

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	マルチレベルモデルに基づく室温による家庭血圧への影響 - 冬季の室内温熱環境が血圧に及ぼす影響の実態調査 (その2) -
Title(English)	THE IMPACT OF INDOOR TEMPERATURE ON HOME BLOOD PRESSURE BASED ON A MULTILEVEL MODEL: A field survey on the effect of indoor thermal environment on blood pressure in winter (Part II)
著者(和文)	海塩 渉, 伊香賀俊治, 安藤 真太郎, 大塚邦明
Authors(English)	Wataru Umishio, Toshiharu Ikaga, Shintaro Ando, Kuniaki Otsuka
出典(和文)	日本建築学会環境系論文集, Vol. 80, No. 715, pp. 703-710
Citation(English)	Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol. 80, No. 715, pp. 703-710
発行日 / Pub. date	2015, 10
権利情報	日本建築学会

マルチレベルモデルに基づく室温による家庭血圧への影響

- 冬季の室内温熱環境が血圧に及ぼす影響の実態調査(その2) -

THE IMPACT OF INDOOR TEMPERATURE ON HOME BLOOD PRESSURE
BASED ON A MULTILEVEL MODEL

A field survey on the effect of indoor thermal environment on blood pressure in winter (PartII)

海塩 渉*, 伊香賀 俊治**, 安藤 真太郎***, 大塚 邦明****

Wataru UMISHIO, Toshiharu IKAGA, Shintaro ANDO
and Kuniaki OTSUKA

This study aimed to clarify the compositional and contextual effects of indoor temperature on blood pressure (BP). These effects are respectively defined as the increase in BP per 1°C decrease in indoor temperature on a particular day and the increase in BP per 1°C decrease in average indoor temperature of houses based on a multilevel model. Measurement data were collected through field surveys in winter (2012–2014). Both effects were significant, and the sum of the effects was 0.57 mmHg/°C for morning systolic BP and 0.43 mmHg/°C for morning diastolic BP. Also, the interaction between age and temperature was significant.

Keywords : Home blood pressure, Indoor thermal environment, Field survey, Multi-level model, Repeated measurement, Contextual effect

家庭血圧, 室内温熱環境, 実態調査, マルチレベルモデル, 反復測定, 文脈効果

1. 序論

本邦において高血圧の抑制は国家的急務とされている。これは、健康日本 21 (第2次)における、「国民の血圧の平均値 4mmHg 低下により、年間の循環器疾患による死亡者が約 14,000 人(脳血管疾患+虚血性心疾患: 約 9,300+4,700 人)減少する」という推計¹⁾を拠り所とする。高血圧抑制のためには、生活習慣改善など個人レベルの対策では不十分であり²⁾、住宅等の生活基盤の整備といった社会レベルでの対策が必要である。

上記の背景を鑑みて、筆者らは既報(その1)³⁾として、冬季の2~4週間に亘る家庭血圧の実測調査に基づき、室温と血圧の関係の定量化を試みてきた。その成果として、①個人因子(年齢、体重、飲酒頻度等)を制御した場合、居間室温が1°C低い環境下において収縮期血圧が約0.43 mmHg 高くなること、②室温が血圧に及ぼす影響は高齢者、中でも動脈硬化が進行している者ほど大きいこと、を示した。しかしながら、筆者らの実測調査によって得られた血圧データは、同一対象者が複数回の血圧測定を行う反復測定データであり、室温と血圧の関係の記述に一般線形モデルを適用する場合、各個人のデータ内の相関により「独立性の仮定」が満たされないという問題が生じる。そこで分析にあたっては、各対象者の室温と血圧の「平均値」を用いた分析を行う、もしくは既報(その1)³⁾のように個人毎に室温と血圧の分析を行うといった方法が考えられる。しかしながら前者の場合、各日の室温による血圧への影響を検討できず、後者の場合、対象者の数だけモデルが導出され、また年齢や

性別といった各対象者が有する属性による血圧への影響を反映できないため、汎用性のある結果とならないという課題があった。

上記の課題に対する解決策として、マルチレベルモデル⁴⁾が存在する。同モデルは、各対象者の日毎の血圧測定値の差異(個人内変動)と血圧の対象者間の差異(個人間変動)の階層構造を分離し、同時に分析を行うことが可能なモデルである。そのため、反復測定データを含む階層構造を持つデータに対する適切な統計分析手法とされており⁴⁾、医学や公衆衛生学の分野では適用事例が多く蓄積されている。例えば、Gerards⁵⁾らは胎児の肺活量、Halm⁶⁾らは血液に含まれる脂質、Bakker⁷⁾らは骨塩量と身体活動度の反復測定データに同モデルを適用している。近年、建築環境工学の分野においてもマルチレベルモデルの適用が進められてきており、安藤⁸⁾らは同一世帯に対する複数回の調査によって得られた反復測定データである電力消費量に対して同モデルを適用することで、その影響要因に関する検討を行っている。

そこで本報では、マルチレベルモデルにおいて第1水準を「Level-1: 日レベル」、第2水準を「Level-2: 個人レベル」と定義し、データの有する階層構造を考慮した分析を実施する。以上より、「ある対象者の血圧は、低室温環境下で高くなる(個人内変動)」に加えて、個人属性を制御した上でも、「平均室温が低い、寒い住宅に住んでいる対象者は血圧が高い(個人間変動)」という仮説⁹⁾を設定し、室温と血圧の2つの水準に跨る関係を定量的に提示することを本研究の目的とする。

* 鹿島建設(株) 修士(工学)
(当時慶應義塾大学大学院理工学研究科 大学院生)
** 慶應義塾大学理工学部 教授・博士(工学)
*** 北九州市立大学国際環境工学部 講師・博士(工学)
**** 東京女子医科大学 名誉教授・医博

Kajima Corporation, M.Eng.
(Grad. Stud., Graduate School of Science and Technology, Keio Univ.)
Prof., Faculty of Science and Technology, Keio Univ., Dr.Eng.
Lect., Faculty of Environmental Engineering, The Univ. of Kitakyushu, Dr.Eng.
Emeritus Prof., Tokyo Women's Medical Univ., M.D.

表1 実測調査の概要（調査A1とA2では、異なる対象者に調査を実施）

調査Case	対象地	地域区分*	対象者数	対象者数(有効)	家庭血圧			住宅内の温湿度		
					測定期間	測定方法	測定機器	測定期間	測定方法	測定機器
調査A1	土佐町	5	14名 (13世帯)	10名 (9世帯)	2012年 1月20日～2月17日	起床時/就寝前の1日2回「家庭血圧測定」の指針 ²⁰⁾ に従い測定	通信機能付血圧計 UA767-PC (A&D社)	2012年 1月13日～2月17日	居間・寝室・トイレの床上1.1mの高さにて10分間隔の連続測定	温湿度 データロガー RTR-53A (T&D社)
調査A2			15名 (12世帯)	14名 (11世帯)	2012年 2月3日～3月2日		2013年 1月17日～1月30日			
調査B	長門市等	5,6	24名 (15世帯)	18名 (11世帯)	2013年 1月18日～1月30日	紙面配布によるアンケート調査	自動血圧計 HEM-7420 (OMRON社)	2013年 2月2日～2月14日	温湿度計を居間・寝室、温度計をトイレ・脱衣所の床上1.1mの高さにて10分間隔の連続測定	温湿度 データロガー TR-72Ui/72URTR-503 温度 データロガー TR-51i (T&D社)
調査C	梶原町	5	35名 (18世帯)	24名 (14世帯)	2012年 11月30日～12月14日			2012年 11月14日～12月15日		
調査D	上野原市	5	36名 (23世帯)	27名 (18世帯)	2013年 2月17日～3月7日			2013年 2月15日～3月8日		
調査E	東北～九州 ^{注3)}	4~7	31名 (31世帯)	13名 (13世帯)	2014年 2月2日～2月16日			2014年 2月2日～2月16日		
調査E	東北～九州 ^{注3)}	4~7	61名 (32世帯)	10名 (6世帯)	2014年 1月25日～4月2日			2014年 1月25日～4月2日		

※ 住宅事業建築主の判断基準における地域区分

表2 アンケート調査の概要（調査A1とA2では、異なる対象者に調査を実施）

調査Case	対象地	地域区分*	配布数	回答数(百分率)	調査期間	調査方法	配布方法	回収方法
調査A1	土佐町	5	27名	27名 (100%)	2012年 1月20日～3月2日	紙面配布によるアンケート調査	直接配布	直接回収
調査A2			483名	387名 (80%)	2013年 1月18日～2月13日		調査協力員を経由した間接配布	調査協力員を経由した間接回収
調査B	長門市等	5,6	161名	138名 (86%)	2012年 11月15日～12月11日		調査協力員を経由した間接配布	調査協力員を経由した間接回収
調査C	梶原町	5	38名	38名 (100%)	2013年 2月17日～3月7日		直接配布	直接回収
調査D	上野原市	5	31名	31名 (100%)	2014年 2月2日～2月16日		直接配布	直接回収
調査E	東北～九州 ^{注3)}	4~7	61名	56名 (92%)	2014年 1月25日～4月2日	調査協力員を経由した間接配布	調査協力員を経由した間接回収	

※ 住宅事業建築主の判断基準における地域区分

2. 調査方法

2.1 調査概要

本研究では、室温と家庭血圧の関係を明らかにするため、表1, 2に示す期間、全国各地において収集した20歳以上の男女の実測調査、及びアンケート調査データを使用する。既報(その1)³⁾での分析対象であった調査A～Cに調査DとEの対象者を加え、分析対象は実測調査を行った計331名とした(実測を行わず、アンケートのみ回答した346名は分析対象に含めず)。実測期間は、住宅内での循環器疾患による死亡が集中するとされる冬季⁹⁾とした。尚、実測調査の対象者には調査説明会を実施し、個人情報の取り扱い等について同意を得た上で、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: 24-11)。

2.2 調査項目

(1) 実測調査概要

対象者は冬季の2~4週間に亘り、各住宅の居間にて家庭血圧測定を行った。測定条件は「家庭血圧測定」の指針¹⁰⁾に則り^{注4)}、起床時と就寝前の1日2回測定とした。家庭血圧測定と併せて、対象者の住宅において温湿度の実測調査を実施した。温湿度計は居間・寝室、温度計はトイレ・脱衣所の床上1.1mの高さに設置して頂き、10分間隔で連続測定した。また測定期間中、対象者は起床時刻、就寝時刻を日誌に記録した。

(2) アンケート調査概要

本研究では、実測調査と同時期に同一の対象者に対してアンケート調査を実施した。居住者の属性・健康状態や、住宅の性能・環境

といった情報を抽出することを主たる目的とし、調査票は「個人因子」、「住宅」の2部門で構成した。個人因子は、血圧の決定要因とされる、年齢、性別、BMI^{注5)}等の「個人属性」、喫煙、飲酒頻度、食事等の「生活習慣」¹¹⁾を中心とした(項目の詳細は既報³⁾を参照)。

3. データ集計

3.1 データの階層構造

本節では分析データについて解説する。分析は、目的変数を起床時の収縮期血圧(SBP)、及び拡張期血圧(DBP)とする2ケースについて実施した。説明変数は、血圧測定時の室温の実測値の他に、日誌から得られた睡眠時間、アンケート調査から得られた個人因子とした。分析に際しては、5日以上起床時の血圧を測定し、血圧測定時の居間の室温に5℃以上の差が確認された者のうち、現在の住宅の居住年数が10年以上の169名を有効対象者とし^{注6)}、血圧データは計3,331サンプルであった(有効対象者の平均測定日数20日: 最小8日~最大30日)。居住年数は「平均室温が低い、寒い住宅に住んでいる対象者は血圧が高くなる」という慢性的な影響の可能性を検証するため、スクリーニングの条件とした。尚、データは日レベル(Level-1)のデータが個人レベル(Level-2)のデータにネストする階層構造としており、実測と日誌のデータは日レベルの変数、アンケートのデータは個人レベルの変数とした。目的変数である収縮期/拡張期血圧、説明変数である室温、睡眠時間、個人因子の記述統計量を表3に示す。血圧とBMIのデータ入力範囲は、厚生労働省が提示している「標準的な健診・保健指導プログラム【改訂版】」¹²⁾に従い、範囲外の数値は外れ値とした。

表 3 起床時における各変数の記述統計量

レベル	分類	変数	単位	起床時					備考
				平均値	標準偏差	最小値	最大値	標本数	
血圧		SBP	mmHg	133	19	83	213	3,331	実測値
		DBP	mmHg	80	12	48	142	3,331	実測値
日	温度	居間室温	℃	13.2	4.8	-0.6	26.7	3,331	血圧測定時の室温を抽出
		寝室室温	℃	9.6	5.6	-1.3	31.1	3,302	血圧測定時の室温を抽出
		トイレ室温	℃	8.0	3.5	-5.5	20.4	3,302	血圧測定時の室温を抽出
		外気温	℃	2.8	3.9	-6.3	19.4	3,302	血圧測定時の外気温を抽出
		居間寝室温度差	℃	3.6	5.6	-12.9	26.7	3,302	(血圧測定時の) 居間室温-寝室室温
		居間トイレ温度差	℃	5.3	4.8	-4.3	22.2	3,302	(血圧測定時の) 居間室温-トイレ室温
		睡眠	睡眠時間	時間	7.6	1.6	1.5	14.5	2,469
個人属性		年齢	歳	60	14	22	90	3,324	アンケート結果
		性別	-	0.46	0.50	0	1	3,324	ダミー変数 0) 女性, 1) 男性
		BMI	kg/m ²	23.1	3.0	15.3	33.6	3,245	アンケート結果より算出 (= 体重/身長 ²)
個人	生活習慣	降圧剤服用	-	0.23	0.42	0	1	3,193	ダミー変数 0) なし・やめた, 1) あり
		既往歴有無	-	0.26	0.44	0	1	3,207	ダミー変数 0) なし, 1) あり
		喫煙	-	0.37	0.48	0	1	3,091	ダミー変数 0) なし, 1) やめた・あり
		飲酒頻度	-	1.9	0.9	1	3	3,149	ダミー変数 1) なし, 2) 週 1,2 日, 3) 週 3 日以上
		味噌嗜好	-	2.1	0.6	1	3	3,112	ダミー変数 1) 薄い, 2) 普通, 3) 濃い・制限している
	脂物嗜好	-	2.2	0.6	1	3	2,497	ダミー変数 1) 嫌い, 2) 普通, 3) 好き・制限している	

表 4 起床時の収縮期血圧 (SBP) / 拡張期血圧 (DBP) と各説明変数の相関分析

* p<0.05, ** p<0.01

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16
	居間室温	寝室室温	トイレ室温	外気温	居間寝室温度差	居間トイレ温度差	睡眠時間	年齢	性別	BMI	降圧剤服用	既往歴有無	喫煙	飲酒頻度	味噌嗜好	脂物嗜好
起床時 SBP	-.26**	-.10**	.01	.02	-.13**	-.27**	.15**	.33**	.22**	.26**	.18**	.17**	.17**	.04*	.09**	-.02
起床時 DBP	-.16**	-.10**	.02	.00	-.05**	-.18**	-.09**	.01	.22**	.22**	.09**	-.05**	.18**	.12**	.04*	.06**

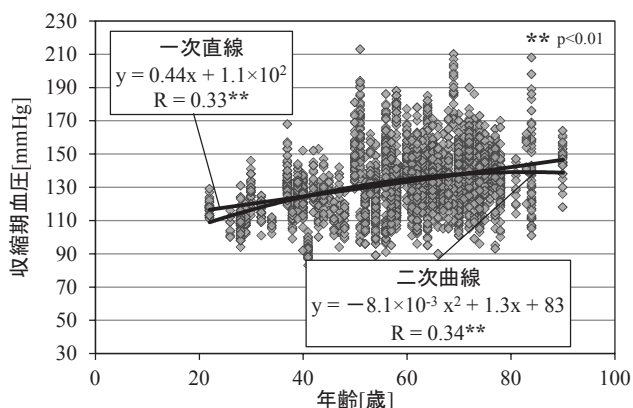


図 1 年齢と収縮期血圧の関係

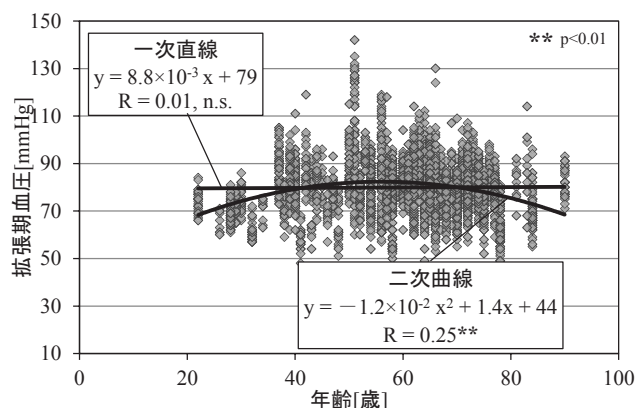


図 2 年齢と拡張期血圧の関係

4. マルチレベルモデル

以降の分析は、多変量解析統計ソフト SPSS Statistics 22.0 を用いて行った。分析の手順は、①目的変数と説明変数の相関分析、②説明変数同士の相関分析、③ナルモデルの作成によるデータの階層性の確認、④最終モデルの検討、の 4 段階とした。

4.1 目的変数と説明変数の相関分析^{注7)}

投入する説明変数を精査するため、起床時の SBP/DBP と各説明変数の相関分析を実施した。結果を表 4 に示す。既往の調査¹¹⁾において、血圧の決定要因とされている各個人因子と血圧の間に有意な相関関係が確認され、中でも年齢、BMI、性別の相関係数が大であった。しかし、年齢と DBP の相関係数は極端に小さい値であった。これは「SBP は年齢を重ねるごとに単調に増加するが、DBP

は高齢期に低下する」という既往研究¹³⁾の知見から、DBP は年齢と一次直線の関係でないことが要因と考えられる。そのため、図 1, 2 に年齢と SBP/DBP の関係を示す。年齢と SBP の関係では、一次と二次の近似曲線の相関係数にあまり差が確認されなかったが、DBP に関しては二次曲線の当てはまりが良く、相関係数に大きな差が確認された。従って、年齢(二乗)も説明変数として投入することとする。

また居間と寝室の室温について、血圧との間に有意な負の相関が確認され、最も相関係数の絶対値が大となったのは、血圧測定時に曝露されていた居間の室温であった。他方、外気温については血圧との間に有意な相関が得られなかった。これより、血圧は外気温よりも住宅内の温熱環境との関係が強い可能性が示唆された。

表 5 説明変数同士の相関分析（相関係数の絶対値が 0.40 以上の変数のみ、全て $p < 0.01$ ）

説明変数 1	説明変数 2	相関係数	説明変数 1	説明変数 2	相関係数
居間室温	居間トイレ温度差	.74	寝室室温	トイレ室温	.54
性別	喫煙	.68	喫煙	飲酒頻度	.51
寝室室温	居間寝室温度差	-.63	性別	飲酒頻度	.46
居間寝室温度差	居間トイレ温度差	.60	居間室温	居間寝室温度差	.44
トイレ室温	外気温	.59	居間室温	寝室室温	.43

表 6 ヌルモデルの級内相関とデザインエフェクト ** $p < 0.01$

	SBP			DBP			
	推定値	標準誤差	有意水準	推定値	標準誤差	有意水準	
固定効果 切片	133	1	**	79.9	0.7	**	
変量効果	残差の分散	98.4	2.5	**	37.9	1.0	**
	切片の分散	231	26	**	90.6	10.1	**
赤池情報量基準(AIC)	2.54×10^4			2.22×10^4			
度数	3,331			3,331			
級内相関(ICC)	0.701			0.705			
デザインエフェクト	14.1			14.2			

4.2 説明変数同士の相関分析^{注7)}

モデルに投入する説明変数間の関係を確認し、多重共線性を考慮するため、相関分析を実施した。相関係数が絶対値で 0.40 以上となった説明変数の組を表 5 に示す（相関表を巻末の付表 8 に示す）。性別と喫煙、飲酒頻度の間に確認された強い相関は、男性に喫煙者、飲酒者が多く、女性に非喫煙者、非飲酒者が多く含まれたためであると考えられる。これは「平成 24 年 国民健康・栄養調査」¹⁴⁾の報告と一致する結果であった。上記の説明変数は分析の際に同時に投入しないような配慮が必要となる。また、各部屋の室温や空間温度差の間に強い相関関係が確認された。室温の指標のうち、4.1 項で血压との相関係数が最大であったのは「居間トイレ温度差」の -0.27 であったが、居間室温と強い相関関係にあり、居間室温を制御変数とした偏相関分析の結果、相関係数が -0.12 と小さくなった。即ち、居間室温が媒介変数となり、擬似相関が生じていたものと推察される。従って以降の分析では、居間トイレ温度差に次いで血压との相関係数が大であった「居間室温」を室温の指標とする。

4.3 ヌルモデルの作成によるデータの階層性の確認（表 6）^{注8)}

初めに級内相関係数 (ICC)^{注9)}、デザインエフェクト^{注10)}を用いてデータの階層性の確認を行う。この 2 指標を算出するため、目的変数に起床時の収縮期/拡張期血压を投入し、説明変数を投入しないヌルモデルを作成し、各指標を求めた結果を表 6 に示す。起床時の血压の級内相関は 0.5 を上回り、個人間変動が個人内変動（日変動）より大きいという結果であった。また、デザインエフェクトも 2.0 を大きく上回ることから、個人のデータに類似性が認められる（独立性の仮定を満たしていない）ことが示唆され、マルチレベルモデルの適用が推奨されるデータであることが確認された。

4.4 最終モデルの検討^{注9)}

2 つの目的変数（起床時の SBP/DBP）のみを投入したヌルモデル（表 6）に対して説明変数を投入し、最終モデルの構築を行った。その手順を以下に示す¹⁵⁾。

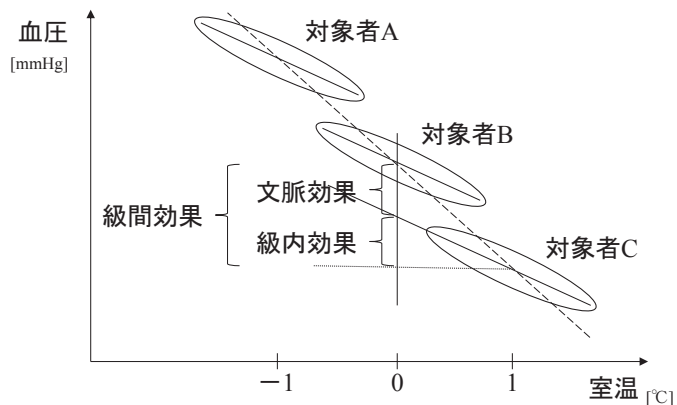


図 3 級間効果、級内効果と文脈効果

①固定効果^{注11)}に Level-1 の説明変数を含んだ、ランダムインターセプトモデル^{注12)}を推定。

②変量効果^{注11)}に Level-1 の説明変数 x の係数の分散、切片と係数、係数間の共分散を導入したランダムスロープモデル^{注13)}を推定。

③固定効果に Level-2 の説明変数を導入し、切片の分散を説明。

④固定効果に Level-1 の説明変数 x と Level-2 の説明変数 z のクロス水準交互作用項を導入し、x の係数の分散を説明。

モデルに投入する説明変数は、4.1 項の相関分析で血压との間に 1%水準で有意な相関関係が確認された説明変数のうち、4.2 項で性別との強い相関関係が確認され、多重共線性が生じる可能性が高い「喫煙」「飲酒頻度」を除く変数とし、SBP/DBP いずれのモデルにおいても、10%水準で有意でない変数を 1 つずつ除外する方法で最終モデルを構築した。また前述の通り、室温に関しては「居間室温」を代表指標としている。投入する説明変数に対しては、予めセンタリング（中心化）^{注14)}を行い、Level-1（個人内変動）と Level-2（個人間変動）を分離した上で、それぞれの偏回帰係数の推定値を算出するための操作を施している。また、モデルの推定には「REML（制限付き最尤法）」^{注15)}を用いた。

ここで、結果の解釈の方法について述べる。まず切片以外の固定効果の推定値は各説明変数の偏回帰係数を、変量効果は切片と各説明変数の分散、及びそれらの共分散を示している。また、以降の文中の級内効果、級間効果、文脈効果について図 3 に示す。血压に対する室温の影響を例とした場合、「級内効果」は、対象者内における室温の効果を表す。これはある対象者の、1°C低い室温下での血压との差と解釈できる。これに対し、「級間効果」は、対象者間における平均室温の効果を表す。すなわち、平均室温が 1°C異なる対象者間の血压の平均値の差として解釈できる。最後に「文脈効果」は、対象者の日毎の室温の影響を統制した上で、対象者の平均室温が血压に与える影響の大きさを表す。これは、平均室温が 1°C異なる住宅に住む 2 人の対象者の同じ室温下における血压差と解釈される。

表 7 起床時の収縮期／拡張期血圧の最終モデル（サンプル数：3,331）

* p<0.05, ** p<0.01

レベル	説明変数	SBP			DBP				
		推定値	標準誤差	有意水準	推定値	標準誤差	有意水準		
—	切片	—	131	3	**	83	2	**	
固定効果	Level-2 個人レベル	年齢	[歳]	0.42	0.09	**	-0.044	0.059	n.s.
		年齢（二乗）	[歳] ²	-0.0057	0.0046	n.s.	-0.013	0.003	**
		性別	0) 女性, 1) 男性	6.9	2.0	**	4.3	1.4	**
		BMI	[kg/m ²]	1.2	0.4	**	0.36	0.24	n.s.
		降圧剤服用	0) なし・やめた, 1) あり	-3.8	2.6	n.s.	-4.1	1.7	*
		居間室温	[°C]	-0.57	0.28	*	-0.43	0.19	*
		居間室温	[°C]	-0.38	0.07	**	-0.20	0.05	**
Level-1 日レベル	年齢×居間室温	[歳]×[°C]	-0.017	0.005	**	-0.0074	0.0032	*	
	残差の分散	—	95	2	**	36	1	**	
変量効果	—	切片の分散	—	161	19	**	76	9	**
		切片と居間室温の共分散	—	-1.2	0.9	n.s.	-1.2	0.4	**
		居間室温の分散	—	0.12	0.06	*	0.083	0.030	**
		赤池情報量基準(AIC)	—	2.40×10 ⁴			2.10×10 ⁴		

4.4.1 起床時の収縮期血圧（SBP）の最終モデル（表 7 左）

まず変量効果に着目すると、切片、居間室温の分散がそれぞれ 1% 水準、5% 水準で有意であることから、起床時の SBP の平均値、SBP に対する居間室温の影響度は個人によって異なることと解釈できる。

続いて固定効果のうち、5% 水準で有意になった変数に着目する。本分析において、年齢を 1 歳重ねるごとに SBP が 0.42 mmHg 増加し、BMI が 1 kg/m² 増加するごとに SBP が 1.2 mmHg 増加するという結果であった。また、ダミー変数で 1 を割り当てた男性の方が、SBP が 6.9 mmHg 高かった。以上は既往の調査¹⁶⁾と同様の傾向であった。居間の室温に関して、Level-1 において 1% 水準、Level-2 において 5% 水準で有意となり、両レベルとも血圧への影響が確認された。室温が 1°C 低い環境下で SBP が 0.57 mmHg 高く、このうち級内効果は 0.38 mmHg であり、文脈効果は 0.19 mmHg であった。すなわち、ある対象者の SBP は 1°C 低い環境下で 0.38 mmHg 高くなり、平均室温が 1°C 低い住宅に住んでいる対象者は SBP の平均値が 0.57 mmHg 高い、という結果であった。更に、年齢と居間室温のクロス水準交互作用も 1% 水準で有意であることから、高齢になるほど室温が SBP に及ぼす影響が大きくなるという既報（その 1）³⁾と同様の結果が得られた。

4.4.2 起床時の拡張期血圧（DBP）の最終モデル（表 7 右）

変量効果に関して、切片、居間室温の分散が 1% 水準で有意であることから、起床時の DBP の平均値、DBP に対する居間室温の影響度は個人によって異なることが示唆された。また、切片と居間室温の共分散も 1% 有意、かつ符号が負であることから、起床時の DBP の平均値が高い対象者は「居間室温」と「DBP」の関係が弱く、DBP の平均値が低い対象者ほど両者の関係が強いことが示された。

続いて固定効果について、SBP とは異なり、年齢は二乗項に有意な影響（p<0.01）が認められ、DBP は図 2 のように二次曲線の関係が強いことが示された。居間の室温に関しては SBP と同様に、Level-1 で 1% 水準、Level-2 で 5% 水準の有意な影響が認められた。室温が 1°C 低い環境下で、DBP が 0.43 mmHg（級内効果＋文脈効果：0.20＋0.23 mmHg）高かった。また SBP と同様に、年齢と居間室温のクロス水準交互作用も 5% 水準で有意であることから、高齢になるほど室温が血圧に及ぼす影響が大きくなる関係が確認された。

4.5 最終モデルに対する考察

前項において、ある対象者と比較して、平均室温が 1°C 低い住宅に住んでいる対象者は、同じ室温下であっても血圧が SBP で 0.19 mmHg、DBP で 0.23 mmHg 高いことが示唆された。高血圧は生活習慣病であり、生活習慣の蓄積が影響を及ぼしているが、仮説の設定の根拠とした図 4、及び本分析結果から生活習慣と同様に「寒さ」の蓄積が血圧に影響を及ぼしている可能性が考えられる。即ち、寒さは血圧に対して、「ある寒い一日に血圧が高くなる」といった急性的な影響のみならず、「寒い住宅に住み続けることで血圧が高くなる」といった慢性的な影響も有する可能性がある。しかしながら、本調査は断面調査の結果であるため、真に上記の影響について言及するためには、追跡調査が必要な点に注意されたい。

5. まとめ

5.1 結論

本報では、2012~2014 年の冬季に実施した家庭血圧の実測結果を用いて、室温が血圧に及ぼす影響をマルチレベルモデルに基づき、データの階層性を考慮した上で定量評価した。その結果、以下の 3 点の知見が得られた。

- 1) 目的変数に起床時の収縮期／拡張期血圧（SBP／DBP）を投入し、説明変数を投入しないヌルモデルを作成し、級内相関係数、デザインエフェクトを算出した結果、マルチレベルモデルの適用が推奨されるデータであることが確認された。
- 2) 起床時の SBP、DBP とも、級内効果（ある日の室温が 1°C 低いことによる影響）のみならず、文脈効果（平均室温が 1°C 低い住宅に住むことによる影響）が有意であることが示唆された。居間室温 1°C の効果は、収縮期血圧で 0.57 mmHg（級内効果＋文脈効果：0.38＋0.19 mmHg）、拡張期血圧で 0.50 mmHg（級内効果＋文脈効果：0.23＋0.27 mmHg）であった。即ち、寒さは血圧に対して、「ある寒い一日に血圧が高くなる」といった急性的な影響のみならず、「寒い住宅に住み続けることで血圧が高くなる」といった慢性的な影響も有する可能性が示唆された。
- 3) 起床時の収縮期／拡張期血圧とも、年齢と室温のクロス水準交互作用が確認され、高齢者ほど室温による血圧への影響が表れやすいことが示された。

5.2 今後の課題

本稿では、起床時の収縮期／拡張期血圧に対して室温が、級内効果（ある一日の室温が1℃低いことによる影響）のみならず、文脈効果（平均的に室温が1℃低い住宅に住むことによる影響）を有すること、その原因が「寒さの蓄積」による慢性的な影響である可能性を示した。しかし前節でも記載した通り、本調査は「断面調査」であるため、あくまで室温が血圧に慢性的な影響を及ぼす「可能性」の言及にとどまっている点が課題として挙げられる。今後、寒さの蓄積による影響を明示するために、正常血圧の対象者に対して血圧の継続的な調査を行う「前向きコホート研究」の必要があると云える。同研究デザインによって、「断熱性能の低い集団」と「高い集団」とで高血圧になる人数の比較を行うことで、上記の寒さの蓄積による影響を明示することが可能となる。また、集団をランダムに「断熱改修をする群」と「しない群」に割り付け、一定期間観察した上で断熱改修による効果を観察する「介入研究」を行うことで、真に住宅内温熱環境が血圧に及ぼす影響を解明できるものと考えられる。上記のような研究デザインによる追跡調査を本研究の最終的な課題としている。加えて、本稿は限られた地域の居住者を対象とした分析であったため、2水準の階層構造を想定したが、今後多様な地域を対象とした調査を実施することで、「Level-3：地域レベル」も含めた3水準の階層構造を想定したマルチレベル分析が可能となり、より汎用性の高い結果が得られるものと考えられる。

また、本調査は事前説明会にて、「居間」での血圧測定を依頼したが、それに従って居間で測定したとは限らず、居間室温との対応をとる上での誤差要因となる可能性がある。このように、本研究は人起因の誤差要因の存在を否定できないが、この要因を減らすことは極めて重要である。上記の課題に対しては、「温度計内蔵の血圧計を使用し、曝露温度を正確に把握する」というように、人起因の誤差要因を調査設計上の工夫により減らすことも今後の課題としている。

謝辞

本研究は村上周三会長、江里健輔副会長、上原裕之理事長を始めとする（社）健康・省エネ住宅を推進する国民会議の皆様、公文豊様を始めとするこうち健康省エネ住宅推進協議会の皆様、矢野富夫町長、内田望病院長、橋田淳一保健福祉支援センター長を始めとする梶原町職員の皆様、高知県の村上真祥住宅課長、田上豊資医監の多大なご支援の下で実現したものである。ご助言・ご指導を頂いた関係者各位に感謝の意を表す。また、調査実施にあたりご支援頂いた土佐町住民福祉課（2012年当時）の皆様、西峰昭江様（産業振興課、2013年当時）、田村伊幸様、橋本真成様、近藤友宏様を始めとするやまぐち健康・省エネ住宅推進協議会の皆様、大塚義道様を始めとするコマアシおつ自治会の皆様、藤原寛典様、松田健司様、馬淵富夫様、そして調査にご協力頂いた皆様に深甚の謝意を表す。尚、本研究は、科学技術振興機構戦略的創造研究事業（社会技術研究開発）「健康長寿を実現する住まいとコミュニティの創造（研究代表者：伊香賀俊治）」、科学研究費補助金・基盤研究（A）（研究代表者：伊香賀俊治、課題番号：26249083）の助成、並びにハイアス・アンド・カンパニー株式会社の委託研究「高性能住宅 R+house の健康モニター調査（研究代表者：伊香賀俊治）」を受け実施したものである。

参考文献

- 1) 厚生科学審議会地域保健健康増進栄養部会：健康日本 21（第2次）の推進に関する参考資料，pp.40-50，2012.7 [WEB サイト]
http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/dl/kenkounippon21_02.pdf
(2015.1.27 参照)
- 2) 厚生労働省：「健康日本 21」最終評価，pp.87-96，2011.10 [WEB サイト]
<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r985200001r5gc-att/2r985200001r5np.pdf> (2015.1.27 参照)
- 3) 海塩渉，伊香賀俊治，大塚邦明，安藤真太郎：個人因子別の家庭血圧上昇量に関する分析—冬季の室内温熱環境が血圧に及ぼす影響の実態調査—，日本建築学会環境系論文集，Vol. 79，No. 701，pp.571-577，2014.7
- 4) 藤野善久，近藤尚己，竹内文乃：保健医療従事者のためのマルチレベル分析活用ナビ，株式会社 診断と治療社，pp.11-12，2013.9
- 5) FA. Gerards, MA. Engels, JW. Twisk et al. : Normal fetal lung volume measured with three-dimensional ultrasound, *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, Vol. 27, No. 2, pp.134-144, 2006.2
- 6) VP. van Halm, JC. van Denderen, MJ. Peters et al. : Increased disease activity is associated with a deteriorated lipid profile in patients with ankylosing spondylitis, *Annals of the Rheumatic Diseases*, Vol. 65, No.11, pp.1473-1477, 2006.11
- 7) I. Bakker, JW. Twisk, W. Van Mechelen et al. : Ten-year longitudinal relationship between physical activity and lumbar bone mass in (young) adults, *Journal of Bone and Mineral Research*, Vol. 18, No.2, pp.325-332, 2003.2
- 8) 安藤元気，西名大作，村川三郎 ほか3名：マルチレベルモデルを適用した戸建て住宅におけるエネルギー消費量に及ぼす影響要因の分析—広島地域の全電化住宅を対象とした電力消費量に関する研究—，日本建築学会環境系論文集，Vol. 79，No. 698，pp.383-392，2014.4
- 9) 羽山広文，釜澤由紀，齊藤雅也 ほか3名：住環境が死亡原因に与える影響—その1気象条件・死亡場所と死亡率の関係—，第68回日本公衆衛生学会総会，2009.11
- 10) 日本高血圧学会：家庭血圧測定の指針 第2版，緑谷書店，2011.9
- 11) 日本高血圧学会：高血圧治療ガイドライン 2014，pp.39-44，ライフサイエンス出版株式会社，2014.4
- 12) 厚生労働省健康局：標準的な健診・保健指導プログラム 第2編【改訂版】，p.53，2013.4 [WEB サイト]
http://www.mhlw.go.jp/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/kenkou/sei-katsu/dl/hoken-program2.pdf (2015.1.27 参照)
- 13) SS. Franklin, MJ. Jacobs, ND. Wong et al. : Predominance of isolated systolic hypertension among middle-aged and elderly US hypertensives - Analysis based on National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) III, *Hypertension*, Vol. 37, No. 3, pp.869-874, 2001.3
- 14) 厚生労働省：平成24年 国民健康・栄養調査報告，pp.41-42，2014.3 [WEB サイト]
<http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/eiyou/dl/h24-houkoku.pdf>
(2015.1.27 参照)
- 15) 三輪哲，林雄亮：SPSS による応用多変量解析，株式会社オーム社，pp.253-277，2014.5
- 16) 循環器病予防研究会：完全収録第5次循環器疾患基礎調査結果，中央法規出版株式会社，2003
- 17) 高柳絵里，伊香賀俊治，村上周三 ほか2名：健康維持増進に向けた住環境評価ツールの有効性の検証，日本建築学会環境系論文集，Vol. 70，No. 670，pp.1101-08，2011.12
- 18) 清水裕士：個人と集団のマルチレベル分析，株式会社ナカニシヤ出版，pp.11-12，2014.10
- 19) Ita Kreft and Jan de Leeuw：基礎から学ぶマルチレベルモデル 入り組んだ文脈から新たな理論を創出するための統計手法（初版第2刷），株式会社ナカニシヤ出版，pp.92-99，2009.12

注

注1) 「マルチレベルモデル」とは入れ子構造データ（多水準データ）を扱う際に適用するモデルである。入れ子構造データとは、分析単位が複数のレベルに跨っており、変数も複数の水準で測定されているデータを指す。例えば、生徒が学校にネストされた構造、子供が家族にネストされた構造などが挙げられる。入れ子構造データに通常の一般線形モデルを適用すると、サンプルサイズを過大に見積もることと同義となり、標準誤差が過小に推

定され、「第1種の過誤 (type I error)」を犯しやすくなるという問題点がある。そのため、入れ子構造データにはマルチレベルモデルの適用が推奨される。マルチレベルモデルの基本的な発想は、目的変数の分散を「グループ内の分散」と「グループ間の分散」に分解することであり、目的変数のグループ内分散を Level-1 (本稿では日レベル) の説明変数によって説明し、グループ間分散を Level-2 (個人レベル) の変数によって説明する。

注 2) 仮説は、断熱性能別^{注3)}に「カプラン・マイヤー法」による生存関数の推定を行った図 4 の結果に基づき設定した。この分析結果は、断熱性能が高い住宅に 10 年以上住む居住者 (H4 年・H11 年基準群) と比較して、断熱性能が低い住宅に住む居住者 (無断熱・S55 年基準群) は、高血圧者の割合の加齢に伴う増加が急であり、高齢になった際に高血圧者の割合が高くなることを示唆している (ログランク検定で $p<0.05$)。従って、寒い住宅に住み続けている居住者の方が、血圧が高いことが想定されるため、本稿で扱う基礎仮説は、「平均室温が低い、寒い住宅に住んでいる対象者は血圧が高くなる」というものである。尚、図 4 の推計値は、表 2 に示したアンケート調査データ (n=483) より算出したものである。

上記の断熱性能は、既往研究¹⁷⁾を参考に、アンケート調査の「窓ガラスの枚数」、「窓サッシの種類」、「築年数」から推定した。また、回答に欠損があった住宅については、起床時 (7 時) の居間とトイレの室温平均値が 15℃以上の群を「H4 年・H11 年基準」に、その他を「無断熱・S55 年基準」に分類した。

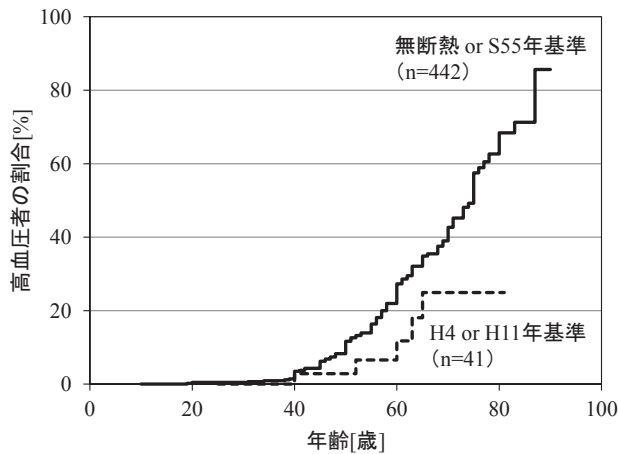


図 4 各年齢の高血圧者の割合 (断熱性能別)

- 注 3) 住宅事業建築主の判断基準における地域区分ごとの対象者数は、4 地域: 6 名、5 地域: 26 名、6 地域: 27 名、7 地域: 2 名であった。
 注 4) 起床時の測定条件は、(i)起床後 1 時間以内、(ii)排尿後、朝食・服薬前、(iii)座位 1~2 分安静後とし、就寝前は、(i) 座位 1~2 分安静後とした。
 注 5) Body Mass Index の略称で、ヒトの肥満度を表す体格指数。
 注 6) 4~7 地域にて実施した調査 E の有効対象者は 5 地域の 5 名と 6 地域の 5 名であった。従って、調査 A~D も含む本稿の分析の有効対象者は、5、6 地域の居住者のみである。
 注 7) 結果はピアソンの積率相関係数で示す。
 注 8) モデルの適合度の指標は、「 $-2 \times$ 対数尤度」や「ベイズ情報基準」など様々な存在するが、本稿においては各指標に大きな乖離が見られなかった

め、「赤池情報基準 (AIC: Akaike's Information Criterion)」のみを示す。
 注 9) Intra-class Correlation Coefficient の略。一定数のデータからなるグループが複数あり、全体として 1 つの集団を形成している際に、グループの内部のデータの類似性を表す指標であり、(グループ間分散) / (グループ間分散 + グループ内分散) で算出される。本分析の場合、グループが各対象者を表すため、同一対象者の反復測定データの類似性に該当する。級内相関係数 (ICC) が 0.10 以上の場合は階層性を考慮する必要がある¹⁸⁾。

注 10) $1 + (\text{平均グループ内データ数} - 1) \times \text{級内相関係数}$ により算出される指標であり、2.0 を超える場合はデータの階層性を考慮する必要がある¹⁸⁾。

注 11) 固定効果 (fixed effect) とは、母集団において固定値であるとみなされる値の効果を指す。一方、変量効果 (random effect) とは、母集団において確率分布に従うとみなされる値の効果のことである。ある要因の効果を固定効果と捉えることは、要因の全ての水準が測定されており、その効果を誤差のない形で推定できることを意味する。他方、ある要因の効果を変量効果と捉えることは、要因の各水準を母集団から無作為にサンプリングされたものとみなし、推定に際しサンプリングに伴う誤差の存在を仮定することを意味する¹⁵⁾。例として、本研究において「居間室温」に変量効果を与えているが、これはある確率分布に従っている各個人の血圧測定時の居間室温を、その分布の実現値と捉えることに該当する。

注 12) 回帰式に切片の分散を導入したモデルのことであり、本論文においては、各個人の血圧の平均値が異なると仮定することに該当する (図 5)。

注 13) 回帰式に切片の分散に加えて、説明変数の係数 (傾き) の分散を導入したモデルのことであり、本論文においては、各個人の血圧の平均値に加えて、室温が血圧に及ぼす影響が個人毎に異なると仮定することに該当する (図 5)。

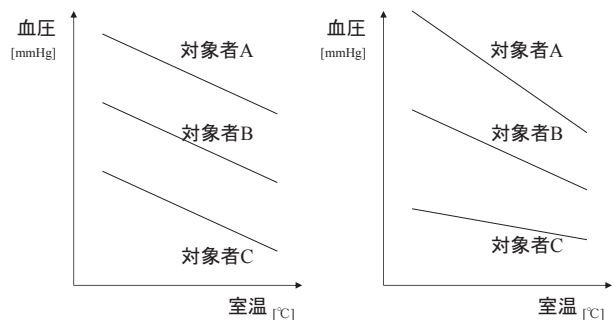


図 5 ランダムインターセプトモデル (左)
 ランダムスロープモデル (右)

注 14) センタリングには、一般に「全体平均センタリング (CGM: Centering at the Grand Mean)」と「集団平均センタリング (CWC: Centering Within Cluster)」の 2 種類がある。本分析においては、CWC をした説明変数を Level-1 に、CWC をした変数を CGM した変数を Level-2 に投入することで、各 Level の効果を分離した¹⁹⁾。

注 15) マルチレベルモデルの推定には、主に「REML (制限付き最尤法)」と「ML (最尤法)」の 2 つの手法が用いられる。前者は、固定効果の推定による自由度の減少を考慮した上で分散成分の推定を行うため、分散が不偏推定量となるという利点がある一方で、固定パートの構成が異なるモデル間の適合度の比較ができない。後者は、分散が不偏推定量とならない代わりに、固定パートの構成に拘わらず適合度の比較が可能である。本論においては「REML」を採用した¹⁵⁾。

表 8 説明変数同士の相関分析

* $p<0.05$, ** $p<0.01$

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16
	居間室温	寝室室温	トイレ室温	外気温	居間寝室温度差	居間トイレ温度差	睡眠時間	年齢	性別	BMI	降圧剤服用	既往歴有無	喫煙	飲酒頻度	味噌好	脂物嗜好
x1		.43**	.38**	.21**	.44**	.74**	-.12**	-.23**	.03	-.08**	-.05**	-.14**	.08**	.06**	-.13**	.12**
x2			.54**	.33**	-.63**	.04	-.14**	-.21**	.07**	-.05**	.03	.07**	.12**	.04	-.08**	.11**
x3				.59**	-.22**	-.35**	-.13**	-.15**	.05**	-.01	-.03	.03	.08**	.09**	-.01	.08**
x4					-.15**	-.22**	.02	-.10**	-.00	-.01	-.04*	.02	.01	-.06**	.05**	-.03
x5						.60**	.05	.01	-.04*	-.02	-.08**	-.20**	-.05**	.02	-.03	-.02
x6							-.02	-.13**	-.01	-.08**	-.04*	-.16**	.02	.00	-.12**	.07**
x7								.38**	-.00	-.10**	.18**	.10**	-.01	.06**	.01	-.11**
x8									-.06**	-.05**	.37**	.33**	-.06**	-.02	-.02	-.33**
x9										.11**	.02	.09**	.68**	.46**	.28**	.29**
x10											.14**	.07**	.08**	-.06**	.05**	.20**
x11												.27**	-.01	.01	-.02	-.08**
x12													.11**	.03	.11**	-.05*
x13														.51**	.26**	.19**
x14															.13**	-.05*
x15																.18**
x16																

THE IMPACT OF INDOOR TEMPERATURE ON HOME BLOOD PRESSURE BASED ON A MULTILEVEL MODEL

A field survey on the effect of indoor thermal environment on blood pressure in winter (PartII)

*Wataru UMISHIO**, *Toshiharu IKAGA*** , *Shintaro ANDO****
*and Kuniaki OTSUKA*****

* Kajima Corporation, M.Eng.

(Grad. Stud., Graduate School of Science and Technology, Keio Univ.)

** Prof., Faculty of Science and Technology, Keio Univ., Dr.Eng.

*** Lect., Faculty of Environmental Engineering, The Univ. of Kitakyushu, Dr.Eng.

**** Emeritus Prof., Tokyo Women's Medical Univ., M.D.

According to Healthy Japan 21 (Second Term), reducing the average systolic blood pressure (BP) by 4 mmHg would prevent an estimated 14,000 deaths from cardiovascular disease (including 9,300 deaths from cerebrovascular disease and 4,700 deaths from ischemic heart disease) each year in Japan. Accordingly, reducing average BP is one of the country's major public health goals. Moreover, it is recognized that individual efforts alone, such as lifestyle modification, cannot be relied on to achieve this goal. Measures are therefore needed that involve large numbers of people, such as environmental improvement (e.g., home renovation).

Against this background, some studies have looked at the effects of the indoor thermal environment on BP. Most BP data are obtained from repeated measurements in particular individuals, so an appropriate statistical method such as multilevel modeling should be applied to the data.

This study aimed to clarify the relationship between indoor thermal environment and home BP based on a multilevel model. By using this model, it is possible to elucidate both compositional and contextual effects of indoor temperature on home BP. These effects are respectively defined as the increase in BP per 1°C decrease in indoor temperature on a particular day and the increase in BP per 1°C decrease in average indoor temperature of houses.

Data were collected through field surveys in Tosa Town and Yusuhara Town, Kochi Prefecture; Nagato City, Yamaguchi Prefecture; Uenohara City, Yamanashi Prefecture; and some other areas around Japan. The surveys were conducted in winter (2012–2014). Home BP was measured by participants twice daily: before getting into bed in the evening and after getting out of bed in the morning. Indoor temperature at 1.1 m above the floor was measured in the living room, bedroom, bathroom, and dressing room at 10-min intervals. During the survey periods, participants recorded the wake time and bedtime each day in a diary. Questionnaire surveys on personal factors and housing were also distributed.

In developing the model of BP, residents who had lived in their present house for >10 years were screened and selected. The model was assumed to have a hierarchical structure in which day-level variables obtained from field measurements (e.g., BP, indoor temperature) were nested within resident-level variables obtained from questionnaire surveys (e.g., age, sex, body mass index). The objective variables were systolic BP and diastolic BP in the morning (n=3,331). Explanatory variables were the day-level and resident-level variables mentioned above.

Both compositional and contextual effects on morning BP were found to be significant. The sum of the effects was 0.57 (= compositional effect + contextual effect: 0.38 + 0.19) mmHg/°C for morning systolic BP and 0.43 (=0.20 + 0.23) mmHg/°C for morning diastolic BP. The interaction of age and temperature was significant, and indicated that the effect of indoor temperature on BP was stronger in older residents. One possibility is that the higher BP was caused not only by cold exposure on a particular day but also by ongoing residence in a cold house.

Lifestyle diseases such as hypertension result from the cumulative effects of various risk factors. The results of this study suggest that hypertension might result from the cumulative effect of coldness. Thus, maintaining an appropriate indoor temperature is important not just for older residents, who are sensitive to changes in indoor temperature and at high risk of cardiovascular events, but also for younger residents. These findings may have important implications for managing hypertension and preventing cardiovascular events.

(2015年2月6日原稿受理, 2015年6月5日採用決定)