長野市を中心とした一戸建住宅の冬季室内温熱環境に
関する調査研究

—熱損失係数から見た室内温熱環境と居住者意識の違いについて—

INVESTIGATION OF WINTER INDOOR THERMAL ENVIRONMENT
OF DETACHED HOUSES IN NAGANO CITYDifference of the indoor thermal environment and residents' thinking
from the point of view of specific heat loss coefficient

加藤 友也*, 山岸 明浩**, 山下 恭弘***

Tomoya KATO, Akihiro YAMAGISHI and Yasuhiro YAMASHITA

The investigation of indoor thermal environment on detached houses in Nagano City has been taking place since 1988. The first purpose of this study is to describe the actual situation of an indoor thermal environment on detached houses. The second purpose is to describe the difference of indoor thermal environment and residents' thinking from the point of view of specific heat loss coefficient. The results of the investigation are as follows:

1) There is a tendency for the newer the building, the better the heat insulation property and air tightness.

2) It was admitted that a specific heat loss coefficient influences the indoor thermal environment and residents' thinking.

3) The residents living in the detached houses reached the new energy saving standard of Nagano Prefecture are more favorable toward their indoor thermal environment than those living in some other houses not reached the standard.

Keywords: detached house, indoor thermal environment, specific heat loss coefficient, residents' thinking

一戸建住宅, 室内温熱環境, 熱損失係数, 居住者意識

1. はじめに

住宅の室内温熱環境に関する研究は、全国各地域で実測調査、アンケート調査、数値シミュレーション等の手法により行われている。北海道では絵内・荒谷らが、一戸建住宅と集合住宅計17棟の室温変動パターン、上下温度差などについて調査研究^{1) 2)}を行い、住宅形態、暖房方式の差による温熱環境の違いを示している。東北地方では長谷川・吉野らが139戸の各種住宅、22戸のコンクリート造集合住宅の室内温熱環境調査^{3) 4)}を行い、各種住宅分類により室内温熱環境を分類し、高断熱床暖房の住宅の室内温熱環境が他の住宅に比べ良好である結果を示している。北陸地方では水谷・岩瀬・赤林らが新潟市の10戸の集合住宅の温熱空気環境に関する研究⁵⁾、北陸地方の木造独立住宅の調査^{6) 7)}を行い、集合住宅と木造独立住宅の上下温度差などを比較し、集合住宅の方が良好な室内温熱環境であると報告している。一方、赤坂・黒木らは夏季蒸暑度の厳しい奄美大島の戸建住宅の測定を行い⁸⁾、断熱強化した住宅では日射遮蔽、夜間通風に

よる廃熱の必要性を示している。また、住宅の熱環境の調査・評価方法については川島らの報告⁹⁾があり、高齢者や身体障害者に配慮した住宅熱環境の評価方法を提案している。高齢者の温冷感に関する研究¹⁰⁾については、磯田・梁瀬らが実験室での検討も行っている。居住者の意識も考慮に入れた研究¹¹⁾としては、松原らが京都の住宅において、室温と使用暖房器具、住まい方・生活、居住者の意識・価値観などの対応関係について考察している。住宅の断熱気密性能の違いによる室内温度変動に関しては、各種の数値シミュレーションを利用した研究^{12) ~ 14)}が行われ、多数室や換気なども考慮した計算手法が提案され、検証も行われている。

以上の様な背景の基で、本研究は長野市を中心とした一戸建住宅の室内温熱環境の実態把握とその要因構造について検討するものである。長野市を中心とする地域は県北部に位置し、標高も高く寒冷的な気候条件である。そのため、主に防寒、暖房用エネルギー低減の観点から、住宅の断熱気密化の必要性が、今後より注目されること

* 信州大学工学部社会開発工学科 大学院生・工修

** 信州大学工学部社会開発工学科 助手・工修

*** 信州大学工学部社会開発工学科 教授・工博

Graduate Student, Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Univ of Shinsyu, M. Eng.

Research Assoc., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Univ of Shinsyu, M. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Univ of Shinsyu, Dr. Eng.

が予想される。しかしながら、長野県内の住宅において、断熱気密化によって形成される室内温熱環境に関する資料は少ない。そのため、本論文では、断熱気密性能の違いによる室内温熱環境と居住者意識の差を明らかにすることに視点を置いている。以下に本研究の目的を示す。

- 1) 熱損失係数、気密性能、建築年代、暖房方式の相互関係について検討する。
- 2) 熱損失係数の違いによる室内温熱環境の差を明らかにする。
- 3) 熱損失係数の違いによる居住者の室内温熱環境に対する意識の差を明らかにする。
- 4) 熱損失係数の違いによる室内温熱環境と、それに対応する居住者意識を比較し、両者の関係について考察する。

2. 調査方法とデータ分析手法

2-1 温熱環境及び気密性能測定

住宅の室内温熱環境の測定は、1988年から1994年までの冬季に、地元の25社以上の工務店・建設会社が施工した72棟の住宅について実施した。温熱環境測定の期間は3日間から1週間の各点における連続測定とした。測定位置は、日常生活において夜の団らん時に家族が集まり暖房を行う居間を中心とした。居間と比較する他室は普段使用しない部屋とし、多くは非暖房室であった。測定項目は、対象住宅の居間の乾球温度、グローブ温度、湿球温度、他室の温度と外気温の6点とした。測定高さは居間の乾球温度のみ床上0.5mと1.5mであり、グローブ球、湿球、他室の温度は床上1.5mとした。外気温の測定は、日射の影響が少ない地点に熱電対を設置した。室内の温度の測定は0.3mmφのT型熱電対にアルミのカバーを付けて使用した。居間の湿度は乾球温度と湿球温度の計測値から算出^{※1}した。測定のサンプリング間隔は1分間で、そのデータを20分毎に平均した値を記録した。温度データは測定期間の変動を考慮して期間平均値により考察を行った。住宅の気密性能測定は減圧法で実施した。測定日は原則として温熱環境測定器の設置、回収日のいずれかで行ったが、外界風速が強く測定結果に影響が出る場合は他の日に再度実施した。^{※2}住宅の室内温熱

環境、気密性能の測定結果を本論文の目的に従い熱損失係数によって考察するために、測定対象住宅の熱損失係数の計算^{※3}を行った。測定結果の解析においては、測定対象住宅を新省エネルギー基準¹⁾⁵⁾を利用して3分類した。分類方法と該当棟数を表-1に示す。3分類の定義は、A分類が長野県の基準値をクリアするもの、B分類が長野県の基準値には達しないが沖縄の基準値をクリアするもの、C分類が沖縄の基準値に達しない住宅である。

2-2 アンケート調査

居住者の室内環境に対する意識調査は郵送によるアンケート調査（留置式）とし、1994年の冬季に実施した。アンケート調査の対象住宅は測定結果との対応を考慮し、主に長野市内とし、図面などの必要資料の入手や断熱性能の異なる住宅の選出を行うために、長野県内の建設業者に住宅のリストアップを依頼した。調査対象住宅で使用されている断熱材や開口部の仕様、床面積など居住者が回答しづらいデータは、調査協力を依頼した建設業者へのアンケートにより収集した。居住者に実施したアンケートは2種類作成し、世帯主のみが回答するもの1部と、回答可能な居住者が回答するもの4部を送付した。各用紙の質問項目の主な内容を表-2に示す。世帯主のみ回答する質問は、収入や暖房設備など住宅の属性に関わる内容で、エネルギー消費や高断熱高気密住宅に対する意識についてであった。回答可能な居住者への質問は、居住者の属性、熱環境、空気質環境、音環境、光環境、総合的な満足度に対する意識についてであった。室内環境に対する意識調査は実測結果との対応を考慮し、団らん時の室内環境について回答するように指示した。アンケートの結果は信州大学の大型計算機にデータを転送し、SPSS Xを利用した各種統計処理が行えるようにした。アンケート調査の対象住宅も温熱環境測定と同様に新省エネルギー基準を利用し分類した。

3. 調査対象住宅内容

3-1 温熱環境及び気密性能測定対象住宅

全測定対象住宅の測定年度、所在地、建築年代、居間の暖房方式、延べ床面積、相当隙間面積、熱損失係数の

表-1 新省エネルギーの熱損失係数の基準値を利用した住宅の分類

分類	新省エネルギー基準を利用した各分類の熱損失係数(Q)の範囲	該当棟数
A	I : $Q \leq 1.5$	11棟
	II : $1.5 < Q \leq 2.3$	25棟
	III : $2.3 < Q \leq 2.7$	11棟
B	IV : $2.7 < Q \leq 3.4$	7棟
	V : $3.4 < Q \leq 3.7$	5棟
	VI : $3.7 < Q \leq 5.5$	10棟
C	VII : $5.5 < Q$	3棟

表-2 アンケート質問項目一覧

世帯主のみ回答する質問用紙	回答可能な居住者が回答する質問用紙
<p><質問項目></p> <ul style="list-style-type: none"> ・家族構成 ・収入 ・暖房設備 ・暖房機器の燃料種類 ・月毎の光熱費 ・暖房機器およびランニングコストについての意識 ・省エネルギーに有効な手段 ・全室暖房に対する意識 ・高断熱高気密住宅の必要性 	<p><質問項目></p> <ul style="list-style-type: none"> ・熱環境 温冷感、隙間風、放射熱、室温温度差など ・空気質環境 空気の汚染、換気、臭いなど ・音環境 気になる音、音の響き方など ・光環境 明るさ、日当たりなど ・総合的な満足度 ・性別、年齢、体調、記入日時

一覧を表-3に示す。住宅の温熱環境測定は1988年から1994年度の冬季に実施した。住宅の建設地域は長野市の盆地部47棟と、それに隣接する標高1,000mの飯綱高原14棟、その他11棟であった。住宅の建築年代は1967年から1994年のものであった。延べ床面積の平均値は162.6㎡であった。

3-2 アンケート調査対象住宅及び居住者

アンケート用紙の配布数および回収数を表-4に示す。回収率は60.9%である。アンケート回収住宅の内、温熱環境測定、気密性能試験も実施している住宅は39棟であった。アンケート回答者の性別、年齢、収入と対象住宅の建築年代、延べ床面積について図-1に示す。性別は男女ほとんど同数の回答が得られた。年代は30才以上で70%以上を占めた。収入は500万円以上の世帯が80%以上を占めた。建築年代は1970年代から1990年代の住宅であった。延べ床面積は151㎡以上の住宅が60%以上を占め、平均値は158.9㎡であった。

4. 熱損失係数による分類毎の住宅属性

4-1 温熱環境および気密性能測定住宅

熱損失係数と建築年代の関係を図-2に示す。全データから算出した回帰直線は右下がりになり、建築年代が新しくなると熱損失係数が小さくなる傾向が認められた。建築年代が近い他の住宅と比較しても熱損失係数が大きくなった、図中の「※」を付けた住宅は、壁にしか断熱

材が施工されていなかった。相当隙間面積と建築年代の関係を図-3に示す。全体としては回帰直線が右下がりになり建築年代が新しくなると、相当隙間面積も小さくなる傾向が認められた。1985年以降に建てられた住宅で相当隙間面積が15cm²/m²を越えている、図中の「*」の付けてある住宅はいずれも飯綱地区の住宅であり、1棟はログハウスであった。断熱性能と気密性能の関係をみるために、相当隙間面積と貫流熱損失係数（住宅の貫流熱損失分のみを総熱損失を延べ床面積で割った値）の関係を図-4に示す。回帰直線は右上がりになり、貫流熱損失係数が大きいほど、相当隙間面積も大きくなる傾向が認められた。貫流熱損失係数が2kcal/m²・h・℃以上になると、気密住宅の基準をクリアする割合が小さくなっていた。貫流熱損失係数が3kcal/m²・h・℃以下で相当隙間面積が15cm²/m²を越える、図中の「#」を付けた2棟

表-4 アンケート用紙配布・回収数

配 布 数	回 収 数	回 収 率
2 0 7 件	1 2 6 件	6 0 . 9 %

図-1 アンケート回答者属性

表-3 測定対象住宅概要一覧

NO	測定 年度	所在地	建築 年代	居間の暖房方式	延床面 積(㎡)	相当隙 間面積	熱損失 係 数	NO	測定 年度	所在地	建築 年代	居間の暖房方式	延床面 積(㎡)	相当隙 間面積	熱損失 係 数
1	1988	長野市	1979	石油ストーブ・コタツ	184.9	6.4	2.4	37	1993	長野市	1990	FFファンヒータ	169.9	2.2	1.6
2	1989	長野市	1988	温風暖房	200.0	2.7	2.4	38	"	長野市	1990	FFファンヒータ	262.8	2.5	1.4
3	"	長野市	1988	パネルヒータ	157.5	4.4	2.5	39	"	長野市	1990	石油ファンヒータ・コタツ	127.8	2.9	2.0
4	"	長野市	1989	床暖房	153.1	3.3	1.8	40	"	坂城町	1992	温風暖房	182.6	0.7	1.6
5	"	長野市	1988	温風暖房	162.4	5.0	2.4	41	"	上田市	1992	石油ファンヒータ	111.0	13.1	3.8
6	1990	飯綱	1988	まきストーブ	106.0	5.7	1.8	42	"	上田市	1993	FFストーブ	87.8	5.9	3.6
7	"	飯綱	1980	石油ファンヒータ	101.9	4.2	1.9	43	"	長野市	1993	温風暖房	129.4	1.2	1.8
8	"	飯綱	1988	まきストーブ	90.4	16.8	3.5	44	1994	飯綱	1991	パネルヒータ	155.1	3.2	1.2
9	"	飯綱	1967	石油ストーブ・コタツ	391.1	×	4.2	45	"	長野市	1993	パネルヒータ	195.5	2.4	2.0
10	1991	飯綱	1987	石油ファンヒータ	114.4	2.4	1.6	46	"	長野市	1993	FFファンヒータ	128.3	1.2	1.9
11	"	飯綱	1989	床暖房	176.9	6.1	1.7	47	"	長野市	1993	床暖房	234.4	6.7	2.4
12	"	飯綱	1969	温風暖房	170.9	9.8	3.0	48	"	長野市	1985	石油ストーブ・コタツ	108.5	12.5	7.2
13	"	長野市	1990	FFファンヒータ	138.4	1.3	1.7	49	"	長野市	1993	パネルヒータ	157.8	2.4	1.4
14	"	長野市	1990	温風暖房	219.8	6.4	1.9	50	"	飯綱	1983	石油ストーブ	149.0	12.0	3.2
15	"	長野市	1990	パネルヒータ	198.7	2.7	1.9	51	"	飯綱	1993	まきストーブ	164.0	10.0	3.1
16	"	長野市	1990	FFファンヒータ	130.6	0.7	1.7	52	"	飯綱	1991	まきストーブ	154.8	13.0	2.4
17	"	長野市	1989	石油ファンヒータ	123.9	5.3	3.7	53	"	長野市	1993	石油ストーブ・コタツ	200.0	5.6	2.4
18	"	長野市	1988	石油ファンヒータ	157.1	3.4	1.8	54	"	長野市	1989	石油ファンヒータ・コタツ	168.1	5.8	3.0
19	"	長野市	1989	パネルヒータ・コタツ	195.6	4.1	2.1	55	"	長野市	1994	石油ファンヒータ・コタツ	129.4	5.9	3.2
20	"	坂城町	1989	温風暖房	129.2	0.7	2.5	56	"	長野市	1977	FFファンヒータ	81.8	6.9	4.2
21	"	高山村	1990	パネルヒータ	188.9	2.5	1.8	57	"	長野市	1993	石油ストーブ・コタツ	139.3	5.5	3.0
22	"	長野市	1991	温風暖房	194.6	1.1	1.3	58	"	長野市	1994	温風暖房	179.9	3.0	1.5
23	"	松本市	1990	温風暖房	201.4	1.2	1.2	59	"	長野市	1992	石油ファンヒータ・コタツ	165.2	9.4	2.6
24	"	長野市	1974	石油ストーブ・コタツ	110.7	×	9.8	60	"	長野市	1982	石油ストーブ・コタツ	156.8	11.3	3.6
25	"	長野市	1975	石油ストーブ・コタツ	154.9	12.0	5.8	61	"	長野市	1992	石油ファンヒータ・コタツ	187.9	5.7	2.4
26	"	長野市	1976	パネルヒータ・コタツ	176.3	×	4.9	62	"	長野市	1977	石油ファンヒータ・コタツ	118.0	10.7	3.8
27	"	飯綱	1987	石油ファンヒータ	102.7	20.3	3.1	63	"	長野市	1993	FFファンヒータ・コタツ	213.9	6.3	2.3
28	"	長野市	1974	石油ファンヒータ・コタツ	111.5	18.4	5.0	64	"	長野市	1992	温風暖房・コタツ	236.0	3.0	1.3
29	"	長野市	1976	石油ストーブ・コタツ	135.0	10.0	4.8	65	"	須坂市	1992	温風暖房	224.8	4.2	1.9
30	1992	長野市	1982	石油ファンヒータ・コタツ	172.4	13.4	4.1	66	"	須坂市	1993	温風暖房	165.6	2.7	1.4
31	"	長野市	1981	石油ストーブ・コタツ	260.5	×	4.6	67	"	長野市	1993	温風暖房	117.3	1.9	1.5
32	"	長野市	1983	石油ファンヒータ・コタツ	164.8	11.0	4.0	68	"	長野市	1992	石油ファンヒータ・コタツ	114.5	7.4	2.6
33	"	長野市	1983	石油ストーブ・コタツ	143.3	8.2	3.6	69	"	長野市	1993	FFファンヒータ・コタツ	120.9	8.1	2.3
34	"	飯綱	1988	パネルヒータ	236.3	2.0	1.1	70	"	長野市	1994	暖炉・コタツ	239.7	7.1	2.1
35	"	飯綱	1990	パネルヒータ	79.8	3.7	2.1	71	"	長野市	1994	床暖房・コタツ	178.9	3.3	1.6
36	"	長野市	1991	パネルヒータ	136.6	2.6	1.7	72	"	長野市	1993	温風暖房	176.7	2.1	1.2

注釈 1) 相当隙間面積の単位は (cm²/m²)、×は測定不能

2) 熱損失係数の単位は (kcal/m²・h・℃)

は飯綱地区の住宅であった。飯綱は標高が高く積雪量も多いために、断熱には気を使っているが、気密に対しては施工が十分でない住宅が存在していたと考えられる。暖房方式の内訳を図-5に示す。熱損失係数が小さい住宅ほど、全室暖房や煙突付き個別暖房の割合が多くなった。B、C分類の住宅の大部分が、煙突なしの個別暖房であった。また、熱損失係数が小さい住宅ほどこたつの使用率が低くなった。

以上より、全体に建築年代が新しい住宅ほど、熱損失係数と相当隙間面積が小さくなる傾向が認められた。

4-2 アンケート調査対象住宅

アンケート回収住宅数の分類毎の集計結果を表-5に示す。回答者の分類毎の属性について、性別はどの分類もほとんど男女同数の回答が得られ、年代はどの分類も30代から60代の回答者が70%近くを占めていた。温冷感

図-2 熱損失係数と住宅の建築年代

図-3 相当隙間面積と住宅の建築年代

図-4 相当隙間面積と貫流熱損失係数

図-5 住宅分類毎の暖房方式

などに影響すると考えられる体調についての回答は、どの分類も普通から非常に良いと回答した人が90%を占め、体調不良による室内環境に対する意識への影響は少なかったと考えられる。分類毎の建築年代と延べ床面積を表-6に示す。建築年代ではA分類が最も新しく、C分類が古くなった。延べ床面積はA分類が最も大きく、C分類が小さくなった。住宅の収入の内訳を分類毎に図-6に示す。収入が700万円未満の住宅が各分類とも約50%を占め、また700~1000万円、1000万円以上の割合がほぼ同程度であり、住宅分類毎の収入の差は小さいと考えられる。居間の暖房方式について図-7に示す。A分類の住宅では図-5の結果と同様に、ストーブ、ファンヒーター（煙突なし）の利用率は低く、セントラルヒーティングのため、暖房器具を使用していないとの回答も他の分類の住宅に比べ多かった。B・C分類ではストーブ、ファンヒーター（煙突なし）の利用率が高い結果を得た。

以上より、アンケート調査対象住宅においても、温熱環境測定対象住宅と同様に、A分類の住宅が建築年代が新しくなる傾向が見られた。また、暖房方式についてもA分類の住宅は、煙突なしの個別暖房の使用率が低くなった。性別、年代、収入、体調については分類毎に顕著な差は見られなかった。

表-5 住宅分類毎の回答住宅戸数と人数

住宅分類	世帯数	回答者数
A分類	38件	88名
B分類	72件	179名
C分類	16件	39名
合計	126件	306名

表-6 住宅分類毎の建築年代と延べ床面積

	A分類	B分類	C分類
建築年代(年)	1992	1989	1982
延べ床面積(㎡)	172.6	165.9	138.2

図-6 アンケート対象住宅の分類毎の収入

図-7 アンケート対象住宅の分類毎の居間の暖房方式

5. 熱損失係数が室内温熱環境に及ぼす影響

5-1 居間の室内温度変動

各分類毎の明け方(4:00~6:00), 昼間(10:00~14:00), 団らん時(19:00~22:00)の室温の平均値と標準偏差を図-8に示す。各分類とも明け方, 昼間, 団らん時の順に高くなっていった。各時間帯ともA分類の住宅が最も温度が高く, C分類の住宅が低くなった。暖房を行っている団らん時でもA分類に比べB, C分類の温度が若干低くなった。これは熱損失量の差の他に, 図-5で示したこたつの使用率が影響していると考えられる。

5-2 明け方最低室温と最低外気温の関係

明け方最低居間室温と最低外気温の関係を図-9に示す。図中の楕円はA~C分類毎の各住宅の測定結果についての90%の信頼楕円²⁴⁾である。A分類の住宅は $\Delta T = 10 \sim 30^\circ\text{C}$, B分類は $\Delta T = 0 \sim 20^\circ\text{C}$, C分類は $\Delta T = 0 \sim 10^\circ\text{C}$ の間に位置していた。分類毎に差が現れる要因としては, 熱損失係数の大きい住宅ほど, 室温は外気温低下の影響を受けやすいことと, 暖房方式の違いによるものと考えられる。

図-8 住宅分類毎の各時間帯の平均値と標準偏差

図-9 居間の明け方最低居間室温と最低外気温

5-3 上下温度差と室内外温度差の関係

居間団らん時における上下温度差(床上1.5mと0.05mの温度差)と室内外温度差(床上1.5mと外気の温度差)の関係を図-10に示す。図中に示す直線は上下温度差係数 r (上下温度差/室内外温度差)である。熱損失係数が小さい住宅ほど上下温度差が小さい図中右下に位置し, 室内温熱環境は良好であると考えられる。暖房によって室内外温度差が 20°C 程度生じた時において, 熱損失係数が小さい住宅ほど上下温度差が小さく抑えられる傾向が認められた。

図-10 居間の団らん時における上下温度差と室内外温度差

図-11 団らん時のグローブ球-乾球温度差と上下温度差係数

5-4 グローブ温度差と上下温度差係数の関係

居間の団らん時におけるグローブ温度差（グローブ球と乾球の温度差）と上下温度差係数（上下温度差／室内外温度差）の関係を図-11に示す。図中右下に位置するほど上下温度差が大きく、冷輻射を感じる室内環境であると考えられる。熱損失係数が大きな住宅では上下温度差係数が大きく、グローブ温度の方が乾球温度に比べ低くなる傾向が認められた。各部位の熱貫流率が大きい程、室内側表面温度が室温よりも低くなるために、冷輻射を感じる室内温熱環境になると考えられる。また、窓面等の近傍ではコールドドラフトが起り、上下温度差が生じやすくなると考えられる。その現象がB・C分類の信頼楕円の形状が右下がりになったことに現れていると考えられる。

5-5 居間と他室の温度差

居間室内外温度差と他室室内外温度差（他室1.5mと外気の温度差）の関係を図-12に示す。信頼楕円の形状より、A分類の住宅は、図中の r' （他室室内外温度差／居間室内外温度差）=1.0の点線に平行な形状となり、他室の室温も居間室温に近くなっていた。その他の住宅では楕円が $r' = 0.4 \sim 0.8$ の点線の間に位置し、居間の室温に比べ他室の室温は低くなった。この様な差が生じる要因は、熱損失係数の小さな住宅では室内からの熱損失量が小さいことと、図-5に示した全室暖房を行う暖房器具の設置率の差によると考えられる。

以上より、熱損失係数が小さい住宅ほど、明け方の室温低下、上下温度差、グローブ温度差、空間温度差がいずれも小さく抑えられる傾向が認められた。また、全体

図-12 団らん時における居間室内外温度差と他室室内外温度差

的に確率楕円の形状がA分類では大きく、C分類では小さくなる。これより、A分類のような断熱気密化された住宅では、暖房方式や住まい方によって室内温熱環境に差が現れると考えられる。

6. 熱損失係数が居住者意識に及ぼす影響

居間の冬季温熱環境に対する居住者の意識は、7段階の評価尺度を用いて調査を行った。評価尺度の例を図-13に示す。住宅分類別の温熱環境に対する評点の平均値を図-14に示す。温冷感、A分類の住宅のみが普通よ

図-13 評価尺度の例（早朝の居間の温冷感について）

図-14 住宅分類毎の室内温熱環境に対する居住者の評点の平均値

図-15 住宅分類毎の放射熱を感じる部位についての回答

図-16 住宅分類毎の居間との温度差を感じる部屋についての回答

り暑いと回答していた。上半身と下半身の温冷感についても同様な結果であるが、A、B分類では下半身の方が寒いと回答していた。これは、図-10と異なる結果であるが、C分類の住宅では室温が低く、上半身も寒く感じていたために下半身との温度差を感じなかったと考えられる。空気の乾燥度合いでは、A分類が最も空気の乾きを感じていた。気流については、いずれの分類の住宅でも普通より感じないと回答していたことから、室内での気流の発生は小さいと考えられる。放射熱（ひんやりした感じ）を感じる方向の回答を図-15に示す。A分類は床面が最も多くなったが10%程度の低い値であった。B・C分類の住宅では窓面との回答が多くなった。この原因として考えられるシングルガラスの使用率は、B分類27.8%、C分類75%であった。A分類ではシングルガラスは使用していなかった。C分類では床面からの放射熱を感じるとの回答も30%近くあった。C分類の住宅で床に断熱材を使用していない割合は37.5%であった。放射熱に対してはC分類の住宅のみ普通よりも不快と感じていた。これは、窓面からの冷輻射や床面の冷えが影響したと考えられる。居間と他室との温度差ではA分類のみが感じないと回答していた。温度差を感じる場所の内訳を図-16に示す。温度差を感じる場所として回答が多いのは、廊下、便所、玄関といった非居室であった。特にB・C分類の住宅では回答の割合が多く、温度差に対して不快と感じていた。早朝の居間の温冷感ではいずれの分類でも普通より寒いと回答していたが、C分類の評点は、他の温冷感に関する質問項目の結果と比較して最も低くなっていた。

以上より、室内温熱環境に対する居住者意識においても、熱損失係数の分類毎に差が認められた。温冷感についてはA分類の住宅のみ普通よりも暑い側の評点であった。C分類の住宅では、放射熱（ひんやり感）を感じる部位について、シングルガラス、床断熱の使用率との関係から、窓面・床面との回答が多くなった。

7. 室内温熱環境と居住者意識の関係

熱損失係数による住宅分類毎の、室内温熱環境と居住者意識の差について明らかにした。ここでは、さらに両者の比較可能な項目について、室内温熱環境と居住者意識を対応させ、両者の関係を明らかにする。また、AからC分類の室内温熱環境の物理量の変化と、それに対する居住者の評点の変化の関係について考察する。

横軸に明け方外気温最低時の室内外温度差、縦軸に早朝の温冷感についての居住者意識を取り、分類毎の平均値をプロットしたものを図-17に示す。A分類の住宅のみ明け方においても室内外温度差は18℃近くあり、それに対する居住者の意識も暑くも寒くもない「普通」の回

答を示した。B、C分類の住宅では室内外温度差が小さく、居住者の意識も「やや寒い」から「かなり寒い」となった。A分類からC分類がほとんど一直線上に並んだことから、室内外温度差の変化とそれに対する居住者の評点の変化が対応していたと考えられる。

横軸に団らん時居間の平均室温、縦軸に居間の全身の温冷感についての意識を取ったものを図-18に示す。A分類の住宅は室温が20℃を越え、居住者の意識も「普通」であった。B、C分類の住宅の室温は約15~18℃であり、「やや寒い」程度の評点であった。A分類の住宅では室温と共に図-15で示したように冷輻射の影響も小さいために、寒さを感じていなかったと考えられる。

横軸に団らん時居間の平均相対湿度、縦軸に居間の空

図-17 明け方外気温最低時の室内外温度差と早朝の温冷感についての居住者意識

図-18 団らん時の平均室温と全身の温冷感についての居住者意識

図-19 団らん時の平均相対湿度と空気の乾燥度合いについての居住者意識

図-20 室間温度差係数と居間と他室の温度差についての居住者意識

気の乾燥度合いに対する居住者意識を取ったものを図-19に示す。C分類の住宅の相対湿度が60%であり、居住者の意識も「普通」であった。それに対し、A分類の住宅の相対湿度は45%以下であり「やや乾いている」との評点であった。相対湿度に差が生じる原因は、A分類の住宅の室温が最も高いことと、パネルヒーターや温風暖房などの水蒸気を発生しない暖房器具の使用率が多いことによると考えられる。

横軸に空間温度差係数（他室室内外温度差／居間室内外温度差）、縦軸に居間と他の部屋の温度差についての居住者意識を取ったものを図-20に示す。A分類のみ空間温度差係数が0.8に近く、居住者意識も温度差を感じない「普通」の評点を示した。空間温度差係数の各分類毎の差は0.2程度であるが、それに対する居住者の評点はCからB分類への変化に比べ、BからA分類への変化が大きくなった。

以上より、室内温熱環境とそれに対する居住者意識の変化は、対応していることが明らかになった。また、AからC分類の居住者の室内温熱環境に対する評点の変化が、質問項目によって異なることが認められた。

8. まとめ

長野市を中心とした一戸建住宅の室内温熱環境測定、居住者意識調査、熱損失係数の計算を行った。その結果を基に熱損失係数の観点から室内温熱環境、居住者意識の差について明らかにした。本研究で得られた結果をまとめると以下の通りである。

(1) 住宅の熱損失係数、相当隙間面積と建築年代との関係より、建築年代が新しい住宅ほど各性能値が小さくなり断熱気密性能が向上する傾向が認められた。

(2) 明け方、昼間、団らん時の各時間帯とも、住宅の平均室温は熱損失係数の小さい順に高くなった。これは住宅のシェルター性能とこたつの使用率の違いによるものと考えられる。

(3) 室内外温度差が同一条件であれば、熱損失係数が大きな住宅ほど、グローブ温度の方が乾球温度に比べ低くなる傾向が認められ、冷輻射を感じる室内温熱環境になると考えられる。また、窓面等の室内表面温度が室温よりも低温になりコールドドラフトが生じ、上下温度差が大きくなる傾向が、B・C分類の信頼楕円の形状が右下がりになったことに現れていると考えられる。

(4) 居住者の室内温熱環境に対する意識において、住宅分類毎に差が現れ、温冷感で普通より暑い側に回答しているのはA分類の住宅のみであった。これは室温が比較的高いことと共に、冷輻射の影響が小さいことによると考えられる。

(5) シングルガラス使用率の比較的大きいB、C分類

の住宅の多くは「窓面」において放射熱（ひんやり感）を感じると回答していた。さらに、床の断熱材使用率が少ないC分類の住宅は「床面」という回答も多くなった。

(6) A分類の住宅では相対湿度が40%程度となり、居住者は「やや乾いている」と回答していた。これは、A分類の住宅の室温が高いことと、水蒸気を発生する暖房器具の使用が少ないためと考えられる。

(7) 室内温熱環境とそれに対する居住者意識は対応していた。また、AからC分類の室内温熱環境の物理量変化に対する居住者の評点の変化が、質問項目によって異なることが認められた。

(8) 新省エネルギー基準の長野県の基準値を満たす住宅の温熱環境に対する居住者意識は、ほとんどの項目で普通より良い結果となった。

今後は夏季の調査も含めより詳細な検討を行い、長野県に適した住宅について明らかにする予定である。

謝辞

本研究の調査にあたり、長野県内の建設業者および居住者の皆様に多大なるご協力を頂いた。また、東北大学吉野博教授には貴重な御指導を頂いた。調査・データ整理・解析には信州大学学生の岸美宏、大谷真弘、鈴木祐樹、シム・イン・カン、長谷川克己、長江謙二、大西敏、金沢宣幸、野口吉正、佐々木武信、佐藤友紀、須原公人、服部真治の諸氏にご協力頂いた。ここに記して深謝の意を表す。

本論文に関連する既発表論文

- 1) 加藤友也、山岸明浩、山下恭弘ほか2名：長野県の一戸建て住宅における温熱環境に関する調査研究 その1～その4、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 1045～1052、1992年8月
- 2) 加藤友也、山岸明浩、山下恭弘：長野県の一戸建て住宅における温熱環境に関する研究 その5～その6、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 1511～1514、1993年9月
- 3) 加藤友也、山岸明浩、山下恭弘ほか2名：長野県の一戸建て住宅における温熱環境に関する調査研究 その7～その9、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 603～608、1994年9月

参考文献

- 1) 絵内正道、荒谷 登：居住室の温熱環境の実態－その1・寒さに応じた住まい方と室温変動パターンについて－、日本建築学会論文報告集、第264号、pp. 91～98、1978年2月
- 2) 絵内正道、荒谷 登：居住室の温熱環境の実態－その2・寒さに応じた住まい方と設定室温について－、日本建築学会論文報告集、第265号、pp. 105～113、1978年3月
- 3) 長谷川房雄、吉野 博：東北地方の各種住宅における冬の室温に関する調査研究、日本建築学会計画系論文報告集、第371号、pp. 18～26、1987年1月
- 4) 吉野 博、長友宗重、石川善美：東北地方のコンクリート造集合住宅における冬の室温に関する実測調査、日本建築学会計画系論文報告集、第399号、pp. 11～20、1989年5月
- 5) 水谷国男、岩瀬昭雄、赤林伸一：新潟市の中層集合住宅における温熱空気環境に関する調査報告、日本建築学会計画系論文報告集、第407号、pp. 27～36、1990年1月

- 6) 赤林伸一, 水谷国男: 北陸地方における温熱環境調査 その1, その2, 日本建築学会北陸支部研究報告集, 第31号, pp. 123~130, 1988年6月
- 7) 岩瀬昭雄, 赤林伸一, 水谷国男: 北陸地方の住宅における温熱環境調査 その3, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 595~596, 1988年10月
- 8) 赤坂裕, 黒木荘一郎, 小原聡司: 奄美大島の木造戸建て住宅の夏季及び冬季の温熱環境実測調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1043~1044, 1992年8月
- 9) 川島美勝他: 住宅熱環境の調査と評価方法, 第17回人間-生活環境系シンポジウム報告集, pp. 210~215, 1993年12月 ほか一連の研究
- 10) 榎本ヒカル, 久保博子, 磯田憲生, 梁瀬度子: 放射熱暖房が高齢者に及ぼす影響に関する実験的研究その1~3, 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 731~732, 1991年9月 ほか
- 11) 松原斎樹, 澤島智明他: 冬の住宅居間の熱環境と居住者の意識・住まい方その1~5, 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 1055~1056, 1993年9月 ほか
- 12) 宇田川光弘, 木村健一: 多数室室温変動の実用的計算手法と断熱雨戸の熱的効果の検討, 日本建築学会論文報告集, pp. 125~132, 昭和53年3月
- 13) 長谷川房雄, 石川善美, 松本博: 室内相互ふく射を考慮した多数室室温変動, 日本建築学会論文報告集, pp. 78~86, 昭和58年1月
- 14) 石田健一, 宇田川光弘: 室温・熱負荷計算における換気回路網計算法の実測データによる検証, 日本建築学会計画系論文報告集: pp. 60~69, 1988年6月 ほか一連の研究
- 15) 住宅新基準解説書編集委員会編: 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年
- 16) 石田健一, 鎌田元康, 千田善孝, 星川邦彦, 林基哉: 建物の気密性を用いた換気量の簡易計算法, 日本建築学会計画系論文報告集, pp. 23~31, 1992年8月
- 17) 斎藤平蔵: 建築気候, 共立出版株式会社, 初版17刷発行, 1991年

注

注1) 湿球温度計は, 水の入ったフィルムケースの蓋に穴を開け, そこから水で湿らしたガーゼ等を出し, そこに熱電対を設置したものである。補正式を求めるデータは, 同じ場所で同時刻にアスマン通風乾湿計の値と, 乾球温度, 湿球温度の値を利用した。補正のための測定は1住宅当たり4~5回実施した。室内であるので原則として, 風速の変化は無いと考え, 設置場所も風速の変化が極力起こらない所を選択した。アスマン通風乾湿計から求めた相対湿度と, 熱電対から求めた相対湿度から, 最小2乗法により補正式を求めた。補正方法については実験室で精度の確認を行っている。測定対象が一般住宅であるため, 極力迷惑をかけないように無電源で簡易的に測定を行うために本方式を採用した。

注2) 気密測定器にはコーナ札幌製KNS-4000を使用している。この測定器はJISB8330に準拠した方法で風量の検出が行われている。測定は最低2回以上実施し, データにばらつきが無いことを確認している。測定結果のばらつきや差圧, 風量が安定しない場合について後日再測定を実施している。

注3) 熱損失係数の計算方法は, 各部位からの貫流熱損失については, 新省エネルギー基準(参考文献15)に従い柱部等を考慮した実質熱貫流率を求めて算出した。換気による熱損失については, 新省エネルギー基準で自然換気回数が規定されているが, より住宅の気密性能が反映されるように以下の方法で求めた自然換気回数を利用して算出した。

建物の気密性能を用いた換気量の計算法は多くの研究者が提案しているが, 本研究では石田らが提案した計算法(参考文献16)で行った。

$$P_t = (\gamma_o - \gamma) \times h$$

$$P_w = 0.5 \times (C_1 - C_2) \times (V/4)^2$$

$$0.5 \times P_t > P_w \rightarrow \Delta P = P_t / 4 + P_w^2 / P_t$$

$$0.5 \times P_t \leq P_w \rightarrow \Delta P = P_w$$

$$Q = 0.73 \times \alpha A (\Delta P)^{1/n}$$

$$\text{換気回数 (回/h)} = Q / \text{気積}$$

$$P_t: \text{温度差による換気駆動力}$$

$$\gamma_o: \text{屋外空気比重 [kg/m}^3\text{]} \quad \gamma: \text{室内空気比重 [kg/m}^3\text{]}$$

$$h: \text{建物高さ(最下階床から最上階天井間)} [\text{m}]$$

$$P_w: \text{風力による換気駆動力} \quad V: \text{風速 [m/s]}$$

$$C_1: \text{風上側風圧係数} \quad C_2: \text{風下側風圧係数}$$

※風速は長野市内で1994年の温熱環境測定時期である1月から3月に超音波風速計によって測定した平均屋外風速の2.26 [m/s] を使用した。データのサンプリング方式は気象庁と同様な10分間の平均値とした。風圧係数は基準風圧係数(参考文献17)と, 各住宅の屋根勾配から決定した。

注4) 信頼楕円とは, 資料(X, Y)が楕円の内部の領域

$$\text{領域 } D = \{(X, Y) | X^2 - 2\rho XY + Y^2 \leq (1 - \rho^2)k^2\}$$

に与えられた確率 α ($0 \leq \alpha \leq 1$)だけの割合で含まれるものである。

$$\text{確率 } \alpha \quad P\{(X, Y) \in D\} = \alpha$$

α が与えられたとき, 上式を満たす楕円

$$X^2 - 2\rho XY + Y^2 = (1 - \rho^2)k^2$$

を信頼度 α の信頼楕円という。信頼度 α の値が与えられたとき, これに対する信頼楕円の k の値を算出するには

$$\iint_D \phi(X, Y) dX dY = \alpha$$

$$\phi(X, Y) = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left\{-\frac{X^2 - 2\rho XY + Y^2}{2(1-\rho^2)}\right\}$$

となるような D を求める必要がある。しかし, このとき

$$\chi^2 = \frac{X^2 - 2\rho XY + Y^2}{1 - \rho^2}$$

とおくと(X, Y)が標準正規分布 $\phi(X, Y)$ をするとき, この χ^2 は自由度2の χ^2 分布する。よって, 信頼度 α に対し

$$P\{X^2 - 2\rho XY + Y^2 \leq (1 - \rho^2)k^2\} = P(\chi^2 \leq k^2) = \alpha$$

となるような k^2 の値は, χ^2 分布表によって下表のように与えられている。

α	0.25	0.50	0.75	0.90	0.95
k^2	0.5754	1.3863	2.7726	4.6052	5.9915
k	0.76	1.18	1.67	2.15	2.45

また, 相関係数 ρ は下式によって求められる。

$$\rho = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})(y_j - \bar{y})}{\left[\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2 \sum_{j=1}^n (y_j - \bar{y})^2 \right]^{1/2}}$$

k^2 値と, 相関係数 ρ が決まれば下式より信頼楕円の式が求められる。

$$\frac{\xi^2}{(1+\rho)k^2} + \frac{\eta^2}{(1-\rho)k^2} = 1$$

(1994年7月10日原稿受理, 1995年1月20日採用決定)