

Part13. Field Test on Effects of Thermal Environment on Motivation and Productivity

学生会員 亀田 健一 (慶應義塾大学大学院) 正会員 金子 隆昌(株式会社 久米設計)
 特別会員 村上 周三 (慶應義塾大学) 正会員 伊藤 一秀(東京工芸大学)
 正会員 深尾 仁 (大成建設 株式会社)

Kenichi KAMEDA*¹ Takamasa KANEKO*² Shuzo MURAKAMI*¹ Kazuhide ITO*³ Hitoshi FUKAO*⁴

*¹ Keio University *² KUME SEKKEI Co. Ltd *³ Tokyo Polytechnic University *⁴ TAISEI Corporation

This paper presents on the results of field test on academic performance in classroom. In particular, this paper reports the effects of thermal environment on motivation and productivity for student in actual classroom. In order to evaluate the consistency between field test and realistic simulation experiments which previously reported (part 9 and part 10), the same evaluation method were adopted. When thermal environment changed, productivity in classroom is improved by 9.8% on average (n.s.) and motivation in classroom is varied according to thermal environment (n.s.).

1.はじめに

前報(その12)¹⁾では温熱・空気環境の質が学習効率に及ぼす影響に関して総合的に検討した。そこで、本報(その13)では特に温熱環境の影響のみに着目し、換気量一定の条件で温熱環境のみを変化させた場合の学習効率の検討を現地実測により行ったので報告する。

また、既報(その9)²⁾並びに(その10)³⁾の実験室実験で報告した学習意欲に関する調査を引き続き現地実測でも行う。現地実測では実験室実験では再現が難しいモチベーションなどの被験者心理を再現することが可能である。そのため現地実測で学習意欲の定量評価を試みることで、環境要素の影響をさらに明確に抽出できる可能性が高い。学習意欲に関する調査は、プロダクティビティ研究において大変重要なパラメータでありながら今まで定量的な評価が殆どされてこなかったモチベーションの評価⁴⁾を試みるものである。その結果は室内環境要素が学習効率に及ぼす影響のメカニズムに関する検討並びに学習効率のより正確な評価方法の検討に関して有用な基礎データになると考えられる。また、本研究の特徴でもある現地実測と実験室実験の整合性の検討に関してもより詳細な分析を可能にするものと思われる。

2. 学習効率に関する現地実測の概要

2.1 現地実測期間・場所(図1、2、表1)

現地実測は2006年2月~4月にかけて日建学院^{注1)}にて行った。実測対象教室の概要を図1、2、表1に示す。空調システムとしては、新鮮外気をフロアの外気取入口から取入れ、各教室はドアのアンダーカットから取入れる。主

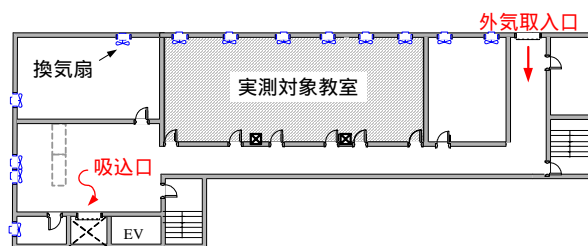


図1. 現地実測対象空間

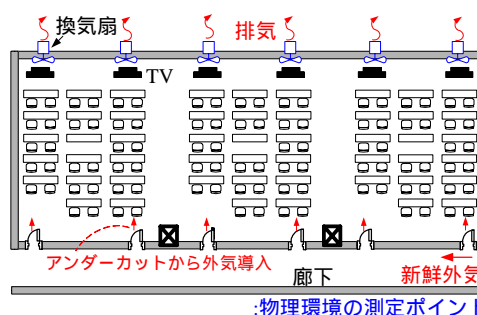


図2. 実測対象教室内レイアウト並びに測定ポイント

表1. 対象教室概要

室面積 (縦×横)[m]	211.2m ² (10.7×19.7)
天井高さ	2.4m
開口部:開きドア(アンダーカット)[m]	0.2×0.6 (6カ所)
換気扇	0.4×0.4 (6カ所)

な排気は室内に設置された換気扇にて行う。天井には温度制御のみの定風量式空調機が3台設置されている。

2.2 現地実測の条件(表2)

換気量は一定で、PMVのみを変化させて実測時の環境条件を全部で4ケース形成する(表2)。環境条件は、Case1: 徐々に暖かくなり PMV が時間変化する場合^{注2)}、Case2: 快適で PMV が 0.0 で一定である場合、Case3: やや暖かく

PMV が+0.5 で一定である場合、Case4:快適でPMV が+0.1 で一定である場合の 4 つのケースを設置した(それぞれケース名を PMV(-0.2 ± 0.6)、PMV(0.0)、PMV(+0.5)、PMV(+0.1)とする)。講義科目は施工、計画分野の 2 つの科目を設定した。被験者のサーカディアンリズムに配慮し同一の曜日・時間帯に行った。

2.3 被験者

被験者は日建学院の一級建築士講座の受講生。被験者数は 62 ~ 90 人^{注3)}であり、20 代 ~ 40 代の社会人である。

2.4 測定項目

2.4.1 学習効率の評価

講義の理解度を問う統一テストの点数により客観的な学習効率を評価した。講義内容は一級建築士試験対策で、内容は五者択一形式で全 20 問である。異なる講義内容に関するテストの点数を比較するため、日建学院実施平均点データを基に点数の補正を行い^{注4)}、全テストの難易度を統一した。

2.4.2 学習意欲の評価

本研究では学習意欲を「講義内容を吸収しようという意欲」と定義する。また、学習意欲は、入室直前の学習意欲「講義前の学習意欲」(Motivation-講義前(M_前))と、教室に入室後の講義中の学習意欲「講義中の学習意欲」(Motivation-講義中(M_中))の 2 種類に分類する。両学習意欲の申告は今までの経験から最もやる気のある状態を 100[%]、最もやる気のない状態を 0[%]として 0 ~ 100[%]のスケールで定量的評価を試みる。学習意欲の申告は主観的な学習効率の申告と同時にいった。

2.4.3 物理環境の測定(表 3)

(1)温熱環境要素 実測中に空気温度、放射温度、相対湿度、風速を連続測定した。

(2)その他 表 3 に示す空気^{注5)}・音・光環境を測定した。

2.5 現地実測手順(図 3)

現地実測は講義開始の午前 9:00 から開始した。180 分間の講義後(12:00)、30 分のテストを行い、その後申告表の記入を行った。180 分の講義中、5 分程度の休憩が 3 回設定されている。図 3 に実測手順を示す。

2.6 統計解析方法

学習効率の環境間比較には等分散を有意水準 5% で仮定できるものは対応のある t 検定を行った。その他のデータは Wilcoxon の符号付順位和検定を用いた。

3. 物理環境測定結果

3.1 温熱環境要素(表 4)

表 4 に温熱環境の測定結果並びに PMV^{注6)}算出結果を示す。Case1 では PMV が -0.2 ± 0.6 となり温熱環境が変化する結果となった^{注7)}。また、Case2 では PMV が 0.0 程度、Case3 では +0.5 程度、Case4 では +0.1 程度で温熱環境が一定となった^{注8)}。

3.2 その他

表 2. 現地実測の条件(PMV を変化させる)

実測日	ケース名	環境条件	科目	被験者
2/19(日)	Case1: PMV(-0.2±0.6)	徐々に暖かくなる	施工	90(人)
2/26(日)	Case2: PMV(0.0)	快適	施工	86(人)
4/2(日)	Case3: PMV(+0.5)	やや暖かい	計画	62(人)
4/9(日)	Case4: PMV(+0.1)	快適	施工	74(人)

表 3. 物理環境測定項目

(1)温熱環境要素	空気温度、放射温度、相対湿度、風速
(2)空気環境要素	換気回数、粉塵濃度、CO ₂ 濃度
(3)光環境要素	机上面照度
(4)音環境要素	等価騒音レベル

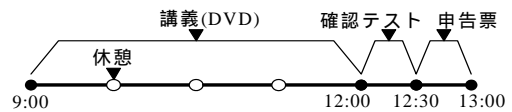


図 3. 実測手順

表 4. 温熱環境測定結果(地上から 0.6m 地点)

測定項目	2/19(日) Case1	2/26(日) Case2	4/2(日) Case3	4/9(日) Case4
空気温度[°C]	23.5±2.4	24.2±0.5	26.2±0.6	25.0±0.3
放射温度[°C]	23.4±2.1	24.2±0.4	26.2±0.6	25.2±0.3
相対湿度[%]	25±1	35±1	32±1	25±1
風速[m/s]	0.03±0.02	0.02±0.02	0.02±0.02	0.07±0.05
PMV	-0.2±0.6	0.0(±0.1)	+0.5(±0.1)	+0.1(±0.1)

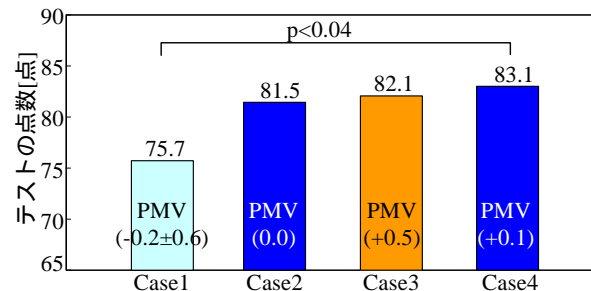


図 4. 学習効率の評価結果(テストの点数)

全てのケースで CO₂濃度は 1000ppm 弱、粉じん濃度は 0.02mg/m³ 弱で一定となった。換気回数は 3.9[回/h](平均的な一人当たりの換気量は 25.3[m³/(h・人)]、机上面照度は 848lx、等価騒音レベルは 44.5dB であった。温熱環境のみが変化する環境条件が形成されている。

4. 学習効率(テストの点数)評価結果(図 4)

各環境条件における学習効率の比較結果を図 4 に示す。Case1:PMV(-0.2 ± 0.6)と Case4:PMV(+0.1)を比較した場合、PMV 条件を変動する条件から PMV(+0.1)一定条件に変化させたことで有意に 7.4 点向上する結果となった(p<0.04)。Case1 の環境条件の点数を基準として学習効率の向上率を百分率換算すると 9.8%向上となる。他のケース間の比較では全て有意な差は見られなかったものの、Case1:PMV(-0.2 ± 0.6)の環境条件は、他のケースの環境条件よりテストの点数が低い傾向が観察される。

Case2 ~ 3 の間で有意な差が見られなかった要因とし

て、PMV が快適範囲内(-0.5 ~ +0.5)での変化による比較だったことが考えられる。実際、やや快適範囲外も含む Case1:PMV(-0.2 ± 0.6)の環境条件のテストの点数が低い傾向が観察された。今後データを増やす必要がある。

5. 学習意欲の影響を考慮した評価結果

5.1 学習意欲が学習効率に及ぼす影響(図 5、6)

講義前の学習意欲 $M_{前}$ (図 5) 講義前の学習意欲 $M_{前}$ が高いグループ(以下 $M_{前}(H)$)と低いグループ(以下 $M_{前}(L)$)に分類し、講義前の学習意欲 $M_{前}$ が学習効率に与える影響に関して比較を行った。分類は、講義前の学習意欲 $M_{前}$ の中央値により行った。図 5 に講義前の学習意欲 $M_{前}$ が学習効率に与える影響の比較を示す。全ての環境条件において $M_{前}(H)$ 群のテストの点数が $M_{前}(L)$ 群より高かった。Case1 ~ 4 の順に 9.4 点(n.s. : no significant)、11.6 点($p < 0.03$)、2.2 点(n.s.)、2.9 点(n.s.)高かった。被験者心理が再現されている現地における実測においても講義前の学習意欲 $M_{前}$ が学習効率に及ぼす可能性が示唆される。

講義中の学習意欲 $M_{中}$ (図 6) 講義中の学習意欲 $M_{中}$ が高いグループ(以下 $M_{中}(H)$)と低いグループ(以下 $M_{中}(L)$)に分類し、講義中の学習意欲 $M_{中}$ が学習効率に与える影響に関して比較を行った。分類は、講義中の学習意欲 $M_{中}$ の中央値により行った。図 6 に講義中の学習意欲 $M_{中}$ が学習効率に与える影響の比較を示す。全ての環境条件において $M_{中}(H)$ 群のテストの点数が $M_{中}(L)$ 群より高かった。Case1 ~ 4 の順に 11.8 点(n.s.)、14.6 点($p < 0.006$)、9.4 点(n.s.)、2.9 点(n.s.)高かった。講義中の学習意欲 $M_{中}$ は学習効率に影響を及ぼす結果となった。

また講義前の学習意欲 $M_{前}$ より講義中の学習意欲 $M_{中}$ の方が学習効率に及ぼす影響が大きいことが観察される。これは既報の実験室実験³⁾の結果と同様の傾向である。

5.2 室内環境の質が学習意欲に及ぼす影響(図 7)

各環境条件における講義前の学習意欲 $M_{前}$ から講義中の学習意欲 $M_{中}$ の経時変化を図 7 に示す。Case2:PMV(0.0) 並びに Case4:PMV(+0.1)の環境条件では講義中に学習意欲は増加したが、Case1:PMV(-0.2 ± 0.6) 並びに Case3:PMV(+0.5)の環境条件においては学習意欲が低下した。つまり、環境の影響により講義中の学習意欲 $M_{中}$ が低下したといえる。また Case3:PMV(+0.5)の講義中の学習意欲 $M_{中}$ は、Case2:PMV(0.0)並びに Case4:PMV(+0.1)と比較して有意に低い結果となった(いずれも $p < 0.04$)⁹⁾。

5.3 PMV と学習意欲の差の相関分析結果(図 8)

PMV と学習意欲の差(講義前の学習意欲 $M_{前}$ - 講義中の学習意欲 $M_{中}$)の相関分析結果を図 8 に示す¹⁰⁾。線形近似により $R^2 = 0.92$ (n.s.)の強い相関関係が見られた。PMV が正の範囲内で、PMV が増加するにつれて講義中の学習意欲が低下することが示唆される。今後さらにデータの蓄積が必要である。

6. 学習意欲を用いた学習効率の詳細な考察

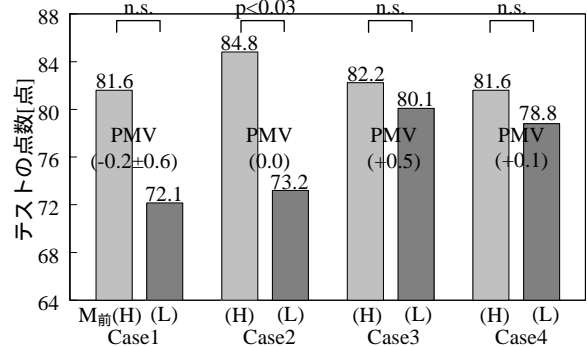


図 5. 講義前の学習意欲 $M_{前}$ とテストの点数

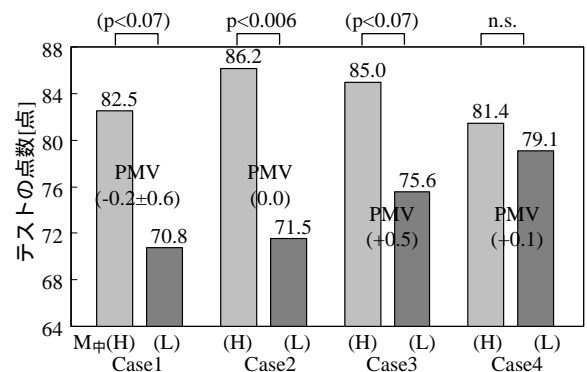


図 6. 講義中の学習意欲 $M_{中}$ とテストの点数

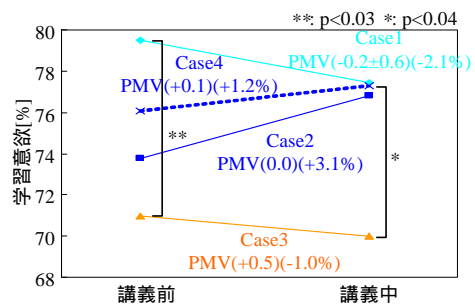


図 7. 学習意欲の経時変化

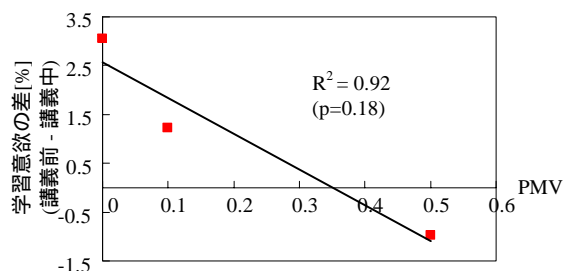


図 8. PMV と学習意欲の差の相関分析結果

6.1 現地実測と実験室実験の整合性の検討方法(図 9)

図 9 に既報³⁾で述べた被験者実験と本報で述べた現地実測の講義前の学習意欲 $M_{前}$ の比較結果を示す。現地実測の被験者の方が講義前の学習意欲は有意に 20.3%高い結果となった($p < 0.003$)。学習意欲のデータは今後実験室実験と現地実測の学習効率の整合性検討の際に詳細な分析・考察に役立つものと思われる。

6.2 学習意欲によるスクリーニング有用性の検討(図 10)

次に示す ~ の手順により学習効率のスクリーニングを行った。被験者毎に 4 ケースの講義前の学習意欲

M_前に関する標準偏差を算出した。で算出した標準偏差の全被験者の平均値を算出した。で算出した標準偏差とで算出した平均値を比較し、>となる被験者のデータを排除した。スクリーニング後の被験者数は30名となった。講義前の学習意欲M_前によるスクリーニング結果を図10に示す。スクリーニングによりいずれの環境条件においても有意な差は得られなかったものの、Case2:PMV(0.0)並びにCase4:PMV(+0.1)の環境条件でテストの点数が高い結果となった。今後さらにデータを蓄積しスクリーニングの是非に関して検討を進める。

7.まとめ

学習効率(テストの点数)はCase1:PMV(-0.2±0.6)の環境条件で低い傾向にあった。またCase1:PMV(-0.2±0.6)からCase4:PMV(+0.1)へ環境条件を変化させることで有意に7.4点(9.8%)向上した(p<0.04)。

講義前の学習意欲M_前は学習効率に影響を及ぼした。Case1~4順にM_前(H)群のテストの点数が9.4点(n.s.)、11.6点(p<0.03)、2.2点(n.s.)、2.9点(n.s.)高かった。

講義中の学習意欲M_中は学習効率に影響を及ぼした。Case1~4順にM_中(H)群のテストの点数が11.8点(n.s.)、14.6点(p<0.006)、9.4点(n.s.)、2.3点(n.s.)高かった。

講義中の学習意欲M_中はCase2:PMV(0.0)並びにCase4:PMV(+0.1)とCase3:PMV(+0.5)の環境においてCase3:PMV(+0.5)で有意に低かった(p<0.04)。また、講義前の学習意欲M_前と講義中の学習意欲M_中の学習意欲の差とPMVの相関分析結果によると線形近似によりR²=0.92(n.s.)の強い相関関係が見られた。

講義前の学習意欲M_前によるスクリーニング後の学習効率評価結果は、Case2:PMV(0.0)並びにCase4:PMV(+0.1)の環境条件でテストの点数が高い結果となった。

今後は温熱環境が学習効率に及ぼす影響に関して詳細な分析を行う。また、学習意欲を用いて各種整合性の検討を行っていく。

謝辞

本研究を遂行するにあたり日建学院の西生一次氏、井澤真悟氏、東京工業大学の仙田満名誉教授、千葉大学の川瀬貴晴教授に多大なご協力をいただきました。心より御礼申し上げます。また、実測にご協力いただいた大成建設㈱の樋渡潔氏、慶應義塾大学の島崎祐輔氏、内田匠子氏にお礼申し上げます。被験者としてご協力下さった方々に感謝致します。

注釈

注1)日本最大級の一級建築士受験対策予備校

注2)Case1の環境条件は暖房設備の設置されていない冬の実際の学習環境を再現する目的で設置した。

注3)学習効率に大きな影響を及ぼすと考えられる体調(%)、既習率(%)、講義に対する興味度(5スケール)に関して申告票データよりスクリーニングを行い、信頼性の高い被験者データのみを採用した。また、スクリーニングの過程でそれぞれの比較において環境間で対

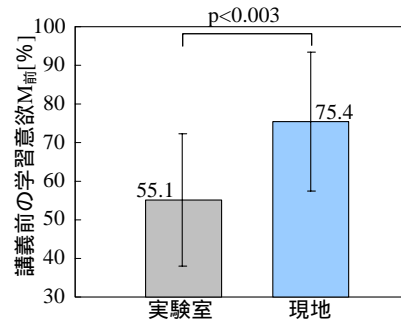


図9. 講義前の学習意欲の比較

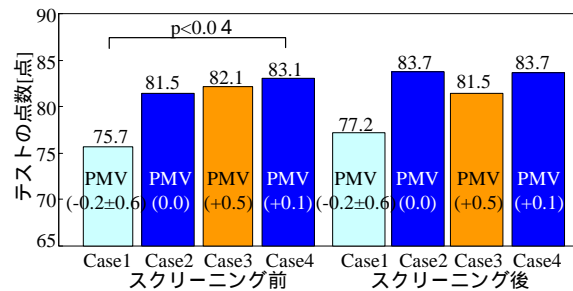


図10. スクリーニング前後のテストの点数の比較

にならなくなった被験者のデータも破棄した。その結果、環境間の比較に用いた被験者数は41人である。なお、学習意欲とテストの点数に関する比較は全被験者を採用した。

注4)日建学院の平均点データは母集団が極めて多い(約10,000人)ためテストの難易度を代表するものとみなし、比例補正を行った。

注5)換気回数の測定はSHASE S-116³⁾に定められたステップダウン法に従い、トレーサーガスとしてSF₆を用い、濃度測定にマルチガスモニターを用いた。測定中は空調を設定温度25で運転した。

注6)PMVは代謝量1.0met、着衣量は毎回教室内で一般的な着衣量と思われる人の着衣を記録し、それに基づき算出した。

注7)Case1では、室温変動に対して空調の吹出設定温度等を連成した制御を行わず、一定温度の空気を供給した。そのため人体発熱に起因して時間経過とともに徐々にPMVが暖かい側になった。

注8)PMVを一定に制御するために空調吹出温度を変化させた。

注9)Case1:PMV(-0.2±0.6)とCase3:PMV(+0.5)では講義前の学習意欲M_前にも有意な差がある(p<0.03)ため比較は行わなかった。

注10)Case1:PMV(-0.2±0.6)ではPMVが一定でないため、相関分析結果には含まなかった。

参考文献

- 1)内田ら 学習環境におけるプロダクティビティ向上に関する研究(その12) 現地実測ならびに実験室実験の学習効率に関する整合性の検討、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、2006.9(投稿中)
- 2)内田ら (その9)温熱・空気環境の質が学習意欲・効率に及ぼす影響に関する被験者実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、2006.9(投稿中)
- 3)亀田ら (その10)被験者実験による学習意欲・効率の評価分析、日本建築学会大会学術講演梗概集、2006.9(投稿中)
- 4)Guzzoら A Guide to Worker Productivity Experiments in the United States 1976-81、Pergamon、pp933-936、1983
- 5)空気調和・衛生工学会規格:SHASE-S 116-2003 トレーサーガスを用いた単一空間の換気量測定方法、2004.4