

住宅内の温熱環境及び暖房方式が在宅時の身体活動に及ぼす影響の検討

Examination of the effect of thermal environment and heating system in a house on physical activity at home

学生会員 ○明内 勝裕 (慶應義塾大学) 正会員 伊香賀 俊治 (慶應義塾大学)
正会員 小島 弘 (慶應義塾大学) 正会員 伊藤 真紀 (積水ハウス)

Katsuhiko MYONAI*¹ Toshiharu IKAGA*¹ Hiroshi KOJIMA*¹ Maki ITO*²

*¹ Keio University *² Sekisui House Co. Ltd.

In recent years, it has been noted that promoting physical activity is effective in preventing lifestyle-related diseases. Therefore, it is necessary to create an environment that encourages physical activity. In this study, we investigate the effects of thermal environment and heating system in a house on physical activity at home. Focusing on the difference between airflow type heating and floor heating, we analyze the relationship between thermal environment and physical activity based on measurement survey.

1. 背景・目的

近年、日本の生活習慣病の患者数は増加傾向にあり^[1]、それらの予防には身体活動促進が効果的^[2]であることが分かっている。「健康日本 21 (第二次) 注¹」では身体活動量の増加に関する目標とともに、身体活動や運動に取り組みやすい環境整備を掲げた^[3]。しかし、現状では目標に達しておらず、個人の努力に加えて環境整備等の集団全体に働きかける取り組みをより一層行うことで、規定した目標値の達成に繋げることが必要である^[4]。既往研究^[5]では温熱環境と身体活動の関連は述べられているが、暖房方式を含む包括的な検討や暖房の利用頻度による影響の検討は不十分である。そこで、本研究では「住宅内の温熱環境及び暖房方式が在宅時の身体活動に及ぼす影響の検討」を目的とし、気流式暖房方式と放射式暖房方式 (床暖房) の違いによる身体活動への影響の検討を行う。また、同一対象者に対して暖房の積極利用を行うことによる温熱環境、身体活動の変化について検討を行う。

2. 調査概要

本調査では、関東～九州の断熱性能が H11 年基準以上の住宅を対象として、2017 年度 1 月～3 月に横断調査、2018 年度 11 月～2 月に介入調査を実施した (表 1)。なお、横断調査と介入調査では異なる者が参加している。横断調査では普段利用する暖房が気流式暖房 (エアコン) の住宅と放射式暖房 (床暖房) の住宅を同数程度対象として、普段通りに暖房利用を行ってもらい、非介入のサンプルとして扱った (以下、非介入群)。介入調査では対象者に「起床時に居間が十分に暖かくなる」、「日中でも

表 1 横断調査・介入調査概要

	横断調査	介入調査
対象者	関東～九州の断熱性能が H11 年基準以上の住宅の居住者	
対象者数	103 世帯 199 名	103 世帯 202 名
対象時期	2017 年度 1～3 月	2018 年度 1～2 月

表 2 調査概要

身体活動量	測定項目	活動強度、活動時間、活動種類 (10 秒・60 秒間隔で連続測定)
	測定機器	HJA-750C (オムロンヘルスケア社)
温湿度	測定項目	温度・相対湿度 (10 分間隔で連続測定) 居間 (床上 1m、床近傍、床表面)、 寝室、脱衣所、廊下、トイレ (床上 1m)
	測定機器	TR-72wf、TR-51i、TR-71wf (T&D 社)
アンケート	調査項目	個人属性、着衣量、身体の痛み等
日誌	調査項目	起床/就寝時刻、外出/帰宅時刻等

居間が暖かく保たれる」という条件を満たすように気流式暖房 (エアコン)、または放射式暖房 (床暖房) の利用を行うことを依頼した (以下、介入群)。本研究では上記の暖房利用方法を「積極利用」と定義する。気流式暖房 (エアコン) を積極利用する群と放射式暖房 (床暖房) を積極利用する群で、それぞれ前半 1 週間は普段通りに暖房利用を行ってもらい、後半 1 週間は暖房の積極利用を行ってもらった。実測項目では温湿度計を用いて住宅の温湿度を測定し、装着型活動量計による身体活動量の測定を行った。測定期間中の行動日誌、アンケートより個人属性・生活習慣の把握を行った (表 2)。

有効サンプルとして測定日誌・アンケートの全欠損、活動量・温湿度データの欠損を除いた。また、活動量計装着時間判断基準²に基づき1日の装着時間が600分未満の日、在宅時間が2時間未満の日を除外し、有効日数が4日未満の者を除いた。

なお、調査方法に関しては慶應義塾大学理工学部・理工学研究科の生命倫理委員会の承認を得たプロトコルで調査を実施した（承認番号：29-79,30-96）。

3. 集計結果

3.1 個人属性

非介入群、介入群の有効サンプルを対象に個人属性の集計を行った（表3）。非介入群の平均年齢は 51.3 ± 12.7 歳、介入群のうち気流式暖房群を用いている者では 46.7 ± 11.8 歳、放射式暖房群を用いている者では 48.5 ± 14.2 歳であった。

3.2 住宅内温熱環境

居住者が在宅していると思われる時間帯の温熱環境の集計を行った。その際、測定日誌に基づき在宅時間を図1のように定義する。

暖房方式ごとに非介入群と介入群の通常利用時の居間の床上1m、床近傍室温の分布を図2～図5に示す。気流式暖房を用いている者（ $n=186$ ）の居間床上1m室温は $19.4 \pm 2.2^\circ\text{C}$ であり、居間床近傍室温は $17.1 \pm 2.9^\circ\text{C}$ であった。放射式暖房を用いている者（ $n=146$ ）の居間床上1m室温は $19.1 \pm 2.8^\circ\text{C}$ であり、居間床近傍室温は $22.0 \pm 4.2^\circ\text{C}$ であった。

暖房方式ごとに介入群の積極利用した際の居間床上1m、床近傍室温を比較するべく対応のあるt検定を行った。なお、以降の検定による有意水準は、***: $p<0.001$ 、**: $p<0.01$ 、*: $p<0.05$ 、†: $p<0.10$ と表記する。結果を図6～図9に示す。気流式暖房（ $n=107$ ）の介入前後の変化は居間床上1m室温が -0.07°C （ $p=0.719$ ）、床近傍室温が $+0.02^\circ\text{C}$ （ $p=0.383$ ）であった。放射式暖房（ $n=76$ ）の介入前後の変化は居間床上1m室温が -0.44°C （ $p<0.001$ ***）、床近傍室温が $+0.41^\circ\text{C}$ （ $p=0.156$ ）であった。

同様に居間と脱衣所の床上1m室温の温度差（居間-脱衣所室温温度差）の介入前後の変化は気流式暖房で $+1.27^\circ\text{C}$ （ $p<0.001$ ***）、放射式暖房で $+1.02^\circ\text{C}$ （ $p=0.158$ ）であった。

3.3 在宅時身体活動

在宅時の定義に基づき在宅時身体活動の集計を行った。身体活動の指標として3軸加速度計（epoch長60秒）が識別する活動強度が1.6METs以上の低強度以上の活動（light-to-vigorous physical activity；LMVPA）を用いる。また、指標は身体活動量（活動強度[METs]×活動時間[h]）を用い、対象者の測定期間の1日平均を暖房方式ごとに図10～図11に示す。

表3 個人属性

個人属性		n	%
年齢	45歳未満	148	43.4%
	45～65歳未満	137	40.2%
	65歳以上	56	16.4%
性別	男性	167	48.8%
	女性	175	51.2%
BMI	18.5未満	34	9.9%
	18.5～25.0未満	248	72.5%
	25.0以上	60	17.5%
仕事の有無	無職	110	32.6%
	有職	227	67.4%
世帯年収	600万円未満	114	33.3%
	600万円以上	228	66.7%
運動習慣	なし	244	72.6%
	あり	92	27.4%
体の痛み	なし	108	32.1%
	軽度	186	55.4%
	中程度以上	42	12.5%
着衣量	0.5未満	44	13.1%
	0.5～0.75未満	71	21.2%
	0.75～1.0未満	140	41.8%
	1.0以上	80	23.9%

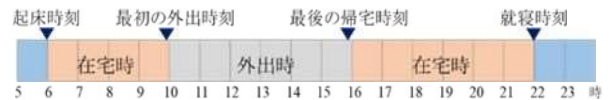


図1 在宅時の定義

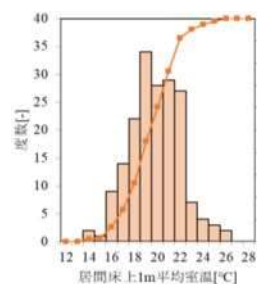


図2 気流式暖房
居間床上1m平均室温

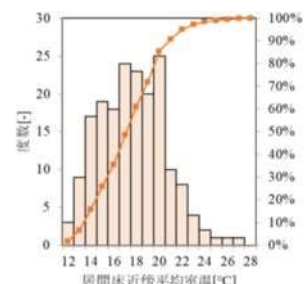


図3 気流式暖房
居間床近傍平均室温

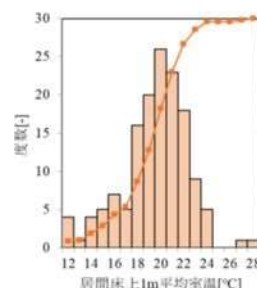


図4 放射式暖房
居間床上1m平均室温

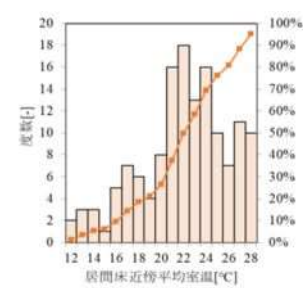


図5 放射式暖房
居間床近傍平均室温

気流式暖房を用いている者（ $n=188$ ）の在宅時LMVPA量は $6.0 \pm 3.5 \text{ METs} \cdot \text{h/日}$ であり、放射式暖房を用いている者（ $n=148$ ）の在宅時LMVPA量は $6.7 \pm 3.8 \text{ METs} \cdot \text{h/日}$ であった。

また、気流式暖房を用いている者の在宅時間は 532 ± 262 分であり、放射式暖房を用いている者は 553 ± 270 分であった。

4. 分析結果

4.1 暖房方式の違いと身体活動の関連

気流式暖房を用いている者に比べ放射式暖房を用いている者は LMVPA 量が多い傾向が確認されたが、在宅時間も同様の傾向であった。そこで、在宅時間、住宅の温熱環境、対象者の個人属性を考慮した多変量解析にて身体活動と環境要因の関連の検討を行う。また、分析手法としてデータの階層性を考慮し、日レベルと個人レベルを分けたマルチレベル分析を行う。目的変数に在宅時 LMVPA 量を在宅時間で除したものを用い、説明変数を居間床上 1m 室温、居間上下温度差、居間-脱衣所室間温度差、暖房方式、こたつの有無、脱衣所暖房の有無とした。調整変数に年齢、性別、BMI、仕事の有無、世帯年収、同居人数、身体の痛み、運動習慣、在宅時の着衣量、休日かどうか、外出の有無を投入した。目的変数の分布からガンマ分布を仮定し、2 種類の温度差ごとに異なるモデルにて分析を行った。結果を表 4 に示す。なお、以降の検定による有意水準は、***: $p < 0.001$ 、**: $p < 0.01$ 、*: $p < 0.05$ 、†: $p < 0.10$ と表記する。

上下温度差モデルでは居間床上 1m 室温が 1°C 高い日は 0.98 倍 ($p=0.015$) 活動的であることが示された。暖房について気流式暖房を用いている者に比べ放射式暖房を用いている者は 1.11 倍 ($p=0.085$) 活動的な傾向が示された。また、脱衣所暖房を使用している者はしていない者に比べ 1.18 倍 ($p=0.015$) 活動的であることが示された。続いて、室間温度差モデルでは居間-脱衣所室間温度差が 1°C 大きい日は 0.97 倍 ($p < 0.001$) 活動的であることが示された。暖房については上下温度差モデルと同様の傾向であった。

4.2 暖房の積極利用と身体活動の関連

温熱環境や暖房方式と居住者の身体活動の関連に加え、暖房の利用頻度の変化による身体活動の変化について分析を行った。図 12～図 13 に暖房方式ごとに通常利用時と積極利用時の在宅時 LMVPA 量/在宅時間の比較を行った結果を示す。気流式暖房の介入前後で -0.04METs/日 ($p=0.403$)、放射式暖房の介入前後で $+0.02\text{METs/日}$ ($p=0.707$) の変化が確認された。そこで、変化の要因を検討するべく、複数の変数を同時に考慮する多変量解析を行った。介入群の比較対象として非介入群の前半 1 週間と後半 1 週間を分けて用い、後半 1 週間の在宅時 LMVPA 量/在宅時間を目的変数として、調整変数に前半 1 週間の在宅時 LMVPA 量/在宅時間、年齢、性別、BMI、仕事の有無、世帯年収、同居人数、身体の痛み、運動習慣、在宅時の着衣量を投入した。説明変数は段階的に暖房の積極利用による効果(Model1)、居間床上 1m・床近傍室温変化の変化(Model2)、居間-脱衣所室間温度差の変化(Model3)を投入した。ガンマ分布を仮定した一般化線形モデルの結果を表 5 に示す。

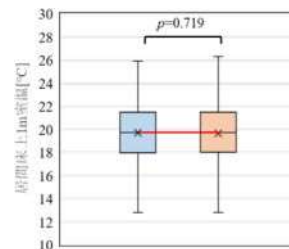


図 6 気流式暖房
居間床上 1m 平均室温

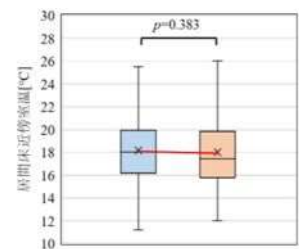


図 7 気流式暖房
居間床近傍平均室温

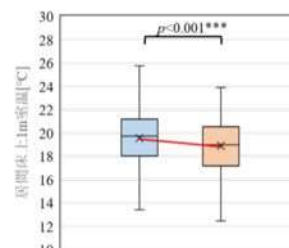


図 8 放射式暖房
居間床上 1m 平均室温

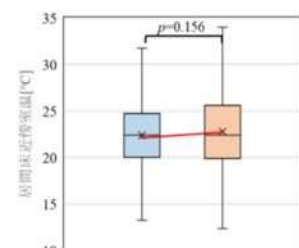


図 9 放射式暖房
居間床近傍平均室温

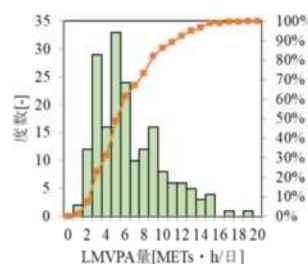


図 10 気流式暖房
在宅時 LMVPA 量

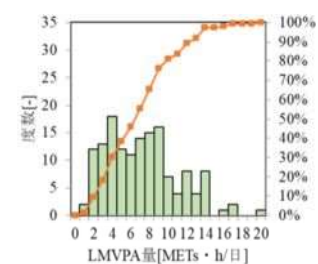


図 11 放射式暖房
在宅時 LMVPA 量

表 4 暖房方式・温熱環境と身体活動に関する
マルチレベル分析

説明変数	目的変数		在宅時 LMVPA 量/在宅時間	
	上下温度差		室間温度差	
	モデル		モデル	
	Exp(β)	p	Exp(β)	p
切片	0.72	0.290	0.72	0.320
日レベル				
室温				
居間床上 1m 室温[°C]	0.98	0.015*	0.99	0.194
居間上下温度差[°C]	0.99	0.370		
居間-脱衣所室間温度差[°C]			0.97	<0.001***
個人レベル				
室温				
居間床上 1m 室温[°C]	1.00	0.934	1.01	0.327
居間上下温度差[°C]	1.00	0.743		
居間-脱衣所室間温度差[°C]			0.99	0.315
暖房方式				
放射式 (ref. 気流式)	1.11	0.085†	1.11	0.073†
こたつの使用 (ref. なし)	0.96	0.688	0.96	0.695
脱衣所暖房使用 (ref. なし)	1.18	0.015*	1.18	0.028*

個人レベルの年齢、BMI、性別、仕事の有無、世帯年収、同居人数、身体の痛み、運動習慣、在宅時の着衣量及び日レベルの平均外気温、休日かどうか、外出の有無を調整した。ロギンク n=336
AICC (補正赤池情報量基準) 上下温度差モデル: 1,552.61 室間温度差モデル: 1,544.68

Model1 より、暖房の積極利用と身体活動の関連では気流式暖房の積極利用によって身体活動が 0.93 倍 ($p=0.063$) になる傾向が示された。Model2 より、居間の室温変化の変数を加えても同様に気流式暖房の積極利用によって身体活動が 0.91 倍 ($p=0.026$) になることが示され、また、居間床上 1m 室温が 1℃上昇すると身体活動が 0.97 倍 ($p=0.026$) になることが示された。Model3 より、さらに居間-脱衣所室間温度差変化の変数を加えたモデルでは暖房の積極利用、居間床上 1m 室温変化の項は有意ではなくなり、居間-脱衣所室間温度差が 1℃大きくなると身体活動が 0.96 倍 ($p=0.007$) になることが示された。このことより、暖房の積極利用により居間床上 1m 室温が上昇し、それに伴う居間-脱衣所室間温度差の上昇により身体活動が阻害されることが示唆された。

気流式暖房の積極利用により身体活動が減少する傾向が見られる理由として、放射式暖房に比べ部屋全体を温めることができず、部屋を十分に暖かくなるようにするため、居間床上 1m 室温がより上昇し非居室に比べ居間のみが暖かい空間になったことが考えられる。住宅の室間温度差が上昇したことで部屋の移動を伴う活動が躊躇われるようになり、身体活動が減少したことが考えられる。一方、放射式暖房の積極利用では床近傍室温が上昇し、居間床上 1m 室温は低下する傾向であった。これは放射式暖房の積極利用により放射温度が上昇し、同じ作用温度で比較した際に床上 1m 室温が低下したと推測する。このため、非居室と居間の温度差が小さくなり、部屋の移動を伴う活動が躊躇われなくなったことが考えられる。

5. まとめ

本研究では住宅内の温熱環境、暖房方式と居住者の身体活動の関連の検討を目的とし、居間床上 1m 室温及び上下温度差、居間-脱衣所室間温度差の温熱環境と暖房方式の違いによる身体活動への影響を分析した。個人属性等の影響を考慮したマルチレベル分析により得られた知見を以下に示す。

- ・居間床上 1m 室温が高い日、居間-脱衣所室間温度差が大きい日は身体活動が有意に少ないことが示された。
- ・気流式暖房を利用している者に比べ放射式暖房を利用している者は身体活動が約 1.1 倍多い傾向が示された。
- ・脱衣所暖房を利用している者はしていない者に比べ身体活動が約 1.2 倍有意に多いことが示された。

また、本研究では同一対象者に対しメインに利用している暖房方式の通常利用と積極利用を依頼し、温熱環境の変化と身体活動の変化について分析した。これにより得られた知見を以下に示す。

- ・非介入群に比べ気流式暖房を積極利用することで身体活動が約 0.9 倍減少する傾向が示された。

表 5 介入前後の暖房利用・温熱環境変化に関する

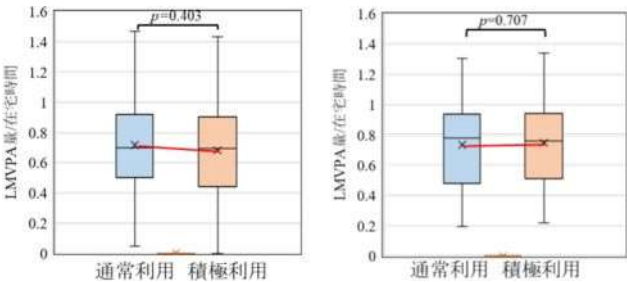


図 12 気流式暖房
通常利用・積極利用時の
身体活動比較

図 13 放射式暖房
通常利用・積極利用時の
身体活動比較

一般化線形モデル

目的変数	後半 1 週間の 在宅時 LMVPA 量/在宅時間					
説明変数	Exp(β)	p	Exp(β)	p	Exp(β)	p
切片	0.29	<0.001	0.29	<0.001	0.28	<0.001
気流式暖房の積極利用 (ref.非介入群)	0.93	0.063 †	0.91	0.026*	0.99	0.780
放射式暖房の積極利用 (ref.非介入群)	0.96	0.370	0.94	0.171	1.01	0.795
居間床上 1m 室温変化[℃]			0.97	0.026*	0.98	0.138
居間床近傍室温変化[℃]			0.99	0.587	0.99	0.385
居間脱衣所室温温度差変化[℃]					0.96	0.007**

前半 1 週間の在宅時 LMVPA 量/在宅時間、年齢、性別、BMI、仕事の有無、世帯年収、同居人数、身体痛み、運動習慣、在宅時の着衣量を調整した。ログリンク n=329
対数尺度：左から 80.180、82.663、85.722

- ・居間床上 1m 室温が上昇することで身体活動が有意に減少することが示された。
 - ・居間-脱衣所室間温度差が増加することで身体活動が有意に減少することが示された。
- 以上より、放射式暖房・脱衣所暖房の利用、居間床上 1m 室温の低下、室間温度差の縮小が身体活動促進の一助になる可能性が示された。

謝 辞

本研究の実施に際し多大なご支援を頂いた日本ガス協会、積水ハウス㈱、大阪ガス㈱、東京ガス㈱の皆様、調査にご協力いただいた皆様、執筆・確認に協力頂いた馬淵氏、光本氏、麻生氏に心より謝意を表する。尚、本研究は（一社）日本ガス協会と積水ハウス株式会社との共同研究「暖房方式・住宅の断熱性能が健康へ与える影響に関する測定調査（研究代表者：伊香賀俊治）」および JSPS 科研費 JP17H06151 の助成を受け実施したものである。

注 釈

- 1) 厚生労働省：健康増進法に基づく国民の健康の増進を図る為の基本方針を定めたもの
- 2) 60 秒 epoch データを用い、活動量計の 1.0METs 未満が 60 分以上続いた場合（ただし、1.0METs 以上が 2 分間以内で検出された場合は 0.0METs とみなす）を非装着時間とする。

参 考 文 献

- 1) 厚生労働省、人口動態調査、2018
- 2) U.S. Department of Health and Human Services: Physical Activity and Health. A Report of the Surgeon General, International Medical Publishing, 1996
- 3) 厚生労働省、健康日本 21(第二次) 国民の健康の増進の総合的な推進を図るための基本的な方針
- 4) 原田和弘ら、身体活動の促進に関する心理学研究の動向、運動疫学研究 2013; 15(1): 8-16
- 5) 柳澤恵ら、住宅の温熱環境及び断熱性能による身体活動への影響、日本建築学会環境論文集 2015