

ZEHと健康

住まいの高断熱化と内装木質化がもたらす健康効果



見えない価値の見える化

省エネ性
低炭素性

健康性

知的生産性

強靱性

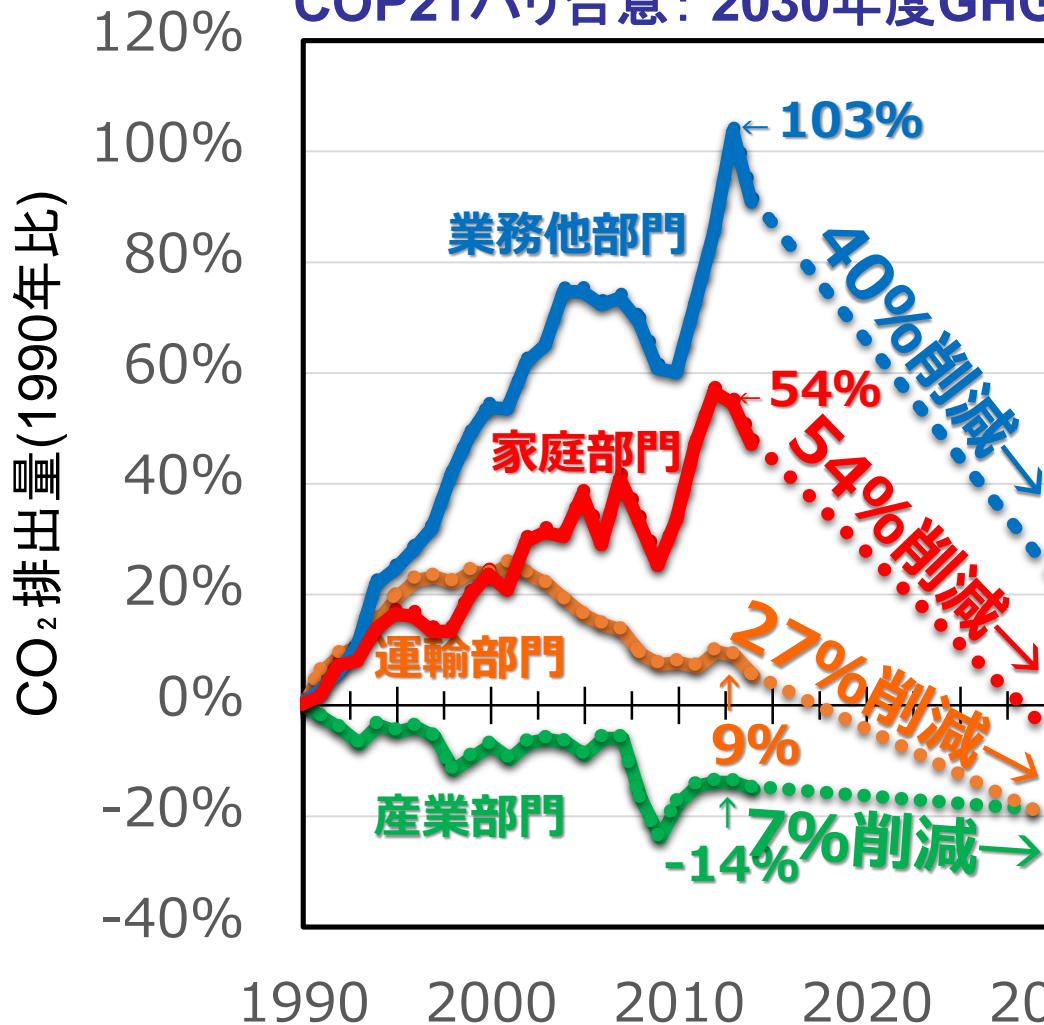
気候変動に関する政府間パネル (IPCC)WG 3 第5次報告書 (2014.4) 第9章

慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科教授

伊香賀 俊治

2030年までの部門別CO₂削減目標

COP21パリ合意：2030年度GHG2013年度比26%削減に向けて

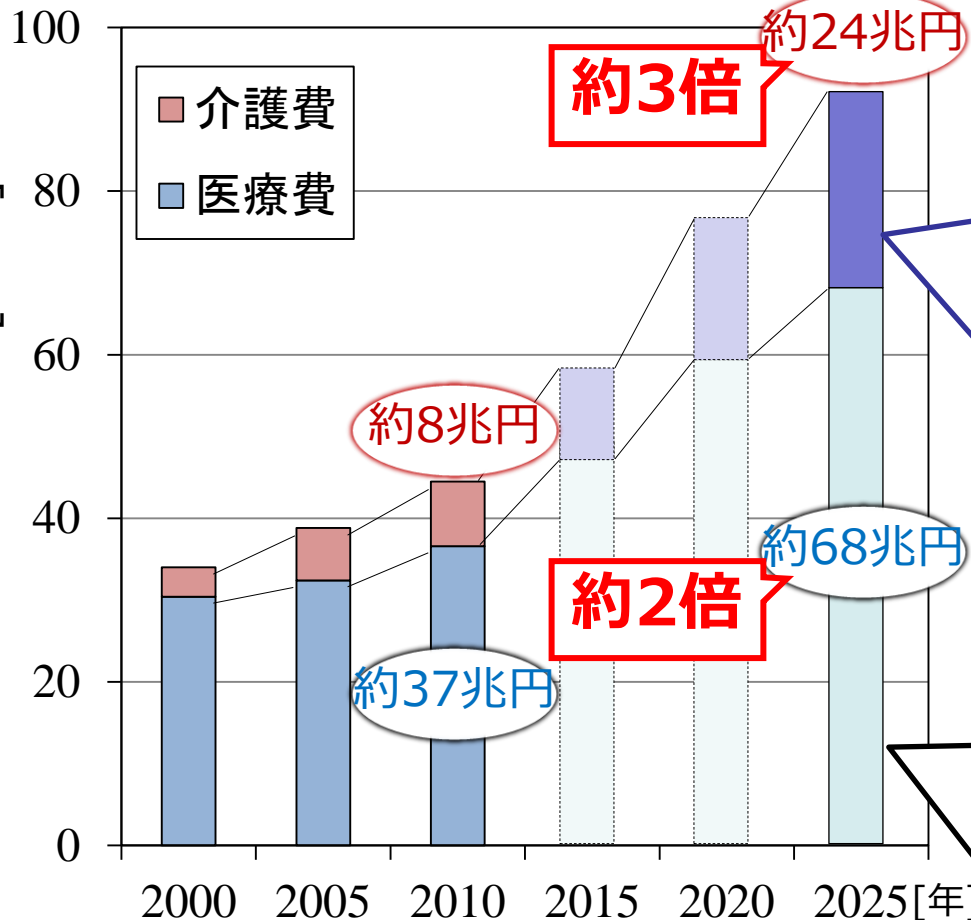


文1 国立環境研究所 温室効果ガスインベントリオフィス：日本の温室効果ガス排出量データ，2016

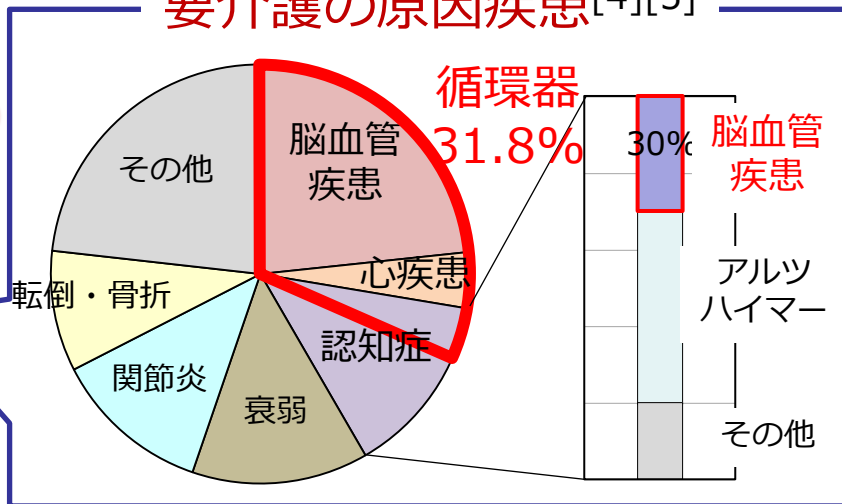
文2 気候変動枠組み条約第21回締約国会議（COP21パリ）で合意した日本の2030年度の温室効果ガス削減目標は2013年度比26%削減であり、そのためのエネルギー起源CO₂の部門別削減目標を図中に記載（環境省2015年12月）

増え続ける医療・介護費とその原因

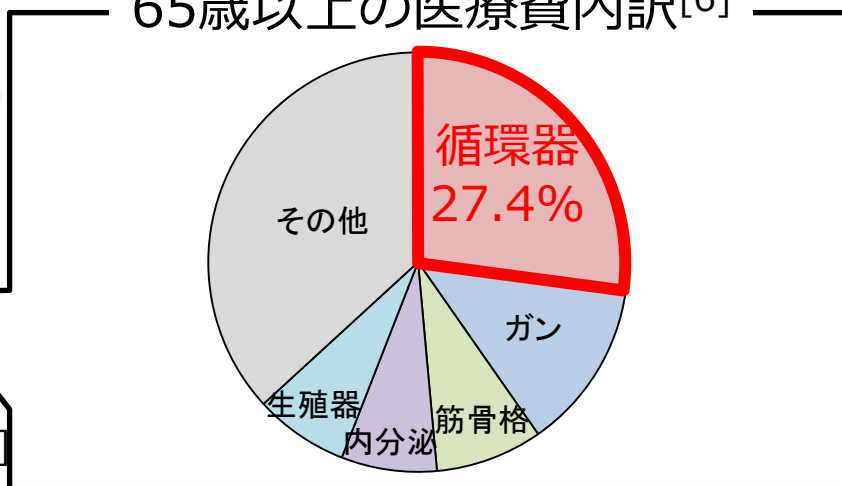
医療費・介護費の推移[1][2][3]



要介護の原因疾患[4][5]



65歳以上の医療費内訳[6]

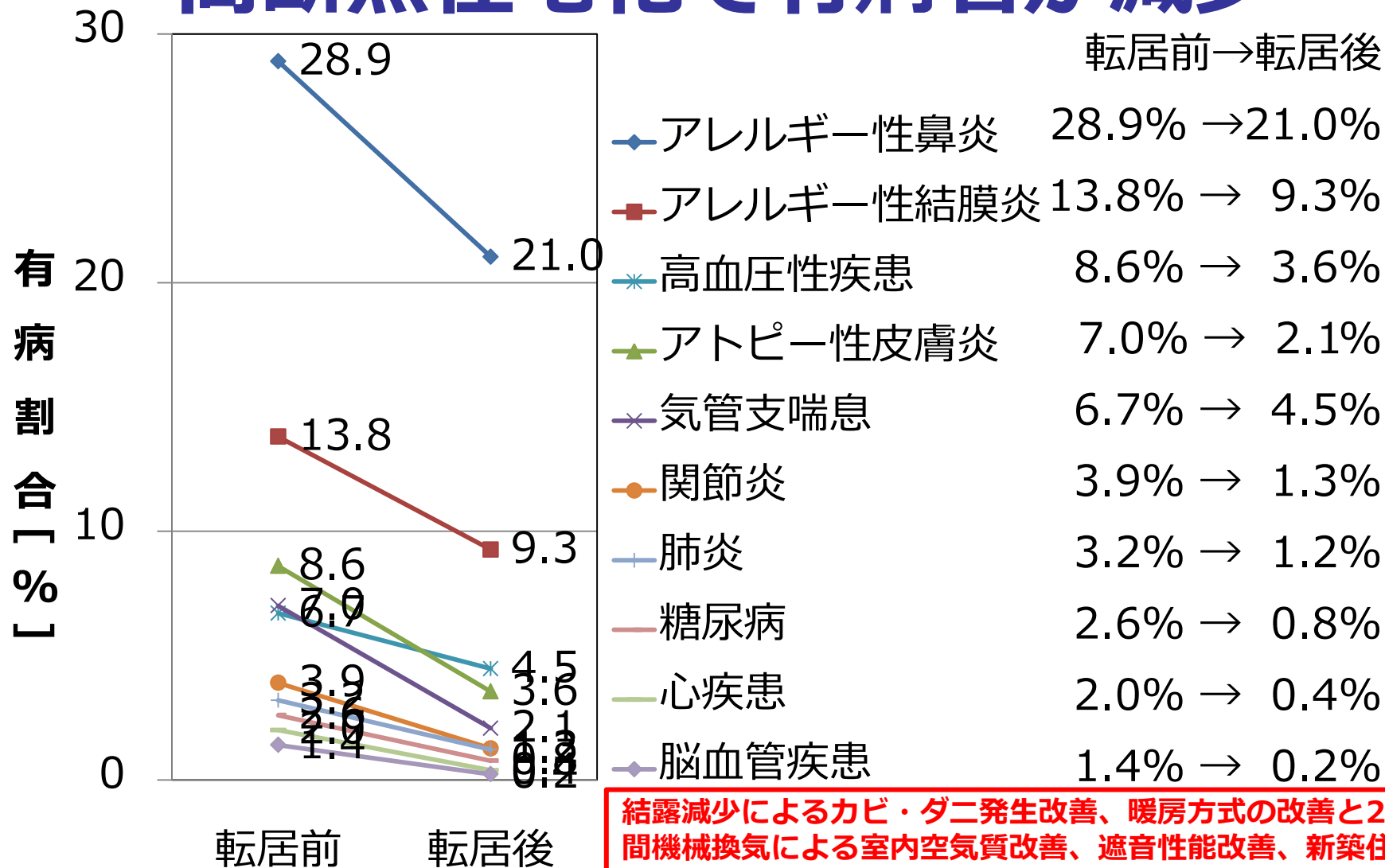


▶ **循環器疾患予防が医療・介護費増大抑制に寄与**

[1] 厚生労働省「医療費の推移」2010 [2] 厚生労働省「介護保険制度改正の概要」2011 [3] 内閣官房内閣広報室「医療・介護費用のシミュレーション」2008 [4] 厚生労働省「要介護者等の状況」2007 [5] 須貝佑一「あなたの家族が病気になった時に読む本 認知症」2006 [6] 厚生労働省「国民医療費の概況」2008



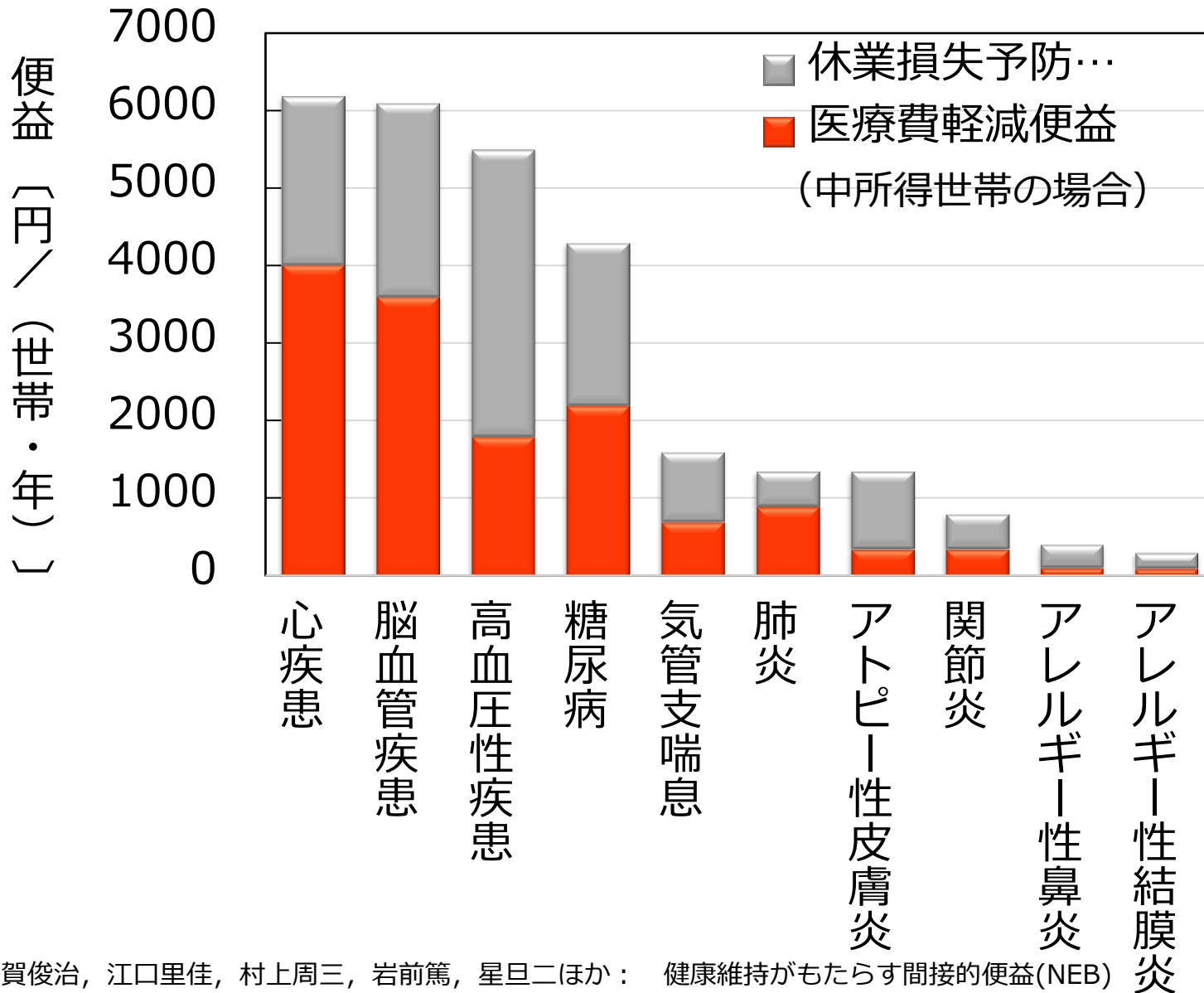
高断熱住宅化で有病者が減少



結露減少によるカビ・ダニ発生改善、暖房方式の改善と24時間機械換気による室内空気質改善、遮音性能改善、新築住宅への転居による心理面での改善などの複合効果と考えられる

岩前篤：断熱性能と健康，日本建築学会環境工学本委員会熱環境運営委員会第40回 熱シンポジウム，pp.25-28，2010.10
 伊香賀俊治，江口里佳，村上周三，岩前篤，星旦二ほか：健康維持がもたらす間接的便益(NEB)を考慮した住宅断熱の投資評価，日本建築学会環境系論文集，Vol.76，No.666，2011.8

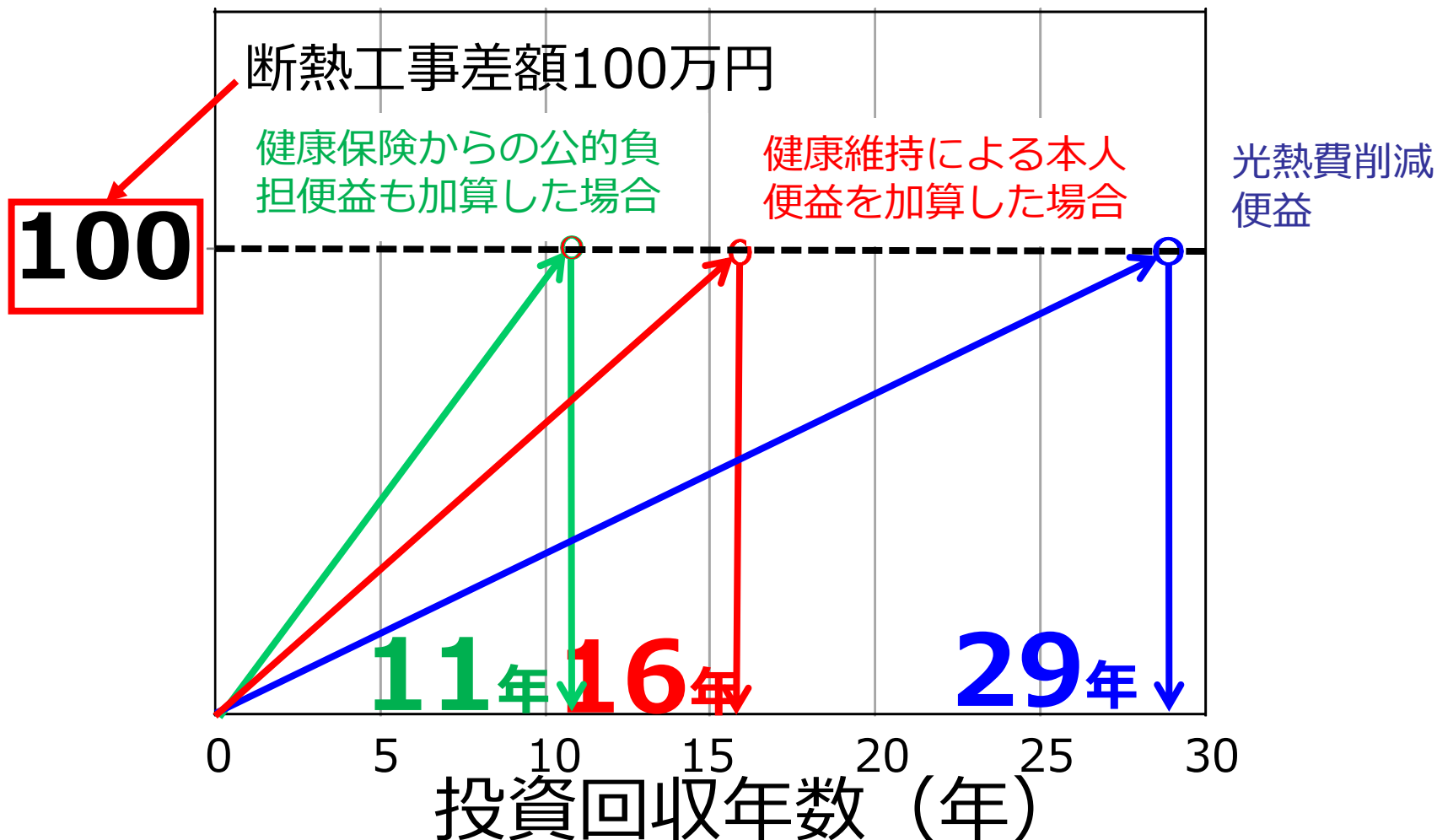
高断熱住宅の疾病予防便益



伊香賀俊治, 江口里佳, 村上周三, 岩前篤, 星旦二ほか: 健康維持がもたらす間接的便益(NEB)を考慮した住宅断熱の投資評価, 日本建築学会環境系論文集, Vol.76, No.666, 2011.8

住宅高断熱化の健康ベネフィット

断熱工事費と各種便益 (万円/戸)



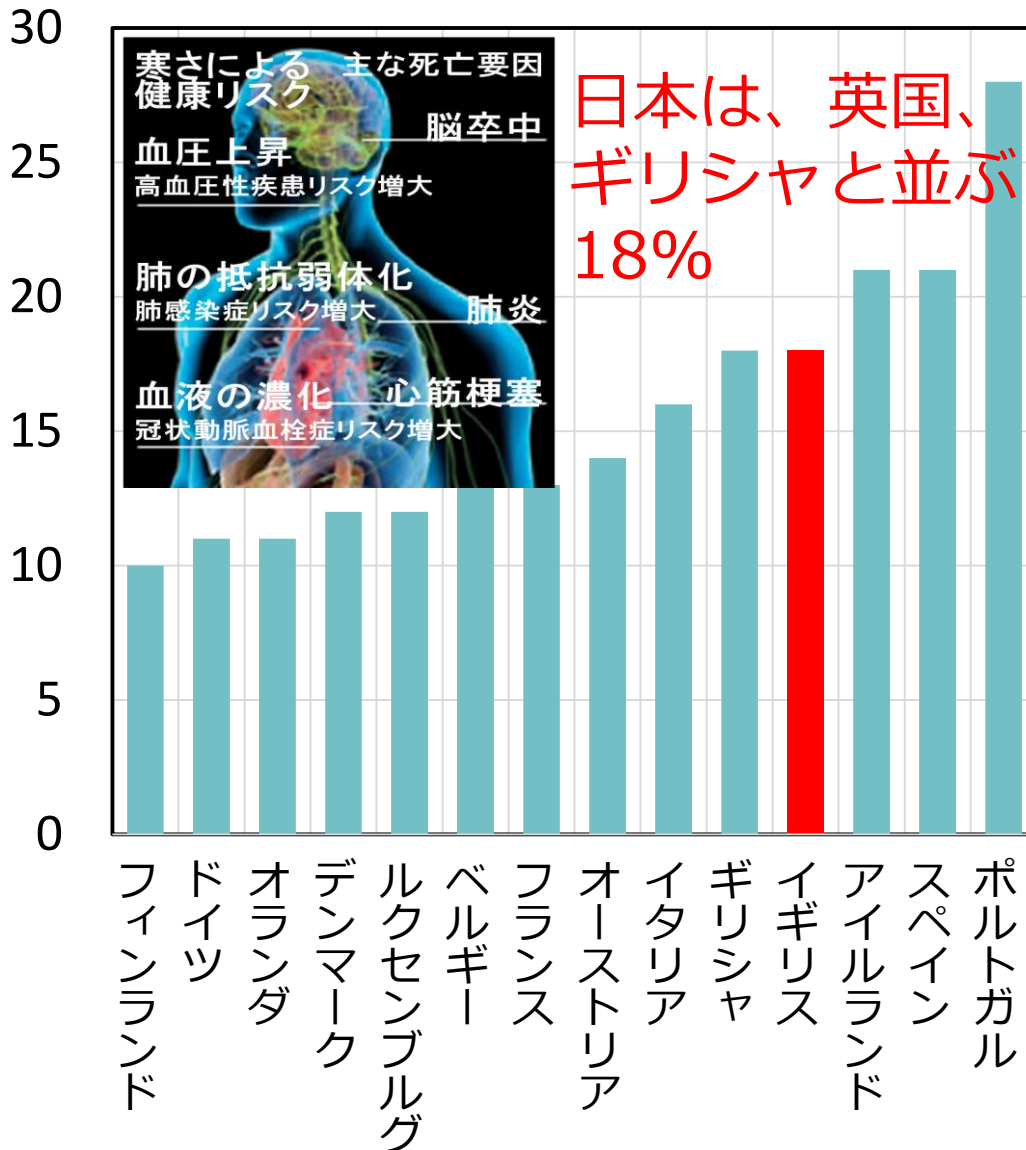
光熱費削減だけでは29年、健康維持の本人便益を加算すれば16年、健康保険からの公的負担も加算すれば11年で断熱工事費100万円/戸を回収できる

伊香賀俊治, 江口里佳, 村上周三, 岩前篤, 星旦二ほか: 健康維持がもたらす間接的便益 (NEB)を考慮した住宅断熱の投資評価, 日本建築学会環境系論文集, Vol.76, No.666, 2011.8



欧州の温暖な国ほど冬の死亡が増大

冬の死亡増加率 (%)



○ 18°C 許容温度

室内最低推奨室温

△ 18°C未満

血圧上昇、循環器系疾患の恐れ

△ 16°C未満

呼吸器系疾患に対する抵抗力低下

× 5°C

低体温症を起こす危険大

× 4~8°C

集団レベルで観測される死亡増加する平均外気温度の閾値

出典：英国保健省イングランド公衆衛生庁「イングランド防寒計画（Cold Weather Plan for England）2015.10」

健康性・安全性の劣る住宅に改修・閉鎖・解体命令（英国住宅法2006年改正）

英国保健省年次報告書（2010.3）



英国保健省 イングランド防寒計画

寒さからイングランド国民の健康を守り、被害を減らす防寒計画



英国保健省イングランド公衆衛生庁（PHE）によって、国民保健サービス（NHS）、地方政府協議会（LGA）、気象庁（Met）との連携のもとに、2011年に策定された枠組み。2013年改訂、最新版2015年10月、2016年1月一部修正

- (1) 寒さによる健康被害の注意喚起
- (2) 寒冷気象警報
- (3) 適切な暖房推奨 **18°C**
- (4) 健康を守り、被害を減らす投資としての住宅断熱改修、
- (5) 燃料貧困層の暖房燃料クーポン配給

<http://www.metoffice.gov.uk/public/weather/cold-weather-alert/#?tab=coldWeatherAlert>

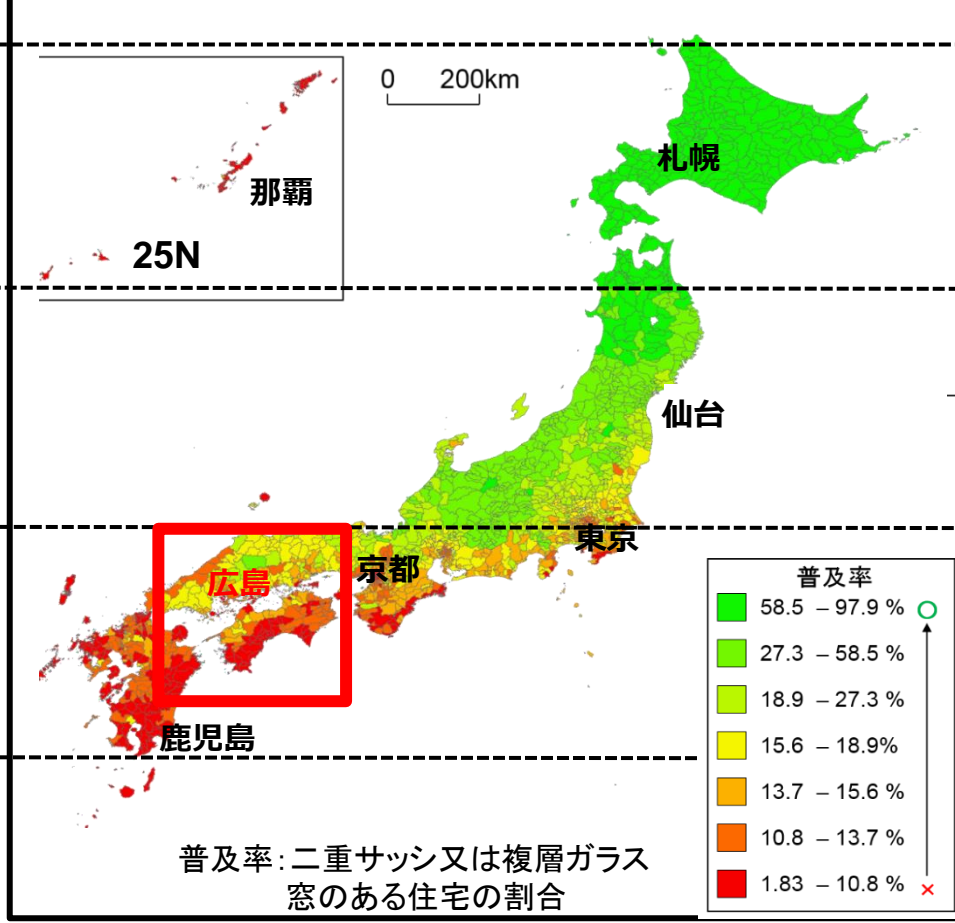
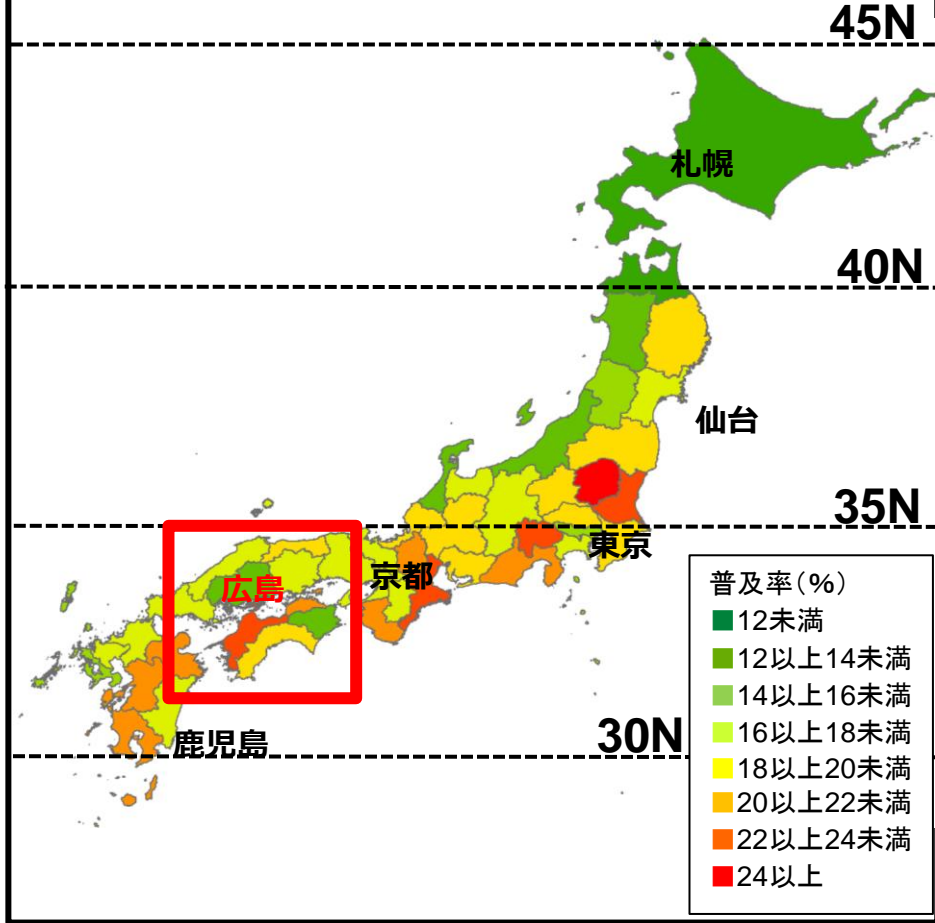
高断熱住宅普及地で冬の死亡が少ない

冬季死亡増加率=平均17.5%

高断熱住宅普及率=平均15%

厚生労働省「人口動態統計2014年」都道府県別・月別からグラフ化

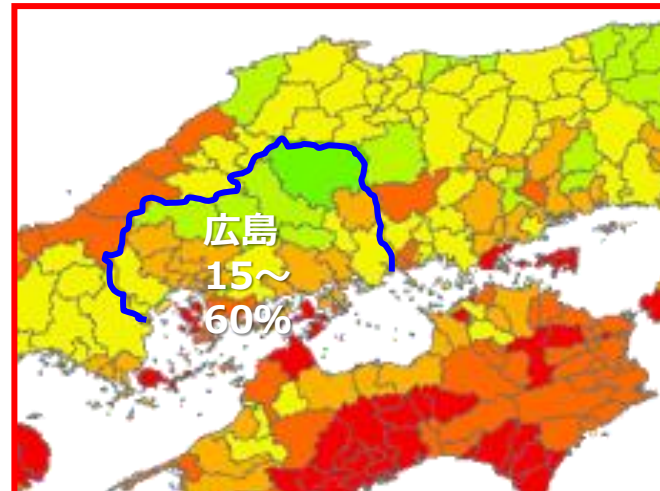
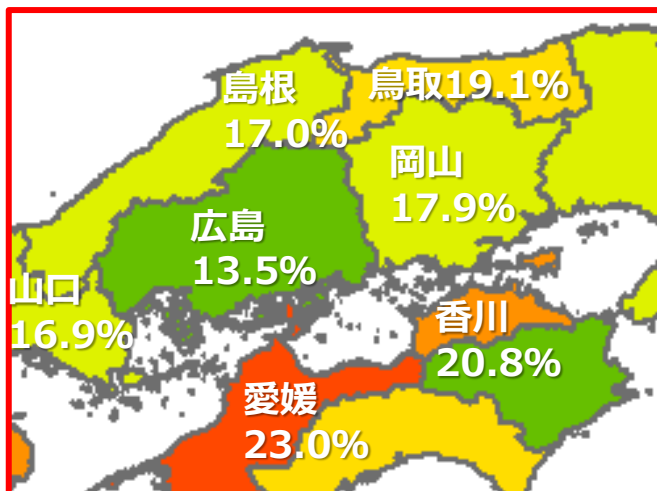
総務省「住宅・土地統計調査2008」を地図化



広島県医師会 心筋梗塞・脳卒中予報

広島県の冬季死亡増加率は**13.5%**
隣県よりも**3.4~9.5Pt少ない**

広島県の高断熱住宅普及率は**15~60%**
隣県よりも**10~20Pt普及している**



広島県 心筋梗塞・脳卒中予報 11月04日

発表: 広島県医師会 提供: 日本気象協会

地域	心筋梗塞	心不全	脳卒中	天気	最低気温 (°C)	最高気温 (°C)
北部	普通 (危険小)	注意 (危険中)	注意 (危険中)	晴	1	16
南部	普通 (危険小)	普通 (危険小)	普通 (危険小)	晴	7	18

心不全予報 脳卒中予報

<http://sinkin.hiroshima.med.or.jp/index2.html>
Copyright HIROSHIMA Prefectural Medical Association All Rights Reserved.

心筋梗塞 7日の予報 脳卒中

県北部 警戒 県南部 警戒

朝は内陸部を中心に厳しい冷え込みになる。気温の変化に注意。胸の痛みや苦しきなどの異常に気付いたら速やかに受診を。

県医師会発表、日本気象協会提供

地元の新聞記事

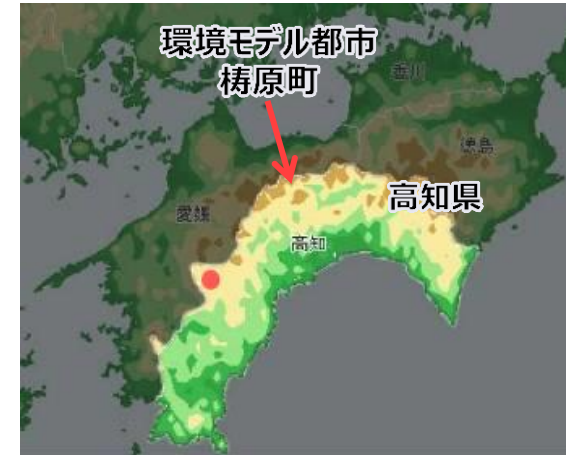
広島県医師会ウェブサイト (現在、中断)
<http://sinkin.hiroshima.med.or.jp/index2.html>
 2006年12月から心筋梗塞及び脳卒中予報を広報。



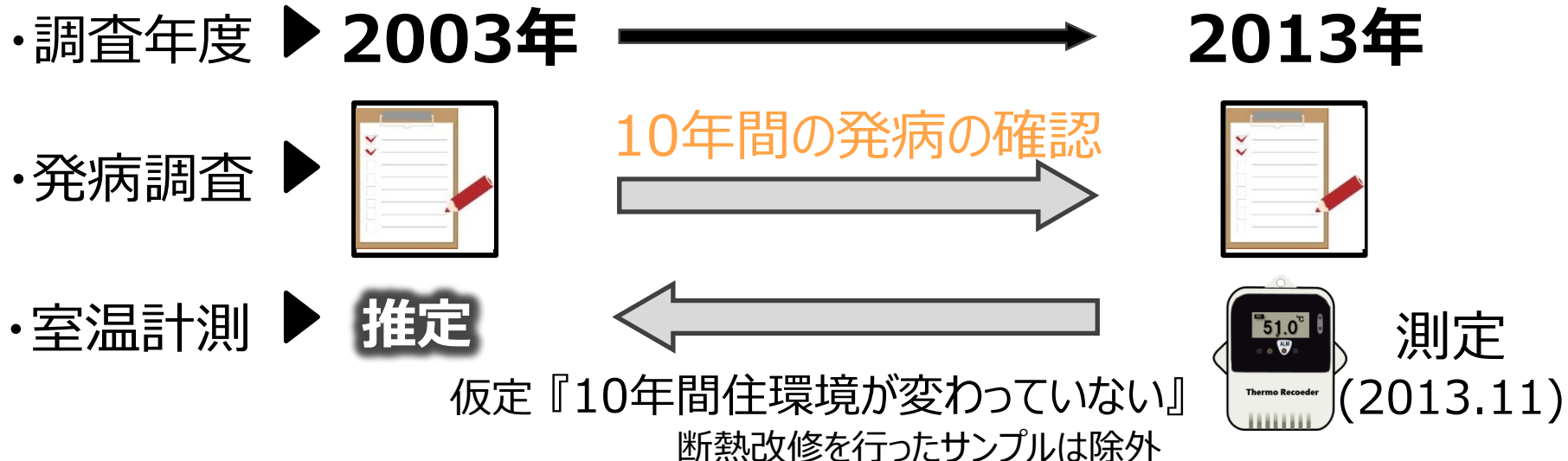
高知県梼原町での10年間コホート調査

調査対象

- ・高知県 梼原町 東区（人口1,492人、664世帯）
- ・過去12年にわたる、町当局による大規模な医療調査と健康指導
- ・梼原町の1人当り医療費：
高知県平均より13%少く、高齢者については23%少い



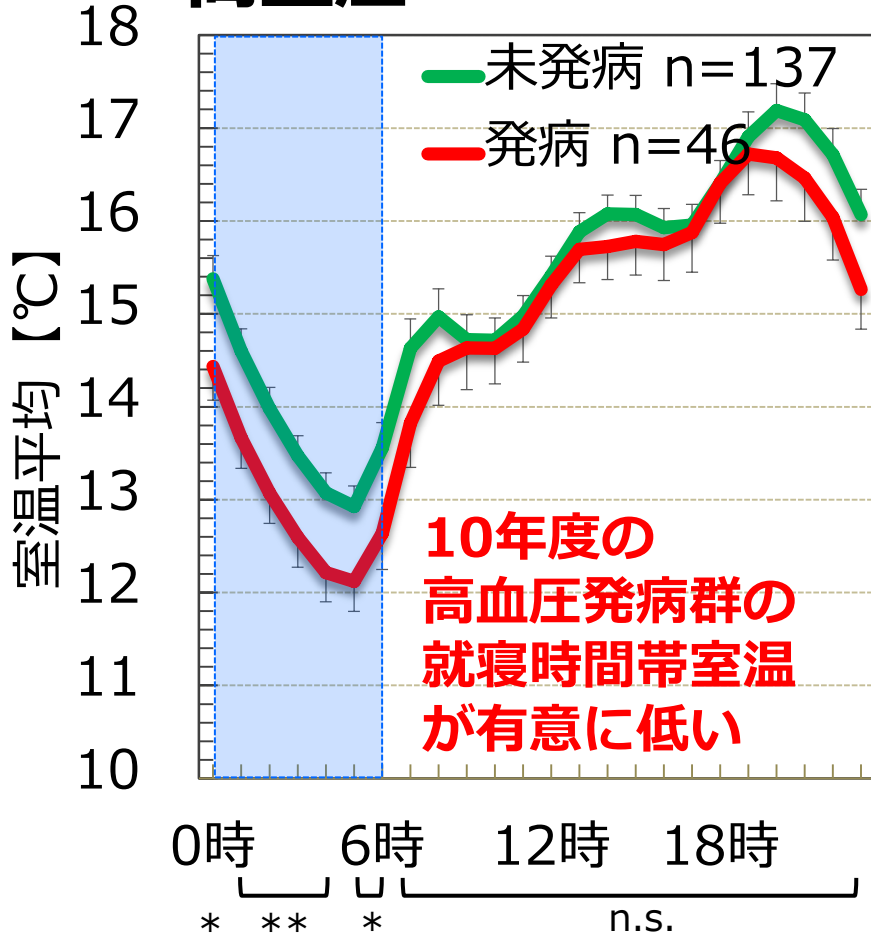
調査概要（有効サンプル n=214）



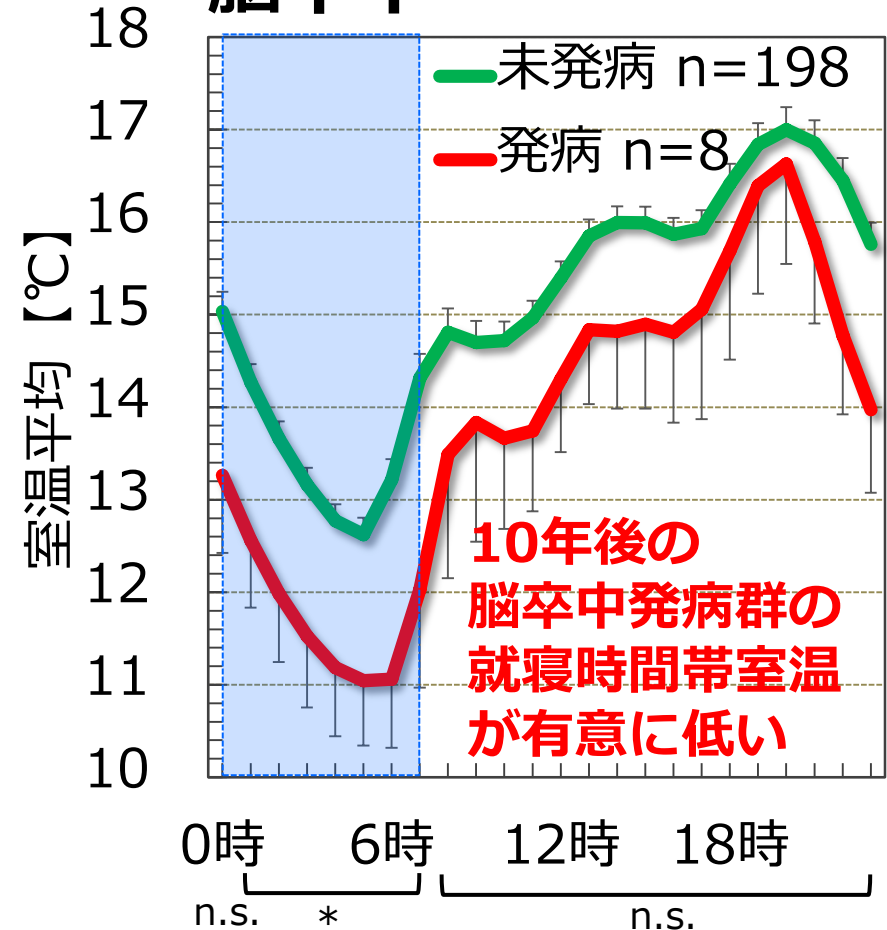
文1：前川拓美、安藤真太郎、伊香賀俊治、星旦二ほか、寒冷環境による循環器疾患発病リスクに関するコホート研究、日本建築学会九州支部、2016年3月

高血圧・脳卒中発病群の就寝時間帯室温が低い

高血圧



脳卒中



*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.10, n.s.: not significant

※ t検定による発病群と未発病群の室温平均の差の検定を1時間毎に実施

グループ変数：10年間の各疾患の発病有無(0:未発病、1:発病) ※初期有病者・完治は除外

説明変数：24時間の1時間毎の平均室温(実数)

前川、安藤、伊香賀、星旦二ほか：寒冷環境による循環器疾患発病リスクに関するコホート研究、日本建築学会九州支部、2016年3月

寒い住宅の10年後高血圧発病：6倍越

0時に18℃未満の住宅居住者の高血圧発病リスク
 従属変数：高血圧発病有無^{※1} (0:未発病 1:発病)

共変量	有意 確率	調整 オッズ比	95%信頼区間	
			下限	上限
0時室温平均 (1:18℃以上 2:18℃未満)	.030	6.666	1.205	36.869
年齢 (1:50歳未満 2:50-64歳 3:65歳-75歳)	.001	3.138	1.613	6.103
BMI ^{※2} (1:肥満以外 2:肥満)	.011	4.131	1.381	12.356
性別 (1:男性 2:女性)	.656	1.264	.451	3.542
職業 (1:無職 2:有職)	.057	.100	.009	1.075
等価所得 ^{※3} (1:150万未満 2:150万以上)	.273	1.006	.995	1.017
喫煙歴 (1:無し 2:有り)	.397	.584	.168	2.027
飲酒 (1:週3日未満 2:週3日以上)	.863	1.022	.800	1.305
味付け嗜好 (1:薄い味 2:普通 3:濃い味)	.242	1.932	.641	5.819

Hosmer-Lemishowの検定 p=.053 正判別率 80.7%

※1…脳卒中、心疾患については発病したサンプルが少なく調整オッズ比を求めることが出来なかった為、高血圧のみを対象

※2…BMIが25.0以上の人を肥満とした。 ※3…世帯年収を世帯人数の平方根で除したものの。

前川、安藤、伊香賀、星旦二ほか：寒冷環境による循環器疾患発病リスクに関するコホート研究、日本建築学会九州支部、2016年3月

JST科学技術振興機構「健康長寿を実現する住まいとコミュニティの創造（伊香賀俊治・星 旦二・梶原町）」社会実証事業



温度差減らし、病気のリスク軽減

JST科学技術振興機構「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）」2012-2015
科研費基盤A（研究代表者：伊香賀）2012-2013、2014-2016



温度差減らし、病気のリスク軽減



“温度変化”健康への影響は

NHKおはよう日本（2012年11月29日、2013年3月28日放送）

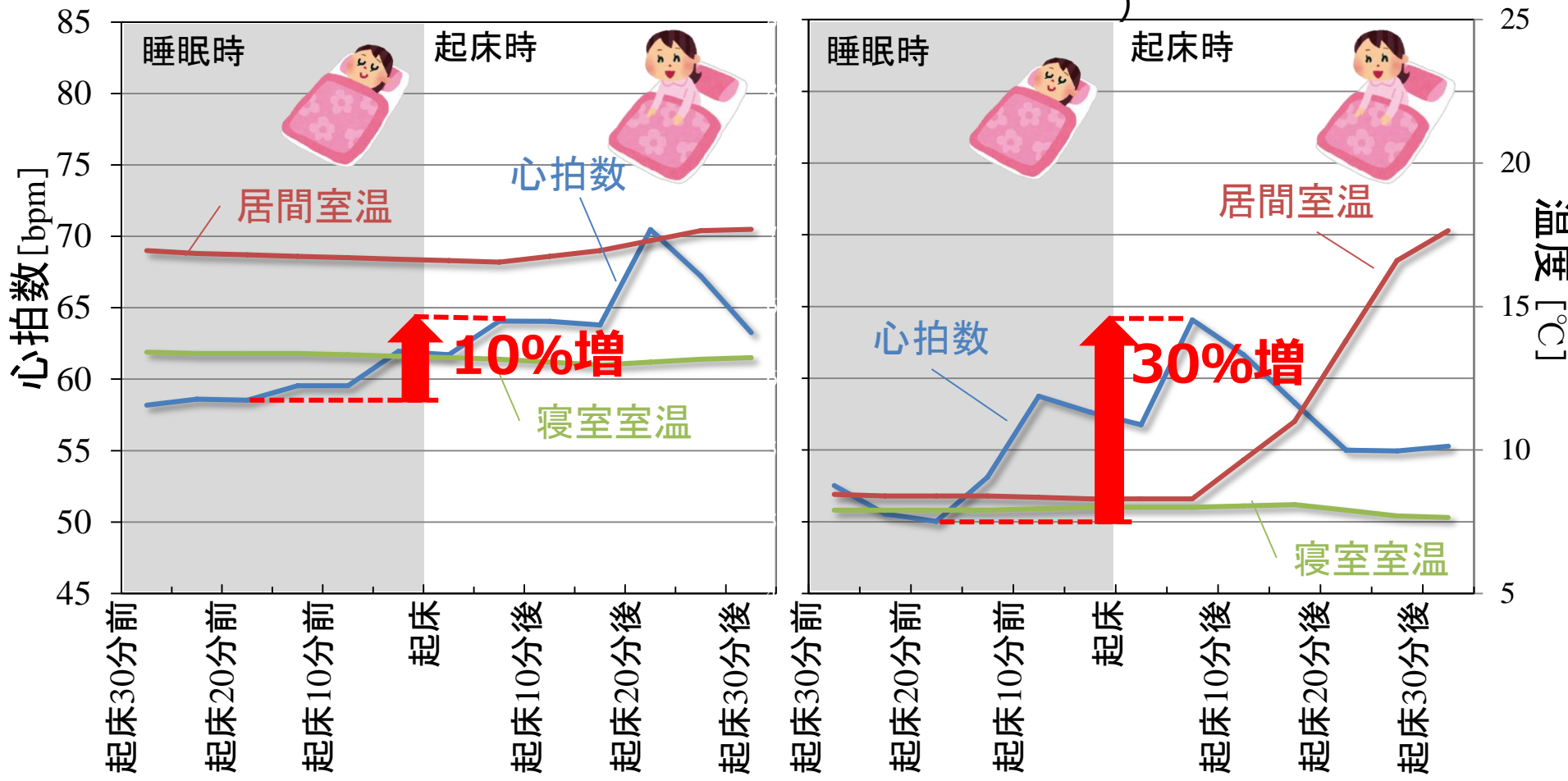
Ikaga Lab., Keio University (Shintaro ANDO, Wataru UMISHIO, Megumi YANAGISAWA)

高断熱住宅では起床時の心臓への負担軽減

モデル住宅

自宅

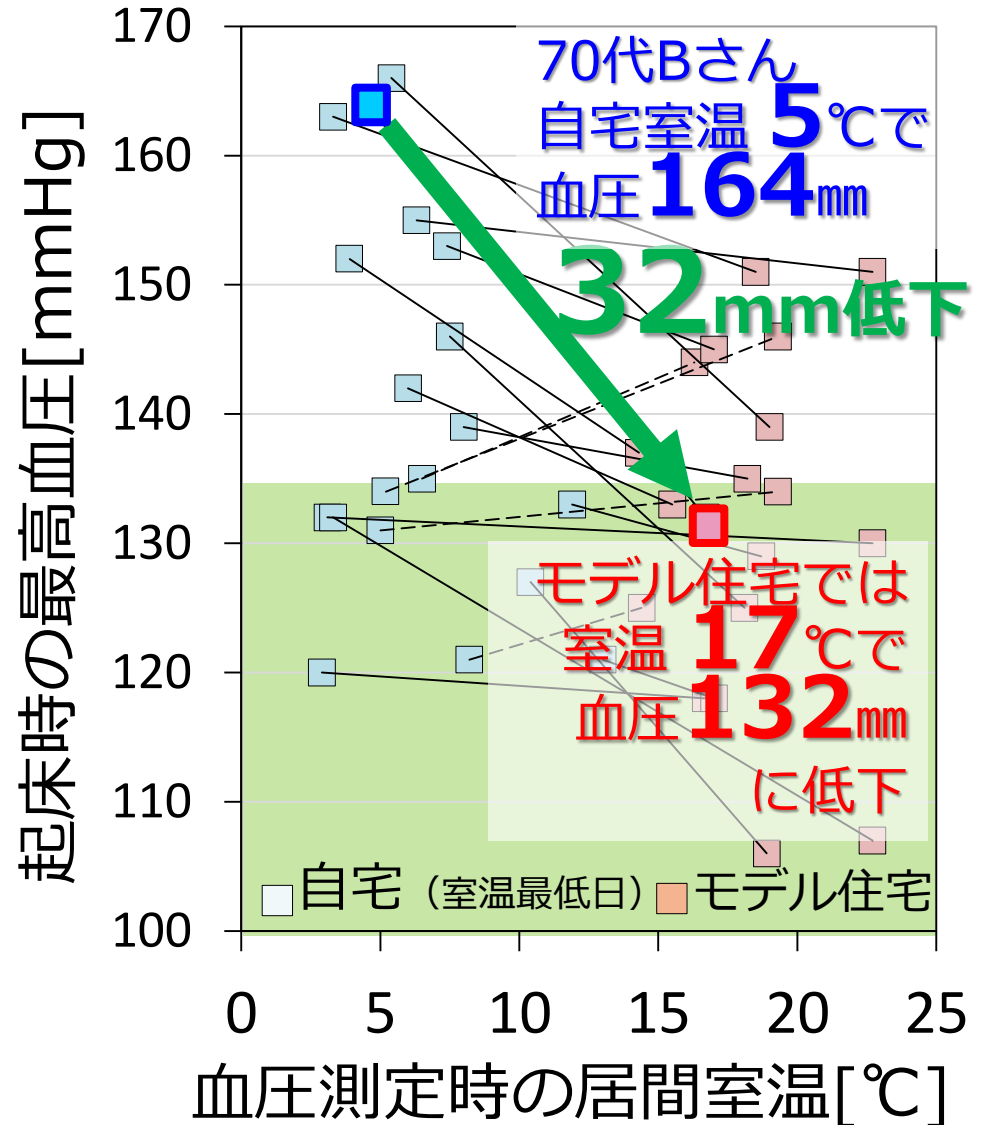
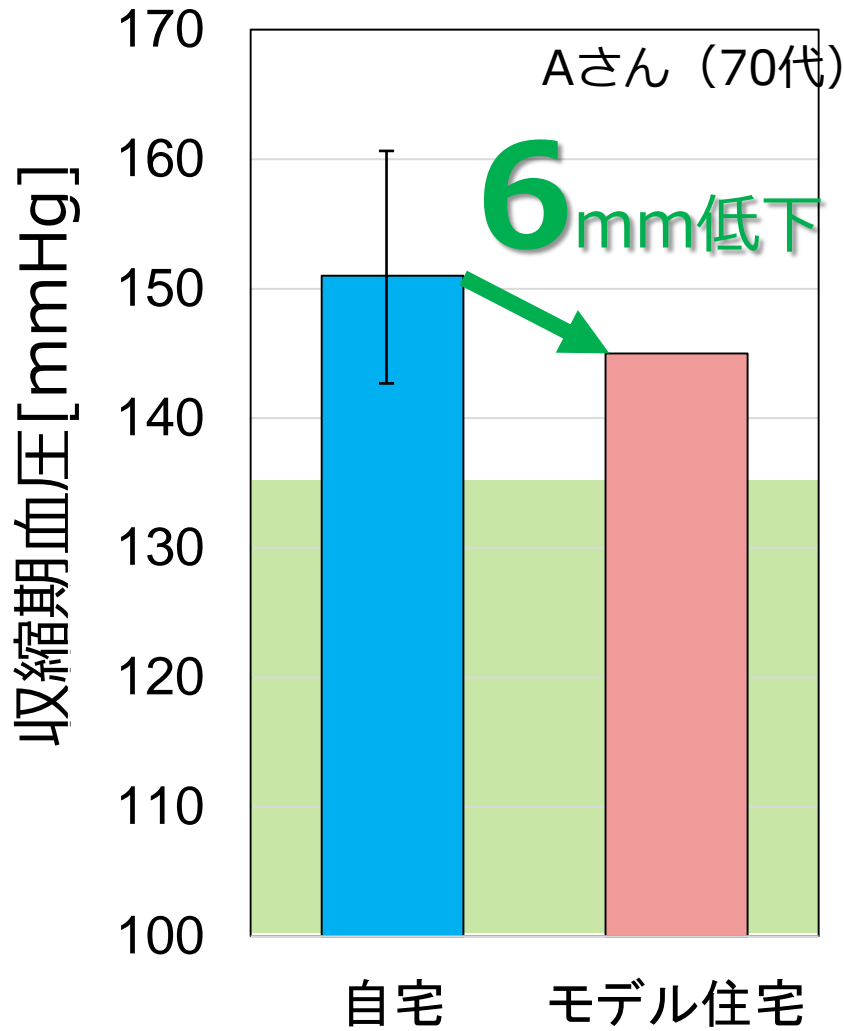
(70代の男性の結果)



➡ モデル住宅では、起床直後の急激な心拍上昇が生じていない

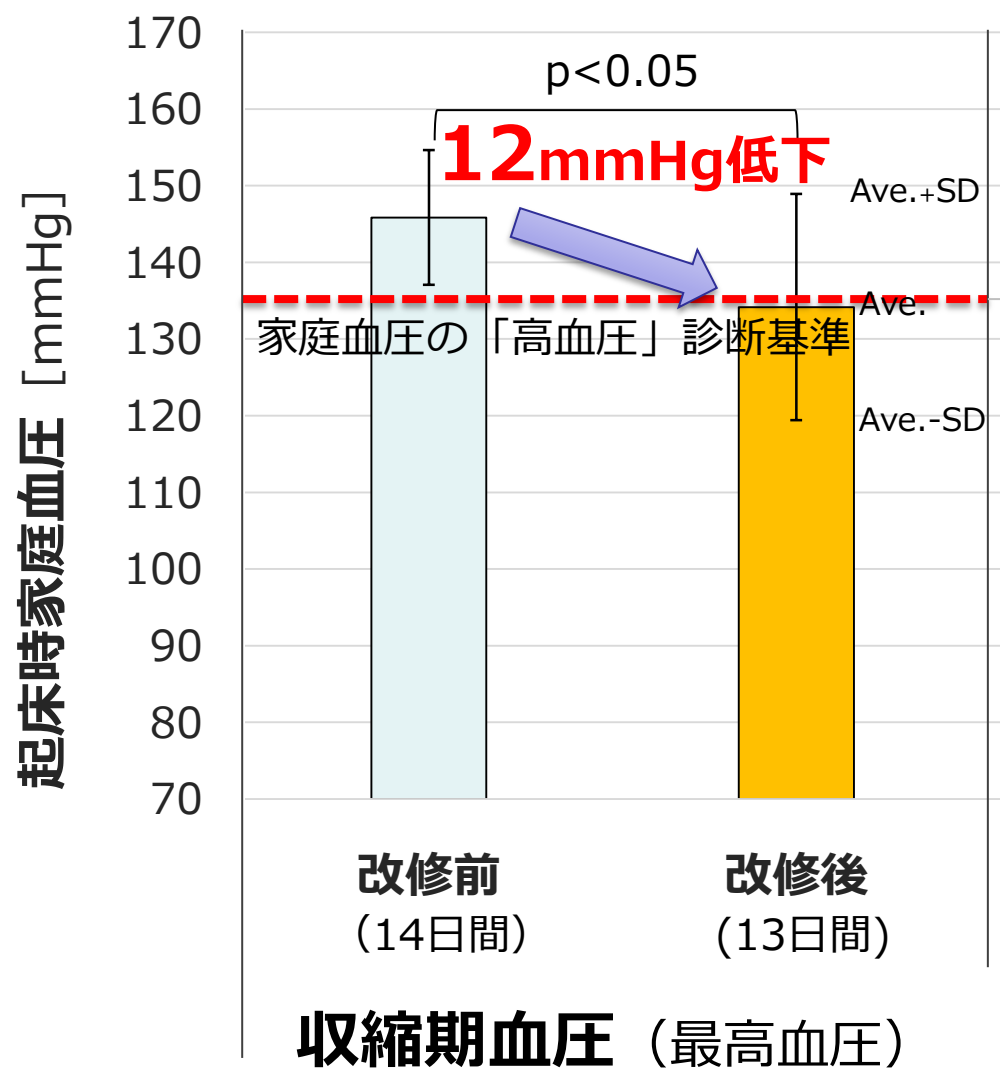


暖かい住宅で寒い自宅に比べ血圧低下



断熱改修によって起床時血圧が顕著に低下

起床時平均室温 **8°C** → **20°C**



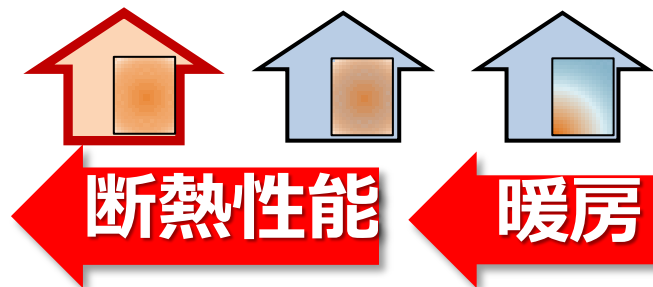
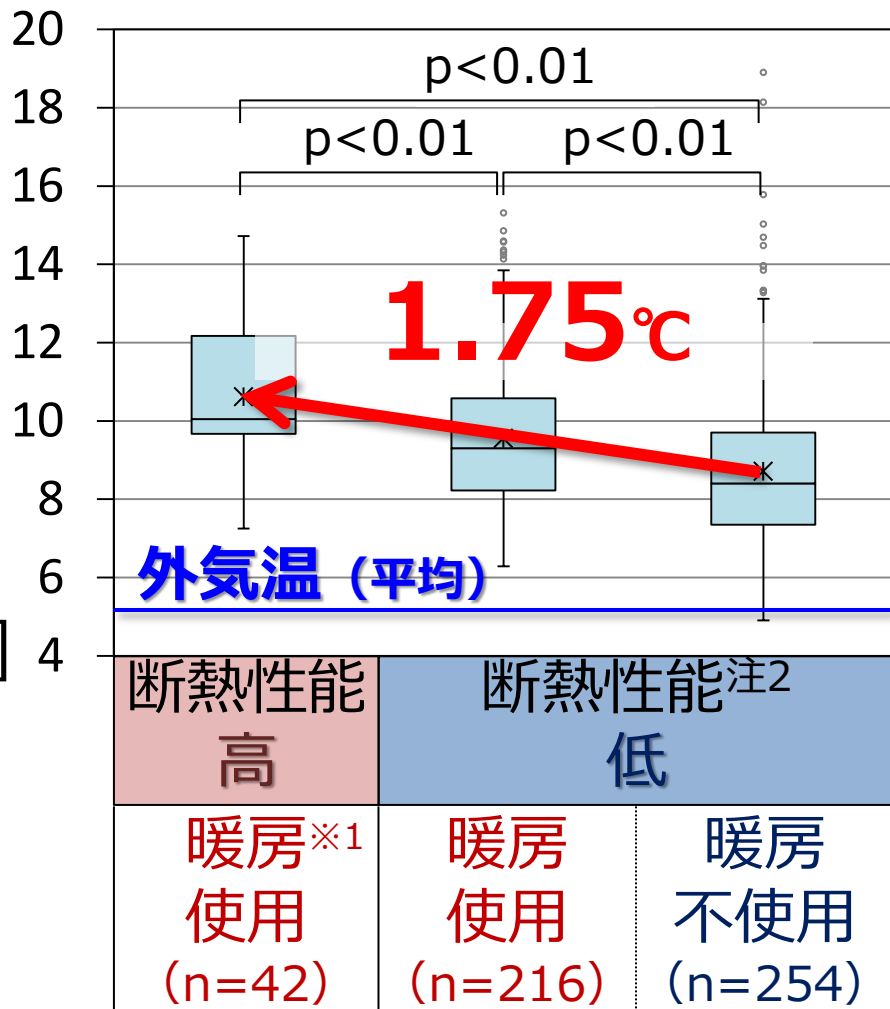
※こうち健康・省エネ住宅推進協議会と伊香賀研究室による共同調査
参考) 日本高血圧学会「高血圧治療ガイドライン2009」



暖かい住宅が生活活動量を促進？

愛媛県新居浜市での調査

脱衣所の平均室温



身体活動促進の効果

$$= \text{推定値} \times \text{室温の変化}$$

$$= 0.364 \text{ Ex}/(^\circ\text{C} \cdot \text{日}) \times 1.75^\circ\text{C}$$

$$= \mathbf{0.637 \text{ Ex/日}}$$

約 **1400** 歩/日に相当

注1) n=人×日 脱衣所で暖房を使用している住宅は除外 注2) アンケート結果 (窓ガラスの枚数、窓サッシの種類、築年数) から断熱基準 (住宅省エネルギー基準) を推定: 断熱高…平成4年基準以上、断熱低…昭和55年基準以下

注3) 合計歩数[歩/日] = 2216.024 × 生活活動量[Ex/日] ※切片なしモデル (単回帰分析)

柳澤 恵, 伊香賀俊治, 安藤真太郎, 樋野公宏, 星 旦二: 住宅の温熱環境及び断熱性能による身体活動への影響, 日本建築学会環境系論文集, Vol.80, No.716, 2015.10

生活活動量のマルチレベル分析結果

		推定値	標準誤差
切片		-.723	2.29
個人 レベル	平均室温 ^{注1} [°C]	.364**	.104
	年齢 [歳]	-.028	.020
	性別 [1) 男性, 2) 女性]	-.171	.655
	BMI [1) 普通体重以外, 2) 普通体重]	.349	.326
	世帯収入 [1) 300万円未満, 2) 300万円以上]	-.125	.399
	最終学歴 [1) 高等学校以下, 2) 大学・大学院]	.362	.368
	職業 [1) 無職・定年退職, 2) 専業主婦]	-.145	.751
	喫煙習慣 [1) なし, 2) あり]	-.521	.798
	飲酒習慣 [1) 週6-7, 2) 週3-5, 3) 週1-2, 4) なし]	.101	.130
延床面積 [m ²]	.001	.001	
日 レベル	平均室温 ^{注2} [°C]	.477	.340
	平均外気温 [°C]	-.009	.136

1°C暖かい住宅
+0.364Ex/日

目的変数:生活活動量[Ex/日] n=279(22人) 赤池情報基準:908 -2対数尤度:868 **:p<0.01

注1) 測定期間中の平均値 注2) 個人ごとの偏差(測定値-測定期間中の平均値)

柳澤 恵, 伊香賀俊治, 安藤真太郎, 樋野公宏, 星 旦二:住宅の温熱環境及び断熱性能による身体活動への影響, 日本建築学会環境系論文集, Vol.80, No.716, 2015.10



歩行活動量、身体機能実測

日程	2014年10月6日 ~ 2015年10月31日		 活動量計※1	 温度計	
サンプル	開始時：80人 → 終了時：62人				
測定項目	生活活動量 [METs (運動強度) ×時間/日]		 	体組成・身体機能測定の様子	
	歩行活動量 [METs (運動強度) ×時間/日]				
	血流関連	血压			
		脈波			
	骨格筋関連	身長			
		骨格筋量※2			
		握力			
身体機能	長座体前屈				
	片脚バランス				
歩行機能	5m歩行時間 (通常歩行・課題歩行)				

■ 歩行活動量のデータとスクリーニング

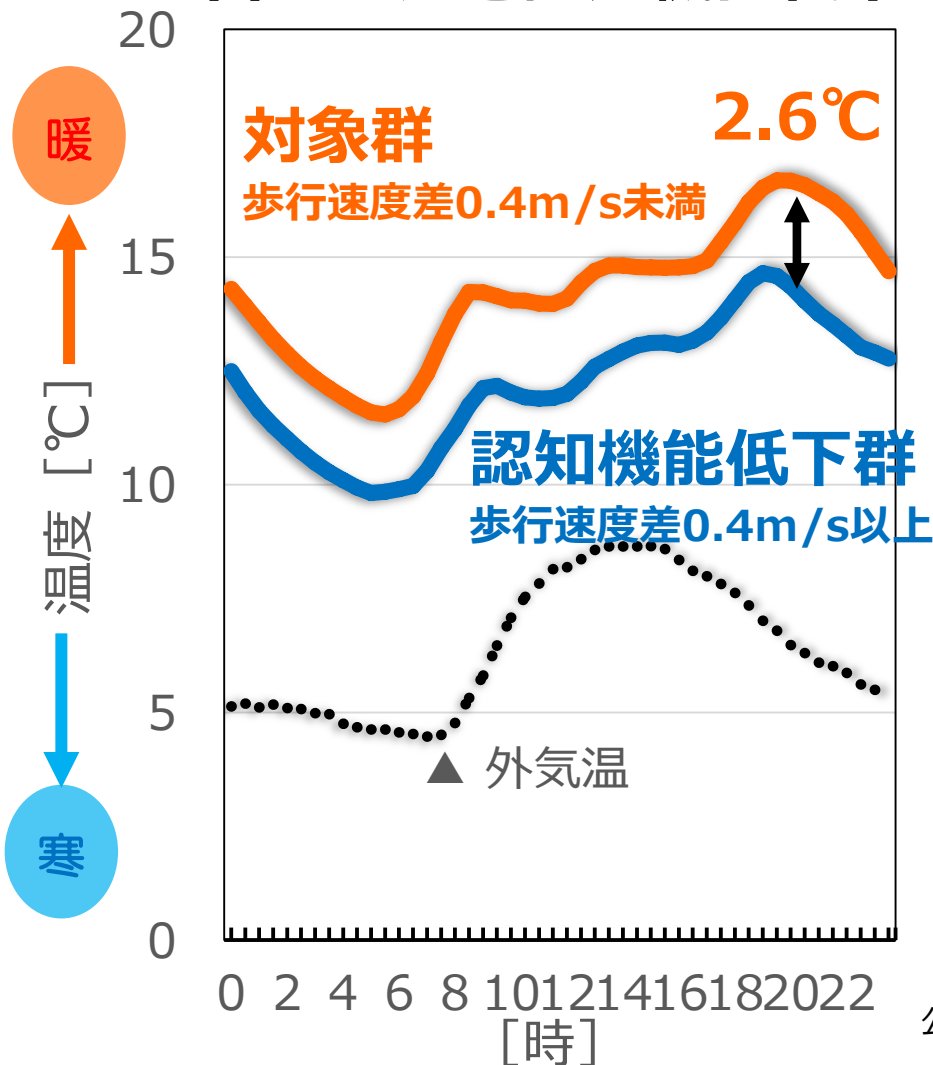
- ① 全歩行活動量、中高強度歩行活動量 (3METs以上) を分析に使用
- ② 装着時間が10時間未満の日、雨天日を除外
- ③ 対象者ごとの月平均歩行活動量を1サンプルとし、外れ値 (95%) サンプルを除外

篠原, 安藤, 伊香賀, 樋野: 高齢者身体機能と住まいの実測調査に基づく虚弱要因分析, 日本建築学会大会, 2016.9 (予定)

※1) 使用機器: HJA-750C(OMRON) ※2) 使用機器: Inbody420(Inbody)、測定方法: バイオインピーダンス法

寒冷な住宅での認知機能低下確率は4倍

自宅室温と認知機能低下



ロジスティック回帰分析の結果、深夜3時の平均室温が11°C未満の群では歩行速度差が0.4m/s以上となる（認知機能低下進展の）確率が4.26倍大き

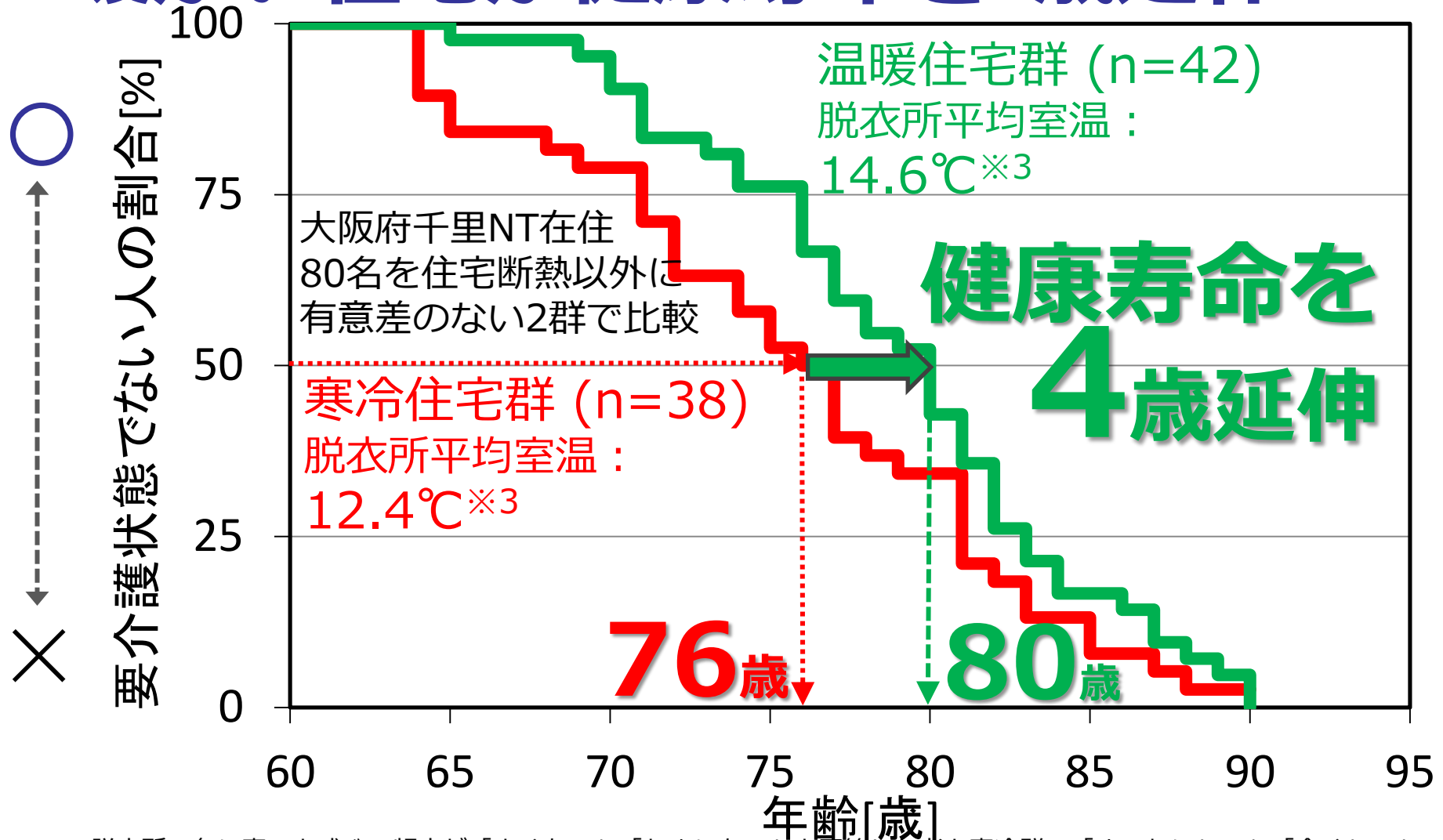


歩行速度差： 前後3mずつの助走区間と5mの歩行区間を、調査員が伝える2桁の数字を回答しながら歩行する二重課題歩行速度から通常歩行速度を引いたもの

1) 吉川吉晴ら、在宅高齢者の二重課題歩行の関連要因、日本公衆衛生雑誌 第60巻 第1号2013.

篠原, 安藤, 伊香賀, 樋野:高齢者身体機能と住まいの実測調査に基づく虚弱要因分析, 日本建築学会大会, 2016.9 (予定)

暖かい住宅が健康寿命を4歳延伸？



※1 脱衣所で冬に寒いと感じる頻度が「よくある」「たまにある」と回答した者を寒冷群、「めったにない」「全くない」と回答した者を温暖群に分類 ※2 両群に個人属性（性別、BMI、学歴、経済的満足度、同居者の有無）の差がない (χ^2 検定で $p>0.05$) ことを確認 ※3 t検定で $p<0.05$

林侑江, 伊香賀, 星, 安藤ほか: 生存分析に基づく住宅内温熱環境と虚弱高齢者の要介護認定との関連の変化, 日本建築学会大会, 2015.9



スマートウェルネス体感パビリオン

横浜市 **NICE** ナイス(株)  慶應大



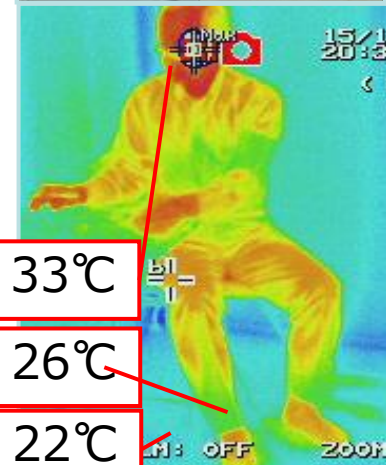
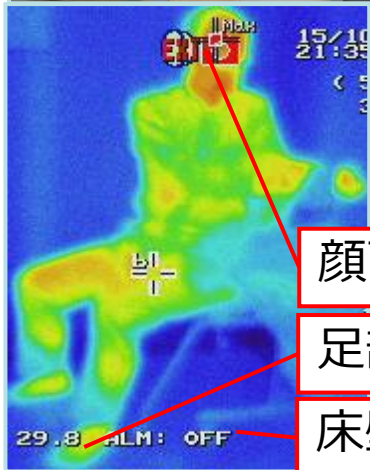
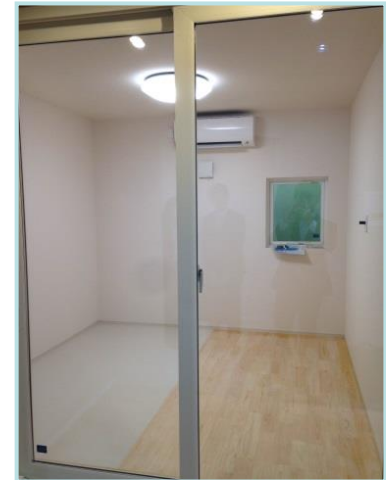
伊香賀俊治 林文子 平田恒一郎
慶應大教授 横浜市長 ナイス社長



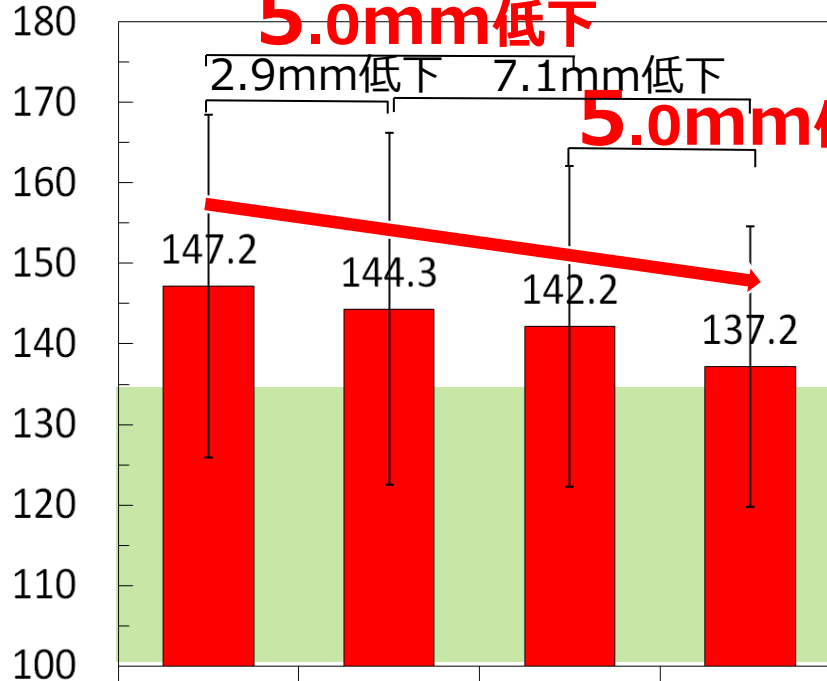
高断熱で5mm、無垢木床で5mm 血压低下

無断熱室

高断熱室



収縮期血圧 [mmHg]



顔面 : 31°C

足部 : 22°C

床壁 : 16°C

顔面 : 33°C

足部 : 26°C

床壁 : 22°C

エアコン電力消費量

200Wh

一般材 無垢木材 一般材 無垢木材

無断熱

高断熱

末上1.0m 20.8°C 21.8°C

床上0.1m 18.1°C 21.0°C

床表面 17.4°C 20.6°C

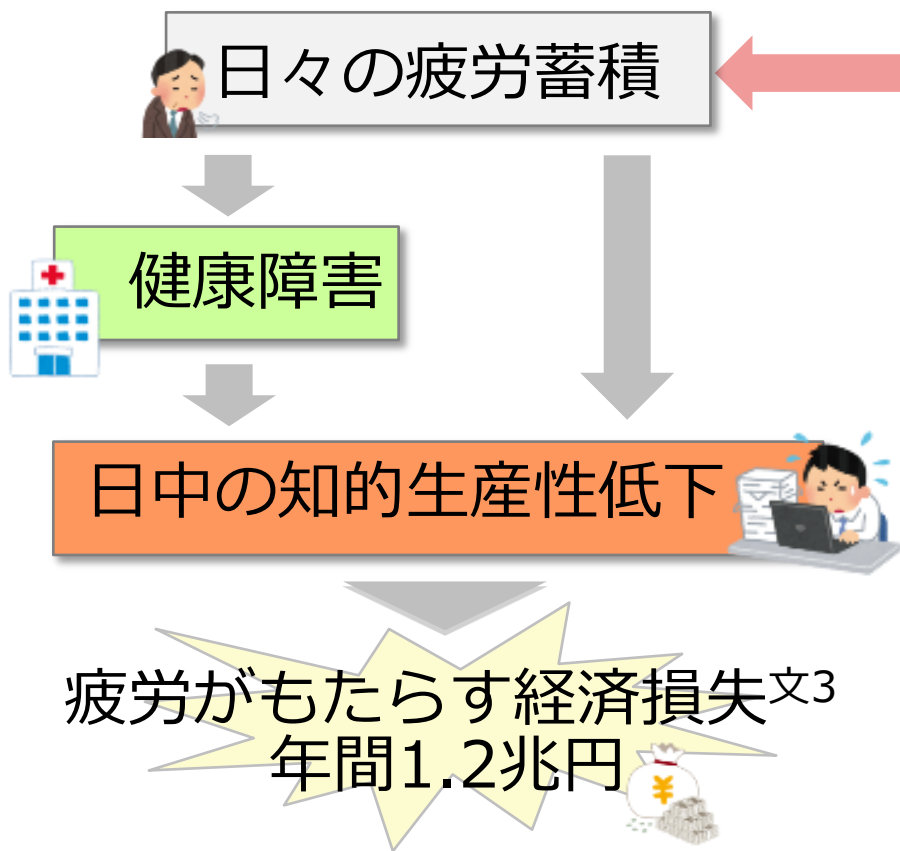
エアコン電力消費量

100Wh

※50~74歳 (平均56.0歳) 中年男性13名の入室60分経過後の測定結果

Ikaga Lab., Keio University (Takuya ISHIWATA, Jun-ichiro HIRATA)

日々の疲労蓄積がもたらす経済損失^{文1,2}

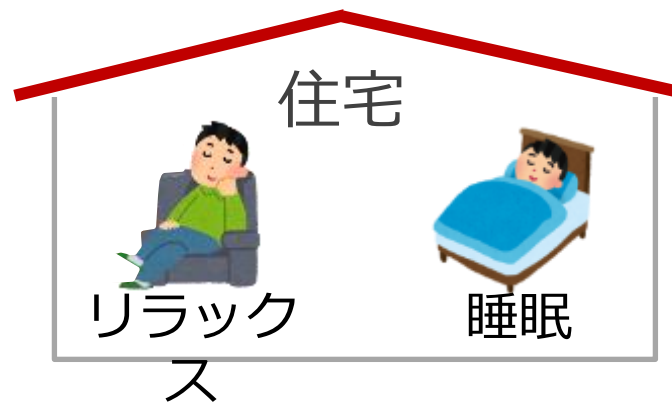


リラックス状態 (副交感神経優位)

▶ 身体疲労の回復

睡眠

▶ 脳の疲労の回復



- ▶ 日々の疲労回復により、知的生産性低下を抑制する必要性
- ▶ 住環境改善が疲労回復に寄与する可能性^{文4}

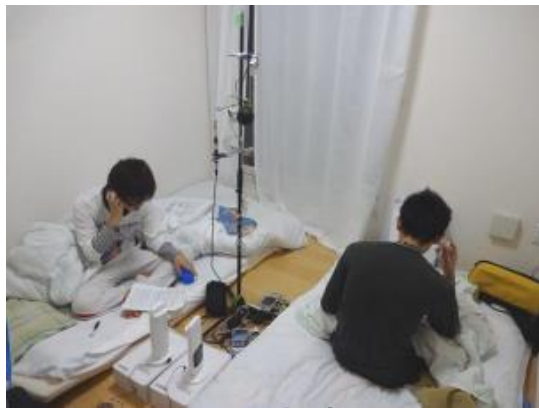
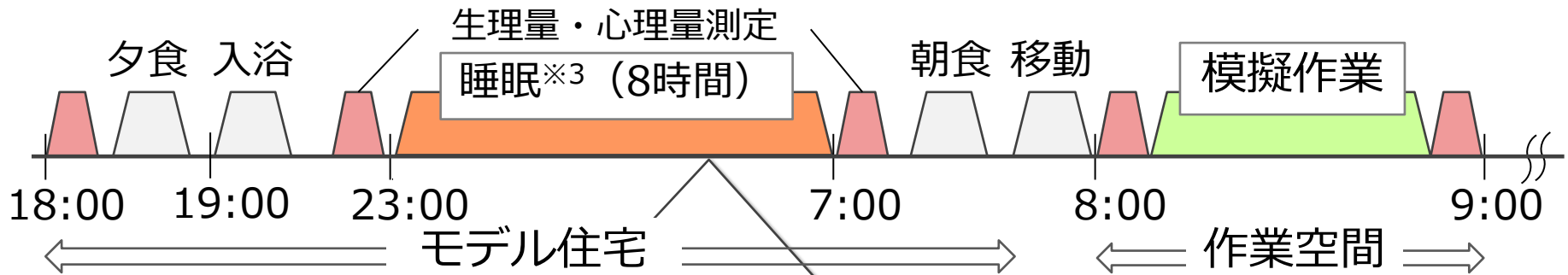
文1 倉恒弘彦ら「危ない!『慢性疲労』」生活人新書,2004

文2 厚生労働省「平成24年 労働者健康状況調査」

文3 文部科学省疲労研究班「平成16年度報告書」

文4 青木世奈「自宅の室内環境がオフィスにおける作業効率に及ぼす影響の被験者実験」慶應義塾大学修士論文,2014

内装木質化と睡眠の質・知的生産性



就寝前の測定の様子 (モデル住宅)



模擬作業の様子 (会議室)

実験場所	N社モデル住宅、作業空間
被験者※1	男子大学生6名 (標準的な体型※2、喫煙習慣なし)
実験日程	2015年11月 被験者1人あたり2泊3日×3ケース (計6日間)

※1 1.1mの高さの水平面色温度を測定、室内空気を捕集

※2 自動血圧計 HEM-7080IT (OMRON社) を使用

※3 睡眠計HSL-102-M (OMRON社) を使用し、体動が10分以上検知されなかった時間を測定




※4 アンケート (4件法) を用いて評価

※5 PC上で英文を打ち込む作業

※6 お題から連想される単語を書き出す作業

内装木質化と睡眠の質・知的生産性

モデル住宅の子供部屋2室に宿泊し、翌日は通常内装の会議室で模擬作業

無垢木質化率	0%	45%	100%
内観写真			
床	複合フローリング	檜の無垢材	檜の無垢材
天井	ビニルクロス	ビニルクロス	檜の無垢材
壁			

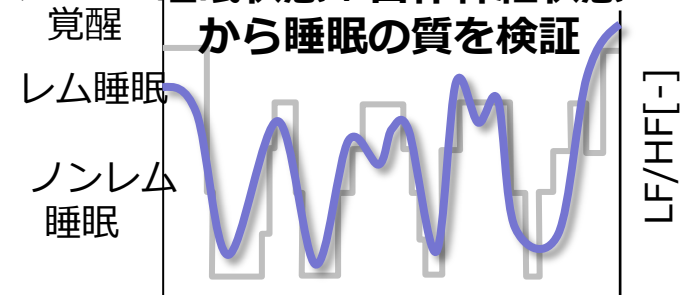
■ 睡眠状態の測定



■ 自律神経状態の測定



睡眠状態 + 自律神経状態から睡眠の質を検証

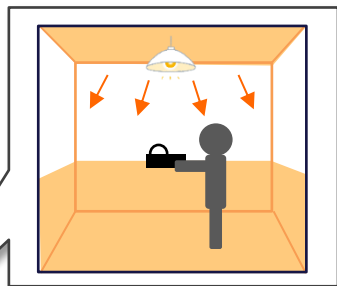


微弱な電波で呼吸や寝返りの動きを捉え、睡眠 / 覚醒状態，睡眠深度を計測

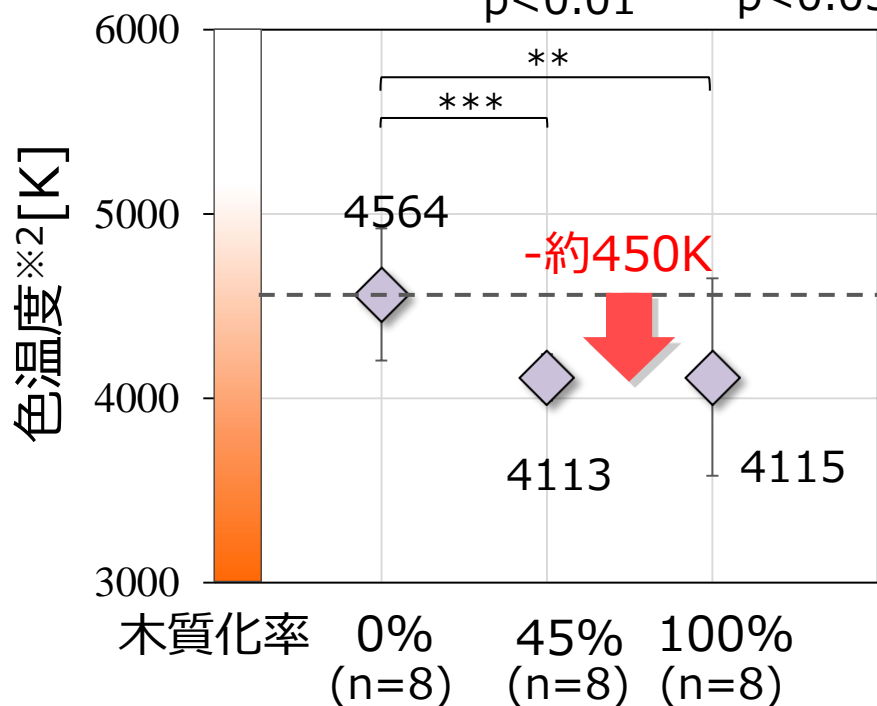
交感神経活性度 LF/HF
副交感神経活性度 \sqrt{HF}
心拍数が算出可能

内装木質化が色彩・香りに及ぼす影響

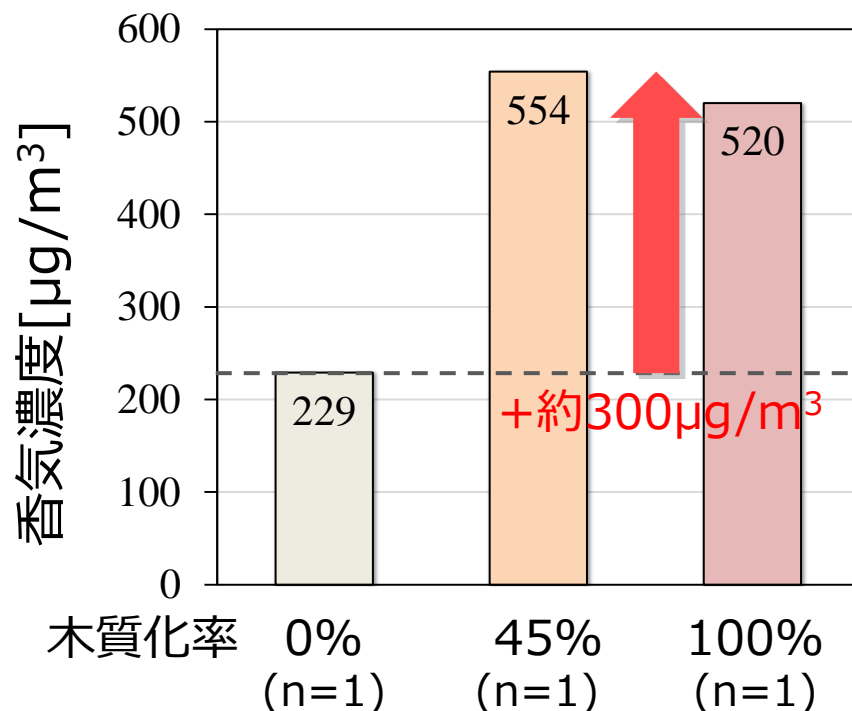
色彩※1



***p<0.01 **p<0.05



香り※3



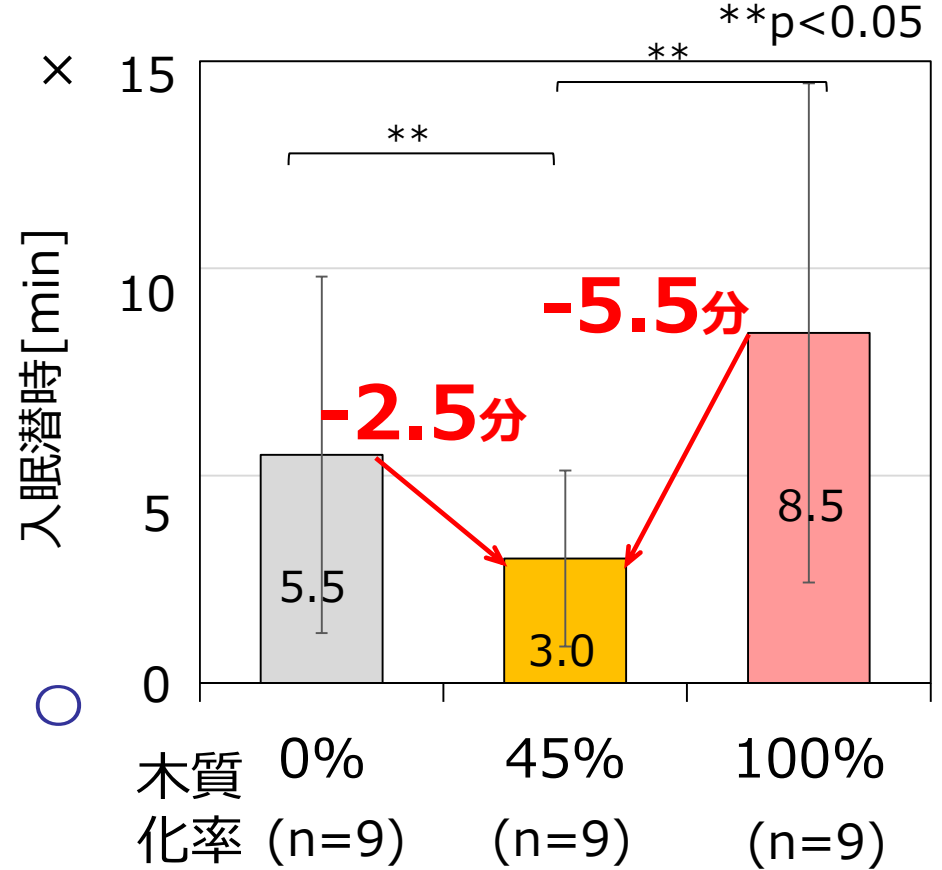
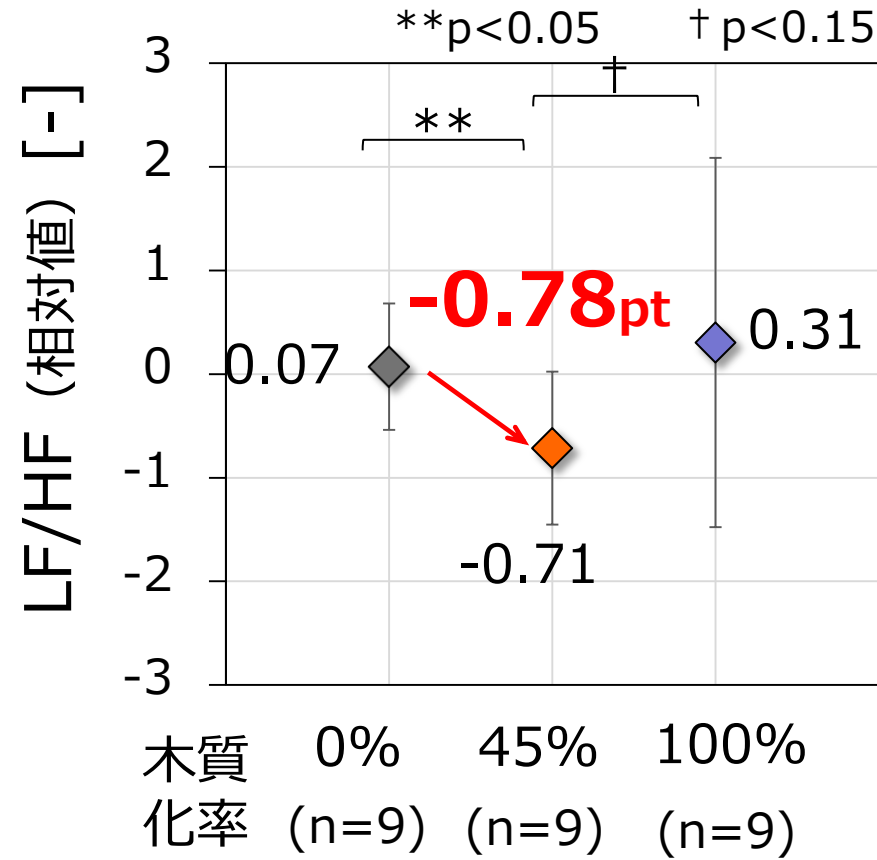
▶ 木質化率45%,100%ケースにおいて低色温度化と木の香り濃度増加を確認

※1高さ1.1mの水平面色温度 ※2エラーバーは標準偏差を示す。 ※3リラックス効果を持つαピネンの濃度を測定

内装木質化とリラックス・寝付き

就寝前の交感神経活性度LF/HF※1,2

入眠潜時



▶ 適度な内装木質化がリラックスとスムーズな入眠をもたらす

※1 以降の分析では、体調不良申告があった日 (n=2)、実験初日に不慣れの影響が見られた日 (n=2) を被験者毎に除外

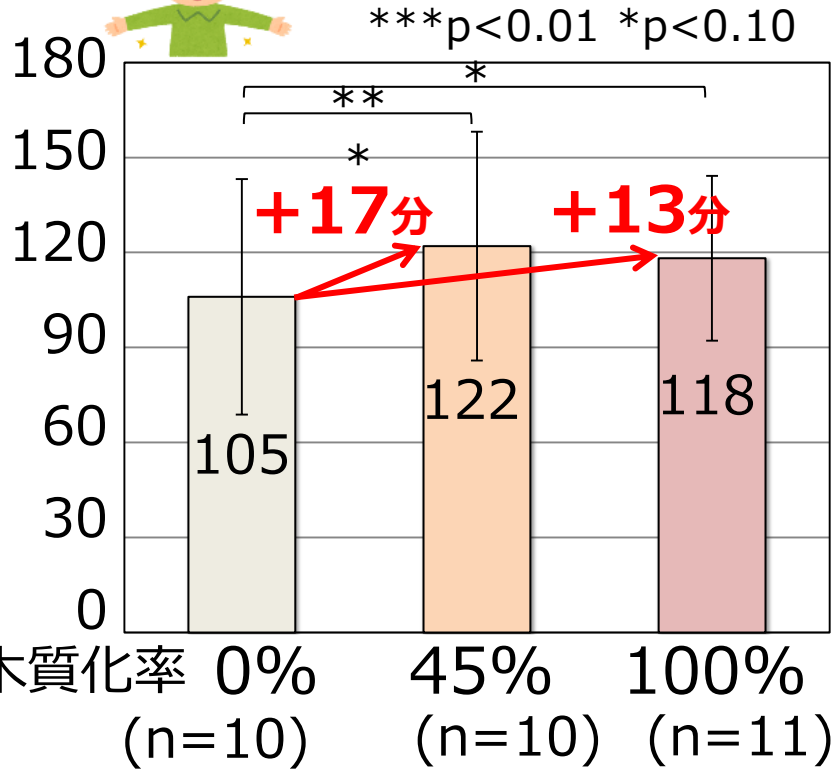
※2 実験室滞在時の自由時間である21:00~22:10の値を使用 ※3 安静時(於作業空間)との差を算出

内装木質化で睡眠の質と作業成績向上



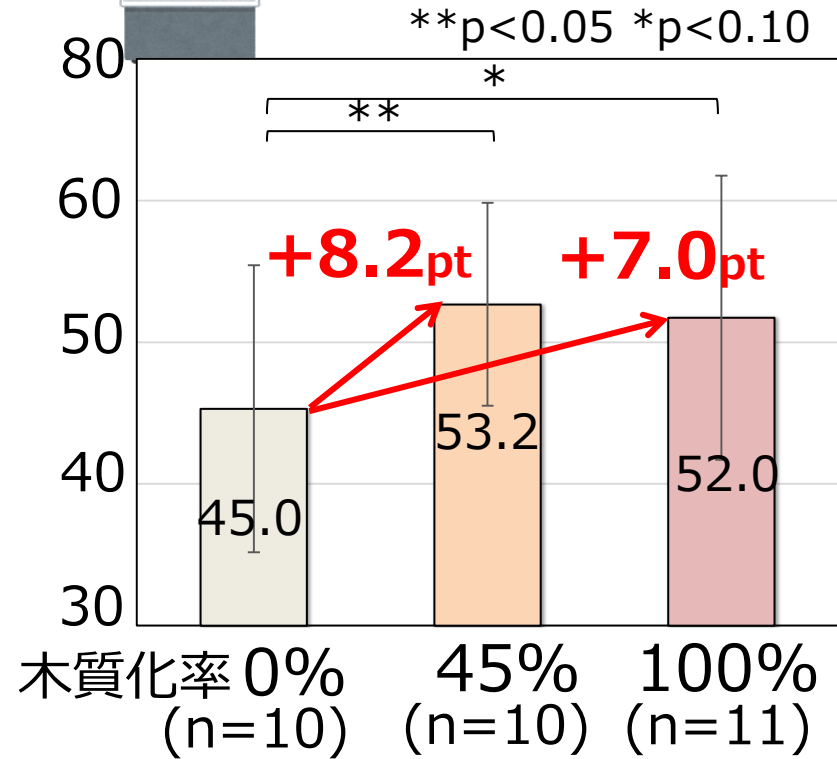
熟睡時間※

○ 深睡眠時間[分]



知的作業成績※1

○ 作業成績 (正規化) [-]



※1 時間内の総正打数を作業成績と定義。習熟曲線を導出し、習熟の影響を補正

※2 個人の能力差を考慮し、作業成績 (正規化) = $50 + 10 \times ((\text{作業成績}) - (\text{個人の平均作業成績})) / \text{標準偏差}$ を算出

幼稚園舎と園児の身体活動量・体温の関係調査

目的

幼稚園の床材と園児の身体活動量・体温の関係の検証

調査期間

秋季：2015年 9月28日～10月23日のうち2週間

冬季：2016年 1月25日～2月20日のうち2週間



説明会の様子

	A園	D園	C園	B園	E園
					
構造	RC	木	RC	RC	RC
築年数	0年	25年 ^注	25年	22年	25年
床材	無垢材	無垢材	複合フローリング		無垢材
床構造	二重床	木造床組	コンクリートの上に板張り		

断熱性能高

床弾力性高

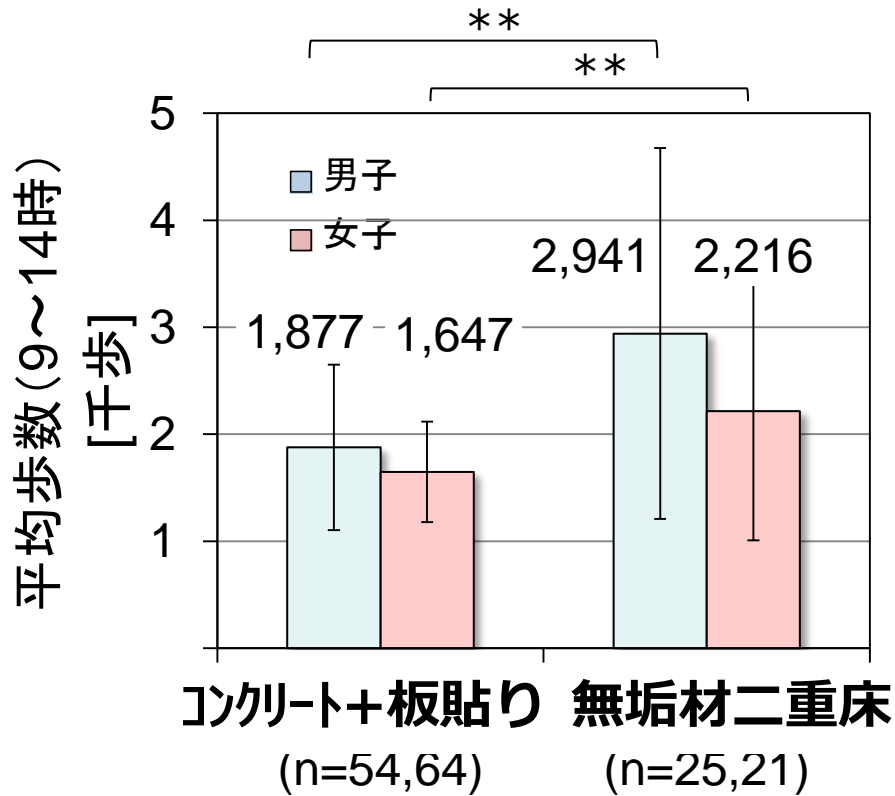
断熱性能低

床弾力性低

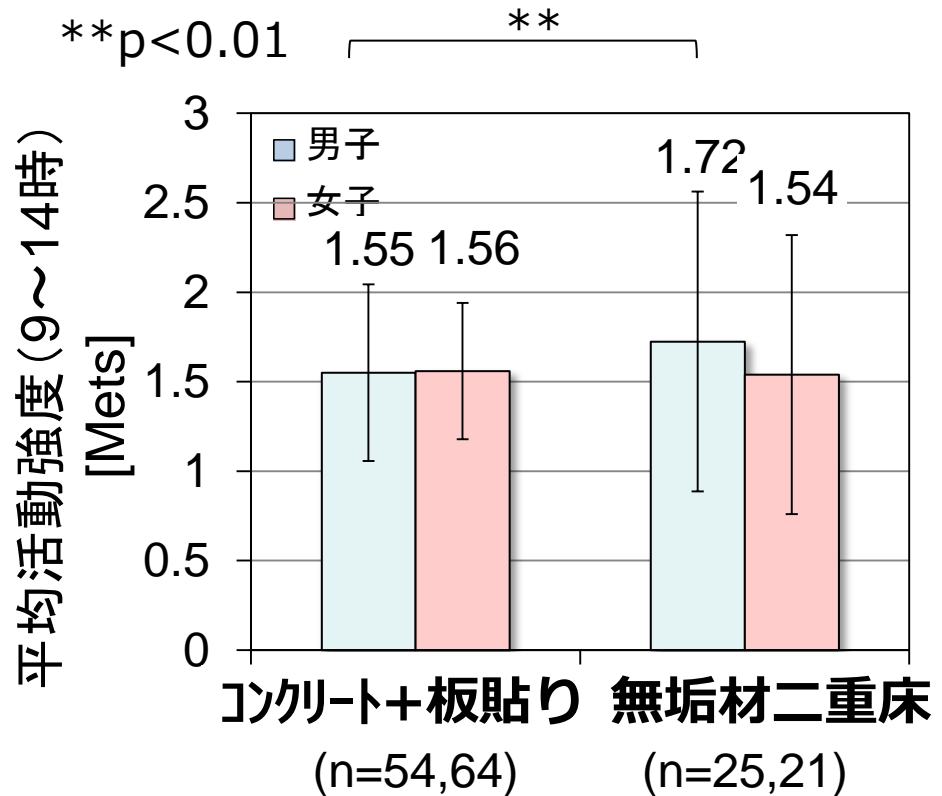
注) 2012年9月に断熱改修

無垢材二重床園舎の園児は活発

平均歩数 (9~14時)



平均活動強度 (9~14時)



無垢材二重床の園舎で歩数と活動強度が有意に高い

下肢への負担軽減による活動量増加の可能性

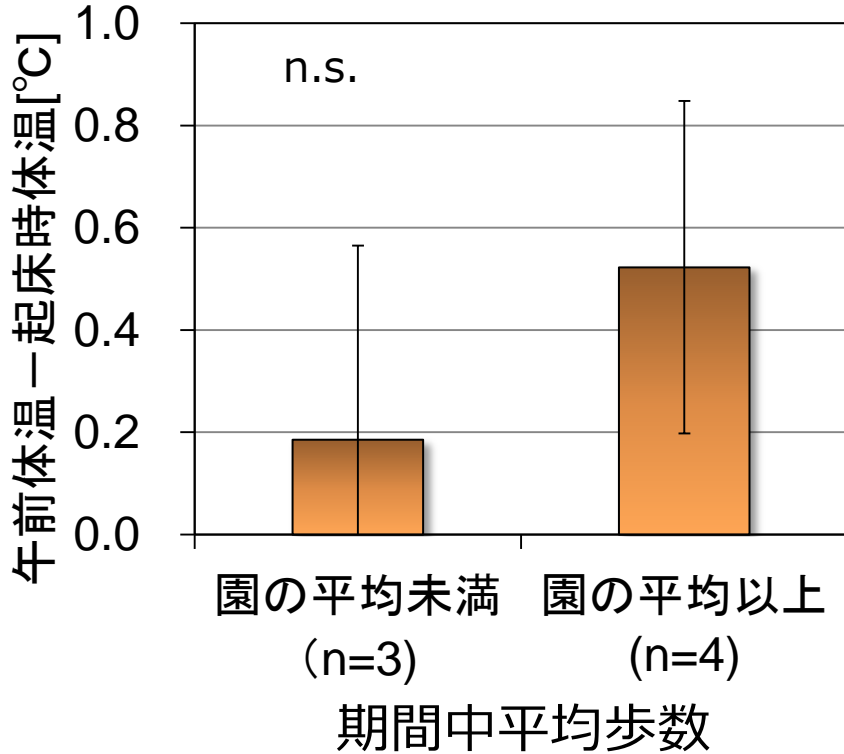
活動量計

HJA-750C

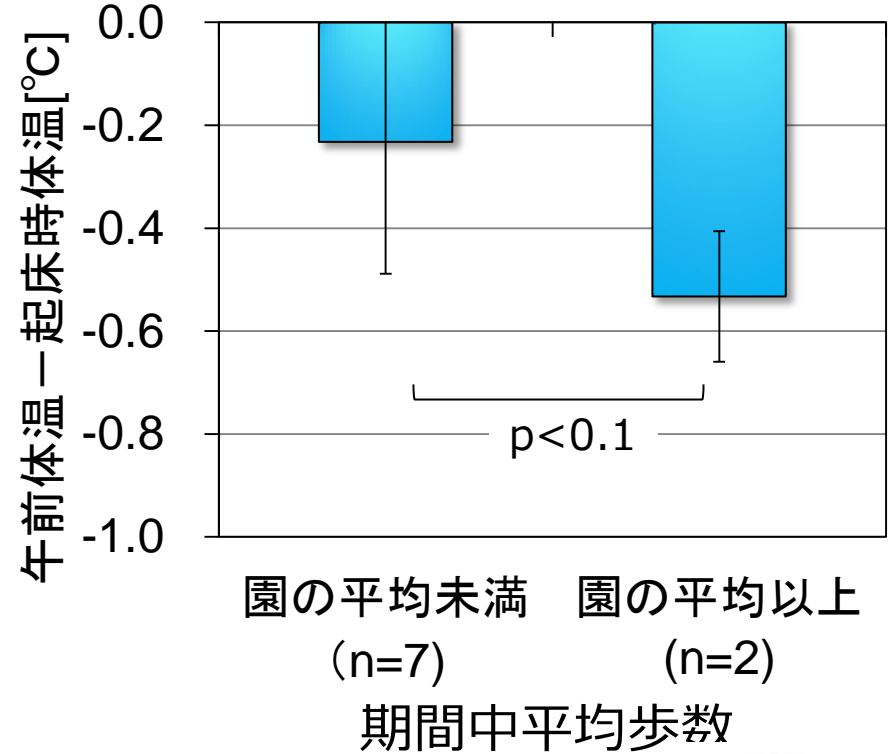


歩数と体温変動の関係

起床時低体温の場合



起床時高体温の場合



低体温群では体温上昇、高体温群では体温低下を確認
活動量の増加が体温リズムの安定化に寄与する可能性



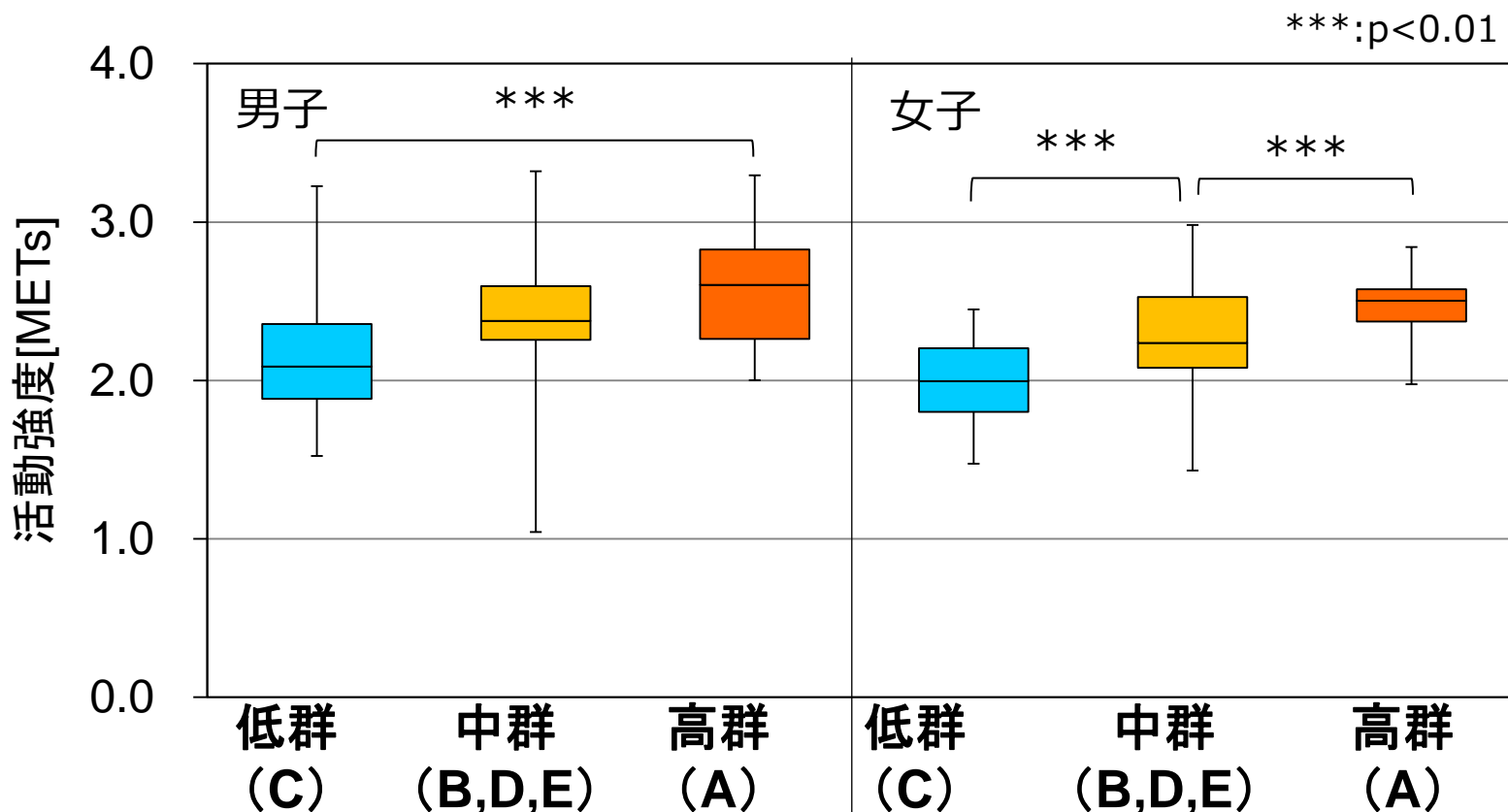
耳式体温計
MC-510

注) 睡眠時間10時間未満のサンプル

床近傍が暖かいほど活動強度が高い



活動量計
HJA-750C



0.1m室温[°C]	9.2	13.7	17.2	9.2	13.7	17.2
1.1m室温[°C]	16.6	15.9	17.6	16.6	15.9	17.6

国交省スマートウェルネス住宅等推進事業

全国で2000軒の断熱改修・4000人調査（2014～2017年度）

調査事業

日本サステナブル建築協会

スマートウェルネス住宅等 推進調査委員会

委員長 村上周三(建築)
副委員長 吉村健清(医学)
吉野 博(建築)
苅尾七臣(医学)
幹事 伊香賀俊治
委員 全国の医学系
・建築系学識
者80名で構成

6000名の質問紙調査、うち
4000名の家庭血圧・身体活
動量測定・健診受診

普及啓発事業

健康・省エネ住宅を
推進する国民会議
理事長 上原裕之(歯学)
会長 村上周三(建築)
副会長 江里健輔(医学)

モデル事業(特定部門)

全国47事業者(2014年度)

各都道府県の37協議会

その他の10事業者

断熱改修工事半額補助
(上限120万円/戸)

連携・協力



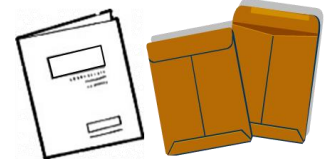
家庭血圧

(起床時、就寝時)



温湿度

居間、寝室、脱衣所



アンケート調査
特定健診受診



身体活動量

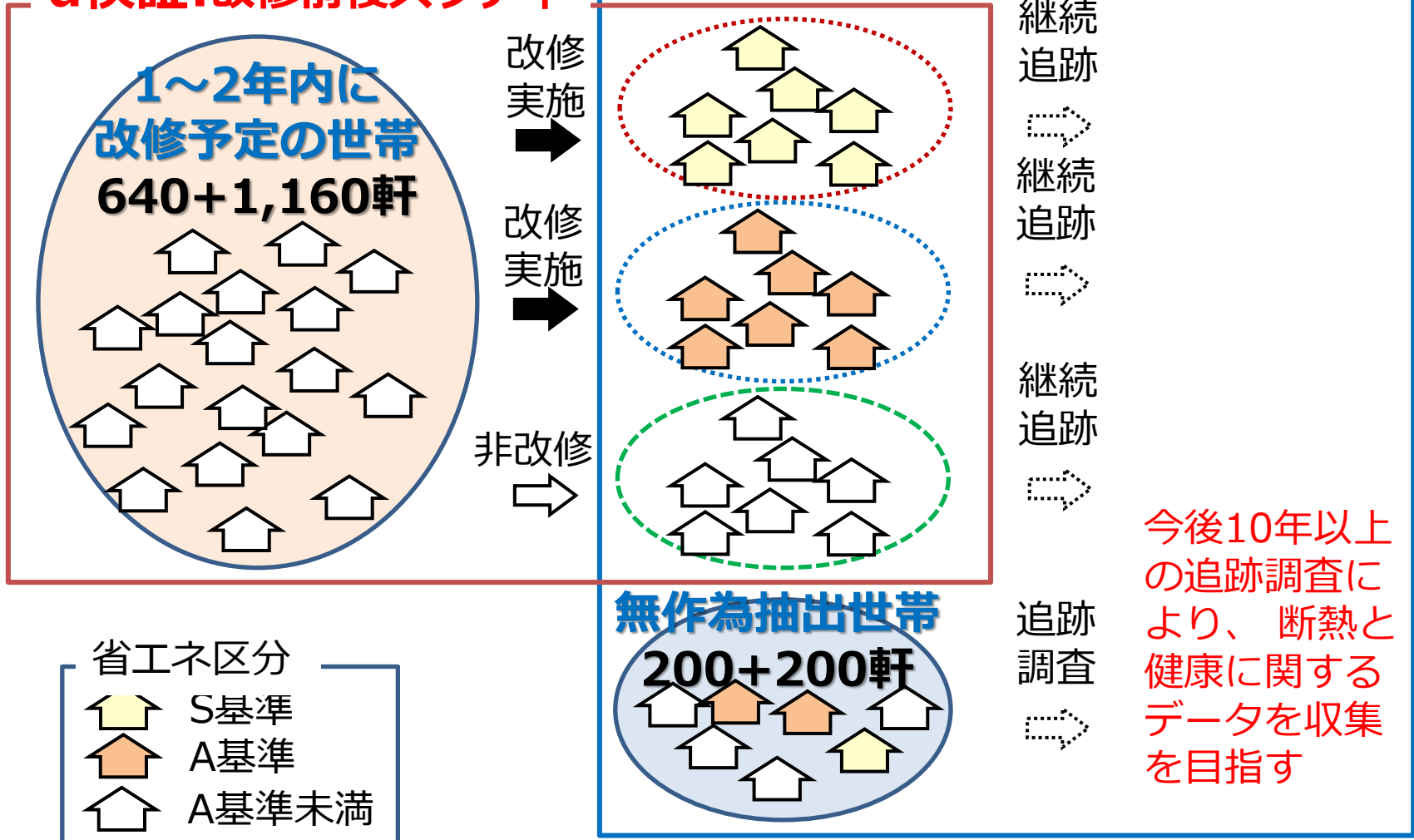
歩数、EX量、消費カロリー



改修前後調査と長期コホート調査基盤構築

α検証:改修前後スタディ

β検証:長期コホートスタディ



2014~2016年度 2015~2017年度 2018年度以降



ZEHと健康

住まいの高断熱化と内装木質化がもたらす健康効果

ご清聴ありがとうございました！



構成員：研究員1名+博士4名+修士12名+学部7名=計24名

URL：<http://www.ikaga.sd.keio.ac.jp>