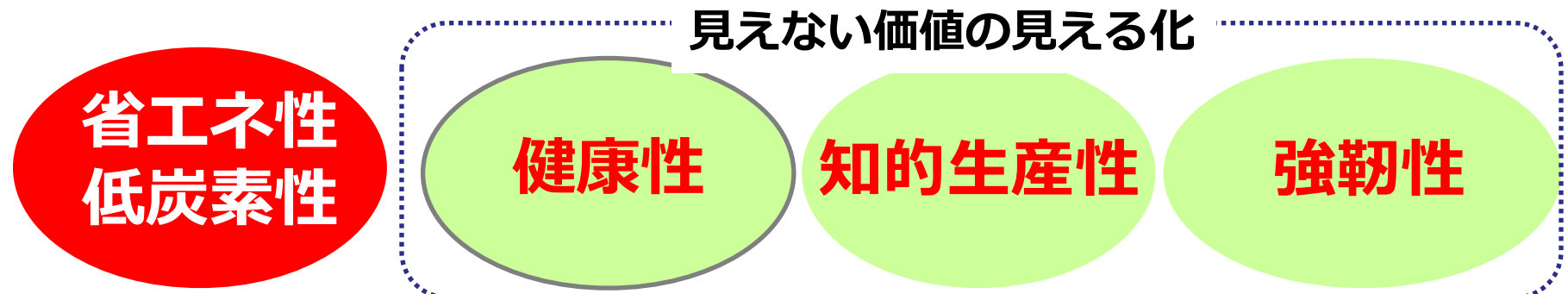


健康性・知的生産性に見える化による 建築物省エネ化の推進

～オフィス、学校、高齢者施設等での調査結果から～

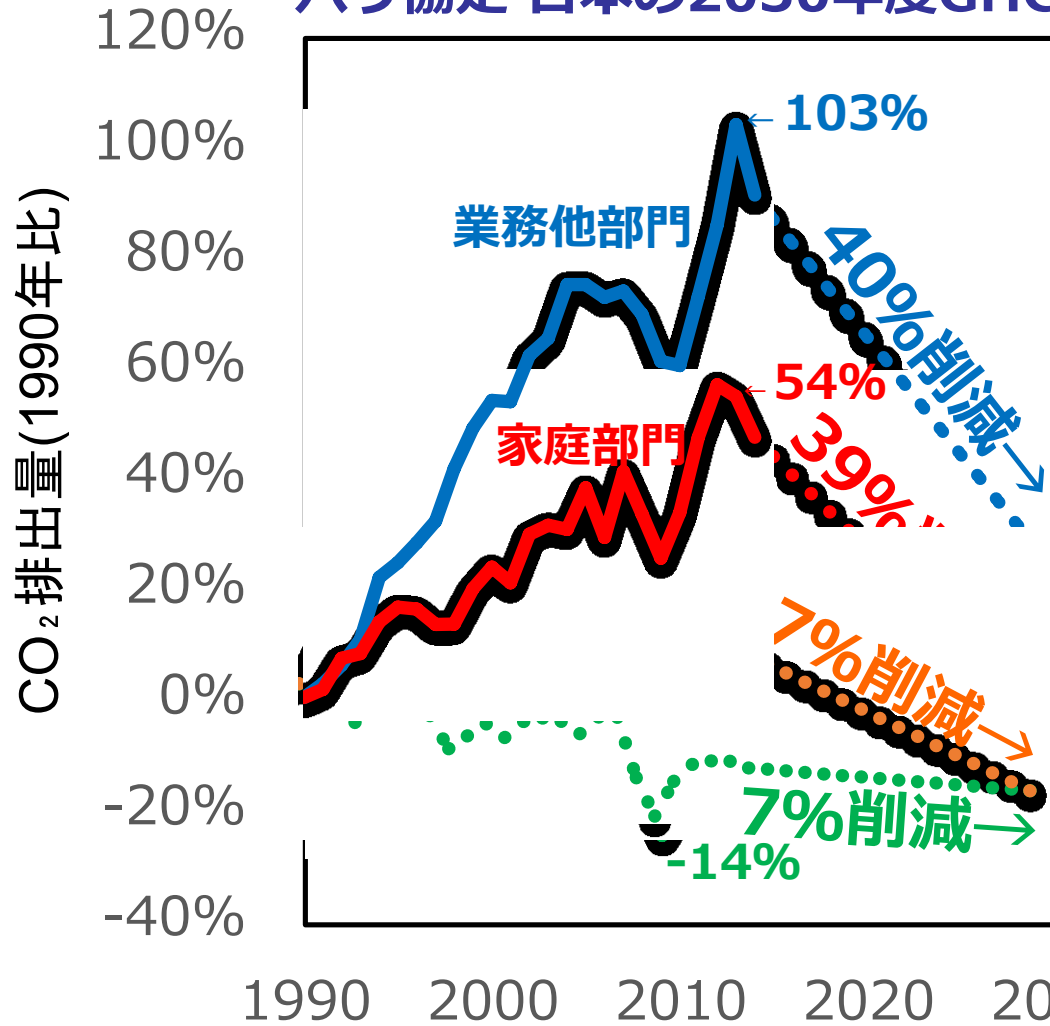


気候変動に関する政府間パネル (IPCC)WG3 第5次報告書 (2014.4) 第9章

慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科主任教授
伊香賀 俊治

健康等便益可視化が建築の低炭素化の鍵

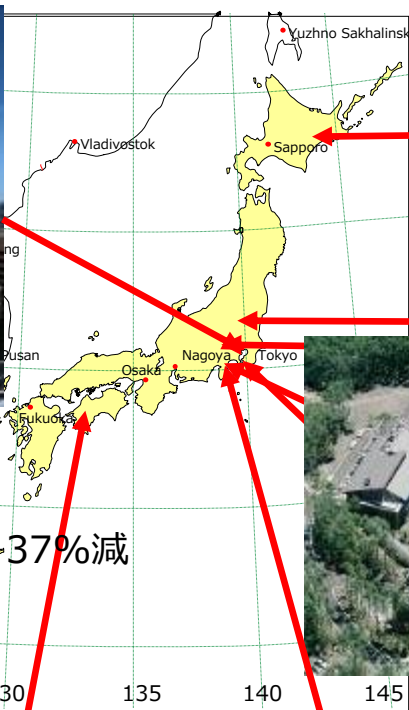
パリ協定 日本の2030年度GHGの2013年度比26%削減に向けて



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(1990-2014)

文2 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 建物

主な設計～性能検証担当事例



国際協力機構JICA
北海道国際センター(帯広)
CASBEE A、LCCO₂ 10%減
日本建築学会作品選集

明治大学
リハティタワー
CASBEE S、LCCO₂ 37%減
環境省エネ建築賞
(国土交通大臣賞)



宇宙航空研究開発機構
JAXA筑波宇宙センター
CASBEE A、LCCO₂ 25%減
エコビルド賞

山梨県環境科学研究所YIES
CASBEE S、LCCO₂ 30%減
環境省エネ建築賞 (建設大臣賞)



栲原町総合庁舎
CASBEE S、LCCO₂ 40%減
公共建築賞 (国土交通大臣賞)

慶應型共進化住宅
CASBEE S、
LCCO₂ 100%減

青山学院大学相模原
CASBEE S、LCCO₂ 23%減
SB建築賞 (国土交通大臣賞)

地球環境戦略研究機関
CASBEE S、LCCO₂ 30%減
日本建築学会作品選集



知的生産性に関する 被験者実験・実測調査

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

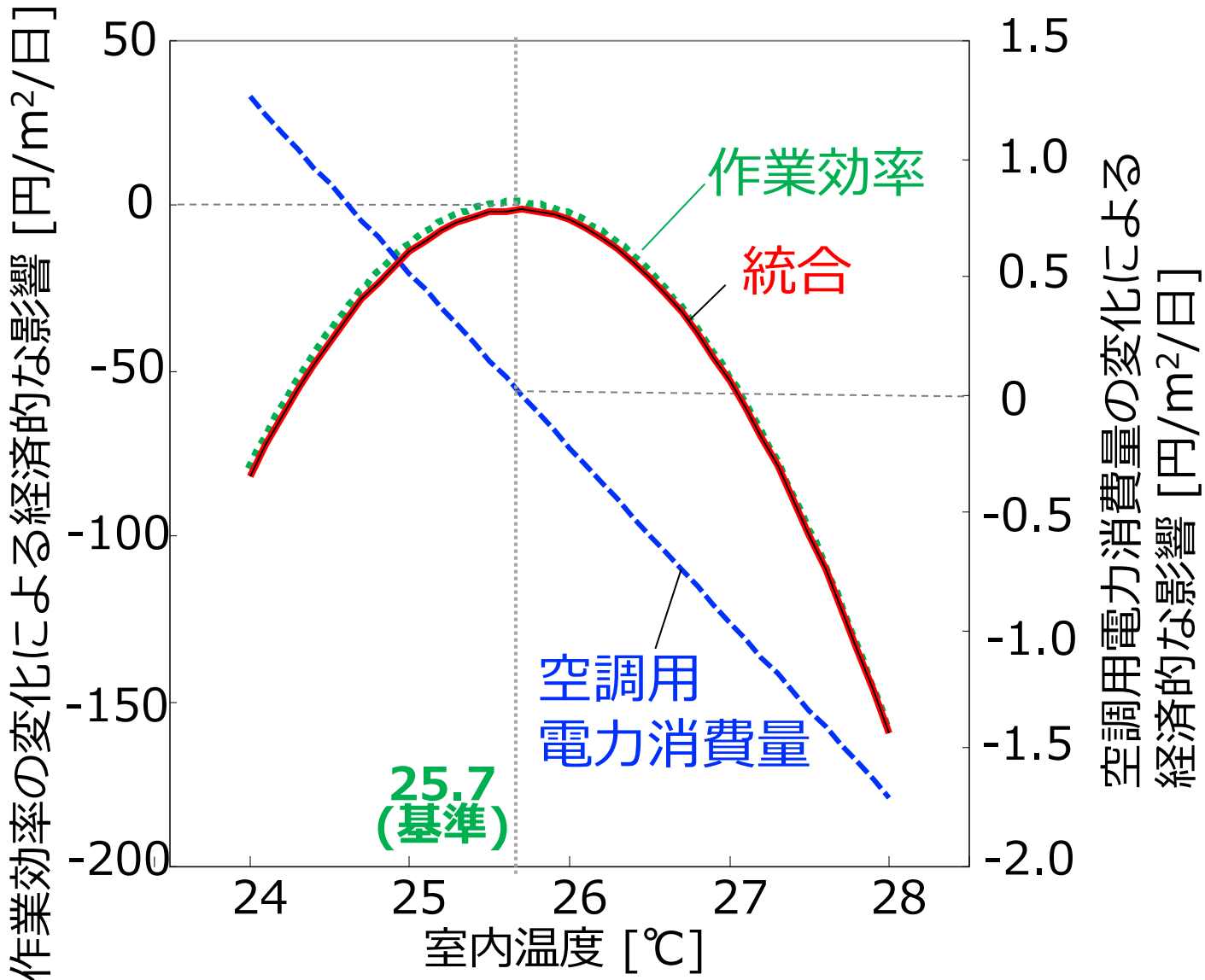


我慢の省エネは知的活動の経済損失大



実オフィスでの社員
354名、被験者12名
の被験者実験（2007
年7月9日～8月3日）

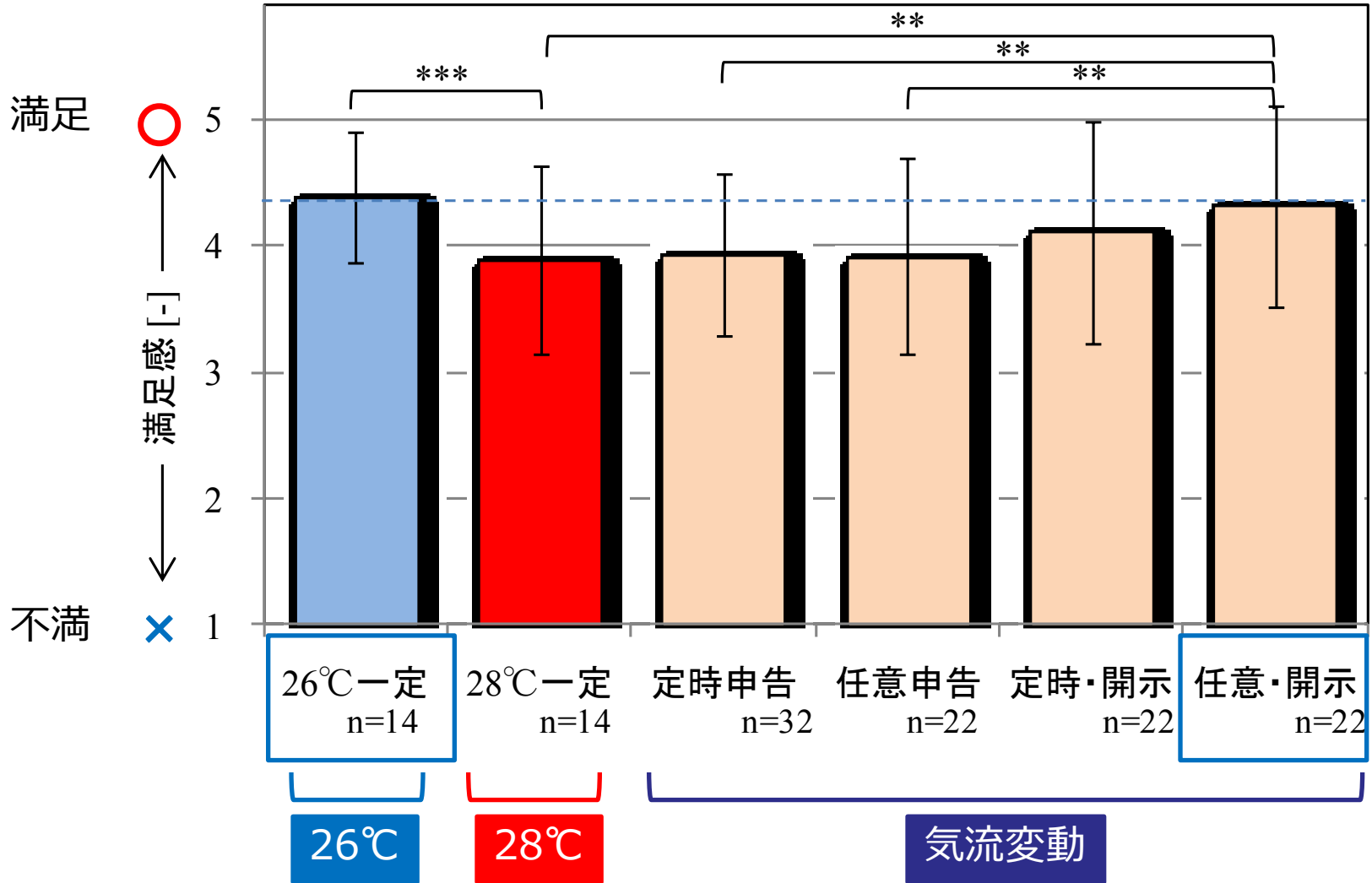
1万㎡のオフィス
冷房費150万



多和田友美、伊香賀俊治、村上周三、内田匠子、上田 悠：オフィスの温熱環境が作業効率及び電力消費量に与える総合的な影響、日本建築学会 環境系論文集第75巻第648号、2010年2月

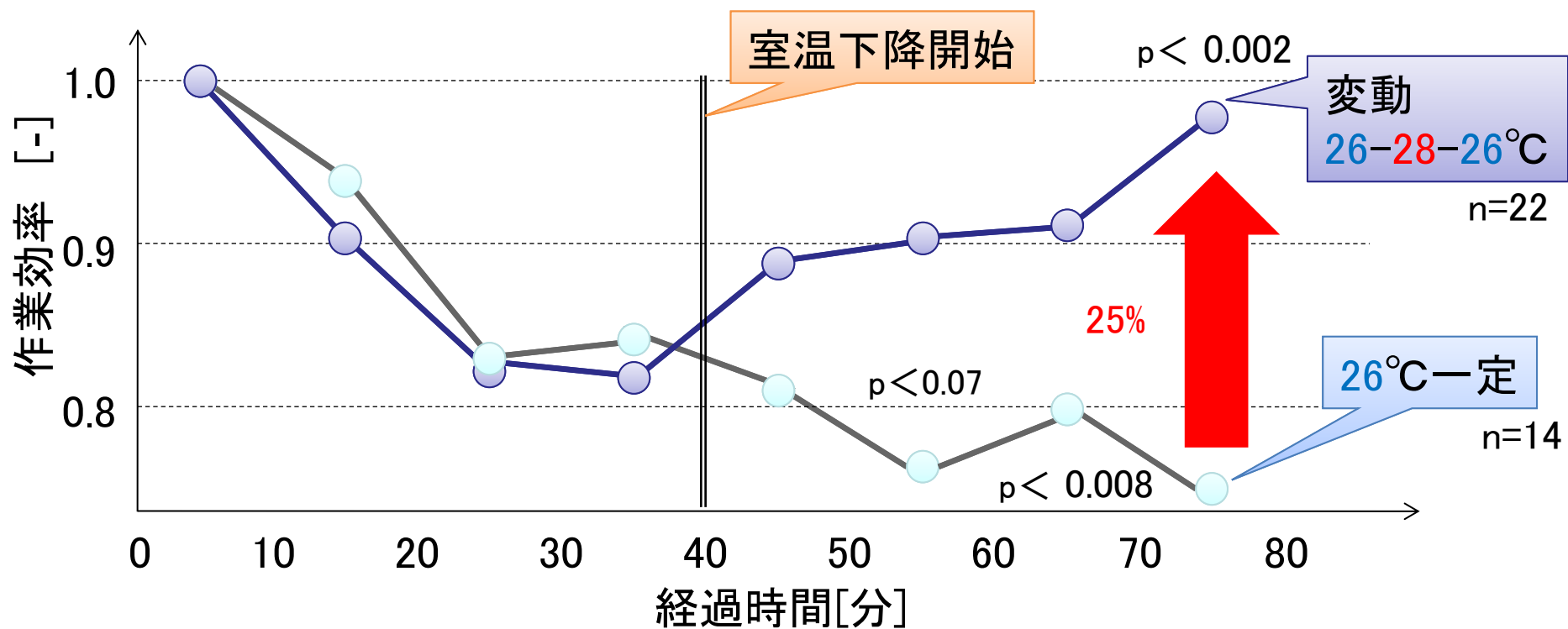
温熱環境満足度を高める変動空調制御

*** : p<0.001 ** : p<0.01 * : p<0.05 その他n.s.(not significant)



(慶應大+アズビル共同研究)

作業効率低下を抑える変動空調制御

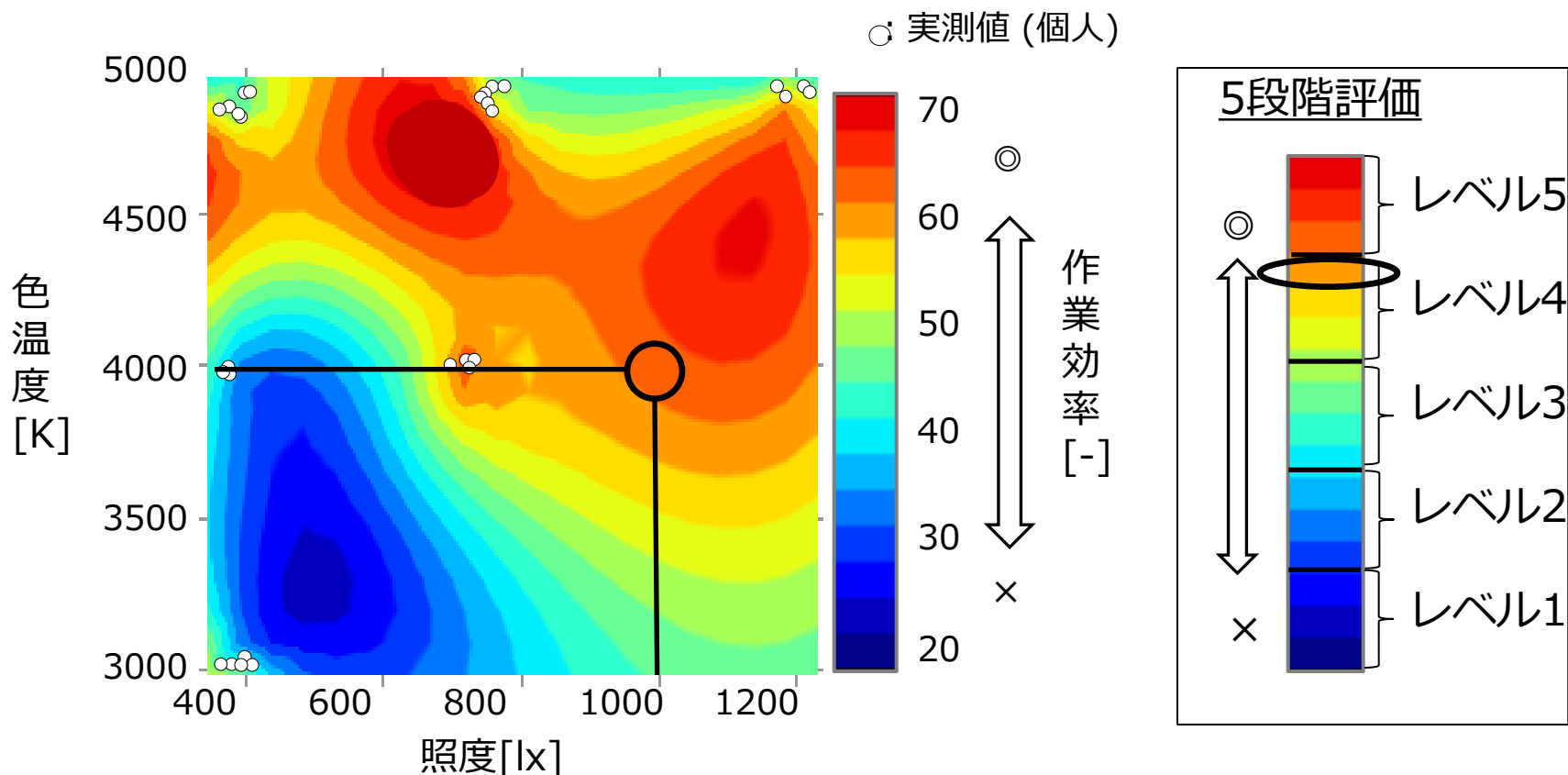


(慶應大+アズビル共同研究)

作業効率を高める色温度・照度環境

◆ 照度・色温度と作業効率の関係モデル (案)を作成^{注)}

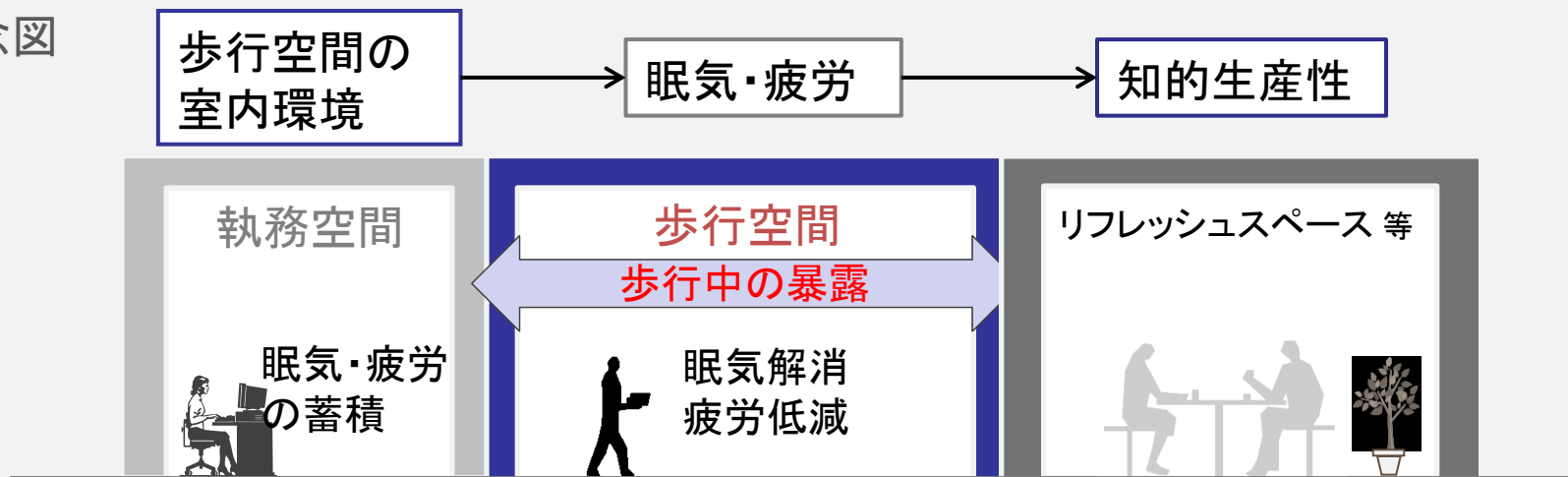
⇒ 知識創造作業 (数独・マインドマップ・ブレインライティング)の成績を統合



注) 2009年8月18~25日に行った同様の実験の成績と併せて算出 (慶應大+大成建設共同研究)

歩行を促すオフィス計画と知的生産性

概念図



文1 国土交通省 知的生産性委員会報告書 平成23年度

文2 David W. Dunstan : Too much sitting – A health hazard, Diabetes Research and Clinical Practice 97, p368-376, 2012




文3 田辺 新一他 : 室内環境が知的生産性に与える影響に関する研究, H14~17年度 科学研究費補助金 (基盤研究(A)), 2006

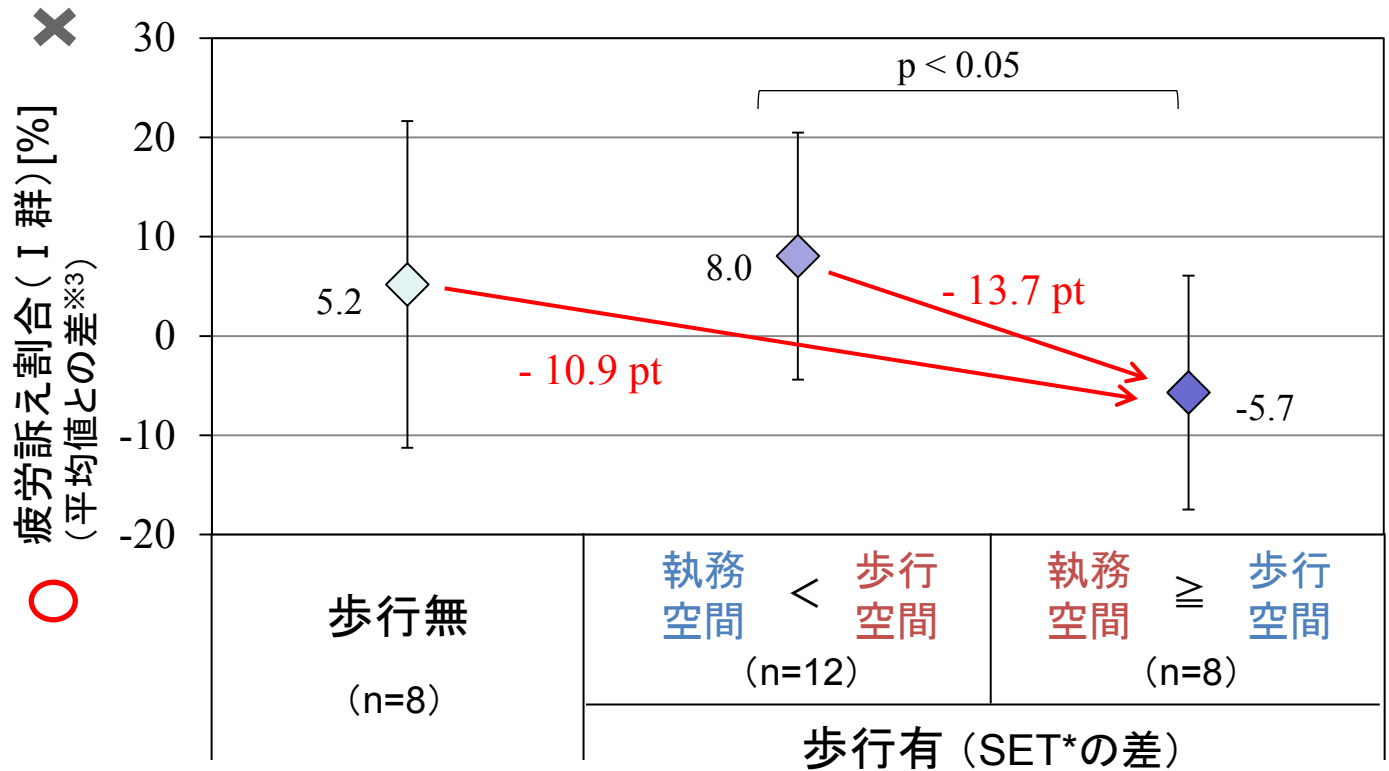
(慶應大+大成建設共同研究)

歩行を促すオフィス計画と疲労軽減※1

歩行空間の室内環境
(SET*の差)

歩行後の眠気・疲労
(疲労訴え割合※2)

執務空間	歩行空間
歩行無 	
冷 < 暖	
暖 ≥ 冷	



⇒ 執務空間より歩行空間のSET*が低い時、**身体的疲労低下の可能性**

(慶應大+大成建設共同研究)




※1 偏相関分析により、有意な相関関係が得られた室内環境要素を抽出

※2 「自覚症状調べ」の質問項目の内、「やや当てはまる」、「当てはまる」と回答した割合を疲労訴え割合として算出
被験者のアンケート回答の偏りを考慮し、(平均値との差) = (各回答値) - (個人毎の平均回答値)として算出

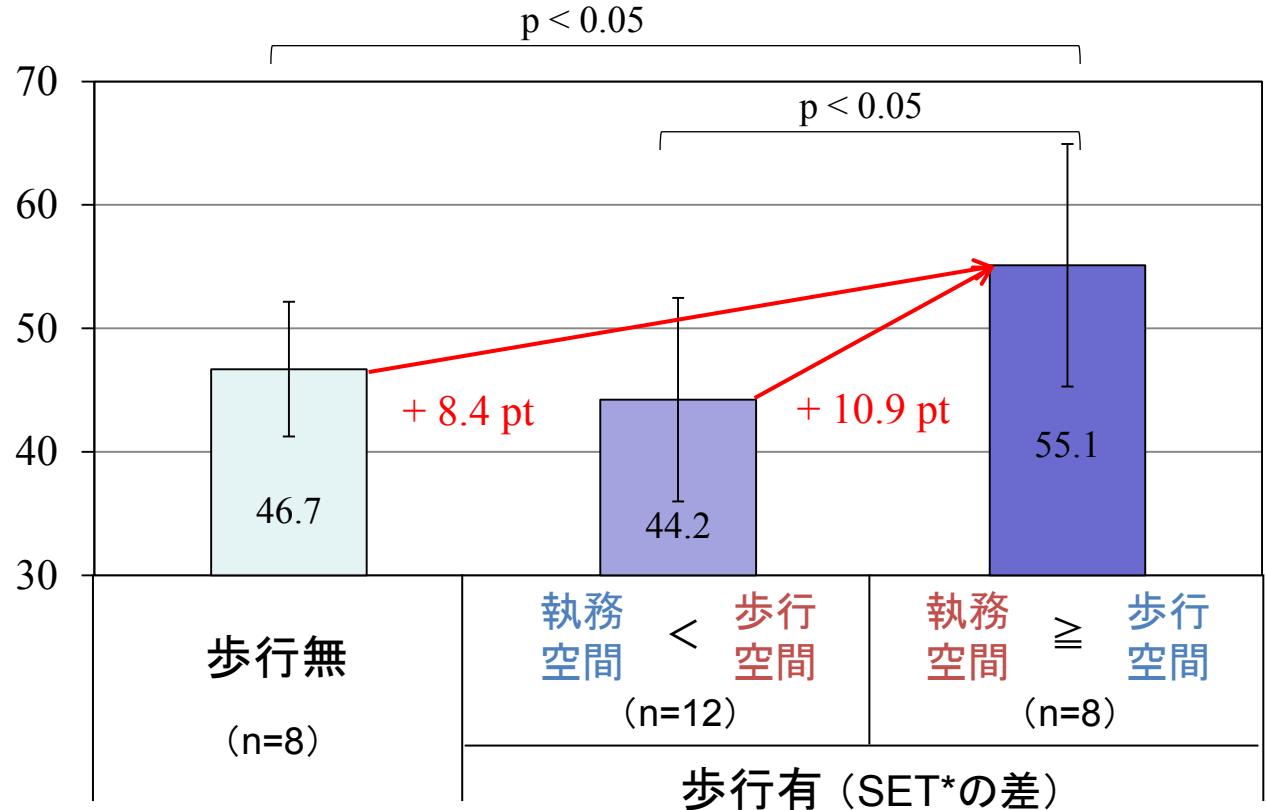
歩行を促すオフィス計画と作業効率※1

歩行空間の室内環境
(SET*の差)

歩行後の知的生産性
(創造的作業※1)

執務空間	歩行空間
歩行無 	
冷 < 暖	
暖 ≧ 冷	

○
×
マインドマップ作業効率[-]
(相対値※2)



(慶應大+大成建設共同研究)

※1 マインドマップ: 与えられたお題から連想される単語を書く創造的作業。書いた単語数で作業効率を評価

※2 各被験者の作業能力を考慮し、各被験者について (相対値) = $10 \times ((\text{各回答数}) - (\text{平均値})) \div \text{標準偏差} + 50$ として算出

知的生産性評価の 経済価値の見える化

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



CASBEEと連携した知的生産性評価

知的生産性評価に利用するCASBEE評価項目 (+α)

Q1	Q2	Q3	+α
温熱環境 空気環境 光環境 昼光利用 自然換気性能	広さ・天井高 屋外情報の有無 インテリアへの配慮 維持・衛生管理 リフレッシュスペース	緑地スペース 生物多様性 外観 地域貢献	打ち合わせスペース 食堂・カフェ 移動空間の工夫 エントランスロビー アトリウム

知的生産性評価システム

情報処理作業

(定型処理・事務処理)

知識創造行動

(リフレッシュ・コミュニケーション)

企業ブランド / イメージ

(社員の意欲向上)

(優秀な人材確保)

中間指標

①作業効率Index

②知識創造Index

③社員意欲Index

④人材確保Index

$$W_1 A_1 + W_2 A_2 + \dots + W_n A_n$$

$$= \sum W_i A_i [\%]$$

W_j : 各評価項目の重み係数
 A_j : 各評価項目のスコア

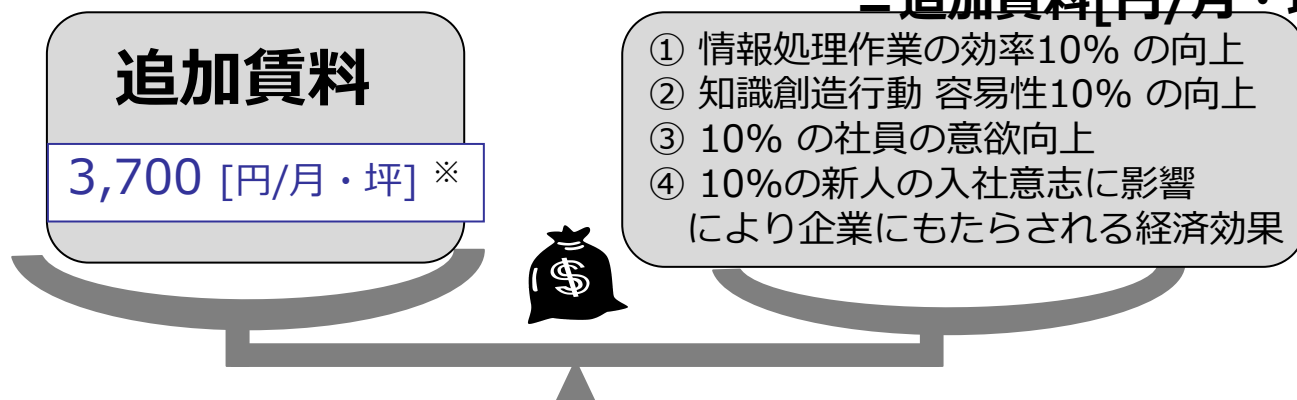
知的生産性の経済性評価ツール

知的生産性向上に対する追加支払賃料割合推定モデルの構築

国土交通省知的生産性研究委員会 (村上周三委員長) 経済性と評価・格付け部会 (部会長: 伊香賀)

知的生産性の経済的価値の見える化

$$\text{追加賃料の割合}[\%] \times \text{対象オフィスのある土地の平均賃料}[\text{円/月} \cdot \text{坪}] = \text{追加賃料}[\text{円/月} \cdot \text{坪}]$$



■ 寄与率 ⇒ 各Indexが経済的価値に及ぼす影響の大きさ

	寄与率[%]	各Index変化に伴う経済的価値
①作業効率	19	1%の作業効率向上で $3,701 \times 0.19 \div 10 = 70.3$ [円/月・坪] の便益
②知識創造	30	1%の知識創造行動 容易性向上で $3,701 \times 0.30 \div 10 = 111$ [円/月・坪] の便益
③社員意欲	32	社員1人(10人中) の意欲向上で $3,701 \times 0.32 \div 10 = 118$ [円/月・坪] の便益
④人材確保	19	優秀な新人1人(10人中) の確保で $3,701 \times 0.19 \div 10 = 70.3$ [円/月・坪] の便益

$$\begin{aligned} \text{経済性} &= 70.3 \times (\text{作業効率Index} - 100) [\%] + 111 \times (\text{知識創造Index} - 100) [\%] \\ &+ 118 \times \text{社員意欲Index} [\text{人}] + 70.3 \times \text{人材確保Index} [\text{人}] \end{aligned}$$

[円/月・坪]

※ 丸の内・大手町エリアの共益費込賃料50,242[円/月・坪]、
東陽町・木場エリアの共益費込賃料18,238[円/月・坪]

国土交通省知的生産性研究委員会 (村上周三委員長) 経済性と評価・格付け部会 (部会長: 伊香賀)

自宅の睡眠環境が 職場での知的生産性に与 える影響（被験者実験）

見えない価値の見える化

省エネ性
低炭素性

健康性

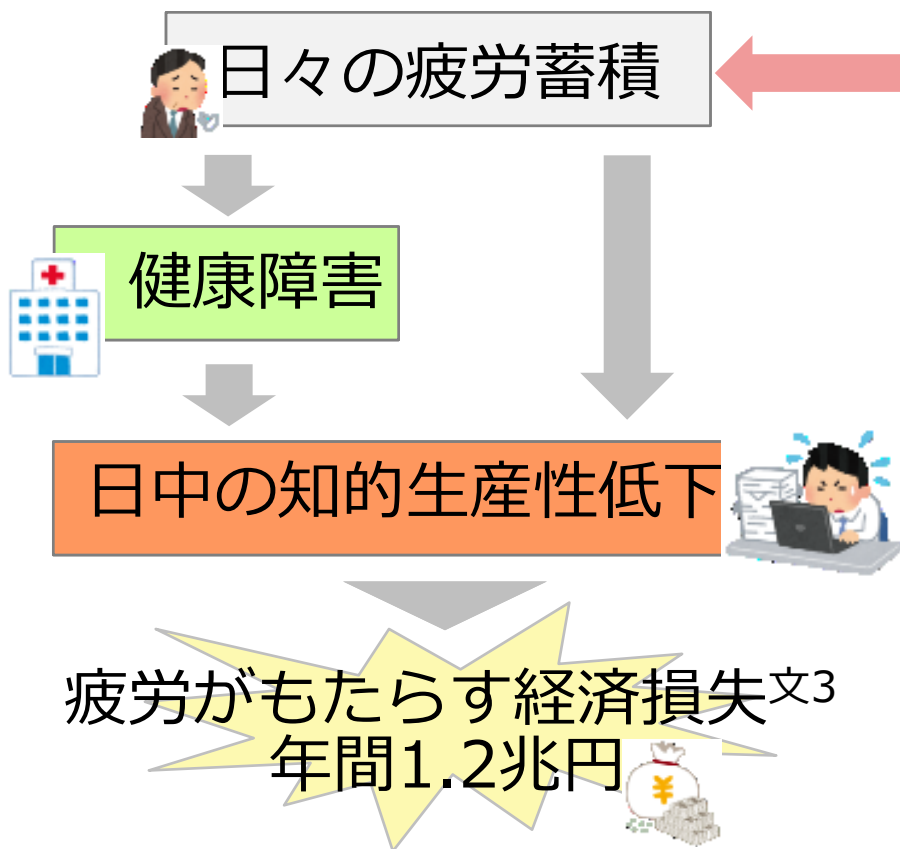
知的生産性

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



日々の疲労蓄積がもたらす経済損失^{文1,2}

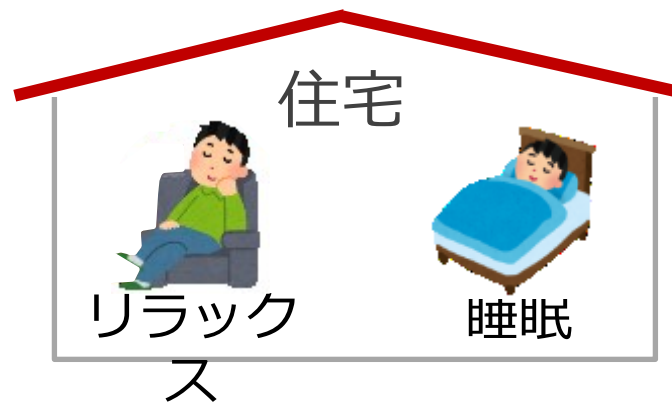


リラックス状態 (副交感神経優位)

▶ 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

翌日の作業効率を高める睡眠環境

	実験 i	実験 ii	実験 iii
目的	①冷房制御が睡眠の質に与える影響の把握		
	②睡眠の質が翌日の作業効率に与える影響の把握		
日程	2013年8月	2014年8月	2014年8月/2015年8月
被験者※1	男子大学生8名	男子大学生8名	男子大学生16名
実験場所	【睡眠空間】 実験住宅1※2内の1住戸 【作業空間】 実験住宅1内の集会室		【睡眠空間】 実験住宅2※2 【作業空間】 K大学の教室



実験住宅1の外観

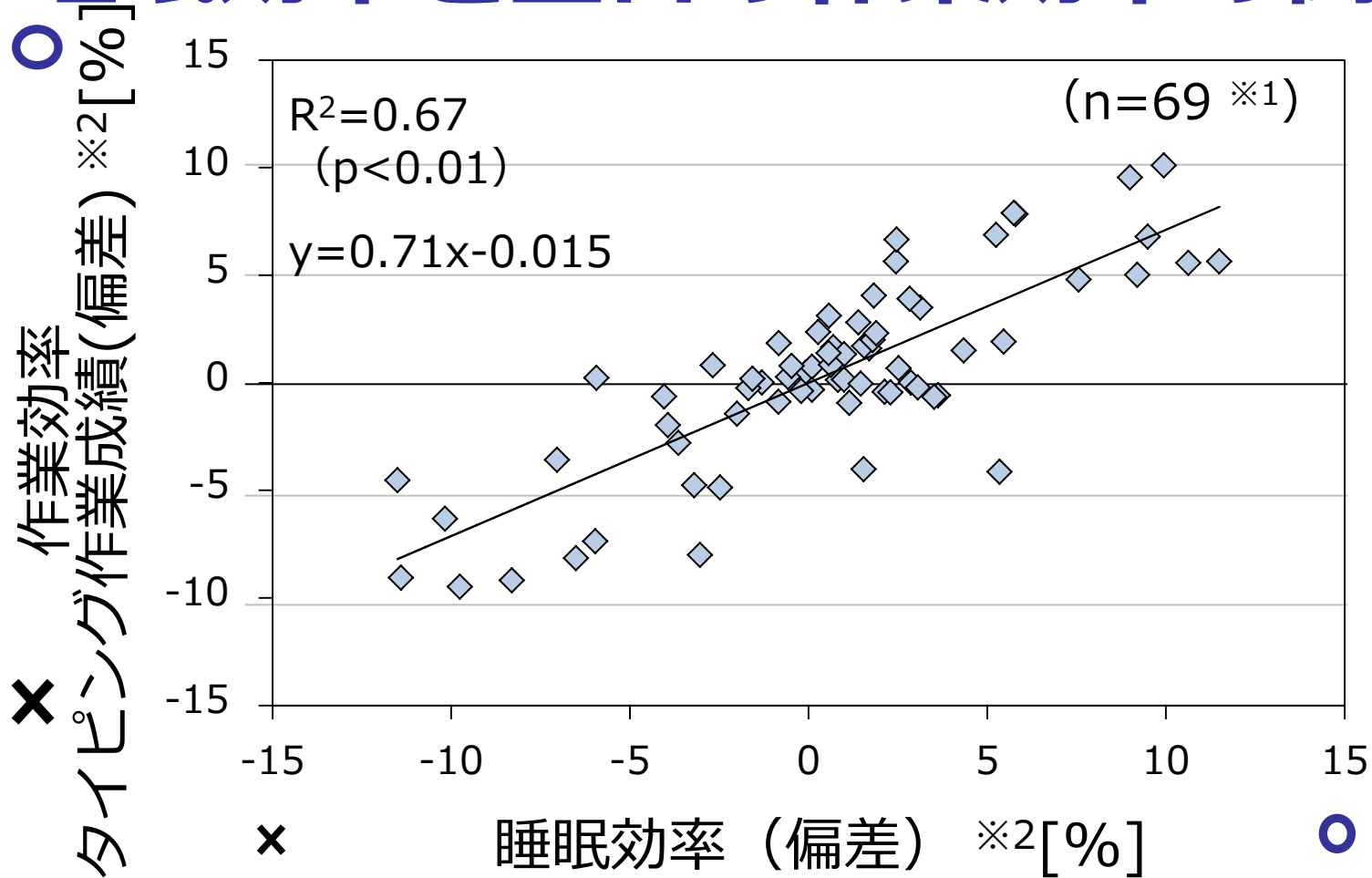


放射冷房パネル

※1 標準的な体型 (BMI (=体重[kg]÷(身長[m])²) が18.5以上25未満)、喫煙習慣がない者を選定

※2 断熱水準が次世代省エネルギー基準を満たす住宅

睡眠効率と翌日の作業効率の関係



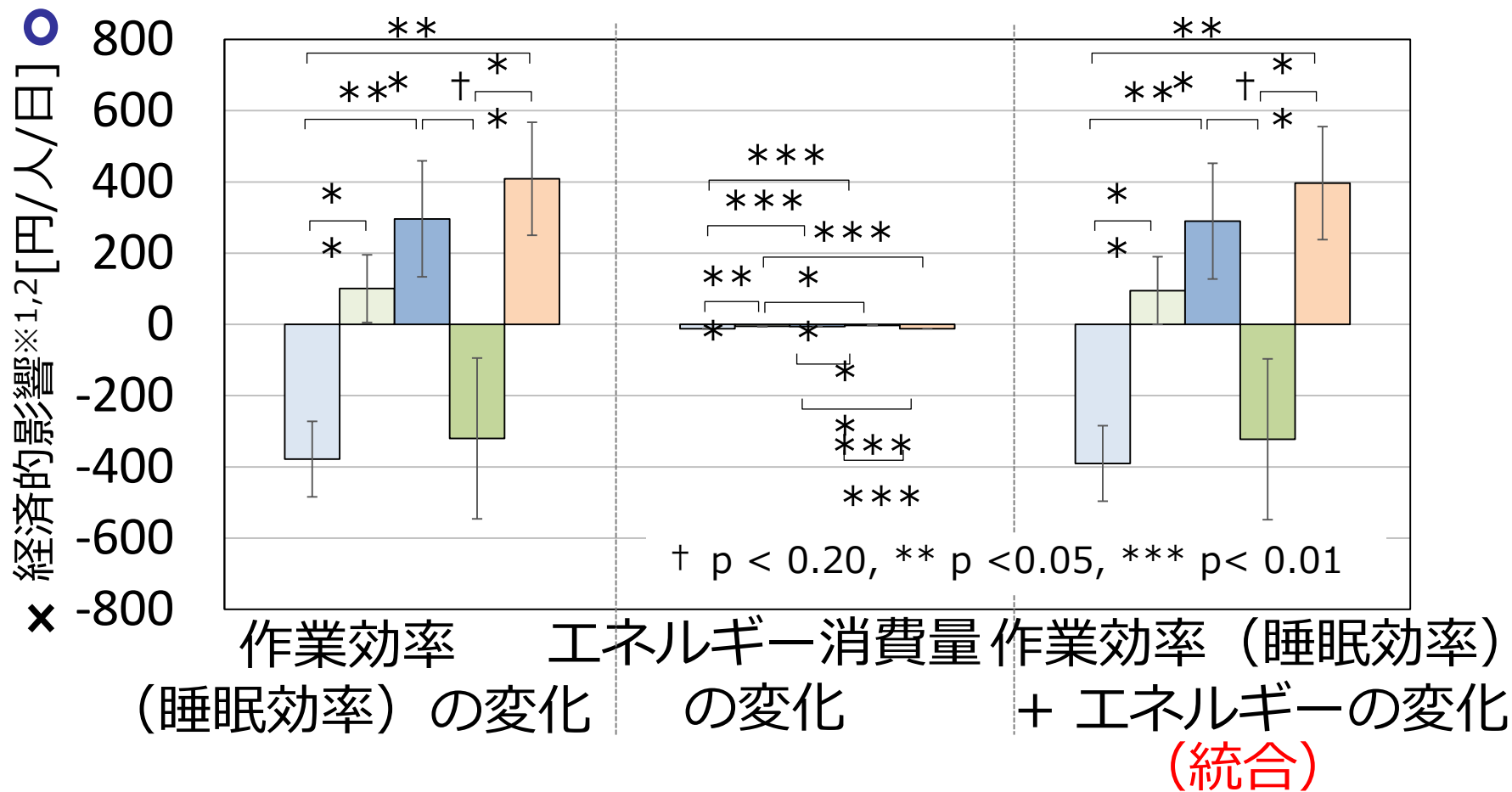
- ▶ 睡眠効率が高い日ほどタイピングの作業成績が高い
- ▶ **睡眠効率1.0Pt向上に伴い、作業効率が0.71Pt向上**

※1 作業前又は作業後に温熱環境に不満を抱いていた被験者を除外

※2 偏差 (=日ごとの値 - 個人の平均値) を用いることで個人差を極力排除

翌日の作業効率を高める睡眠環境

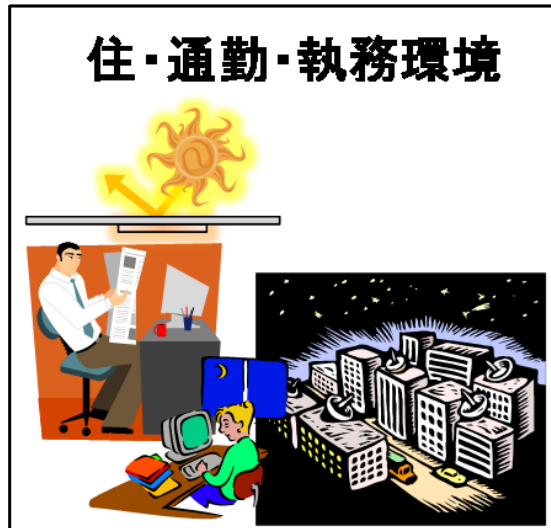
□ Case. I (24) □ Case. II (24) □ Case. IV (8) ■ Case. V (7) ■ Case. VI (16)
□ 【A/C 26℃連続】 □ 【A/C 28℃連続】 □ 【A/C 26℃タイマー】 ■ 【A/C 28℃タイマー】 ■ 【放射冷房】



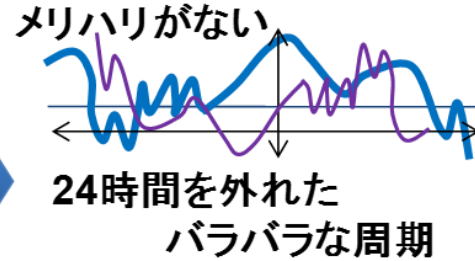
※1 () 内はサンプル数 ※2 算出式は多和田友美、伊香賀ら「オフィスの温熱環境が作業効率及び電力消費量に与える総合的な影響」日本建築学会環境系論文集, 第75巻, 第648号, 213-219, 2010.2 を参考に設定

国交省 スマートウェルネスオフィス研究

エビデンス収集部会（部会長：伊香賀）

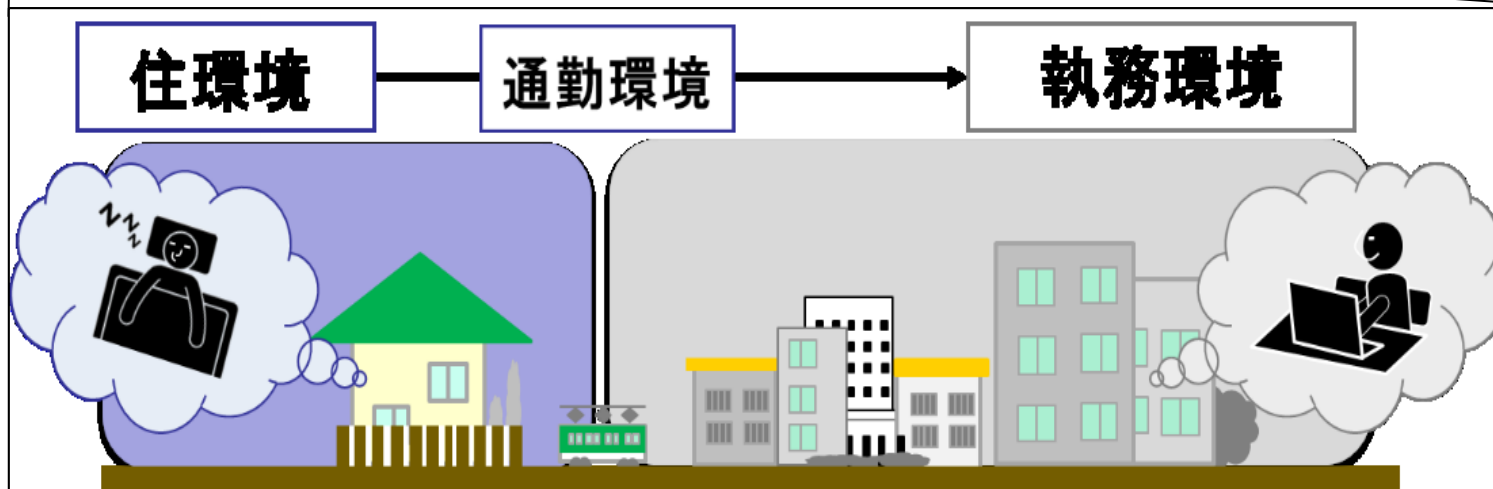
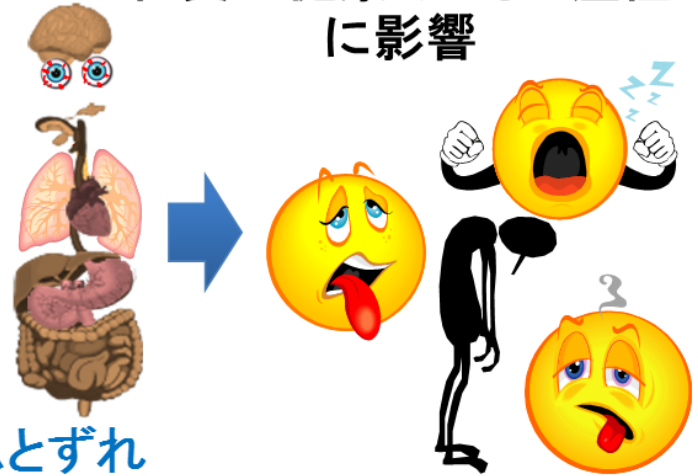


体内リズム



リズムのフリーランで
社会リズムとずれ

社員の健康・知的生産性
に影響



CASBEE-すまい/コミュニティイックスト+CASBEEと連携した知的生産性経済性評価ツール
+ 産業医が把握している社員の健康状態（欠勤、症状、疾病）

園児の身体活動を促す 幼稚園の室内環境

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

園児の身体活動を促す幼稚園室内環境

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	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

無垢二重床の暖かい園舎の幼児が活発

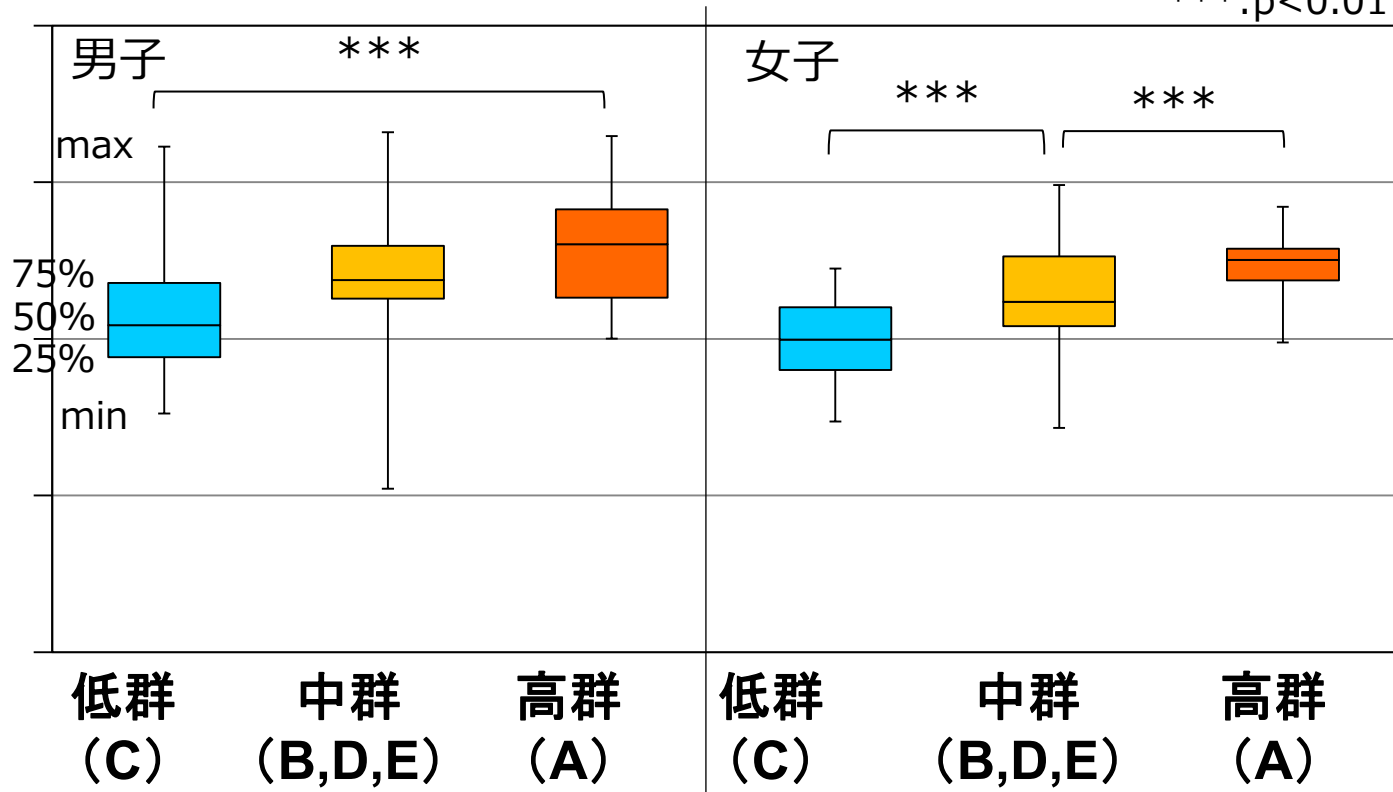
***:p<0.01



活動量計
HJA-750C

平均活動強度[METS]

4.0
3.0
2.0
1.0
0.0



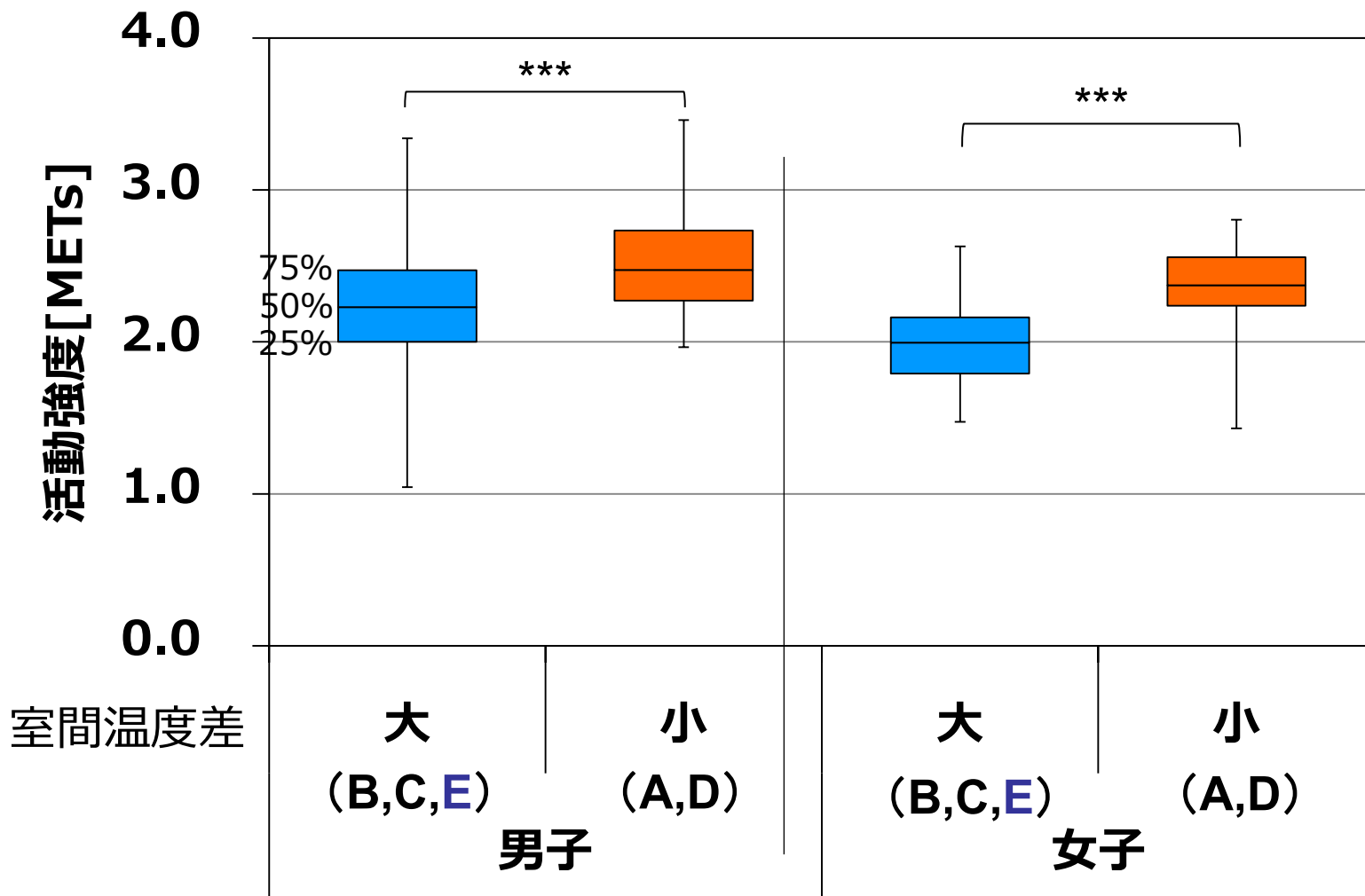
	低群 (C)	中群 (B,D,E)	高群 (A)	低群 (C)	中群 (B,D,E)	高群 (A)
0.1m室温[°C]	9.2	13.7	17.2	9.2	13.7	17.2
1.1m室温[°C]	16.6	15.9	17.6	16.6	15.9	17.6



空間温度差が少ない園舎の幼児は活発



活動量計
HJA-750C



- ▶ 空間温度差の小さい幼稚園で有意に活動強度が高い
- ▶ 園舎全体を暖かく保つことが活発な活動につながる可能性

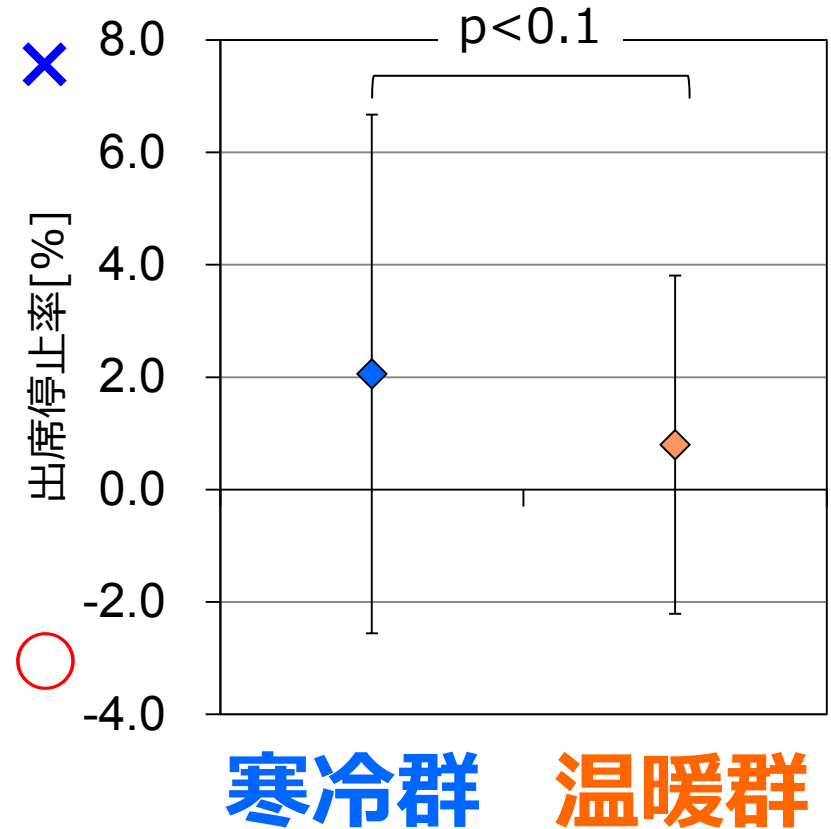
暖かい園舎では園児の活動量が多く、 低体温の改善を介して欠席率も少ない

Pearsonの 相関係数		秋	冬
		欠席or出席停止率	
秋	中強度以上の 活動時間	-.225**	-
冬		-	-.233**
秋	起床時体温	-.281**	-
冬		-	-.220*

**p<0.01 *p<0.5

- ▶活動量と欠席率は負の相関
- ▶起床時体温と欠席率は負の相関

インフルエンザによる



- ▶温暖群のほうがインフルエンザの罹患率が低い

小学生の身体活動を促す 地域と学校施設の環境

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

子供の頃からの身体活動促進の必要性

児童生徒の健康問題

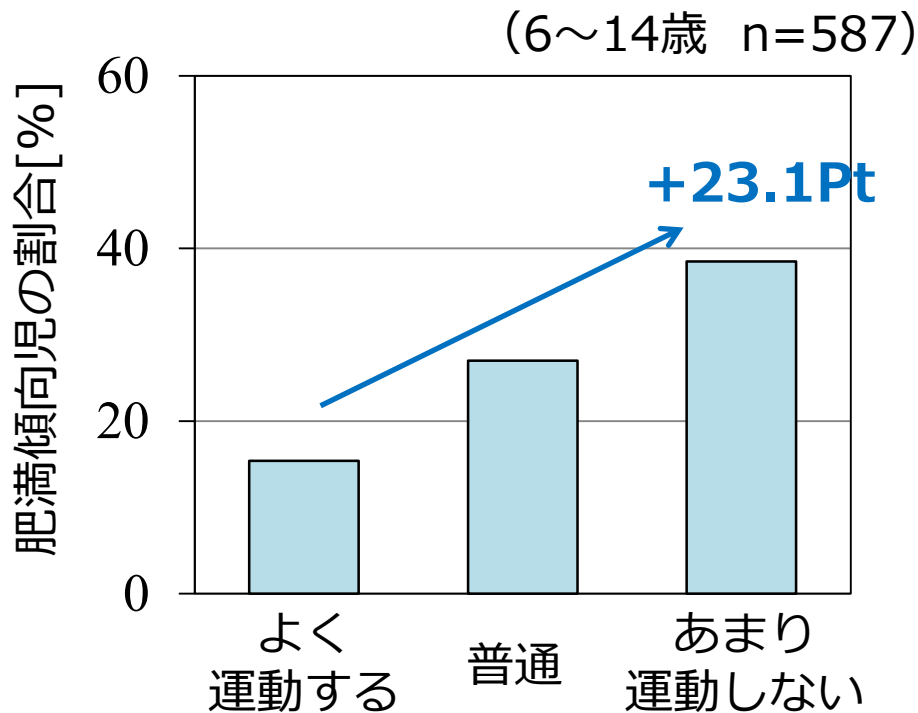
◇肥満傾向児の増加
⇒30年前と比較して約1.5倍^{文1}

◇体力・運動能力の低下^{文2}

◇骨折者数の増加
⇒40年前と比較して約2.5倍^{文3}

▶ 子どもの頃の健康状態が
成人後の健康状態に影響^{文4}

運動と肥満傾向児の関係^{文5}



文1) 文部科学省：平成27年度学校保健統計調査,2005 文2) 文部科学省：平成26年度体力・運動能力調査報告書,2015

文3) 独立行政法人日本スポーツ振興センター：学校の管理化の災害-基本統計-,2012

文4) 竹中晃二：アクティブチャイルド60min-子どもの身体活動ガイドライン,株式会社サンライフ企画,2010

文5) 厚生労働省：子どもの肥満に関する報告~平成17年国民生活基礎調査とリンクした国民健康,2011

児童の歩数の地域別比較

高知県
梼原町



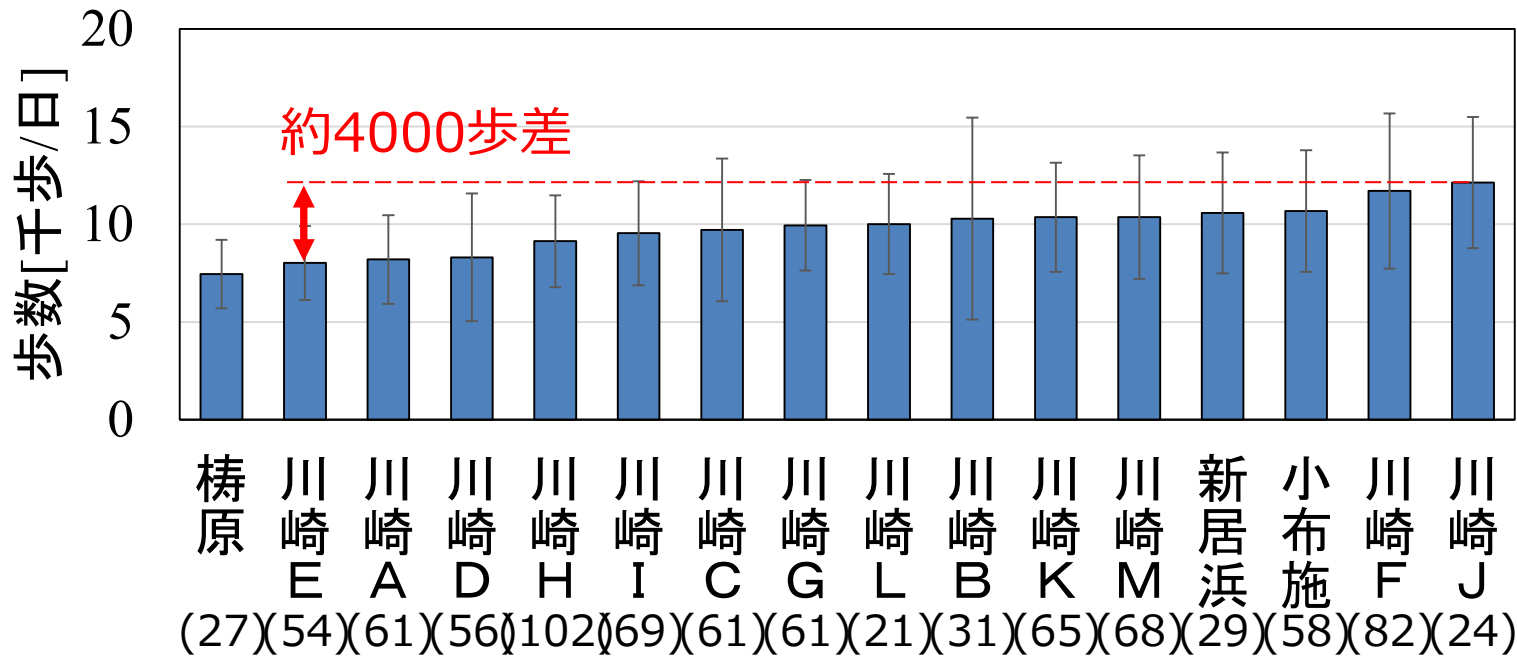
愛媛県
新居浜市



長野県
小布施町



神奈川県
川崎市



ライフスタイルに関する調査 (全 53 問・15 分)

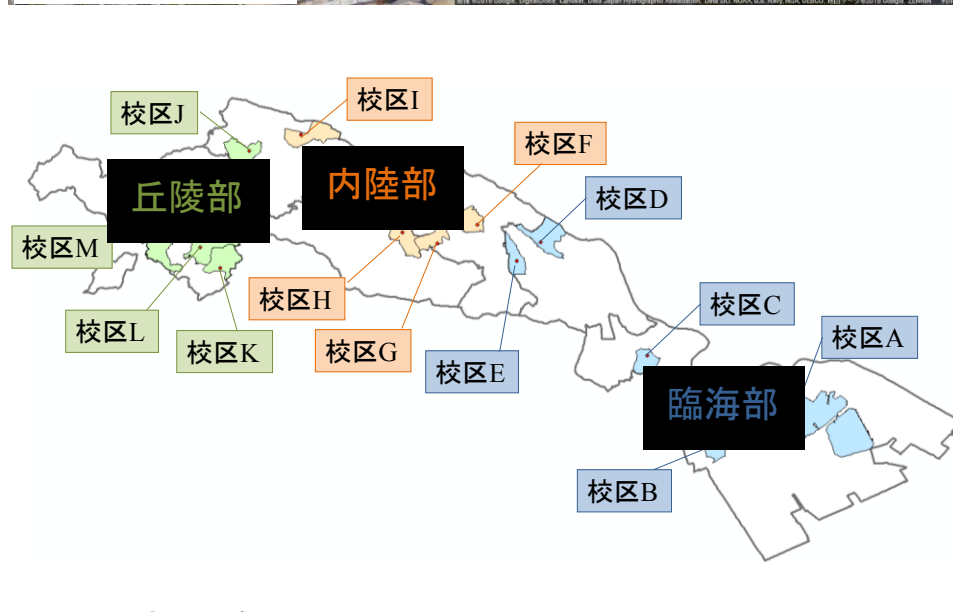
調査結果

1. 性別	男	2. 年齢	10歳
3. 身長	140cm	4. 体重	25kg
5. 学年	5年生	6. 学年	5年生
7. 学年	5年生	8. 学年	5年生
9. 学年	5年生	10. 学年	5年生
11. 学年	5年生	12. 学年	5年生
13. 学年	5年生	14. 学年	5年生
15. 学年	5年生	16. 学年	5年生
17. 学年	5年生	18. 学年	5年生
19. 学年	5年生	20. 学年	5年生
21. 学年	5年生	22. 学年	5年生
23. 学年	5年生	24. 学年	5年生
25. 学年	5年生	26. 学年	5年生
27. 学年	5年生	28. 学年	5年生
29. 学年	5年生	30. 学年	5年生
31. 学年	5年生	32. 学年	5年生
33. 学年	5年生	34. 学年	5年生
35. 学年	5年生	36. 学年	5年生
37. 学年	5年生	38. 学年	5年生
39. 学年	5年生	40. 学年	5年生
41. 学年	5年生	42. 学年	5年生
43. 学年	5年生	44. 学年	5年生
45. 学年	5年生	46. 学年	5年生
47. 学年	5年生	48. 学年	5年生
49. 学年	5年生	50. 学年	5年生
51. 学年	5年生	52. 学年	5年生
53. 学年	5年生		

児童生徒：1,238s (うち実測1,204s)、教員：420s、
保護者：157s、地域住民：3,701s

注) 平均歩数[歩/日] = (平日平均歩数[歩/日] × 5日 + 休日平均歩数[歩/日] × 2日) ÷ 7日

川崎市の臨海部・内陸部・丘陵部風景



自然環境と歩数のマルチレベル分析

児童の平均歩数 [歩/日]

		説明変数	推定値	
固定効果	切片		9,708 ***	
	個人レベル	性別 [0) 男、1) 女]	女子は男子より 1,169歩 少ない	-1,169 ***
		運動の頻度 [0) 全くしない~4) 毎日]		413 ***
		スポーツクラブ [0) 所属無、1) 所属有]		568 **
		体育館の利用頻度[0) 全くしない~1) 週数回・毎日]		150 **
		公園の利用頻度 [0) 全くしない~1) 週数回・毎日]		228 **
		休み時間すること [0) 外遊び以外、1) 外遊び]		668 ***
		通学時間 [分]		58 ***
	休日テレビ視聴時間 [時間]	自然環境評価が 1点高い地域は 402歩 多い	-163 ***	
地域レベル	自然環境 [点]		402 ***	

n=775 (13校区) *** : p<0.01、** : p<0.05 地域レベルの変数は全体平均で中心化、個人レベルは各学校の平均で中心化



統計指標と歩数のマルチレベル分析

児童の平均歩数 [歩/日]

		説明変数	推定値
固定 効果	地域 レベル	犯罪件数 [件/年]	-211 *
		信号交差点数 [箇所/km ²]	-120 **
		標高平均値 [m]	33 **
		標高差 [m]	40 ***
		準工業地域割合 [%]	-27 †
		住居割合 [%]	25 †
		建物面積割合 [%]	-70 †

防犯や交通安全、土地利用が歩数に影響

*** : $p < 0.01$ 、** : $p < 0.05$ 、* : $p < 0.10$ 、† : $p < 0.20$ 地域レベルの変数は全体平均、個人レベルは学校平均で中心化

高齢者の要介護度悪化を 抑える高齢者施設環境

見えない価値の見える化

省エネ性
低炭素性

健康性

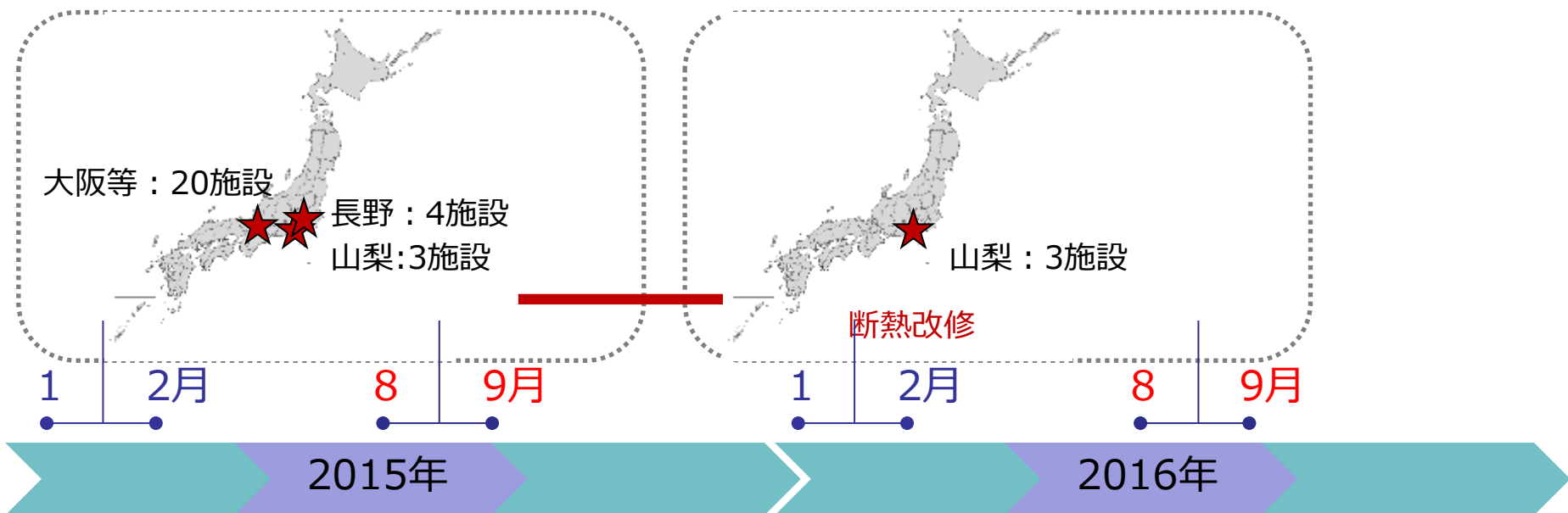
知的生産性

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



特養施設の入居者要介護度変化 と室内温熱環境の関連



■ 実測調査



- 冬季・夏季の約4週間
- 20分間隔の連続測定

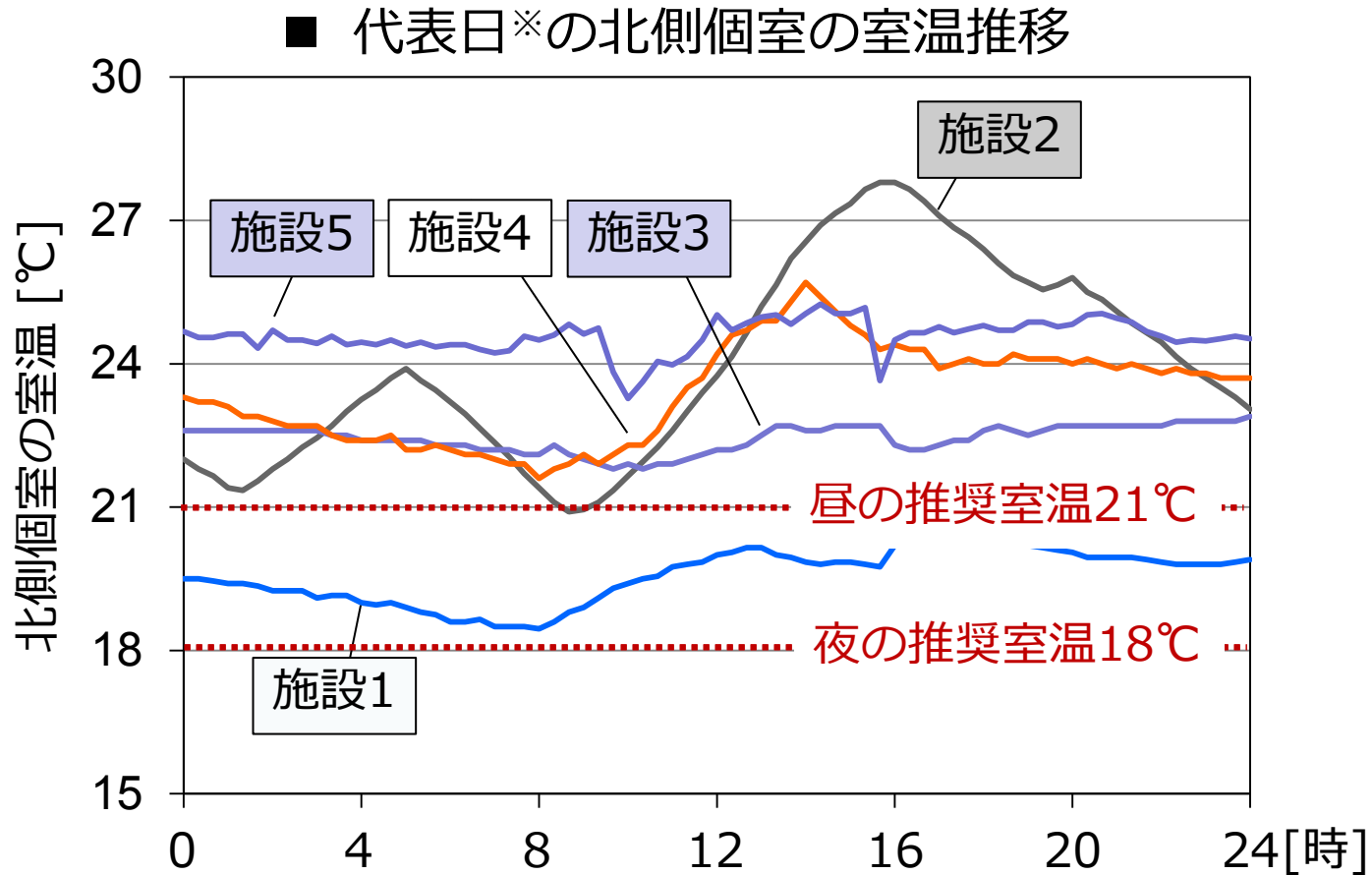
ボタン型温湿度ロガー

■ 質問紙調査

項目	内容
1	2015年1月
2	2015年2月
3	2015年3月
4	2015年4月
5	2015年5月
6	2015年6月
7	2015年7月
8	2015年8月
9	2015年9月
10	2015年10月
11	2015年11月
12	2015年12月
13	2016年1月
14	2016年2月
15	2016年3月
16	2016年4月
17	2016年5月
18	2016年6月
19	2016年7月
20	2016年8月
21	2016年9月
22	2016年10月
23	2016年11月
24	2016年12月

- 血压
- 要介護度
- 既往歴 等

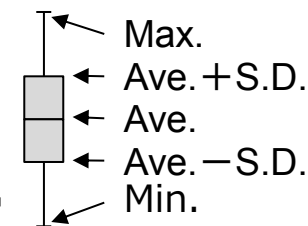
測定結果 室温の推移



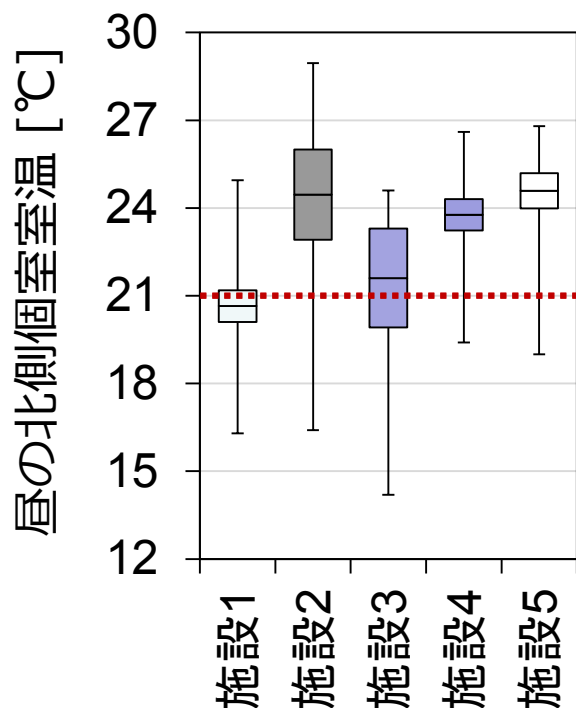
➤ 施設2～5は昼夜ともに推奨室温を下回らなかった

※ 施設1, 2は山梨県大月市の気象庁観測データ、施設3～5は長野県東御市の気象観測データを参照し、測定期間中に最も低い最低外気温度を記録した1日を代表日とした

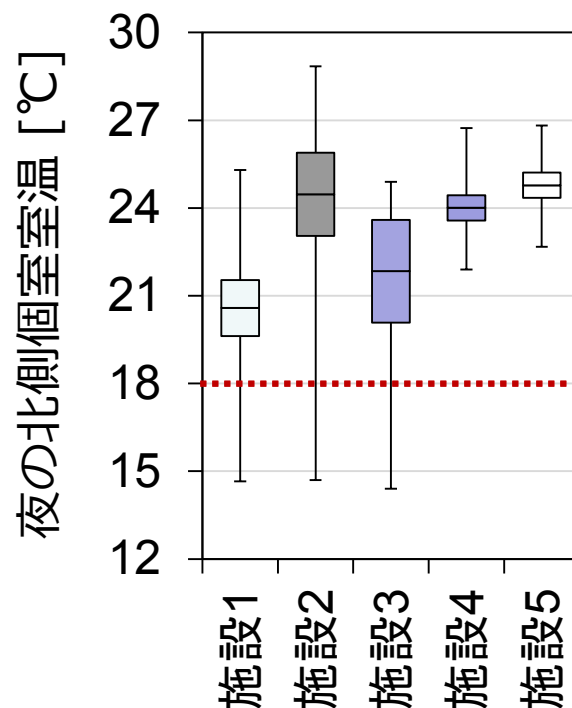
北側個室の昼夜室温と食堂の日中室温



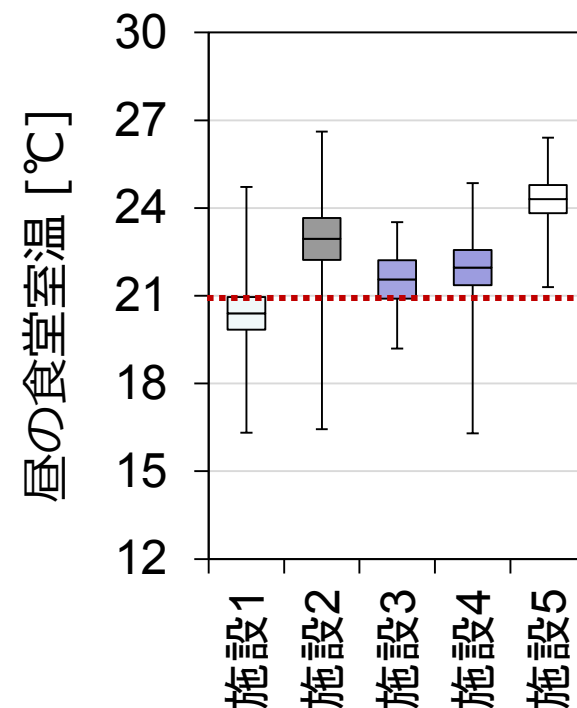
■ 昼の北側個室



■ 夜の北側個室



■ 昼の食堂



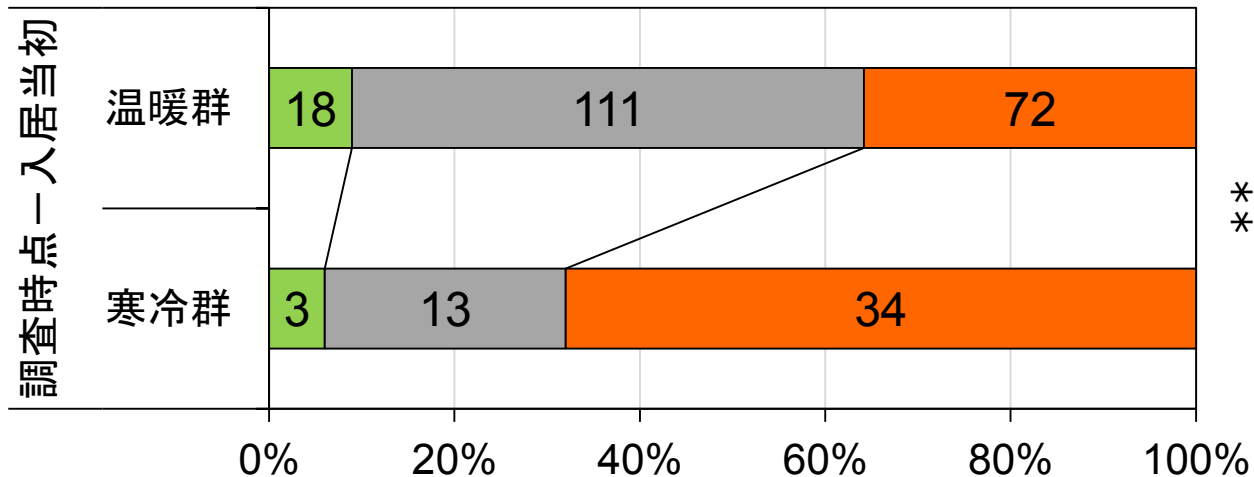
➤ 施設1を寒冷群、施設2～5を温暖群に分類

室内温熱環境と要介護度変化

入居当初と調査時点の要介護度変化を群別にカイ二乗検定で比較

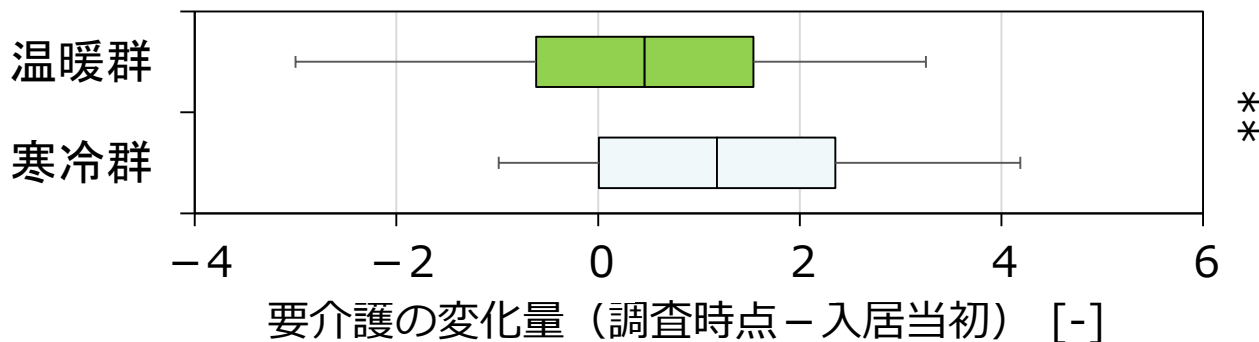
■ 改善 ■ 維持 ■ 悪化

** $p < 0.01$



入居当初と調査時点の要介護度変化量を群別にt検定で比較

** $p < 0.01$



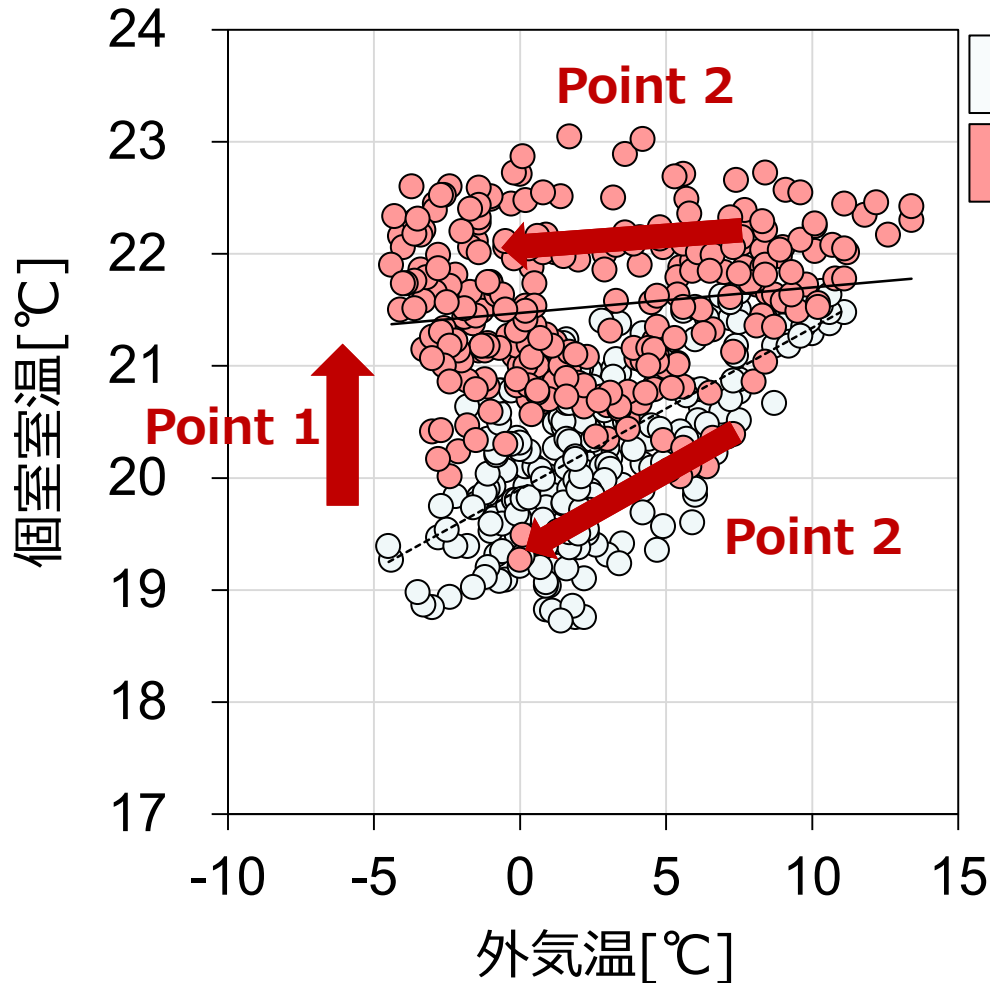
温暖施設の要介護度維持改善確率5倍

◆ 要介護度の変化を目的変数とした多重ロジスティック回帰分析

目的変数	要介護度の変化（入居時－現在）	0) 悪化, 1) 維持・改善	調整オッズ比
独立変数	性別	[0) 男性, 1) 女性]	0.41
	年齢	[実数]	1.04
	入居年数		0.82**
	BMI	標準（参照）	－
		低体重	0.48
		肥満	3.27
	介護度（入所時）	要介護1（参照）	－
		要介護2	0.82
		要介護3	8.72**
		要介護4	10.2**
		要介護5	1.91×10 ¹⁰
施設の室内温熱環境	0) 寒冷群, 1) 温暖群	5.00**	

$n=256$, * $p<0.05$, ** $p<0.01$, 変数選択法：変数減少法尤度比

断熱改修による室温の改善



改修前 $y=0.14x+19.90$, $R^2=0.39$, $p<0.01$

改修後 $y=0.02x+21.47$, $R^2=0.02$, $p<0.05$

Point 1

プロット位置の上昇
= 室温が全体的に上昇

Point 2

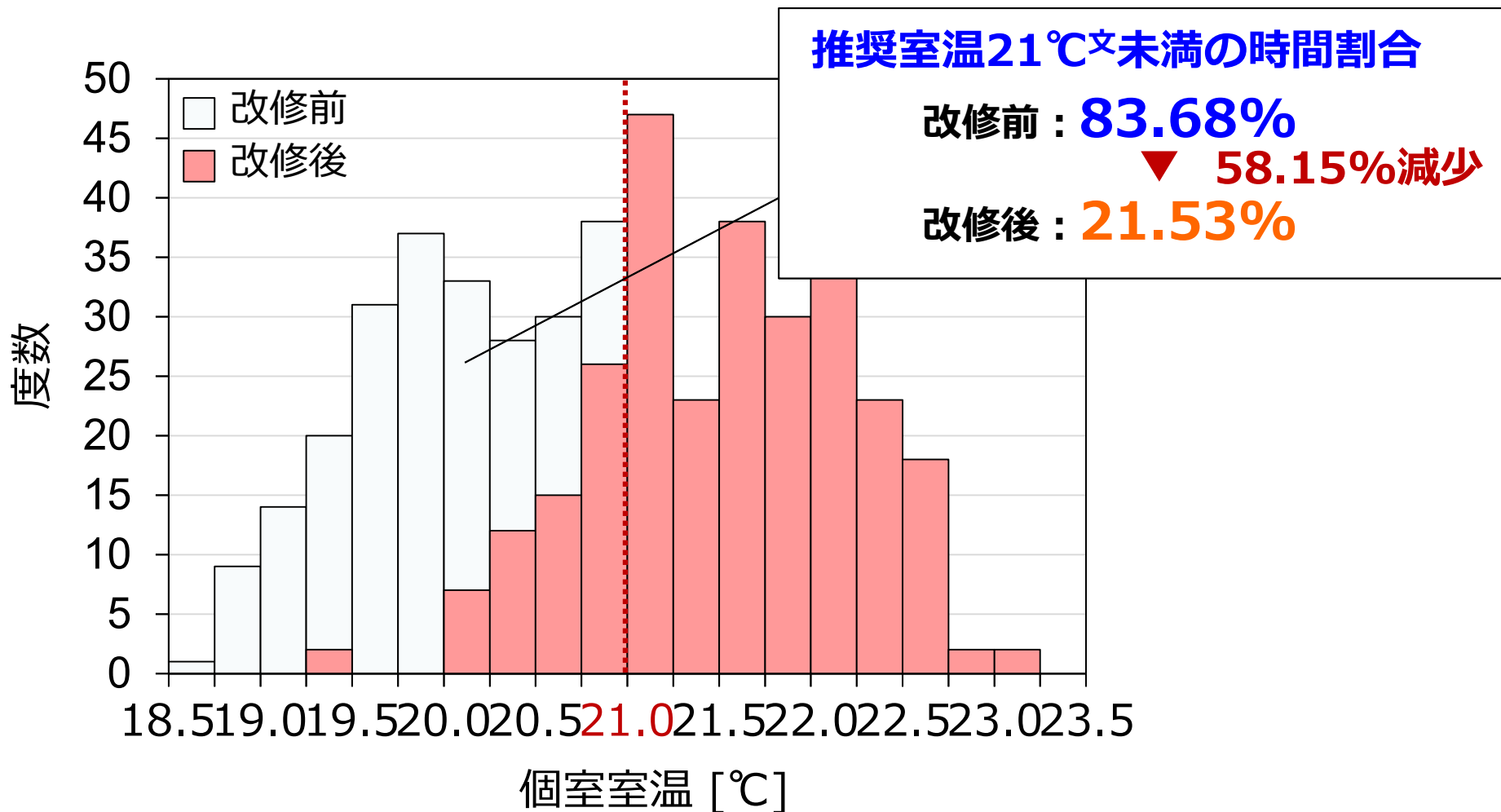
近似曲線の傾きの縮小
= 外気温の低下に伴う
室温低下の抑制

➤ 断熱改修による冬季の温熱環境改善効果を確認

※1 外気温は気象観測データ

※2 1plot=1hの測定値

断熱改修による室温の改善

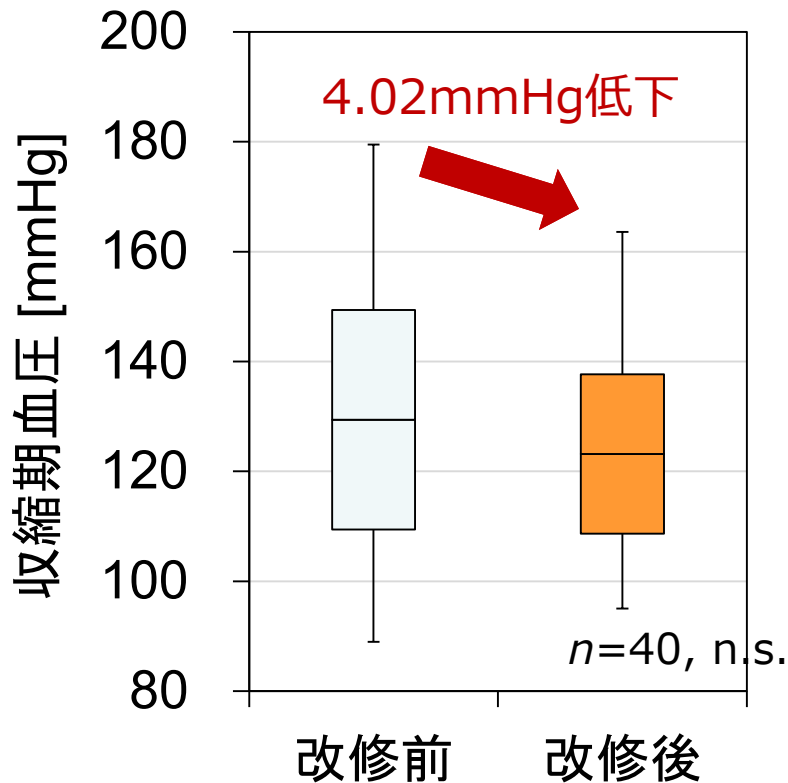


➤ 断熱改修により推奨室温以下の時間数が減少

※ 1h毎の測定値を使用 文 Public Health England, Cold Weather Plan for England 2013, 2013

断熱改修による血圧の改善

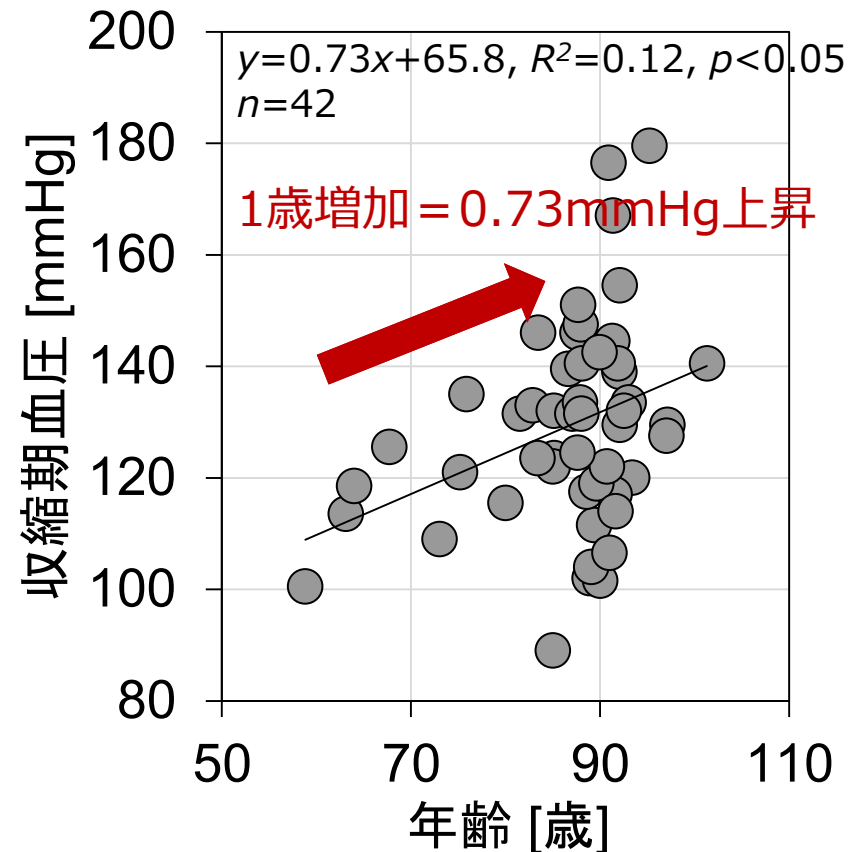
■ 断熱改修前後の収縮期血圧 (Paired t-test)



- 断熱改修により収縮期血圧が平均4.02mmHg低下

■ 年齢と収縮期血圧※の関係

※ 改修後のデータを使用



- 改修前後の1年の加齢の影響を加味すると平均4.75mmHg低下