2011年長野県北部地震における 応急仮設住宅の居住環境に関する研究

— 温熱環境調査 —

A STUDY ON RESIDENTIAL ENVIRONMENT OF EMERGENCY TEMPORARY HOUSING IN NORTHERN NAGANO EARTHQUAKE 2011

— Thermal environmental research —

矢野裕吾 — * 1 高木直樹 — * 2
松本知佳 — * 3 柳瀬亮太 — * 4

Yugo YANO — * 1 Naoki TAKAGI — * 2
Chika MATSUMOTO — * 3 Ryota YANASE — * 4

キーワード:

栄村, 仮設住宅, 温熱環境, 長野県北部地震

Keywords:

Sakaemura, Emergency housing, Thermal environment, Northern Nagano earthquake

About temporary house of disaster, bad residential environment was reported by many interview researches. This paper describes year-round physical residential environment research about earthquake temporary house in Sakae village Nagano prefecture. In summer, it has bad ventilation, and hot air pools in temporary house at night. In winter, surface temperature is low at ceiling and finestra, as weakness of thermal insulation. Capacity of exhaust fan comes short, and then condensation is confirmed. Because of majority of inhabitants fails information about air conditioning and ventilation, residential environment degenerate. The necessity of guidance about resident method is checked out.

1. はじめに

2011年3月12日の長野県北部地震により、下水内郡栄村に大きな被害が出た。それにより、横倉農村広場に50戸、北野天満温泉に5戸、計55戸の仮設住宅が建設された。仮設住宅は自宅が居住不可能と判定された住民が一時的に避難する住宅であるが、被災住民が住宅を建て直すことができず、最大2年と定められている期間住み続ける場合も多い。しかし、仮設住宅は劣悪な居住環境である場合がある。また、栄村は特別豪雪地帯の指定を受けている日本有数の豪雪地帯である。平均年齢は56.4歳であり、厳しい環境下での仮設住宅の性能、高齢者の健康への影響は不明である。過去の研究において、温熱環境の悪さは度々指摘されているが、多くはアンケートによる調査であり、物理的環境調査で実態を把握した例は少ない。

本研究では、仮設住宅の温熱環境を調査するために室内外に温熱環境測定器を設置し、物理的環境調査を行う。同時に夏期、冬期に住民アンケートを行い、仮設住宅が持つ問題点を抽出し、住まい方を調査した¹⁾。実測調査とアンケート調査により温熱環境の実態を把握し、現状の把握と課題の検証を行い、今後の仮設住宅のあり方について検討を加えることを目的に調査を行う。

2. 実測概要

2.1 実測対象概要

本研究では、横倉農村広場グラウンドの仮設住宅50戸の内、5戸を対象に実測を行う。図1に仮設住宅の内観と外観、図2に対象となる仮設住宅の矩計図、表1に実測対象の概要を示す。表1の補正

基準値とは次世代省エネルギー基準における小規模住宅の値である。表1から、Aの熱損失係数は基準を満たしておらず、BとCはほぼ基準値程度であり、DとEは基準を満たしている。

図1 仮設住宅の外観と内観

図2 矩計図

¹⁾ 名古屋市役所
(〒380-8553 長野市若里4-17-1)
²⁾ 信州大学工学部建築学科山岳科学総合研究所 (併任) 教授
³⁾ 榑土屋建築研究所
⁴⁾ 信州大学工学部建築学科山岳科学総合研究所 (併任) 講師

¹⁾ Nagoya City Hall
²⁾ Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Institute Mountain Science, SHINSHU Univ.
³⁾ Tsuchiya Architects & Engineering INC.
⁴⁾ Lecturer, Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Institute Mountain Science, SHINSHU Univ.

2. 2 実測方法

表2に実測項目と測定期間、測定方法などの実測概要、図3に対象住宅と各実測項目の測定点を示す。

3. 夏期実測結果と考察

3. 1 風向・風速

図4に屋外の風向・風速、図5に周辺地図と主風向を示す。8月、9月ともに川に沿って南西からの風が多く、9月は北東方向からの風も多い。9月7日に室内で風の流れを測定した。ほとんどの測定では室内で風速は観測できなかった。仮設住宅の開口が主風向に対して平行であり、風が入りにくいためだと考えられる。

表1 実測対象の概要

住戸記号	A	B	C	D	E
間取り	1DK	2DK	2DK	3K	3K
同居人数	1	2	2	5	4
床面積㎡	18.36	27.82	27.82	36.66	37.18
熱損失係数*1	3.27	2.8	2.8	2.66	2.55
補正基準値*1	2.9	2.79	2.79	2.68	2.67
夏期	在宅状況	在宅	屋半分、夜在宅	通勤	通勤
	冷房器具	AC*2	AC、扇風機	AC、扇風機	AC
	使用状況	室温28℃で運転	基本的には扇風機	暑いときAC	常にAC運転
	換気扇運転状況	使わない	使わない	夕食時のみ時々運転	居間は常時、キッチンは使用時
	窓開閉	開放	開放	開放	一時的開放
冬期	在宅状況	在宅	在宅	通勤	在宅
	暖房器具	AC、コタツ	FH*3、コタツ、電気ストーブ	FH、コタツ	AC、FH、電気カーペット
	使用状況	常時AC、コタツ	常時コタツ、寒いとFH	常時FH、コタツ	常時AC、電気カーペット
	換気扇運転状況	居間AC使用時、キッチン使用時	居間常時、キッチン使用時	夕食時のみ	全換気扇常時使用
	窓開閉	朝開放	朝、掃除時開放	1日3・4回開放	掃除時開放
*1 w/㎡・k		*2 エアコン		*3 灯油ファンヒーター	

表2 実測概要

実測項目	測定場所	測定器	測定期間	設置数	備考
外気温湿度	住宅外部廊下	自然通風2重筒内で測定、温湿度計	7/29～1/20	1カ所	
室内温湿度	床上1200温湿度	温湿度計	同上	1カ所*	
	床上1200温湿度、床上100温湿度、天井100温湿度	温湿度計、温度計	同上	3カ所*	
風向風速	駐車場そば	2次元風向風速計	8/19～10/31	1カ所	地上1.5m
表面温度	地表面、外壁、室内	サーモカメラ、放射温度計	9/7、1/18	54カ所	10時、14時、18時
グローブ温度	室内床上1200	グローブ球、温度計	9月7日	2カ所	9時～19時
風向風速(室内)	床上1200	3次元風向風速計	9月7日	4カ所	10時、14時、18時に窓を開放して測定

図3 対象仮設住宅と測定点

図4 屋外の風向・風速

図5 周辺地図と主風向

3. 2 外気温と室温

図6に外気と室内の時刻別平均温度変動のグラフを示す。外気温が高かった2011年8月5日から8月15日における各日の同時刻(1時間ごと)の温度の平均値をとり、そのプロット点をつないだものであり、夏期の平均的な温度変動を示すグラフである。

図6より、すべての住戸で夜から朝にかけて外気温よりも室温が高くなっているのが確認できる。最大で4℃～5℃以上、外気温よりも室温が高くなっており、夜間の室温が最も低かったE(3K)においても、最低室温は26℃以上になっている。これは、窓を開放しても通風状況が悪く、室内に熱がこもってしまっているためである。

また、住まい方によって各住戸の温熱環境に差が出ている。A(1DK)では、日中も在宅しており、室温が28℃を超えたらエアコンをつけるようにしているため、日中でも室温は28℃前後までしか上がっていない。E(3K)では、帰宅後すぐにエアコンをつけ、エアコンの使用頻度も高いため、室内の空気が冷やされ、夜間の室温が5戸の中で最も低くなっている。それに比べてB(2DK)では、エアコンの使用頻度は低く、夜間は使用していないため、16時の時点ではE(3K)と室温がほぼ同じであるが、17時以降は徐々に差が開き、23時ではE(3K)より約3.4℃高くなっている。

栄村の仮設住宅入居者の平均年齢は66歳と高く、高齢者単身、もしくは高齢者と同居世帯がほとんどである。日本建築学会高齢者生活熱環境研究会では「高齢者・身障者に配慮した住宅温熱環境評価基準値」(1991改定)を定めている³⁾。夏期の場合、居間・食堂・寝室では25±2℃であり、基準を満たしているのはE(3K)の22:00-0:00とA(1DK)の16:00、17:00、19:00、20:00、C(2DK)の6:00のみである。

これらの結果から、仮設住宅に越してきた住民に対する夜間の高温対策の周知が必要であることがわかった。

3. 3 表面温度

屋外と室内で熱画像を撮影し、各撮影点において放射温度計で表面温度を測定した。図7に屋外での熱画像の撮影点を示す。撮影点2は図3のE住戸周辺を撮影している(図8)。撮影点4は住戸Eを含む南側の住宅とその北側の住宅を北東側から撮影している(図9)。

図8、図9の熱画像で、すだれや壁面緑化による表面温度の低減が確認できる。また、表3は放射温度計で測定した屋外の表面温度である。「すだれ(ガラス)」や「緑(壁)」という項目はすだれや植物の下(影になっている部分)の外壁や窓ガラスの表面温度である。直射日光が当たる10:00の南東の外壁、ガラス面において、すだれ

図7 屋外表面温度測定点

表3 屋外表面温度

測定場所		10:00	14:00	18:00
1	地表面	38	50	28
	土	21	30	19
2	南東外壁①	35	26	18
	c ガラス	27	25	18
	d すだれ	34	25	18
	すだれ(壁)	25	25	19
3	北西外壁②	20	25	20
	すだれ	13	24	20
	a すだれ(壁)	13	24	20
	すだれ(ガラス)	20	25	20
4	b 壁	15	23	21
	緑	26	19	16
	緑(壁)	26	27	19
	すだれ	25	25	18
	すだれ(壁)	25	24	19
	壁	40	25	18

や壁面緑化によって -7°C から -15°C の表面温度の低減が見られた。表4に室内側の表面温度、図10に室温とグローブ温度を示す。山口らの研究⁴⁾では壁面や天井の断熱性能が低く、室内表面温度に日射の影響が見られたが、今回は壁面や天井に日射の影響は見られなかった。そのため、すだれの有無によって内壁の表面温度や室温とグローブ温度に違いはなかったが、直射日光の当たる10:00における南東のガラス面で、すだれありの表面温度のほうが 3°C 低くなっている(図中○印)。また、窓からの日射の影響により、11時頃までは和室より洋室の室温のほうが高くなっている。

4. 冬期実測結果と考察

4. 1 結露の発生状況と表面温度

表5に結露の発生場所と発生状況を示す。ヒアリングと目視による確認を行った。また、図11から図15に発生場所の熱画像を示す。

ドア、窓は隣接する壁面との温度差は最大で 9°C 、天井は同じ部屋内で最大 8°C あった。図13で確認できるように、天井の端部では断熱材が途切れているため、表面温度が低くなっている。そして、図14、図15より、配線や梁、排気管の周囲で表面温度が低くなっており、断熱材が途切れていると推測できる。また、天井の表面温度にむらがあるのは、グラスウールの施工むらによるものと思われる。結露による被害として、天井の壁紙が剥がれてくる、カビの発生などの問題が起きている。結露により溜まった水が凍ってドアが開かなくなった事例もあり、生活に支障をきたしている。

4. 2 温度と湿度

図16に外気と室内の時刻別平均温度変動のグラフ、図17に時刻別平均上下温度差のグラフを示す。外気温が低かった2011年12月15日から12月20日における各日の同時刻の温度・上下温度差の平均値をとり、そのプロット点をつないだものである。これは冬期の平均的な1日の温度、上下温度差の変動を示している。また、図18にこの期間の室内上下温度差と室温の関係、表6に外気と室内の絶対湿度差(外気-室内)の平均値を示す。

図16より、熱損失係数が比較的大きく、ファンヒーターを使わないA(1DK)では、5戸の内でも最も室温が低くなっている。他の住戸では、暖房時は 20°C 前後まで室温が上がっており、「高齢者・身障者に配慮した住宅温熱環境評価基準値」の冬期における居間・食堂の $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、寝室の $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ を満たしているか近い数値になっている。

図16と図17を比べると、多くの住戸で室温が高い時ほど上下温度差も大きくなっているが、D(3K)の上下温度差はあまり変化していない。図18を見ると、D(3K)では相関係数 $R=0.44$ であり、上下温度

差と室温に若干の相関があるが、傾きは0.07と極めて小さい。それに比べ、A(2DK)は $R=0.86$ で傾きは0.85、E(3K)は $R=0.91$ で傾きは0.68とどちらも強い相関があり、傾きはD(3K)と比べて大きい。室温が高い時ほど、つまり暖房器具の使用によって上下温度差が大きくなっている。D(3K)で上下温度差があまり変化していないのは、電気カーペットを使用しているためだと考えられる。長井⁵⁾は電気カーペットを使用すると室全体の温度、特に上下温度分布がほぼ均一になると述べており、同様の傾向を示した。

表1、表6より、外気と室内(居間)の絶対湿度差を間取り、同居人数が同規模の住戸で比べると、ファンヒーターの使用頻度が高いC(2DK)とE(3K)は使用頻度が低いB(2DK)、D(3K)と比較して絶対湿度差が大きくなった。また、防露判定基準⁶⁾では気温 15°C 未満の時、外気絶対湿度 $+3(\text{g/kgDA})$ となっており、C(2DK)、D(3K)、E(3K)は満たしていない。D(3K)とE(3K)は常に換気扇を運転させているが、水蒸気の発生量に対して十分な換気能力を有していない。D(3K)はファンヒーターの使用は少ないが、家族人数が5人と多く、生活で発生する水蒸気が多くなっていると推測する。4.1に示した結露の状況やこれらの結果から、防露判定基準を満たしていても、表面温度を高く保たなければ栄村のような寒さの厳しい地域では結露を防ぐことができないことがわかる。

表6 絶対湿度差の平均値(2011/12/15-12/20)(室内-外気)

	A(1DK)	B(2DK)	C(2DK)	D(3K)	E(3K)
外気との絶対湿度差(g/kgDA)	1.07	2.19	3.23	4.23	4.85

5. まとめ

本研究では、栄村の仮設住宅5戸を対象に温熱環境を測定した。最低限の断熱性能は確保されていたが、地域性や気候に対する配慮が不足し、様々な問題が発生していた。夏期において、風が開口と平行に吹いており、窓も小さいため、室内にあまり風が入ってこない。その結果、換気が満足にできず、夜間の室温は外気温よりも $3\sim 4^{\circ}\text{C}$ ほど高くなっていた。冬期において、結露が深刻な問題となっていた。大人数用の住戸における水蒸気発生量に対する換気能力は十分ではなかった。寒さの厳しい地域では、防露判定基準を満たしていても、開口や天井などの断熱性能を良くしなければ防露対策としては不十分である。また、夏期、冬期ともに住まい方によって室温や湿度、温度分布に違いが見られた。

今後の仮設住宅への展望としては、地域性や気候についてより配慮した仮設住宅の設計、計画を行うことで、寒冷地に適した断熱対策、結露対策を行うべきであると考えられる。また冷暖房また慣れない仮設住宅暮らしを送り、数年の居住を余儀なくされる住人への仮設住宅における温熱対策などの住まい方の指導も重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 松本知佳他：2011年長野県北部地震における応急仮設住宅の居住環境に関する研究，日本建築学会技術報告集，Vol.19, No.42, pp.715-718, 2013.6.
- 2) 日本建築学会：高齢者のための建築環境，彰国社，1998.
- 3) 山口雅子他：兵庫県南部地震における応急仮設住宅の事例研究 第2報，日本建築学会近畿支部研究報告集，pp.433-436，1997.6.
- 4) 長井秀樹・梶井宏修：仮設住宅の温熱環境調査，日本建築学会近畿支部研究報告集，pp.269-272, 1997.6.
- 5) 建築環境省エネルギー機構：住宅の省エネルギー基準の解説 第3版，2010.

図 6 外気と室内の時刻別平均温度(2011/8/5-8/15)

図 8 熱画像(撮影点 2)

図 9 熱画像(撮影点 4)

表 4 室内表面温度

測定場所		10:00	14:00	18:00
a 洋室(°C)	北西	16	23	26
	北東	16	22	26
	南東	17	23	26
	南西	16	22	26
	床	16	21	25
b キッチン(°C)	天井	17	24	26
	北西	17	23	27
	北東	16	23	26
	南東	17	24	27
	南西	17	23	27
c 洋室(°C)	床	16	22	24
	天井	17	24	26
	北西	18	23	25
	北東	17	23	26
	南東	18	23	26
d 和室(°C) (すだれあり)	南東(ガラス)	23	23	24
	南西	17	22	26
	床	20	22	24
	天井	19	24	25
	北西	16	23	25

図 10 室温とグローブ温度

図 12 窓の表面温度分布

図 13 天井の表面温度分布 (C:キッチン)

図 14 天井の表面温度分布 (B:キッチン)

表 5 結露の発生状況

	結露の発生場所と状況
A (1DK)	ドア、天井。特にドアの結露はひどく、朝、結露によって溜まった水が凍って開かなくなったこともある。
B (2DK)	ドア、窓、天井。換気扇のついていない部屋の窓が毎朝結露する。
C (2DK)	ドア。あまり気にしたことはない。しかし、ドアは結露していたため、他の場所も結露している可能性あり。
D (3K)	ドア、窓、天井。窓は全部屋で結露する。
E (3K)	ドア、窓、天井、トイレの天井、トイレの天井(換気扇の横)が一番ひどい。

図 11 ドアの表面温度分布

図 15 天井の表面温度分布 (E:トイレ)

図 16 外気と室内の時刻別平均温度(2011/12/15-12/20)

図 17 時刻別平均上下温度差(2011/12/15-12/20)

図 18 時刻平均における上下温度差と室温の関係

[2013 年 1 月 15 日原稿受理 2013 年 7 月 3 日採用決定]