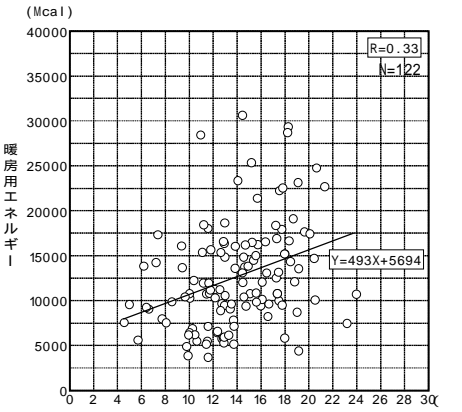


図23 暖房用エネルギーと暖房機器運転開始時の室温との関係

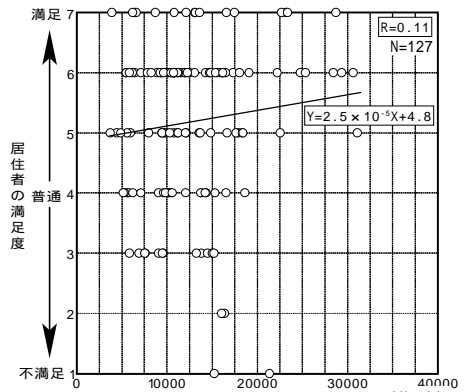


図25 居住者の温熱環境に関する満足度と暖房用エネルギーとの関係

1, 2に示す。冷房用エネルギーに対して正の値を示す変数は、日平均運転時間、収入、延べ床面積で、これらが増加すると冷房用エネルギーが増大する。また、負の値を示す変数は冷房機器グレード、冷房開始時の室温及び湿度、窓の開閉状況で、これらが増加すると冷房用エネルギーは減少する。重相関係数は $R^2 = 0.65$ である。暖房用エネルギーに対して負の値を示すのは着衣量のみで、この値が増加すると、暖房用エネルギーが減少する。他の変数は全て正の値を示すが、暖房開始時室温、収入の標準偏回帰係数が、相対的に大きい。重相関係数は $R^2 = 0.54$ である。

7 まとめ

夏季の生活様式としては冷房の使用が少なく、窓の開閉などにより、室内の温熱環境を調整している世帯が多い。

冬季は、暖房により室内の温熱環境を調整しており、どの世帯も長時間暖房を使用している。

冬季に間欠暖房を行っている世帯は11~25 の範囲で暖房を運転し、連続暖房を行っている世帯は17~25 の範囲で暖房を運転していると考えられる。そのため同じ暖房運転時間でも室内の温熱環境

は異なる。

居住者の満足度と、エネルギー消費量、 $E T^*$ との相関は低い。このため、冷暖房エネルギーの増減や、 $E T^*$ を快適範囲に設定することで居住者の満足を得ることは難しいと考えられる。

夏季の冷房用エネルギーには冷房の運転時間が大きく影響を与えている。重回帰式から冷房の運転時間を1日1時間短縮すると、冷房用エネルギーは約45Mcal/年減少させることができる。

冬季は、暖房開始時室温、収入が暖房用エネルギーに大きな影響を与えている。重回帰式から暖房開始時室温を1下げると、暖房用エネルギーは約290Mcal/年減少させることができる。

夏季は住宅のシェルター性能向上によるエネルギー消費量の削減効果は少ないが、冬季は住宅の高気密化が暖房エネルギーの低減に効果がある。重回帰式によれば、隙間相当面積が $0.1 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 向上すると、エネルギー消費量を約14Mcal/年低減させることができる。

参考文献

- 1) 総務庁統計局 住宅統計調査

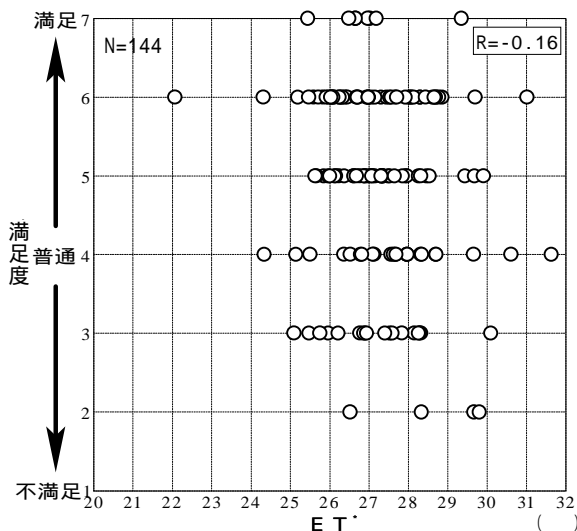


図26 夏季の居住者の温熱環境に関する満足度と 団らん時(19:00~22:00)の $E T^*$ との関係

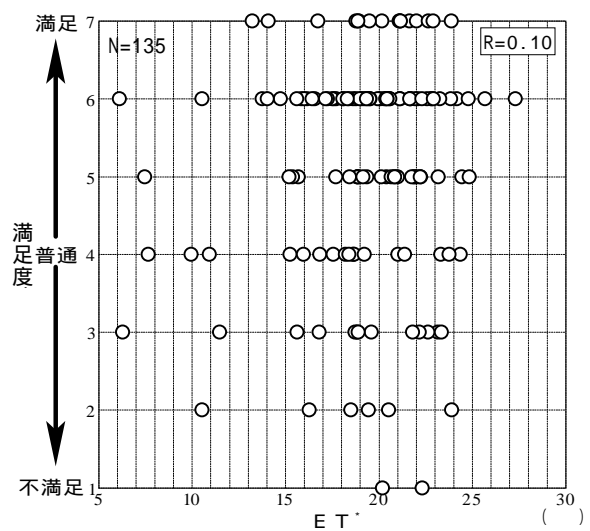


図27 冬季の居住者の温熱環境に関する満足度と 団らん時(19:00~22:00)の $E T^*$ との関係

表4 冷房用エネルギーに関する相関係数行列

冷房エネルギー	冷房機器グレード	日平均運転時間	開始時室温	開始時湿度	窓の開閉状況	延べ床面積	収入
冷房エネルギー	0.07	0.53	-0.07	-0.21	-0.31	0.13	0.29
冷房機器グレード		0.30	-0.06	-0.13	-0.14	-0.03	0.15
日平均運転時間	0.53		-0.02	-0.23	-0.51	-0.02	0.04
開始時室温	-0.07	-0.06		-0.32	0.18	-0.14	0.00
開始時湿度	-0.21	-0.13	-0.23		0.15	0.06	-0.02
窓の開閉状況	-0.31	-0.14	-0.51	0.18		0.02	-0.08
延べ床面積	0.13	-0.03	-0.02	-0.14	0.06		0.32
収入	0.29	0.15	0.04	0.00	-0.02	-0.08	

表5 暖房用エネルギーに関する相関係数行列

暖房用エネルギー	暖房機器グレード	日平均運転時間	開始時室温	世帯人数	収入	着衣量	隙間相当面積
暖房用エネルギー	0.32	0.35	0.37	0.31	0.30	-0.19	0.04
暖房機器グレード		0.31	0.36	0.04	0.12	-0.28	-0.16
日平均運転時間	0.35		0.52	0.12	0.01	-0.15	-0.22
開始時室温	0.37	0.36		0.03	0.14	-0.26	-0.34
世帯人数	0.31	0.04	0.12		0.03	0.45	0.01
収入	0.30	0.12	0.01	0.14		0.45	0.11
着衣量	-0.19	-0.28	-0.15	-0.26	0.01		0.11
隙間相当面積	0.04	-0.16	-0.22	-0.34	0.24	0.18	

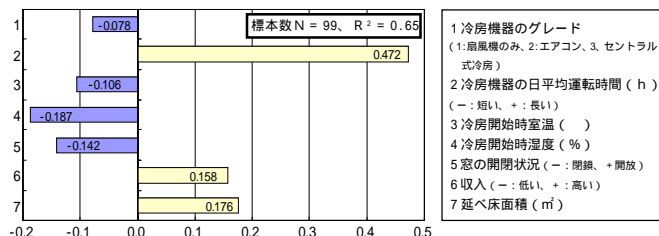


図28 冷房用エネルギーに関する標準偏回帰係数

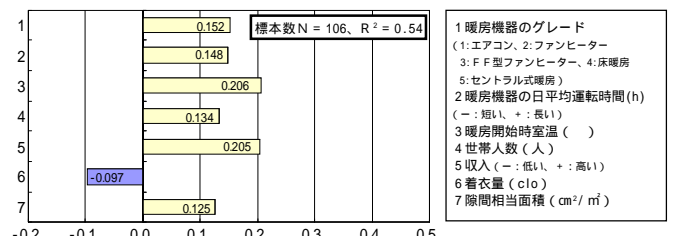


図29 暖房用エネルギーに関する標準偏回帰係数

式1 冷房用エネルギーに関する重回帰式

$$Y = 1245.147 - 131.567 \times \text{冷房機器のグレード} + 44.979 \times \text{冷房機器の平均運転時間} - 20.365 \times \text{冷房開始室温} - 6.712 \times \text{冷房開始湿度} - 33.500 \times \text{窓の開閉状況} + 30.710 \times \text{収入} + 0.994 \times \text{延べ床面積}$$

式2 暖房用エネルギーに関する重回帰式

$$Y = -861.915 + 765.160 \times \text{暖房機器のグレード} + 234.520 \times \text{暖房機器の平均運転時間} + 286.762 \times \text{暖房開始室温} + 459.666 \times \text{世帯人数} + 793.028 \times \text{収入} - 3548.739 \times \text{着衣量} + 139.769 \times \text{隙間相当面積}$$